



Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

# Untersuchungen zu Auswirkungen von simulierten Energieausfällen eines automatischen Melksystems auf ausgewählte Stressparameter von Milchkühen

Anja Maria Gräff

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: Prof. Dr. H. Luksch

Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr. H. Bernhardt  
2. Prof. Dr. W. Windisch

Die Dissertation wurde am 28.09.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 23.11.2017 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.

© 2017

Im Selbstverlag:

Bezugsquelle:

Anja Maria Gräff

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Am Staudengarten 2

85354 Freising



## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der Technischen Universität München. Nach Abschluss der Dissertation möchte ich allen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. H. Bernhardt für die Überlassung des interessanten Promotionsthemas und seiner wissenschaftlichen und methodischen Unterstützung während der gesamten Bearbeitungsphase meiner Dissertation.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. W. Windisch für die Übernahme der Erstellung des Zweitgutachtens und bei Herrn Prof. Dr. H. Luksch für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission bedanken.

Mein Dank gebührt vor allem auch Herrn Prof. Dr. R. Palme für die FCM-Laboranalyse und Herrn Dr. H. Petermeier (TUM|Stat) für deren statistische Auswertung und die Auswertung der Liegezeiten.

Prof. Dr. J. Stumpfenhausen, für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit.

Frau Prof. Dr. M. Schiegl danke ich sehr herzlich für das Mentoring im Rahmen der TUM Graduate School, die hilfreichen Hinweise zur Arbeit und die freundschaftliche Unterstützung.

Herrn F. Rauch vom Lely Center Bayern Tuntenhausen, sowie allen Beteiligten meiner Studien bin ich sehr dankbar für die gute und zahlreiche Unterstützung sowie die konstruktive und angenehme Zusammenarbeit.

Außerdem gilt mein großer Dank natürlich den vier Betriebsleitern und ihren Familien, die diese Untersuchungen erst möglich machten und mich bei der Bearbeitung stets durch zielführende Diskussionen und anhaltende Hilfestellung begleitet und unterstützt haben.

Mein Dank gilt auch den Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl, hier stellvertretend seien Frau M. Vogl und die Herren M. Berchtold, M. Brandl und S. Huber genannt. Einen wesentlichen Teil zum Gelingen der Arbeit hat Herr Dr. S. Wörz beigetragen. Durch seine großartige Unterstützung wurde die Arbeit erst ermöglicht. Vielen Dank!

Vor allem möchte ich mich bei meinen Doktoranden-Kollegen bedanken, für die zahlreichen und unermüdlichen fachlichen Gespräche, Ratschläge und Anmerkungen, die mich auf dem Weg zur fertigen Arbeit immer wieder neue Aspekte und Ansätze entdecken ließen. Auch die vielen nichtwissenschaftlichen und motivierenden Gespräche haben meine Arbeit vorangetrieben.

Besonders möchte ich mich an dieser Stelle bei meiner Familie bedanken, die mich während der gesamten Zeit immer unterstützt und motiviert hat.

Freising, im September 2017

Anja Maria Gräff



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VII
Verzeichnis der Abkürzungen.....	VIII
Verwendete Maßeinheiten.....	X
1 Einleitung .....	1
2 Stand des Wissens.....	4
2.1.1 Technik.....	4
2.1.1.1 Energiesituation in Deutschland .....	4
2.1.1.2 Automatisches Melksystem (AMS).....	8
2.1.1.3 Pedometer .....	12
2.1.2 Belastung / Stress.....	14
2.1.2.1 Stress und Tierverhalten .....	15
2.1.2.2 Stressphysiologie .....	17
2.1.2.3 Cortisol.....	18
2.1.3 Herzaktivität.....	23
2.1.3.1 Herzfrequenz .....	25
2.1.3.2 Herzfrequenzvariabilität.....	28
2.1.4 Ethologie.....	29
2.1.4.1 Erkundungsverhalten .....	30
2.1.4.2 Lokomotion .....	30
2.1.4.3 Körperpflegeverhalten.....	32
2.1.4.4 Futteraufnahme und Wiederkauverhalten.....	33
2.1.4.5 Eliminationsverhalten .....	35
2.1.4.6 Agonistisches Verhalten.....	36
2.1.4.7 Ausdrucksverhalten.....	38
2.1.4.8 Ethopathien.....	38
2.1.5 Bewegungsaktivität und Liegedauer .....	39
2.1.5.1 Bewegungsaktivität .....	39

---

2.1.5.2	Liegedauer .....	42
2.1.6	Milchmenge .....	45
3	Zielstellung .....	49
4	Material und Methoden .....	50
4.1.1	Versuchsaufbau .....	50
4.1.2	Versuchszeitraum .....	54
4.1.3	Versuchsrahmenbedingungen .....	55
4.1.3.1	Versuchsbetriebe .....	55
4.1.3.2	Tiere .....	63
4.1.3.3	Tierkennzeichnung .....	66
4.1.4	Erfassungsmethoden .....	67
4.1.4.1	Aufzeichnung und Analyse der Herzfrequenz .....	67
4.1.4.2	Aufzeichnung der Wiederkauaktivität .....	69
4.1.4.3	Aufzeichnung der Milchmenge .....	70
4.1.4.4	Bestimmung der Cortisol-Metaboliten .....	70
4.1.4.5	Videoaufzeichnung .....	74
4.1.4.6	Erfassung der Bewegungsaktivität und der Liegedauer .....	76
4.1.5	Statistische Auswertung .....	78
5	Ergebnisse .....	80
5.1.1	Herzfrequenz .....	80
5.1.2	Wiederkauaktivität .....	80
5.1.3	Milchmenge .....	81
5.1.4	Cortisol-Metaboliten .....	84
5.1.5	Ethologische Auswertung .....	86
5.1.6	Bewegungsaktivität und Liegedauer .....	93
5.1.7	Zusammenfassung der bedeutsamsten Ergebnisse .....	100
6	Diskussion .....	102
6.1.1	Diskussion des Versuchsaufbaus .....	102
6.1.2	Diskussion des Versuchszeitraums .....	104
6.1.3	Diskussion der Versuchsrahmenbedingungen .....	104

---

6.1.3.1	Versuchsbetriebe .....	105
6.1.3.2	Tiere.....	107
6.1.3.3	Tierkennzeichnung.....	107
6.1.4	Diskussion der Ergebnisse .....	108
6.1.4.1	Herzfrequenz .....	108
6.1.4.2	Wiederkauaktivität.....	112
6.1.4.3	Milchmenge.....	114
6.1.4.4	Cortisol-Metaboliten .....	116
6.1.4.5	Ethologische Auswertung.....	120
6.1.4.6	Bewegungsaktivität und Liegedauer.....	127
7	Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....	135
8	Zusammenfassung.....	137
9	Summary.....	139
10	Literaturverzeichnis.....	141
11	Anhang.....	180
12	Eidesstattliche Erklärung .....	209

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Länge der Versorgungsunterbrechung je Stromverbraucher in Deutschland in den Jahren 2006 bis 2015 in Minuten (BUNDESNETZAGENTUR 2016).....	6
Abb. 2: Schema der Glucocorticoid Sekretion, Stoffwechsel und Ausscheidung (MÖSTL UND PALME 2002).....	18
Abb. 3: Verlauf einer Laktationskurve der 1. Laktation bei verschiedenen Haltungssystemen (GERBER ET AL. 2007) .....	46
Abb. 4: Standardlaktationskurve für eine geplante Herdenleistung von 9.000 bis 10.000 kg verändert nach (KAMPF 2016).....	47
Abb. 5: Messinstrumentarien an einer Fokuskuh.....	50
Abb. 6: Übersicht über die gesetzten Blockzeiten auf allen vier Betrieben.....	53
Abb. 7: Zeitliche Anordnung der Versuche .....	54
Abb. 8: Zeitstrahl der Versuchsdauer .....	54
Abb. 9: Skizze Stallgrundriss B1 mit AMS und Wartebereich.....	55
Abb. 10: Ehemaliger Anbindestall B1 .....	56
Abb. 11: Tiefstreubuchten mit Spaltenroboter in B1.....	56
Abb. 12: Anbau an Altstall B1 .....	56
Abb. 13: Futtermischwagen im B1 .....	56
Abb. 14: Futterband B1 .....	56
Abb. 15: Fixierung einer Fokuskuh mit Strick B1 .....	57
Abb. 16: Skizze Stallgrundriss B2 mit AMS .....	58
Abb. 17: Blick vom Futtertisch zum AMS und Außenbereich B2.....	59
Abb. 18: Außenbereich B2 .....	59
Abb. 19: Futtermischwagen B2.....	59
Abb. 20: Futtertisch B2.....	59
Abb. 21: Skizze Stallgrundriss B3 mit AMS .....	60
Abb. 22: Futtertisch B3.....	61
Abb. 23: Selektionstor nach AMS B3.....	61
Abb. 24: Wartebereich vor AMS B3.....	61

Abb. 25: Tiefstreuboxen und Spaltenroboter B3 .....	61
Abb. 26: Skizze Stallgrundriss B4 mit AMS .....	62
Abb. 27: Futtertisch B4 .....	63
Abb. 28: Hochboxen B4.....	63
Abb. 29: Separationsbereich B4 .....	63
Abb. 30: Spaltenroboter B4 .....	63
Abb. 31: Fokustier Kennzeichnung Seitenansicht.....	66
Abb. 32: Fokustier Kennzeichnung dorsal .....	66
Abb. 33: Herzfrequenzmessgerät Polar RS800CX im Schutzkästchen.....	68
Abb. 34: Schutzkästchen mit darüber liegendem Wearlink und Übergurt.....	68
Abb. 35: Schematische Darstellung der Kotproben-Extraktion.....	72
Abb. 36: Video- und Infrarotkameras .....	74
Abb. 37: Aufnahme- und Messtechnik in B2 .....	74
Abb. 38: Funkmodul Pedometer .....	76
Abb. 39: Pedometer am Hinterfuß mit Panzertape fixiert .....	77
Abb. 40: Durchschnittliche Milchmenge vor, während und nach dem simulierten AMS-Ausfall (GRÄFF ET AL. 2015).....	81
Abb. 41: Milchleistung Fokuskuh 7 B4 vom 28.06. bis 09.08.2014 pro Tag .....	82
Abb. 42: Milchleistung Fokuskuh 7 B4 vom 28.06. bis 09.08.2014 pro Tag und Anzahl der Melkungen.....	83
Abb. 43: Differenz aus den FCM-Konzentrationen in [ng/g] und die Differenz von erwarteter und tatsächlicher Milchmenge in [l/d] (GRÄFF ET AL. 2017c) .....	86
Abb. 44: Beobachtete Häufigkeiten der einzelnen Verhaltenskategorien absolut in (n) und in Prozent für alle Betriebe .....	87
Abb. 45: Beobachtete Häufigkeiten der einzelnen Verhaltensmerkmale absolut in (n) für alle Betriebe.....	89
Abb. 46: Beobachtetes Verhalten <i>Eintritt in das AMS</i> absolut in (n) pro Betrieb.....	90
Abb. 47: Beobachtetes Verhalten <i>Fellpflege mit Zunge</i> absolut in (n) pro Betrieb.....	91
Abb. 48: Vergleich der Aktivität zwischen Basal- und Testmessungen für alle Betriebe (GRÄFF ET AL. 2017a) .....	95
Abb. 49: Aktivität während Basal- und Testmessungen pro Betrieb (GRÄFF ET AL. 2017a)....	96

---

Abb. 50: Mittlere Schrittzahl pro Stunde für alle Betriebe (GRÄFF ET AL. 2017a) .....	97
Abb. 51: Durchschnittliche Liegezeit gesamt L in [min/d] für alle Betriebe .....	98

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anzahl der gemolkenen Kühe je Betrieb.....	64
Tab. 2: Übersicht Fokuskühe B1 .....	64
Tab. 3: Übersicht Fokuskühe B2 .....	65
Tab. 4: Übersicht Fokuskühe B3 .....	65
Tab. 5: Übersicht Fokuskühe B4 .....	65
Tab. 6: Liste der betrachteten Verhaltensparameter verändert nach (MISTHILGER 2015) .....	75
Tab. 7: Mittlere FCM-Werte und Standardabweichung in [ng/g] für alle Betriebe .....	84
Tab. 8: Datenblatt des Aktivitätsverhaltens der Basalmessung für alle Betriebe (gerundet)..	94
Tab. 9: Datenblatt des Aktivitätsverhaltens der Testmessung für alle Betriebe (gerundet)....	95
Tab. 10: Zusammenfassung der bedeutsamsten Ergebnisse aus allen Betrieben .....	100

## Verzeichnis der Abkürzungen

11,17-DOA	11,17-Dioxoandrostane
ACTH	Adrenocorticotropes Hormon
AMS	Automatisches Melksystem
AR	Autoregressive Spectral Analysis
CCM	Cortisol-Metaboliten im Kot
CPS	Cyberphysische Systeme
DV	Dominance Value
EIA	Enzyme Immunoassay
ELISA	Enzyme-linked Immunosorbent Assay
FCM	Faecal Cortisol/Corticosterone Metabolites / Cortisol/Corticosteron-Metaboliten im Kot
FFT	Fast-Fourier Analyse / Fast Fourier Transform
GC	Glucocorticoid(e)
HMV	Herzminutenvolumen
HR	Herzfrequenz / Heart Rate
HRV	Herzfrequenzvariabilität / Heart Rate Variability
H <sub>2</sub> O	Chemische Summenformel von Wasser
IBI	Inter-Beat-Interval, RR-Intervall; Intervall zwischen zwei Herzschlägen
NNR	Nebennierenrinde
OT	Oxytocin
PLF	Precision Livestock Farming
PV	Photovoltaik

---

RMSSD	Root Mean Square of Successive Differences
RR	Intervall zwischen zwei Herzschlägen
rs	Spearman Korrelation nach Rängen
SD	Standardabweichung
SD1	Standardabweichung der Abstände zum Querdurchmesser der Ellipse
SD2	Standardabweichung der Abstände zum Längsdurchmesser der Ellipse
SE	Standardfehler
STL	Speicher-Telemetrie-Logger
SV	Schlagvolumen
TK	Tiefkühl
vs.	versus

## Verwendete Maßeinheiten

bpm	beats per minute / Schläge pro Minute
°C	Grad Celsius
d	Tag
g	Gramm
h	Stunde
Hz	Hertz; Maßeinheit der Frequenz
kg	Kilogramm
kWh	Kilowattstunde
min	Minuten
mg	Milligramm
ms	Millisekunde
ml	Milliliter
µl	Mikroliter
ng	Nanogramm
nmol	Nanomol
rpm	revolutions per minute = Umdrehungen pro Minute
s	Sekunde
t	Tonne
TWh	Terawattstunde

## 1 Einleitung

Die Atomkatastrophe von Fukushima im Jahre 2011 hat in Deutschland dazu geführt, dass ein vollständiger Ausstieg aus der Atomenergie bis 2022 beschlossen und die Energiewende eingeleitet worden ist. Die deutsche Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil erneuerbarer Energien von knapp 25 Prozent (im Jahr 2012) auf bis zu 60 Prozent (im Jahr 2035) zu steigern (BUNDESREGIERUNG DEUTSCHLAND 2013). Auch der Europäische Rat hat festgelegt, eine Minderung der Treibhausgasemissionen von mindestens 40 Prozent innerhalb der Europäischen Union bis 2030 gegenüber dem Niveau von 1990 zu erreichen. Damit verbunden ist die verbindliche Festlegung des Ausbauziels für erneuerbare Energien auf mindestens 27 Prozent am Endenergieverbrauch (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT ET AL. 2016).

Vor diesem Hintergrund und um einen weiten Energietransport zu vermeiden, fördert die deutsche Regierung regionale, regenerative Stromkonzepte. Dazu soll zunehmend dezentral erzeugter Strom aus Photovoltaik-, Biogas- und Kleinwindkraftanlagen von Privathaushalten, landwirtschaftlichen Betrieben und sonstigen Investoren als erneuerbare Energien ins Netz eingespeist werden. Das Stromnetz wechselt dementsprechend seinen ursprünglichen Charakter von einem reinen Stromverteilnetz hin zu einem Stromnetz, in dem Strom in beide Richtungen transportiert werden muss.

Die Übertragungsnetzbetreiber haben den Auftrag, trotz des wechselnden Angebots, je nach Sonnenscheindauer bzw. Windstärke, die Netzstabilität zu gewährleisten. Um überschüssige Energie zu speichern, werden derzeit vor allem Pumpspeicherkraftwerke in Anspruch genommen und die Batteriespeichertechnik wird vehement weiterentwickelt.

Es ist aber auch zu überlegen, wie der Strom auf Verbraucherebene „intelligent“ eingesetzt werden kann, d. h. wie können im Einzelbetrieb Stromspitzen im Verbrauch sowie bei der Einspeisung vermieden werden. Das trifft vor allem auch für den Milchviehstall eines landwirtschaftlichen Betriebes zu. Die landwirtschaftlichen Betriebe produzieren auf der einen Seite Strom mit PV-Anlagen auf Stall- und Hallendächern, mit Kleinwindkraftanlagen und mit Biogasanlagen. Auf der anderen Seite gibt es den Milchviehstall, der mit zunehmender Technisierung bzw. Automatisierung als Stromverbraucher fungiert.

Während PV-Anlagen und Kleinwindkraftanlagen nur in Abhängigkeit von Sonnenscheindauer bzw. bei ausreichender Windgeschwindigkeit Strom in das Netz einspeisen, produzieren Biogasanlagen permanent Strom und können daher auch als Energiespeicher eingesetzt werden. Das durch Fermentierung von Biomasse gewonnene und vorübergehend gespeicherte Biogas

wird dann zu Zeiten von Strombedarf in Motoren verbrannt. Die angetriebenen Generatoren produzieren somit elektrischen Strom, der entweder den Eigenbedarf deckt oder im Bedarfsfall direkt ins öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Möglichkeiten zur Energie-Zwischenspeicherung, in Form von Stromspeichermodulen, die derzeit auf dem Markt angeboten werden, sind technisch noch nicht genügend ausgereift bzw. finanziell uninteressant.

Die landwirtschaftliche Tierhaltung ist wie kein zweiter Wirtschaftsbereich prädestiniert für die Erzeugung erneuerbarer Energien. Um diese bei einem hohen Eigenverbrauchsanteil optimal zu nutzen, ist die Einbindung von Stromerzeugern, -verbrauchern und -speicher in ein intelligentes On-Farm Smart Grid System notwendig (HÖLD ET AL. 2016). Die Besonderheiten der Milchproduktion (zweimaliges tägliches Melken im Abstand von zwölf Stunden mit hohen Energiespitzen zu den Melkzeiten) bedingen sehr spezifische, technische Anforderungen an ein umfassendes Energiemanagementsystem. Mit der Einführung ganztätig arbeitender Melkroboter, die die traditionelle Handarbeit in deutschen Milchviehställen immer mehr ersetzen, kann der Strombezug nivelliert werden. Melkroboter melken, in der Regel mit Ausnahme der technisch bedingten Reinigungszeiten, den ganzen Tag über. Es kommt also nicht mehr zu den zwei typischen Energiespitzen. Dies generiert die Möglichkeit, die Grundlast durch beispielsweise Kleinwindkraftanlagen oder Photovoltaikanlagen zumindest zeitweise zu bedienen.

Die Stromverbraucher im Milchviehstall weisen allerdings unterschiedliche Lastgänge auf, die verschieden zu priorisieren sind. So muss beispielsweise ein automatisches Melksystem (AMS) immer mit Strom versorgt werden, eine Kuhputzbürste dagegen kann auch mal für ein paar Stunden stillstehen. Genauso darf der Spaltenreinigungsroboter nicht in Aktion treten, wenn gefüttert wird, da der Fressgang zu dieser Zeit von vielen Kühen aufgesucht wird. Dies erfordert somit eine Kommunikation der Systemelemente untereinander, analog zu den industriellen cyber-physischen Produktionssystemen (CPS). Diese CPS sind intelligente Objekte, die in bestimmten Systemen eingebettet, untereinander mit Hilfe der Internettechnologie kommunizieren. CPS ermöglichen verbesserte und durchgängige Dokumentations-, Planungs- und Steuerungsprozesse. Daten sind früher verfügbar und die weitere Planung kann dadurch optimiert werden (HERING ET AL. 2014).

Mit Hilfe von CPS bzw. durch ein gezieltes Lastenmanagement (Smart Grid) soll der hofeigene Strom, der aus regenerativen Rohstoffen (Biomasse, Sonne, Wind und Abfallprodukte) gewonnen wird, so gesteuert werden, dass eine Verlagerung und Verriegelung von Verbrauchern erreicht wird. Dies kann aber bedeuten, dass es gerade in der Einführungsphase eines solchen Lastenmanagements zu Energieausfällen kommen kann. Derartige Energieengpässe bzw. Energieschwankungen können sich auf das Tierverhalten auswirken.

Milchkühe sind Gewohnheitstiere, die an bestimmte Tagesrhythmen und an die ihnen vertrauten Personen und Technik im Stall gewöhnt sind. Wird ein AMS zur Milchgewinnung genützt, so erhalten die Tiere die Möglichkeit ihren individuellen Melkrhythmus selbst zu finden und selbst zu bestimmen. Dies, wie auch eine tiergerechte Haltung im Allgemeinen, trägt zum Wohlbefinden der Kühe bei. Ökonomie und Tierschutz finden so zusammen. Denn nur eine gesunde, sich wohlfühlende Milchkuh gewährleistet eine hohe Leistung bei langer Nutzungsdauer.

Außergewöhnliche, neue Konstellationen, ausgelöst durch ungewohnte Tier-Technik-Interaktionen, können bei Milchkühen zu mehr und minder starken Belastungsreaktionen führen. Diese Situationen können durch die Einführung neuer Technik, durch technische Defekte oder durch Stromausfälle entstehen. Die Länge solcher Irritationen kann unmittelbar am Wohlbefinden der Tiere abgelesen werden. Handelt es sich dabei nur um kurzfristige Eingriffe in den gewohnten Tagesrhythmus, so ist mit kaum bis gar keinem Belastungspotential zu rechnen. Ist aber der individuelle Stresslevel des Einzeltieres überschritten, so sind erhebliche Leistungseinbußen die Folge. Daher muss das Tier bzw. die Milchkuh, trotz oder gerade wegen aller technischen und energetischen Möglichkeiten eines modernen Milchproduktionssystems immer im Mittelpunkt eines *Integrated Dairy Farmings* stehen. Es müssen alle tierphysiologischen Kriterien, sowie Tierschutz und Tierkomfort lückenlos abgedeckt sein.

In der vorliegenden Arbeit werden daher, im Rahmen des Projektes *Stall 4.0* - Teilprojekt *Tier-Technik-Interaktion*, mögliche Belastungsreaktionen von Milchkühen, die bei einem energiebedingten Ausfall eines Melkroboters entstehen, an Hand von ausgewählten Stressparametern quantifiziert.

## 2 Stand des Wissens

In den nachfolgenden Kapiteln wird, unter Berücksichtigung von nationaler und internationaler Literatur, auf den Stand der Technik eines automatischen Melksystems und der derzeitigen Energiesituation in Deutschland näher eingegangen. Anschließend folgen Erläuterungen zu den Themen Belastung bzw. Stress, Herzaktivität und Ethologie des Rindes. Generell wird nur das für diese Arbeit Wesentliche dargestellt.

### 2.1.1 Technik

Die Milchviehhaltung in Deutschland unterliegt einem rapiden Strukturwandel. Die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe nimmt ständig ab und gleichzeitig nimmt die Anzahl an Tierbeständen pro Betrieb zu. Um den Anforderungen des Tier- und Umweltschutzes bei gleichzeitiger ökonomischer Effizienz gerecht zu werden, setzen die Betriebsleiter vermehrt auf Technisierung und Automatisierung (BÜSCHER ET AL. 2006). Heutzutage werden zunehmend Sensoren für die Überwachung vieler Aktivitäten eingesetzt. Ihr Einsatz in der rechnergestützten Tierhaltung, dem Precision Livestock Farming (PLF), hat insbesondere nicht nur in der Forschung in den letzten zehn Jahren rasant zugenommen, sondern findet auch zunehmend mehr und mehr Einsatz auf den Praxisbetrieben (FRÉDÉRIC LEBEAU ET AL. 2016). Gerade die Überwachung des Kuhverhaltens gewinnt immer mehr an Bedeutung, denn durch das *Kuh-Monitoring* können wertvolle Erkenntnisse für die Ernährung der Milchkühe, die Produktion, das Management und das Tierwohl im allgemeinen, erlangt werden (MATTACHINI ET AL. 2016). Laut HUBER-SCHLENSTEDT (2010) ist zusätzlich eine mindestens zweimalige, tägliche Begehung des Stalles durch den Herdenmanager selbst, mit einer gezielten Beobachtung der Tiere, sowie einer Kontrolle der im AMS automatisch erfassten Daten (Warnlisten) nötig, um die Herdengesundheit beurteilen zu können. Als eine Auswahl solcher Daten seien hier exemplarisch die Aktivität, Futteraufnahme und das Wiederkauverhalten angeführt. Sie gelten als Indikatoren für den Gesundheitszustand einer Milchkuh. Durch eine individuelle, tägliche Auswertung dieser Parameter kann die Produktivität der Kühe gesteigert werden (HUZZEY ET AL. 2007; WEARY ET AL. 2009).

#### 2.1.1.1 Energiesituation in Deutschland

„Insgesamt stieg die Nettostromerzeugung mit 594,7 TWh im Jahr 2015 gegenüber dem Jahr 2014 mit 583,6 TWh um 11,1 TWh. Die Stromerzeugung war 2015 durch einen Anstieg der Stromgewinnung aus erneuerbaren Energieträgern geprägt. Die Erzeugung aus konventionel-

len Energieträgern ging wie schon in den letzten Jahren weiter zurück. [...] Der Anteil der Erzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch betrug im Jahr 2015 31,4 Prozent. Die Nettostromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energieträger stieg um 26 TWh auf 181,1 TWh“ (BUNDESNETZAGENTUR UND BUNDESKARTELLAMT 2016).

Der landwirtschaftliche Energieverbrauch gewinnt im Zusammenhang mit steigenden Energiekosten immer mehr an Bedeutung. Dies gilt weltweit für sämtliche Landwirte (KYTHREOTOU ET AL. 2012) und betrifft somit auch die deutschen Betriebe. Die Ansprüche an die Stromqualität nehmen daher ständig zu. Der Betrieb von EDV-Anlagen, Telekommunikation, elektrischen Motoren etc. muss ständig gewährleistet sein. Besonders bedeutsame Faktoren der Stromqualität sind u. a. die Spannungshaltung mit dem Zielwert 230 Volt und die Frequenzhaltung mit dem Zielwert 50 Hertz (FALTLHAUSER 2016). Das Stromnetz der Zukunft soll intelligent, flexibel und kostengünstig sein. Dem zu Folge rücken sog. Smart Grid Lösungen zunehmend in den Fokus der Verbraucher. Smart Grid bezeichnet einen intelligenten Ausgleich zwischen Energieproduktion, Energieverteilung, Energiespeicherung und Energieverbrauch. Als Smart Grid wird ein intelligentes, sich selbstüberwachendes und hoch automatisiertes Stromnetz bezeichnet, das durch selektives Handeln, Steuern und Anpassen kontinuierlich optimiert wird. Ziel ist es, ein verbessertes Stromnetz für den neuen *Prosumer* zu schaffen (FEUCHTINGER ET AL. 2012). *Prosumer* ist eine Wortschöpfung, die in diesem Fall einen Kunden aus dem Privat- oder Gewerbekundensegment bezeichnet, der aktiv am Energiemarkt teilnimmt und sowohl Energie produziert als auch konsumiert (RITZER UND JURGENSON 2010). Informations- und Kommunikationsnetze, die nahtlos in eine Smart Grid Lösung integriert sind, ermöglichen eine End-to-End-Datenkonnektivität. Basierend auf dieser Konnektivität soll die Stromerzeugung, Stromverteilung und der Stromverbrauch erleichtert werden. Neben dem traditionellen Ansatz, dass sich die Stromerzeugung am Stromverbrauch orientiert, ist es ein Schlüsselement des Smart Grids, dass der Stromverbrauch auf Basis der vorhandenen Energie verwaltet und verteilt wird (FEUCHTINGER ET AL. 2012). In einem von Lemmer-Fullwood entwickelten Energiekonzept wird die regenerativ gewonnene Energie bereits zur Milchkühlung oder zur Melkanlagenreinigung verwendet. Eine Smart Grid Einheit glättet den erzeugten PV-Strom und stellt Überschüsse nachts zur Verfügung (LEMMER FULLWOOD GMBH 2014).

Das europäische Stromnetz gilt als stabil, aber dennoch kommt es immer wieder zu Ausfällen wie Untersuchungen belegen (ROON UND BUBER 2013). Die Länge der durchschnittlichen Versorgungsunterbrechung je Stromverbraucher in Deutschland (Abb. 1) ist nach Untersuchungen der BUNDESNETZAGENTUR (2016) von 21,53 Minuten im Jahr 2006 auf 12,7 Minuten im Jahr 2015 gefallen. Diese Angabe erfolgt als SAIDI-Wert in Minuten, bezogen auf ein Jahr.

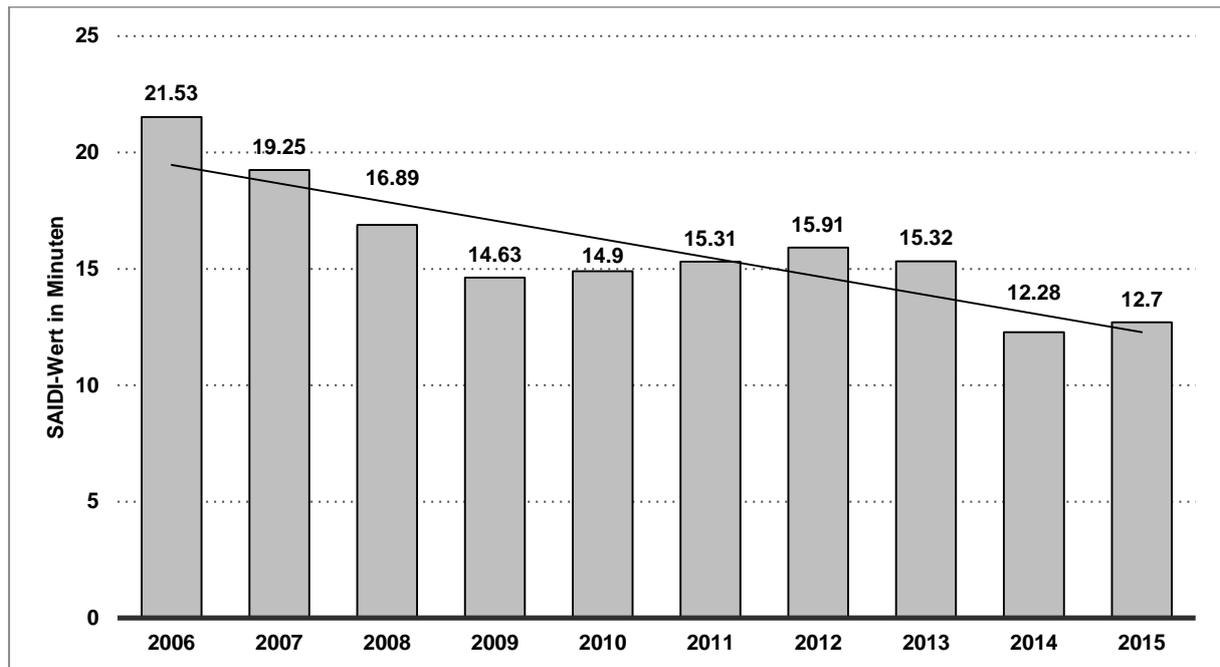


Abb. 1: Länge der Versorgungsunterbrechung je Stromverbraucher in Deutschland in den Jahren 2006 bis 2015 in Minuten (BUNDESNETZAGENTUR 2016)

SAIDI ist die Abkürzung für *System Average Interruption Duration Index*. Dieser Wert bezieht weder geplante Abschaltungen (z. B. Stromabschaltung aufgrund von Bauarbeiten) noch Unterbrechungen aufgrund höherer Gewalt z. B. Naturkatastrophen in die Berechnungen mit ein. Es werden nur ungeplante Unterbrechungen, die auf atmosphärische Einwirkungen, auf Einwirkungen Dritter, auf Rückwirkungen aus anderen Netzen oder auf andere Störungen im Bereich des Netzbetreibers zurückzuführen sind, miterhoben. Zudem werden nur Unterbrechungen erfasst, die mindestens drei Minuten dauern (BUNDESNETZAGENTUR 2016).

Auch wenn sich die Stromausfälle im Mittel nur im Minutenbereich befinden, so sind es dann besonders die großen Einzelereignisse, die Statistiken verzerren: Bedeutendere Stromausfälle in Deutschland gab es zuletzt am 25. November 2005 in Nordrhein-Westfalens bei dem ca. 250.000 Menschen bis zu vier Tagen und am 4. November 2006 in weiten Teilen Europas wo ca. 10 Millionen Haushalte für zwei Stunden ohne Strom waren (ROON UND BUBER 2013). Der wirtschaftliche Schaden des viertägigen Stromausfalls in Deutschland wird auf 100 Millionen Euro geschätzt (SCHEFFRAN 2017).

Um gerade gegen kleinere Stromausfälle, d. h. Stromausfälle die lediglich ein paar Stunden andauern, gerüstet zu sein, halten hochtechnisierte Betriebe entweder selbst Notstromaggregate vor oder beziehen solche, im Fall der Fälle, über Maschinenringe. Eine weitere Alternative besteht darin, sich vom öffentlichen Stromnetz soweit als möglich autark zu machen und die

dezentrale, rekommunalisierte Energieerzeugung voran zu treiben. Der landwirtschaftliche Betrieb ist bestens geeignet, um Energie aus erneuerbaren Quellen zu erstellen. PV-Anlagen, Kleinwindkraftanlagen, Biogasanlagen oder die Nutzung von Geothermie-Systemen ermöglichen die Eigenstromproduktion, die idealerweise durch ein Energie Management System verwaltet wird. Ziel ist es hierbei, möglichst viel vom selbst produzierten Strom auf dem eigenen Betrieb zu nutzen, um den Zukauf auf ein Minimum zu reduzieren. Ein derartiges Management System kann helfen, sich von eventuellen Stromengpässen bzw. Stromausfällen durch die Netzbetreiber unabhängig zu machen. Dafür muss der Eigenverbrauch so gesteuert werden, dass es einerseits zu keinen Versorgungsknappheiten kommt und andererseits bei Abgabe ins öffentliche Netz keine Spitzen während der Einspeisung entstehen (HÖLD ET AL. 2015). Bei Nutzung eines Energie Management Systems muss aber dennoch der Landwirt selbst jederzeit in die Steuerung eingreifen können, um eventuelle Nachteile in Sachen Wohlbefinden der Tiere zu verhindern. Trotz des hohen Technisierungs- bzw. Automatisierungsgrades muss das Wohl der Tiere immer noch an erster Stelle stehen (SIGL 2010). Des Weiteren muss die Versorgung des Betriebes auch bei längerem Ausfall des öffentlichen Stromnetzes durch eine Abkopplung von diesem gewährleistet sein.

Der rechnerische Energiebedarf in der Milchviehhaltung liegt nach POMMER ET AL. (2014) in einer Spanne von 317 bis 514 kWh/t Milch. Diese Angabe stellt eine grobe Faustzahl dar, denn die Bedingungen auf den jeweiligen landwirtschaftlichen Betrieben sind vielfältig. So nennt KÄMPER (2010) einen durchschnittlichen Stromverbrauch von ca. 400 kWh pro Kuh und Jahr, BONKOB ET AL. (2012) ca. fünf Kilowattstunden pro 100 Liter Milch. Andere Erhebungen ergeben einen durchschnittlichen Energieverbrauch von 533 kWh pro Milchkuh und Jahr (KELLERER 2015). Diese Werte basieren alle auf Berechnungen für Bestände bis zu 100 Milchkühen. Bei Großbetrieben mit mehr als 1.000 Milchkühen sind die berechneten Werte zu verdoppeln (BAUFÖRDERUNG LANDWIRTSCHAFT 2009). Der tatsächliche Energieverbrauch ist letztendlich abhängig von der genutzten Melk- und Fütterungstechnik, deren Wartung, den klimatischen und baulichen Voraussetzungen des Stallgebäudes sowie der Herdengröße (POMMER ET AL. 2014). Milchkühlung, Vakuumpumpe und Reinigung der Melkanlage erfordern bei der Milchgewinnung den größten Energiebedarf (KELLERER 2015). Aus Erfahrungsberichten einiger Betriebsleiter sind nach einem Wechsel zum AMS stark gestiegene Stromkosten zu verzeichnen. Besonders die Milchkühlung erweist sich dabei mit 25 bis 30 kWh Stromverbrauch als Kostenfresser. Durch das ständige Melken beim AMS gelangt immer wieder frische Milch in den Kühltnk, die nachgekühlt werden muss. Hierzu springt das Kühlaggregat ständig an und verursacht die hohen Stromkosten (REIMINK 2015b).

### 2.1.1.2 Automatisches Melksystem (AMS)

Seit den letzten 20 Jahren erfolgt in der europäischen Milchwirtschaft eine tiefgreifende Veränderung in der Produktionsstruktur. Zwei Drittel aller Milchviehbetriebe von zwölf Mitgliedsstaaten der Europäischen Union müssen aufgeben (CASTRO ET AL. 2015). Durch den starken Wandel in der Milchviehhaltung nimmt der Druck auf die Betriebe zu (HOY ET AL. 2016). Ohne eine Umstellung von der veralteten und nicht mehr tiergerechten Anbindehaltung auf Laufstall- oder Weidehaltung und neuen Investition in Technisierung und Automatisierung werden viele Betriebe dem Preisdruck erliegen. Dies hat die Mehrheit der deutschen Landwirte erkannt. Spätestens seit der Agritechnica 2015 ist daher auch die Landwirtschaft 4.0 in der Agrarbranche angekommen (BERNING 2015). Nun ist ein starker Trend in der deutschen Landwirtschaft in Richtung Automatisierung im gesamten Stallmanagement erkennbar. Dies mag vor allem daran liegen, dass gerade in der Landwirtschaft nach wie vor die Familienunternehmen als Betriebsform dominieren. Im Jahr 2013 sind 90 Prozent aller erfassten 256.000 Betriebe familiengeleitet, wobei 52 Prozent davon im Nebenerwerb geführt werden (STATISTISCHES BUNDESAMT 2014). Gerade bei dieser Art der Betriebsform ist eines der vorrangigen Ziele, die Arbeitsbelastung durch den Einsatz von Robotersystemen gering zu halten, mehr Lebensqualität für den Landwirt zu erlangen und gleichzeitig das Tierwohl zu verbessern. Gemäß einer Studie des Fraunhofer-Instituts liegt die Zahl der weltweit verkauften Serviceroboter in der Landwirtschaft an zweiter Stelle, hinter dem Bereich Verteidigung. Erst danach kommen Logistik und Medizin (BECKERT ET AL. 2016). Sogar bei extensiv geführter Landwirtschaft nehmen die Tierhaltungssysteme, „in denen der tägliche Umgang von Menschen mit den Tieren reduziert ist“, zu (KREUZER ET AL. 2008). Dies gilt vor allem für konventionell geführte Betriebe. Eine große Zahl derer hat auf Melkroboter umgestellt. Dafür werden als Hauptgründe eine Verbesserung der Lebensqualität und eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit angeführt. Eine Hoffnung ist, dass sich die Milchleistung der Herde durch eine Steigerung der Melkfrequenz verbessert (SPERONI ET AL. 2006). Dem zu Folge werden neue Milchviehställe fast nur noch mit automatischen Fütterungs-, Einstreu- und Entmistungssystemen und Melkrobotern ausgestattet. Herkömmliche Ställe werden sukzessive nachgerüstet. Stehen Neuinvestitionen oder Umbauten innerhalb eines Betriebes an, so ist das Melksystem das Erste, das zur Diskussion steht. In den skandinavischen Ländern sind bereits 80 Prozent aller neuinstallierten Melkanlagen automatische Melksysteme, in Deutschland liegt die Anzahl derzeit bei 40 bis 50 Prozent (BAUMGARTNER 2013). Der Trend zum Melkroboter ist ansteigend. Dies zeigt sich auch an den Zahlen aus Bayern. So arbeiten dort im Jahr 2014 bereits mehr als 1.200 Betriebe mit einem AMS (SPRENGEL UND KORNDÖRFER 2014).

Das erste AMS ist bereits in den 1980er Jahren entwickelt worden und zehn Jahre später, in den 1990er Jahren, beginnt die Markteinführung (LUTHER 2003). Durch die Einführung eines AMS versuchen Betriebe ihre Milchproduktion zu erhöhen, Arbeit einzusparen und gleichzeitig mehr Flexibilität zu erlangen (CASTRO ET AL. 2015; RODENBURG 2017). Als weitere Gründe für die Anschaffung eines AMS gelten die Senkung der Lohnkosten, eine Steigerung der Herdenleistung durch die Erhöhung der Melkfrequenz sowie das problemlose Sammeln von Daten zur Tiergesundheit (ALBERTI 2010; GEIDEL UND BAUCH 2013). Allerdings muss mit der fortschreitenden Technisierung und Automatisierung ein höherer Energieverbrauch in Kauf genommen werden: Nach den Berechnungen von ROTZ ET AL. (2003) liegt der Energieverbrauch herkömmlicher Melktechnik bei durchschnittlich ca. 250 bis 400 Kilowattstunden pro Kuh und Jahr. Im Gegensatz dazu benötigt die AMS-Technik deutlich mehr Energie, 400 bis 600 Kilowattstunden pro Kuh und Jahr. Aber dennoch erweist sich in einem Betriebssimulationsmodell die Einboxen-AMS-Anlage für 60 Kühe, mit einer moderaten Milchleistung von 8.600 kg pro Kuh, als das Melksystem mit dem größten ökonomischen Potenzial (ROTZ ET AL. 2003). Neben den bisher erwähnten Gründen für die Anschaffung eines AMS werden auch noch die Verbesserung der Eutergesundheit und eine erleichterte Brunstkontrolle sowie die Verringerung der körperlichen Arbeit genannt (BERKMILLER 2014). Bevor es aber zu einer Arbeitszeiteinsparung durch ein AMS kommen kann, müssen die Kühe für ein AMS angelernt werden. Kühe suchen nicht von sich aus, d. h. freiwillig, ein AMS auf (WEISS ET AL. 2005). Für diese Herdeneingewöhnung bzw. Anlernung ist genügend Zeit und Geduld einzuplanen.

Obwohl die Investitionskosten für ein AMS höher sind als für konventionelle Melktechnik, eine Einboxenanlage kostet je nach Hersteller zwischen 100.000 und 150.000 Euro (LEHNERT 2008), lohnt sich die Anschaffung. Durch eine mögliche Steigerung der Milchleistung von fünf bis zehn Prozent amortisiert sich der hohe Anschaffungswert bereits nach einigen Jahren (HARMS 2012). In dieser Amortisation sind bereits auch die Unterhaltskosten berücksichtigt. Physischer Verschleiß und technischer Fortschritt erfordern laufend Ersatzinvestitionen. Konventionelle Melkanlagen sollen alle acht bis zehn Jahre und AMS deutlich früher, alle fünf Jahre, erneuert werden (PACHE 2013).

Ein AMS, das täglich durch die zahlreichen Kuhkontakte große Mengen an Daten liefert, ist ein idealer Ort, um ein individuelles Kuh-Monitoring (Gesundheits- und Produktionsdaten) durchzuführen. Die Technik, die hierzu angeboten wird, entwickelt sich gerade auf diesem Gebiet rasant weiter (MOTTRAM 2016). Derzeit werden laut STATISTA GMBH (2017) in Bayern 3.148.057 Rinder gehalten. Hiervon sind 1.196.711 Milchkühe. Ende des Jahres 2016 nutzten bereits 1.751 bayerische Betriebe einen AMS (RIEDER 2017). Bei all diesen, auf dem Markt verfügbaren AMS, ist das Melkverfahren ähnlich, analog dem manuellen Melken (LAZ BW

2011): Nach dem Eintreten der Kuh in das AMS erfolgt die voll elektronisch lesbare Tieridentifikation, die eine automatische Erkennung des Einzeltieres gestattet (JUNGBLUTH ET AL. 2005). Nach dem Schließen der Box erfolgt eine individuell abgestimmte Kraffutterabgabe bevor der eigentliche Melkvorgang beginnt. Die Euterreinigung geschieht durch eine vollautomatische Sensorik, wobei die Zitzenreinigung mit dem Roboterarm ausgeführt wird (VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSBERATER IN BAYERN 2007). Als Zitzenreinigungsrichtungen fungieren entweder rotierende Bürsten oder Vorrichtungen, in denen die Euterzitzen mit Wasser in einem Zitzenbecher gespült werden. Die Zitzen werden nicht gleichzeitig gereinigt, sondern der Reihe nach, eine nach der anderen (BRUCKMAIER UND WELLNITZ 2008). Das Zitzenreinigungsverfahren hat eine ausreichende, stimulierende Wirkung auf die Zitzen, um genügend Oxytocin (OT) für die Milchejektion freizusetzen (MAČUHOVÁ ET AL. 2003; DZIDIC ET AL. 2004a; DZIDIC ET AL. 2004b). Durch die haptische Stimulation der Zitzen startet die Freisetzung von OT aus dem Hypophysenhinterlappen und damit die myoepitheliale Kontraktion im alveolaren Gewebe der Milchdrüsen. OT ist das Hormon, das für das Einschließen der Milch verantwortlich ist (SAGI ET AL. 1980; GOREWIT ET AL. 1992). Beim maschinellen Melken ist es sehr bedeutsam einen schnellen und vollständigen Milchentzug zu erreichen, um eine hohe Milchproduktion und eine gute Eutergesundheit zu gewährleisten (BELO ET AL. 2009). Dies verspricht im Besonderen der Einsatz eines AMS. Durch das AMS wird in der Regel eine Steigerung der Melkfrequenz und damit eine Erhöhung der Milchleistung und eine Verbesserung der Eutergesundheit erreicht (LANSER 2000).

Eine AMS-Einboxenanlage soll im Idealfall, je nach Leistungsniveau des Betriebes, mit 55 bis 80 Kühen betrieben werden. Gelten die Bedingungen für den Betrieb der Anlage als sehr günstig, so ist eine Tagesleistung von bis zu 2.000 Kilogramm Milch zu erzielen. Dies ist auf das Jahr umgerechnet, eine Leistung von mehr als 700.000 Kilogramm Milch pro Melkbox (ALBERTI 2010; KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT 2013). Allerdings gilt es, bei einer sehr hohen Auslastung des AMS, besonders darauf zu achten, dass auch rangniedrigere Tiere regelmäßig den Zugang zum AMS erhalten. Des Weiteren sind neben der Attraktivität der Melkbox (z. B. durch Kraft- bzw. Lockfuttergaben), vor allem die Klauengesundheit und die tierindividuelle Stoffwechsellage mitentscheidend, dass das AMS von mehr als 95 Prozent der Kühe freiwillig aufgesucht wird. Ein Nachtreiben einzelner Tiere kann somit weitestgehend entfallen (ALBERTI 2010).

Beim Roboter melken ist die Anzahl der Melkungen pro Tag und Kuh sehr stark abhängig von der gewählten Steuerung des Tierbewegungssystems (gelenkter, selektiv gelenkter oder freier Kuhverkehr) (KETELAAR-DE LAUWERE ET AL. 2000; HERMANS ET AL. 2003), von der Tageszeit (SPERONI ET AL. 2003) und vom Laktationsstadium der Kuh (SVENNERSTEN-SJAUNJA ET AL.

2001). Beim freien Umtrieb z. B. liegt die Anzahl der AMS-Besuche deutlich unter denen, die bei den gelenkten Umtriebsformen erreicht werden (HARMS 2005), denn Kühe legen die Anzahl ihrer AMS-Besuche nach ihrem individuellen Rhythmus fest. Dieser Rhythmus wird durch viele Faktoren bestimmt. Besonders bedeutsam sind Rangordnung, Anzahl der Futtertischbesuche und Milchleistung (SCHRÖPFER 2012).

ROUHA-MÜLLEDER ET AL. (2010) weisen in Ihrer Arbeit darauf hin, dass grundsätzlich nur Laufstallsysteme eine tiergerechte Stallhaltung ermöglichen, da in solchen das Verhalten der Tiere weitgehend ungestört bleibt. Im AMS kann das Zeitbudget (Zeiten für Stehen, Liegen, Wiederkauen) durch das gewählte Verkehrssystem (freier oder gelenkter Kuhverkehr) und dem sozialen Rang beeinflusst sein (LEXER ET AL. 2009). Gelenkter Kuhverkehr z. B. reduziert die für die Fütterung zur Verfügung stehende Zeit (KETELAAR-DE LAUWERE ET AL. 1998; PRESCOTT ET AL. 1998a; CALAMARI ET AL. 2010) und Kühe mit niedrigerem sozialen Rang verbringen mehr Zeit im Stehen, da sie vor dem AMS warten müssen (KETELAAR-DE LAUWERE ET AL. 1996). Demgegenüber können MUNKSGAARD ET AL. (2011) keine zeitlichen Differenzen im Vergleich von freiem und gelenktem Kuhverkehr feststellen.

LEXER ET AL. (2009) kommen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass bei gelenktem AMS-Kuhverkehr, gerade rangniedrigere Kühe negative Auswirkungen auf ihr Wohlbefinden zu ertragen haben. Bei ihren Untersuchungen ist das AMS gemäß Herstellerangaben nur zur Hälfte ausgelastet. Wird die Bestandsgröße bis auf das Maximum erweitert, so ist mit durchaus vehementeren, negativen Auswirkungen auf das Tierwohl, speziell für die rangniedrigere Kuh, zu rechnen. LEXER ET AL. (2009) kommen daher zu dem Schluss, dass aus Gründen des Tierwohls, der freie Kuhverkehr für das AMS als zu favorisieren gilt.

Melken mit einem AMS hat laut HOPSTER ET AL. (2002) keinen nachteiligen Effekt auf das Wohlbefinden der Kühe. Das bestätigt auch ABENI ET AL. (2005), die bei einer vergleichenden Untersuchung von Melkstands- und AMS-Melkungen keine Unterschiede hinsichtlich der ermolkenen Milchmenge und dem Milchfettgehalt feststellen können. Im Gegensatz weisen WENZEL ET AL. (2003) nach, dass Kühe, im Vergleich zwischen einem herkömmlichen Melkstand und einem AMS, Unterschiede im Verhalten und auch im physiologischen Zustand zeigen. Kühe sind demnach, wenn sie mit einem Roboter gemolken werden, vermehrt Stress ausgesetzt. Die Wissenschaftler führen dieses auf soziale Interaktionen im Wartebereich vor dem AMS, vor allem bei rangniedrigeren Kühen, zurück.

In den beiden Studien von HAGEN ET AL. (2004) und GYGAX ET AL. (2006) können keine klaren Tendenzen ausgemacht werden: Es gibt während des Melkens keine Unterschiede in der

Herzfrequenz (HR) bei Kühen, die in einem herkömmlichen Melkstand gemolken werden und in der HR von Kühen, die mit einem AMS gemolken werden.

Durch den Nachweis mit Milchcortisolkonzentrationen kommen GYGAX ET AL. (2006) zu dem Schluss, dass es zwischen dem Melken in Melkständen und dem Melken im AMS zu keinen relevanten Belastungsdifferenzen kommt. WEISS ET AL. (2004) untersucht Stressreaktionen bei der Umstellung von konventionellem Melken zum AMS mit Hilfe von Analysen der Herzfrequenzen und fäkalen Cortisol-Metaboliten (FCM). Im Allgemeinen adaptieren sich Kühe an das neue AMS innerhalb von wenigen Tagen problemlos. Es zeigt sich aber eine große individuelle Variabilität im Umgang mit der neuen Situation. Eine Anpassung an das AMS fällt Tieren mit einer höheren Sensitivität der Nebennierenrinde (NNR) auf ACTH (adrenokortikotropes Hormon der Hypophyse) leichter (WEISS ET AL. 2004).

PRESCOTT ET AL. (1998b) untersuchen die Motivation von Kühen sich in einem AMS melken zu lassen. Die Wissenschaftler stufen diese als eher gering ein, individuell sehr variabel und nicht abhängig vom Laktationsstadium. Die Gabe von Krafftutter erweist sich für die Motivation geeignet, sofern die Kühe ihre Motivation nicht an anderer Stelle befriedigen können. PRESCOTT ET AL. (1998b) kommen zu dem Schluss, dass es für einige Kühe durch das AMS zu einer Steigerung des Wohlbefindens kommt, es für andere Kühe aber keinen Vorteil bietet.

Bei Untersuchungen an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft wird festgestellt, dass die Zwischenmelkzeiten am AMS meist zu kurz eingestellt sind. Die Landwirte versuchen durch viele Melkungen die Milchleistung zu steigern. Allerdings steigt mit der Anzahl der Ansetzungen des Melkgeschirrs auch die Euterbelastung. Sind die ermolkenen Milchmengen auf Grund zu häufiger Besuche des AMS zu niedrig, so leidet die Eutergesundheit und damit das Wohlbefinden der Kuh (REIMINK 2015a).

### **2.1.1.3 Pedometer**

Bei einem Pedometer handelt es sich um einen Aktivitätsmonitor, der mit Hilfe von Bewegungssensoren Schritte zählt. Diese werden über einen vorher bestimmten Zeitraum fortlaufend aufsummiert. Mit Hilfe der Gesamtschrittzahl kann somit eine Aussage über die Aktivität getroffen werden (MÜLLER ET AL. 2010). Pedometer verfügen in der Regel über ein implementiertes Piezo-Kristall. Auf dieses werden Beschleunigungskräfte, die bei körperlicher Aktivität entstehen, übertragen. Der sog. piezoelektrische Effekt beschreibt, je nach Belastungs-Intensität, die Verformung des Piezo-Kristalls. Hierbei werden elektrische Spannungsimpulse generiert. Durch die Anzahl der Spannungsimpuls-Amplituden wird die Sollfrequenzänderung abgeleitet und daraus das Belastungsniveau kalkuliert. Bei ganz speziellen Bewegungsformen

ist die Sensitivität des Aktivitätssensors allerdings nicht ausreichend (KINDERMANN UND FRÖHLIG 2004). Dennoch lassen sich piezoelektrische Sensoren universell zum Messen verschiedener Prozesse nutzen. Sie werden hauptsächlich in der Prozesskontrolle u. a. zur Beschleunigungsmessung verwendet (BORCHERS 2008).

Pedometer und Rescounter, die Veränderungen der Schrittzahl pro Einheit erfassen, sind schon seit vielen Jahren für die Brunstüberwachung in der Milchindustrie Stand der Technik (BREHME ET AL. 2008; FRICKE ET AL. 2014a). Dies trifft ebenso für ALT-Pedometer zu, die für den Nachweis des Ruhe- und Aktivitätsverhaltens von Milchkühen in verfahrensvergleichenden Untersuchungen von OBERSCHÄTZL ET AL. (2013) als geeignet bestätigt werden. Neue Generationen von elektronischen Systemen zur kontinuierlichen Überwachung der körperlichen Aktivität werden ständig weiterentwickelt und kommen vermehrt weltweit zum Einsatz (HOLMAN ET AL. 2011; JÓNSSON ET AL. 2011). Eines der neueren Generation ist ein von Rumi-Watch weiterentwickeltes Pedometer. Es bietet mit einem neuen Algorithmus ein Messinstrument zum Aktivitäts- und Verhaltens-Monitoring bei Wiederkäuern an. In automatisierten Betrieben kann es so zu einer effizienteren Gesundheitsüberwachung beitragen. Mit der neuen Schrittzähler-Software ist weitere Forschung gerechtfertigt, um nähere Details zum normalen Bewegungsverhalten (fokussiert auf das Gehen) und zur Früherkennung von Lahmheiten zu erhalten (ALSAAOD ET AL. 2015). Bereits im Jahr 2010 gibt es Bestrebungen das Bewegungsverhalten von Kühen mit Hilfe von simplen Beschleunigungssensoren und dazu passenden Algorithmen näher zu beschreiben (NIELSEN ET AL. 2010).

WILLIAMS ET AL. (2016b) gehen einen Schritt weiter und nützen bereits GPS-Daten von Weidekühen für ihre Verhaltensuntersuchungen. Die Wissenschaftler untersuchen die Anwendung von Data-Mining-Techniken auf Features, die aus zeitbasierten GPS-Daten extrahiert werden. In weiteren Untersuchungen sollen die GPS-Datensequenzen genauer identifiziert werden, um so Rückschlüsse auf das Verhalten treffen zu können. Aktuell scheint dieses Thema sehr interessant zu sein, denn auch ARCIDIACONO ET AL. (2017) befassen sich mit dieser Thematik. In ihrer Studie wird ein neuer Open-Source-Algorithmus realisiert, der sich durch einen linearen Rechenaufwand auszeichnet, um die Echtzeit-Überwachung und Analyse des Gehverhaltens von Milchkühen zu verbessern. Dieser neu entwickelte Algorithmus wird in einem Inertial-Sensor-basierten System, bestehend aus Low Cost Geräten, einschließlich tragbaren Sensoren und Open-Source-Software, eingesetzt. Der Algorithmus berechnet die Anzahl der Schritte jeder Kuh aus den Daten eines Beschleunigungsmessers mit Hilfe von statistisch definierten Schwellenwerten. Die Ergebnisse zeigen, dass dieses System mit einem

simplen, aber exakten Schrittzähler, eine bessere Leistung, vor allem aufgrund eines stringenter statistischen Ansatzes zur Definition von Schwellenwerten, erzielt (ARCIDIACONO ET AL. 2017).

Viele Hersteller von Melktechnik verwenden sog. Rescounter (Hals oder Fuß), um mit diesem System eine eventuelle erhöhte Aktivität anzeigen zu können (STEVENSON ET AL. 2014). Die Messung mit Rescountern am Bein bietet den Vorteil gegenüber Halsbändern, dass hier nur klar definierte Bewegungsaktivitäten gemessen werden. Nach BREHME ET AL. (2003) ist „der Aktivitätsimpuls, am Fesselbein gemessen, [...] klar definiert als eine Bewegung des Beins am Ort oder als eine seitwärts, vorwärts oder rückwärts gerichtete aktive Bewegung des Beins“.

Bei Vergleichsversuchen von Pedometern mit Rescountern können BREHME ET AL. (2003) eine durchschnittliche Aktivität von  $1156 \pm 467$  Aktivitätsimpulse/d bzw. 681 Aktivitätsimpulse/h bei Milchkühen aufzeichnen.

### 2.1.2 Belastung / Stress

Erstmals in den 1940er Jahren verwendet der österreichische Biochemiker und Arzt Hans Selye (Lebzeiten 1907 bis 1982) den Begriff *Stress*. Für ihn beinhaltet dieser Begriff, ganz allgemein, Auswirkungen von Belastungen auf den lebenden Organismus. Hierzu zählt er sowohl körperliche als auch seelische Beeinträchtigungen. Belasten diese einen Organismus über längere Zeit, so werden sie mittlerweile als gesundheitliche Risikofaktoren definiert (KALUZA 2015). Stress bezeichnet somit einen Vorgang, der ein Lebewesen aus dem Gleichgewicht bringt. Der Organismus ist jedoch bestrebt, den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen, was durch eine unwillkürliche Mobilisierung von Ressourcen geschieht (HOFFMANN 2008). Eine andere Alternative besteht z. B. in der Flucht vor dem stressauslösenden Ereignis. Dies geschieht durch die sofortige körperliche und seelische Adaption des Organismus in einer Notsituation und wird häufig auch als *Fight-or-flight*-Reaktion bezeichnet (CANNON 1914). Stress kann erhebliche, negative Auswirkungen auf eine Vielzahl von Körperfunktionen haben, u. a. auf das Immunsystem, auf die Fortpflanzung, auf die Kognition und auf das Verhalten (MUNCK ET AL. 1984; TOUMA UND PALME 2005; HOLST 2012). Der Körper regelt seine Stressadaption in Abhängigkeit von Intensität und Dauer des jeweiligen Stressors bzw. Stimulus. Befindet sich der Organismus in einer kurzfristigen Stressreaktion, so schüttet er Catecholamine, z. B. Adrenalin und Noradrenalin, aus. Bei längeren Belastungen wird mittels Corticosteroiden der Abbau körpereigener Substanzen vorangetrieben (BORELL 2009). Generell ist aber nicht jeder Stress für den Organismus schädlich. Es können zwei Arten von Stress unterschieden werden: Der positive, belebende Eustress und der negative Distress (SELYE 1976). Eustress gilt als stimulierend und motivierend. Diese Art von Stress findet sich vor allem bei

Lern- und Erfahrungsprozessen als auch in Trainingssituationen wieder. Disstress dagegen wird als unangenehm empfunden und kann bis zu gesundheitlichen Schäden führen (LOEFFLER UND GÄBEL 2013; WOLFSOHN 2011). Es gibt verschiedene Arten von stressauslösenden Stimuli, die auf das Tier einwirken können. Physische, chemische oder auch psychische Ereignisse können belastend sein. Als Beispiel seien hier einige exemplarisch genannt: Angst, Hunger oder Durst, Schmerzen, Lärm, Krankheit, ungewohnte Situationen (Gruppenwechsel, Eingliederung neuer Tiere, Fixierungen für den Tierarzt oder Klauenpflege) etc. (HERSKIN ET AL. 2004; NIEDERHÖFER 2009; BURDICK ET AL. 2011). Eine Leistungseinbuße kann z. B. bereits durch Erschrecken entstehen: Erschrickt eine Kuh, so stoppt sie das Wiederkauen so lange, bis sie sich wieder beruhigt hat (SCHEUNERT 1927). Auch das Melken an sich, scheint schon für das Rind eine Belastung darzustellen, da der Cortisolspiegel während des Melkens ansteigt. Beim Säugen durch ein Kalb bleibt der Cortisolspiegel dagegen nahezu unverändert (LUPOLI ET AL. 2001).

Um Stress korrekt zu bewerten und damit eine Aussage zu möglichen Belastungen treffen zu können, ist es sinnvoll verschiedenen Messungen z. B. physiologische Daten und Verhaltensbeobachtungen zu kombinieren (RUSHEN ET AL. 2011). WEBSTER ET AL. (2008) können in einer Studie nachweisen, dass Kühe mit Anzeichen von Stress u. a. mit einem erhöhten Cortisolspiegel und einer Reduzierung ihrer Liege- und Fresszeiten, auf kaltes und nasses Wetter reagieren. Die Aktivität des autonomen Nervensystems kann indirekt z. B. durch die HR bzw. die Herzfrequenzvariabilität (HRV) gemessen werden. Die HR ist daher ein guter Indikator für Stress bzw. lässt Aussagen zum Tierwohl zu (BORELL ET AL. 2007). Insgesamt betrachtet, kann jede Störung des Biorhythmus als ein Anzeichen eines eingeschränkten Tierwohls gewertet werden (WEBSTER ET AL. 2008).

### **2.1.2.1 Stress und Tierverhalten**

Der Begriff Kuhkomfort stammt aus den 1970er Jahren und wird erstmals in den USA verwendet. Da die Amerikaner kein Milchquotensystem kennen, hat eine Zunahme in der Milchleistung direkten Einfluss auf den wirtschaftlichen Erfolg eines Betriebes. Die Bestrebungen sind daher eine möglichst große Tagesmilchmenge zu produzieren. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass sich dies am besten erreichen lässt, wenn das Haltungssystem an die Bedürfnisse der Kühe adaptiert wird. Ursächlich für die Entstehung und Weiterentwicklung des Kuhkomforts sind daher nicht tierschützende Aspekte sondern rein wirtschaftliche Ambitionen (LUTZ 2000). Eine Beurteilung des Tierwohlseins ist sehr vielschichtig. Es bedarf einer Kombination aus tierbasierten und ressourcen-gestützten Maßnahmen, um den aktuellen Stand des Tierwohlseins beurteilen zu können (RUSHEN ET AL. 2011). Gerade stressauslösende Faktoren und damit der Stress selbst haben einen großen Einfluss auf das Tierwohl. Häufig werden

Reize aus der Umwelt definiert als *Stressfaktoren*. Diese führen zu einem Ungleichgewicht der Homöostase und lösen dementsprechende Abwehrreaktionen beim Tier aus. Im Gehirn, der zentralen Schaltstelle, die Stressoren mit Reaktionen verknüpft, werden Stressreaktionen ausgelöst (MÖSTL UND PALME 2002).

Stressreaktionen sind aber nicht von Haus aus schädlich. Sie werden in erster Linie ausgelöst, um dem Organismus in gefährlichen Situationen zu helfen und besser mit besonderen Umweltsituationen umgehen zu können. Befindet sich der Organismus allerdings zu lange oder zu häufig in solchen Ausnahmesituationen, so sind schädliche Effekte und Beeinträchtigungen auf den Organismus nicht auszuschließen (MOBERG UND MENCH 2000).

Die Grundbedürfnisse von Rindern (Wasser, Futter, Ruheplätze und Fortpflanzungspartner) sind untereinander durch eine Rangordnung geregelt. Der Rang innerhalb eines Herdenverbandes stellt sich relativ stabil, ab einem Alter von eineinhalb Jahren, ein (SAMBRAUS 1978). Innerhalb einer Herde besteht somit ein stabiles Ranggefüge. Dieses wird bei der Integration von gruppenfremden Kühen, bzw. bei Ortswechseln (z. B. Weideaustrieb nach der Wintersaison im Anbindestall) in Frage gestellt und es kann zu einer Rangauseinandersetzung bis hin zu einer neuen Rangbildung kommen (SCHRADER UND MAYER 2004). Kommt es zu Zu- oder Abgängen in einer Gruppe, so erfolgt in der Regel innerhalb von ein bis drei Tagen eine Neugruppierung mit einem neuen Ranggefüge. Die entstandene Rangfolge wird dann lediglich über das Ausdrucksverhalten gewahrt (KONDO UND HURNIK 1990). Kühe in Stallhaltung versuchen daher einen Mindestabstand von einem halben bis drei Metern einzuhalten (SCHRADER UND MAYER 2004). Rinder auf der Weide, denen ein größeres Flächenangebot zur Verfügung steht, halten größere Distanzen untereinander von ca. zehn bis zwölf Metern ein (KONDO ET AL. 1989). Erst wenn Ressourcen knapp werden, spielt die soziale Dominanz eine entscheidende Rolle (SYME UND SYME 1979). Ranghöhere Tiere können sich gerade in Konkurrenzsituationen (begrenzte Anzahl an Fütterungs- und/oder Liegeplätzen) besser durchsetzen und haben somit leichteren Zugang zu diesen Ressourcen (WIERENGA UND HOPSTER 1990). Der soziale Status eines Tieres hat auch Einfluss auf die Anzahl individueller Begegnungen und den daraus für sie entstehenden Zwängen. Z. B. können rangniedrigere Kühe durch reduzierte Liegezeiten bzw. durch vermehrtes Stehen, in räumlich beengten Situationen, negativ beeinflusst werden (WIERENGA 1983). Dies wird auch durch die Studie von MÜLLEDER ET AL. (2003) belegt, wobei festgestellt wird, dass Kühe verschiedene Verhaltensstrategien verwenden, um sich an ihr soziales Umfeld zu adaptieren. Dabei zeigen die Tiere oft große individuelle Unterschiede im Sozialverhalten (MANTECA UND DEAG 1993) und auch in ihren physiologischen Reaktionen auf bestimmte Situationen, die nicht alleine durch den sozialen Status erklärt werden können (RAAB ET AL. 1986; SCHRADER 2001).

Die effektivste Produktion tierischer Lebensmittel wird erreicht, wenn die meteorologischen Bedingungen (z. B. Kälte, Hitze, Sonneneinstrahlung, Stallklima) innerhalb bestimmter Grenzen liegen. Außerhalb dieses Indifferenzbereichs erleidet das Tier meteorologischen Stress. Hochleistungstiere produzieren auf Grund ihres hohen metabolischen Umsatzes viel Eigenwärme. Steigt die Körpertemperatur zu sehr an, so verringert sich die Fressleistung und damit die Milchleistung (BIANCA 1976). Nach BRADE (2013) erleidet eine Kuh bereits ab 24 °C leichten Hitzestress, d. h. sie ist nicht mehr in der Lage, ihre Körperwärme an die Umgebung abzugeben. „Folgen des Hitzestresses sind eine sinkende Futteraufnahme und Milchleistung“ (BRADE 2013). Weitere äußere Anzeichen sind ein Anstieg der Atemfrequenz bis zu 92 Atemzüge pro Minute (FRÜHWIRTH ET AL. 2014) und ein selteneres Ablegen. Die Tiere halten sich folglich in windzugänglichen Bereichen und in der Nähe der Tränken auf (BRADE 2013). Bei Hitzestress kommt es typischerweise zu einer Reduktion der HR (KADZERE ET AL. 2002). Auch die Reduzierung von Liegezeiten kann bei Milchkühen zu physiologischen und verhaltensrelevanten Stressreaktionen führen (MUNKSGAARD UND SIMONSEN 1996; FISHER ET AL. 2002; NORRING UND VALROS 2016). Um Stresssituationen langfristig zu entschärfen, kann entweder durch Selektion oder züchterische Maßnahmen eingegriffen werden oder es erfolgt eine Anpassung der Haltungsbedingungen durch technische Maßnahmen (BIANCA 1976).

### 2.1.2.2 Stressphysiologie

Stress löst physiologische Reaktionen aus, die eine Kaskade von Ereignissen umfasst und in der Freisetzung von Glucocorticoiden (GC) aus der NNR endet (MÖSTL UND PALME 2002; PALME 2012). Durch Stress werden verschiedene adaptive hormonelle Reaktionen stimuliert. Dazu gehören die Sekretionen von Catecholaminen aus dem Nebennierenmark, Corticosteroide (eine Klasse von Steroidhormonen) aus der NNR und Adrenocorticotropinen aus dem Hypophysenvorderlappen. Catecholamine und GC bzw. deren Metaboliten werden innerhalb von kürzester Zeit (Sekunden- bis Minuten-Bereich) aus der NNR sezerniert, um auf einen Stressor zu reagieren. Beide Hormone werden schnell metabolisiert und später über den Urin bzw. mit dem Kot ausgeschieden (EL-BAHR ET AL. 2005; PALME ET AL. 2005; LEPSCHY ET AL. 2008). Somit sind eine Reihe komplexer Wechselwirkungen (Abb. 2) an der Regulation dieser Hormone beteiligt (AXELROD UND REISINE 1984; LADEWIG 1994). Bei allen Spezies sezerniert die NNR die Steroide Aldosteron, Cortisol und Corticosteron. Aber das Plasma-Verhältnis der GC, Cortisol zu Corticosteron, ist von Spezies zu Spezies verschieden. Bei einigen Arten wie Wiederkäuern, Pferden, Schweinen, Hunden und Katzen herrscht Cortisol vor, während bei anderen Tierarten (z. B. bei einigen Nagetierarten oder Vögeln) Corticosteron das dominantere GC ist. Das Cortisol/Corticosteron-Verhältnis beim Mensch und bei Kühen beträgt etwa eins zu sieben (GANONG ET AL. 2013; MÖSTL 2014).

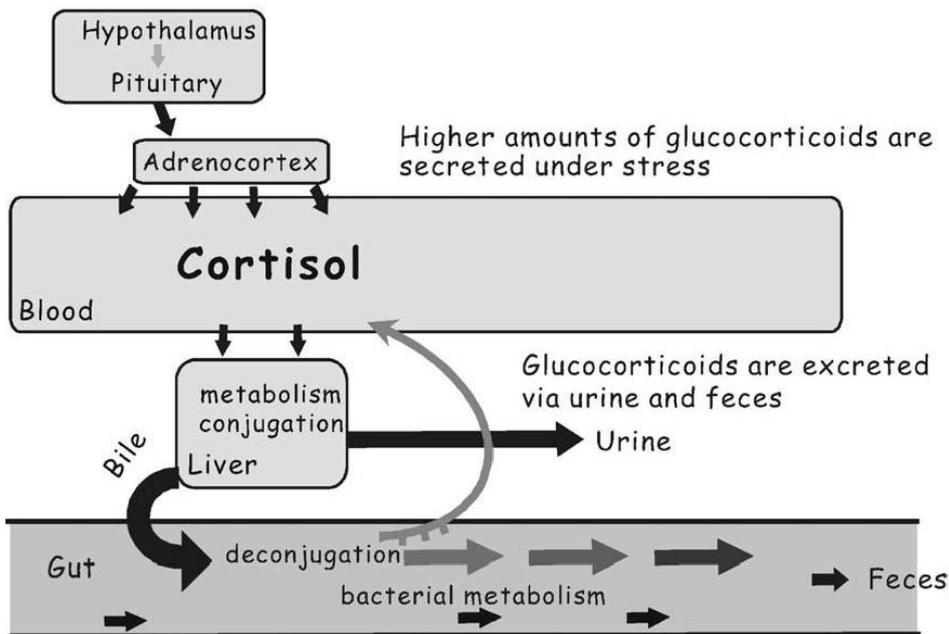


Abb. 2: Schema der Glucocorticoid Sekretion, Stoffwechsel und Ausscheidung (MÖSTL UND PALME 2002)

Steroide, u. a. Cortisol, sind im Blut nur wenige Minuten nachweisbar (BAMBERG 1994), nachdem sie zuvor größtenteils in der Leber metabolisiert werden (BROWNIE 1992). Die Leber stellt somit das vorherrschende Organ für den GC-Metabolismus dar (MÖSTL 2014). Eine Ausscheidung erfolgt dann als Konjugate über die Niere mit dem Harn oder über die Galle mit dem Kot (PALME UND MÖSTL 2001; TOUMA UND PALME 2005). Mit Hilfe von bakteriellen Enzymen des Darms werden die Konjugate und die GC verstoffwechselt (MACDONALD ET AL. 1983). Die Steroidester werden von Darmbakterien gespalten und freie Steroide rückresorbiert (enterohepatischer Kreislauf) (RABE UND RUNNEBAUM 1982). Verbleibende Reste der Sexualsteroiden werden zum größten Teil über den Kot ausgeschieden (HOFFMANN UND EVERS 1986; PALME ET AL. 1996).

### 2.1.2.3 Cortisol

Für die jeweilige Ausprägung einer Stressantwort durch den Körper sind nicht nur die verschiedenen Stressoren selbst, sondern auch der individuelle Charakter eines Tieres mitverantwortlich (LADEWIG 1994). Kommt es bei einem Rind zu einer Stresssituation, so werden das hypothalamo-hypophysär-adrenocortikale und das sympatho-adrenomedulläre System aktiviert, so dass es zu einem Anstieg von Cortisol bzw. Catecholaminen im Blut kommt. Durch die GC

gelingt es dem Organismus Stresssituationen zu überwinden (SAPOLSKY ET AL. 2000). Bei Corticoiden handelt es sich um chemische Substanzen, hauptsächlich Steroidhormone oder chemisch vergleichbare Stoffe, die in der NNR gebildet werden. Die meisten endogenen GC werden in den NNR produziert, aber auch andere Organe, wie das Lymphgewebe, der Verdauungstrakt oder die Haut können Cortisol oder Corticosterone herstellen (TALABÉR ET AL. 2013). Der Cortisol-Anstieg dient somit als endokriner Nachweis von Belastungen (LADEWIG 1994). Für langfristige Stressmessungen sind allerdings eher Cortisol Synthesen des Haarkleids geeignet (RUSSELL ET AL. 2012). Die NNR-Aktivität wird somit häufig als Indikator für sozialen Stress und damit als ein Indikator für Tierwohl verwendet. Unterschiedliche NNR-Aktivitäten könnten aber auch grundlegende Unterschiede in der Physiologie ausdrücken (KOOLHAAS ET AL. 1999).

Um eine Belastung bzw. eine Aktivität der NNR mit einer nicht invasiven, unkomplizierten Methode nachweisen zu können, werden Cortisol-Metaboliten (es können nur die Metaboliten nachgewiesen werden) aus dem Kot betrachtet. Kot kann ohne großen Aufwand und ohne Beeinträchtigung des Tieres gesammelt werden (PALME UND MÖSTL 2001; PALME 2012; ZWIJACZ-KOZICA ET AL. 2013). Diese Art des Cortisol-Nachweises, d. h. eine Messung der Cortisol-Metaboliten, wird erstmals von PALME UND MÖSTL (1997) für kleine Wiederkäuer beschrieben. Diese Art der Messung der GC-Konzentration bzw. deren Metaboliten im Kot bietet den Vorteil, dass das Testsystem *post hoc* Informationen zur Verfügung stellt und mögliche, vorangegangenen Belastungen widerspiegelt (MÖSTL 2014). Für jede Spezies gibt es, im Vergleich zum Plasmaspiegel, eine bestimmte artspezifische Verzögerungszeit, die durch die Darmpassagezeit verursacht wird (MÖSTL 2014) und daher eine rückwirkende Feststellung von Stress verursachenden Situationen erlaubt (PALME UND MÖSTL 2001). „Mit Hilfe von radioaktiv markiertem Cortisol konnten der Weg [...] und die zeitliche Verzögerung der Ausscheidung, sowie die gebildeten Metaboliten bei verschiedenen Tierarten bestimmt werden“ (PALME UND MÖSTL 2001). Erhöhte Plasma GC-Werte, als Reaktion auf Stress, sind erst nach der Darmdurchgangszeit von Duodenum bis Rektum in den ausgeschiedenen FCM nachweisbar (PALME ET AL. 1996). Beim Rind beträgt die zeitliche Verzögerung durch die Darmpassagezeit ca. zehn bis zwölf Stunden (PALME ET AL. 1996; MÖSTL UND PALME 2002). Zusätzlich wird diese spezifische Darmpassagezeit durch individuelle und andere Faktoren, wie z. B. die Futteraufnahme, beeinflusst (MORROW ET AL. 2002; PALME ET AL. 2005). Auch MÖSTL ET AL. (2002) und MÖSTL UND PALME (2002) können nachweisen, dass Veränderungen in der Ernährung, des Darmtransits und bzw. oder der bakteriellen Aktivität zu Modifikationen bei der FCM-Konzentration führen.

Cortisol bzw. Cortisol-Metaboliten des Rindes lassen sich in den Körperflüssigkeiten der verschiedenen Körper-Kompartimenten nachweisen. Dazu gehören Blutplasma, Speichel, Milch, Urin und im Kot (RUSHEN ET AL. 2007). In früheren Studien werden häufig Cortisol-Werte aus dem Blut analysiert, heutzutage werden eher invasive Untersuchungsmethoden wie z. B. Speichel- oder FCM-Analysen durchgeführt.

GYGAX ET AL. (2006) werten in ihrer Studie Milch-Cortisol-Konzentrationen aus. Hierbei können sie eine tägliche Periodizität der Milch-Cortisol-Konzentrations-Höchstwerte am frühen Morgen und am späten Nachmittag ermitteln: Die gemessenen Cortisol-Konzentrationen sind in den Abendstunden niedriger als in den Morgenstunden ( $1,01 \pm 0,12$  vs.  $1,24 \pm 0,13$  nmol/l). Darüber hinaus kann ZÄHNER (2001) feststellen, dass im Winter bei tiefen Umgebungstemperaturen bzw. im Sommer bei hohen Temperaturen die durchschnittlichen Milch-Cortisolkonzentrationen ansteigen und der circadiane Rhythmus verschwindet.

Cortisol-Konzentrationen in der Milch und im Blut sind eng miteinander korreliert (SHUTT UND FELL 1985; VERKERK ET AL. 1998). SHUTT UND FELL (1985) weisen in ihren Untersuchungen eine 1:1-Beziehung der absoluten Mengen zwischen freiem Cortisol im Blut und in der Milch nach. In anderen Studien macht der Gesamtmilch-Cortisol-Anteil lediglich ein Sechstel der Blutwerte aus (BREMEL UND GANGWER 1978; TERMEULEN ET AL. 1981; VERKERK ET AL. 1998).

RUSHEN ET AL. (2001) und HOPSTER ET AL. (2002) können nachweisen, dass während des Melkens der Blut-Cortisolspiegel auf 10 ng/ml bis 25 ng/ml ansteigt (Anmerkung: Die Umrechnung von Cortisol ng/ml in nmol/l erfolgt mit dem Faktor 2,76 (SYNLAB HOLDING DEUTSCHLAND GMBH 2015)).

Grundsätzlich induziert das Melken an sich eine Zunahme von peripherem Cortisol (GOREWIT ET AL. 1992), wohingegen durch Fütterungen eine Abnahme dieser Konzentration festgestellt werden kann (SAMUELSSON ET AL. 1996).

Bereits 1987 macht THUN (1987) das Licht als mit ursächlich für die circadiane Rhythmik bei Kühen verantwortlich. Ein derartiger circadianer Rhythmus kann bei vielen Arten über die Glucocorticoid-Konzentration im Blut nachgewiesen werden (SON ET AL. 2011). Es kommen aber auch ultradiane Konzentrationsmuster vor (YOUNG ET AL. 2004). Beim ultradianen Rhythmus handelt es sich um eine rhythmische Veränderung mit einer Periodendauer von weniger als 24 Stunden (PETER ET AL. 2007). Die circadiane Rhythmik dagegen beschreibt endogene Rhythmen mit einem Periodenintervall von circa einem Tag (ALBRECHT 2010).

LEFCOURT ET AL. (1993) ermitteln schwach circadiane Cortisol-Konzentrationen bei Milchkühen. Die durchschnittlichen Minima liegen bei 3,1 ng/ml am frühen Abend gegen 18:00 Uhr,

die durchschnittlichen Maxima dagegen bei 4,5 ng/ml am frühen Morgen gegen 05:30 Uhr. Des Weiteren können die Wissenschaftler starke ultradiane Rhythmen von ca. 120 Minuten feststellen. Allerdings können LEFCOURT ET AL. (1993) keinen direkten Zusammenhang zwischen ultradianen Spitzenwerten (1 bis 17 ng/ml) und Fütterungszeiten bzw. Melkungen ausmachen.

WAGNER UND OXENREIDER (1972) stellen in ihren Untersuchungen fest, dass der Cortisolspiegel zwischen 18:00 Uhr und 02:00 Uhr signifikant niedriger ist als die Werte zu anderen Tageszeiten. Allerdings ermitteln sie keine Cortisol-Spitzen am frühen Morgen. Hierzu passt die Studie von MACADAM UND EBERHART (1972). Sie verzeichnen einen statistisch gültigen Tagesrhythmus mit höheren Plasma-Corticosteroid-Konzentrationen von 02:30 Uhr bis 06:30 Uhr und niedrigeren Konzentrationen um 08:30 Uhr. Trächtigkeits- und Laktations-Status haben hier keinen signifikanten Einfluss auf das tägliche Muster. Die Spitzenwerte im Cortisol-Rhythmus gegen 06:00 Uhr morgens können auch von FULKERSON ET AL. (1980) und THUN ET AL. (1981) bestätigt werden.

Diesen Forschungsergebnissen widersprechen bereits früher durchgeführte Untersuchungen. Anhand der aus den 1970er Jahren gewonnenen Resultate hat der Hormonhaushalt während der Trächtigkeit (ADAMS UND WAGNER 1970; SMITH ET AL. 1973), der Geburt (HOFFMANN ET AL. 1973) und in der Laktation Einfluss auf den GC-Spiegels bei der Kuh (HUDSON ET AL. 1975). HUDSON ET AL. (1975) können generell in ihrer Studie keine Tagesrhythmik von Cortisol bei Kühen nachweisen.

In der Studie von PALME ET AL. (1999) werden basale FCM-Werte von 34 bis 445 nmol/kg gemessen. In einer Studie ein Jahr später, zum Transportstress, streuen die von PALME ET AL. (2000) gemessenen Basalkonzentrationen von 51 bis 282 nmol/kg (Median). In allen diesen Untersuchungen befinden sich die Mittelwerte etwa auf dem gleichen Niveau (88 bis 99 nmol/kg). Dies unterstreicht die Annahme, dass es große individuelle Variationen in den basalen FCM-Werten gibt (PALME ET AL. 1999; PALME ET AL. 2000). Bei weiteren Untersuchungen zum Transport unter kommerziellen Bedingungen von Schlachtrindern kann SCHMEIDUCH (2002) für den Stressparameter Cortisol eine Gewöhnung an die Belastungssituation mit zunehmender Transportdauer belegen.

WEISS ET AL. (2005) stellen keine Unterschiede in den Dioxoandrostane (DOA) Konzentrationen zwischen den Kot-Probennahmen am Morgen und am Abend fest ( $159 \pm 8$  und  $184 \pm 8$  ng/g bei AMS unerfahrenen Kühen bzw.  $228 \pm 13$  und  $222 \pm 12$  ng/g bei AMS gewöhnten Kühen). Dabei sind die DOA-Konzentrationen von Hochleistungskühen, unabhängig von

ihren bisherigen Erfahrungen mit einem AMS, hoch. Kühe mit einer tendenziell geringeren Milchleistung weisen dagegen niedrigere DOA-Konzentrationen auf.

PESENHOFER ET AL. (2006) untersuchen die Stressbelastung in zwei verschiedenen Klauenpflegeständen mit Fixierung. Die Milchleistung ist nur am Tag der Klauenpflege und am Tag danach um 0,6 Liter reduziert. Es besteht kein signifikanter Unterschied im Milchmengenrückgang zwischen den Kühen der beiden Gruppen. Allerdings zeigen „Kühe, die im Durchtreibe-stand gepflegt worden waren, [...] einen höheren Anstieg der FCM-Konzentration (Median: 216 nmol), im Vergleich zu den am Kippstand ausgeschnittenen Kühen (Median: 141 nmol/kg)“. Die zuvor gemessenen Median-Basalwerte liegen bei 81 nmol/kg bzw. 89 nmol/kg.

ROUHA-MÜLLEDER ET AL. (2010) können in ihren Untersuchungen durchschnittliche Konzentrationen der Cortisol-Metaboliten von 77 nmol/kg (von 30 nmol/kg bis 157 nmol/kg) messen. Allerdings ergeben sich in dieser Studie keine direkten Zusammenhänge zwischen agonistischem Verhalten und der Cortisol-Metaboliten-Konzentration. In 29 Milchviehherden mit freien Liegeflächen bzw. Liegeboxen kommen PALME ET AL. (2003) in ihren Messungen zu ähnlichen Werten: Median gerundet - Boxenlaufstall 75 nmol/kg, Tiefstreu und Tretmist 50 nmol/kg. Dies bestätigt auch die Studie von MÜLLEDER ET AL. (2003) bei einer im Boxenlaufstall gehaltenen Mutterkuhherde: Von 29 Tieren werden die Medianwerte der FCM (11, 17 Dioxoandrostane) ermittelt. Diese reichen von (gerundet) 59 nmol/kg, über 77 nmol/kg bis hin zu 103 nmol/kg bei den in drei, nach sozialer Rangstellung, eingeteilten Gruppen.

TALLO-PARRA ET AL. (2015) ermitteln bei Holstein-Friesian Milchkühen (Alter von 2,1 bis 7,2 Jahren, Durchschnittsalter vier Jahre), die zweimal täglich mit dem Roboter gemolken werden, eine signifikante Korrelation zwischen FCM (Mittelwert aller trockenen FCM-Proben  $25,27 \pm 4,16$  ng/g, bei einer Bandbreite von 10,14 bis 54,83 ng/g) und Cortisol im weißen Haarkleid.

KOVÁCS ET AL. (2015b) untersuchen chronischen Stress, ausgelöst durch Lahmheit. Sie können in ihrer Studie bei 52 Holstein-Friesian Milchkühen Morgen-FCM-Werte von  $54,5 \pm 8,6$  ng/g und Abend-FCM-Werte von  $57,2 \pm 11,8$  ng/g bei gesunden Kühen messen. Letztendlich kommen sie zu dem Schluss, dass chronische Schmerzen nicht zwangsläufig zu Veränderungen der FCM-Konzentrationen führen.

In Untersuchungen von HUZZEY ET AL. (2012) kann aufgezeigt werden, dass eine Überbelegung während der Trockenstellphase zu Veränderungen im Energiestoffwechsel führt. Die Rolle, die dabei das Steroidhormon Cortisol bei der Beeinflussung dieser Effekte spielt, ist allerdings noch unklar. Ein Jahr später weisen australische Wissenschaftler nach, dass der

Cortisol-Gehalt bei zufällig ausgewählten Tieren, unterschiedlicher Herden, bei Stress ansteigt. Die gestressten Kühe haben im Vergleich zu entspannten Tieren eine schlechtere Gesundheit und eine um sechs Prozent niedrigere Milchleistung (HASEMANN 2013).

Dieser kurze Digest aus einer Auswahl von Literatur zu Cortisol bei Rindern macht deutlich, wie vielen extrinsischen Einflussfaktoren die Bestimmung der Cortisol-Werte unterliegt. Hinzu kommen dann vor allem noch die tierindividuellen Schwankungen. Gerade diese, die ebenso den verschiedensten Einflüssen unterliegen, machen es schwer, Bandbreiten für Basal- und Stresswerte festzulegen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Verwendung von nicht invasiven Stressmessungen z. B. FCM-Messungen in Kombination mit anderen Maßnahmen z. B. Verhaltensanalysen laut MORROW ET AL. (2002) geeignet sind, um Stress von Milchkühen aufzuzeigen. Gerade die Ausschüttung von GC ist ein Zeichen für Stress. Somit kann durch Konzentrationsauswertungen eine Aussage über mögliche Belastungen eines Tieres getroffen werden (BROOM UND JOHNSON 1993; MÖSTL UND PALME 2002). Grenzwerte, ab wann von erhöhten Cortisolmetabolitenwerten gesprochen werden kann, müssen noch festgelegt werden (ROUHA-MÜLLEDER ET AL. 2010). Erst dann kann eine Stressgrenze definiert werden.

### **2.1.3 Herzaktivität**

Für die Versorgung des gesamten Organismus mit Blut sind Herz- und Blutkreislauf verantwortlich. Über das Blut werden die Resorptionsstoffe der Nahrung in den Darm, in die Leber-, in die Fettgewebe- und in die Knochendepots transportiert. Darüber hinaus gewährleistet das Transportmedium Blut den Gasaustausch in der Lunge, den Wärmetransport und den Stoffwechsel in sämtliche Körperzellen (LOEFFLER UND GÄBEL 2013).

Das bedeutsamste Organ des Herz-Kreislauf-Systems ist das Herz. Es ist ein vierkammeriges Hohlorgan. Den größten Anteil stellt das Myokardium (Herzmuskel) dar. Dieses wird vom Pericardium (Herzbeutel) umschlossen. Das Herz liegt zentral in der Brusthöhle. Es versorgt über den großen und den kleinen Kreislauf das Gehirn und die gesamte Körperperipherie. Damit gewährleistet das Herz die Zirkulation des Blutes in den Blutgefäßen (KÖNIG ET AL. 2012).

Die Pumpfunktion wird durch Kontraktionen und Erschlaffungen des Herzmuskels erreicht (KÖNIG ET AL. 2012). Das Herz pumpt mit jedem Herzschlag eine bestimmte Menge an Blut in die Körperzellen. Dies wird als Schlagvolumen (SV) des Herzens bezeichnet. Das Herzminutenvolumen (HMV) errechnet sich aus dem Produkt von SV und Schlagfrequenz. Es bezeichnet die gesamte Auswurfleistung des Herzens. Die Systole stellt dabei die Kontraktions- und die Diastole die Erschlaffungsphase des Herzens dar (LOEFFLER UND GÄBEL 2013).

Die Kommunikation zwischen den Organen erfolgt u. a. durch minimale elektrische Impulse, ausgehend vom Nervensystem (SILBERNAGL ET AL. 1991). Das autonome, vegetative Nervensystem ist für die unwillkürliche und unbewusste Steuerung aller Organe zuständig. Diesem viszeralen Nervensystem gehören das sympathische, das parasympathische und das enterische Nervensystem an (FALLER ET AL. 1995). Das enterische Nervensystem bzw. das Darmwandnervensystem regelt die Verdauung (ABDOLVAHAB-EMMINGER UND BENZ 2005). Der Sympathikus ist u. a. für die Steigerung der HR in physischen oder psychischen Stresssituationen zuständig: Der Körper wird auf eine Flucht- oder Kampf-Situation (CANNON 1914) durch katabole (Körpersubstanz abbauende) Aktivität vorbereitet. Das parasympathische Nervensystem hingegen steuert die Ruhe- und Entlastungsphase. Dominiert dieses System, so sind hauptsächlich anabole (Körpersubstanz aufbauende) Stoffwechselprozesse aktiv, d. h. die HR verlangsamt sich (FALLER ET AL. 1995).

Das Herz ist in der Lage seine Leistung, d. h. die HR und das HMV, innerhalb von Sekunden bei Belastungen zu erhöhen. Spätestens nach wenigen Sekunden hat sich das Herz, ausgelöst durch extracardiale (nervale und humorale) Signale, an die neue Belastungssituation durch intracardiale Mechanismen adaptiert. Die HR beim Rind kann dabei bis zum Dreifachen des Ruhewertes von durchschnittlich 55 Schlägen pro Minute ansteigen (HARMEYER 2005).

Für Stressmessungen werden als Parameter in der Regel die HR und die HRV herangezogen. Die HRV, das heißt die kurzfristigen Schwankungen der beat-to-beat Intervalle (RR), spiegelt das Gleichgewicht von Sympathikus und Parasympathikus wider und ermöglicht so Aussagen über die Stressreaktion des autonomen Nervensystems (SCHMIDT ET AL. 2010a).

Um die Herzaktivität im Feldversuch darstellen zu können, wird immer mehr die nicht-invasive Messung von HR und HRV für die Beurteilung von Stress bei Milchvieh verwendet (KOVÁCS ET AL. 2015b). Darüber hinaus wird sie auch benützt, um Verhaltensänderungen bei Milchkühen zu überprüfen (NECHANITZKY ET AL. 2015). Bereits 1994 können HOPSTER UND BLOKHUIS (1994) nachweisen, dass das ursprünglich für Pferde entwickelte Polar-Messgerät zur HR- und HRV-Messung bei Milchkühen problemlos eingesetzt werden kann. Eine einwandfreie Messgenauigkeit bestätigen diesem auch KINGSLEY ET AL. (2005): In einer vergleichenden Untersuchung von RR-Intervallen mit Spektralkomponenten der RR-Intervallvariabilitätsdaten aus einem klinischen EKG-Aufzeichnungs- und Analysegerät (Reynolds Pathfinder) und einem herkömmlichen Herzfrequenzmonitor (Polar 810 s) erweisen sich beide Geräte als geeignet für die Messung der HR (KINGSLEY ET AL. 2005).

### 2.1.3.1 Herzfrequenz

Als Herzfrequenz (HR) wird die Anzahl der Herzschläge pro Zeiteinheit bezeichnet (LÖLLGEN 2015).

$$60s / R - \text{Zacken} - \text{Abstand (s)} = \text{Schläge / min}$$

Für gewöhnlich erfolgt die Angabe in  $\text{min}^{-1}$  oder in bpm (FALLER ET AL. 1995). Impulse, die durch Schrittmacherzellen ausgelöst werden, lassen das Herz mit einer bestimmten Schlagzahl pro Minute schlagen (ARRENBURG ET AL. 2010). Aus dem Abstand zweier aufeinanderfolgenden R-Zacken (Dauer einer Herzperiode oder RR-Abstand, gemessen in der Einheit Millisekunden), kann entweder mathematisch oder mit Hilfe eines Elektrokardiogramm-Lineals die gegenwärtige HR berechnet werden (FALLER ET AL. 1995).

Im trivialen Sprachgebrauch wird die HR oft mit der Pulsfrequenz gleichgesetzt, da diese in der Regel übereinstimmen. Bei bestimmten Unregelmäßigkeiten der Herzaktion z. B. bei Herzrhythmusstörungen kann es aber zu Unterschieden kommen. Bei Rindern werden Verzögerungen des Pulses wahrscheinlich aufgrund der unterschiedlichen Dicke der Haut und durch Bewegungen manifestiert (LEFCOURT ET AL. 1999).

Mechanisch betrachtet ist der Puls die spürbare, rhythmische Erweiterung der Gefäßwände als Folge der Systole, erst danach ist dieser messbar. Für kurzzeitige Messungen der Pulsfrequenz eignet sich beim Rind am besten der seitliche Unterkiefer, wo die Arterie nah am Kieferknochen liegt (LOEFFLER UND GÄBEL 2013). Für Langzeitmessungen eignen sich besser Pulsgurte. Die Pulsfrequenz nimmt Bezug auf die wellenartige Fortbewegung des Blutes in den Arterien. Die Druckwelle selbst wird durch Herzmuskelkontraktionen hervorgerufen (BAUMGARTNER 2005).

Bei der HR handelt es sich um ein nichtstationäres Signal. Die Schwankungsbreite der HR kann akute Krankheiten anzeigen oder ein Warnsignal für bevorstehende Herzerkrankungen sein. Derartige Anzeichen können rein zufällig oder in Intervallen zu bestimmten Tageszeiten auftreten (ACHARYA ET AL. 2006). Arbeit, Bewegung und Aufregung können je nach Grad der Anstrengung bzw. Belastung für eine beschleunigte HR (Tachykardie) ursächlich sein. Eine sog. Sympathikotonie kann aber auch die Reaktion auf Fieber, Vergiftungen, Blutarmut oder Herzkrankheiten sein. Die Bradykardie, also ein seltener Puls, tritt als Folge einer Parasympathikotonie bei verlangsamter Herztätigkeit auf. Ursächlich hierfür können ein guter Trainingszustand (z. B. bei Sportpferden oder Rennhunden) oder ein fortgeschrittenes Lebensalter sein (BAUMGARTNER 2005). Neben Fitness und Alter haben andere Faktoren wie Geschlecht und Rasse ebenso einen Einfluss auf die HR (VINCEN ET AL. 2006).

Die physiologische Puls- bzw. Herzfrequenz des Rindes liegt zwischen 60 bpm und 80 bpm (BAUMGARTNER 2005). Seit langem wird die HR, die direkt unter den Einflüssen von Sympathikus und Parasympathikus steht, als ein Indikator für Stress gewertet (BROOM UND JOHNSON 1993). Dies bestätigen die invasiven Forschungsergebnisse von LEFCOURT ET AL. (1986). Sie sehen die HR als einen reaktionsschnellen Indikator für Stress: Sieben laktierende Kühe werden mit einem Elektroschock getestet. Es ist unstrittig, dass Elektroschocks in der Regel Stressreaktionen im Organismus auslösen. Somit steigt die HR innerhalb von fünf Sekunden um bis zu 30 bpm an. Innerhalb von einer Minute normalisiert sich die HR jedoch wieder (LEFCOURT ET AL. 1986). Bei einem von FRONDELIUS ET AL. (2015) durchgeführten Handhabungstest mit 18 Tieren, davon 14 Holstein-Friesian und vier Ayrshire Kühen, beträgt die HR (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) im Stehen  $75,9 \pm 0,929$  bpm, im Liegen  $73,5 \pm 1,190$  bpm und in der eigentlichen Testsituation  $84,1 \pm 2,293$  bpm. Bei der anschließenden Beurteilung der Ergebnisse setzen auch diese Wissenschaftler ein Ansteigen der HR mit steigendem Stresslevel gleich.

Die Stressbelastung beim Melken scheint für die Kuh, sowohl bei herkömmlichen Melkungen als auch beim AMS-Melken als für sehr gering einzustufen zu sein (HAGEN ET AL. 2005; GYGAX ET AL. 2008). Dies zeigen auch die Ergebnisse aus einer Auswahl nachfolgender Untersuchungen. ZIPP ET AL. (2013) ermitteln in ihrem Versuch eine HR von 74,05 bpm (Median) während der Melkvorbereitung und dem Melken selbst. Die minimalen und maximalen Werte liegen bei 57,42 bpm und 97,64 bpm. Untersuchungen von ROYLE ET AL. (1992) zeigen, dass sich die HR beim Melken erhöht. In der Studie von WENZEL ET AL. (2003) dagegen geht die HR während des Melkvorgangs zurück. WEISS ET AL. (2005) untersuchen die Auswirkungen der Umstellung des Melkens von einem konventionellen Melkstand zu einem AMS. Analysiert werden das Verhalten und physiologische Parameter der Milchkühe. Hierbei zeigen Kühe, die noch nicht von einem Roboter gemolken werden, eine stärkere HR-Erhöhung, als Kühe, die bereits mit einem AMS konfrontiert sind. Dies bestätigt auch eine frühere Studie. WEISS ET AL. (2004) untersuchen hier ebenfalls die physiologischen Reaktionen von Milchkühen bei einer Umstellung von konventionellem Melken auf Roboter-Melken. Während des allerersten AMS-Besuchs (ohne Melken) wird im Vergleich zum konventionellen Melken eine HR-Erhöhung von  $35 \pm 3$  bpm über der basal gemessenen HR festgestellt. Bereits nach dem achten Besuch des AMS, dieses Mal zum ersten Mal mit Melkung im AMS, kann eine HR, ähnlich der aus den Melkungen im konventionellen Melkstand ( $18,1 \pm 2,2$  bpm über dem Grundniveau), aufgezeichnet werden. Basale HR und täglicher Milchertrag sind linear positiv korreliert (WEISS ET AL. 2004). In einer Studie ein Jahr später, ermitteln WEISS ET AL. (2005) basale HR zwischen 61 bpm und 85 bpm. Dabei unterscheiden sich die HR über den Basalwerten nicht von Melkstands- und AMS-Melkungen.

KOVÁCS ET AL. (2015a) untersuchen HR und HRV bei Holstein-Friesian Kühen mit unterschiedlicher Temperamentsausprägung. Hierfür werden die Kühe in drei Klassen eingeteilt. Die Tiere aus den Betrieben mit ca. 70 bis 80 laktierenden Milchkühen, die einen ruhigeren Charakter aufweisen, zeigen eine HR von  $63,5 \pm 2,6$  bpm während des Liegens und eine HR von  $72,4 \pm 3,2$  bpm während des Melkvorgangs. Kühe mit mittlerem Temperament erreichen eine HR von  $65,9 \pm 3,0$  bpm während des Liegens und  $75,6 \pm 3,8$  bpm während des Melkens. Die Tiere, die als am temperamentvollsten eingestuft werden, haben eine durchschnittliche HR von  $73,1 \pm 4,1$  bpm während des Ruhens und  $79,3 \pm 4,0$  bpm während der Melkung. Die Angaben beziehen sich auf Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung.

HOPSTER ET AL. (1998) untersuchen die Seitenpräferenz von Holstein-Friesian und Holstein-Dutch-Friesian Kreuzungen in einem zweiseitigen Melkstand sowohl unter praktischen als auch unter experimentellen Bedingungen. Sie können für die Referenzgruppe (Gruppe ohne Veränderungen) eine durchschnittliche HR von  $77 \pm 2,4$  bpm (Mittelwert  $\pm$  SE) ermitteln, bei der eigentlichen Melkung steigt diese leicht auf  $84 \pm 2,3$  bpm an.

Weitere, diverse Untersuchungen zur Ermittlung der HR bei Rindern zeigen, dass diese ebenso wie die Cortisol-Ausschüttung den verschiedensten Einflüssen unterworfen ist: SATO UND TARUMIZU (1993) beobachten bei zweijährigen Rindern, dass die HR während des *sozialen Leckens* abfällt und danach wieder ansteigt. Sie schließen daraus, dass das *soziale Lecken* einen beruhigenden Effekt auf die Tiere hat.

UMSTÄTTER (2002) untersucht die HR zu unterschiedlichen Tier-Technik-Interaktionen. Hierbei kann im Mittel ein Wert von 87,4 bpm mit einer Standardabweichung von  $\pm 11,1$  für die HR ermittelt werden. Während des Fressens ergeben sich Werte von  $88,1 \pm 9$  bpm, während des Stehens  $85,7 \pm 10,5$  bpm und im Liegen  $84,1 \pm 10,8$  bpm. LEXER ET AL. (2003) untersuchen die HR in verschiedenen Verhaltenskategorien bei verschiedenen Rassen in Abhängigkeit von der Tageszeit. Hier zeigt sich lediglich eine Abhängigkeit beim Braunvieh (Spearman Korrelation nach Rängen:  $r_s = 0,86$ ,  $N = 15$ ,  $P < 0,0001$ ), nicht aber beim Fleckvieh ( $r_s = 0,18$ ,  $N = 15$ ,  $P = 0,52$ ). Für die HRV lassen sich keine klaren Muster erkennen. TOBER UND LOEBSIN (2015) zeichnen in einem frei gelüfteten Stall die HRV zu verschiedenen Jahreszeiten auf. Hierbei stellen sie eine Zunahme der mittleren HR, gleichbedeutend mit einer steigenden Kreislaufbelastung, bei wärmeren Temperaturen fest. Es werden HR-Werte von  $71,24 \pm 2,66$  bpm im Winter,  $75,26 \pm 2,62$  bpm im Herbst und  $84,35 \pm 2,68$  bpm im Sommer ermittelt. Mit einer Variation des Witterungsschutzes bei Liegeboxen untersuchen ZÄHNER ET AL. (2001) die physiologischen Anpassungsmöglichkeiten von Milchkühen. In diesem Versuch ermitteln sie mittlere HR von 72,7 bpm bis 77,0 bpm. Dabei haben die Klimaparameter keinen signifikanten Einfluss auf die HR.

In dem Versuch von WAIBLINGER ET AL. (2001) wird untersucht, ob die Anwesenheit vertrauter Personen Stressreaktionen mindern kann. Die mittlere HR der Kontrollgruppe ist signifikant höher ( $82,1 \pm 2,7$  bpm) als die der Handling-Gruppe ( $75,3 \pm 1,7$  bpm). Allerdings wird „eine sehr starke individuelle Variation in der Herzfrequenz“ festgestellt. „... bei einigen Tieren sank sie [...], während sie bei anderen sehr deutlich anstieg“. Zu dem gleichen Schluss kommen auch FRONDELIUS ET AL. (2015). Sie verweisen in ihrer Studie darauf, dass Rinder sehr individuelle Unterschiede im Temperament und in ihrer emotionalen Reaktion besitzen. Allein diese Unterschiede können bereits das Verhalten auf stressige und furchteinflößende Ereignisse beeinflussen.

Abschließend bleibt noch anzuführen, dass die Schwierigkeit in der Beurteilung der HR analog HEIDIG (2007) darin besteht, dass sich diese sowohl bei psychischen Belastungen durch z. B. Erregung, Freude, Angst oder Erschrecken, als auch bei physiologischen Belastungen in beide Richtungen verändern kann. Allein durch eine normale, schnellere Fortbewegung oder durch intensives Fressen kann es zu erhöhten HR-Werten kommen. Dennoch ist die HR-Analyse eine geeignete Methode um kurzzeitigen Stress zu analysieren (MOHR ET AL. 2002; KOVÁCS ET AL. 2014). Für eine auf Stress bezogene Langzeitanalyse scheint die HR-Messung dagegen weniger geeignet zu sein. Offen bleibt aber die Frage, ob es sich bei Anstiegen der HR um einen positiven (Eustress) oder um einen negativen Effekt (Distress) handelt. Das gleiche gilt für Ereignisse, die zu einem Abfallen der HR führen (HEIDIG 2007).

### **2.1.3.2 Herzfrequenzvariabilität**

Daten zur Herzfrequenzvariabilität oder synonym Herzratenvariabilität (HRV) werden zwar im Rahmen dieser Untersuchungen miterhoben, Auswertung und Analyse sind jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit. Ergebnisse und Analysen hierzu sind HOLZER (2015) zu entnehmen. Dennoch sollen in diesem Kapitel einige kurze Erläuterung zur HRV vorgenommen werden, denn sowohl die HR als auch die HRV erweisen sich als praktikable, sehr gut geeignete Parameter, um Stressbelastungen während des Melkens zu beurteilen (SCHOPFER 2002).

Unter dem Begriff HRV „[...] versteht man Schwankungen der Herzfrequenz von Schlag zu Schlag, über einen kürzeren (Minuten) oder längeren Zeitraum (bis zu 24 Stunden). Die HRV ist eine Messgröße der neurovegetativen Aktivität oder der autonomen Funktion des Herzens“ (LÖLLGEN 1999). Es handelt sich somit um die Abweichung der momentanen HR von einer streng rhythmischen Folge (BREITENBACH 2003; BIRKHOFFER ET AL. 2005). Nach physiologischer Definition ist die HRV die spontane Variation der HR. Die HRV-Messung gilt als unkomplizierte und nicht-invasive Messmethode zur quantitativen Bestimmung neurovegetativer Aktivität

(MALIK UND CAMM 1996). Die HRV wird im klinischen Bereich mittels eines Elektrokardiogramms (EKG) ermittelt (FRANZ 2014) oder, wie auch in der vorliegenden Arbeit, mit Hilfe eines Pulsmessgerätes. Durch das EKG wird der zeitliche Abstand von einer R-Zacke zur nächsten R-Zacke sichtbar gemacht. Dieser Abstand wird als RR-Intervall oder im Englischen als „inter-beat-interval“ (IBI) bezeichnet. Die HRV stellt somit die zeitliche Variation der R-Zacken untereinander dar (BREITENBACH 2003). Sie kann als ein Indikator für Stressantwort und Stressanfälligkeit gesehen werden (HOPSTER UND BLOKHUIS 1994). „Die HRV wird von der aeroben Fitness beeinflusst. Die HRV eines gut konditionierten Herzens ist in Ruhe normalerweise hoch. Andere Faktoren, die die HRV beeinflussen, sind das Alter, die Genetik, die Körperstellung, die Uhrzeit und der Gesundheitszustand. Während des Trainings verringert sich die HRV in dem Maße wie die HR und die Trainingsintensität zunehmen. Die HRV verringert sich ebenfalls während Zeiten psychischer Beanspruchung. Die HRV wird durch das autonome Nervensystem reguliert. Parasympathische Aktivität verringert die HR und erhöht die HRV, wohingegen sympathische Aktivität die HR erhöht und die HRV verringert“ (POLAR ELECTRO OY 2013). Die kardiale Vagus-Aktivität wird mit verantwortlich gemacht für psychischen Stress (PORGES 1995). Nähere Begriffserläuterungen zur HRV sind kurz und übersichtlich zusammengefasst unter SAMMITO UND BÖCKELMANN (2015) und LÖLLGEN ET AL. (2016).

Aus der Literaturübersicht von KOVÁCS ET AL. (2014) wird klar ersichtlich, dass der Zusammenhang zwischen HR- bzw. HRV-Reaktivität und dem Melken extrem komplex ist. Die Verwendung verschiedener Melksysteme und entsprechend differenzierten Kuhverkehr-Strategien können demzufolge zwar messbare Auswirkungen auf HR und HRV haben, aber aufgrund der unterschiedlichen Methoden und Funktionen der verwendeten Melkroboter, in den zuvor zitierten Studien, ist ein Vergleich der Ergebnisse jedoch nur schwer möglich (KOVÁCS ET AL. 2014). Zu dem gleichen Schluss kommen auch TOBER ET AL. (2014), die sich für eine Vereinheitlichung der Untersuchungen aussprechen, um zu mindestens gleiche Parameter vergleichen zu können.

#### **2.1.4 Ethologie**

Der sensomotorische Gesamteindruck eines Tieres wird gemäß LE NEINDRE (1989) und FRIEDRICH ET AL. (2010) als Verhalten bezeichnet. Dieser hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Hierzu zählen Rasse, Alter und Geschlecht des Rindes sowie dessen Haltungform und Aufzuchtbedingungen. FRASER ET AL. (1978) definiert das Verhalten eines Tieres als Reaktion auf visuelle, taktile, olfaktorische, akustische oder geschmacklich wahrgenommene Umweltreize. PHILLIPS (2002) sieht im Verhalten eines Tieres die direkte Antwort auf einen Reiz. Extrinsische Reize werden über die Sinnesorgane wahrgenommen, intrinsische Reize

sind durch die genetischen Anlagen eines Tieres manifestiert (FRASER ET AL. 1978). Aber nicht nur Umwelt und Genetik prägen das Verhalten, auch die physische und hormonelle Disposition eines Tieres nimmt Einfluss auf sein Verhalten (ALBRIGHT UND ARAVE 1997). Vor diesem Hintergrund wird nun auf verschiedene Verhaltenskategorien näher eingegangen.

#### **2.1.4.1 Erkundungsverhalten**

Nach SÜSS UND ANDREAE (1984) zeigt sich das Erkundungsverhalten von Kühen als ein interessantes Stehen mit „hocherhobenem Kopf, witternder Nase“ und nach „vorn gestellten, lauschenden Ohren“. Ein derartiges Verhalten zeigen Kühe vor allem dann, wenn sie sich nicht bedroht fühlen. Im Allgemeinen können Kühe durchaus als neugierig charakterisiert werden. Sie interessieren sich spontan für neuartige Situationen bzw. Gegenstände. Das Erkundungsverhalten ist wahrscheinlich auf das kindliche bzw. jugendliche Spielverhalten zurückzuführen (WINCKLER 2009). Das Erkundungsverhalten wird in Situationen, die die Kuh als beunruhigend oder Angst einflößend empfindet, unterdrückt bzw. eingestellt (FRASER ET AL. 1978). Daher ist das praktizierte Erkundungsverhalten ein guter Indikator für das psychische und körperliche Wohlbefinden von Rindern (PHILLIPS 1993).

#### **2.1.4.2 Lokomotion**

Das Bewegungsverhalten von Kühen gibt Auskunft über deren Gesundheitszustand. Sowohl eine Zunahme als auch eine Abnahme an Aktivität kann, zusammen mit anderen ermittelten Parametern (z. B. Tiergewicht, Liegezeiten, Milchinhaltstoffe etc.), kranke oder brünstige Kühe innerhalb der Herde anzeigen. Solche Parameter werden auch zur Bestimmung des Tierwohlbefindens herangezogen (GALON 2010).

Das Rind ist zwar ein Herdentier, benötigt aber immer seine individuell festgelegte Sozialdistanz zu anderen Individuen (PORZIG ET AL. 1969). Diese drückt sich auch im Ranggefüge innerhalb einer Herde aus. Die Rangordnung innerhalb der Herde wird durch Gruppen von meist zehn bis zwölf gleichaltrigen Tieren gebildet (HULSEN 2015). WIERENGA (1990) kann in seiner Studie festhalten, dass die Rangordnung innerhalb einer Milchviehherde für einen längeren Zeitraum konstant bleibt, wobei der Rang meist eine Folge höheren Alters ist (SAMBRAUS ET AL. 1978). Die Rangfolge ist auch beim Weg zum Melken wiederzufinden. Daher ist ein kontinuierlicher und ruhiger Umgang mit den Tieren nötig, um einen guten Kuhverkehr zu erzielen (RÜTZ 2014). Die Sozialdistanz bzw. das Ranggefüge verlieren ihren Einfluss auch nicht bei AMS-Betrieben. In mehreren Studien können Aktivitätseinschränkungen beim AMS von rangniedrigeren Kühen nachgewiesen werden. Gelenkter bzw. teilweise gelenkter Kuhverkehr zwingen rangniedrigere Kühe zu größeren Wartezeiten vor dem Roboter. Sie verbringen daher

mehr Zeit mit Herumstehen als ranghöhere Kühe (KETELAAR-DE LAUWERE ET AL. 1996; HERMANS ET AL. 2004; MELIN ET AL. 2006). MELIN ET AL. (2006) meinen sogar, dass sich Kühe von sozial niedrigerem Rang in der Nähe der Melkeinheit aufhalten, um sich ihnen bietende Möglichkeiten zu nutzen, in der Warteschlange voran zu kommen. Es kann auch beobachtet werden, dass rangniedrigere Kühe oft erst nach Mitternacht zum Melken in ein AMS gehen, ranghohe Kühe dagegen meist während des Tages und am frühen Abend (KETELAAR-DE LAUWERE ET AL. 1996). Zusätzliche, längere Wartezeiten vor dem Roboter oder sogar ein Verlassen-müssen des AMS-Wartebereichs, ohne letztendlich in den Roboter zu gelangen, kann zu Frustration bei den Kühen führen (KETELAAR-DE LAUWERE ET AL. 1996). Der Wegfall einer Melkung führt meist zu einem ansteigenden Milchausfluss und zunehmender Euter-Festigkeit und letztendlich zu einer verringerten Gesamtliegezeit und verkürzten Liegeperioden (O'DRISCOLL ET AL. 2011). Länger andauernde Stehzeiten können ein Indiz für Stress oder Unbehagen sein (ALBRIGHT 1987; WINTER UND HILLERTON 1995). Durch Änderungen im Tierverhalten werden Krankheiten schon bis zu zwei Tage vor dem Auftreten klinischer Symptome erkannt. Die täglichen Liegeperioden sinken z. B. im Falle eines Auftretens von Mastitis bis zu durchschnittlich 30 Minuten bei gleichzeitig sinkender Aktivität. Somit verlängern sich dadurch auch die täglichen Stehzeiten um durchschnittlich bis zu 2,1 Stunden (SCHULZE-PALS 2013).

Multipare Kühe sind weniger aktiv als Erstkalbinnen, unabhängig von der Jahreszeit (SPERONI ET AL. 2006). Allerdings können CAVALLINA ET AL. (2010) während der Melkvorbereitungen eine größere Unruhe bei den primiparen Rindern im Gegensatz zu den multiparen Rindern feststellen. Auch die Persönlichkeit einer Kuh scheint Einfluss auf ihr Verhalten zu haben. METZ-STEFANOWSKA ET AL. (1992) stellen einen Zusammenhang zwischen dem Bewegungsverhalten (*Hin und her tippeln*) und dem individuellen Charakter einer Kuh her. Nervöse und ängstliche Kühe zeigen z. B. das Verhaltensmerkmal *Hin und her tippeln* viel öfters als charakterlich stärkere Kühe.

Auch der circadiane Rhythmus beeinflusst das Tierverhalten. Mit circadianer Rhythmik wird der natürliche Tag-Nacht-Wechsel bezeichnet. Dieser ist die Basis für die innere, physiologische Uhr des Rindes und bestimmt damit seine Aktivitäts- (Gehen, Fressen etc.) und Ruhephasen (SÜSS UND ANDREAE 1984). Der circadiane Rhythmus drückt sich besonders deutlich in der Laufaktivität aus und lässt daher auch Rückschlüsse auf die Arbeitsroutinen im Stall zu (ROELOFS ET AL. 2005). Darüber hinaus kann SILANIKOVE (2000) thermoregulatorische Verhaltensweisen bei Kühen beobachten. Während der heißesten Stunden des Tages schränken Rinder ihre Fortbewegungsaktivitäten erheblich ein. Biologische Rhythmen sind wesentliche Bestandteile des Lebens im Allgemeinen. Es gibt verschiedene Hinweise darauf, dass der

circadiane Aktivitätsrhythmus bei Tieren durch chronischen Stress gestört wird bzw. im Krankheitsfall abnimmt. Eine gesteigerte körperliche Aktivität bei Tieren, die irgendeiner Form von Restriktionen ausgesetzt ist, kann häufig als ein Zeichen von Hunger und Frustration interpretiert werden (JONG ET AL. 2002). Die Untersuchungen von VEISSIER ET AL. (2017) lassen darauf schließen, dass die circadian geregelte Kuhaktivität auf den physiologischen oder pathologischen Zustand der Kühe sensitiv reagiert. Es scheint der Intuition daher zu widersprechen, dass kranke Kühe nicht unbedingt ihre Aktivitäten reduzieren. Kühe, die das klinische Bild einer Mastitis aufweisen, zeigen sich am Tag vermehrt aktiv, dagegen sind lahme Kühe vermehrt in den Nachtstunden aktiv. Andere Krankheiten können ein entgegengesetztes Verhaltensmuster auslösen. Dennoch führen Krankheiten in der Regel zu einer Verringerung der Aktivität.

#### 2.1.4.3 Körperpflegeverhalten

Zum Körperpflegeverhalten zählt die solitäre Körperpflege, die soziale Körperpflege und die Eigenkörperpflege (WINCKLER 2009). Die am häufigsten zu beobachtenden affiliativen Verhaltensmuster bei Rindern sind Fremdputzen und andere Körperpflegemaßnahmen oder *soziales Lecken* (TUCKER 2002). Das Selbst-Pflegeverhalten ist eine notwendige Verhaltensweise von Kühen und gilt als Zeichen guten Wohlbefindens (BOISSY UND LE NEINDRE 1997; BOLINGER ET AL. 1997). Allerdings erreicht die Kuh nicht alle eigenen Körperstellen. Sie kann z. B. Kopf- und Nackenregion alleine nicht säubern. Zur passiven Reinigung dieser Stellen animiert sie Ihre Artgenossen. In einer Art Unterwerfungs- bzw. Demutsstellung erlangt die Kuh das *soziale Belecken* durch ein anderes Tier. Derartige Verhaltensmuster zeigen vornehmlich Kühe des gleichen Rangs (SAMBRAUS 1991). Im Gegensatz hierzu steht die aktive Form des Körperpflegeverhaltens. WOOD (1977) definiert *soziales Lecken* als eine Form des nicht-agonistischen Sozialverhaltens. Hierbei leckt eine Kuh die Körperoberfläche einer anderen Kuh mit der Zunge ab. Das Belecken von Anal- und Euterregion gehört allerdings nicht dazu. SATO ET AL. (1993) gehen davon aus, dass gerade das *soziale Lecken* ein bedeutsames Verhaltensmuster mit funktionaler Bedeutung für die Bildung und Erhaltung sozialer Bindungen ist. Es trägt zur Stabilisierung des Herdenverbandes bei, anstatt rein altruistisch zu sein.

*Soziales Lecken* zeigt sich besonders häufig mit der Futteraufnahme. „Tiere, die geleckt werden, schließen oft ihre Augen und zeigen eine verringerte Herzfrequenz“ (SCHRADER UND MAYER 2009). HÖRNING ET AL. (2001) sieht „*soziales Lecken* [...] als sozial bindende (positive) Verhaltensweise bei Rindern“ an. SAMBRAUS (1969a) definiert das *soziale Lecken* bei Kühen als ein Verhalten zur Aggressionsminderung. WAIBLINGER ET AL. (2002) sehen im *sozialen Lecken* eine Funktion der Konfliktlösung, um soziale Spannungen abzubauen. Diese Annahmen

stimmen mit der von PHILLIPS (2002) überein, worin ein Anstieg des *sozialen Beleckens* bei intensiveren Umwelteinflüssen zu verzeichnen ist.

WINCKLER ET AL. (2006) beobachten eine Abnahme der HR, wenn sich die Tiere am Fressplatz befinden und es sich um spontanes Lecken handelt. Beleckte Tiere, die zum Leckakt auffordern, zeigen ebenfalls einen Rückgang der HR. Dieser Rückgang ist beim stehenden Fressen am größten. Die HRV liegender, beleckter Tiere lässt keine Rückschlüsse auf einen Einfluss auf die sympatho-vagale Balance durch *soziales Lecken* zu. Dem *sozialen Lecken* kann daher grundsätzlich keine entspannende Wirkung zu gesprochen werden.

HÖRNING ET AL. (2001) untersuchen u. a. das *soziale Lecken* von Milchkühen: Es können keine Unterschiede zwischen verschiedenen Haltungssystemen und enthornten oder behornten Kühen festgestellt werden. Das *soziale Lecken* tritt im Durchschnitt einmal am Tag bei einem Drittel der Kühe auf. Behornte Tiere aus 35 Herden zeigen das *soziale Lecken* mit einer mittleren Häufigkeit von 0,24-mal pro Tier innerhalb von vier Stunden (MENKE 1996).

#### **2.1.4.4 Futteraufnahme und Wiederkauverhalten**

Rinder vollbringen in gewisser Weise immer gleiche Verhaltensmuster, wobei an erster Stelle das Fressen oder Wiederkauen steht (HALL 2002).

Rinder nehmen ihre Grundnahrung im sog. Weideschritt auf (SCHRADER UND MAYER 2009). Bei der Nahrungsaufnahme erfolgt die erste Zerkleinerung und Einspeichelung des Futters. Durch das Wiederkauen geschieht eine weitere Zerlegung und Aufschließung der gröberen und schwer verdaulichen Nahrung. Das Rind nutzt hierfür ein Magen- bzw. Verdauungssystem mit vier Vormägen: Pansen, Haube (Netzmagen), Psalter (Buchmagen) und Labmagen, wobei der Pansen mit einem Fassungsvermögen von 100 bis 200 Liter der größte der vier Vormägen ist (SCHEUNERT 1927).

Das Wiederkauen, das erst einige Minuten nach der Nahrungsaufnahme beginnt (SCHEUNERT 1927), gilt als ein bedeutsamer Parameter zur Beurteilung der Gesundheit und des allgemeinen Wohlbefindens von Milchkühen, da dieses natürliche Verhalten ein Minimum an Kuhkomfort erfordert (KASKE 2005; NYDEGGER ET AL. 2011). Hierbei kann der Vorgang des Wiederkauens in das Aufsteigen des Wiederkaubissens, das Kauen selbst (35 bis 50 Kieferschläge) und das erneute Abschlucken unterteilt werden. Solche Wiederkauperioden dauern zwischen 40 und 50 Minuten (SCHEUNERT 1927). Beim Wiederkauen wird die aufgenommene Nahrung so zerkleinert, dass es den Futterpartikeln möglich ist, die reticulo-omasale Öffnung, den Pförtner bzw. den Übergang zum Blättermagen (Omasum) passieren zu können (WELCH 1982). Das Wiederkauen, das meist im Liegen erfolgt, ist die Grundlage für eine gute Pansenfunktion

(SCHIRMANN ET AL. 2012) und somit ursächlich für einen guten Gesundheitszustand. Die gesamte Wiederkauzeit wird vor allem durch die Pansenfüllung beeinflusst, d. h. Kühe, die eine größere Menge Futter aufnehmen, kauen tendenziell auch mehr wieder (STUMPF ET AL. 2016). Pro Tag führt ein adultes Rind ca. 40.000 Kauschläge durch. Dies entspricht etwa 65 bis 70 Kauschläge pro Minute. Bei Weidehaltung beträgt die Fresszeit zwischen acht und zwölf Stunden, bei Stallhaltung sind es nur noch vier bis sieben Stunden. Präferierte Fresszeiten sind tagsüber. Nachts wird vermehrt wiedergekaut (fünf bis neun Stunden) (SCHRADER ET AL. 2009). Dies geht konform mit PAHLKE (2014). Er beschreibt die Fresszeitenlänge mit ca. sechs Stunden bei durchschnittlich sieben Mahlzeiten pro Tag. Als Grundvoraussetzung hierfür gilt aber, dass die Tiere jederzeit Zugang zu Futter und Wasser haben, denn nur wenn die Tiere genügend Wasser zum Saufen haben, nehmen sie auch genügend Futter auf.

Kühe unterscheiden nicht nur zwischen Weide- und Stallhaltung, sondern zusätzlich auch noch zwischen sog. Kurz- und Langtagen: An Kurztagen steigt die Nahrungsaufnahme in den Nachtstunden an (SCHRADER UND MAYER 2009).

Kühe mit einer höheren Milchleistung kauen mehr Zeit im Stehen wieder und weniger im Liegen, als Kühe mit einer geringeren Milchleistung. Mit steigender Milchleistung sinkt die Latenzzeit des inaktiven Liegens, d. h. ohne wieder zu kauen. Dies zeigt sich auch bei primiparen Kühen. Ihre Latenzzeit ist verglichen zu multiparen Kühen kürzer. Dagegen kauen multipare Kühe verglichen mit primiparen Kühen mehr im Liegen wieder, verbringen aber insgesamt eine kürzere Zeit im Liegen (NORRING ET AL. 2012). Diese Erkenntnis bestätigen MIEDEMA UND DEVRIES (2016) mit ihrer Studie zum Wiederkau-Verhalten in Abhängigkeit der Milchleistung auf kommerziellen Milchviehbetrieben. Hier kann eine durchschnittliche Wiederkauzeit von  $506 \pm 85$  Minuten pro Tag (Mittelwert  $\pm$  SD) festgestellt werden, wobei das Wiederkauen und die Milchleistung mit steigendem Alter zunehmen. Die Milchmenge korreliert positiv mit dem Wiederkauen ( $+ 0,2 \pm 0,07$  kg Milch pro zehn Minuten Erhöhung der Wiederkauzeit). Die Wiederkauaktivität hat keinen Einfluss auf den Milchfettgehalt. So kommen die Wissenschaftler in ihrer Studie zu dem Schluss, dass bei laktierenden Kühen von der Wiederkauzeit auf die abgegebene Milchmenge geschlossen werden kann, allerdings mit einer weniger konsistenten Assoziation in Bezug auf die Milchkomponenten (MIEDEMA UND DEVRIES 2016). BRAUN ET AL. (2014) können in ihrer Studie nachweisen, dass schottische Hochlandrinder, die mit Heu auf einer Winterweide gefüttert werden, signifikant mehr Zeit für das Fressen aufbringen als bei vergleichbarer Fütterung in einem Laufstall (5,98 vs. 4,05 Stunden). Weidekühe kauen auch mit 7,02 vs. 6,22 Stunden signifikant länger pro Tag wieder als Laufstallkühe. Bei laktierendem Braunvieh in Anbindehaltung machen BRAUN ET AL. (2013) dagegen eine durchschnittliche Fresszeit von 7,42 Stunden und eine durchschnittliche Wiederkauzeit von 6,47 Stunden aus.

STONE ET AL. (2017) ermitteln u. a. die wöchentlichen, mittleren Liegezeiten, Wiederkaudauer und Milchleistung bei Holstein-Friesian, Rassenkreuzungen und Jersey Kühen. Im Durchschnitt (Mittelwert  $\pm$  SE) befinden sich die Tiere im Laktationsstadium von  $159,0 \pm 6,0$  Tagen, haben eine Liegezeit von  $11,1 \pm 0,1$  Stunden pro Tag, eine Milchleistung von  $28,7 \pm 0,5$  Kilogramm pro Tag und eine Wiederkauzeit von  $6,4 \pm 0,1$  Stunden pro Tag. Die Milchmenge korreliert positiv mit der Wiederkaudauer, was STONE ET AL. (2017) auf eine höhere Futteraufnahme zurückführen. Die Liegedauer geht mit steigender Milchleistung zurück. Kühe in höherer Laktation haben längere Liegezeiten. Ein Grund dafür kann der soziale Rang sein, denn erstgebärende Kühe werden eher vom Futtertisch vertrieben als mehrfach laktierende Kühe. In ihren Fütterungsversuchen ermitteln KING ET AL. (2016) Wiederkauzeiten von durchschnittlich 8,9 Stunden pro Tag. BRAUN ET AL. (2015) dagegen können in ihren Versuchen eine mittlere, tägliche Wiederkauzeit der Kühe von  $6,13 \text{ h} \pm 54 \text{ min}$  messen. HART ET AL. (2014) ermitteln bei ihren Untersuchungen mittlere Wiederkauzeiten in den einzelnen Versuchsanordnungen von 7,2 Stunden pro Tag bis 9,1 Stunden pro Tag, wobei die Standardabweichung bei  $52,7 \text{ min/d}$  liegt. Bei Untersuchungen zu Auswirkungen von Kuhglocken auf das Verhalten werden Wiederkauzeiten zwischen 8,3 Stunden und 16,3 Stunden pro Tag ermittelt (JOHNS ET AL. 2015).

HARB ET AL. (1985) beobachten, dass rangniedere Kühe, vorausgesetzt sie sind in ein soziales Umfeld eingebunden, deutlich schneller fressen als ranghöheren Artgenossen. Die Nahrungsaufnahme und letztendlich damit auch das Wiederkauen können durch Krankheiten (WELCH 1982; HANSEN ET AL. 2003; YEISER ET AL. 2012), durch Aufregung und Stress (HERSKIN ET AL. 2004) oder im speziellen auch durch Angst (BRISTOW UND HOLMES 2007) gehemmt werden. Im Gegensatz hierzu ermitteln THORUP ET AL. (2016), dass Lahmheiten weder einen Einfluss auf das tägliche Wiederkauverhalten noch auf die Frischfutteraufnahme haben.

Dies wird auch von SCHRADER UND MAYER (2009) bestätigt. Bei nicht gesunden Kühen oder Kühen, die vermehrtem Stress ausgesetzt sind, ist ein erhebliches Absinken der Wiederkauaktivität zu beobachten. Die Wiederkaudauer kann aber auch aus hormonellen Gründen absinken. Die Brunst z. B. hat einen erheblichen Einfluss darauf. So ist am Tag der Hauptbrunst eine verminderte Futteraufnahme um durchschnittlich 4,6 Kilogramm bei durchschnittlich 45 Minuten kürzerer Fresszeit zu beobachten. Auch an den Tagen der Besamung bzw. am Vortag fressen die Kühe auf Grund von Unruhe deutlich weniger (HALLI ET AL. 2014).

#### **2.1.4.5 Eliminationsverhalten**

Das Ausscheidungsverhalten von Rindern setzt sich aus den Vorgängen der Defäkation und des Urinierens zusammen. Die Defäkation erfolgt bei Rindern in der Regel im Stehen mit leicht

auseinandergestellten Beinen. Der Schwanz wird vom Körper abgestellt, der Rücken leicht nach oben gebogen (SCHRADER ET AL. 2009). Das Absetzen des Kotes geschieht meist nach Futteraufnahme oder Beendigung einer Liegeperiode (WINCKLER 2009). Werden Kühe auf der Weide gehalten, so setzen sie ihren Kot ungerichtet ca. 16 bis 18 Mal am Tag ab (SCHRADER ET AL. 2009). SAMBRAUS (1978) beobachtet die Defäkation von ca. 30 bis 40 kg Exkrement zwischen zehn bis 15-mal am Tag. Im Erregungs- bzw. Angststadium kommt es zu einem deutlich vermehrten Kotabsatz. Der Kot wird umso flüssiger, je gestresster oder ängstlicher die Kuh ist (SÜSS UND ANDREAE 1984; PHILLIPS 2002).

Das Urinieren erfolgt ebenfalls meist im Stehen. Die Körperstellung ist dabei die gleiche wie bei der Defäkation, lediglich der Schwanz wird noch höher abgespreizt (SCHRADER ET AL. 2009). Gesunde, adulte Rinder setzen ca. 30 Liter Harn, bis zu zehnmal über den Tag verteilt, ab. Ist das Rind brünstig oder gestresst, so steigt die Pheromon-Konzentration im Harn stark an (PHILLIPS 2002). Auch SÜSS UND ANDREAE (1984) bestätigen ein vermehrtes Wasserlassen bei verängstigten und gestressten Tieren.

#### **2.1.4.6 Agonistisches Verhalten**

Agonistisches Verhalten zeigen Rinder in erster Linie, um ihren Lebensraum zu verteidigen. Dies äußert sich vor allem in der Rivalität am Fressplatz bzw. in Konkurrenzsituationen ums Futter und zur Klarstellung des Ranges (GRAUVOGL 1984). Innerhalb einer Rinderherde kann sowohl aggressives aber auch affiliatives Verhalten beobachtet werden. Das aggressive Verhalten reicht von Drohungen wie dem Senken des Kopfes, um die Hörner zu präsentieren, bis hin zu physischem Kontakt z. B. tatsächliches Stoßen des Kopfes gegen den Kopf oder den Körper eines anderen Tieres (TUCKER 2002).

Die Rangordnung innerhalb einer Herde vermeidet ständiges, energiezehrendes und aggressives Verhalten. Durch den Rang ist der Zugang vor allem zu knappen Ressourcen (z. B. Futter, Wasser etc.) klar geregelt. Behornung, Geschlecht, Gewicht, Größe und Alter sind die ausschlaggebenden Faktoren für die Rangstellung (SAMBRAUS 1969b). Eine lineare Rangordnung findet sich bei Rindern aber nur dann, wenn sie keinen räumlichen Restriktionen, z. B. bei Weidehaltung mit ausreichendem Futter, unterworfen sind. Liegt keine stabile Umgebung vor, d. h. es kommt zu einer Konkurrenzsituation um Futter und Platz, so werden die Rangverhältnisse zunehmend komplexer (BEILHARZ UND MYLREA 1963). Ausschlaggebend für die Rangstellung ist darüber hinaus auch noch die Aufenthaltsdauer in einer Gruppe: Werden Gruppen neu zusammengestellt, so sind die neu eingruppierten Tiere zunächst einmal rangniedriger. Es wird aber innerhalb von maximal fünf Tagen eine neue Rangordnung in dieser neuen Gruppe festgelegt. Nach Festlegung der neuen Rangbeziehungen kommt es nur noch

vereinzelte zu wirklichen aggressiven Handlungen. Das Ausdrucksverhalten reicht aus, um das Ranggefüge zu verdeutlichen (KONDO UND HURNIK 1990; SCHRADER UND MAYER 2009). Der Rang eines Tieres hat großen Einfluss auf die neuroendokrine Hormonausschüttung bei sozialem Stress: Rangniedere Tiere zeigen eine erhöhte Aktivität der NNR (MORMÈDE 1990; MENDEL ET AL. 1992). Dagegen finden MÜLLEDER ET AL. (2003) in ihren Untersuchungen keinen Zusammenhang zwischen den Cortisol-Metaboliten-Konzentrationen und den Dominanz-Werten bzw. dem Alter der Kühe. ROUHA-MÜLLEDER ET AL. (2010) weisen einen schwachen negativen Zusammenhang zwischen Milchleistung und agonistischer Interaktion nach. Die Autoren führen dies auf vermehrte Auseinandersetzungen im Fressbereich zurück. Diese Untersuchung wird bestätigt durch die Ergebnisse von DEVRIES ET AL. (2004). Steht Kühen während der Fütterung mehr Raum zur Verfügung, so nehmen aggressive Handlungen untereinander ab, was ihnen mehr Zeit zum Fressen gibt. Dieser Anstieg in der Fressaktivität zeigt sich besonders bei rangniedrigeren Kühen und hat somit positive Auswirkungen auf deren Milchleistung (DEVRIES ET AL. 2004).

In der Studie von FREGONESI UND LEAVER (2001) werden 1,02 Verdrängungen je 30 Minuten bei Kühen mit hoher Milchleistung (Mittelwert 32,1 kg/d) und lediglich 0,66 Verdrängungen je 30 Minuten bei Kühen mit geringer Milchleistung (Mittelwert 19,1 kg/d) festgestellt. Ähnliche Ergebnisse erzielen ROUHA-MÜLLEDER ET AL. (2010). In ihren Untersuchungen liegt die durchschnittliche Milchleistung der untersuchten 80 Betriebe bei 6.772 kg Milch ( $\pm 1,021$ ) und die agonistischen Interaktionen bei 0,91 je 30 Minuten (Minimum 0,22; Maximum 2,54). Auch MENKE ET AL. (1999) weisen in ihrer Studie auf eine große Varianz bei den agonistischen Interaktionen hin und führen diese auf das Sozialverhalten beeinträchtigende Faktoren zurück. In den Untersuchungen von ENDRES UND BARBERG (2007) zum Sozialverhalten mit agonistischen Interaktionen, in einem speziellen Laufstallhaltungssystem, werden pro Stunde  $0,94 \pm 1,5$  Vorfälle des *Verdrängens*,  $0,94 \pm 1,8$  Vorfälle des *Wegschiebens*,  $1,4 \pm 1,6$  Vorfälle des *Kopfstoßens* und  $2,3 \pm 2,9$  Vorfälle des *Sozialen Leckens* aufgezeichnet.

Durch große Gruppengrößen und nicht ausreichende Ausweichmöglichkeiten kann häufig der soziale Abstand nicht mehr eingehalten werden. Daher kommt es vor allem in überbelegten Laufställen zu Konfrontationen. Rangniedrigere Tiere versuchen derartige Situationen durch eine aggressionshemmende Haltung zu bereinigen. Sie zeigen der ranghöheren Kuh Demuts- oder Unterwerfungsgesten (SÜSS UND ANDREAE 1984). Dieser soziale Abstand kann auch als individuelle Wohlfühlzone bezeichnet werden. Hierfür benötigen Kühe vier bis fünf Quadratmeter Raum. Wird dieser ihnen verwehrt, so zeigt sich das in ihrem Wohlbefinden: Agonistische Handlungen häufen sich und die Laufaktivität sinkt (SCHRADER UND MAYER 2009).

#### 2.1.4.7 Ausdrucksverhalten

Das Ausdrucksverhalten beinhaltet sämtliche Verhaltensmuster des Sozialverhaltens. Das Kampfverhalten wird hiervon jedoch ausgenommen (SAMBRAUS 1991).

SAMBRAUS (1978) teilt das Ausdrucksverhalten in drei Kategorien auf. Beim Demonstrieren handelt es sich um ein meist männliches, Potenz anzeigendes, ungerichtetes Verhalten zur Wahrung des territorialen Besitzanspruchs. Dieses Verhalten zeigen meist ranghohe Tiere, weibliche Rinder selten bis kaum. Beim Imponieren handelt es sich um eine soziale, gerichtete Geste. Hier befindet sich das Rind meist in dem Dilemma, sich zwischen Angriff oder Rückzug entscheiden zu müssen. Darüber hinaus ist dieses Verhaltensmuster auch bei der sexuellen Partnerwerbung zu finden. Das Verhaltensmuster des Drohens wird angewendet, um Nahrung, das eigene Territorium oder den Sexualpartner zu behaupten. Es handelt sich hierbei um eine klar aggressive Handlungsweise (SAMBRAUS 1978). Diese drei Verhaltensmuster zeigt die Kuh mit ihrer Körpersprache. Die Kuh kommuniziert u. a. über ihre Körperhaltung, insbesondere über verschiedene Positionen von Kopf, Hals und Rumpf mit ihrem Umfeld (ALBRIGHT UND ARAVE 1997). So verdeutlicht sie ihre momentane Gemütslage von sexueller Empfänglichkeit, über Unterwerfung bis hin zu höchst aggressivem Verhalten.

Aus den Auswertungen von Verhaltensuntersuchungen bei im AMS gemolkenen Kühen ziehen PASTELL ET AL. (2006) den Schluss, dass *Hin und her tippeln* bzw. *Ausschlagen* als ein Zeichen von Unwohlsein bzw. Angst zu werten sind. Eine unangenehme Situation drückt die Kuh durch ihre Körpersprache aus. Zu der gleichen Interpretation kommen auch JACOBS UND SIEGFORD (2012) bei ihren AMS-Verhaltensuntersuchungen. Sowohl *Hin und her tippeln* als auch das *Ausschlagen* stellen Zeichen von Unruhe oder Unwohlsein dar.

#### 2.1.4.8 Ethopathien

Zeigen Rinder kein arttypisches Verhalten mehr, so wird dies zunächst als Verhaltensabweichung titulierte. Eine Verhaltensstörung dagegen liegt vor, wenn diese Verhaltensabweichungen dauerhaft gezeigt werden (BRUMMER 1978). Als ein typisches Beispiel der Verhaltensstörung gilt das pferdeartige Aufstehen von Rindern. Dies entsteht häufig durch ein zu geringes Platzangebot z. B. durch zu kleine Liegeboxen. Rinder sind dann gezwungen, entgegen ihrem arttypischen Verhalten (mit den Hintergliedmaßen zuerst), zuerst mit den Vordergliedmaßen, ähnlich dem Verhalten von Pferden, aufzustehen (RICHTER UND KARRER 2006). Ein weiteres Beispiel für Verhaltensstörungen ist das gegenseitige Besaugen von Kälbern (BRINKMANN ET AL. 2016). Bei adulten Rindern können darüber hinaus auch das Zungenspielen, die Lecksucht, das Aufwerfen von Futter, das Heruntertreten des Melkzeugs, Stoßen anderer Rinder oder

Verdrängungen im Allgemeinen als Verhaltensstörungen beobachtet werden (STÖBER 2006). Derartige Ethopathien können das Wohlbefinden und die Gesundheit des Einzeltieres negativ beeinflussen. Häufig haben Verhaltensabnormitäten aber auch Auswirkungen auf die gesamte Herde und mindern dadurch die Leistung des gesamten Herdenverbandes (ANDRES-EICH ET AL. 2007). *Ungerichtetes Verhalten* und *Stereotypien* zählen ebenso zu den Verhaltensstörungen beim Rind. Hierzu gehören beim adulten Tier das wiederholte Zungenrollen bei geöffnetem Flotzmaul oder das wiederholte Beleckern von Stalleinrichtungen. Diese Verhaltensabnormitäten treten meist zwei bis vier Stunden nach der Fütterung auf. Ursächlich hierfür können nicht genügend strukturhaltiges Futter, zu hohe Kraffutterdosierungen, zu kurze Futteraufnahmezeiten oder mangelnde Bewegung sein (WINCKLER 2009). Zeigen Tiere eine große Anzahl an Stereotypien, so kann dies als ein Indikator für den jeweiligen individuellen Stresslevel des Tieres angesehen werden (MORGAN UND TROMBORG 2007).

Können Tiere ihr Verhalten gemäß ihrer Motivation zeigen, so spricht BROOM (1996) von gutem Wohlbefinden. Dies beinhaltet auch das Freisein von Krankheiten, keinen Überforderungen und zeugt letztlich von einer leichten Bewältigung möglicher Herausforderungen, die die Umwelt an sie stellt. „Den Bezugspunkt zur Beurteilung der Tiergerechtheit eines Haltungssystems stellen somit die Tiere selbst dar. Bei einer nicht tiergerechten Haltung ist die Anpassung der Tiere überfordert und ihr Wohlbefinden gestört“ (ROUHA-MÜLLEDER ET AL. 2010). BROOM (1986) sieht im Wohlergehen eines Individuums den Versuch dessen Umwelt zu bewältigen. KNIERIM (2002) geht sogar noch weiter und sieht in jeglichen Präventionen, auch für aktive und erfolgreiche Interaktionen mit der Umwelt, einen Einfluss auf das Tierwohl.

## **2.1.5 Bewegungsaktivität und Liegedauer**

Die Bewegungsaktivität und die Liegedauer bei Milchkühen werden hauptsächlich mittels Pedometern oder Rescountern gemessen. Die angewandte Technik hierzu wird im Kapitel 2.1.1.3 erläutert.

### **2.1.5.1 Bewegungsaktivität**

Jedes Rind besitzt seinen eigenen, spezifischen Biorhythmus. Dieser zeichnet sich durch sehr individuelle Aktivitätsspitzen und Ruhephasen aus. Die nächtliche Bewegungsaktivität der Tiere weicht dabei nur unwesentlich von der Aktivität am Tage ab. Allerdings kann eine steigende Aktivität am frühen Morgen verzeichnet werden (LUTHER ET AL. 2002; WANGLER ET AL. 2005). WANGLER ET AL. (2005) weisen in einem Langzeitversuch (1995 bis 2002) nach, dass Kühe über mehrere Tage relativ ausgeglichene und konstante Bewegungsmuster beibehalten.

Während der ersten 60 Tage nach der Kalbung zeigen Kühe eine deutlich höhere Aktivität als in den darauf folgenden 200 Laktationstagen. Als mögliche Ursachen nennen WANGLER ET AL. (2005) die Umstellung vom Abkalbebereich zurück in den Laufstall und die daraus resultierenden neu entstehenden Rangkämpfe bzw. Wiedereingliederungsaktivitäten. In dem Zeitrahmen 60 Tage nach Kalbung bis Laktationsende bleiben die Aktivitätsprofile tierindividuell, aber gleichmäßig (WANGLER ET AL. 2005). Die Aktivität einer Kuh ist signifikant abhängig von ihrer Milchleistung. Bei Kühen mit einer Milchleistung zwischen 15 und 35 kg/d ist eine kontinuierliche Aktivitätsabnahme zu verzeichnen, bei Kühen mit einer höheren Tagesmilchleistung als 35 kg/d steigt die Aktivität an. Bei höheren Tagesmilchleistungen kommt es aber auch vermehrt zu größeren, tierindividuellen Aktivitätsunterschieden. Allen Kühen gemeinsam ist jedoch eine deutliche Aktivitätszunahme um ca. das eineinhalbfache am Tage der Brunst (WANGLER ET AL. 2005). KIDDY (1977) registriert sogar einen vierfach höheren Aktivitätsanstieg während der Brunst. Die vermehrte Aktivität zeigen brünstige Kühe vor allem in den Abend- bzw. Nachtstunden (MAATJE ET AL. 1997; WANGLER ET AL. 2005).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine steigende Bewegungsaktivität der Kuh, aus zunehmender Unruhe folgend, als ein untrügliches Merkmal der Brunst an zu sehen ist (WANGLER ET AL. 2005; ROELOFS ET AL. 2010; FRICKE ET AL. 2014b). Verschiedene Autoren geben die Zunahme der Aktivität während der Brunst mit einer Steigerung von einem Drittel bis fast zum vierfachen der Ausgangsaktivität an (KIDDY 1977; ERADUS ET AL. 1992; WENDL UND KLINDT WORTH 1997; KERBRAT UND DISENHAUS 2004; ROELOFS ET AL. 2010).

Aber nicht jede Aktivitätszunahme muss zyklusbedingt sein. Verletzungen oder Krankheit, Veränderungen in der gewohnten Umgebung oder soziale Rangkämpfe können genauso der Auslöser sein, wie auch z. B. das Getriebenwerden durch andere brünstige Kühe (BREHME ET AL. 2003; EDWARDS UND TOZER 2004; WANGLER ET AL. 2005).

Nach den Untersuchungen von EDWARDS UND TOZER (2004) zeigen gesunde Milchkühe mehr Aktivität in der kühleren Jahreszeit (Winter und Frühjahr) als in den wärmeren Monaten (Sommer und Herbst). PERERA ET AL. (1986) stellen dagegen fest, dass sich Milchkühe im Winter mehr hinlegen als im Sommer, d. h. die Aktivität im Winter sinkt. Die Fresszeiten pro Tag verringern sich während der Wintermonate von 5,6 Stunden auf 4,2 Stunden während der Sommermonate.

Im Durchschnitt legen Rinder im Laufstall, in einer Zeit von 0,6 bis 0,9 Stunden, eine Distanz von bis zu 2,6 Kilometern am Tag zurück. Auf der Weide sind die Laufwege deutlich länger, zwischen zwei und zwölf Kilometer, durchschnittlich drei bis vier Kilometer (BRADE 2001). BENZ (2003) ermittelt eine Durchschnitts-Schrittlänge für Weidehaltung von 81 cm, bei rutschigen

Laufställen 58 cm und bei Laufställen mit weichen Spalten-Belägen 78 cm. BENDEL (2005) misst Unterschiede in den Schrittlängen, abhängig vom Kuh-Alter, auf verschiedenen Bodenbelägen. Auf Betonspaltenböden ergibt sich eine durchschnittliche Schrittlänge von 59,9 cm, auf mit Gummimatten ausgelegten Spaltenböden 71,6 cm. Nach 28 Tagen werden auf Betonböden eine durchschnittliche Schrittzahl von 118.339 Schritte und auf Gummimatten 157.117 Schritte gemessen. Dies entspricht im Mittel ca. 4.226 Schritte auf Beton bzw. 5.611 Schritte auf Gummimatten. Umgerechnet bedeutet dies eine tägliche Distanz auf Betonspaltenböden von 2,5 Kilometern und auf Gummimatten von vier Kilometern je Kuh (BENDEL 2005).

WÓJCIK UND OLSZEWSKI (2015) verzeichnen bei der Auswertung mit dem japanischem Gyuhound dem israelischen AfiAct-Pedometer-System zwischen 0:00 Uhr und 05:00 Uhr die geringste 24-Stunden-Aktivität bei Limousin Kühen (Melkstand-Melkungen). Zwischen 03:00 Uhr und 04:00 Uhr wird mit 49 und 66 Schritten pro Stunde die minimalste Aktivität gemessen. Von 05:00 Uhr bis 07:00 Uhr werden 94 Schritte pro Stunde, zwischen 13:00 Uhr und 17:00 Uhr 97 Schritte pro Stunde bei den Kühen festgehalten. Die Tagesaktivität ist fast doppelt so hoch wie die Nachtaktivität. Die durchschnittliche Liegezeit der Kühe reicht von 59,1 bis 61,0 Minuten pro Liegeperiode.

In der Studie von WÓJCIK UND RUDZIŃSKI (2014) wird die Aktivität von Holstein-Friesian Kühen (Melkstand) mit Hilfe von dem israelischen AfiAct- und dem japanischen Gyuh-Pedometer-System analysiert. Die höchste Tagesaktivität (zwischen 13:00 Uhr und 19:00 Uhr) zeigen Kühe in der zweiten Laktation mit durchschnittlich ca. 120 Schritte pro Stunde und die niedrigste zeigen Kühe in der dritten Laktation mit 100 Schritte pro Stunde. Der Durchschnitt aller Kühe liegt zwischen 122 bis 135 Schritte pro Stunde. Die geringste durchschnittliche Aktivität wird zwischen 03:00 Uhr und 04:00 Uhr gemessen. Kühe in der ersten Laktation legen 64 Schritte pro Stunde zurück, Kühe in der zweiten bzw. dritten Laktation 72 bzw. 51 Schritte pro Stunde. Die tiefste gemessene Aktivität bei allen Kühen, unabhängig vom Laktationsstadium, beträgt in der Zeit zwischen 03:00 Uhr und 04:00 Uhr zehn Schritte pro Stunde. Kühe in der ersten Laktationsphase zeigen bei 61 bis 73 Schritte pro Stunde die geringste Aktivität, im Durchschnitt 112 Schritte pro Stunde. Die höchste Aktivität (16:00 Uhr) zeigen Kühe in der zweiten Laktationsphase mit 184 Schritte pro Stunde, im Durchschnitt 117 Schritte pro Stunde. Generell ist die höchste Aktivität zwischen 12:00 Uhr und 18:00 Uhr zu beobachten, da zu diesem Zeitpunkt die Stallarbeit am intensivsten betrieben wird. Kühe mit einer durchschnittlichen täglichen Milchleistung von 31 bis 40 Kilogramm verzeichnen die höchste Aktivität (121 Schritte pro Stunde) in den Zeiträumen 05:00 Uhr bis 07:00 Uhr und 10:00 Uhr bis 15:00 Uhr. Kühe mit einer durchschnittlichen täglichen Milchleistung bis 20 Kilogramm bzw. mehr als 40

Kilogramm sind weniger aktiv (114 bis 117 Schritte pro Stunde). Auffallend ist, dass die Aktivität aller Kühe eine Stunde vor dem Melken stark ansteigt.

Der Motivationshintergrund für längere Stehzeiten bei Hochleistungskühen ist derzeit noch nicht bekannt (NORRING UND VALROS 2016).

### **2.1.5.2 Liegedauer**

Kühe liegen hauptsächlich „mit aufgerichtetem Vorderkörper und seitlich leicht verkantetem Hinterkörper, wobei die Hinterbeine zu einer Seite weisen. Die Vorderbeine können angewinkelt oder auch gestreckt sein. In vollständiger Seitenlage mit gestreckten Gliedmaßen liegen adulte Tiere nur selten“ (SCHRADER UND MAYER 2009).

SCHRADER (2001) stellt deutliche Unterschiede im Verhalten von Milchkühen bei der Motorik, in der Dauer der Liegezeiten und in der Gleichmäßigkeit des Verhaltens fest. Die Tiere mit den längsten Liegezeiten zeigen die größten Gleichmäßigkeiten im Verhalten und die geringste motorische Aktivität, aber die häufigsten agonistischen Interaktionen. Auch MÜLLEDER ET AL. (2003) kommen bei ihren Untersuchungen zu dem Schluss, dass Kühe mit den geringsten Liegezeiten die höchste motorische Aktivität und die meisten agonistischen Interaktionen aufweisen. Dies wird von GALINDO UND BROOM (2000) bestätigt: Niederrangige Kühe verbringen weniger Zeit im Liegen und mehr Zeit im Stehen als mittel- und hochrangige Kühe. Sie stehen meist auch nur mit einem Teil ihres Körpers in der Liegebox.

Das Ruhe- bzw. Liegeverhalten von Kühen wird vor allem auch durch die Wartezeit vor dem AMS beeinflusst. Kühe verbringen hier eine beträchtliche Menge an Zeit. Gerade bei rangniedrigeren Kühen reduziert das Warten in der Schlange vor einem AMS die zur Verfügung stehenden Ruhe- bzw. Liegezeiten (WESTIN ET AL. 2016). Bei den rangniedrigsten Kühen, z. B. Färsen mit Bein- oder Klauenproblemen oder generell schwächeren Tieren, handelt es sich um Tiere, die sich ihren Weg zum AMS nicht erkämpfen können. Eine rangniedrigere Kuh wartet für gewöhnlich in der Nähe des AMS bis sich die Warteschlange davor aufgelöst hat, bevor sie dieses betreten kann. Eine dominante Kuh schiebt rangniedrigere Kühe beiseite, bis sie selbst am Anfang der Warteschlange steht. Innerhalb eines Ranges betreten die Kühe das AMS der Reihenfolge ihrer Ankunft nach am Roboter (HALACHMI 2009). MELIN ET AL. (2006) weisen nach, dass Kühe von hohem sozialen Rang im Durchschnitt 13 Minuten wartend vor dem AMS verbringen, Kühe mit niedrigerem sozialen Rang dagegen 20 Minuten. Dies wird durch die Untersuchungen von HELMREICH ET AL. (2014) bestätigt. Sie erfassen in ihrer Studie Liegedauer und Wartezeiten vor einem AMS. Während des Tages, zwischen 05:00 Uhr und 22:00 Uhr, verbringen die Kühe durchschnittlich ca. 70 Minuten im Fressbereich, 105 Minuten

im Liegebereich und 25 Minuten im Wartebereich vor dem AMS. In den Nachtstunden befinden sich die Tiere ca. 50 Minuten im Fressbereich, 140 Minuten im Liegebereich und sieben Minuten im Wartebereich des AMS. Im Durchschnitt liegen die beobachteten Tiere ca. sechs Stunden während des Tages und 4,5 Stunden in der Nacht.

Die Rangordnung innerhalb einer Herde kann auch am Liegeverhalten ausgemacht werden. Tiere, die in ihrem Rang ähnlich sind, ruhen sehr häufig nebeneinander. Generell ist eine Abnahme der Liegedauer mit steigendem Alter zu beobachten. Im Schnitt liegen adulte Kühe zwischen sieben und zehn Stunden pro Tag (SCHRADER UND MAYER 2009). Nach PELZER ET AL. (2012) beträgt die Gesamtliegedauer einer Kuh zwölf bis 14 Stunden. Die gesamte Liegezeit ist dabei in mehrere Intervalle unterteilt (MAMMEN 2014). Für die Beurteilung des Liegeverhaltens wird allerdings nicht nur die Gesamtliegezeit betrachtet, sondern auch die Dauer der einzelnen Liegeperioden. Diese liegen im Durchschnitt zwischen einer Stunde und eineinhalb Stunden (PELZER ET AL. 2012). Auf ein ähnliches Ergebnis kommen auch ENDRES UND BARBERG (2007). Sie notieren eine tägliche Liegezeit von  $9,34 \pm 1,94$  Stunden. Die Anzahl der täglichen Liegeperioden liegt bei  $11,0 \pm 3,2$  und die Länge der Liegeperioden betragen durchschnittlich  $50,8 \pm 35,6$  Minuten. Darüber hinaus verzeichnen sie mit zunehmender Laktation einen Anstieg der Liegeperioden und der täglichen Gesamtliegezeit. In den Fütterungsversuchen von KING ET AL. (2016) werden ebenso Liegezeiten von 9,5 Stunden pro Tag ermittelt. WESTIN ET AL. (2016) dagegen verzeichnen längere Liegezeiten. Im Mittel ruhen die von ihnen beobachteten Kühe 11,4 Stunden pro Tag mit 9,5 Liegeperioden, bei einer mittleren Liegedauer von 71 Minuten pro Liegeperiode und Tag. STUMPF ET AL. (2016) messen bei ihren Futter-Restriktions-Versuchen durchschnittliche Liegeperioden von 109,6 Minuten für die Versuchsgruppe (50 Prozent Futter Restriktion) und 102,5 Minuten für die Kontrollgruppe (keine Futtereinschränkungen), wobei der p-Wert allerdings nicht signifikant ist. Die Varianzanalyse ergibt, dass Kühe bei erhöhter Futtermenge mehr Zeit liegend mit Wiederkauen verbringen als stehend. Bei Kühen mit reduzierter Futtermenge zeigt sich, dass diese generell mehr Zeit im Stehen verbringen (STUMPF ET AL. 2016). In Untersuchungen zum Tragen von Kuhglocken verzeichnen JOHNS ET AL. (2015) durchschnittliche Liegezeiten von 6,6 bis 13,3 Stunden pro Tag.

Milchkühe, die sich in einem gefestigten Ranggefüge befinden, legen sich in Liegeboxen-Laufställen für ca. zehn bis zwölf Stunden pro Tag ab (DECHAMPS ET AL. 1989; DEVRIES UND KEYSERLINGK 2005; KROHN UND MUNKSGAARD 1993). Das gezeigte Liegeverhalten und die Liegedauer sind allerdings von zahlreichen unterschiedlichen Faktoren abhängig. Hierzu zählen vor allem die Gestaltung und Maße der Liegeboxen als auch die Anzahl der zur Verfügung

stehenden freien Plätze (LIEBHART 2009). Viele Untersuchungen zeigen, dass die Bodenunterlagen Einfluss auf die Liegezeiten haben: Je härter die Liegefläche ist, desto kürzer ist die Liegedauer (HÖRNING ET AL. 2001). Generell ist die Zeitdauer, die eine Kuh liegend verbringt, ein bedeutsamer Indikator für den Kuhkomfort (MILLER UND WOOD-GUSH 1991; KROHN ET AL. 1992). WIERENGA UND HOPSTER (1990) ermitteln ein Minimum von 576 Minuten pro Tag als Liegezeit für Kühe, die in Liegeboxenställen gehalten werden. SINGH ET AL. (1993) dagegen veranschlagen eine minimale, durchschnittliche Liegezeit von 600 Minuten pro Tag für Kühe in eingestreuten Haltungssystemen. Allerdings haben auch genetische Faktoren und die Umwelt einen erheblichen Einfluss auf die individuellen Liegegewohnheiten und auf die Liegezeiten (WIERENGA UND HOPSTER 1990).

Liegeboxen sind nicht nur als Rastplatz und Ruhestätte für Milchkühe bedeutsam, sondern auch als Rückzugsstätte, um Konfrontationen mit anderen Herdenmitgliedern zu vermeiden (POTTER UND BROOM 1986; WIERENGA UND HOPSTER 1990). In der Motivations-Hierarchie steht an erster Stelle das Liegen, erst danach kommen Futter und soziale Kontakte (MUNKSGAARD ET AL. 2005). Eine dichtere Stallbelegung (durch z. B. zunehmende Herdengrößen) und damit verbunden eine zunehmende Konkurrenz um Liegeplätze, führen zu weniger und späterem Abliegen (FREGONESI ET AL. 2007a; WAGNER ET AL. 2012).

WEBSTER ET AL. (2008) weisen nach, dass Kühe mit Anzeichen von Stress, d. h. mit einem erhöhten Cortisolspiegel und einer Reduzierung in ihren Liege- und Fresszeiten, auf kaltes und nasses Wetter reagieren. Ein negativer Stimuli kann nach NORRING ET AL. (2012) im Melken selbst liegen. Aus ihren Untersuchungen ergibt sich, dass Milchkühe ihre Liegezeiten wie folgt aufteilen: Vor einer Abend-Melkung werden von der Gesamtliegedauer 22 Prozent genutzt und über 50 Prozent nach der Melkung. Ursächlich für die kürzere Liegezeit vor dem Melken kann die Antizipation des Melkens an sich sein, für die längere Liegezeit nach der Melkung eine Zunahme des Entspannungszustandes.

Zusammenfassend können die Auswertungen der Literatur von TUCKER ET AL. (2004) herangezogen werden. Eine gesunde, laktierende Kuh liegt demnach mindestens zwölf Stunden pro Tag ( $\pm$  vier Stunden); ist die Liegeplatzqualität für die Kuh hinreichend, geschieht dies in 8,2 bis 14,1 Liegeperioden pro Tag. Die Dauer der Liegeperioden variieren dabei von 0,9 bis 1,4 Stunden.

## 2.1.6 Milchmenge

Die durchschnittliche Milchleistung pro Kuh und Jahr liegt im Jahr 1990 bei 4.700 Kilogramm. Durch moderne Haltungsformen mit Laufställen und Melkrobotern können nicht nur das Tierwohl gesteigert, sondern auch gleichzeitig arbeitswirtschaftliche Verbesserungen für den Betrieb erreicht werden (ANON 2014). Die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh beträgt daher im Jahr 2016, in Deutschland, bereits 7.748 Kilogramm (STATISTA GMBH 2017).

WEISS ET AL. (2004) stellen bei der Umgewöhnung von konventionellem auf Roboter melken eine Milchleistungs-Reduktion von 15 Prozent nach den ersten acht bis zehn Melkungen fest. Unterschiede in der Milchzusammensetzung können durch die Umstellung vom Melkstand-Melken zum AMS-Melken allerdings nicht festgestellt werden. Ihren Ergebnissen zufolge, tritt bei gestressten Kühen (Umstellung von konventionellem Melken auf Roboter melken) ein relativer Rückgang des Milchertrags von  $68 \pm 7$  Prozent auf. Auch in einem späteren Versuch, mit einem Wechsel von konventionellem Melken zu einem AMS, ergeben sich signifikante Unterschiede bei der Gesamtmilchleistung der ersten 15 Melkungen nach Umstellung (WEISS ET AL. 2005). Beim Melken mit einem AMS gibt die Kuh, individuell, das zeitliche Melkintervall selbst vor (KONING UND OUWELTJES 2001). Hierbei zeigen sich tageszeitabhängig große Variabilitäten (SPERONI ET AL. 2003). BACH UND BUSTO (2005) weisen in ihren Untersuchungen nach, dass Kühe, die in unregelmäßigen Abständen das AMS besuchen, weniger Milch geben als Kühe, die in konstanten Melkintervallen das AMS aufsuchen. Die Melkintervalle haben dabei besonders Einfluss auf Kühe mit hoher Milchleistung (HOGEVEEN ET AL. 2001).

Aus ökonomischen Gründen sollen gerade Betriebe mit geringer Besatzdichte eine Milchmenge von min. 11 Kilogramm pro Melkung anstreben, um eine ausreichende Auslastung des AMS sicher zu stellen (ACHLER 2013).

Die Laktationskurve des Rindes erreicht vier bis sechs Wochen nach der Kalbung ihren Höhepunkt, danach nimmt sie stetig ab (ENGELHARDT UND AURICH 2010). Durch züchterische Maßnahmen ist es gelungen, bis zu 20.000 Kilogramm Milch und mehr, pro Laktation, zu erreichen. Exemplarisch ist eine Laktationskurve für Fleckvieh (GERBER ET AL. 2007), in der ersten Laktation, bei verschiedenen Betriebsintensitäten (von intensiver über mittlere bis zu extensiver Haltungsform) in Abb. 3 dargestellt.

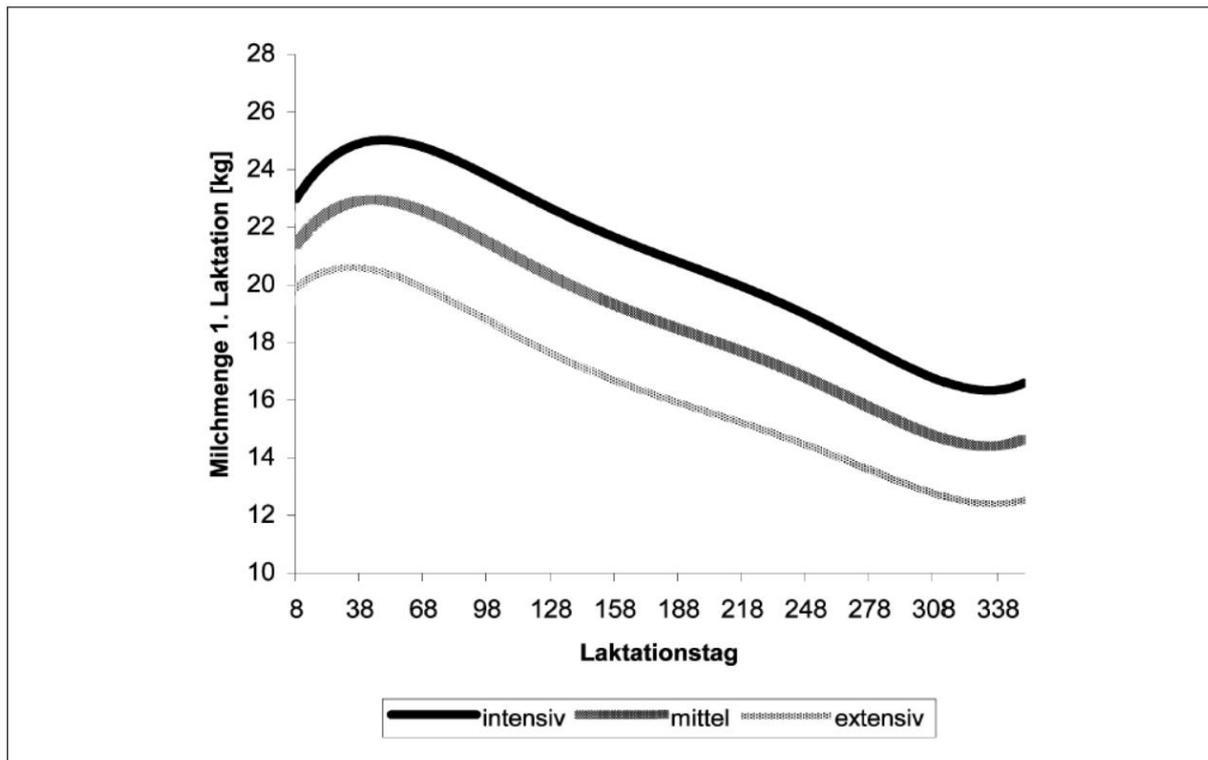


Abb. 3: Verlauf einer Laktationskurve der 1. Laktation bei verschiedenen Haltungssystemen (GERBER ET AL. 2007)

Das Milchleistungsoptimum wird in der Regel erst in der dritten bis vierten Laktation erreicht und erzielt bei Hochleistungsrindern Tagesgemelke von bis zu 80 Kilogramm (BRUCKMAIER UND KRÖMKER 2007; VIJAYAKUMAR ET AL. 2017). Nach dem Fütterungs- und Haltungskontroll-Leitfaden der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein geben Kühe nach fünf bis sieben Wochen die maximale Milchmenge, wobei Färsen ein Viertel weniger Leistung erzielen (Abb. 4). Nach Überschreiten des Milchmengen-Maximums geht die Leistung bei Kühen um 0,3 Prozent und bei Färsen um 0,2 Prozent pro Tag zurück (KAMPF 2016). Schwankungen in der Milchleistung können auch auf die Empfänglichkeitsperiode (Brunst), die alle 21 Tage bei geschlechtsreifen Rindern auftritt (VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSBERATER IN BAYERN 2007), zurückgeführt werden. Es ist zu beobachten, dass die Milchleistung am ersten Tag der Brunst um 4,1 Prozent zurückgeht, dafür aber am zweiten Brunsttag um 7,3 Prozent ansteigt. Grund hierfür ist wahrscheinlich die Futteraufnahme, die am Tag der Brunst deutlich niedriger ist als am Tag danach (HALLI ET AL. 2014).

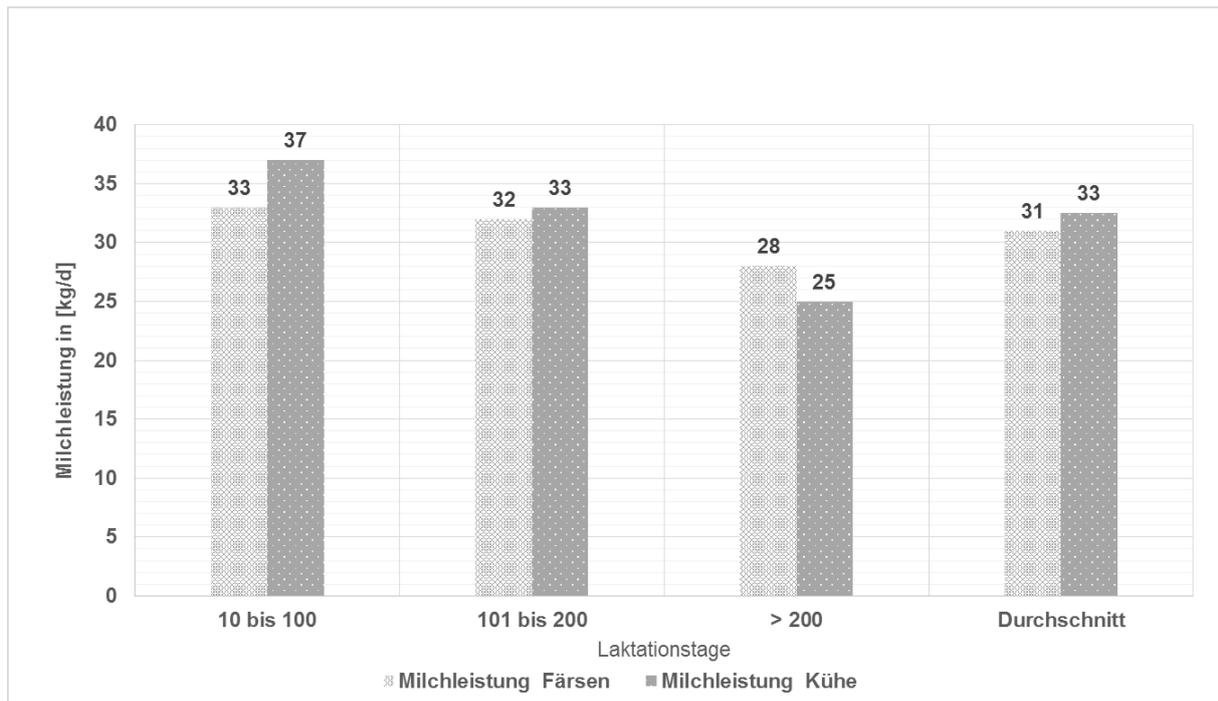


Abb. 4: Standardlaktationskurve für eine geplante Herdenleistung von 9.000 bis 10.000 kg verändert nach (KAMPF 2016)

SPERONI ET AL. (2006) stellen fest, dass die Milchleistung in der kalten Jahreszeit höher ist als in der heißen Jahreszeit ( $32,2 \pm 0,4$  kg/d vs.  $28,8 \pm 0,3$  kg/d). Dies gilt auch für multipare Kühe. Ihre Milchleistung liegt  $3,0 \pm 0,5$  kg/d höher als die der von Erstkalbinnen. Die Melkfrequenzen sind im Herbst bzw. im Winter höher als im Frühjahr bzw. im Sommer ( $2,7 \pm 0,04$  vs.  $2,6 \pm 0,03$ ). Ebenso werden höhere Melkfrequenzen bei erstgebärenden Kühen ( $2,8 \pm 0,03$ ) als bei multiparen Kühen ( $2,5 \pm 0,04$ ) festgestellt. Einen Unterschied im Tagesverlauf der Melkfrequenzen ist allerdings nicht auszumachen. Dafür sind die Melkintervalle während der Herbst- und Winter-Zeit geringfügig kürzer (8 h 51 min  $\pm$  11 min) als die in der Frühjahrs- und Sommerzeit (9 h 38 min  $\pm$  9 min). Erstgebärende weisen ein kürzeres Melkintervall auf (8 h 46 min  $\pm$  9 min) als multipare Kühe (9 h 43 min  $\pm$  15 min). Die Besuchshäufigkeit des AMS nimmt vor allem während der heißen Jahreszeiten nachts zwischen 22:00 Uhr und 04:00 Uhr ab.

BERRY UND MCCARTHY (2012) versuchen in ihrer Studie sowohl die Reproduzierbarkeit der Melkreihenfolge abzuschätzen als auch den Beitrag der Unterschiede in der additiven, genetischen Variation auf phänotypische Unterschiede (d. h. die Heritabilität) zu quantifizieren. Die Daten dieser Studie stammen aus der Irish Cattle Breeding Federation Datenbank. Aus einem Zeitraum von acht Jahren werden die Daten von 85.532 Kühen in 1.143 Herden ausgewertet.

Es ergibt sich eine durchschnittliche Milchleistung beim morgendlichen Melken im Melkstand von 12,36 kg und eine Milchleistung von 9,16 kg am Abend. Die Tiere, die zuerst den Melkstand betreten, geben mehr Milch und haben niedrigere somatische Zellzahlen.

KUČEVIĆ (2009) ermittelt im Rahmen seiner Untersuchungen, dass der Rang (hoch oder niedrig) weder auf die Leistungsparameter (Milchmenge, Fettgehalt, Eiweißgehalt) noch auf die Zellzahl einen signifikanten Einfluss hat. Auch Lahmheiten haben keinen Einfluss auf die Milchmenge (THORUP ET AL. 2016).

In den Untersuchungen von TUCKER ET AL. (2009a) dagegen können nur in beschränktem Maß Hinweise darauf gefunden werden, dass der Ausfall einzelner Melkungen bzw. eine Reduktion der Melkfrequenzen zu Unwohlsein führt.

### 3 Zielstellung

Im Rahmen des interdisziplinären Verbundforschungsvorhabens „Integrated Dairy Farming – Stall 4.0“ sollen Grundlagen für die Definition eines differenzierten On-Farm Energie Management Systems gelegt werden, das verschiedene dezentrale Erzeuger regenerativer Energien (z. B. Auf-Dach-PV-Anlagen, Kleinwindkraftanlagen, Hofbiogasanlagen, oberflächennahe Geothermie etc.) mit Smart Grid fähigen Verbrauchern und optionalen Energiespeichern (z. B. Batterien, Eisspeicher-Milchkühlanlagen, Warmwasser- und Druckluftspeicherung etc.) in modernen, zukunftsfähigen Milchviehställen systemtechnisch verknüpft. Aus Gründen der einzelbetrieblichen Wirtschaftlichkeit und der Ressourcenschonung soll damit eine optimale Eigenverbrauchsquote erzielt werden. Durch die Gestaltung einer intelligenten Netzanbindung kann damit auch eine optimale, regionale Netzauslastung erreicht werden.

Mit Hilfe von Robotersystemen soll durch Abruf, die zur Verfügung stehende, eigenproduzierte Energie flexibel über den Tag verteilt werden. In den meisten Fällen wird daher kein fester Tagesrhythmus eingehalten werden können. Dies wiederum könnte Auswirkungen auf das Tierverhalten und das Tierwohl haben.

Das Ziel dieser Arbeit „Tier-Technik-Interaktion“ innerhalb des Konzeptansatzes „Integrated Dairy Farming – Stall 4.0“ besteht darin, mögliche Belastungsreaktionen von Milchkühen, die durch Energieengpässe entstehen können, exemplarisch an einem energiebedingten Ausfall eines Melkroboters, zu quantifizieren. Um Belastungsreaktionen erkennen zu können, wird die Stressmessung angewendet. Als anzeigende Stressindikatoren werden Herzaktivität, Wiederkautätigkeit, Cortisol-Metaboliten-Ausschüttung, Bewegungsaktivität und Verhalten analysiert. Diese Stressparameter sollen mögliche Veränderungen zwischen den Basalmessungen und den Testmessungen anzeigen, d. h. ob bei einer Melkanrechts-Verweigerung durch ein AMS (simulierter Stromausfall), verglichen mit einem AMS-Normalbetrieb, Veränderungen im Verhalten von Milchkühen auftreten.

## 4 Material und Methoden

In diesem Kapitel werden zunächst Versuchsaufbau und Versuchszeitraum beschrieben. Nachfolgend werden die Versuchsrahmenbedingungen mit den jeweiligen Versuchsbetrieben, Fokustieren und deren Kennzeichnung weiter erläutert. Anschließend wird die methodische Vorgehensweise zur Erfassung aller untersuchten Parameter dargestellt. Abschließend erfolgt eine Erläuterung zur Auswertung der verwendeten Statistik-Methoden.

### 4.1.1 Versuchsaufbau

Der Versuch wird auf vier unterschiedlichen bayerischen Betrieben (B1 bis B4) im Landkreis Rosenheim durchgeführt, bei denen je zwölf Milchkühe zufällig zur Untersuchung ausgewählt werden. Für die Videoüberwachung des Wartebereichs vor dem AMS werden Kameras mit Infrarotsendern in allen Betrieben angebracht. Diese zeichnen jeweils 24 Stunden, insgesamt sieben Tage lang, das Verhalten der Tiere auf. Sechs Tage vor Datenaufnahme werden den Tieren Pulsgurte zur Messung der Herzaktivität und Pedometer zur Ermittlung der Bewegungsaktivität angelegt, um eine Gewöhnung an die Messinstrumentarien (Abb. 5) zu gewährleisten.

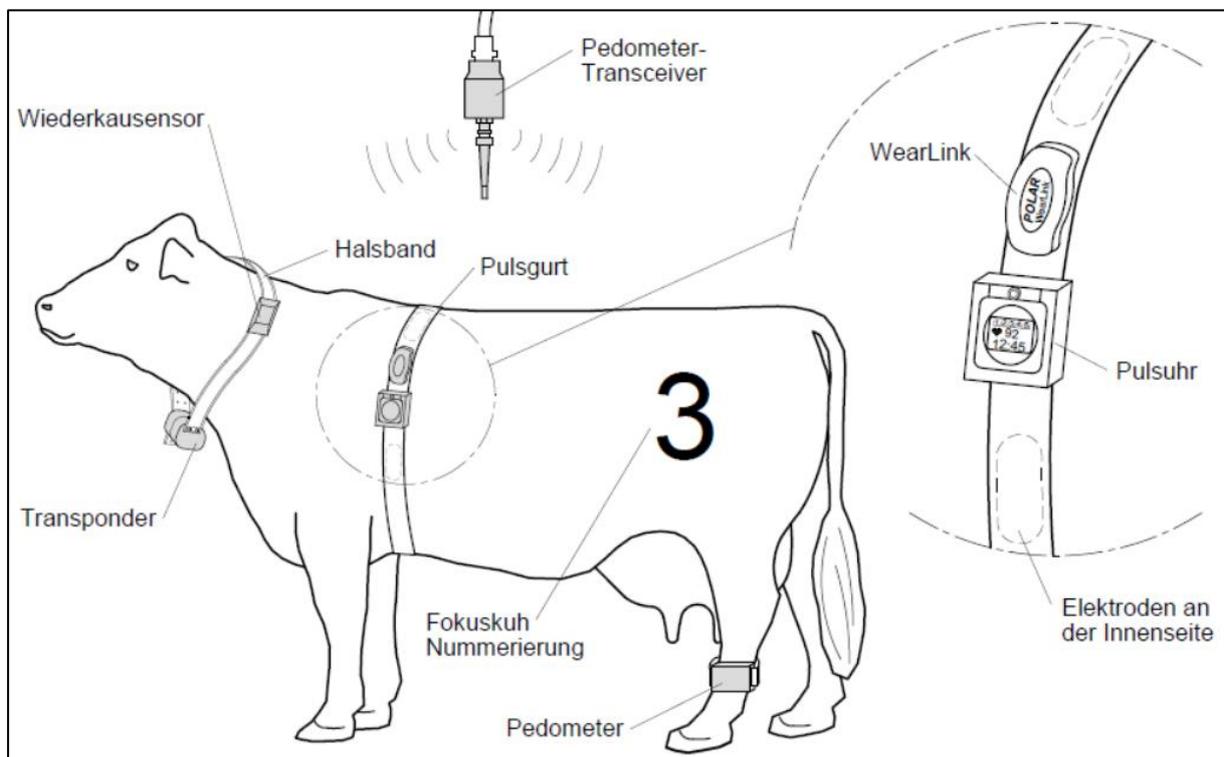


Abb. 5: Messinstrumentarien an einer Fokuskuh

Im Betrieb B1 werden die Halsbänder der Fokuskühe gegen Halsbänder mit Wiederkaussensoren getauscht, da bis zu diesem Zeitpunkt auf B1 das Wiederkauen nicht von dem dortigen Computersystem aufgezeichnet wird. Mit dem Start der Videoaufzeichnungen werden täglich zwei Cortisol-Proben pro Fokuskuh genommen.

Der Zeitraum der Datenerfassung erstreckt sich je Betrieb über 13 Tage hinweg, wobei jede Basalmessung drei Tage lang dauert und die anschließende Testmessung vier Tage. Die Basalmessung erfasst den Zustand der Tiere ohne den Einfluss eines energiebedingten Ausfalls eines AMS. Für die eigentliche Testmessung wird das gewöhnliche Melkverhalten der Fokuskühe tier- und betriebsindividuell analysiert. Zusammen mit dem jeweiligen Betriebsleiter werden die Melkanrechtssperrung kuhindividuell festgelegt: Am ersten Testtag wird das Melkanrecht der jeweiligen Fokuskuh einmalig innerhalb von 24 Stunden für mindestens zwei und maximal vier Stunden gesperrt. Eine derartige Sperrung wird als sog. *Blockzeit* programmiert und bedeutet für die jeweilige Kuh eine Abweisung durch den Roboter. In dieser festgelegten Blockzeit kann die betreffende Kuh zwar das AMS betreten, erhält aber kein Kraftfutter und auch keine Melkung. Sie muss das AMS wieder verlassen. Geschieht das nicht innerhalb einer festgelegten Zeit, erhält die Kuh einen leichten Stromschlag, um den Roboter wieder für andere Kühe frei zu machen.

An den folgenden drei Testtagen werden die Melkanrechtssperrungen, wiederum tier- und betriebsindividuell, mit den jeweiligen Betriebsleitern festgesetzt. Dabei werden das Verhalten und die Milchleistung der Fokuskühe sowie der gesamten Herde berücksichtigt. Ziel ist es, möglichst viele vierstündige Blockzeiten zu setzen, um die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen AMS-Abweisung zu vergrößern, aber dennoch den Tieren (z. B. Euterbelastung) und den Betrieben (z. B. Milchmengenleistung) keinen Schaden zu zufügen.

Im ersten Versuchsbetrieb (B1) wird am ersten Testtag eine Blockzeit von vier Stunden für alle zwölf Fokuskühe eingerichtet. Am zweiten Testtag werden elf Tiere für drei Stunden geblockt, eine Kuh lediglich für zweieinhalb Stunden. Am dritten Testtag können alle zwölf Tiere für drei Stunden gesperrt werden. Am vierten Testtag erfolgt keine Melkanrechtssperrung.

Im zweiten Versuchsbetrieb (B2) werden zehn Kühe für vier Stunden, jeweils eine Kuh für drei Stunden und eine Kuh für dreieinhalb Stunden geblockt. Am zweiten Testtag wird zehn Kühen das Melkanrecht für vier Stunden verweigert, eine Kuh wird für zweieinhalb Stunden und eine weitere für zwei Stunden geblockt. Am dritten Testtag können wiederum zehn Tiere für vier Stunden gesperrt werden, eine Kuh für drei Stunden und ein Tier für zwei Stunden. Am vierten Testtag gibt es keine Blockzeiten.

Im dritten Versuchsbetrieb (B3) werden am ersten Testtag zwei Kühe für vier Stunden und zehn Kühe für zwei Stunden gesperrt. Am zweiten Testtag können in diesem Betrieb alle zwölf Kühe für vier Stunden geblockt werden. Am dritten Testtag befinden sich nur noch zehn Tiere in der Versuchsgruppe, da zwei Kühe auf Grund von Krankheit separiert werden müssen. Von den noch verbliebenen zehn Versuchstieren kann der Hälfte das Melkanrecht für zwei Stunden entzogen werden, die anderen fünf Tiere erhalten keine Einschränkungen. Auch in diesem Betrieb erfolgt am vierten Testtag keine Blockzeitsetzung mehr.

Im vierten Versuchsbetrieb (B4) kann bei allen zwölf Fokustieren am ersten Testtag eine Blockzeit von zwei Stunden festgesetzt werden. Am zweiten Testtag wird diese für sieben Kühe auf drei Stunden erhöht, drei Tiere werden lediglich für zwei Stunden geblockt und zwei Tiere erhalten keine Reglementierung. Am dritten Testtag kann das Melkanrecht bei fünf Tieren für drei Stunden verweigert werden, weitere fünf Tiere werden zwei Stunden gesperrt und zwei Tiere erhalten ihr volles Melkanrecht zurück. B4 ist der einzige Versuchsbetrieb, bei dem am vierten Testtag eine Melkanrechtssperrung erfolgt: Fünf Kühe werden für fünf Stunden gesperrt, weitere fünf Tiere für zwei Stunden und zwei Tiere erhalten keine Sperrung.

Eine Übersicht über alle gesetzten Blockzeiten ist in Abb. 6 dargestellt.

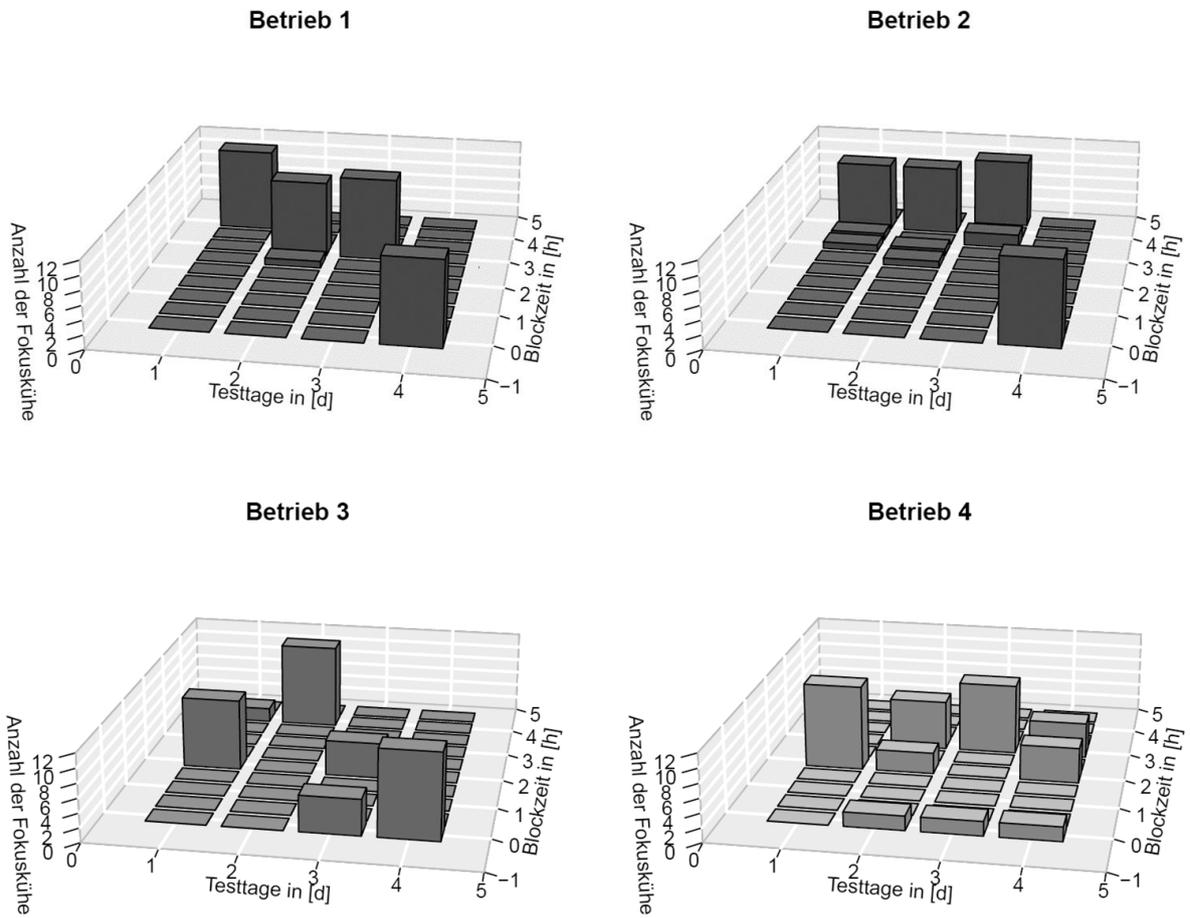


Abb. 6: Übersicht über die gesetzten Blockzeiten auf allen vier Betrieben

### 4.1.2 Versuchszeitraum

Die Versuche werden 2014 in den Monaten März bis August auf vier unterschiedlichen oberbayerischen Milchviehbetrieben (B1 bis B4), die Lely Astronaut Melktechnik verwenden, durchgeführt (Abb. 7). Insgesamt umfasst die Versuchsdauer jeweils 13 Tage pro Versuchsbetrieb (Abb. 8).

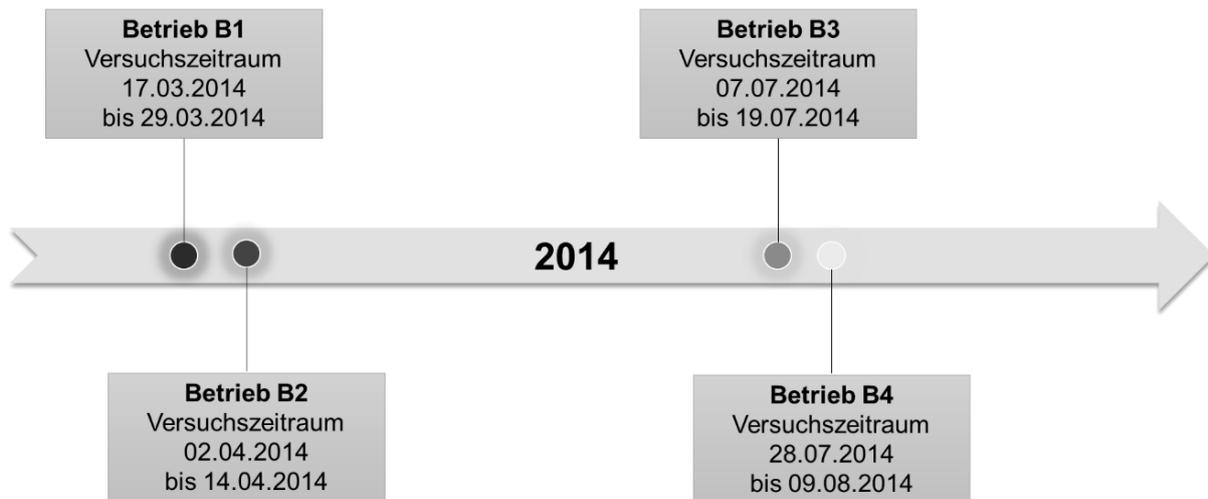


Abb. 7: Zeitliche Anordnung der Versuche

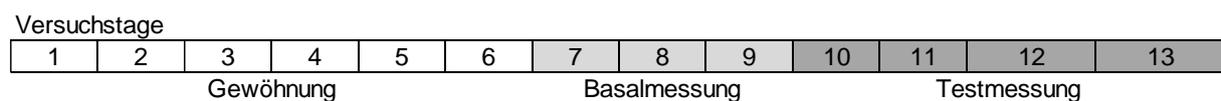


Abb. 8: Zeitstrahl der Versuchsdauer

Sechs Tage vor Datenaufnahme werden den Tieren die Brustgurte zur Messung der Herzaktivität und die Pedometer angelegt, damit sie sich an die Messinstrumente und an die Versuchsabläufe gewöhnen können (Gewöhnung). Der Zeitraum der eigentlichen Datenerfassung erstreckt sich je Betrieb über sieben Tage hinweg, wobei jede Basalmessung drei Tage lang dauert und die Testmessung vier Tage. Die Basalmessung erfasst den Zustand der Tiere ohne den Einfluss eines energiebedingten Ausfalls des AMS (GRÄFF ET AL. 2015).

### 4.1.3 Versuchsrahmenbedingungen

Die Versuchsrahmenbedingungen werden der Übersichtlichkeit halber aufgeteilt in die Unterkapitel Versuchsbetriebe, Tiere und Tierkennzeichnung.

#### 4.1.3.1 Versuchsbetriebe

Bei allen vier Versuchsbetrieben handelt es sich um Boxenlaufställe mit Einzelliegeboxen und Spaltenboden, die bereits seit Mitte der 1970er Jahre als Standard bei der Laufstallhaltung von Milchkühen gelten (HÖRNING ET AL. 2001). Jeder der vier Familien-Betriebe liegt im Landkreis Rosenheim in Oberbayern.

Im ersten Betrieb (B1) werden zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung 64 Milchkühe, 36 Kalbinnen und 16 Stück Jungvieh im Hauptstall versorgt. Im Nebengebäude befinden sich 22 Kälber. Ein Ausschnitt des Stallgrundrisses von B1 mit AMS und Wartebereich ist als technische Skizze in Abb. 9 dargestellt.

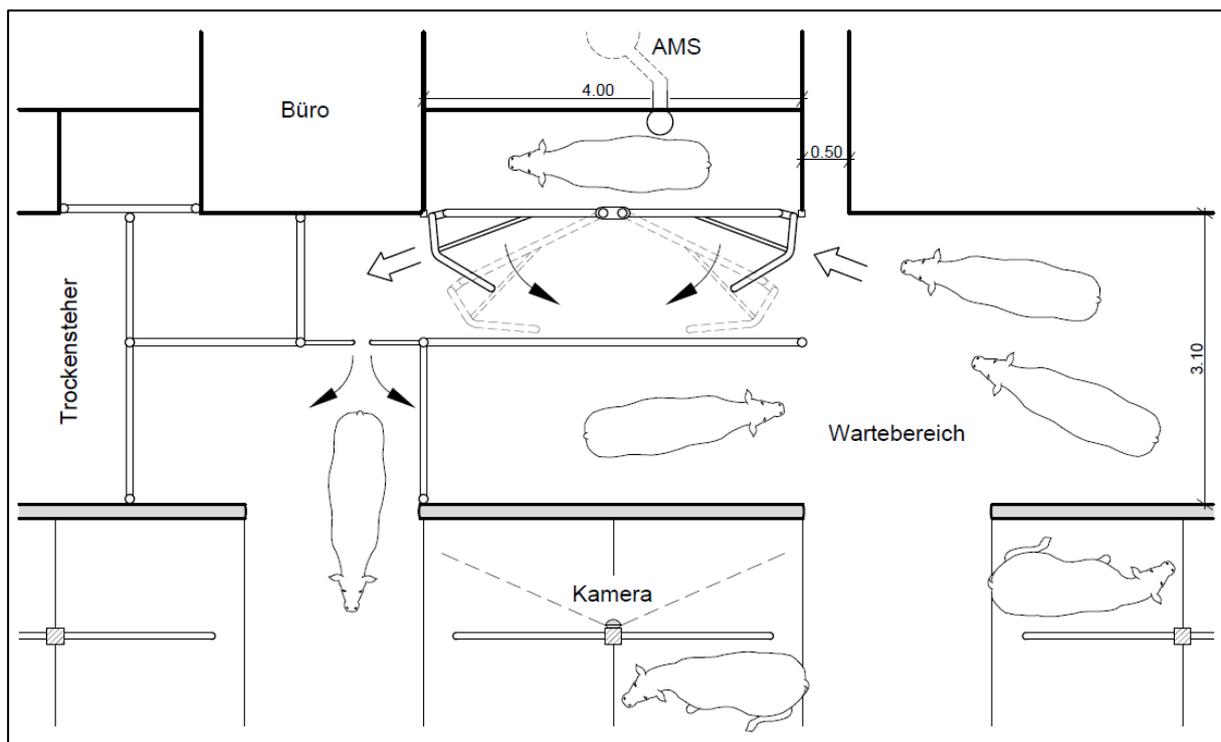


Abb. 9: Skizze Stallgrundriss B1 mit AMS und Wartebereich

Bei dem Milchviehstall handelt es sich um einen ehemaligen Anbindestall (Abb. 10), der im August 2008 zu einem Laufstall mit freiem Kuhverkehr und Vollspalten umgebaut wurde. Die Reinigung erfolgt durch einen Lely Spaltenroboter (Abb. 11).



Abb. 10: Ehemaliger Anbindestall B1



Abb. 11: Tiefstreubuchten mit Spaltenroboter in B1

An das alte Gebäude ist ein externer Fütterungsbereich zur Erweiterung der Fressplätze angebaut worden (Abb. 12). Mit Hilfe eines Futtermischwagens (Abb. 13) erfolgt die Futtervorbereitung. Dieser beschickt bis zu sechsmal täglich die Rationen über ein Futterband (Abb. 14).

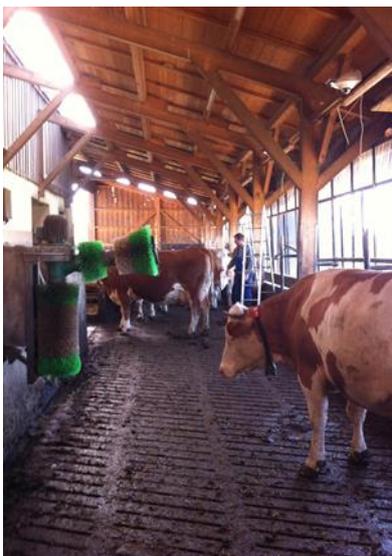


Abb. 12: Anbau an Altstall B1



Abb. 13: Futtermischwagen im B1



Abb. 14: Futterband B1

Die Trockensteher befinden sich im vorderen, separaten Bereich des Futterbandes. Die Kalbinnen und das Jungvieh sind im Anschluss an die laktierende Herde aufgestellt. Eine Ab-



Abb. 15: Fixierung einer Fokuskuh mit Strick B1

kalbe- und Krankenbucht befindet sich zwischen den laktierenden und den trockenstehenden Kühen. Die Melkungen erfolgen durch einen Melkroboter (Typ Lely Astronaut A3), wobei der unmittelbare Bereich vor dem AMS abgesperrt werden kann. Der gesamte Stall ist mit Tiefstreubuchten ausgestattet. Da kein Fressfanggitter zur Verfügung steht, werden für den Pulsuhrenwechsel bzw. die Kotprobenentnahmen bei den Fokuskühen der hintere Teil der Liegeboxen mit einem Strick für den jewei-

lig benötigten Zeitraum abgetrennt (Abb. 15).

Im zweiten Betrieb (B2) befinden sich zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung 81 Milchkühe, 33 Kalbinnen, 22 Stück Jungvieh und 23 Kälber. Hier ist ein Umbau eines 17 Jahre alten Freilaufstalls zu einem Aussenklimastall mit Vollspalten bei freiem Kuhverkehr erfolgt. Der Stall (Skizze Abb. 16) verfügt über einen Aussenauslauf (Abb. 17 und Abb. 18) mit zusätzlichen Hochboxen.

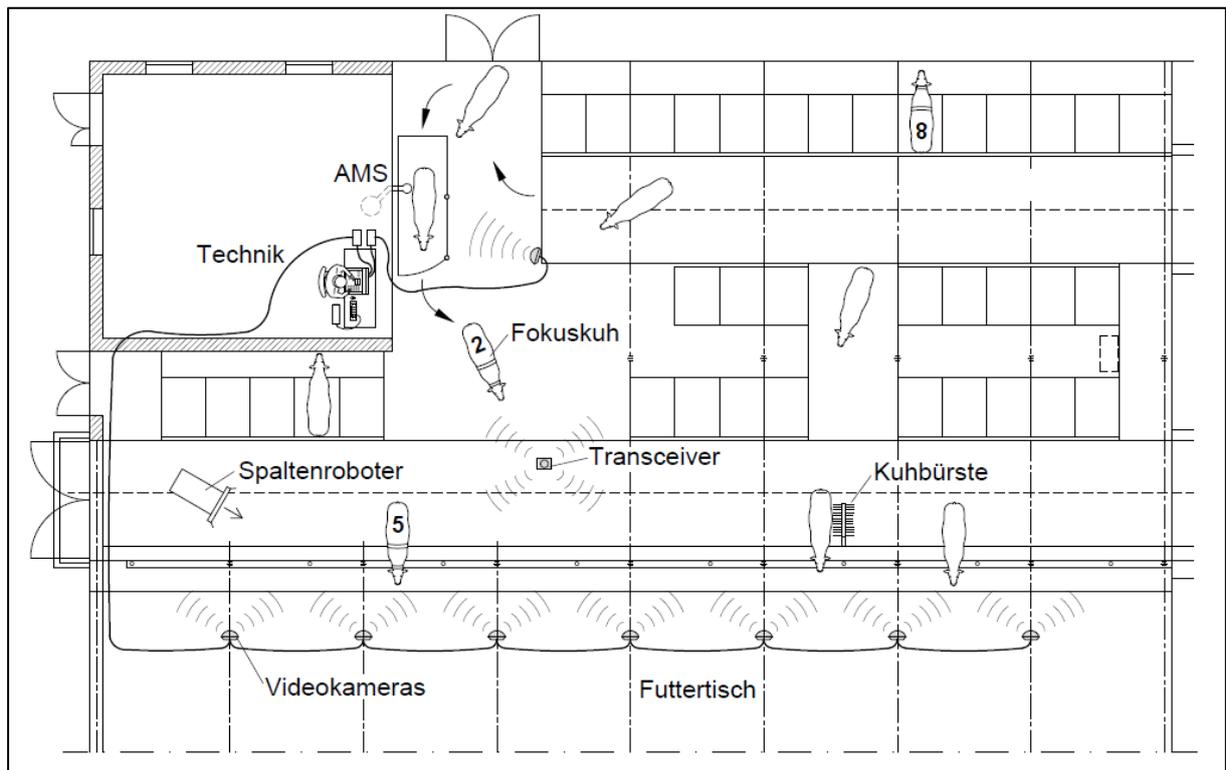


Abb. 16: Skizze Stallgrundriss B2 mit AMS

Der eigentliche Stallbereich ist sowohl mit Hochboxen (Gummimattenauflagen) als auch mit stroheingestreuten Tiefboxen ausgestattet. Allerdings reicht das Fress-Liegeplatzverhältnis nicht aus. Es herrscht eine leichte Überbelegung. Die Trockensteher befinden sich neben den laktierenden Kühen in einem separaten Bereich. Die jungen Kälber sind in Kälberglus aufgestellt, die älteren Kälber direkt neben den Milchkühen hinter der Abkalbebox in einem Tiefstrebereich. Die Jungrinder und Färsen befinden sich auf der anderen Seite des Futtertisches, der mit Fressgitter ausgestattet ist. Die Fütterung erfolgt zweimal täglich mit Hilfe eines Futtermischwagens (Abb. 19). Das Futter wird auf dem Futtertisch (Abb. 20) mehrmals täglich mit einem Hoflader zum Fressgitter nachgeschoben. Als Melktechnik wird ein Lely Astronaut A4, der nachträglich (ein Jahr vor Versuchsbeginn) in den Stall eingebaut wurde, verwendet. Für den Pulsuhrenwechsel und die Kotprobenentnahmen werden die Fokuskühe durch die Betriebsleiter ca. 15 bis 30 Minuten vor der täglichen Versuchsroutine im Fressgitter fixiert.



Abb. 17: Blick vom Futtertisch zum AMS und Außenbereich B2



Abb. 18: Außenbereich B2



Abb. 19: Futtermischwagen B2



Abb. 20: Futtertisch B2

Der dritte Versuchsbetrieb (B3) ist im Jahr 2013 fertiggestellt worden. Ein Ausschnitt des Stallgrundrisses von B3 ist als technische Skizze in Abb. 21 dargestellt.

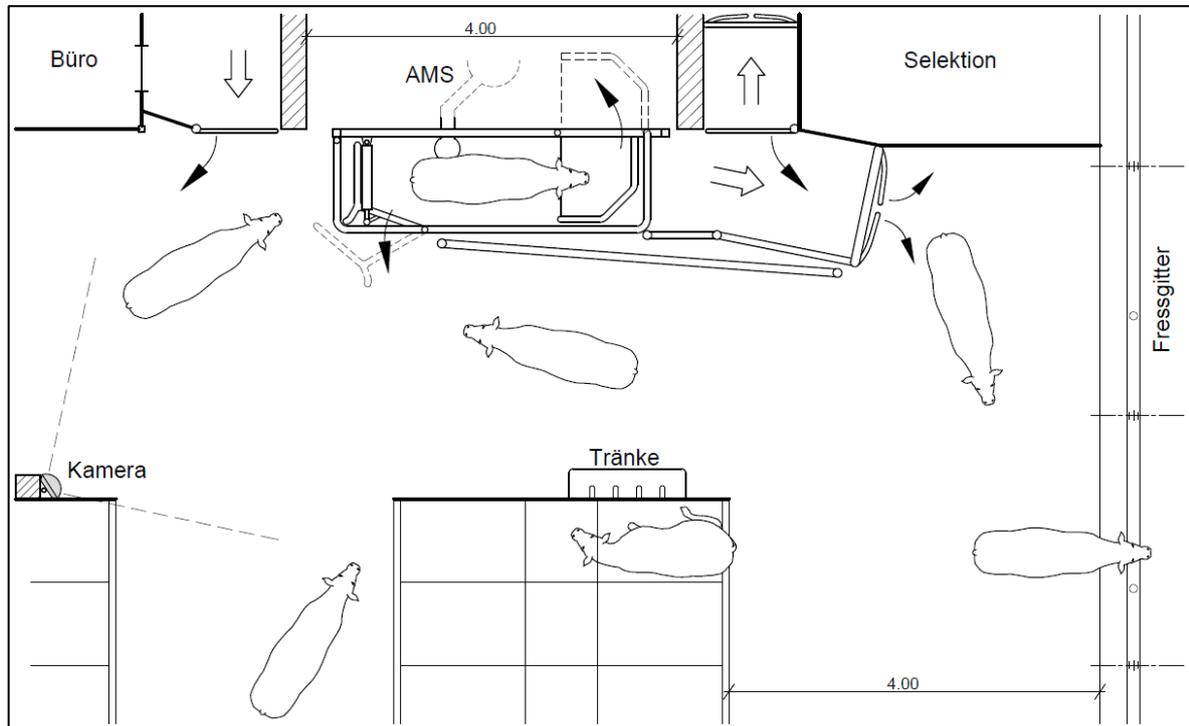


Abb. 21: Skizze Stallgrundriss B3 mit AMS

Bei diesem Stall handelt es sich um einen neuen Aussenklimastall mit großzügig angelegtem Futtertisch (Abb. 22). Zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung werden dort 68 Milchkühe gemolken. Die Trockensteher befinden sich im hinteren Bereich des Milchviehstalles in einem eigens abgetrennten Abteil. Das Jungvieh ist separat im ehemaligen Stall untergebracht. Durch den Neubau wird ein sehr günstiges Fress- Liegeplatzverhältnis geschaffen, so dass der Stall unterbelegt ist. Mit Hilfe des Melkroboters Lely Astronaut A4 können die zu selektierenden Kühe über ein Selektionstor (Abb. 23) in einen Selektionsbereich sortiert werden. Aus der Selektion gelangen die Kühe über ein weiteres Tor, das zwischen Büro und AMS liegt, wieder zurück zur Herde. In diesem Teil des Stalles befinden sich die frischmelkenden Kühe, die Kalbinnen und kranke Kühe. Der gesamte Milchviehstall ist mit Vollspaltenboden ausgelegt und hat im Bereich um das AMS zusätzlich eine Gummiauflage (Abb. 24). Durch den Neubau sind die Abmessungen der Tiefstreuboxen (Abb. 25) ideal an die Körpergröße der Tiere angepasst. Zum Wohlbefinden der Kühe sind sowohl im Separationsbereich als auch im Hauptstall

elektrische Kuhbürsten angebracht. Für die Reinigung des Spaltenbodens wird ein Lely Discovery verwendet. Der Futtertisch und damit der Fressbereich sind komplett mit Selbstfangfressgittern versehen. Die Fütterung erfolgt zweimal täglich durch einen Futtermischwagen.



Abb. 22: Futtertisch B3



Abb. 23: Selektionstor nach AMS B3



Abb. 24: Wartebereich vor AMS B3



Abb. 25: Tiefstreuboxen und Spaltenroboter B3

Der vierte Betrieb (B4), ein ebenfalls im Jahr 2013 neu gebauter Aussenklimastall, ist mit 52 Milchkühen besetzt. In Abb. 26 ist der Bereich um den Melkroboter als technische Skizze dargestellt. Auch auf diesem Betrieb ist eine Unterbelegung gegeben. Die Trockensteher sind im hinteren Teil des Stalles abgetrennt. Das Jungvieh wird separat im alten, ehemaligen Milchviehstall gehalten. Die Melkungen werden von einem Lely Astronaut A4 ausgeführt. Der großzügig gestaltete Futtertisch (Abb. 27) ist im vorderen Drittel des Fressbereichs mit Selbstfang-

fressgittern ausgestattet. Über die restliche Länge des Futtertisches ist lediglich ein Nackenrohr verbaut. Der Liegebereich verfügt über Hochboxen mit Gummimattenauflagen (Abb. 28). Diese befinden sich auch in dem kleinen Separationsbereich (Abb. 29) mit drei Fressplätzen, der ebenso mit Fressgittern und zusätzlich einem Besamungs- bzw. Klauenstand ausgestattet ist. Dieser Selektionsraum wird durch ein direkt am AMS angebrachtes Selektionstor je nach Bedarf freigegeben und kann auch nur über dieses Tor wieder verlassen werden. Der Laufstall enthält einen Vollspaltenboden, der ebenso wie in den anderen drei Betrieben mit einem Spaltenreinigungsroboter der Firma Lely (Abb. 30) gereinigt wird. Die Fütterung erfolgt zweimal täglich mit Hilfe eines Futtermischwagens. Für das Wohlbefinden der Kühe ist eine elektrische Kuhbürste in der Mitte des Laufstalls angebracht.

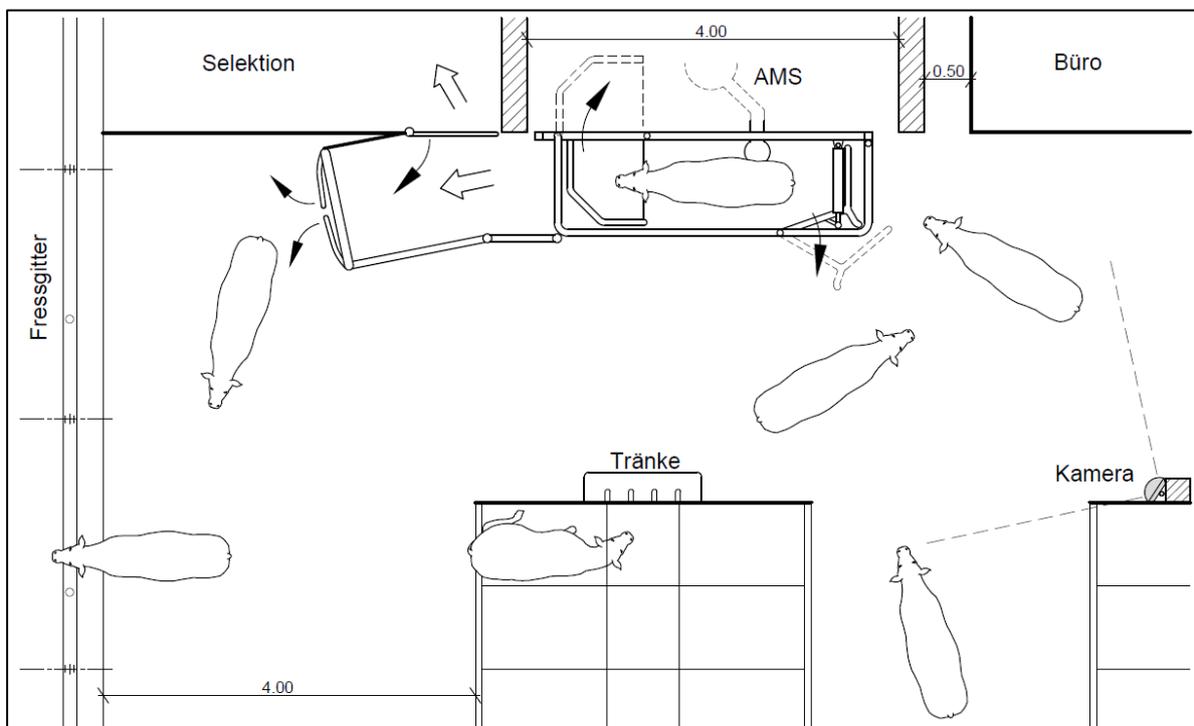


Abb. 26: Skizze Stallgrundriss B4 mit AMS



Abb. 27: Futtertisch B4



Abb. 28: Hochboxen B4



Abb. 29: Separationsbereich B4



Abb. 30: Spaltenroboter B4

#### 4.1.3.2 Tiere

Bei den Milchkühen auf den Versuchsbetrieben handelt es sich ausschließlich um die Rasse Fleckvieh, eine Zweinutzungsrasse, die sich durch ihre erhebliche Robustheit auszeichnet. In Bayern gibt es ca. 591.000 eingetragene Herdbuch-Fleckviehkühe mit einer durchschnittlichen Milchleistung von 7.280 Kilogramm (LISTE 2013).

Auf den jeweiligen Versuchsbetrieben reicht die Anzahl des zu melkenden Fleckviehs von 52 bis 71 Tiere (Tab. 1).

Tab. 1: Anzahl der gemolkene Kühe je Betrieb

Betrieb	B1	B2	B3	B4
Anzahl gemolkener Kühe	64	71	68	52

Aus diesen werden jeweils zwölf laktierende Tiere, sowohl sich im Zyklus befindliche als auch trächtige Tiere, vorab zufällig ausgewählt (Tab. 2 bis Tab. 5). Der letzte Abkalbetermin soll dabei mindestens einen Monat zurückliegen und der nächste erst frühestens auf zwei Monate nach Versuchsende terminiert sein, um unnötige Komplikationen (z. B. AMS-Adaptionen von Erstlaktierenden) zu vermeiden. Die Anzahl der Laktationsperioden der Kühe auf allen vier Betrieben liegen im Mittel bei 2,4 Laktationen und reichen von einer bis zu sieben Laktationen. Im Mittel sind die Kühe 3,9 Jahre alt. Die jüngste Kuh ist zwei Jahre alt, die älteste acht Jahre. Für die HR-Messungen werden lediglich die Kühe aus B1 im Bereich des Pulsgurtes gescho-ren, da ihr Fell für korrekte Messergebnisse zu lang ist.

Tab. 2: Übersicht Fokuskühe B1

B1 Fokuskuh	Geburtsdatum	Alter in Jahren	Lakt.-Nr.	Kalbedatum	Lakt.-Tage	Reproduktions Status	Milchleistung pro Tag ( $\bar{x}$ ) in [l]
1	16.04.2011	2,11	1	19.07.2013	250	Trächtig	16,6
2	10.01.2011	3,02	1	24.08.2013	214	Trächtig	30,8
3	06.09.2011	2,07	1	15.12.2013	101	Besamt	24,3
4	19.07.2005	8,08	7	09.02.2014	45	Offen, im Zyklus	37
5	10.08.2007	6,08	4	27.10.2013	150	Besamt	27,6
6	26.02.2008	6,01	4	20.12.2013	96	Trächtig	28,6
7	21.09.2008	6,2	4	06.11.2014	140	Trächtig	29,8
8	20.01.2009	5,02	3	12.08.2013	226	Trächtig	24,9
9	26.11.2009	4,04	3	05.10.2013	172	Trächtig	36,1
10	11.02.2010	4,01	3	26.01.2014	59	Besamt	37,2
11	23.05.2010	3,1	2	13.07.2013	256	Trächtig	17,6
12	08.09.2010	3,06	2	02.02.2014	52	Offen, keine Brunst	39,7

Tab. 3: Übersicht Fokuskühe B2

B2 Fokuskühe	Geburtsdatum	Alter in Jahren	Lakt.-Nr.	Kalbedatum	Lakt.-Tage	Reproduktions Status	Milchleistung pro Tag ( $\bar{x}$ ) in [l]
1	01.08.2009	4,08	3	16.12.2013	116	Offen, im Zyklus	37,4
2	08.07.2011	2,08	1	04.10.2013	189	Besamt	22,3
3	19.05.2010	3,1	2	09.09.2013	214	Besamt	19,4
4	17.02.2006	8,01	6	28.08.2013	226	Trächtig	21,5
5	13.07.2006	7,08	5	07.07.2013	278	Trächtig	22
6	04.01.2009	5,03	3	24.07.2013	261	Trächtig	22,4
7	15.09.2010	3,06	2	29.09.2013	194	Trächtig	17,5
8	08.07.2011	2,08	1	27.10.2013	166	Trächtig	19,2
9	25.08.2011	2,07	1	03.12.2013	129	Besamt	21
10	04.08.2010	3,08	2	05.08.2013	249	Trächtig	21,5
11	18.12.2009	4,03	3	05.03.2013	37	Offen, im Zyklus	30,8
12	22.07.2010	3,08	2	17.10.2013	176	Trächtig	21

Tab. 4: Übersicht Fokuskühe B3

B3 Fokuskühe	Geburtsdatum	Alter in Jahren	Lakt.-Nr.	Kalbedatum	Lakt.-Tage	Reproduktions Status	Milchleistung pro Tag ( $\bar{x}$ ) in [l]
1	06.07.2010	4	2	12.02.2014	146	Trächtig	33,4
2	26.08.2009	4,1	2	10.01.2014	179	Offen, keine Brunst	36,6
3	26.07.2010	3,11	2	13.05.2014	56	Besamt	31,9
4	24.11.2009	4,07	2	21.01.2014	168	Trächtig	38,4
5	31.12.2010	3,06	2	25.03.2014	105	Besamt	37,3
6	17.11.2008	5,07	3	11.02.2014	147	Offen, keine Brunst	39,2
7	13.03.2009	5,03	3	06.12.2013	214	Trächtig	32,6
8	07.08.2011	2,11	1	08.08.2013	334	Trächtig	26,9
9	31.01.2011	3,05	2	23.05.2014	46	Offen, keine Brunst	42,1
10	30.10.2007	6,08	2	05.12.2013	215	Trächtig	30,1
11	17.01.2011	3,05	2	08.03.2014	122	Offen, keine Brunst	32
12	20.05.2010	4,01	2	24.03.2014	106	Besamt	38,6

Tab. 5: Übersicht Fokuskühe B4

B4 Fokuskühe	Geburtsdatum	Alter in Jahren	Lakt.-Nr.	Kalbedatum	Lakt.-Tage	Reproduktions Status	Milchleistung pro Tag ( $\bar{x}$ ) in [l]
1	22.08.2011	2,11	1	25.04.2014	94	Offen, keine Brunst	22,9
2	01.09.2010	3,1	2	20.03.2014	130	Trächtig	30,8
3	30.06.2011	3	1	22.04.2014	97	Offen, keine Brunst	23,6
4	08.12.2010	3,07	2	26.04.2014	93	Besamt	35
5	02.02.2010	4,05	3	14.05.2014	75	Besamt	35,9
6	13.03.2010	4,04	3	11.04.2014	108	Besamt	32,9
7	18.11.2008	5,08	3	19.11.2013	251	Trächtig	27
8	06.11.2009	4,08	3	03.05.2014	86	Offen, keine Brunst	35,9
9	30.04.2011	3,02	2	21.03.2014	129	Besamt	33,9
10	18.11.2009	4,08	3	26.02.2014	152	Besamt	39,5
11	17.01.2011	3,06	2	30.04.2014	89	Besamt	41,4
12	15.12.2011	2,07	1	30.04.2014	89	Besamt	31,5

### 4.1.3.3 Tierkennzeichnung

Je Betrieb werden die zwölf zufällig ausgewählten Tiere mit Zahlen von eins bis zwölf durchnummeriert. Die Ziffern werden mit Markierungsspray bzw. Markierungsstiften (RAIDEX) beidseitig auf dem Rücken und der Hinterhand, teilweise auch auf den Schulterpartien aufgebracht (Abb. 31 und Abb. 32). Dies erleichtert die Kuhidentifizierung nicht nur im Stehen, sondern v. a. auch beim Liegen und bei der späteren Auswertung der Videoaufzeichnungen. Zusätzlich werden für jeden Betrieb eigene Kuhidentifikationsfotos zusammengestellt, um gerade während der Nachtstunden (Aufzeichnungen mit den Infrarotkameras) die Kühe an Hand ihrer individuellen Fellzeichnung auseinander halten zu können.

Die Auswahl der Fokuskühe erfolgt analog BUCK ET AL. (2010) zufällig, unter der Prämisse, dass die Tiere nicht kurz vor dem Versuch einem Gruppen- oder Stallwechsel durchlaufen haben und dass die Tiere keine klinischen Befunde aufweisen. Des Weiteren wird auf Versuchstiere verzichtet, die vom jeweiligen Betriebsleiter als sehr scheu angesehen werden. Es soll für die Basalmessungen eine möglichst normale, gewöhnliche, d. h. stressfreie Ausgangssituation geschaffen werden, um die HR-Messung nicht zu beeinflussen.

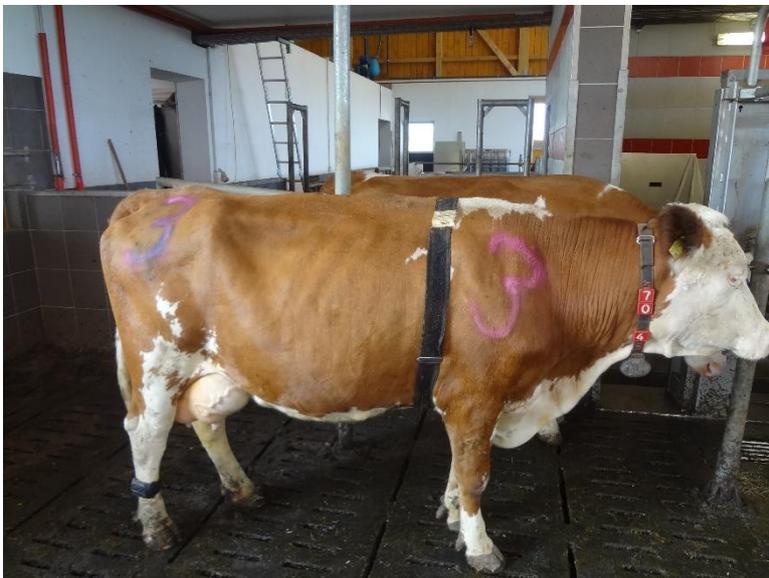


Abb. 31: Fokustier Kennzeichnung Seitenansicht



Abb. 32: Fokustier Kennzeichnung dorsal

#### 4.1.4 Erfassungsmethoden

Die Datenerfassung erfolgt über die jeweilige Hard- und Software, auf die in den folgenden Unterkapiteln näher eingegangen wird. Ergänzend zu der automatischen Aufzeichnung werden handschriftliche Protokolle eines jeden Versuchstages angefertigt. Diese werden am Ende des Versuchstages vorab ausgewertet und in einem Laborbuch zusammen mit Auffälligkeiten und zusätzlichen Informationen des Betriebsleiters erfasst. Anhand dieser Aufzeichnungen können u. a. die später simulierten Energieausfälle des Melkroboters telefonisch mit den jeweiligen Betriebsleitern festgelegt werden. Darüber hinaus werden alle Besonderheiten des jeweiligen Versuchstages notiert, da dies für spätere Datenanalysen unter Umständen relevante Parameter bzw. Zusatzinformationen liefern kann.

##### 4.1.4.1 Aufzeichnung und Analyse der Herzfrequenz

Die für die HR-Messung ausgewählte und angewandte Methode wird bereits in vielen Studien u. a. MOHR ET AL. (2002); BORELL ET AL. (2007); GYGAX ET AL. (2008) erfolgreich verwendet.

Für Feldversuche in Praxisbetrieben eignen sich zur HR-Analyse vor allem tragbare Messsysteme, da diese in der Regel die RR-Intervalle zuverlässig aufzeichnen, relativ kostengünstig und simpel in der Handhabung sind. SCHEGA ET AL. (2010) weisen mit ihren Untersuchungen nach, dass die Qualität der Messergebnisse der Pulsuhr RS800CX (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland) für wissenschaftliche Fragestellungen hinreichend geeignet ist (ESSNER ET AL. 2015; WILLIAMS ET AL. 2016a).

Die RR-Abstände für die HR-Analyse werden mit dem Herzfrequenzmessgerät RS800CX der Firma Polar Electro Oy, Kempele, Finnland aufgezeichnet. Diese Uhr zeichnet RR-Daten und die Veränderungen der HR in einem Bereich von 15 bpm bis 240 bpm mit einer Genauigkeit von einer Millisekunde auf (POLAR ELECTRO OY 2013). Die Erfassung der elektrischen Spannungsänderungen am Herzmuskel erfolgt dabei nach dem EKG-Prinzip mit Elektroden, die in einem Brustgurt eingelassen sind. Sender und Elektroden werden gemäß BORELL ET AL. (2007) positioniert und angebracht.

Zum Schutz der Pulsuhren werden diese in Kästchen verstaut und direkt am Messgurt angebracht (Abb. 33 und Abb. 34). Darüber wird zum weiteren Schutz ein Pferdedeckengurt angebracht. Bei jedem Uhrenwechsel wird herkömmliches Elektrodengel auf die Kontaktflächen des Messgurts aufgetragen.



Abb. 33: Herzfrequenzmessgerät Polar RS800CX im Schutzkästchen



Abb. 34: Schutzkästchen mit darüber liegendem Wearlink und Übergurt

Die Daten werden mit der Polar Precision Performance Software, Version 4.03.050 (Polar Electro Oy, Finnland) und der Kubios-Software, Version 2.1 (Biosignalanalyse und Medical Imaging Group, Institut für Angewandte Physik, Universität von Ostfinland in Kuopio, Finnland; TARVAINEN ET AL. 2014) fehlerkorrigiert und nach HAGEN ET AL. (2005) ausgewertet.

Es wird eine Aufzeichnungsdauer von fünf Minuten analog den Empfehlungen der TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN (1996) gewählt, um diese dann mittels Frequenzanalyse auszuwerten (MALIK UND CAMM 1996; BORELL ET AL. 2007; KOVÁCS ET AL. 2015b). Zur Analyse der HR (BORELL ET AL. 2007) werden die Frequenzbänder von 0,0 bis 0,04 Hz für die sehr niedrige Frequenz, von 0,04 bis 0,15 Hz für die Niederfrequenz und 0,15 bis 0,4 Hz für die Hochfrequenz eingestellt. Um die Trendkomponenten zu entfernen, werden die Daten trendbereinigt und zusätzlich wird eine Artefakt-Korrektur wie in vorangegangenen Studien analog SCHMIDT ET AL. (2010a) und SCHMIDT ET AL. (2010b) durchgeführt (TARVAINEN ET AL. 2002; TARVAINEN ET AL. 2012). Es wird der benutzerdefinierte Filter (Level 0,3 „custom“) verwendet. Somit werden sämtliche IBIs, die sich von den vorherigen IBIs um mehr als 30 Prozent unterscheiden als Artefakte eliminiert (MARCHANT-FORDE ET AL. 2004). Bei Artefakten handelt es sich um Messwerte „bei denen aufeinanderfolgende RR-Intervalle in physiologisch nicht erklärbarem Maße differieren“ (TOBER UND LOEBSIN 2015). Darüber hinaus werden die korrigierten Daten nochmals visuell überprüft, um noch eventuell bestehende Artefakte zu bearbeiten (MARCHANT-FORDE ET AL. 2004). Die in der HRV-Analyse üblichen Analysemethoden (TARVAINEN ET AL. 2012) FFT (fast fourier transform) und AR (autoregressive spectral analysis) werden wie folgt festgelegt: Das FFT-Spektrum wird, wie in der HRV-Analyse, auf eine Standard-Fensterbreite von 256 s mit einer 50 prozentigen Überlappung gesetzt.

Beim AR-Spektrum, abhängig von der Dauer der Aufzeichnungen, wird ebenfalls der Standardwert (16) beibehalten. Es wird, wie von TARVAINEN ET AL. (2012) empfohlen, keine spektrale Faktorisierung gewählt. Aus den aufgezeichneten RR-Intervallen werden die RMSSD (root mean square of successive RR differences) und das geometrische Mittel der Standardabweichung 1 (SD1) und 2 (SD2) berechnet. Zur Berechnung der geometrischen Mittel wird die Dauer der einzelnen RR-Intervalle gegen die Dauer der jeweiligen RR-Intervalle (Poincaré plot) geplottet. Um die graphische Darstellung (Plot) zu parametrisieren legt die Kubios HRV-Software eine Ellipse um den Plot. Diese Ellipse wird an der line-of-identity ( $RR_j = RR_{j+1}$ ) im 45 °Winkel zur X-Achse ausgerichtet. Die Standardabweichung (SD) der Punkte senkrecht zur line-of-identity (SD1) erklärt die kurzfristige HRV, die vor allem durch den Parasympathikus verursacht wird. Die Standardabweichung entlang der line-of-identity (SD2) dagegen beschreibt die langfristige HRV (BORELL ET AL. 2007; TARVAINEN ET AL. 2012).

#### 4.1.4.2 Aufzeichnung der Wiederkauaktivität

Die Aufzeichnung und Auswertung automatisch erfasster Daten zum Fressverhalten gewinnt in der Forschung und auch auf den praktischen, landwirtschaftlichen Betrieben immer mehr an Bedeutung (RUUSKA ET AL. 2016). Die Aufzeichnung der Wiederkauaktivität erfolgt in der Regel elektronisch und gilt als ein probates Mittel zur Verhaltenskontrolle bei Milchkühen (SCHIRMANN ET AL. 2009). In diesen Untersuchungen wird das Wiederkauverhalten bzw. die Daten hierzu mit Hilfe der automatischen Aktivitäts- und Wiederkauererkennung durch die Datenlogger Lely Qwes-HR collars, Lely Industries N. V. gesammelt und aufgezeichnet. Dieses Aktivitäts-Messsystem wurde von SCR Israel entwickelt. Es wird nicht nur von der Firma Lely, sondern auch von den Unternehmen Milkline und Delaval, verwendet. Bei Lely beruht der Aktivitätssensor auf Basis von Infrarottechnik. Das eingebaute Accelerometer verarbeitet sämtliche Bewegungen (Kopfbewegungen, Laufen, Liegen, Aufstehen) des Tieres und kreiert daraus einen Bewegungsindex (SCHRÖTER 2016). Die Wiederkauintensität wird hierbei mit Hilfe eines Mikrofons, das sich am Responder befindet, gemessen. Es werden charakteristische Töne der Regurgitation erfasst (WICHERN 2014). Diese Datenlogger sind an den jeweiligen Halsbändern der Kühe angebracht und zeichnen die zum Wiederkauen verbrachte Zeit auf. Bei jeder Melkung werden diese Daten an ein automatisches Lesegerät im AMS transferiert und dann täglich, als Zweistunden-Intervall, abgespeichert (KING ET AL. 2016). Die Aktivität wird als Lely spezifischer Wert ohne Einheit angezeigt (WICHERN 2014). Es handelt sich um die Auswertung der Bewegungsaktivität, wobei die Bewegungsmuster aus den Zweistunden-Blöcken miteinander verglichen werden. Dadurch können Rückschlüsse z. B. auf die Brunstaktivität gezogen werden. Die Wiederkauaktivität zeigt die Anzahl der Wiederkau Minuten je Tier innerhalb der letzten 24 Stunden an (KAISER-WICHERN 2017).

Der hier verwendete Wiederkausensor Qwes-HR der Firma Lely misst die Wiederkau-Dauer und Aktivität der Kuh an der linken Halsseite auf Kieferhöhe. Der Sensor befindet sich an einem Halsband mit einem Kontergewicht, so dass der Sensor nicht verrutschen kann. Während der Melkung im AMS erfasst eine Infrarot-Antenne die abgespeicherten Datensätze und sendet sie an die Basisstation. Über das Lely Herdenmanagement-Programm T4C erhält der Betriebsleiter die anfallenden Hinweismeldungen. Der Auslösewert, ab wann eine Warnung erfolgt, wird über tierindividuelle oder herdenübergreifende Durchschnittswerte errechnet (BERINGHOFF 2014).

#### **4.1.4.3 Aufzeichnung der Milchmenge**

Das Lely AMS zeichnet die Milchleistung automatisch auf. Die für diesen Versuch notwendigen Datensätze werden durch den jeweiligen Betriebsleiter freigegeben und dann von einem Mitarbeiter des Lely Centers Bayern zur Verfügung gestellt. Die Software von Lely zeichnet je nach vorheriger Einstellung sämtliche Daten auf. Für diese Arbeit sind die Milchmenge und die jeweiligen AMS-Besuche, erfolgreich oder geblockt, von besonderem Interesse. Die Software erlaubt auch das Setzen der Blockzeiten. Dieses geschieht teilweise durch den jeweiligen Betriebsleiter selbst oder durch den Mitarbeiter des Lely Centers Bayern. Grundsätzlich hat jede Fokuskuh am Tag mindestens drei Melkanrechte am Roboter, bei denen zwischen den Melkungen ein Abstand von acht Stunden eingestellt ist. Somit kann anhand der Melklisten gut abgeschätzt werden, wann die Fokuskühe das nächste Mal zum Melkroboter kommen werden. Auf Grund dieser Einschätzung werden die Blockzeiten gesetzt.

#### **4.1.4.4 Bestimmung der Cortisol-Metaboliten**

Die Entnahme von Blutproben stresst die meisten Tiere (ARIAS ET AL. 2013). Nicht-invasive Methoden sind zur Stressevaluierung daher besser geeignet, denn Kotproben bieten den Vorteil, dass sie leicht, d. h. ohne Belastung des Tieres, gesammelt werden können (MÖSTL UND PALME 2002; SHERIFF ET AL. 2011). In Kotproben kann, der über einen bestimmten Zeitraum schwankende Hormonspiegel, im Vergleich zu Punktschätzungen aus Blutproben, als kumulative Sekretion von Hormonen, gut nachgewiesen werden. Hier wirken sich kurze, episodische Schwankungen bzw. eine Art gepulster Sekretion der Hormone weniger aus (TOUMA UND PALME 2005; PALME 2005). Ein Nachteil der Kotproben allerdings liegt darin, dass sie nicht so viele physiologische Hinweise auf Stress liefern können wie das z. B. aus Blutproben (z. B. Leukozyten-Profile, Glucose, Blutchemie) möglich ist (SHERIFF ET AL. 2011).

Die Messung der FCM bei Nutztieren als nicht-invasive Methode zur Bewertung der NNR-Aktivität wird detailliert beschrieben in MÖSTL ET AL. (2005), PALME (2005), TOUMA UND PALME (2005) und als Übersicht in PALME (2012).

Analog ROUHA-MÜLLEDER ET AL. (2010) werden die Fokuskühe im Fressgitter bzw. in den Boxen jeweils gegen 07:45 Uhr fixiert, um rektal Kotproben für die Messung der adrenocortikalen Aktivität aus dem Enddarm zu entnehmen. Analog LEXER ET AL. (2005) werden je Fokuskuh zwei Proben genommen.

Der Vergleich von FCM-Werten innerhalb einer Art (manchmal auch innerhalb desselben Geschlechts) ist nur möglich, wenn genau die gleiche Methode zur Werte-Ermittlung (einschließlich der Extraktion) verwendet wird. Es ist daher nicht möglich, allgemein gültige FCM-Referenzwerte und/oder Schwellenniveaus für bestimmte Stresssituationen anzugeben. Trotzdem können die FCM-Niveaus untereinander, in unterschiedlichen Situationen, verglichen werden, wenn sie mit dem gleichen Verfahren gemessen werden (PALME 2012).

In dieser Untersuchung werden daher die Konzentrationen der FCM, d. h. 11,17-dioxoandrosterone (11,17-DOA), wie auch in anderen Untersuchungen (BERTULAT ET AL. 2013), zur Auswertung als indirekter Stressparameter herangezogen, da es sich bei 11,17-DOA um die bedeutsamsten GC-Metaboliten im Kuhkot handelt (PALME UND MÖSTL 1997; PALME ET AL. 1999; MÖSTL UND PALME 2002).

Da die FCM bei Rindern mit einer zeitlichen Verzögerung von ca. zehn bis zwölf Stunden auf das eigentliche Stressereignis hin ausgeschieden werden (PALME ET AL. 1999), sind die Probennahmen auf die Blockzeiten zurückzurechnen. Anhand der Blocklisten wird ermittelt, wann am nächsten Tag die Probennahmen erfolgen.

Nach PALME (2005) wird der Kot von verschiedenen Stellen auf dem Handschuh in 50 ml Falcon Tubes (Röhre 50ml, 114x28mm, PP - Sarstedt, REF 62.547.254) abgefüllt. Bei den Handschuhen handelt es sich um Laborhandschuhe aus Polyethylenfolie „Veterinärhandschuhe extra lang“.

Da sich die Konzentrationen von FCM-Proben während einer Lagerung bei Raumtemperatur verändern kann (MÖSTL ET AL. 2002), werden die Falcon Tubes gleich nach Entnahme mit kaltem Wasser gesäubert und in einer Kühlbox mit tiefgefrorenen Kühlaggregaten für den Transport zwischengelagert. Da es sich hier um eine Feldstudie handelt, können nicht alle geforderten Standards erfüllt werden. Es müssen Kompromisse in der Kühlung eingegangen werden (PALME 2005). Bis zur Steroid-Extraktion werden die Proben bei min. minus 20 °C aufbewahrt (MÖSTL ET AL. 2002; TALLO-PARRA ET AL. 2015).

Die Kotproben-Extraktion wird am Lehrstuhl für Tierphysiologie und Immunologie, Technische Universität München, Weihenstephaner Berg 3, 85354 Freising-Weihenstephan analog MÖSTL UND PALME (2008) vom 24. November 2014 bis 10. Dezember 2014 durchgeführt. Dies ist in Abb. 35 schematisch dargestellt.

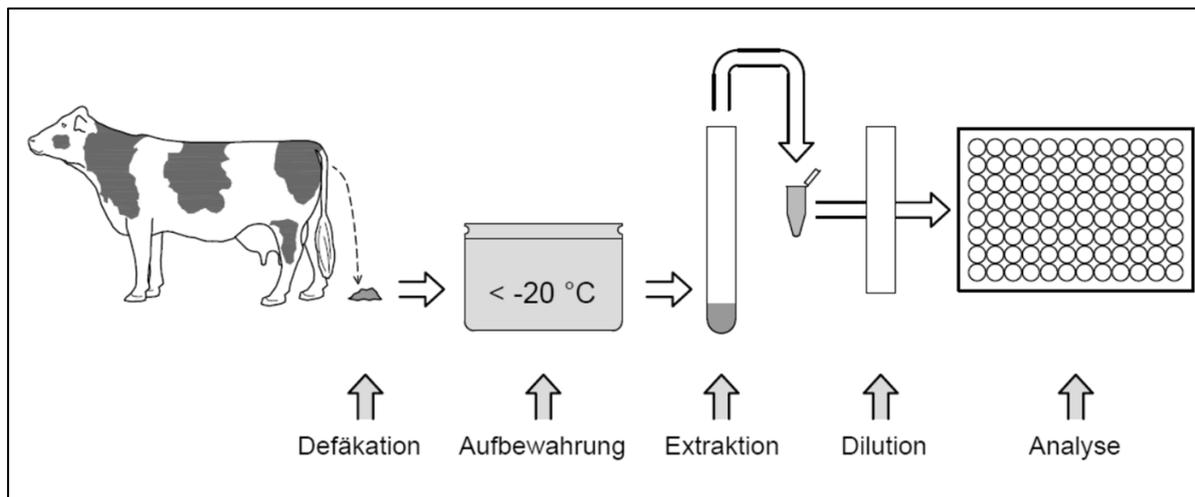


Abb. 35: Schematische Darstellung der Kotproben-Extraktion

Für die spätere Analyse werden die Kotproben in den 50 ml Falcon Tubes von jeweils einer Kuh und einem Betrieb über die gesamten sieben Tage aus dem Tiefkühler geholt und dann für ca. 30 Minuten bei Raumtemperatur angetaut. Die ersten Proben werden danach in die, während der Antauzeit mit Etiketten versehenen 11,5 ml Falcon Tubes von Sarstedt, eingewogen. Handschriftlich werden auf die Deckel der 1,5 ml Eppendorf Safe-Lock Tubes die Kuh Nr., die Betriebs Nr. und das jeweilige Datum mit einem permanenten Edding-Stift notiert. Analog LEINBERGER (2011) werden die tiefgekühlten Kotproben nur zur Verarbeitung aufgetaut. Es wird darauf geachtet, dass nicht nur oberflächliches Probenmaterial entnommen wird, da hier eine bakterielle Zersetzung am wahrscheinlichsten ist. Das Probenmaterial wird danach sofort wieder tiefgefroren aufbewahrt. Für die Analyse sollen die Proben möglichst homogen sein (d. h. unverdautes Material ist zu entfernen) (MÖSTL 2014). Daher werden unverdaute Materialien (z. B. Strohreste) nicht zur weiteren Extraktion verwendet. Das Einwiegen der Kotproben in die 11,5 ml Falcon Tubes erfolgt mit einem Spatel und einer Sartorius Waage. Zwischen den einzelnen Proben wird der Spatel einmal mit Ethanol (Waschalkohol, Gällethanol) vorgeeignet und einmal nachgereinigt. Es werden immer 0,5 Gramm der jeweiligen Kotprobe eingewogen. Nach der Empfehlung von PALME ET AL. (2013) erfolgt die Steroid-Extraktion mittels simpler Suspension der Kotproben in einem hochprozentigen, einfachen Alkohol: Es werden

4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidestilliertes H<sub>2</sub>O zu den Kotproben in den 11,5 ml Falcon Tubes mit Hilfe von zwei Dispensetten der Firma Brand hinzugegeben, analog dem Verfahren von PALME UND MÖSTL (1997). Auch MÖSTL (2014) präferiert eine Extraktion der GC bzw. deren Metaboliten im Kot mit Methanol. Anschließend wird die Lösung geschüttelt. Die ersten neun Proben werden mit einem Überkopfschüttler der Firma VWR International GmbH, Darmstadt, für mindestens 15 Minuten geschüttelt, die restlichen fünf Proben werden von Hand für 90 Sekunden mit zwei Vortex-Geräten gemischt. Danach werden die 11,5 ml Falcon Tubes für 15 Minuten bei 4.500 rpm und 4 °C zentrifugiert und anschließend 500 µl Überstand abgenommen, um diesen in die Safe-Lock Tubes von Eppendorf mit Hilfe einer 100 µl bis 1000 µl Eppendorf Research Pipette zu pipettieren. Die Safe-Lock Tubes von Eppendorf werden dann in Styropor-Transportboxen nach Betrieben und Kuh-Nr. sortiert und sofort wieder bei mindestens minus 20 °C eingefroren. Als Kontrolle (KRAFT 2005; BRUHN 2008) wird jeden Tag eine Kotprobe zusätzlich extrahiert (immer B3, Kuh 1, zweite Probe, vom 17.07.2014). Diese Kontrollen werden beim anschließenden ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay) mitgemessen. Das Protokoll der Extraktion befindet sich im Anhang (2). Alle Proben werden mit dem gleichen Extraktionsverfahren behandelt, um analog PALME ET AL. (2013) vergleichbare Daten zu erzeugen.

Die Tiefkühlproben (TK-Proben) sind bei minus 25 °C am 18. Dezember 2014 aus der Aufbewahrungs-TK-Truhe des Lehrstuhls für Agrarsystemtechnik entnommen worden und um 07:00 Uhr vom Lehrstuhl mit dem Dienstfahrzeug zur Unit of Physiology, Pathophysiology and Experimental Endocrinology, Department of Biomedical Sciences, University of Veterinary Medicine, Veterinärplatz 1, 1210 Wien, Österreich transportiert worden. Die Ankunft und Übergabe erfolgt persönlich an Prof. Dr. Palme um 12:40 Uhr in Wien. Die Proben haben bei der Übergabe eine Temperatur von minus 8 °C und werden sofort wieder tiefgefroren. Nach PALME ET AL. (2013) werden die Konzentrationen von 11,17-DOA, eine Gruppe von Cortisol-Metaboliten, im Labor in Wien analysiert und mit einem 11-oxoaetiocholanolone Enzym-Immunoassay nach PALME UND MÖSTL (1997) und PALME ET AL. (1999) validiert. Anmerkung: Die Ergebnistabelle mit den ermittelten Werten beinhaltet die Endresultate in der Einheit ng/g und befindet sich im Anhang (3). Die Spaltenangabe 1:10 (50µl) bedeutet, es wird mit einem Verdünnungsfaktor von 2,2 gearbeitet (PALME ET AL. 2013), d. h. die Extrakte werden 1:10 verdünnt und davon dann anschließend 50 µl in den EIA eingesetzt. Die Werte können umgerechnet werden, indem der jeweilige Wert mit 1.000 multipliziert und durch 304 dividiert wird. Dies entspricht einer Division der nmol/kg Werte durch 3,289, um die ng/g Werte zu erhalten.

#### 4.1.4.5 Videoaufzeichnung

In jedem Versuchsbetrieb werden mehrere Videokameras vom Typ Mobotix D14 (Abb. 36) für die Verhaltensaufnahmen um den Melkroboter installiert. Die Kameras sind mit 90 °-Blickwinkel-Objektiven ausgestattet. Bildsensoren werden für die Tagaufnahmen, Infrarotscheinwerfer (IR-Scheinwerfer) für die Nachtaufnahmen, genutzt. Die Videokameras liefern eine maximale Bildauflösung von drei Megapixel bei einer maximalen Videobildrate von 30 Bildern pro Sekunde. Die Stromversorgung erfolgt über Ethernet. Vier Lacie 2big Bildserver und mehrere externe Festplatten werden als Speichermedium gewählt. Auslese- und Messtechnik werden entweder im Büro des jeweiligen Betriebsleiters oder wie im zweiten Betrieb direkt über dem Laufstall platziert (Abb. 37). Die spätere Bearbeitung der aufgezeichneten Videos erfolgt mit der Software MxControlCenter der MOBOTIX AG, D-67722 Langmeil. Die Videos werden in sechs Blöcke zu je vier Stunden eingeteilt, um sie anschließend in das avi.-Format zu konvertieren. Die weitere Auswertung erfolgt mit dem Programm Interact9 (Lab Suite Version 2011, Program Version 9.7.5.0, Light Version) der Firma Mangold International GmbH, 94424 Arnstorf.



Abb. 36: Video- und Infrarotkameras



Abb. 37: Aufnahme- und Messtechnik in B2

Es erfolgen 24-stündige, kontinuierliche Videoaufzeichnung analog ROUHA-MÜLLEDER ET AL. (2010). Die sozialen Interaktionen (Kopfspiele, *soziales Lecken*, Drohungen, Wegdrücken etc.) werden durch kontinuierliche, ereigniszentrierte Beobachtung analog MARTIN UND BATESON (2007) analysiert. Die Auswertung des aufgezeichneten Verhaltens erfolgt anschließend an Hand von 18 festgelegten Verhaltensparametern, die in acht Kategorien (Tab. 6) unterteilt sind (MISTHILGER 2015).

Tab. 6: Liste der betrachteten Verhaltensparameter verändert nach (MISTHILGER 2015)

Beobachtete Parameter	Definition
Lokomotionsverhalten	
Eintritt in das AMS	Tor des AMS öffnet sich und die Kuh betritt das AMS
Wiederkauen	
Ruminieren/Wiederkauen	Heraufwürgen des Nahrungsbreis bzw. erneute Zerkleinerung des Mageninhalts
Eliminationsverhalten	
Koten	Anheben des Schwanzes, leichtes Grätschen der Hinterbeine, Krümmen des Rückens, Abkoten
Urinieren/Harnen	Anheben des Schwanzes, Wölbung des Rückens, Urinabgabe
Erkundungsverhalten	
Geruchswahrnehmung	Nase wird in Richtung eines Gegenstands gerichtet, um Geruch wahrzunehmen
Putz/Körperpflegeverhalten	
Reiben und Kratzen	Kuh reibt ihren Körper an der Oberfläche eines Objekts bzw. Gegenstandes
Fellpflege mit Zunge	Zunge der Kuh bewegt sich entlang ihres Körpers oder leckt intensiv an einer bestimmten Körperstelle
Soziales Lecken	Fokuskuh beleckt eine andere Kuh
Soziales Beleckten	Fokuskuh wird von einer anderen Kuh beleckt
Agonistisches Verhalten	
Beobachtete Fokuskuh wird aggressiv	Tritte, Schläge, Schub- und Stoßbewegungen werden von der Fokuskuh gegenüber einer anderen Kuh ausgeübt
Andere Kuh wird gegenüber der beobachteten Kuh aggressiv	Tritte, Schläge, Schub- und Stoßbewegungen werden gegen die beobachtete Kuh ausgeübt
Beobachtete Kuh wird verdrängt	Andere Kühe versuchen Fokuskuh durch Drohgesten, wie z. B. Kopfbewegungen, Stoßen oder Schieben zu verdrängen
Beobachtete Kuh verdrängt eine andere Kuh	Andere Kühe werden von der beobachteten Kuh durch Kopfbewegungen, Stoßen, Schieben verdrängt
Ausdrucksverhalten	
Bein anheben	Kuh hebt ein Bein vom Boden ab, verlagert abwechselnd das Körpergewicht
Hin und her tippeln	Kuh wechselt das Körpergewicht von einem aufs andere Bein und geht wenige Schritte vorwärts und rückwärts
Gesenkte Kopfhaltung	Durchstrecken des Halses und Herabsenken Richtung Boden, Abtasten/Riechen des Bodens
Schnelle Kopfbewegungen	Kuh bewegt ihren Kopf schnell auf und ab bzw. von links nach rechts
Verhaltensstörungen	
Zungenrollen	Zunge wird bei geöffnetem Maul bewegt, kann sowohl außerhalb als auch innerhalb des Mauls erfolgen, Zunge wird ein- und ausgerollt

Auf die Berechnung eines DV (dominance value) nach SAMBRAUS (1975), der für ein Individuum die beobachteten Dominanzbeziehungen und die Anzahl der jeweils dominierten Tiere ins Verhältnis setzt, wird im Rahmen dieser Arbeit bewusst verzichtet. Durch eine solche Indexierung hätten die Fokustiere in eine Dominanzskala eingeteilt werden können (SAMBRAUS 1975), es bringt für diese Arbeit aber keine weiterführenden Erkenntnisse.

#### 4.1.4.6 Erfassung der Bewegungsaktivität und der Liegedauer

Ein Teil der Pedometer werden vom Leibnitz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. in 14469 Potsdam für den Versuchszeitraum ausgeliehen. Daher erfolgen im Betrieb B1 die Basalmessungen mit den Pedometern erst ab dem 25.03.2015. Bei dem hier eingesetzten Pedometer handelt es sich um einen sog. Speicher-Telemetrie-Logger (STL-Pedometer) bzw. ALT-Pedometer (Messung von Aktivität, Liegen und Temperatur) des Ingenieurbüros Holz in Falkenhagen. Mit diesem können zeitintervallabhängig die kontinuierliche Schrittaktivität, die Liegezeit in Bauch- und Seitenlage, sowie die Umgebungstemperatur aufgezeichnet werden. Die auf dem jeweiligen Pedometer gespeicherten Daten können drahtlos zum PC übertragen werden (BREHME ET AL. 2003; BREHME ET AL. 2006) (Abb. 38).

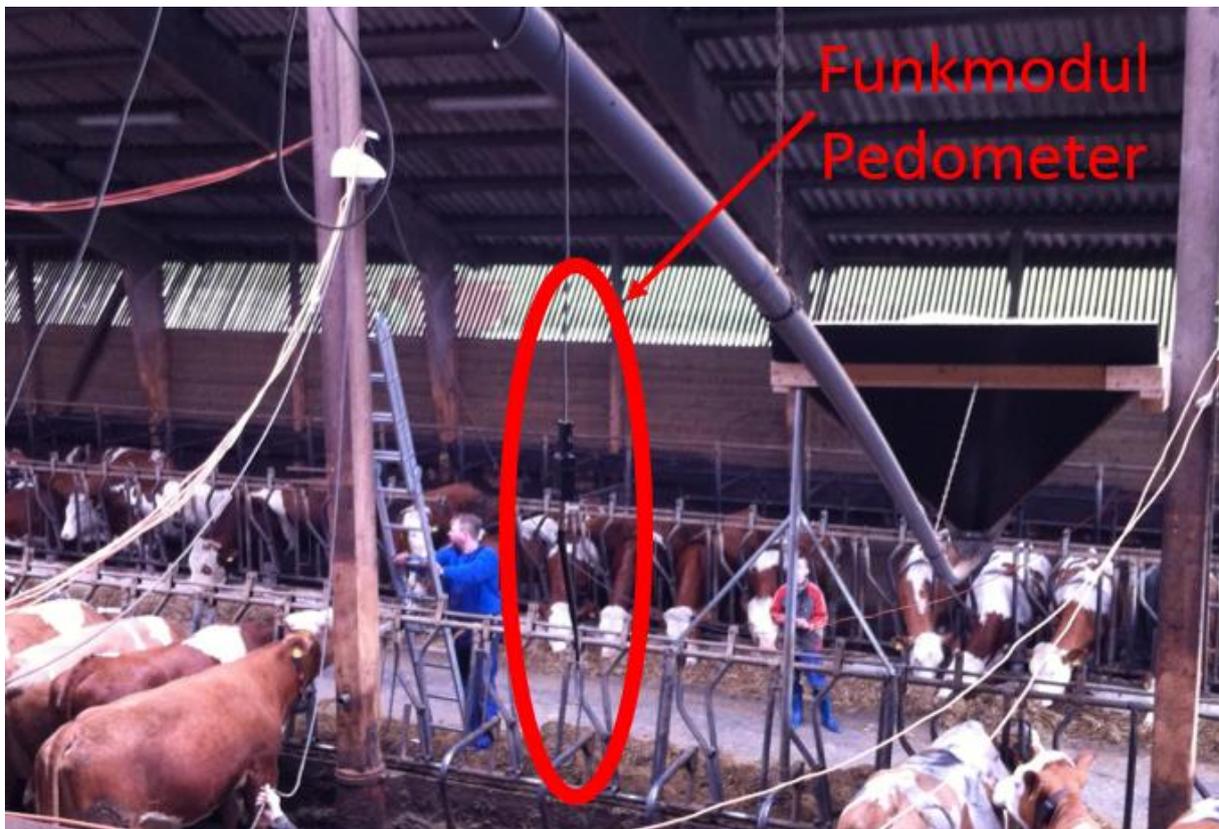


Abb. 38: Funkmodul Pedometer

Die technischen Daten des Pedometer-Loggers, des benötigten Modems und die dazu nötige Kommunikationssoftware sind dem Benutzerhandbuch des Herstellers zu entnehmen (HOLZ 2009). Die Funktionsweise des STL-Pedometers lässt sich wie folgt beschreiben: Durch zwei Sensoren wird die Liegeposition der Kuh digital erfasst. Entweder befinden sich die Beine unter

dem Körper oder sind zur Seite hin ausgestreckt. Ein Thermosensor misst die Umgebungstemperatur und ein analoger Sensor erfasst die Schrittaktivität (BREHME ET AL. 2003). „Der  $\mu$ -Prozessor erfasst kontinuierlich [alle 15 s] die Schrittaktivität und Liegepositionen des Tieres und summiert diese über das zu Versuchsbeginn konfigurierte Messintervall [5 min] auf. Nach Ablauf dieser Zeit wird der Wert in der Speichereinheit abgelegt. Die Summe der Schrittaktivität, die Liegepositionen und die Umgebungstemperatur bilden jeweils einen Datensatz. Beim STL-Pedometer ist die Messfrequenz im Bereich zwischen einer und 99 Minuten konfigurierbar, die Speicherkapazität umfasst 2.045 Datensätze. Das Pedometer muss zyklisch ausgelesen werden“ (BREHME ET AL. 2003).

In diesem Versuch werden die von den Pedometern in einem Fünf-Minuten-Intervall aufgezeichneten Schritt- u. Liegezeiten drahtlos an einen Windows7 PC mit 32 bit übermittelt. Dieses führt dazu, dass lediglich Periodenlängen über 2,5 Minuten als Gehen gewertet werden. Die so erhaltenen Datensätze werden in der Datenbank MS Access 2013 bereitgestellt und nach Excel 2013 importiert und weiter analysiert.



Abb. 39: Pedometer am Hinterfuß mit Panzertape fixiert

Die Pedometer werden analog HOLZ (2009) am Fuß der Kühe angebracht. Aus Gründen einer leichteren Handhabung während des Versuchs werden die Pedometer allerdings nicht an den Vorder- sondern an den Hinterfüßen angebracht. Für die Schritt- bzw. reine Aktivitätsermittlung ist dies laut Hersteller möglich und die genaue Liegeposition spielt für diesen Versuch, analog KRUMMEL (2013), keine Rolle. Die technische Einweisung hat das ATB-Potsdam telefonisch übernommen. Die Konfigurierung erfolgt dann analog HOLZ (2009). Die Pedometer werden mit dem mitgelieferten Klettverschlussband verschlossen und zusätzlich mit einem Panzertape fixiert (Abb. 39). Es werden die von den Pedometern gespeicherten Schritte pro Tag und die Liegezeiten

ausgewertet. Die ALT-Pedometer zeichnen für die Liegezeiten die Seiten- und Bauchlage zwar getrennt auf, aus den gesammelten Auswertungen des ATB Potsdam geht jedoch hervor, dass die Unterscheidung nicht immer zutreffend ist (KRUMMEL 2013). Um die korrekte Arbeitsweise der Pedometer (Unterscheidung von Bewegung und Ruhen) zu überprüfen, werden an zwei Fokuskühen, jeweils rechts und links, an beiden Hinterfüßen Pedometer angebracht. Es kommt lediglich zu vernachlässigbaren Abweichungen, so dass von einer korrekten Schrittaufzeichnungsfunktion ausgegangen werden kann.

Die Auswertung der Pedometer erfolgt durch das Bestimmen der durchschnittlichen Tageswerte von Schritten. Die Liegezeiten werden durch die beiden Richtwerte L1 und L2 beschrieben, die den Liegezeiten in der Bauch- bzw. in der Seitenlage entsprechen. Die Werte von L1 bzw. L2 können maximal jeweils den Wert 20 ergeben, was einer Zeitspanne von fünf Minuten entspricht. Demzufolge werden kleinere Werte entsprechend umgerechnet. Es werden Zeitabschnitte von größer als zehn Minuten, jeweils mit einem zehn minütigen Zeitintervall, berechnet, um die Liegeperioden zu beurteilen. Die durchschnittliche Dauer der Liegeperioden ergibt sich aus dem Mittelwert der Liegezeit während der einzelnen Liegeperioden. Bei der Kenngröße „Anzahl der Aktivität“ handelt es sich um eine diskrete Variable (es gibt nur ganze aber keine halben Schritte!). Zudem bewegt sich eine Kuh in der Regel gleich häufig, d. h. sie besitzt somit einen Häufungspunkt in der Verteilung. Es kann daher jedem Aktivitätswert eine unterschiedliche Eintrittswahrscheinlichkeit zugeordnet werden. Eine diskrete Poisson-Verteilung (TEUGELS UND VYNCKIER 1996; MACDONALD UND PITCHER 1979) wird als mathematische Grundlage verwendet, um ein Kuhbewegungsmuster zu schaffen. Die Daten werden geteilt und die Aktivität der Kühe wird unter Verwendung der im Liegeverhalten enthaltenen Information (entsprechend L1 und L2) mit einem Liegeintervall von fünf Minuten analysiert. Für die weitere Analyse der Schritte wird eine gemischte diskrete Poisson-Verteilung als mathematische Basis verwendet (KARLIS UND XEKALAKI 2005).

#### 4.1.5 Statistische Auswertung

Alle Daten werden zunächst mit dem Programm Excel 2013 aufbereitet, grafisch dargestellt und anschließend mit dem Programmen „R“ (R-Version 3.0.1, The R Foundation for Statistical Computing) ausgewertet.

Das Ergebnis eines Hypothesentests (Signifikanztest) mit zuvor aufgestellter Null-Hypothese ( $H_0$ ) stellt den p-Wert dar. Dieser gibt die größtmögliche Wahrscheinlichkeit an, dass  $H_0$  eintritt und die gewählte Teststatistik einen Wert aus dem Ablehnungsbereich annimmt (BENDER UND LANGE 2001; DU PREL ET AL. 2009). Für die nachfolgenden Betrachtungen werden die Signifikanzniveaus mit  $p < 0,01$  als statistisch hoch signifikant und mit  $p < 0,05$  als statistisch signifikant festgelegt.

Für die Auswertung der Cortisol-Werte wird der Kruskal-Wallis-Rank-Sum-Test verwendet. Alle anderen Daten werden wegen ihrer ungleichen Stichprobenstandardabweichung mit dem Welch-Test (WELCH 1938, 1951) auf arithmetische Mittelwertdifferenzen analysiert, wobei der Zusatz „arithmetisch“ nachfolgend immer weggelassen wird. Die Voraussetzungen für die Verwendung des Welch-Tests sind dabei stets erfüllt, da die Stichprobenumfänge jeweils größer als 30 ausfallen und somit die Daten aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes wegen ihrer

identischen und unabhängigen Verteilung als annähernd normalverteilt angenommen werden können oder die Daten ohnehin schon (identisch und unabhängig) normalverteilt sind.

Sind die Varianzen von zwei getesteten Mittelwerten, aus unabhängigen Populationen, ungleich, so kann der Welch-Test verwendet werden, um Mittelwerte zu vergleichen. Sollten die beiden zu vergleichenden Populationen normal verteilt sein, liefert der Welch-Test die angenäherte t-Verteilung. Allerdings kann die Approximation durch eine fehlende Normalverteilung, bei kleineren Stichprobengrößen, beeinflusst werden (LU UND YUAN 2010).

Aus Signifikanzniveaugründen, d. h. um  $\frac{\alpha}{2}$  besser zu sein und nicht zum Signifikanzniveau 0,025 testen zu müssen, was den Fehler zweiter Art negativ beeinflusst, wird ausschließlich der rechts- und linksseitige Welch-Test verwendet. Dabei wird der Wert  $\omega_0$  derart bestimmt, dass der Test gerade noch zum Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$  signifikant ist. So können die Daten dementsprechend quantifiziert werden, dass keine Konfidenzintervalle (BONETT UND PRICE 2002) benötigt werden. Die Umsetzung erfolgt mit dem R Befehl:

```
t.test(x, y, alternative = c("two.sided", "less", "greater"),  
mu = 0, paired = FALSE, var.equal = FALSE, conf.level = 0.95
```

## 5 Ergebnisse

In den nachfolgenden Unterkapiteln erfolgt die Darstellung der gewonnenen Ergebnisse aus den Untersuchungen zu Auswirkungen von simulierten Energieausfällen automatischer Melksysteme, gegliedert nach den ausgewählten Stressparametern, ohne Interpretationen.

### 5.1.1 Herzfrequenz

```
t.test(HR_Basal, HR_Test, alternative = c("greater"), mu = 0.3268054, paired = FALSE, var.equal = FALSE, conf.level = 0.95)
# Welch Two Sample t-test
# data: HR_Basal and HR_Test
# t = 1.6526, df = 197.33, p-value = 0.05
# alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0.3268054
# 95 percent confidence interval:
# 0.3268054      Inf
# sample estimates:
# mean of x mean of y
# 90.63589 86.67166
```

Bei der statistischen Analyse der HR-Daten ergibt sich, dass bei einem gegebenen Signifikanzniveau von 0,05, der Mittelwert der Werte der Basal-HR (d. h. HR-Werte von den Tagen, an denen kein AMS-Energieausfall simuliert wurde) um mindestens 0,3268054 größer ist als der Mittelwert der Test-HR. Die mittleren HR der Kühe in den Basaltagen beträgt gerundet 90,6 bpm und in den Testtagen 86,7 bpm. Es kann daher eine gerundete Differenz von vier Herzschlägen pro Minute ermittelt werden, um die die HR der Kühe in der Basalmessung höher ist, als die der HR in der eigentlichen Testmessung.

### 5.1.2 Wiederkauaktivität

```
# Welch Two Sample t-test
# data: Wiederkauen_Basal and Wiederkauen_Test
# t = -1.6453, df = 3741.7, p-value = 0.05
# # alternative hypothesis: true difference in means is less than -22.30449
# 95 percent confidence interval:
# -Inf -22.30449
# sample estimates:
# mean of x mean of y
# 354.3551 383.0716
```

Bei der statistischen Analyse der Wiederkauaktivitäts-Daten, die die Anzahl der Wiederkauminuten je Tier innerhalb der letzten 24 Stunden anzeigt (KAISER-WICHERN 2017) kann folgendes Ergebnis festgehalten werden: Auf einem statistischen Signifikanzniveau von 0,05, sind die Wiederkau-Mittelwerte aus der Testmessung (d. h. Wiederkau-Werte von den Tagen, an denen ein AMS-Energieausfall simuliert wurde), um mindestens 22,30449 größer als die Wieder-

kau-Mittelwerte aus der Basalmessung. Die mittlere Anzahl der Wiederkauminuten in den Basaltagen beträgt 354,3551 und die der Testtage beträgt 383,0716. Der Unterschied zwischen den Basalmessungen und den Testmessungen beträgt 28,7165. Somit ist die Wiederkauzzeit in der Testmessung gerundet 29 Minuten länger pro Tag als in der Basalzeit.

### 5.1.3 Milchmenge

Zur übersichtlichen und prägnanten Darstellung bietet sich gerade beim Thema Milchmenge die deskriptive Statistik an. Es ist aber aus statistischen Gründen nicht sinnvoll, die Daten aller 48 Kühe grafisch aufzubereiten. Deshalb soll hier nur exemplarisch die Milchmengenleistung einzelner Tiere dargestellt werden.

Eine tierindividuelle Auswertung der Milchleistung zeigt Abb. 40. Hier ist die Milchleistung von Fokuskuh 1 aus B3 sowohl einer Vergleichskuh außerhalb der Testgruppe mit ähnlichem Laktationsstadium als auch der gesamten Herdenleistung von B3 gegenübergestellt.

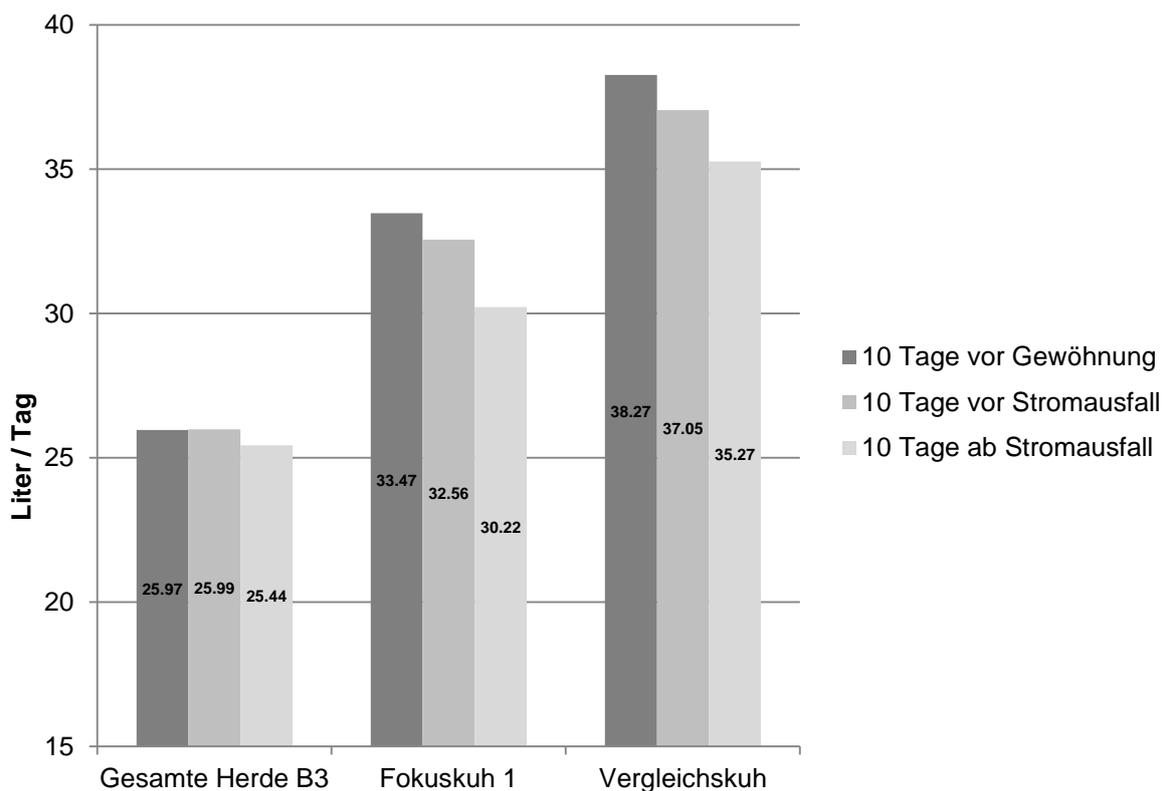


Abb. 40: Durchschnittliche Milchmenge vor, während und nach dem simulierten AMS-Ausfall (GRÄFF ET AL. 2015)

Sowohl bei der Fokuskuh als auch bei der Vergleichskuh verringert sich die Milchleistung ab dem simulierten Stromausfall nahezu identisch um sieben bzw. sechs Prozent (GRÄFF ET AL. 2015). Für diese Daten werden jeweils die Milchmengenwerte zehn Tage vor der Gewöhnungsphase und die Werte jeweils zehn Tage vor bzw. nach dem simulierten Stromausfall herangezogen. Die Milchmengenleistung der Herde B3 ist mit 25,97 Liter (zehn Tage vor Gewöhnung) und 25,99 Liter (zehn Tage vor Stromausfall) nahezu identisch. Erst ab dem Zeitpunkt des simulierten Stromausfalls (10 Tage ab Stromausfall) geht die Milchleistung auf 25,44 Liter zurück.

Als ein weiteres Beispiel ist hier die Auswertung der Milchleistung von Fokuskuh 7 aus B4 in der Zeit vom 28.06. bis 09.08.2014 grafisch dargestellt (Abb. 41). Die Kuh befindet sich zu diesem Zeitpunkt in den Laktationstagen 220 bis 263. Wird die erbrachte Milchmenge über einen längeren Verlauf betrachtet, so ist ein abnehmender Trend zu erkennen. In dem dargestellten Zeitverlauf von mehr als einem Monat können darüber hinaus mehrere Spitzen identifiziert werden. Die zwei größten Spitzen an Milchleistung ergeben sich zum einen vor dem eigentlichen Versuch, am 03.07.2014 mit 37,1 Liter Milch und zum anderen innerhalb der Gewöhnungsphase am 31.07.2014 mit 37,6 Liter. Dieses stellt das Maximum innerhalb des betrachteten Zeitraums dar.

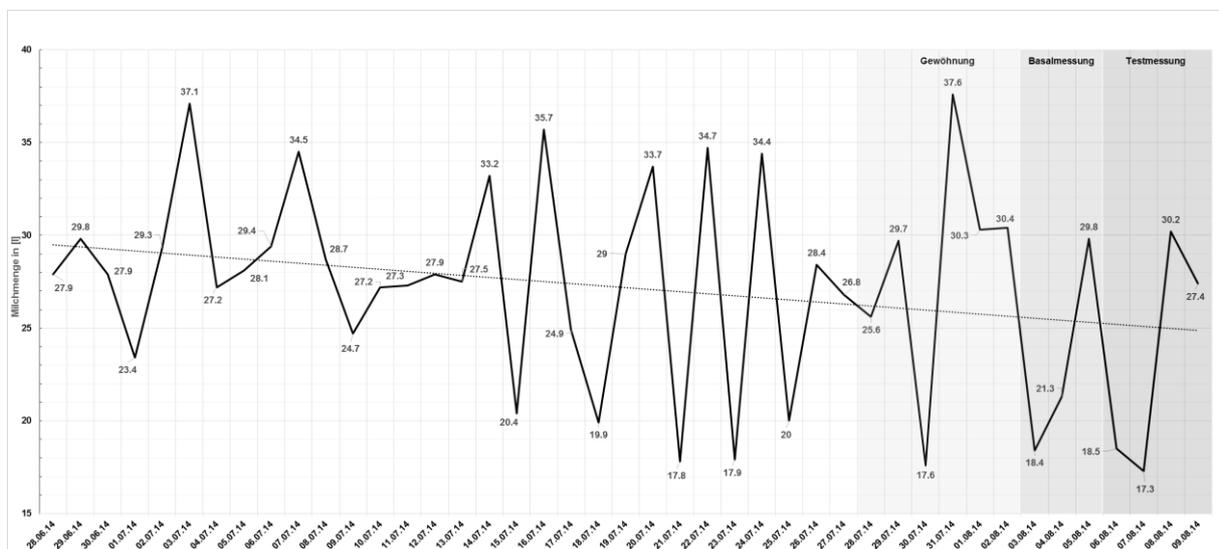


Abb. 41: Milchleistung Fokuskuh 7 B4 vom 28.06. bis 09.08.2014 pro Tag

Die Anzahl der jeweiligen Melkungen pro Tag von Fokuskuh 7 B4 im Zeitraum 28.06. bis 09.08.2014 ist in Abb. 42 dargestellt. Hieraus ist zu entnehmen, dass die Kuh in den beobachteten 43 Tagen an acht Tagen das AMS lediglich zweimal besucht hat, an sechs Tagen viermal und an den restlichen 29 Tagen sucht sie dreimal täglich den Roboter zum Melken auf.

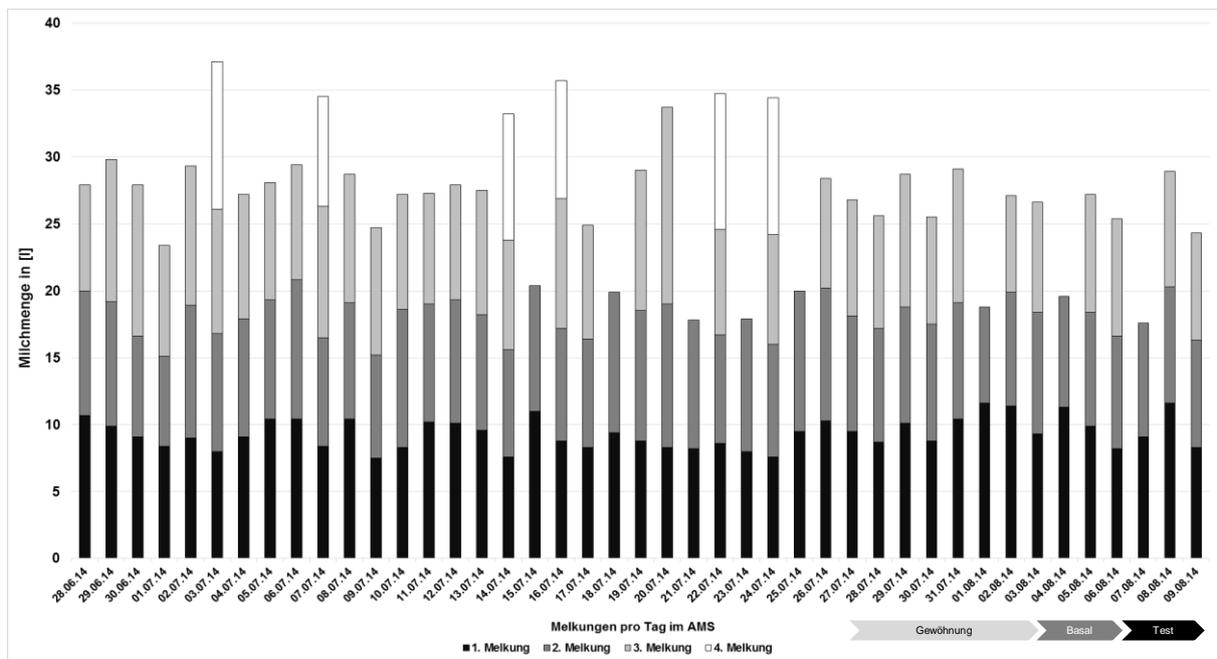


Abb. 42: Milchleistung Fokuskuh 7 B4 vom 28.06. bis 09.08.2014 pro Tag und Anzahl der Melkungen

```
t.test(Milchmenge_Basal, Milchmenge_Test, alternative = c("greater"), mu = 2.38857, paired = FALSE,
var.equal = FALSE, conf.level = 0.95)
# Welch Two Sample t-test
# data: Milchmenge_Basal and Milchmenge_Test
# t = 1.6474, df = 605.93, p-value = 0.05
# alternative hypothesis: true difference in means is greater than 2.38857
# 95 percent confidence interval:
# 2.38857      Inf
# sample estimates:
# mean of x mean of y
# 31.21161 27.62965
```

Die Auswertung der Milchmenge-Daten mit dem Welch-Test ergibt bei einem Signifikanzniveau von 0,05, dass die mittlere Milchmenge aus der Basalmessung (d. h. Milchmengen-Werte von den Tagen, an denen kein AMS-Energieausfall simuliert wurde) um mindestens 2,38857 größer ist als die mittlere Milchmenge aus der Testmessung. Die gemittelte Milchmenge aller Basaltage beträgt 31,21161 Liter und die gemittelte Milchmenge der Testtage beträgt 27,62965 Liter. Daraus ergibt sich eine Differenz von 3,58196 Liter. In der Testmessung geben

die Kühe dem zu Folge gerundet 3,6 Liter Milch (entspricht 8,6 Prozent) weniger pro Tag als in der Basalmessung.

#### 5.1.4 Cortisol-Metaboliten

Da sich alle vier Betriebe sehr stark im Management unterscheiden, wird jeder Betrieb individuell analysiert. Hierzu wird die Differenz aus der ersten und zweiten FCM-Probe gebildet, um einen möglichen Einfluss des simulierten Stromausfalles darstellen zu können.

Die Auswertung der FCM ergibt für alle Betriebe einen Mittelwert von  $13,6 \pm 4,9$  ng/g in der Basalmessung und  $13,1 \pm 5,9$  ng/g in der Testmessung. Die höchsten Werte werden im Betrieb B4 gemessen. Bei den Betrieben B1, B2 und B4 verringern sich die mittleren FCM-Werte von der Basal- zur Testmessung, bei dem Betrieb B3 dagegen steigen die mittleren FCM-Werte von der Basal- zur Testmessung an (Tab. 7).

Tab. 7: Mittlere FCM-Werte und Standardabweichung in [ng/g] für alle Betriebe

[ng/g]	Basal		Test	
	Mittelwert	STD	Mittelwert	STD
<b>B1</b>	13,6030278	4,85581196	12,5003542	6,43195728
<b>B2</b>	10,0411667	4,33798898	9,57320833	4,34784263
<b>B3</b>	10,0796667	6,34062038	12,1059583	6,41907665
<b>B4</b>	20,5971014	14,8557741	18,2940227	17,4115643
<b>B gesamt</b>	13,5802406	4,9126895	13,1183859	5,92087469

Beide Situationen, sowohl die Basalmessung als auch der simulierte Stromausfall, werden als Faktor einer univariaten Varianzanalyse betrachtet. Der Shapiro-Wilk-Test ergibt für die Betriebe B1 mit B3 eine Normalverteilung ( $p > 0,1$ ). Lediglich Betrieb B4 ( $p = 0,008$ ) weist keine Normalverteilung auf. Der Bartlett-Test zeigt die Homogenität der Varianzen für die Proben in allen Betrieben ( $p > 0,09$ ), mit Ausnahme von Betrieb B1 ( $p = 0,03$ ). Um alle Betriebe in der gleichen Art und Weise zu behandeln, wird der Kruskal-Wallis-Rank-Sum-Test mit dem Faktor „Tag der FCM-Messung“ angewendet. Beeinflussung zwischen dem Faktor *Betrieb* und dem Faktor *Tag* werden von vornherein eliminiert, so dass der Unterschied innerhalb des jeweiligen Betriebes separat geprüft werden kann. Unter Annahme der Proben-Normalverteilung (dies trifft auf alle Betriebe mit Ausnahme des Betriebs B4 zu) wird das 95 %-Vertrauensintervall für

die Differenzen der FCM-Werte berechnet, um die Dualität von Konfidenzintervall und Hypothesentest für den Vergleich der Differenzen anzuwenden. Auf Grund der Wechselbeziehung des Unterschieds zwischen *erwarteter Milchleistung* und der vom Melkroboter *vorhergesagten Milchleistung* wird wieder jeder Betrieb unter Annahme einer univariaten, linearen Abhängigkeit separat analysiert. Alle möglichen Einflussfaktoren können so als Faktor durch eine Änderung der FCM-Werte zusammengefasst werden (GRÄFF ET AL. 2017c).

Die Auswertung der Daten zeigt keine Unterschiede in den Differenzen der FCM-Messungen bei allen vier Betrieben ( $p > 0,4$ ). Werden jedoch die Differenzen innerhalb der Betriebe ohne die a priori-Interaktionen zwischen *Betrieb* und *Tag* und unter der Annahme der Normalverteilung der Proben (mit Ausnahme von Betrieb B4) betrachtet, so ergeben sich für die 95%-Vertrauensintervalle folgende Werte: Betrieb B1 [0,26; 2,1], Betrieb B2 [0,38; 1,67], Betrieb B3 [-0,32; 2,65], Betrieb B4 [-9,2; 9,35]. Des Weiteren kann keine signifikante Korrelation zwischen den gemessenen FCM-Werten und der Differenz zwischen vorhergesagter und tatsächlicher Milchmenge gefunden werden. Lediglich bei einem Betrieb ist nach dem Stromausfall die tatsächliche Milchleistung niedriger als die durch den AMS vorhergesagte. Um einen möglichen Einfluss von Stress auf die Milchleistung zu untersuchen, werden die Differenz von erwarteter und tatsächlicher Milchmenge, sowie die Differenz aus den FCM-Konzentrationen gebildet (Abb. 43).

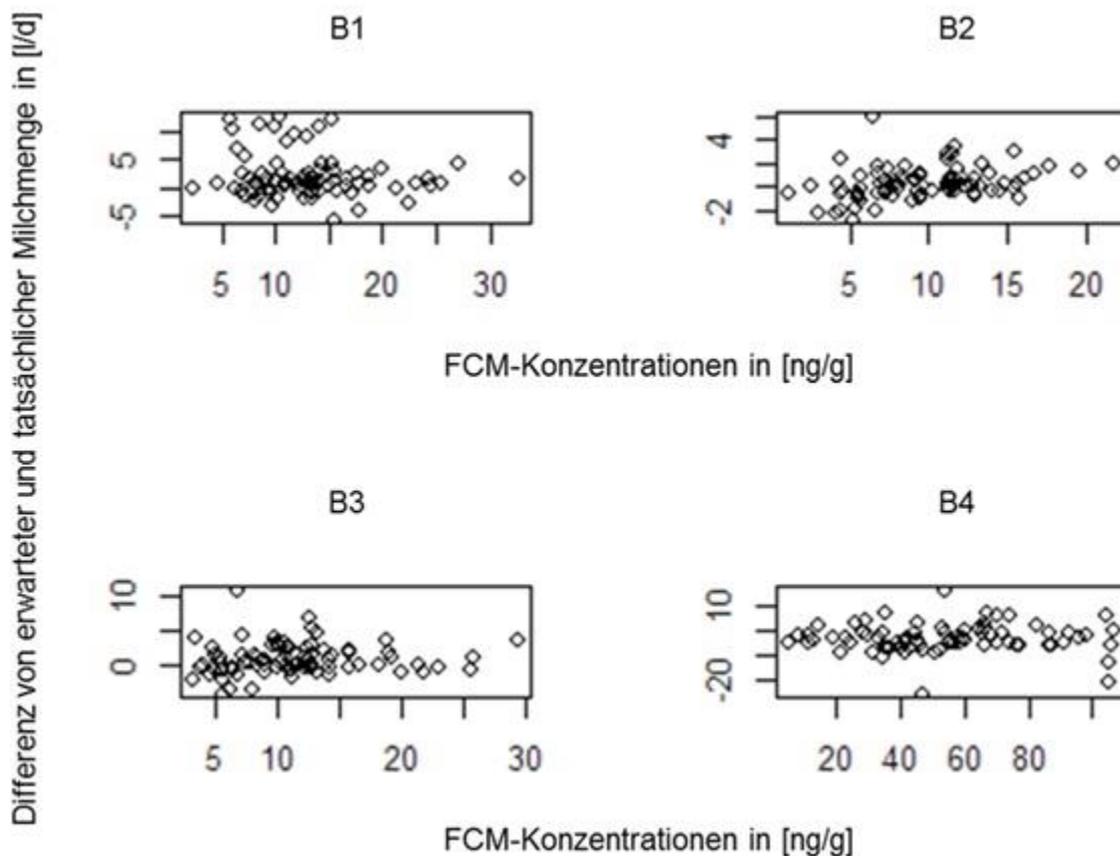


Abb. 43: Differenz aus den FCM-Konzentrationen in [ng/g] und die Differenz von erwarteter und tatsächlicher Milchmenge in [l/d] (GRÄFF ET AL. 2017c)

Ist die Differenz zwischen vorhergesagter und tatsächlicher Milchleistung positiv, ist die erwartete Milchmenge überschätzt worden, während im Fall einer negativen Differenz, die erwartete Milchmenge unterschätzt wird. Es zeigt sich keine lineare Abhängigkeit, da das  $R^2$  adjusted in allen Betrieben kleiner als 0,02 ist und auch sämtliche Steigungen nicht signifikant ( $p > 0,1$ ) sind. Alle Intercepts sind signifikant ( $p < 0,02$ ) von Null verschieden: Für den Betrieb B1 wurde der Wert 1,97, für B2 der Wert 0,36, für B3 der Wert 0,9 und für B4 der Wert -3,1 ermittelt. Dies zeigt eine Überschätzung der erwarteten Milchleistung bei den Betrieben B1 bis B3 und eine Unterschätzung bei B4 an (GRÄFF ET AL. 2017c).

### 5.1.5 Ethologische Auswertung

Die in Kapitel 4.1.4.5 definierten und erläuterten Verhaltensparameter werden ihrer Häufigkeit nach in die jeweiligen Betrachtungssituationen – Basalmessung und Testmessung – unterteilt

und anschließend ausgewertet. Zunächst folgt der deskriptive Teil der statistischen Auswertung.

In allen Verhaltenskategorien ist ein Anstieg der Häufigkeiten festzustellen (Abb. 44).

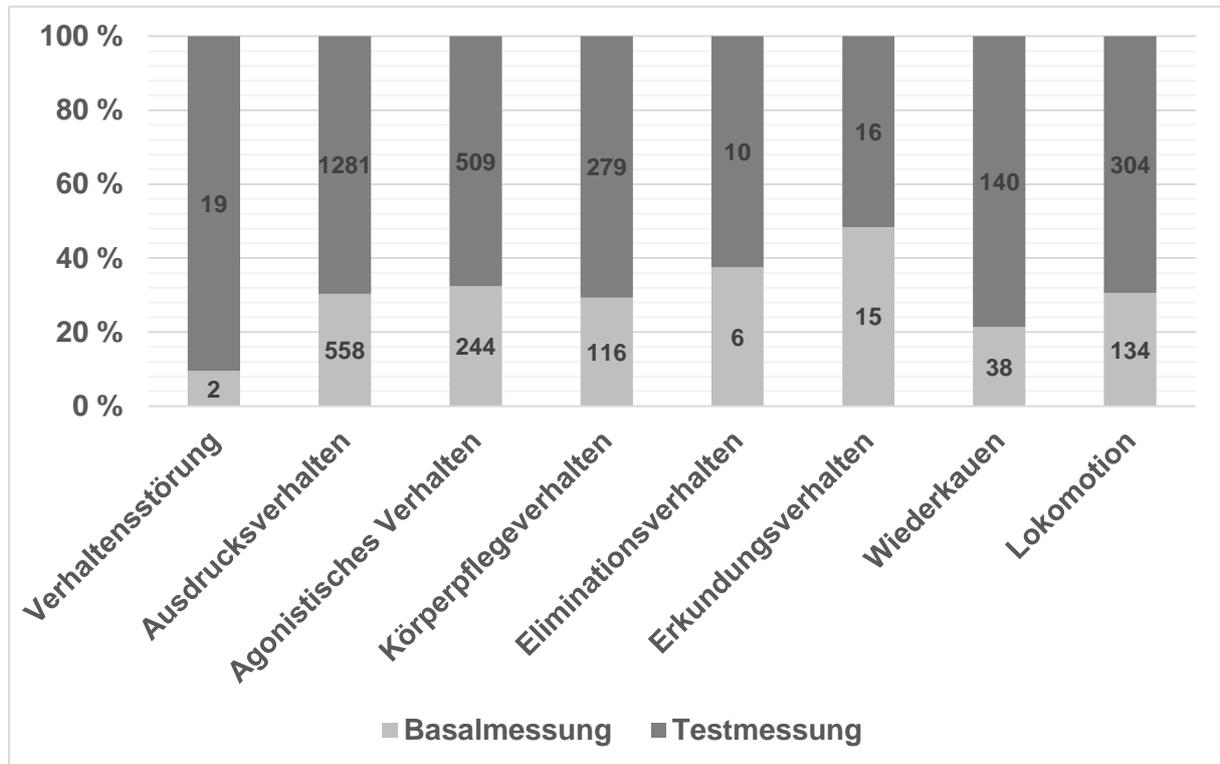


Abb. 44: Beobachtete Häufigkeiten der einzelnen Verhaltenskategorien absolut in (n) und in Prozent für alle Betriebe

Den größten Anstieg weist die Kategorie *Verhaltensstörungen* auf. Hier zeigt sich das arttypische *Zungenrollen* in der Basalmessung lediglich zweimal, während dieses Verhalten in der Testsituation 19-mal gezeigt wird. Dies entspricht einer Steigerung um das 8,5-fache. Der zweitgrößte Anstieg ist mit dem 3,68-fachen in der Kategorie *Wiederkauen* zu verzeichnen. In der Basalmessung kann dieses Verhalten 38-mal beobachtet werden, in der Testmessung dagegen 140-mal. An dritter Stelle, der am meist angestiegenen Verhaltenskategorien, steht das *Körperpflegeverhalten*. Dieses steigt von den gezeigten Aktionen in der Basalmessung (116-mal) zu denen in der Testsituation (279-mal) um das 2,41-fache an. Darauf folgt die Kategorie des *Ausdrucksverhaltens*. Hier ergibt sich eine Steigerung um 130 Prozent von der Ausgangsbasalmessung (558 registrierte Verhaltensweisen) zur Testmessung (1.281 registrierte Verhaltensweisen). Der Parameter *Hin und her tippeln* wird hier exemplarisch für die

vier weiteren Parameter in dieser Kategorie aufgeführt. Gegenüber der Basalmessung steigt dieses Verhalten in der Testmessung im Betrieb B1 um das 2,6-fache von 20 auf 52 beobachtete Häufigkeiten, im Betrieb B2 um das 1,48-fache von 47 auf 70 beobachtete Häufigkeiten, im Betrieb B3 um das 2,4-fache von 78 auf 192 beobachtete Häufigkeiten und im Betrieb B4 um das 2,7-fache von 61 auf 162 beobachtete Häufigkeiten an. Einen ähnlichen Anstieg mit 127 Prozent erreicht das Verhaltenskriterium *Lokomotion* mit 134 notierten Häufigkeiten in der Basalmessung und 304 notierten Häufigkeiten in der Testsituation. Das *agonistische Verhalten* nimmt um das 2,09-fache zu. Werden von dieser Verhaltenskategorie 244 Handlungen in der Basalmessung aufgezeichnet, so sind es in der Testmessung 509 Handlungen. Eine Zunahme von 67 Prozent gibt es in der Kategorie *Eliminationsverhalten*. Dieses Verhalten wird sechsmal in der Basalmessung und zehnmal in der Testmessung vollzogen. Der geringste Anstieg kann in der Kategorie *Erkundungsverhalten* (von 15 auf 16 Ereignisse), mit einer Zunahme von sieben Prozent, ausgemacht werden.

In Abb. 45 sind alle 18 festgelegten Verhaltensparameter der acht Verhaltenskategorien nochmals einzeln dargestellt. Bei allen Parametern ist ein Anstieg zu verzeichnen. Lediglich die zwei Parameter *soziales Lecken* und *soziales Belecken* sind in den beobachteten Häufigkeiten rückläufig. Bei 12 der 18 Parameter dagegen haben sich die Häufigkeiten im Vergleich zur Basalmessung teilweise mehr als verdoppelt. Die restlichen Verhaltensparameter haben sich zwischen Basal- und Testmessung nur unwesentlich verändert.

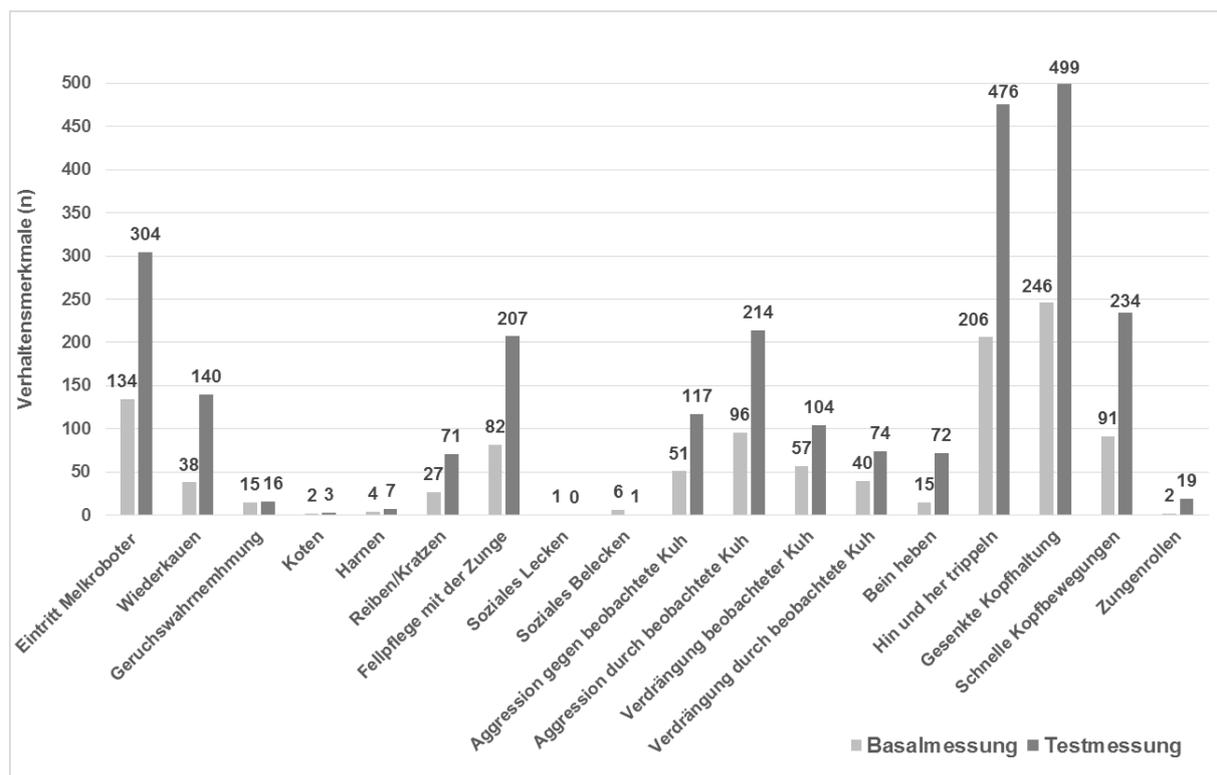


Abb. 45: Beobachtete Häufigkeiten der einzelnen Verhaltensmerkmale absolut in (n) für alle Betriebe

Exemplarisch ist die graphische Darstellung, nach Unterteilung in die einzelnen Betriebe, für die beiden Verhaltensmerkmale *Eintritt in das AMS* (Abb. 46) aus der Verhaltenskategorie *Lokomotion* und *Fellpflege mit Zunge* (Abb. 47) aus der Verhaltenskategorie *Körperpflegeverhalten* aufgeführt.

Bei dem beobachteten Verhalten *Eintritt in das AMS* (Abb. 46) nach Betrieben, aus der Verhaltenskategorie *Lokomotion*, ist gut zu erkennen, dass bei jedem Betrieb die Anzahl der AMS-Besuche in der Testphase ansteigt. Die größte Zunahme der AMS-Besuche ist im B3 mit 36 Besuchen in der Basalphase und 110 Besuchen in der Testphase zu erkennen. Dies entspricht einer Steigerung von 205,5 Prozent. Die Besuchshäufigkeiten in B4 sind dagegen um 134,5

Prozent von 29 Besuchen in der Basalphase zu 68 Besuchen in der Testphase angestiegen. In B1 kommen die Fokuskühe in der Basalzeit 30-mal zum Melkroboter, in der Testzeit 62-mal. Dies entspricht einer Steigerung von 106,6 Prozent. Der geringste Anstieg in der Besuchshäufigkeit kann für B2 mit 64,1 Prozent manifestiert werden. Hier suchen die Fokustiere das AMS in der Basalmessungszeit 39-mal auf, in der Testmessungszeit dagegen 64-mal.

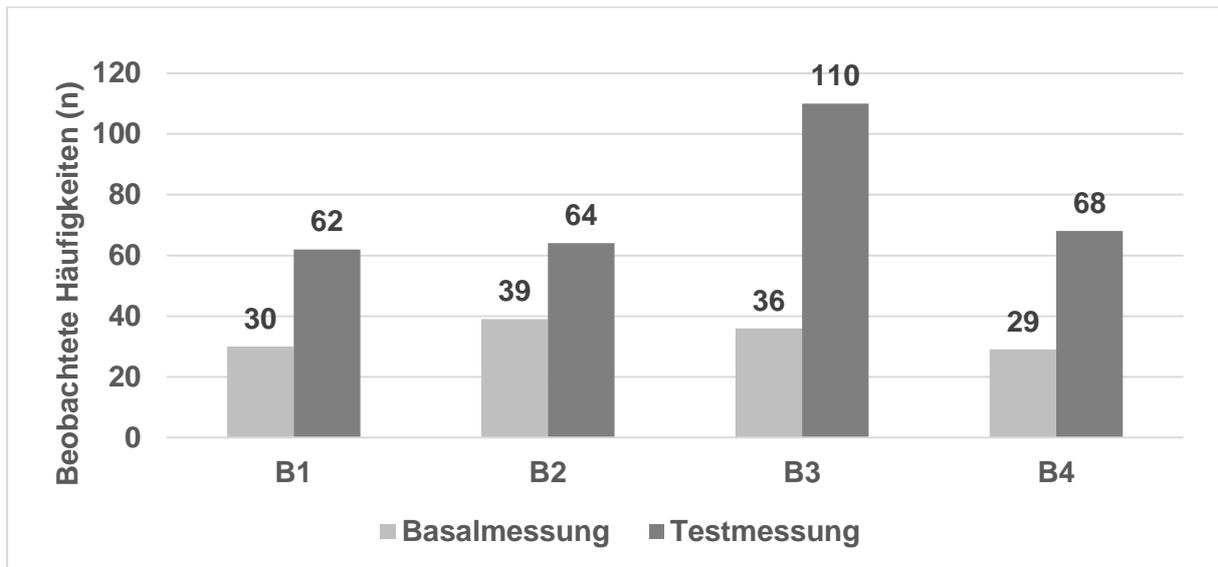


Abb. 46: Beobachtetes Verhalten *Eintritt in das AMS* absolut in (n) pro Betrieb

Für den Parameter *Fellpflege mit Zunge* (Abb. 47) aus der Verhaltenskategorie *Körperpflegeverhalten* werden ebenfalls nur ansteigende Häufigkeiten aufgezeichnet. Hierbei ist der größte Anstieg mit 427,3 Prozent im Betrieb B4 zu beobachten. Wird dieses Verhalten in der Basalmessung von den Fokuskühen lediglich 22-mal gezeigt, so führen sie das Verhalten in der Testphase 116-mal aus. Die Steigerungen in B2 und B3 sind mit 60 Prozent und 55,5 Prozent annähernd gleich. Hier verändern sich die Häufigkeiten von 15-mal in der Basal- zu 24-mal in der Testmessung im Betrieb B2 und von 27-mal in der Basal- zu 42-mal in der Testmessung im Betrieb B3. Im Betrieb B1 wird mit 38,9 Prozent der geringste Zuwachs gemessen. Es kommt zu 18 Beobachtungen in der Basalzeit und zu 25 Beobachtungen in der Testzeit.

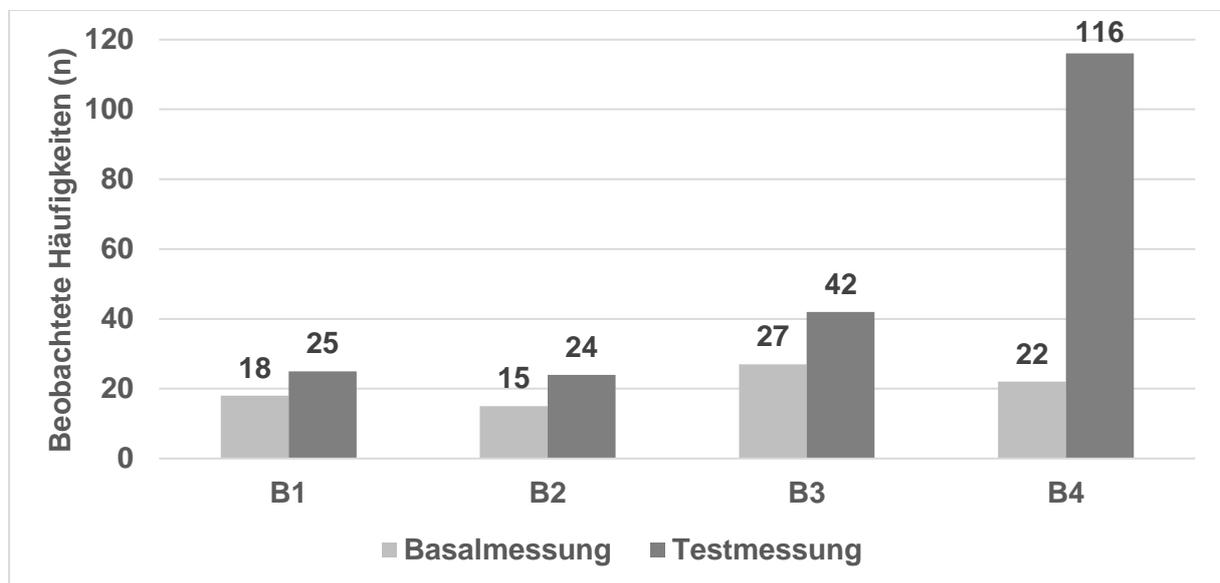


Abb. 47: Beobachtetes Verhalten Fellpflege mit Zunge absolut in (n) pro Betrieb

Eine Übersicht zu den aufgezeichneten Gesamthäufigkeiten pro Betriebe befindet sich im Anhang (1).

Für die statistische Absicherung dieser Beobachtungen, wird zur Auswertung der Verhaltensmerkmale ein neu entwickelter Test verwendet. Dieser Test erlaubt es, hochdimensionale Daten auf statisch relevante Unterschiede zu untersuchen. Speziell wird er hier auf Verhaltensmuster angewendet, die dadurch charakterisiert sind, dass ein Satz an Verhaltensmerkmalen aus 18 verschiedenen Verhaltensmerkmalen besteht.

Zu dem Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$  wird durch die Lösung eines nichtlinearen-ganzzahligen Optimierungsproblems und eines passenden Daten-Clusterings getestet, ob sich zwei gepaarte Vektoren an Verhaltensmerkmalen statistisch unterscheiden. Hierfür werden 18 Verhaltensmerkmale jeweils in Ereignisse vor und nach einem Energieausfall gruppiert. Der statistische Unterschied wird mittels einer relevanten Differenz klassifiziert: Es werden zuerst die Abstände zwischen den Verhaltensmerkmalen zuvor und nach einem AMS-Besuch bezüglich der  $l_1$ -Vektornorm bzw. der Manhattan-Norm berechnet. Dabei ergeben sich die folgenden Werte:

```

8 9 3 15 30 14 10 4 2 15 7 12 7 14 9 11 10 25 14 13 0 33 4 10 33 22 2
0 1 2 12 21 12 8 1 0 15 10 11 19 11 36 28 1 14 9 2 12 18 85 44 12 0 16
6 22 8 5 0 5 12 1 5 1 33 27 1 1 4 21 123 16 21 23 7 15 102 0 9 4 36
10 0 0 14 65 52 2 19 23 5 19 0 60 0 16 3 16 70 2 102 27 0 50 13 12 13 4
21 32 4 7 0 2 0 0 0 33 67 7 6 10 83 61 21 8 0 0 0 8 19 13 6 3 41
16 12 6 26 49 2.

```

Danach werden die Minima und Maxima der Verhaltensmerkmale vor einem AMS-Besuch bestimmt, wodurch Überdeckungsintervalle von minimaler Intervall-Länge induziert werden. Die Minima und Maxima ergaben sich zu:

```

Minima: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Maxima: 4 3 2 1 1 4 9 1 1 9 10 5 3 4 11 10 9 2 0.

```

Sodann werden zu jedem der Verhaltensmerkmale vor einem AMS-Besuch die  $\alpha$ -Abweichung ( $0 \leq \alpha \leq 100$  Prozent) bezüglich der Überdeckungsintervalle mittels der Formel *Überdeckungsintervalllänge dividiert durch 100 multipliziert mit  $\alpha$*  bestimmt, wobei sich für  $\alpha = 5$  folgende Werte ergaben:

```

0.20 0.15 0.10 0.05 0.05 0.20 0.45 0.05 0.05 0.45 0.50 0.25 0.15 0.20 0.55 0.50 0.45 0.10 0.00

```

Mittels dieser Abweichungen werden nun zu jedem Vektor an Verhaltensmerkmalen vor einem AMS-Besuch  $\alpha = 5$  Prozent Umgebungen bzw. Kugeln definiert, wobei sich ihr Radius zu 4.45 ergab.

Das Ziel ist nun im Folgenden zu verifizieren, ob die Vektoren an Verhaltensmerkmalen nach einem AMS-Besuch, statistisch betrachtet, in den  $\alpha = 5$  Prozent-Umgebungen enthalten sind. Dazu werden ein Wahrscheinlichkeitsraum  $\Omega$ , die Menge aller konkatenierten Vektoren an Verhaltensmerkmalen, eine wohldefinierte kleinste  $\sigma$ -Algebra  $\tilde{\mathcal{A}}$ , ein Wahrscheinlichkeitsmaß, das Binomialmaß und identisch-unabhängig verteilte Zufallsvariablen, die die konkatenierten

Vektoren an Verhaltensmerkmalen vor und nach einem AMS-Besuch auf ihre einzelnen Komponenten projizieren, definiert. Hierzu werden die Zufallsvariablen zur Definition der  $\alpha = 5$  Prozent-Umgebungen benötigt. Nun werden die Indikatorfunktionen der  $\alpha = 5$  Prozent-Umgebungen summiert. Diese Summe definiert wieder, als Summe von Zufallsvariablen, eine neue Zufallsvariable. Diese neu induzierte Zufallsvariable genügt der Binomialverteilung, da die einzelnen Indikatorfunktionen Bernoulli-verteilt sind. Basierend auf den bisherigen Ausführungen wird nun die Nullhypothese  $H_0$ , dass die Vektoren an Verhaltensmerkmalen nach einem AMS-Besuch mit einer Wahrscheinlichkeit von  $0,5 + \Delta p$  oder kleiner,  $-0,5 \leq \Delta p \leq 0,5$ , außerhalb der  $\alpha = 5$  Prozent-Umgebungen liegen, gegen die Alternativhypothese  $H_1$ , dass die Vektoren an Verhaltensmerkmalen nach einem AMS-Besuch mit einer Wahrscheinlichkeit von größer als  $0,5 + \Delta p$  außerhalb der  $\alpha = 5$  Prozent-Umgebungen liegen, zu einem Signifikanzniveau von 0,05 statistisch getestet. Dabei bezeichnet  $\Delta p$  eine relevante Differenz in Form einer Wahrscheinlichkeit. Außerdem wird der kritische Bereich  $\{c, \dots, n\}$ ,  $c = n, n - 1, \dots, 1$  durch Maximierung des Ausdrucks  $p(0,5 + \Delta p) | H_0(\text{kritischer Bereich} := \{c, \dots, n\})$  mittels des Bisektions-Algorithmus berechnet (GRÄFF ET AL. 2017b).

Mittels der Berechnung des Bisektions-Algorithmus ergaben sich statistisch die Werte  $c = 87$  und  $\Delta p = 0.04474369$ . Der kritische Bereich liegt bei  $\{87, 88, \dots, 141\}$ . Die Anzahl der Vektoren an Verhaltensmerkmalen nach einem AMS-Besuch, die sich zu 98 ergeben, liegt innerhalb des kritischen Bereichs. Gemäß der vorliegenden Datenlage kann geschlossen werden, dass ein Energieausfall das Verhalten von Milchkühen mit einer marginalen relevanten Wahrscheinlichkeitsdifferenz von 0,044743 bezüglich der l1-Vektornorm bzw. der Manhattan-Norm bei einem  $\alpha = 5$  Prozent-Radius und einem Signifikanzniveau von 0,05 statistisch beeinflusst. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,504474369 oder höher, Verhaltensänderungen von Milchkühen observierbar sind, beträgt nur 0,05 (GRÄFF ET AL. 2017b).

Es konnte somit statistisch, auf einem Signifikanzniveau von 0,05, festgestellt werden, dass der Energieausfall das Verhalten der Milchkühe marginal (mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,04) nachteilig beeinflusst.

### 5.1.6 Bewegungsaktivität und Liegedauer

Die Aktivität der Kuh wird durch die von ihr getätigte Schrittzahl beschrieben und als Aktivitätsimpulse aufgezeichnet. L1 und L2 analysieren die Liegepositionen, wobei L1 die Seitenlage charakterisiert, L2 die Bauchlage.

Die aggregierte Auswertung des mittleren Aktivitätsverhaltens (Median) aller Betriebe pro Tag ergeben eine Absenkung der Schrittzahl (Aktivität) von 8.436 während der Basalphase

(Tab. 8) auf 7.156 in der Testphase (Tab. 9). Die Liegezeiten in L1 erhöhen sich jedoch leicht in der Basalphase von 224 auf 276 in der Testphase und sinken aber in L2 von 2.290 auf 2.116. Es können durchschnittlich zwölf Liegeperioden mit einer durchschnittlichen Dauer von 24 Minuten ermittelt werden.

Der Mittelwert der Aktivität befindet sich allerdings unterhalb der des Medians. Während der Basalmessung lag der Tagesmittelwert bei 8.212 und in der Testmessung bei 6.676. Dem zu Folge ist ein Rückgang der Aktivität von 18,7 Prozent von den Messungen in den Basaltagen zu den Messungen in den Testtagen zu verzeichnen oder umgerechnet in Schritten pro Stunde: Basalmessung 342 Schritte pro Stunde und Testmessung 278 Schritte pro Stunde.

Der Mittelwert für die L1-Werte ergibt in der Basalmessung 393 und in der Testmessung 429. Dies bedeutet eine Steigerung um 9,2 Prozent von den Werten der Basalmessung im Vergleich zu den Werten der Testmessung. Dagegen beträgt der Mittelwert in L2 in der Basalphase 2.358 und in der Testphase 1.975. Dies entspricht einem Rückgang von 16,2 Prozent.

Tab. 8: Datenblatt des Aktivitätsverhaltens der Basalmessung für alle Betriebe (gerundet)

BASAL B1 BIS B4	AKTIVITÄT	L1	L2
<b>MIN. :</b>	1.524	0	899
<b>1ST QU.:</b>	6.486	107	1.934
<b>MEDIAN :</b>	8.436	224	2.290
<b>MEAN :</b>	8.212	393	2.358
<b>3RD QU.:</b>	9.694	455	2.846
<b>MAX. :</b>	14.961	3.686	4.541
<b>SD. :</b>	2.320	506	626

Tab. 9: Datenblatt des Aktivitätsverhaltens der Testmessung für alle Betriebe (gerundet)

TEST B1 BIS B4	AKTIVITÄT	L1	L2
MIN. :	0	0	0
1ST QU.:	3.826	86	1.268
MEDIAN :	7.156	276	2.116
MEAN :	6.676	429	1.975
3RD QU.:	8.848	473	2.552
MAX. :	15.347	5.760	3.975
SD. :	3.261	788	812

Eine gute Übersicht über die Werte aus den beiden vorangegangenen Tabellen bietet ein Boxplot. Der Aktivitäts-Boxplot für alle Betriebe (Abb. 48) zeigt eine breite Verteilung zwischen den Basal- und Testmessungen. Die Aktivität der Tiere variiert nach dem Stromausfall von 0 Schritte bis zu mehr als 15.000 Aktivitäts-Einheiten, wobei das Mittel der Basalmessung höher liegt als das Mittel in der Testmessung.

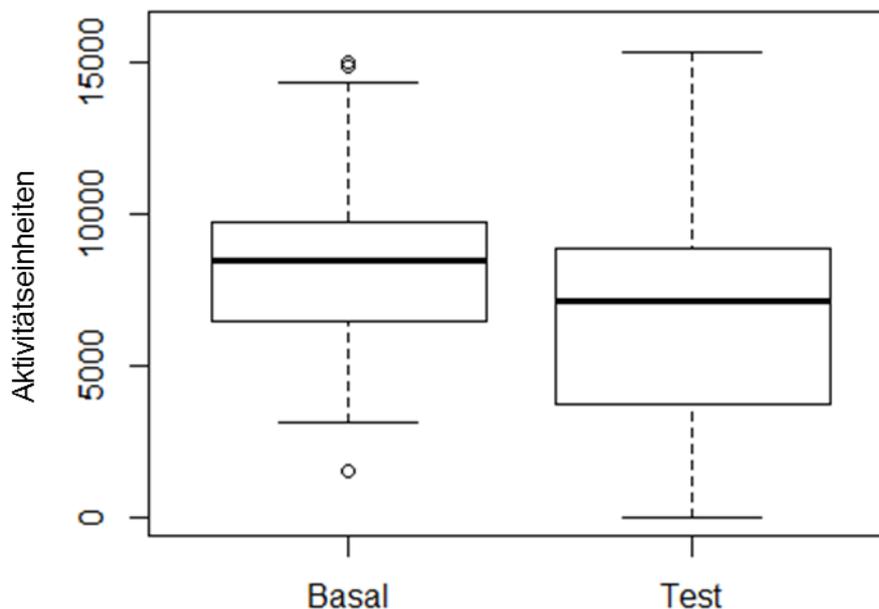


Abb. 48: Vergleich der Aktivität zwischen Basal- und Testmessungen für alle Betriebe (GRÄFF ET AL. 2017a)

In Abb. 49 wird die Aktivität während der Basal- und der Testmessungen für jeden Betrieb nochmals einzeln gezeigt. Hier sind die robusten Streuungs- und Lagemaße (Median, Quartile und Ausreißer) dargestellt. Werden die Ausreißer in die Betrachtung miteinbezogen, so zeigt sich die breiteste Streuung der Daten bei B4, sowohl für die Basal- als auch für die Testmessungen. Bei allen vier Betrieben (B1 bis B4) ist eine deutlich weitere Streuung der Aktivitätsdaten während der Testphase zu beobachten. Im Zeitraum der Testmessungen liegen auch jeweils die Minima und Maxima der aufgezeichneten Aktivitätseinheiten. Auffallend ist, dass in der Basalmessung B1 die durch das obere und untere Quartil gebildete Box sehr schmal ist. Lediglich im Betrieb B4, während der Basalphase, sind Ausreißer zu erkennen. B4 ist auch der Betrieb mit der höchsten Aktivität, sowohl in der Basal- als auch in der Testmessung. Bei den Betrieben B3 und B4 befindet sich jeweils in der Testmessung der untere „whisker“ bei null.

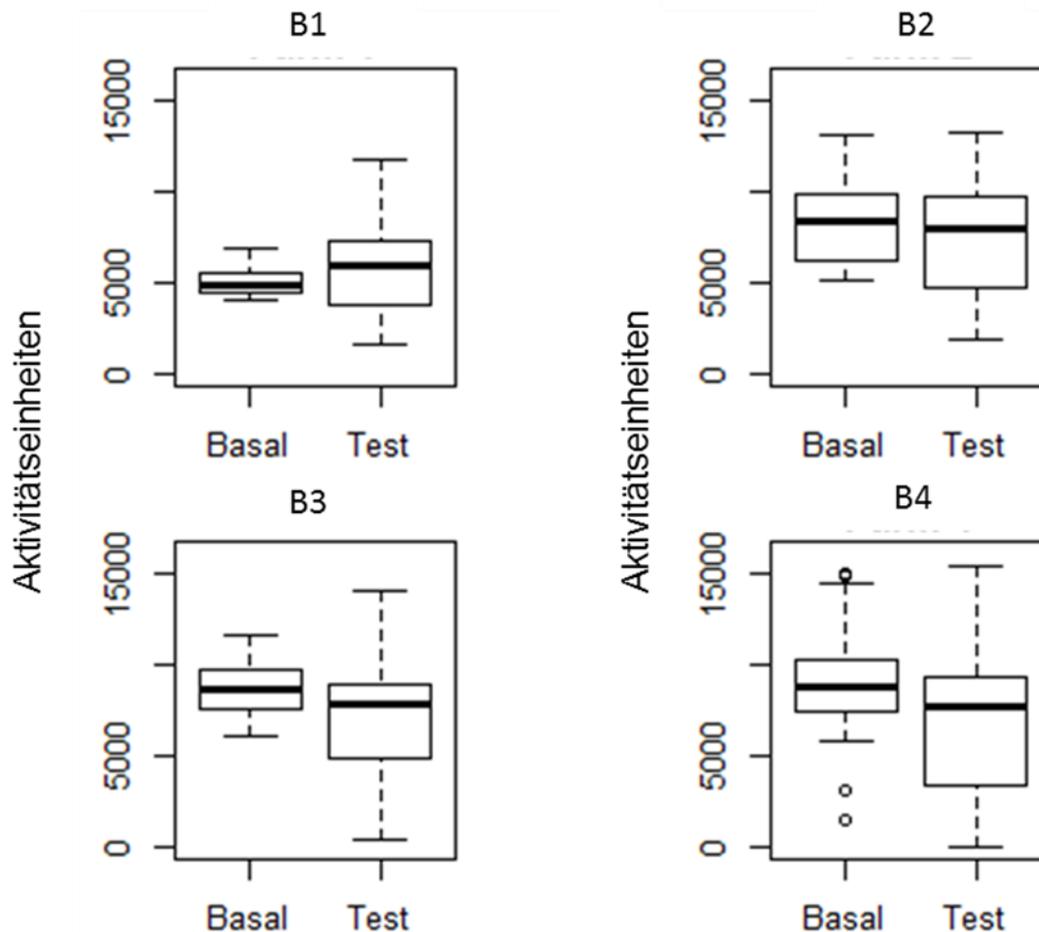


Abb. 49: Aktivität während Basal- und Testmessungen pro Betrieb (GRÄFF ET AL. 2017a)

In allen Betrieben liegt die mittlere Schrittzahl unter 400 Schritte pro Stunde (Abb. 50). Hierbei ist anzumerken, dass im Betrieb B1 die Pedometer erst ab Tag 9 zur Verfügung standen. Dem zu Folge beginnt in B1 die Datenerhebung für die Aktivität und die Liegedauer erst ab dem zweiten Basaltag. In dieser Grafik ist auch gut zu erkennen, dass die Aktivität am Tag 13 abnimmt, was darauf zurück zu führen ist, dass die Pedometer lediglich ein Drittel des Tages von den Kühen getragen wurden. Auffallend hierbei sind, neben einer allgemein sehr weiten Streuung, der Betrieb B1 an Tag 10 und der Betrieb B3 an Tag 13. An den genannten Tagen befinden sich diese Betriebe jeweils unterhalb der 300 Schritte Grenze. Darüber hinaus ist eine, im Vergleich zu den darauffolgenden Tagen, deutlich höhere Aktivität am ersten Versuchstag, innerhalb der Gewöhnungsphase, zu erkennen. Ausreißer dagegen sind erst ab der Basalphase auszumachen.

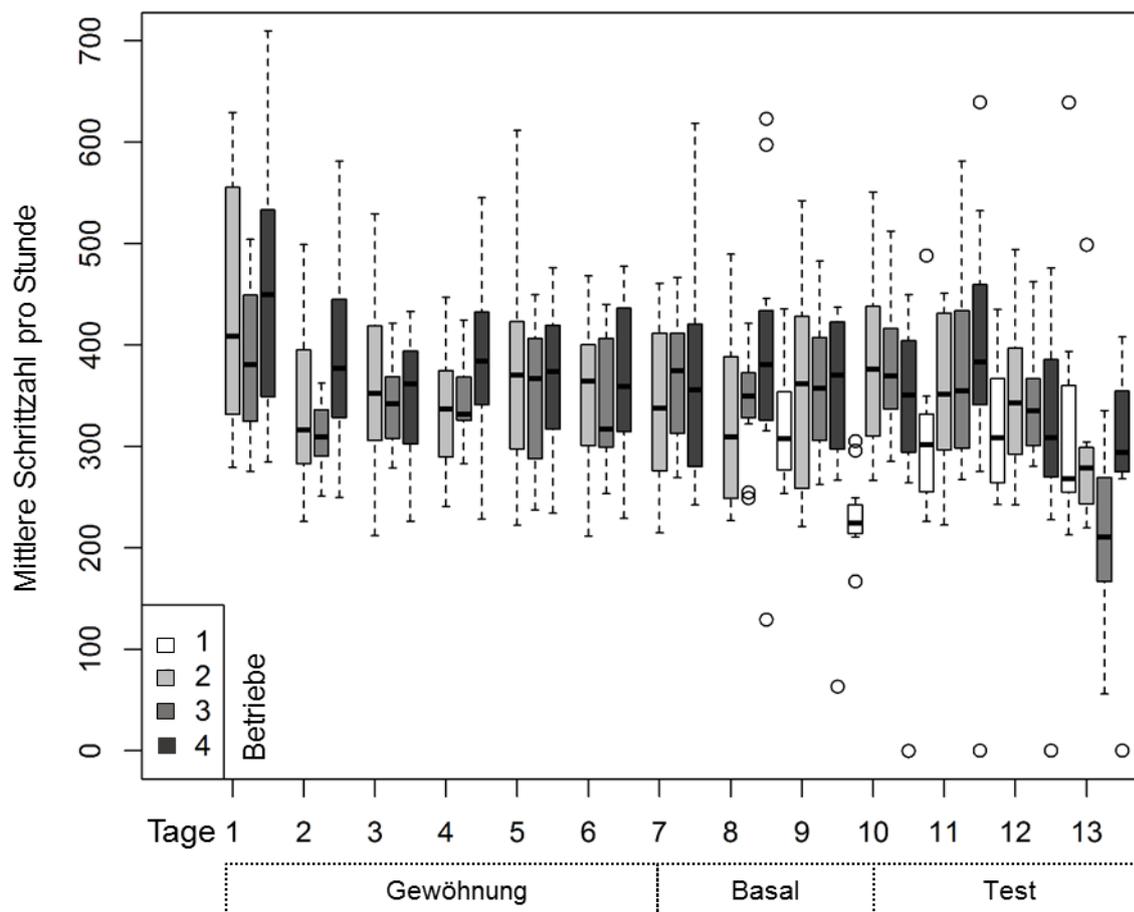


Abb. 50: Mittlere Schrittzahl pro Stunde für alle Betriebe (GRÄFF ET AL. 2017a)

In Abb. 51 ist die durchschnittliche Gesamtliegezeit  $L$  in [min/d] dargestellt. Hier sind die Liegepositionen L1 und L2 zusammengefasst, da es in der vorliegenden Arbeit unerheblich ist, ob die Kuh in Bauch- oder Seitenlage liegt. Anhand dieses Boxplots ist es schwer einen Unterschied in den jeweiligen Versuchsphasen auszumachen. Die Werte und Ausreißer streuen sowohl über die Gewöhnungs-, Basal- und über die Testphase hinweg.

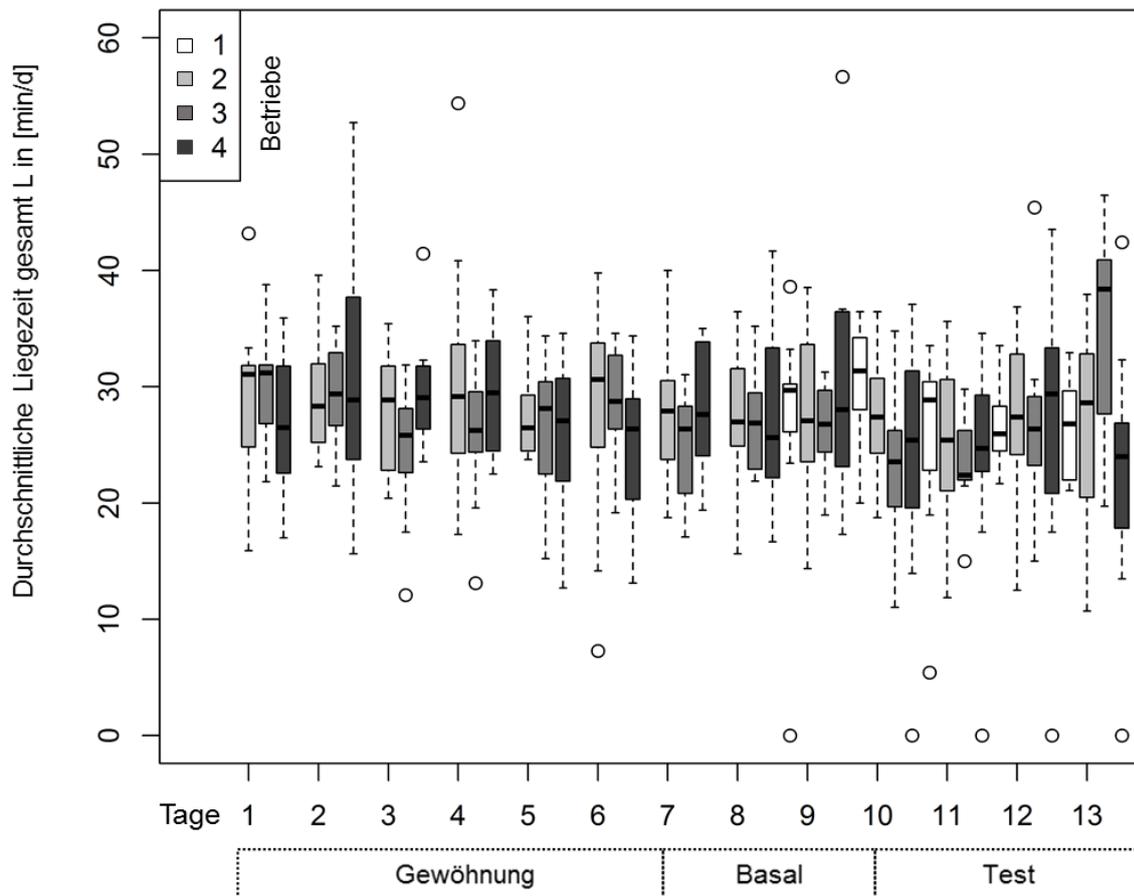


Abb. 51: Durchschnittliche Liegezeit gesamt  $L$  in [min/d] für alle Betriebe

Je nach Zusammenstellung des Datensatzes unterscheiden sich die Ergebnisse. Um das zuvor dargestellte Ergebnis überprüfen zu können, wird der Datensatz neu zusammengestellt. Werden zuvor als Basaldaten nur die Melkanrechtssperrungen gewertet, die auch nur in den Basaltagen erfolgen, sind jetzt alle Datenzeilen, in denen keine Melkanrechtssperrung stattfindet, als Basaldatenzeilen zusammengefasst. Damit wird der Datensatz des Normalzustandes größer. Auf diesen wird nun der Welch-Test angewendet:

```
t.test(Allgemeine_Aktivitaet_Basal, Allgemeine_Aktivitaet_Test, alternative = c("smaller"), mu = -629.9132, paired = FALSE, var.equal = FALSE, conf.level = 0.95)
# Welch Two Sample t-test
# data: Allgemeine_Aktivitaet_Basal and Allgemeine_Aktivitaet_Test
# t = -1.6516, df = 225.17, p-value = 0.05
# alternative hypothesis: true difference in means is less than -629.9132
# 95 percent confidence interval:
# -Inf -629.9132
# sample estimates:
# mean of x mean of y
# 7743.500 8826.078
```

Die Auswertung der Aktivitäts-Daten mit dem Welch-Test ergibt auf dem definierten statistischen Signifikanzniveau von 0,05, dass die mittlere Aktivität aus der Testmessung (d. h. Aktivitäts-Werte von den Tagen, an denen ein AMS-Energieausfall simuliert wird) um mindestens 629,9132 größer ist als die mittlere Aktivität aus der Basalmessung. Die gemittelte Aktivität aller Basaltage beträgt 7.743,5 Aktivitätseinheiten und die gemittelte Aktivität der Testtage beträgt 8.826,078 Aktivitätseinheiten. Dem zu Folge sind das 322 Schritte pro Stunde in der Basalmessung und 368 Schritte in der Testmessung. Daraus ergibt sich eine Differenz von 1.082,578 Aktivitätseinheiten. In der Testmessung bewegen sich die Kühe dem zu Folge um gerundet 1.083 Einheiten bzw. 46 Schritte pro Stunde am Tag mehr.

```
t.test(Liege__Basal, Liege__Test, alternative = c("less"), mu = 0, paired = FALSE, var.equal = FALSE, conf.level = 0.95)
# Welch Two Sample t-test
# data: Liege__Basal and Liege__Test
# t = -0.043353, df = 413.36, p-value = 0.4827
# alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
# 95 percent confidence interval:
# -Inf 121.7886
# sample estimates:
# mean of x mean of y
# 2604.075 2607.365
```

```
t.test(Liege__Basal, Liege__Test, alternative = c("less"), mu = 121.7886, paired = FALSE, var.equal = FALSE, conf.level = 0.95)
# Welch Two Sample t-test
# data: Liege__Basal and Liege__Test
# t = -1.6485, df = 413.36, p-value = 0.05
# alternative hypothesis: true difference in means is less than 121.7886
# 95 percent confidence interval:
# -Inf 121.7886
# sample estimates:
# mean of x mean of y
# 2604.075 2607.365
```

Die Auswertung der Liege-Daten mit dem Welch-Test ergibt auf dem definierten statistischen Signifikanzniveau von 0,05, dass die mittlere Liegedauer aus der Basalmessung um höchstens 121.7886 kleiner ist als der Mittelwert der Liegedauer aus der Testphase. Die mittlere Liegedauer aller Basaltage ist 2.604,075 Aktivitätseinheiten und die mittlere Liegedauer aller Testtage beträgt 2.607,365 Aktivitätseinheiten. Daraus ergibt sich eine Differenz von 3,29 Aktivitätseinheiten. Die tägliche Gesamtliegedauer liegt somit bei 10,85 Stunden (10 Stunden 51 Minuten) für die Basalmessungstage und bei 10,86 Stunden (10 Stunden 52 Minuten) für die Testmessungstage.

### 5.1.7 Zusammenfassung der bedeutsamsten Ergebnisse

Je nach Zusammenstellung des Datensatzes verändern sich die Ergebnisse marginal. Bei allen Varianten des Basal-Datensatzes (mit Einbeziehung der Gewöhnungsphase oder nicht) ergibt sich der gleiche Trend in puncto Stressbeeinflussung. Dem zu Folge sind hier in der Übersichtstabelle (Tab. 10) alle Ergebnisse aus beiden Datensätzen dargestellt.

Tab. 10: Zusammenfassung der bedeutsamsten Ergebnisse aus allen Betrieben

Alle Betriebe	Basalmessung gemittelt	Testmessung gemittelt	$\Delta$ Basal-/ Testmessung	Trend Stress-level
<b>Herzfrequenz</b>	90,6 bpm	86,7 bpm	3,9 bpm	↘
<b>Wiederkauen</b>	354 min	383 min	29 min	↘
<b>Milchmenge</b>	31,2 l	27,6 l	3,6 l	↗
<b>Cortisol</b>	13,6 ng/g	13,1 ng/g	0,5 ng/g	↔
<b>Aktivität</b>	<sup>1)</sup> 342 Schritte/h	278 Schritte/h	64 Schritte/h	↔
	<sup>2)</sup> 322 Schritte/h	368 Schritte/h	46 Schritte/h	↔
<b>Liegedauer</b>	<sup>1)</sup> 11,46 h	10,02 h	1,44 h	↗
	<sup>2)</sup> 10,85 h	10,86 h	0,01 h	↔
<b>Verhalten</b>	auf einem Signifikanzniveau von 0,05: Energieausfall beeinflusst Verhalten marginal (mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,04) nachteilig			↗

<sup>1)</sup> Kleiner Datensatz <sup>2)</sup> Großer Datensatz

In der Basalphase beträgt die mittlere Herzfrequenz der Kühe 90,6 bpm und sinkt in der Testmessung, mit einer Differenz von 3,9 bpm, auf 86,7 bpm. Die Wiederkaudauer dagegen steigt von 354 Minuten um 29 Minuten in der Basalmessung auf 383 Minuten in der Testmessung an. Die mittlere Milchmenge in der Basalmenge liegt bei 31,2 Liter, verringert sich aber um 3,6 Liter auf 27,6 Liter in der Testphase. Der Cortisol Gehalt im Kot zeigt einen durchschnittlichen Wert von 13,6 Nanogramm pro Gramm in der Basalmessung und sinkt um 0,5 Nanogramm pro Gramm auf 13,1 Nanogramm pro Gramm. Auch die Schrittzahl fällt von 342 Schritte pro Stunde in der Basalphase um 64 Schritte auf 278 Schritte in der Testmessung bei Verwendung des kleinen Datensatzes. Wird der größere Datensatz verwendet, so steigt die Schrittzahl von 322 auf 368 Schritte pro Stunde an. Ähnlich verhält es sich bei dem Parameter Liegedauer. Bei Verwendung des kleinen Datensatzes fällt die Liegedauer von 11,46 Stunden auf 10,02 Stunden ab. Wird der größere Datensatz verwendet, so liegen die Kühe durchschnittlich 10,85 Stunden in der Basalphase und 10,86 Stunden in der Testphase. Das Verhalten ist schwierig als Wert auszudrücken. Daher soll hier nur festgehalten werden, dass sich dieses marginal durch einen Energieausfall nachteilig verändert.

## 6 Diskussion

In den nachfolgenden Unterkapiteln erfolgt eine Interpretation der gewonnenen Ergebnisse zu den Auswirkungen von simulierten Energieausfällen automatischer Melksysteme. Zuerst werden das Versuchsdesign und die Methodik bewertet. Anschließend werden im Einzelnen die Resultate der ausgewählten Stressparameter im Kontext zu früheren Veröffentlichungen dargestellt.

### 6.1.1 Diskussion des Versuchsaufbaus

In der vorliegenden Arbeit soll der Frage nachgegangen werden, in wie weit sich ein energiebedingter Ausfall eines Melkroboters auf das Verhalten von Milchkühen auswirkt. Für eine Beurteilung werden verschiedene Stressparameter ausgewertet. Da diese Untersuchungen im Rahmen des Projektes *Integrated Dairy Farming – Stall 4.0* durchgeführt werden und somit als Basis für die spätere Implementation eines Energiemanagementsystems mit einem Smart Grid System dienen, sind ganz bewusst vier Praxisbetriebe und keine Lehr- und Versuchsbetriebe ausgewählt worden. Die Zielgruppe für ein derartiges Energiemanagementsystem stellen professionelle Milcherzeuger mit mittelgroßen Familienbetrieben, vornehmlich in Mittel und Nordeuropa, dar. Aus diesem Grunde werden die Praxisbetriebe nach ihrer Struktur ausgewählt. Bei allen vier Betrieben handelt es sich um familiengeführte Betriebe mit einer Tiergröße von ca. 60 bis 75 laktierenden Kühen aus dem Raum Oberbayern. Bei der Auswahl der Betriebe ist darüber hinaus zu beachten, dass sich aus Gründen der späteren Vergleichbarkeit, alle Betriebe in der gleichen Region befinden und dieselbe Melktechnik nutzen. Die an dieser Untersuchung beteiligten Betriebe liegen alle vier im Landkreis Rosenheim und melken ihre Fleckvieh Herde mit einem AMS von Lely.

Der Versuch ist insgesamt in drei Phasen unterteilt: Gewöhnungs-, Basal- und Testphase. In der ersten Phase, in der sechstägigen Gewöhnungsphase, soll den Kühen die Möglichkeiten gegeben werden, sich an die veränderte Situation im Stall zu gewöhnen. Ihnen fremde Menschen und die ungewohnten Messinstrumentarien, auch die durch den Versuch entstehenden divergent ablaufenden Tagesroutinen, können das Verhalten beeinflussen. Eine andersartige Situation kann die Tiere beunruhigen (FRASER ET AL. 1978) und allein so schon zu einer Stressbelastung führen. Diese soll durch eine Gewöhnungsphase vermieden werden. Nach einer ersten, kurzen Unruhe, akzeptieren die Tiere sehr schnell die neue Situation. Es können an Hand der Parameter keine Unterschiede zwischen Gewöhnungs- und Basalphase ausgemacht werden. Eine lange Gewöhnungsdauer erweist sich als vorteilsbringend. Das Versuchsteam kann sich ebenso wie die Kühe an die Arbeitsroutinen gewöhnen. Hier ist es auch

von großem Vorteil, wenn sämtliche Tätigkeiten an Hand von Checklisten ausgeführt werden. Diese garantieren einen immer gleichartigen Versuchsablauf. Die auf die Gewöhnungsphase folgende Basalphase dauert bei den vorliegenden Untersuchungen drei Tage. Diese erfasst den Zustand der Tiere ohne den Einfluss eines energiebedingten Ausfalls eines AMS. Die Arbeitsroutinen sind in diesem Zeitraum die gleichen wie in der Gewöhnungsphase. Zusätzlich erfolgt jedoch die Entnahme von zwei Kotproben pro Kuh und Tag. Mit Beginn der Basalphase werden die zuvor bereits installierten Videokameras gestartet und zeichnen Tag und Nacht auf. Nach drei Tagen Basalmessung startet die viertägige Testmessung, in der das Verhalten der Milchkühe auf den Ausfall eines AMS analysiert wird. Da es sich um Praxisbetriebe handelt, kann nicht problemlos ein realer Stromausfall simuliert werden. Hiervon wäre die gesamte Herde betroffen und die Folgen eines derartigen Energieausfalls sind nicht kalkulierbar. Dies verstößt gegen jegliche Richtlinien des Tierwohls und des Tierschutzes. Aus diesem Grunde wird lediglich für die zwölf Fokuskühe ein Stromausfall simuliert. Üblicherweise hat jede Kuh ihr individuelles Melkanrecht, d. h. es wird per Software festgelegt, wie oft Melkungen zugelassen sind. Durch das Setzen von sog. Blockzeiten, was einer Melkanrechtsverweigerung gleich kommt, kann gezielt das Melkanrecht der Fokuskühe verweigert werden. Diese Sperrung wird Kuh-individuell, zwischen zwei und vier Stunden, programmiert. Betritt eine Fokuskuh während einer für sie gesetzten Blockzeit das AMS, wird sie zunächst identifiziert, erhält aber kein Kraftfutter und auch die Melkung unterbleibt. Verweilt die Kuh zu lange in der Box und blockiert diese dadurch für andere Kühe, so erhält sie einen leichten Stromschlag. Die Kuh verlässt die Box und diese wird dadurch wieder frei für andere Kühe. Insgesamt betrachtet, stellt das Setzen von Blockzeiten eine sehr probate Methode dar, um den Energieausfall für einzelne Tiere zu simulieren. Allerdings ist es wünschenswert, dass in allen Betrieben die Blockzeiten zumindest tageweise die gleiche Länge aufweisen. Dies ist aber auf Grund der Tatsache, dass dieser Versuch nicht unter Laborbedingungen durchgeführt wird, sondern auf realen Praxisbetrieben, unmöglich. Bei der Setzung der Blockzeiten, muss jeweils auf die individuellen Belange und Wünsche des jeweiligen Betriebsleiters Rücksicht genommen werden. Gerade nach erfolgreichen Blockzeiten, d. h. nach einer dokumentierten AMS-Abweisung, stellen alle Betriebsleiter subjektiv eine Unruhe innerhalb ihrer gesamten Herde fest. Denn die Blockzeit hat nicht nur Auswirkungen auf das Einzeltier, sondern auf den gesamten Herdenverband. Oft zeigt sich, dass nach erfolgloser Melkung, die Fokuskuh immer wieder versucht in das AMS zu gelangen. Dadurch blockiert sie den Weg zum AMS und das AMS selbst für andere Tiere. Dies wirkt sich umso schwerwiegender aus, je höher die Fokuskuh im sozialen Rang steht. Rang-niedrigere Kühe kommen dadurch noch seltener zum AMS oder müssen teilweise durch den Betriebsleiter nachgetrieben werden. Das Ausbleiben einer er-

folgreichen Melkung führt an dem betreffenden Tag zu einer Einbuße in der Gesamtagemilchleistung des Betriebes. Deshalb pochen die Betriebsleiter auf Kuh-individuelle Reduzierungen der Blockzeiten, die sich im Rahmen von zwei bis vier Stunden bewegen. Ziel für zukünftige Untersuchungen ist daher ein einheitliches Schema bei den Blockzeiten, d. h. möglichst viele Daten unter genau gleichen Bedingungen zu erhalten. Hier muss aber ein Kompromiss zwischen der Chance möglichst viele, erfolgreiche AMS-Abweisung zu erhalten und den Betrieben keinen wirtschaftlichen Schaden zu zufügen, eingegangen werden.

### **6.1.2 Diskussion des Versuchszeitraums**

Die Versuche werden in den Monaten März bis August 2014 durchgeführt. Bei zukünftigen Untersuchungen ist darauf zu achten, dass die Versuche in zeitlich kürzerer Abfolge hintereinander stattfinden, um alle entweder im Frühjahr oder im Sommer abzuschließen. Idealerweise sind die Untersuchungen parallel durchzuführen, wenn dies personell möglich ist. Die Versuche der vorliegenden Arbeit werden hintereinander abgearbeitet. Es können daher auch klimatische Veränderungen Einflüsse auf die Ergebnisse haben. Eine weitere Einschränkung entsteht durch die Betriebe selbst. Da es sich um Praxisbetriebe handelt, müssen die Vorgaben der Betriebsleiter eingehalten werden. Dies trifft auch für die Terminierung zu, d. h. wann der Versuch tatsächlich abgehalten wird. Andererseits bietet ein längerer Versuchszeitraum die Möglichkeit der Darstellung eines breiteren jahreszeitlichen Spektrums. Einzelne Wetter-Extrema können so leichter geglättet werden. Dennoch dürfen die besonders hohen Temperaturen an einzelnen Tagen im August 2014 nicht unberücksichtigt bleiben. Der deutliche Temperaturanstieg kann einen Einfluss auf die FCM-Werte haben. Dies belegen auch die Studien von ZÄHNER ET AL. (2001), die bei ihren Versuchen feststellen, dass extreme klimatische Veränderungen Einfluss auf die Cortisolkonzentration in der Milch haben. Auch die Aktivität der Kühe kann vom Wetter beeinflusst werden. SILANIKOVE (2000) beobachtet thermoregulatorischen Verhaltensweisen bei Kühen, so dass sie während der heißesten Stunden des Tages ihre Fortbewegungsaktivitäten erheblich einschränken. Da in dieser Untersuchung allerdings Vergleiche zwischen Basal- und Testmessungen, die innerhalb von einer Woche stattfinden, betrachtet werden, spielen wetterbedingte Einflüsse keine Rolle. Es herrscht je Betrieb dieselbe Großwetterlage, sowohl während der Basalmessungen als auch während der Testmessungen.

### **6.1.3 Diskussion der Versuchsrahmenbedingungen**

Teilweise kommen auf den einzelnen Betrieben Besonderheiten vor. Es treten vermehrt Komplikationen auf dem ersten Versuchsbetrieb auf. Hier wäre die Durchführung eines Vorversuchs wünschenswert gewesen. Es bleibt allerdings zu bezweifeln, ob die dort gesammelten

Erfahrungen die nachfolgenden Unannehmlichkeiten hätten vermeiden können, da die Praxisbetriebe mit ihren Betriebsleitern doch sehr indifferent sind.

#### **6.1.3.1 Versuchsbetriebe**

Im Betrieb B1 werden die Fokuskühe bereits am zweiten Gewöhnungstag geschoren, da das lange Winterfell keine korrekten HR- Messungen zulässt. Die Fokuskühe werden daher in der Region des Pulsgurtes auf der linken Körperseite geschoren. In den anderen drei Betrieben ist dies nicht nötig. Hier zeigen die Pulsmessgeräte korrekte Daten. Durch eine Zwischenauswertung der Videoaufzeichnungen kann das Problem der verrutschten Messkästchen gelöst werden. Die Videoaufnahmen machen deutlich, dass die Fokuskühe beim Betreten des AMS mit dem Messkästchen am Eingangstor hängen bleiben und es sich dadurch verschiebt. Als Folge daraus werden alle Messkästchen, von links nach rechts, auf die andere Seite des Widders versetzt. Dieses Prozedere wird bei allen nachfolgenden Betrieben analog angewendet.

Nach dem dritten Gewöhnungstag wird auf Grund einer Euterentzündung Fokuskühe 7 ersetzt. Dadurch, dass vor der eigentlichen Messung in der Basalzeit noch drei weitere Gewöhnungstage für die neue Fokuskühe 7 verbleiben, hat der Austausch des Tieres keinerlei Einfluss auf die Ergebnisse. Dem Umstand zu Folge, dass es sich um Praxisbetriebe handelt, sind auch diverse Einflüsse von außerhalb zu zurechnen. So kommt es in der Nacht von der zweiten zur dritten Basalmessung zu außergewöhnlicher Betriebsamkeit an der Hofstelle, da ein geklauter Maibaum versteckt wird. Dies macht sich aber nicht an Hand der gemessenen Parameter bemerkbar, doch subjektiv betrachtet, erscheinen die Kühe am darauffolgenden Tag ruhiger bzw. müder. Auch die nächste Nacht verläuft laut Betriebsleiter ungewöhnlich, da zum einen, ein Teil des Jungviehs durch ein defektes Fressgitter entkommt und dann frei herumläuft. Zum anderen werden tagsüber die Liegeboxen des Milchviehs gekalkt. Dies missfällt jedoch den Kühen und sie beginnen ihre Boxen zu durchwühlen. Aber auch diese Ereignisse haben keinen messbaren Einfluss auf die aufgezeichneten Stressparameter an diesem Tag.

Auf Grund von Lieferproblemen werden erst am dritten Tag der Basalphase, im Betrieb B1, die aus Potsdam (ATB) stammenden Pedometer, an den Kühen befestigt. Dem zu Folge ist dieser Datensatz kleiner als der im Vergleich zu den drei weiteren Betrieben, wo die Pedometer seit der Gewöhnungsphase aufzeichnen. Eine Überprüfung der korrekten Funktion der Aufzeichnung der Pedometer-Daten erfolgt dadurch, dass im ersten Betrieb an den Fokuskühen 3 und 8 jeweils zwei Pedometer befestigt werden. Die Auswertung ergibt lediglich zu vernachlässigende Abweichungen, so dass von einer korrekten Schritt-Aufzeichnungsfunktion ausge-

gangen werden kann. Die Fixierung der Pedometer durch den mitgelieferten Klettverschlussgurt und einer zusätzlichen Sicherung durch Panzertape hat sich als sehr praktikabel erwiesen. Das Wiederkauen der Fokuskühe wird in diesem Betrieb erst mit Versuchsbeginn erfasst. Im Betrieb B1 wird bis zu diesem Zeitpunkt lediglich die Aktivität aufgezeichnet, nicht aber das Wiederkauen selbst. Es werden daher die Halsbänder der Fokuskühe gegen Halsbänder mit Wiederkausensoren getauscht. Dies erfolgt bereits ab dem zweiten Gewöhnungstag und hat daher keinen Einfluss auf die Auswertung von Basal- und Testmessungen. Insgesamt betrachtet, ist der Betrieb B1 mit 64 zu melkenden Kühen, bei einem ausgeglichenen Fress-Liegeplatz-Verhältnis, weder unter- noch überbelegt. Der Betrieb zeichnet sich durch ein besonders inniges Verhältnis zu seinen Tieren aus.

Im zweiten Versuchsbetrieb befinden sich zum Versuchszeitpunkt 72 laktierende Tiere im Stall. Das Fress-Liegeplatzverhältnis ist allerdings zu diesem Zeitpunkt nicht ausreichend. Es herrscht eine leichte Überbelegung mit hoher Aktivität im Stall. Die Kühe befinden sich während der Versuchsdurchführung im Fellwechsel und müssen daher für korrekte HR-Messdaten nicht geschoren werden. Am letzten Tag der Gewöhnungsphase entsteht kurzzeitig, durch das Abbrennen von Euterhaaren, bei einzelnen Tieren vermehrte Aktivität. Dies betrifft allerdings nicht die Fokustiere, da sich diese zu diesem Zeitpunkt für den Pulsuhrenwechsel im Fressgitter befinden. Demnach ist diese Aktivitätszunahme auch nicht auf den erhaltenen Messergebnissen wieder zu finden. Der einzige Kompletterverlust eines Pulsgurtes ist im Betrieb B2 zu verzeichnen. Hier verliert Fokuskühe 2 am letzten Tag der Testmessung ihren Messgurt. Dies kann an der Überbelegung liegen. Dem entgegen sprechen aber die Untersuchungsergebnisse von WANG ET AL. (2016). Sie können bei ihren Untersuchungen mit unterschiedlichen Besatzdichten keine Unterschiede in den täglichen Rangauseinandersetzungen um Liegeplätze und bei der Dauer von Rangauseinandersetzungen feststellen. Durch das nebeneinander stehen im Fressgitter kann es zu hierarchischen Differenzen innerhalb der Sozialstruktur *Herde* zwischen den Kühen kommen. Die räumliche Begrenzung beim Fressen kann schon einen möglichen Stressfaktor darstellen. Es wird für niederrangige Kühe schwieriger den Abstand zu höherrangigen Kühe beizubehalten. Dies beeinflusst das Fress- und Wiederkauverhalten der betroffenen Tiere (BRAUN ET AL. 2014) und kann die subjektiv erfasste größere Unruhe in diesem Stall erklären.

Im dritten Versuchsbetrieb werden vor Start des Versuchs prophylaktisch alle Batterien der Messgeräte gewechselt, um gleich starke Wearlink-Signale zu gewährleisten. Dies ist eine sinnvolle Maßnahme, und ist vor jeder neuen Versuchsreihe durchzuführen. Da es teilweise in den vorherigen Betrieben zu Problemen mit der korrekten Pulsuhr–Wearlink Kopplung

kommt, sind die Uhren bereits am Lehrstuhl vorgekoppelt worden. In diesem Betrieb sind lediglich an den ersten zwei Testtagen außergewöhnliche Ereignisse festzuhalten. Am ersten Tag erfolgt eine Begehung durch die Berufsgenossenschaft und am zweiten Testtag legt der Juniorchef seine Meisterprüfung ab. Aus den Auswertungen der Daten und den subjektiven Eindrücken des Betriebsleiters gehen keinerlei Einflüsse hervor.

Während des Versuchszeitraums im Betrieb B4 sind keine besonderen Vorkommnisse zu verzeichnen. Allerdings sind in diesem Betrieb nur die Daten von elf Fokuskühen für die Auswertung verfügbar. Fokuskuh 4 ist zu Beginn der Basalmessung erkrankt und wird daher aus dem Versuch genommen.

### **6.1.3.2 Tiere**

Für die vorliegende Arbeit wird bewusst die für den süddeutschen Raum typische Rasse Fleckvieh ausgewählt. Diese Zweinutzungsrasse gilt im Allgemeinen als robust (ELFRICH UND ROESICKE 2015) und eignet sich deshalb gut für Belastungsversuche. Um allgemeingültige Aussagen treffen zu können, werden sowohl sich im Zyklus befindliche als auch trächtige Tiere zufällig ausgewählt. Der letzte Abkalbetermin liegt dabei mindestens einen Monat zurück und der nächste ist erst frühestens auf zwei Monate nach Versuchsende terminiert. Dies erweist sich als eine geeignete Methode, um unnötige Komplikationen (z. B. AMS-Adaption von Erstlaktierenden) zu vermeiden. Durch die zufällige Stichprobenziehung können Kühe aller Laktationsperioden berücksichtigt werden. Diese reichen von der ersten bis zur siebten Laktation. Der Mittelwert beträgt 2,4 Laktationen mit einem mittleren Alter von 3,9 Jahren. Die jüngste Kuh ist zwei Jahre alt, die älteste Kuh acht Jahre alt. Die so erhaltene Versuchsgruppe bildet sehr gut die Herdenstruktur auf bayerischen, familienbetriebenen Milchviehbetrieben ab und lässt sich dadurch als repräsentativ für nachfolgende Untersuchungen betrachten. Auf Grund des langen Winterfells werden die Kühe aus dem Betrieb B1 im Bereich des Pulsmessgurtes geschoren. Bei allen anderen Tieren aus den restlichen drei Betrieben wird die HR-Messung direkt angewendet.

### **6.1.3.3 Tierkennzeichnung**

Der Einsatz des Markierungsspray „Raidex gelb animal marking spray“ im Betrieb B1 führt zu Fellverlusten durch Verklebungen. Nach Ende des Versuchs im B1 wird vom dortigen Betriebsleiter übermittelt, dass sich die Farbe nicht ausstriegeln lässt und die Fellhaare unter der markierten Fläche absterben. Demnach werden die Markierungen im zweiten Betrieb B2 mit Tier-Physio-Tapebändern vorgenommen. Aber auch diese Art der Markierung ist nicht geeignet. Die Bänder gehen durch Abzupfen anderer Kühe oder durch Abreiben an Stallgegenständen

insbesondere der Kuhbürste bereits nach wenigen Stunden verloren. Dem zu Folge werden nur noch Markierungsstifte eingesetzt. Problematisch hierbei ist, dass diese sehr schnell verwischen. Auch die Farbwahl schafft Probleme. Die dunklen Farben lassen sich auf den Videoaufzeichnungen zwar sehr gut bei den Tagaufnahmen erkennen, nicht aber bei den Nachtaufnahmen. Die weißen Markierungen dagegen verdrecken sehr schnell und sind ebenso schwer zu erkennen. Aus diesem Grunde werden die Tiere zusätzlich zu den Seiten auch auf dem Rücken gekennzeichnet. Speziell für die Auswertung der Nachtaufnahmen wird ein *Kuhidentifizierungsalbum* erstellt. Dieses beinhaltet Fotografien der Kühe von allen Seiten, auch von oben. Anhand der individuellen Fellzeichnung können so, bei einer verwischten Markierung, die Tiere dennoch leicht identifiziert werden. Ein derartiges *Kuhidentifizierungsalbum* ist für alle nachfolgenden Versuche zur leichteren Identifikation der Versuchstiere vor Versuchsbeginn anzufertigen.

#### **6.1.4 Diskussion der Ergebnisse**

Für diese Forschungsarbeit werden bei Milchkühen verschiedene Stress-Parameter untersucht, um Belastungsreaktionen, die durch Energieengpässe entstehen können, exemplarisch an einem energiebedingten Ausfall eines Melkroboters, zu quantifizieren. Zur Stressbewertung werden Herzaktivität, Wiederkautätigkeit, Cortisol-Metaboliten-Ausschüttung, Bewegungsaktivität und Verhalten analysiert. Diese Parameter werden bei je zwölf Fokuskühen aus vier unterschiedlichen Betrieben betrachtet. Die ausgewählten Betriebe können als repräsentativ für die derzeitigen, familiengeführten Milchviehbetriebe Oberbayerns angesehen werden. Auf Grundlage dieser Studie lässt sich festhalten, dass eine Wiederholung dieser Untersuchungen die gleichen Ergebnisse liefern würde und die Ergebnisse dieser Studie daher als valide betrachtet werden können.

##### **6.1.4.1 Herzfrequenz**

In dieser Untersuchung wird der energiebedingte Ausfall eines AMS bis zu vier Stunden als Stressor bei Milchkühen betrachtet. Zur Beurteilung der Stresssituation wird u. a. die nicht-invasive Messung der HR eingesetzt. Diese Methode als Stand der Technik wird auch von KOVÁCS ET AL. (2015b) belegt. Die HR-Messung wird für diese Untersuchung gewählt, da sie ein gut geeignetes Diagnoseverfahren für Stress darstellt (STEINHARDT 2006). Belastungen werden direkt und unmittelbar angezeigt. Zu dem selben Schluss kommen auch LEFCOURT ET AL. (1986) und BROOM UND JOHNSON (1993). Der Energieausfall eines AMS stellt ein kurzfristiges, zeitmäßig begrenztes Stressereignis dar. Dauert der Ausfall zu lange, muss der Betriebsleiter eingreifen und eine Alternative schaffen. Dies kann z. B. durch die Bereitstellung eines Notstromaggregats geschehen. Gerade aus dem Grund einer solchen Kurzfristigkeit des

Stressors wird der Einsatz der HR-Messung interessant. Zu dem selben Schluss kommen auch MOHR ET AL. (2002) und KOVÁCS ET AL. (2014), die die HR-Messung als eine geeignete Methode zur Messung kurzzeitigen Stresses bekräftigen. Darüber hinaus wird sie auch wie von NECHANITZKY ET AL. (2015) benutzt, um Verhaltensänderungen bei Milchkühen zu überprüfen. Der Einsatz eines Polar Messgerätes eignet sich hervorragend zur Bestimmung der HR im Feldversuch. Zu dem selben Schluss kommen auch HOPSTER UND BLOKHUIS (1994), denn die HR-Messung mittels eines Pulsgurtes ist eine nicht invasive Art eventuelle Stresssituationen beurteilen zu können. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird zur HR-Messung das Polar RS800CX Herzfrequenz-Messgerät eingesetzt. Dieses ursprünglich für Rennpferde entwickelte Pulsmessgerät kann problemlos zur HR-Messung bei Milchkühen verwendet werden. Dies bestätigen sowohl KINGSLEY ET AL. (2005) als auch ESSNER ET AL. (2013). Die angewendete Methodik ist demnach zur Beurteilung von Stressbelastungen bei Milchkühen unter gewöhnlichen Haltungsbedingungen geeignet, da sie keinen nachteiligen Effekt auf das Tier hat. Darüber hinaus ist es ein kostengünstiges, nichtinvasives Diagnoseverfahren und liefert valide Ergebnisse.

Dennoch können auch Probleme mit dieser Messtechnik auftreten. Es kann zu Datenverlusten kommen, wenn die Pulsgurte mit den Wearlinks falsch gekoppelt sind. Stehen die Kühe im Fressgitter dicht nebeneinander, so kann es bei einer Kopplung vor Ort, am Tier, dazu kommen, dass die Pulsuhr den stärksten Wearlink koppelt. Dies muss aber nicht unbedingt der richtige sein. Um eine derartige Fehlkopplung zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Wearlinks einzeln mit den Pulsuhren vorzukoppeln. Weitere Datenverluste entstehen durch das Verdrehen und Verrutschen der Pulsgurte. Entweder die Kühe scheuern sich an anderen Tieren oder Stallgegenständen, oder die Kuhbürste verdreht den Pulsgurt, so dass die HR nicht mehr aufgezeichnet werden kann. Für nachfolgende Versuche ist daher darüber nachzudenken, ob in der Versuchszeit die Kuhbürste abgeschaltet wird. Dies kann aber allein schon zu einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens der Tiere führen und muss daher diskutiert werden. Daneben kommt es aber auch immer wieder zu simplen Bedienungs- und Computerfehlern: Die Blockzeiten sind programmiert, aber das Aktivieren wird vergessen. Um derartige banale Fehler bei zukünftigen Versuchen zu minimieren, sollten Checklisten erarbeitet werden. Diesen könnte ein Leitfaden zu Grunde gelegt sein, der den Anwender Schritt für Schritt durch die Methodik führt und am Ende mit einer Kontrolle endet.

Die in der vorliegenden Arbeit gemessene HR von 91 bpm passt in die bereits bestehenden, ermittelten Werte, liegt jedoch marginal darüber. HARMEYER (2005) ermittelt einen Ruhewert von durchschnittlich 55 bpm, der bis zum Dreifachen ansteigen kann. BAUMGARTNER (2005) misst eine HR zwischen 60 bpm und 80 bpm. Dies geht konform mit WEISS ET AL. (2005), die

HR zwischen 61 bpm und 85 bpm messen. UMSTÄTTER (2002) kommt zu ähnlichen HR-Werten wie diese aus der vorliegenden Forschungsarbeit. Während der Futteraufnahme liegt die HR im Mittel bei  $88,1 \pm 9$  bpm. Ein Grund für die unterschiedlichen HR liegt in den verschiedenen Rassen und dem unterschiedlichen Charakter der Kühe. Dies bestätigen ZIPP ET AL. (2013). Sie messen bei der Rasse Deutsche Rotbunte eine HR von 78,5 bpm, bei der Rasse Deutsches Holstein dagegen nur 72,3 bpm. Die minimalen und maximalen Werte sind bei 57,42 bpm und 97,64 bpm zu finden. HOPSTER ET AL. (1998) ermitteln für Holstein-Friesian und Holstein-Dutch-Friesian Kreuzungen eine durchschnittliche HR von  $77 \pm 2,4$  bpm. FRONDELIUS ET AL. (2015) ermitteln ähnliche HR-Werte bei Holstein-Friesian und Ayrshire Kühen. Hier beträgt die HR  $75,9 \pm 0,929$  bpm. WAIBLINGER ET AL. (2001) beobachten eine mittlere HR von  $82,1 \pm 2,7$  bpm und stellen gleichzeitig die sehr starken individuellen Variationen der HR heraus. Dies bestätigen auch FRONDELIUS ET AL. (2015). Sie verweisen in ihrer Studie darauf, dass Rinder sehr individuelle Unterschiede im Temperament und in ihrer emotionalen Reaktion besitzen. Zu dem gleichen Schluss kommen auch KOVÁCS ET AL. (2015a). Sie messen bei Holstein-Friesian Kühen mit einem ruhigeren Temperament eine HR von  $72,4 \pm 3,2$  bpm, Kühe mit mittlerem Temperament  $75,6 \pm 3,8$  bpm und bei den temperamentvollsten Tieren  $79,3 \pm 4,0$  bpm. Einen weiteren Einfluss auf die gemessene HR haben auch die Haltungsbedingungen und das Klima. Die Versuche zum Energieausfall beim AMS werden alle im Frühjahr bzw. Hochsommer durchgeführt. Im Frühjahr wird der Organismus durch den Fellwechsel belastet, im Sommer sind es die hohen Temperaturen. Auch die Belastung durch Insekten nimmt zu. Gerade im Sommer kommt es immer wieder zu starken Kreislaufbelastungen. Dies bestätigen auch TOBER UND LOEBSIN (2015). Die Forscher zeigen bei wärmeren Temperaturen eine Zunahme der HR auf  $84,35 \pm 2,68$  bpm. Allerdings können ZÄHNER ET AL. (2001) keinen signifikanten Einfluss des Klimas auf die HR ermitteln. Dem Ergebnis von ZÄHNER ET AL. (2001) kann aber entgegen gebracht werden, dass auch Fitness und Alter einen Einfluss auf die HR haben. Dies bestätigen VINCEN ET AL. (2006). Das Alter der Kühe aus der vorliegenden Studie liegt im Durchschnitt der bayerischen Milchviehbetriebe. Die Fitness ist allerdings schwer zu beurteilen. Auffallend ist jedoch, dass subjektiv betrachtet, vor allem die Kühe aus den Betrieben B1, B3 und B4 ein vergleichsweise hohes Körpergewicht aufweisen. Es sind jedoch keine Gewichtsdaten miterfasst worden. Das höhere Körpergewicht kann die Ursache einer erhöhten HR sein. Dies wird durch die Untersuchungen von HAGEN ET AL. (2005) bestätigt. Hier korreliert ein höheres Körpergewicht oft mit einer höheren HR. Dem zu Folge ist es wünschenswert, bei nachfolgenden Untersuchungen, das Körpergewicht mit zu erfassen. Die Tageszeit ist nicht im Fokus dieser Untersuchung gelegen und wird deshalb auch nicht spezifisch betrachtet. Hier wird auf Untersuchungen von LEXER ET AL. (2003) verwiesen. Dort wird in

verschiedenen Verhaltenskategorien beim Fleckvieh allerdings keine Abhängigkeit der HR von der Tageszeit festgestellt.

Die Auswertung der HR zeigt, dass es keinen großen Unterschied zwischen der Basal- und der Testsituation gibt. Die HR im Normalzustand beträgt durchschnittlich 90,6 bpm, die HR in der vermeintlichen Stresssituation 86,7 bpm. Dieses Ergebnis steht nicht im Einklang mit der Erwartung, dass die HR in einer Belastungssituation ansteigen sollte. Denn nach FRONDELIUS ET AL. (2015) bedeutet ein Ansteigen der HR ein Ansteigen des Stresslevels. Hier, im Gegenteil, nimmt die HR wider Erwarten, um gerundet vier Schläge in der Minute ab. Eine mögliche Erklärung für den minimal größeren Erregungszustand in der Basalmessung kann sein, dass das durch den Energieausfall mehr erzeugte Adrenalin die Hemmschwelle gegenüber Aufregungen herabsetzt. Die HR sind daher im Testzustand im Durchschnitt geringfügig niedriger. Dies ist allerdings schwer zu überprüfen. Das Hormon Adrenalin kommt im Blutplasma oder im Urin vor. Für einen Nachweis müsste daher invasiv getestet werden. Eine Blutentnahme stellt aber an sich bereits einen Stressstimulus dar. Die Sammlung des Urins über 24 Stunden bei einer Milchviehkuh erscheint allerdings auch nicht praktikabel. Dem Ergebnis liegt möglicherweise auch zugrunde, dass die Stressbelastung beim Melken, sowohl bei herkömmlichen Melkungen als auch beim AMS-Melken, von vielen Wissenschaftlern als für sehr gering eingestuft wird (HAGEN ET AL. 2005; GYGAX ET AL. 2008). Generell lässt sich festhalten, dass es laut WEISS ET AL. (2005) keinen Unterschied zwischen Melkstands- und AMS-Melkungen gibt. Daher sind alle nachfolgenden Literaturwerte auch für diese Studie als vergleichbar anzusehen. Die Wissenschaftler kommen jedoch zu konträren Ergebnissen. ROYLE ET AL. (1992), HOPSTER ET AL. (1998) und WEISS ET AL. (2004) stellen während des Melkens HR-Erhöhungen fest. Ein derartiger Anstieg kann auf die bloße Anwesenheit eines Menschen während des Melkvorgangs zurückzuführen sein. Da Kühe die individuelle Fähigkeit besitzen zwischen verschiedenen Menschen zu differenzieren (RUSHEN ET AL. 1999) können sie auch zwischen verschiedenen Melkern unterscheiden. Dies allerdings widerlegt THORWART (2017), die keinen Zusammenhang zwischen HR und verschiedenen Melkern feststellen kann. Es gibt zwar keinen Melker beim AMS, aber die Tiere haben dennoch Kontakt zu den Betriebsleitern. Der Kontakt kann positiv oder negativ sein und ist abhängig von der Interpretation des Herdenmanagements durch den jeweiligen Betriebsleiter. Es kommt sehr häufig vor, dass sich der Betriebsleiter in der Nähe des AMS befindet. Sei es um das AMS und die Tiere selbst zu kontrollieren oder um Routinearbeiten auszuführen. Der Umgang mit dem Tier hat entscheidend Einfluss auf die HR (FRONDELIUS ET AL. 2015). Die vorliegende Studie ergänzt die bestehende Literatur über abnehmende HR während der Melkung. WENZEL ET AL. (2003) und ZIPP ET AL. (2013) manifestieren ein Absinken der HR während des Melkvorgangs. ZIPP ET AL. (2013) interpretieren das Abfallen der HR beim Melken als eine Art Beruhigung. Sie schließen daraus,

dass nicht der Melkvorgang an sich, sondern eher der Kontakt mit dem Menschen als stressauslösend empfunden wird. Dies kann in der vorliegenden Studie nicht der Hauptgrund sein, da es sich beim AMS-Melken um eine Robotertätigkeit handelt. Es kann sein, dass das Melken, d. h. die Abgabe der Milch, die das Euter belastet, eine stressbefreiende Wirkung hat. Die Abmelkung der sich im Euter immer mehr ansammelnden Milch, kann auch die Testergebnisse dieser Studie erklären. Demnach nimmt eventuell der Stress durch die AMS-Abweisungen zu, die Erwartung der bevorstehenden Entlastung des Euters durch eine Melkung, lässt aber die HR sinken. So stellt sich eine generelle Frage, die in weiteren Forschungen zu untersuchen ist. Das Ansteigen oder Absinken der HR ist unterschiedlich interpretierbar, je nachdem, ob es sich um einen positiven Eustress oder negativen Disstress handelt. Zu der gleichen Annahme kommt auch HEIDIG (2007). Generell kann ein Ansteigen der HR nicht immer mit Stress gleichgesetzt werden. So kann ein Ansteigen der HR auch Wohlbefinden ausdrücken, wenn z. B. der Anstieg der HR durch das Herumtollen auf der Weide erfolgt. Dem zu Folge ist ein Absinken der HR bei einer energiebedingten AMS-Abweisung, die maximal vier Stunden dauert, nicht pauschal mit Stress oder nicht Stress zu werten, auch wenn bei einem Absinken der HR im Allgemeinen von einer sinkenden Stressbelastung ausgegangen werden kann. Hierzu müssen die nachfolgenden Parameter der Stressindikation ebenso mit einbezogen und berücksichtigt werden.

#### **6.1.4.2 Wiederkauaktivität**

Das Wiederkauen ist ein bedeutsamer Indikator bei der Beurteilung des allgemeinen Wohlbefindens und des Gesundheitszustands von Milchkühen (SCHEUNERT 1927). Dies bestätigen auch KASKE (2005), NYDEGGER ET AL. (2011) und ebenso SCHIRMANN ET AL. (2012). Daher wird auch das Wiederkauen als Parameter zur Beurteilung von möglichen Stressreaktionen bei einem energiebedingten Ausfall eines AMS herangezogen. Für die Aufzeichnung der Wiederkauaktivität in dieser Studie werden die automatischen Aktivitäts- und Wiederkausensoren Lely Qwes-HR collars von Lely Industries N. V. verwendet. Dieses von SCR Israel entwickelte System wird außer von Lely auch von den Firmen Milkline und Delaval seit einigen Jahren eingesetzt. Daher kann die hier genutzte Messmethode als verlässlich angesehen werden. Eine elektronische Messung der Wiederkauaktivität zur Verhaltenskontrolle bei Milchkühen kann analog SCHIRMANN ET AL. (2012) als valide angesehen werden.

Die Auswertung der durchschnittlichen Anzahl an Wiederkauminuten beträgt in der Basalmessung 354 Minuten und im Falle des simulierten AMS-Energieausfalls 383 Minuten. Somit verlängert sich die Wiederkauzeit in der Stresssituation um 29 Minuten. Dieses Ergebnis steht nicht im Einklang mit der Erwartung, dass in einer Stresssituation die Wiederkauaktivität abnimmt. In den bisherigen Studien von WELCH (1982), HANSEN ET AL. (2003) und YEISER ET AL.

(2012) wird ein Absinken des Wiederkauens bei Krankheiten und Unwohlsein festgestellt. Darüber hinaus hat auch die hormonelle Konstitution Einfluss auf das Wiederkauen. In der Hochphase der Brunst, sowie am Tag vor und am Besamungstag selbst, nehmen Kühe auf Grund von Unruhe deutlich weniger Futter auf (HALLI ET AL. 2014) und kauen daher analog STUMPF ET AL. (2016) weniger wieder. Auch die Studien von HERSKIN ET AL. (2004) und BRISTOW UND HOLMES (2007) verzeichnen einen Rückgang des Wiederkauens. Dies geschieht vor allem bei Aufregung, Stress oder Angst. Bei vermehrtem Stress ist laut SCHRADER UND MAYER (2009) sogar mit einem erheblichen Absinken der Wiederkauaktivität zu rechnen. Dem zu Folge stellt ein bis zu vier stündiger AMS-Ausfall keine Stresssituation für die Kühe dar. Allerdings gibt es auch kontroverse Studien, in denen Krankheiten nicht zu einem Absinken der Wiederkaurate führen. THORUP ET AL. (2016) stellen fest, dass Lahmheiten weder einen Einfluss auf das tägliche Wiederkauverhalten noch auf die Frischfutteraufnahme haben.

Diese Studie untersucht vorrangig, ob ein energiebedingter AMS-Ausfall von maximal vier Stunden eine negative Beeinflussung des Tierwohls darstellt. Dem zu Folge wird hier nicht das Wiederkauverhalten im Allgemeinen oder im Besonderen auf circadiane Rhythmik oder Milchleistung betrachtet, sondern lediglich die Veränderung der Wiederkauaktivität. Die gemessenen Werte von 354 Minuten bzw. 383 Minuten stimmen mit den Werten aus der Literatur überein. BRAUN ET AL. (2015) messen mittlere, tägliche Wiederkauzeiten von  $368 \pm 54$  Minuten, ähnlich wie STONE ET AL. (2017) mit  $384 \pm 6$  Minuten pro Tag. BRAUN ET AL. (2013) beobachten ebenso eine durchschnittliche Wiederkauzeit von 388 Minuten. Dagegen zeigen andere Studien deutlich längere Wiederkauzeiten auf. HART ET AL. (2014) messen 432 bis 546 Minuten pro Tag, KING ET AL. (2016) zeichnen 534 Minuten pro Tag auf und MIEDEMA UND DEVRIES (2016) ermitteln  $506 \pm 85$  Minuten pro Tag. Eine noch weitere Bandbreite an Wiederkauzeit beobachten JOHNS ET AL. (2015) mit 500 bis 980 Minuten pro Tag. Diese Wiederkauzeiten sind u. a. sehr stark abhängig von den Haltungsbedingungen und der Rasse.

Festzuhalten bleibt, dass die Wiederkaudauer mit bisherigen Studien übereinstimmt. Das Phänomen des Ansteigens der Wiederkauzeit kann eventuell dadurch erklärt werden, dass die Kühe durch die wiederholten AMS-Abweisungen ab einem bestimmten Zeitpunkt frustriert sind. Dies bestätigen auch die Betriebsleiter. Die Kühe legen sich in die Liegeboxen und gehen nicht mehr freiwillig zum AMS. Die Tiere bleiben liegen, bis sie von den Betriebsleitern aufgetrieben werden. In dieser Zeit des Liegens kauen sie wieder und es kommt zu einem durchschnittlichen Anstieg der Wiederkauzeit von 29 Minuten.

Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass sich diese Untersuchung ausschließlich auf einen maximal vier Stunden lang andauernden Energieausfall beim AMS bezieht und nur zwölf Kühe aus der Herde unmittelbar betroffen sind. Würde dagegen das AMS für die gesamte Herde

ausfallen, wären die Auswirkungen möglicherweise gravierender und die Ergebnisse andersartig. Eine Empfehlung für weitere Forschungsvorhaben ist daher, eine ähnliche Studie nicht auf Praxisbetrieben durchzuführen, sondern in einer Forschungseinrichtung, um einen Energieausfall für eine gesamte Herde simulieren zu können.

#### 6.1.4.3 Milchmenge

Auch der Parameter Milchmenge wird für diese Studie über Stressreaktionen, ausgelöst durch einen bis zu vier Stunden dauernden simulierten Stromausfall an einem AMS, verwendet. Dieser Parameter soll repräsentativ für derzeitige AMS-Betriebe gültig sein. Aus diesem Grund wird die herkömmliche Software von Lely ohne jegliche Veränderungen zur Milchmengen-Aufzeichnung genutzt. Da an der Aufzeichnungsart nichts verändert wird, kann davon ausgegangen werden, dass diese Methodik auch bei anderen Herstellern möglich ist und die Studie damit Gültigkeit für die meisten AMS-Betriebe besitzt.

Die Software erlaubt es, die für diesen Versuch nötigen Blockzeiten für einzelne Tiere zu setzen. Durch die Blockzeiten können die Stromausfälle simuliert werden. Diese Methode ist hervorragend geeignet, um Verhaltensveränderungen zu beobachten, denn durch die Blockzeiten wirkt sich der Stromausfall vorrangig auf die Fokustiere aus. Aber in einem bestimmten Maß sind auch alle anderen Tiere der Herde durch die Irritationen der Fokuskühe betroffen.

In dieser Arbeit kann nicht auf alle Aspekte der Milchleistung eingegangen werden. Die Milchezusammensetzung, ihre tageszeitabhängige Variation, die Auswirkungen von Melkintervallen und Melkfrequenzen bzw. Lahmheiten mit zu betrachten, würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit überschreiten. Eine derartige Betrachtung ist u. a. bei SPERONI ET AL. (2003) und SPERONI ET AL. (2006) zu finden.

Die durchschnittliche Milchmenge beträgt in der Basalmessung 31,2 Liter. In der Testmessung ist die Milchmenge um 3,6 Liter reduziert und beträgt nur noch 27,6 Liter. Die Auswertung zeigt das erwartete Ergebnis: Durch das stressauslösende Ereignis *Stromausfall beim AMS* geht die Milchmenge zurück. Der Rückgang beträgt 8,6 Prozent. Damit ergänzt die vorliegende Studie die bestehende Literatur von WEISS ET AL. (2004). Sie stellen in einer Stresssituation eine Milchleistungs-Reduktion von 15 Prozent fest. Das Setzen der Blockzeiten unterbricht das gleichmäßige Melkintervall von meist dreimal alle acht Stunden. Die Kühe verlieren ihren Melkrhythmus. Das führt offensichtlich zu Irritationen, so dass es für sie zu einer Stresssituation kommt und in Folge dessen die Milchproduktion gedrosselt wird. Das Wohlbefinden der Selbstbestimmung der eigenen Melkung (KONING UND OUWELTJES 2001) wird gestört. Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung bestätigen auch die Studien von BACH UND BUSTO (2005) sowie HÖMBERG (2014). Hierbei wird ein Rückgang der Milchleistung um bis zu vier

Prozent festgestellt. Dies führt HÖMBERG (2014) auf ungleichmäßige Zeitintervalle bei den Melkungen zurück. BACH UND BUSTO (2005) weisen nach, dass Kühe, die in unregelmäßigen Abständen das AMS besuchen, weniger Milch geben als Kühe, die in konstanten Melkintervallen das AMS aufsuchen können. Ebenso berichten HOGEVEEN ET AL. (2001), dass kürzere Melkintervalle einen größeren Effekt auf die Erhöhung der stündlichen Milchproduktion bei Kühen mit höherer Milchleistung haben, als bei Kühen mit niedrigerer Milchleistung. Diese Erkenntnis unterstreicht im Umkehrschluss die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. Die Untersuchungen von TUCKER ET AL. (2009a) scheinen dies auf den ersten Blick zwar zu widerlegen. Sie beobachten, dass der Ausfall einzelner Melkungen nur geringfügig zu Unwohlsein führt, aber die Studie bezieht sich auf das Trockenstellen. Somit werden hier Tiere am Ende der Laktation betrachtet, wenn der Euterdruck schon deutlich abgenommen hat. Die Toleranz gegenüber ausgefallenen Melkungen ist in diesem Fall deutlich größer.

Schwankungen in der Milchleistung sind aber nicht nur auf Stresssituationen zurück zu führen. So geht die Milchmenge generell nach Überschreiten des Laktations-Maximums um 0,3 Prozent und bei Färsen um 0,2 Prozent pro Tag zurück (KAMPF 2016). Das Optimum an Milchleistung wird in der Regel erst in der dritten bis vierten Laktation erreicht (BRUCKMAIER UND KRÖMKER 2007; VIJAYAKUMAR ET AL. 2017). Schwankungen in der Milchleistung entstehen auch durch die Brunst (VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSBERATER IN BAYERN 2007). In dieser Phase sinkt die Milchleistung zuerst um 4,1 Prozent und steigt dann wieder um 7,3 Prozent an. Ursächlich hierfür ist wahrscheinlich das Fressverhalten (HALLI ET AL. 2014). Einen Einfluss auf die Milchleistung hat nicht nur das Laktationsstadium sondern auch das Alter der Kühe. Dies bestätigen sowohl KUČEVIĆ (2009) als auch MIEDEMA UND DEVRIES (2016). BERRY UND MCCARTHY (2012) und MIEDEMA UND DEVRIES (2016) sehen auch einen Zusammenhang zwischen Milchleistung und sozialem Rang. KUČEVIĆ (2009) dagegen verneint dies. Da der soziale Rang in dieser Studie nicht mitbetrachtet worden ist, wäre es wünschenswert diesen in einer Folgeuntersuchung mit zu integrieren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der simulierte Energieausfall des AMS zu einer Reduktion der Milchmenge führt. Ob dies aber auf den Umstand des stressauslösenden Ereignisses selbst oder aus der Folge, der Störung der Tagesrhythmik entsteht, kann durch diese Untersuchung nicht vollständig geklärt werden. Die Empfehlung für die weitere Forschung ist daher, eine ähnliche Studie durchzuführen, um zu bestimmen, was der tatsächliche Auslöser ist. Eine derartige Studie wäre auch vor dem Hintergrund interessant, in wieweit sich ein tatsächlicher Stromausfall auf die gesamte Herde auswirkt. In der vorliegenden Arbeit sind von dem simulierten Stromausfall lediglich zwölf Fokuskühe direkt betroffen.

#### 6.1.4.4 Cortisol-Metaboliten

Einen weiteren Parameter der Stressbeurteilung, im Falle eines energiebedingten AMS-Ausfalls, stellen Cortisol-Metaboliten dar. In dieser Arbeit werden, wie in anderen Untersuchungen z. B. bei BERTULAT ET AL. (2013) auch, GC-Metaboliten im Kuhkot zur Auswertung als indirekte Stressparameter herangezogen (PALME UND MÖSTL 1997; PALME ET AL. 1999; MÖSTL UND PALME 2002). Für die vorliegende Arbeit werden FCM betrachtet, um eine allgemeingültige Aussage über derartige Belastungssituationen treffen zu können. Diese Untersuchung schließt somit an eine Reihe bereits durchgeführter Studien an (LADEWIG 1994; PALME ET AL. 1999; SCHATZ UND PALME 2001; GONZALEZ ET AL. 2009). Durch die nicht-invasive Probenentnahme unterliegen die Cortisol-Werte keinem zusätzlichen Stressfaktor (PALME UND MÖSTL 2001; ARIAS ET AL. 2013). Allerdings unterscheiden sich die Ergebnisse der einzelnen Studien erheblich. Dennoch gilt die FCM-Analyse, detailliert beschrieben in MÖSTL ET AL. (2005), PALME (2005), TOUMA UND PALME (2005) und als Übersicht in PALME (2012), als eine valide Methodik, um Belastungen nachweisen zu können. Dies wird ebenso von LEXER ET AL. (2005) bestätigt. Aus Praktikabilitätsgründen kann in dieser Arbeit nicht auf den Zusammenhang zwischen der Cortisol-Metaboliten-Ausschüttung und der circadianen Rhythmik eingegangen werden. Hierzu wird exemplarisch auf die Arbeiten von THUN (1987), MÖSTL UND PALME (2002) und MÖSTL (2014) verwiesen. Es wird auch nicht näher auf die Beziehung zwischen FCM, Milchleistung und sozialem Rang eingegangen. Zu dieser Thematik geben u. a. SARTIN ET AL. (1988) und BERTULAT ET AL. (2013) sowie MÜLLEDER ET AL. (2003) und SCHRADER UND MAYER (2004) nähere Hinweise.

Die Entnahme von Kotproben stellt eine nicht-invasive Methode zur Stressevaluierung dar. Dies wird bereits von MÖSTL UND PALME (2002) und SHERIFF ET AL. (2011) bestätigt. Allerdings weist SHERIFF ET AL. (2011) darauf hin, dass FCM nicht so viele physiologische Hinweise auf Stress liefern können wie z. B. Cortisol-Werte aus Blutproben. Dennoch wird bei diesen Untersuchungen bewusst darauf verzichtet. Für die eigentlichen Probenahme werden die Fokuskühe entweder mit einem Strick in einer Liegebox eingeschlossen (Betrieb B1) oder im Fressgitter eingesperrt (Betriebe B2 bis B4). Lediglich im Betrieb B2 werden die Tiere von dem Betriebsleiter selbst im Fressgitter gefangen. Dieser Umstand kann die Testergebnisse unter Umständen verzerren. Da diese Tätigkeit aber sowohl während der Basalmessung als auch der Testmessung immer gleich ausgeführt wird, spiegelt sich dieser Umstand nicht in den Ergebnissen wieder bzw. wird eliminiert. Zur Auswertung werden jeweils zwei Proben mit einem Abstand von ca. einer Stunde pro Fokuskuh gezogen. Dies stellt sich als gute Möglichkeit dar, um einen zeitlich breiten Bereich zu analysieren, denn die FCM werden, mit einer zeitlichen Verzögerung von ca. zehn bis zwölf Stunden, auf das eigentliche Stressereignis hin (Ausfall

AMS) ausgeschieden (PALME ET AL. 1999; PALME UND MÖSTL 2001). Daher wird der Cortisolspiegel zu diesen Zeitpunkten gemessen, um einen direkten Rückschluss auf eine mögliche Stressbelastung durch den simulierten Energieausfall am AMS ziehen zu können. Ein weiterer Vorteil der FCM-Bestimmung gegenüber z. B. Messungen von Speichel- oder Blutproben liegt in der Glättung möglicher episodischer Schwankungen (PALME UND MÖSTL 2001). Durch die Ergebnisse dieser Arbeit wird belegt, dass zwei Proben ausreichend sind. Zwischen der Basalmessung mit 13,6 Nanogramm pro Gramm und der Stresssituation mit 13,1 Nanogramm pro Gramm ist kein Anstieg, sondern ein Absinken der FCM-Konzentration zu verzeichnen. GC-Konzentrationen können sich allerdings durch belastende Ereignisse innerhalb kürzester Zeit verändern. Hätte ein maximal vier Stunden andauernder AMS-Ausfall einen Stressor dargestellt, so wären mehr Proben besser geeignet, um auch kleinere FCM-Spitzen darstellen zu können (MÖSTL UND PALME 2002; MÖSTL 2014). Dies ist für zukünftige Studien zu berücksichtigen.

Nach PALME (2012) sollen Kotproben möglichst frisch genommen werden und innerhalb von 30 Minuten tiefgefroren bzw. gekühlt transportiert werden, um einen möglichen Stoffwechsel bakterieller Enzyme zu verlangsamen (PALME 2005). Bereits eine Lagerung bei Raumtemperatur kann zu Konzentrationsveränderungen führen (MÖSTL ET AL. 2002). In diesen Versuchen werden die Proben direkt rektal, frisch, entnommen. Die Transportzeiten in einer mit Kühl-Akkus gefüllten Styropor-Box sind aber deutlich länger als 30 Minuten. Die Transportdauer von den Betrieben bis zum Lehrstuhl, dem Ort des Einfrierens, beträgt ca. eine Stunde und die genaue Temperatur während der Kühlkette bis zur TK-Aufbewahrung wird nicht dokumentiert. Somit kann dies einen negativen Einfluss auf die erhaltenen Ergebnisse haben. Das kann die unterschiedlichen FCM-Werte zur Literatur erklären, die deutlich höher liegen. BERTULAT ET AL. (2013) ermitteln FCM-Basalwerte der 11,17-DOA-Konzentrationen von 30,0 bis 184,9 Nanogramm pro Gramm. WEISS ET AL. (2004) und WEISS ET AL. (2005) messen  $134 \pm 12$  Nanogramm pro Gramm. Auch WAGNER ET AL. (2012) messen FCM-Werte in diesem Bereich. Ihre Basalwerte liegen bei  $222 \pm 97$  Nanogramm pro Gramm. In all diesen Studien ist in der Stresssituation ein Anstieg der FCM-Werte zu verzeichnen. Laut PALME ET AL. (2000) können diese Werte bis zum Zehnfachen ansteigen. Auch wenn die in dieser Arbeit gewonnenen FCM-Werte im Vergleich zur Literatur deutlich niedriger sind, ist aber das Verhältnis zwischen Basal- und Testmessung klar zu erkennen. Es kommt während der Testsituation zu keinem FCM-Anstieg. Dem zu Folge handelt es sich bei einem bis zu vierstündig andauernden AMS-Ausfall nicht um ein Stressereignis. Um eine derartige Beeinflussung bei einem Folgeversuch auszuschließen, sollen die Proben möglichst direkt nach Entnahme tiefgefroren werden (MÖSTL ET AL. 1999) oder mit Alkohol behandelt werden, um den bakteriellen Stoffwechsel zu behindern

(PALME ET AL. 2013). Zumindest ist die Temperatur während des Transports aufzuzeichnen, um Rückschlüsse ziehen zu können.

Die Aufbewahrung der Proben bis zur Extraktion erfolgt analog MÖSTL ET AL. (2002) und TALLO-PARRA ET AL. (2015) bei mindestens minus 20 Grad Celsius und ist daher als unkritisch zu betrachten.

Für die Extraktion werden die Kotproben für ca. 30 Minuten bei Raumtemperatur angetaut. Dies führt laut MÖSTL ET AL. (2005) allerdings zu einem vermehrten Abbau von Steroiden. Ein schnelles Abtauen der Proben, z. B. durch Erhitzen bei 95 Grad Celsius oder durch Säuren Behandlung, erzielt genauere FCM-Werte. Dies ist womöglich auch ein Grund für die deutlich niedrigeren FCM-Werte aus dieser Untersuchung und sollte bei weiteren Forschungsarbeiten berücksichtigt werden. Dennoch ändert dies aber nichts an dem Ergebnis, dass der Ausfall des AMS unter den gegebenen Bedingungen keinen Stressauslöser darstellt.

Bei der Verarbeitung der aufgetauten Proben wird darauf geachtet, dass nicht nur oberflächliches Probenmaterial entnommen wird. Die Proben sind weitest gehend homogen, wie es von MÖSTL (2014) gefordert wird. Die Steroid-Extraktion erfolgt nach der Empfehlung von PALME ET AL. (2013) analog dem Verfahren von PALME UND MÖSTL (1997) und MÖSTL (2014). Die Validität der Laboranalyse bestätigen die durchgeführten Kontrollproben (KRAFT 2005; BRUHN 2008). Diese sind unauffällig. Alle Proben werden mit dem gleichen Extraktionsverfahren behandelt, um analog PALME ET AL. (2013) vergleichbare Daten zu erzeugen. Die tiefgekühlten, aufbereiteten Proben werden zur Analyse ins Labor nach Wien transportiert. Bei Übergabe haben die Proben eine Temperatur von minus acht Grad Celsius. Somit kann der Transport mit ausreichend TK-Akkus als geeignet angesehen werden. Die Konzentrationen der 11,17-DOA werden gemäß PALME ET AL. (2013) analysiert und mit einem 11-oxoätiocolanone Enzym-Immunoassay nach PALME UND MÖSTL (1997) und PALME ET AL. (1999) validiert. Die für die Analyse verwendenden Immunoassays sind entscheidend für eine spätere Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Laboren (MÖSTL 2014) und daher immer anzugeben.

Die Auswertung der FCM ergibt für alle Betriebe einen Mittelwert von  $13,6 \pm 4,9$  Nanogramm pro Gramm in der Basalmessung und  $13,1 \pm 5,9$  Nanogramm pro Gramm in der Testmessung. Dies erlaubt den Schluss, dass der Energieausfall des AMS für die Kühe keine Stresssituation darstellt. Werden aber die Betriebe einzeln betrachtet, so ergibt sich der höchste FCM-Wert im Betrieb B4. Allerdings können hierfür keine eindeutigen Gründe ausgemacht werden. Eine mögliche Ursache kann im unterschiedlichen Herdenmanagement liegen oder auch in der Temperatur. Die Untersuchungen werden hier bei den höchsten Außentemperaturen durchgeführt. Dies und zusätzlich der Umstand, dass es zu vermehrten Gewittern kommt, kann eine

Erklärung für die höheren FCM-Werte sein. Dies wird durch MOUNIER ET AL. (2006) bestätigt. Sie zeigen, dass sich hohe Temperaturen an warmen Tagen negativ auf die Cortisol-Werte auswirken. Bei den Betrieben B1, B2 und B4 sind die mittleren FCM-Werte in der Basalmessung größer als in der Testmessung, bei Betrieb B3 dagegen ist der mittlere FCM-Wert in der Testmessung am höchsten. Dies impliziert, dass die Kühe der Betriebe den Energieausfall nicht als Stress empfinden. Eine Ausnahme hiervon stellt Betrieb B3 dar. Die Kühe dieses Betriebes zeigen Stressanzeichen in Form von einer höheren FCM-Ausschüttung. Auch hier kann der Grund im Herdenmanagement liegen, denn auch MOUNIER ET AL. (2006) verbinden einen positiven Umgang mit den Tieren mit niedrigeren Cortisol-Werten.

Es besteht keine signifikante Korrelation zwischen den gemessenen FCM-Werten und der Differenz zwischen der vom AMS prognostizierten und der später tatsächlich ermolkenen Milchmenge. Diese Differenz soll den tatsächlichen Einfluss des AMS-Ausfalls, wenn vorhanden, sichtbar machen. Es zeigt sich allerdings keine lineare Abhängigkeit. Demzufolge führt ein Stromausfall von lediglich zwei bis vier Stunden Dauer zu keinem über FCM nachweisbaren Stress bei Milchkühen.

Die FCM-Auswertungen dieser Arbeit zeigen, dass Kühe sehr individuell Cortisol freisetzen. Diese Erkenntnis geht mit der Forschung von GRAHAM UND BROWN (1996) konform, die dies bei Katzen feststellen. Auch PALME ET AL. (2000) und MORROW ET AL. (2002) gehen von einem individuellen Cortisolspiegel aus, was von IMMERZ (2006) bestätigt wird. Um diese individuelle Variabilität der FCM-Konzentrationen nachzuweisen, bedarf es noch weiterer Forschung. Daher bietet es sich an, vor weiteren Untersuchungen analog SCHRADER (2001), den individuellen Cortisolspiegel der Tiere zu bestimmen. Die Kühe können so in Gruppen gemäß ihrer individuellen Stressanfälligkeit eingeteilt werden. Dies bestätigen auch PALME ET AL. (1999), die hierfür Langzeituntersuchungen als sinnvoll erachten, um jedes Tier mit seinem eigenen FCM-Werten vergleichen zu können. Interessant sind auch die rassetypischen Werte, die in nachfolgenden Untersuchungen erhoben werden können. Allerdings stellt sich hierbei die Frage, inwieweit das in der Praxis einen Nutzen bringt. Ein guter Betriebsleiter kennt in der Regel seine Tiere sehr genau und kann selbst am besten nervöse Kühe von stresstoleranteren unterscheiden. Kommt es dann tatsächlich zu einem realen Stromausfall, so trifft es alle Tiere gleich. Egal ob sehr stressanfällig oder weniger nervös.

WEISS ET AL. (2004) stellen fest, dass Kühe, die mehr Cortisol in einer Stresssituation freisetzen, eine niedrigere HR haben, aber dennoch einen fast normalen Milchertrag erbringen. Es ist schwierig die Ergebnisse dieser Studie auf die vorliegende Arbeit zu projizieren, da die Ergebnisse mehr kuhindividuell als herdenmäßig zu betrachten sind. Den Ergebnissen der

durchschnittlichen FCM-Werte nach, handelt es sich bei einem AMS-Ausfall bis zu vier Stunden, nicht um ein Stressereignis. Dies wird auch durch die HR-Auswertung bekräftigt. Dagegen spricht aber der Rückgang in der Milchmenge. Hinzu kommt noch, dass der Stromausfall lediglich für Einzeltiere simuliert wird. Die Herdendynamik kommt somit nicht zum Tragen. Es ist anzunehmen, dass der Charakter, die Rasse, das Alter, bisher gemachte Erfahrungen, das Herdenmanagement und viele weitere Parameter Einfluss auf die Stressanfälligkeit eines jeden Individuums haben. Eine pauschale Antwort mit *Stress ja/nein* kann daher in der gegebenen Situation bisher nicht getroffen werden.

#### **6.1.4.5 Ethologische Auswertung**

Die Verhaltensanalyse mittels 24-stündiger, kontinuierlicher Videoaufzeichnung ist ein weiterer Parameter, der bei dieser Arbeit zur Beurteilung der Stressbelastung im Falle eines AMS-Ausfalls herangezogen wird. Diese Methodik gilt als wissenschaftlich anerkannt und ist Grundlage vieler ethologischer Studien. Für die vorliegende Arbeit werden mehrere Mobotix D14 Videokameras mit Infrarotscheinwerfern für die Verhaltensaufnahmen verwendet. Der Vorteil dieser Methode besteht in einer akkuraten Zeitnahme. Alle Messinstrumente werden vor dem jeweiligen Versuchsbeginn und während des Versuchs mit der Atomuhr abgeglichen. Auch die Möglichkeit eine Situation mehrmals oder im Zeitraffer zu beurteilen, hat die weitere Analyse sehr erleichtert. Darüber hinaus garantiert diese Methode keinerlei Beeinträchtigung der Tiere. Dies stellt einen bedeutsamen Vorteil gegenüber der Direktbeobachtung dar. Allerdings hat diese Methode auch einen arbeitstechnischen Nachteil: Bei jedem Stallwechsel sind u. a. die Kameras und Infrarotscheinwerfer zu reinigen, so dass es zu keiner Keimverschleppung kommen kann. Für die vorliegende Arbeit werden die Kameras und Infrarotscheinwerfer jeweils im Bereich des AMS und des Futtertisches angebracht. Die Auswertung und Analyse der Videoaufzeichnungen des Futtertisches ist allerdings nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchung. Als problematisch bei der Auswertung der Daten erweisen sich die jeweiligen Kamerapositionen. Die Kamera im Betrieb B1 ist in geringer Nähe zum AMS angebracht. Das hat den Vorteil, dass die Kühe beim AMS sehr gut zu erkennen sind, der Wartebereich davor aber schlecht einzusehen ist. Umgekehrt verhält es sich im Betrieb B2. Hier ist die AMS-Kamera in größerer Entfernung angebracht. Dem zu Folge ist der Wartebereich vor dem AMS sehr gut dargestellt, die Handlungen, die direkt im oder am AMS stattfinden, sind schwer zu erkennen. Die Empfehlung für weitere Videoaufzeichnungen ist daher mindestens zwei Kameras für den zu beobachtenden Ort anzubringen. Eine Kamera für die Detailansicht und eine für die Übersichtsdarstellung.

Problematisch erweist sich bei der Datenauswertung auch die Identifizierung der einzelnen Fokuskühe. Hierauf wird bereits in Kapitel 6.1.3.3 eingegangen und daher hier nicht weiter

erläutert. Die Auslese- und Messtechnik wird je nach Platzverhältnissen entweder im Büro des jeweiligen Betriebsleiters oder direkt über dem Laufstall platziert. Besonders die Positionierung über dem Stall ist sehr gut geeignet, um zu den Videoaufnahmen noch einen zusätzlichen persönlichen Eindruck zu erhalten. Bei der Auswahl von zukünftigen Versuchsbetrieben sind derartige Orte zu bevorzugen. Die Bearbeitung der sozialen Interaktionen auf dem aufgezeichneten Videomaterial analog MARTIN UND BATESON (2007) und ROUHA-MÜLLEDER ET AL. (2010) mit der Software MxControlCenter ist unkritisch. Eine Einteilung des Videomaterials in vier Stunden Blöcke und die anschließende Auswertung mit Interact9 erweisen sich als sehr praktikabel. Grundlage hierfür ist die in Kapitel 4.1.4.5 aufgeführte Tab. 6 mit den in acht Kategorien unterteilten 18 betrachteten Verhaltensparametern nach MISTHILGER (2015). In Kapitel 4.1.1 werden bereits die ungleichen Blockzeiten beschrieben. Für die Auswertung wird daher die kürzeste Blockzeit als Beobachtungsbasis gewählt. Dieser Umstand legt nahe, dass es bei einer längeren, gemeinsamen Beobachtungsbasis zu weiteren Häufigkeiten kommt. Dies ist auch eine mögliche Erklärungsursache für das Ergebnis der Teststatistik.

Diese Arbeit beinhaltet nicht in erster Linie die Rangbeziehungen. Auf die Berechnung eines DV nach SAMBRAUS (1975) wird daher bewusst verzichtet. Der Rang beeinflusst zwar die Normalsituation, aber genauso auch die Stresssituation und wird daher als Status quo angesehen.

Die Zunahme der Auffälligkeiten in allen Verhaltenskategorien reflektiert die Annahme, dass ein energiebedingter Ausfall eines AMS das Verhalten der Kühe beeinflusst. Dies wird auch dadurch bekräftigt, dass das *soziale Lecken* und das *soziale Belecken* die einzigen zwei Verhaltensparameter sind, die einen Rückgang verzeichnen. Der größte Anstieg, um das 8,5-fache von der Basal- zur Testmessung, ist bei der Kategorie *Verhaltensstörungen* zu beobachten. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis liefert BROOM (1996). Er sieht in der Verhaltensstörung eine Art Überforderung des Tieres durch die Umwelt. Demnach stellt die ungewohnte Situation des nicht funktionstüchtigen AMS eine Überforderung dar. Die Fokuskuh versucht in den Roboter zu gelangen, um dort ihr Kraftfutter und die Melkung zu erhalten. Durch das Setzen der Blockzeiten kommt sie jedoch nicht zum Erfolg. Die Situation ist für sie unbegreiflich, da die anderen Kühe doch offensichtlich erfolgreich sind. Um die Frustration abzubauen, widmet sie sich vermehrt dem Zungenspiel. Das Zungenspiel sieht auch STÖBER (2006) als eine Verhaltensstörung an. Die Zunahme an Stereotypenwerten MORGAN UND TROMBORG (2007) sogar als einen Indikator für das jeweilige individuelle Stresslevel der Kuh. Dagegen sieht WINCKLER (2009) die Ursache des Zungenspiels weniger im Stress bzw. der Frustration, sondern eher in einer fehlenden Futterstruktur, zu hohen Kraftfutterdosierungen, zu kurzen Futteraufnahmezeiten oder in mangelnder Bewegung. Zeigen Kühe eine zu große Anzahl an Ethopathien, so kann dies das Wohlbefinden und die Gesundheit nicht nur des

Einzeltieres, sondern auch die der gesamten Herde beeinflussen. Die Folgen sind leistungsmindernd für die gesamte Herde (ANDRES-EICH ET AL. 2007).

Der zweitgrößte Anstieg innerhalb aller Verhaltenskategorien ist mit dem 3,68-fachen in der Kategorie *Wiederkauen* zu verzeichnen. KASKE (2005) und NYDEGGER ET AL. (2011) sehen im Wiederkauen einen bedeutsamen Parameter zur Beurteilung der Gesundheit und des allgemeinen Wohlbefindens von Milchkühen, da dieses natürliche Verhalten ein Minimum an Kuhkomfort erfordert. Die hier vorliegende Beobachtung einer ansteigenden Häufigkeit im Wiederkauverhalten entspricht nicht der Erwartung, dass der AMS-Ausfall Stress auslöst. Bei steigendem Stress, wird ein Rückgang des Wiederkauens vermutet. Andererseits ermitteln NORRING ET AL. (2012) und MIEDEMA UND DEVRIES (2016), dass Kühe mit einer höheren Milchleistung mehr Zeit im Stehen wiederkauen. Dies ist aber individuell nochmals verschieden. So ist es hier durchaus möglich, dass die Kühe ihre Wartezeit vor dem AMS mit Wiederkauen nutzen oder in der Testsituation mehr Futter zu sich nehmen. Eine höhere Futteraufnahme steht tendenziell für längeres Wiederkauen, was von STUMPF ET AL. (2016) und STONE ET AL. (2017) belegt wird. Weitere negative Einflüsse auf das Wiederkauverhalten haben auch Krankheiten (WELCH 1982; HANSEN ET AL. 2003; YEISER ET AL. 2012) und die Brunst, die mit einer deutlichen Unruhe einhergeht (HALLI ET AL. 2014). Allerdings kann THORUP ET AL. (2016) keinen negativen Einfluss von Lahmheiten auf das Wiederkauverhalten feststellen. HERSKIN ET AL. (2004) dagegen verzeichnen einen Rückgang der Wiederkauaktivität bei Aufregung und Stress. Auch BRISTOW UND HOLMES (2007) sowie SCHRADER UND MAYER (2009) kommen zu demselben Ergebnis. Da in der vorliegenden Arbeit der AMS-Ausfall mit einem Stressereignis gleichgesetzt wird, ist aus dem Anstieg der Häufigkeiten des Wiederkauens nicht auf eine Stresssituation zu schließen.

Das *Körperpflegeverhalten* weist die drittgrößte Zunahme an Häufigkeiten auf. Hier ist ein Anstieg um das 2,41-fache von Basal- zu Testmessung zu beobachten. Interessant ist hier die Aufgliederung nach Betrieben. In B4 kommt es zu den meisten Beobachtungen, in Betrieb B1 zu den wenigsten. Da das Selbst-Pflegeverhalten (BOISSY UND LE NEINDRE 1997; BOLINGER ET AL. 1997) als ein Zeichen des guten Wohlbefindens gilt, widerlegt die Zunahme der Häufigkeiten auch hier die These, dass der AMS-Ausfall stressauslösend ist. Dagegen stimmt die gestiegene Anzahl der Beobachtung dieses Parameters mit der Abnahme der HR (Kapitel 5.1.1) und dem Anstieg des Parameters *Wiederkauen* und der Wiederkautätigkeit an sich (Kapitel 5.1.2) mit der Literatur überein. SCHRADER UND MAYER (2009) registrieren beim *sozialen Lecken* ebenso einen Anstieg in der Futteraufnahme, was ein gesteigertes Wiederkauen zur Folge hat, als auch ein Absinken der HR. Dies unterstreicht, dass der AMS-Ausfall keinen Stressor darstellt. Allerdings erkennt PHILLIPS (2002) einen Anstieg des *sozialen Beleckens*

hauptsächlich bei intensiveren Umwelteinflüssen. WINCKLER ET AL. (2006) sprechen dem *sozialen Lecken* keine grundsätzlich entspannende Wirkung zu. Problematisch bei der Bewertung dieser Parameter ist, dass diese generell über die ganzen Betriebe kaum vorkommen. Eine Beurteilung erfolgt daher hauptsächlich an den Parametern *Reiben und Kratzen* sowie *Fellpflege mit Zunge*. Das Ansteigen dieser Kategorien ist verantwortlich für den Anstieg der Kategorie *Putz-/Körperpflegeverhalten*. Ein Grund des Ansteigens dieser Kategorie besonders im Betrieb B4 ist die gestiegene Außentemperatur und die dadurch verbundene Zunahme an Insekten. Die Kühe geben sich daher vermehrt der Körperpflege hin.

Die Kategorie des *Ausdrucksverhaltens* verzeichnet einen Anstieg von Basal- zu Testmessung um 130 Prozent. Ein Anstieg in dieser Kategorie ist gleichbedeutend mit gesteigerter Kommunikation. Eine Kuh kommuniziert nach ALBRIGHT ET AL. (1997) mit Hilfe ihrer Körperhaltung. Durch die Stellung von Kopf und Rumpf teilt sie ihrem Umfeld ihre momentane Stimmung mit. Das Ausdrucksverhalten ist tendenziell kein Wohlfühlverhalten. Dies spricht dafür, dass die gestiegenen Häufigkeiten im AMS-Ausfall ein unangenehmes Ereignis für die Kuh darstellen. Dies wird von PASTELL ET AL. (2006) und JACOBS UND SIEGFORD (2012) bestätigt. Sie sehen in dem Parameter *Hin und her tippeln* ein Zeichen von Unwohlsein, Unruhe bzw. Angst. Demnach kann der AMS-Ausfall als ein Stressstimulus angesehen werden. Auch in den Untersuchungen von METZ-STEFANOWSKA ET AL. (1992) zeigen gerade nervöse und ängstliche Kühe das *Hin und her tippeln*. Sie schließen von diesem Verhalten sogar auf den individuellen Charakter einer Kuh. Nach der Auffassung von SCHRADER UND MAYER (2009) kommt es nach einer einmal festgelegten Rangfolge nur noch vereinzelt zu echten aggressiven Handlungen. Das Ausdrucksverhalten reicht aus, um das Ranggefüge zu verdeutlichen. Bei der Auswahl der Tiere wird darauf geachtet, dass es zu keinen neuen Gruppenbildungen während des Versuchs kommt. Das Ergebnis auf Einzelbetriebsebene lässt auch klar Rangstrukturen erkennen. Die geringste Anzahl an absoluten Häufigkeiten im Ausdrucksverhalten ist im Betrieb B1 zu beobachten, sowohl in der Basal- als auch in der Testphase. Dies lässt sich dadurch erklären, dass dies der einzige Betrieb ist, bei dem sowohl hornlose als auch horntragende Rinder in der Herde sind. Die horntragenden Tiere haben innerhalb der Herde eine derart dominante Stellung, dass ihr Rang auch in ungewohnten Situationen nicht angefochten wird. Der Rang spielt gerade bei knappen Ressourcen eine bedeutsame Rolle (SAMBRAUS 1969b). Der Betrieb B2 hat lediglich 70 beobachtete Häufigkeiten. Dies kann daran liegen, dass B2 der einzige Betrieb mit einem Außenbereich ist. Die Tiere haben daher ein größeres Platzangebot und sind in der Lage, in normalen Situationen, die soziale Distanz einzuhalten. Diese beiden Aspekte sind weder im Betrieb B3 noch im Betrieb B4 gegeben. Dem zu Folge tritt das Ausdrucksverhalten hier generell häufiger auf. Allerdings ist ein Anstieg von Basal- zu Testphase

bei allen Betrieben gegeben. Dieser Umstand spricht für die Betrachtung des AMS-Ausfalls als stressauslösendes Ereignis.

Auch die Verhaltenskategorie *Lokomotion* steigt mit 127 Prozent ähnlich hoch an wie das *Ausdrucksverhalten*. Als Beispiel für die *Lokomotion* wird hier der Parameter *Eintritt in das AMS* nach Betrieben näher erläutert. Hier steigt bei allen Betrieben die Anzahl der AMS-Besuche in der Testphase an, wobei die größte Zunahme der AMS-Besuche im Betrieb B3 mit 205,5 Prozent zu verzeichnen ist. Im Betrieb B4 dagegen liegt der Anstieg bei 134,5 Prozent. Den geringsten Anstieg haben Betrieb B1 mit 106,6 Prozent und B2 mit 64,1 Prozent. Nach GALON (2010) gibt die *Lokomotion* zusammen mit anderen ermittelten Parametern Auskunft über den Gesundheitszustand und das Wohlbefinden eines Tieres. Der Anstieg dieses Parameters in allen Betrieben liegt darin begründet, dass die Kühe durch die Blockzeiten häufigere Fehlbesuche beim AMS haben. Die Fokuskuh verspürt den Drang nach Krafffutter bzw. einer Melkung und sucht daher das AMS auf. Durch den simulierten Stromausfall muss sie diesen Versuch jedoch so lange wiederholen, bis die Blockzeit abgelaufen ist. Es kommt daher zu erhöhter Aktivität bzw. zu vermehrten AMS-Besuchen. Die anderen Parameter beschreiben ein ähnliches Verhalten. In allen Fällen, kommt es zu erhöhter Aktivität, da die Fokuskuh eine Abweisung im Falle einer erfolgreichen Blockzeitsetzung erhält. Im Fall eines echten Stromausfalls ist das Verhalten erneut zu analysieren, da die Kühe in dieser Situation erst gar nicht in die Box des AMS gelangen. Das AMS ist dann gesperrt. Hier bietet sich die Möglichkeit für weitere Forschung, um einen realen Stromausfall mit seinen Auswirkungen auf das Tier zu untersuchen. Die höhere Aktivität um das geblockte AMS wird auch von MELIN ET AL. (2006) bestätigt. Auch sie beobachten, wie in der vorliegenden Studie, dass sich Kühe, meist von sozial niedrigerem Rang, in der Nähe des AMS aufhalten, um ein sich auftuendes Zeitfenster, d. h. die Nicht-Belegung des AMS, zu nutzen und so zu einer erfolgreichen Melkung zu kommen. Dies belegen auch KETELAAR-DE LAUWERE ET AL. (1996). Rangniedrigere Kühe besuchen das AMS in der Regel eher zu den ruhigeren Zeiten, d. h. nach Mitternacht. Zusätzliche, längere Wartezeiten vor dem AMS oder sogar ein Verlassen müssen des AMS-Wartebereichs kann zu Frustrationen bei den Kühen führen. Dies wiederum bestätigt das Ergebnis aus dieser Untersuchung, bei der die Kühe das AMS vermehrt blockieren.

Die Verhaltenskategorie *agonistisches Verhalten* nimmt gegenüber der Basalsituation in der Testsituation um das 2,09-fache zu. Diese Verhaltensweisen zeigen Rinder vor allem dann, wenn sie sich in Konkurrenz- oder Wettbewerbssituationen befinden. Den Umkehrschluss bestätigen DEVRIES ET AL. (2004). Sie beobachten, dass Kühe, die während der Fütterung mehr Platz zur Verfügung haben, weniger aggressiv untereinander sind. Gerade bei großen Gruppengrößen, in überbelegten Laufställen und nicht genügend Platz zur Wahrung des sozialen

Abstands, zeigt sich dieses Verhalten (SÜSS UND ANDREAE 1984). Betrieb B4 hat eine derartige Situation. Das AMS liegt mit einer Kuhzahl von über 70 an seinem Leistungsmaximum. Hier darf es nicht zu Ausfällen des Roboters kommen, wenn die Melkungen sozialverträglich ablaufen sollen. Aber genau dies ist beim simulierten Stromausfall nicht der Fall. Es entsteht eine Konkurrenzsituation um die Melkung und um das Lockfutter. Dennoch verzeichnet dieser Betrieb nicht die häufigsten agonistischen Verhaltensweisen. Wahrscheinlicher ist, dass durch das agonistische Verhalten Frustrationen abgebaut werden, die durch die AMS-Abweisungen entstehen. Hinzu kommt noch, dass die Kühe immer wieder versuchen in den Roboter zu gelangen und sich so viel häufiger als normal in dem Bereich davor aufhalten. Der soziale Abstand kann nicht eingehalten werden und die agonistischen Handlungen nehmen zu. Dies bestätigen SCHRADER UND MAYER (2009) mit ihren Untersuchungen. Agonistisches Verhalten üben Rinder aus, um ihre Rangordnung zu manifestieren (GRAUVOGL 1984). Da die Herdenstruktur seit längerer Zeit besteht, ist die Rangmanifestierung in der Testsituation kein Kriterium. Allerdings weisen BEILHARZ UND MYLREA (1963) darauf hin, dass die Rangordnung in Konkurrenzsituationen um Futter und Platz nicht mehr linear verläuft, sondern zunehmend komplexer wird. Das knappe Platzangebot, ausgelöst durch die sich vermehrt im AMS-Bereich aufhaltenden Kühe, führt zu Stress und zunehmender Aggression. Eine große Varianz bei den agonistischen Interaktionen stellen auch MENKE ET AL. (1999) fest und führen dies auf unterschiedliche, das Sozialverhalten beeinträchtigende, Faktoren zurück. Es bleibt festzuhalten, dass die agonistischen Handlungen in der Testsituation zunehmen und so eine stressverursachende Wirkung, bedingt durch den AMS-Ausfall, anzeigen. In dieser Arbeit wird die Rangfolge wie bereits zuvor erwähnt, außer Acht gelassen worden. Demnach ist es wünschenswert, bei Folgeuntersuchungen diese mit zu betrachten, um dann auch auf konkrete Verdrängungen je Stunde eingehen zu können, wie das in der Literatur von FREGONESI UND LEAVER (2001), ENDRES UND BARBERG (2007) und ROUHA-MÜLLEDER ET AL. (2010) der Fall ist.

In der Verhaltenskategorie *Eliminationsverhalten* wird eine Zunahme von 67 Prozent errechnet. Aber ähnlich den Parametern *soziales Lecken*, *soziales Belecken* und *Zungenrollen* sind die absoluten Häufigkeiten zu gering, als dass dazu eine statistisch belastbare Aussage getroffen werden kann. Dieses Verhalten zeigen alle 48 Fokuskühe insgesamt sechsmal in der Basalmessung und zehnmal in der Testmessung. Demnach besteht eine Zunahme in der Testsituation. Gemäß SÜSS UND ANDREAE (1984) und auch PHILLIPS (2002) setzen Kühe im Erregungs- bzw. Angststadium vermehrt Kot und Harn ab. Dies zeigt eine Tendenz von gestresstem Verhalten durch den AMS-Ausfall. Um diese Aussage zu bekräftigen, muss auch die Konsistenz des Kots bzw. Urins analysiert werden, da der Kot umso flüssiger wird, je gestresster

oder ängstlicher die Kuh ist. Ebenso steigt die Pheromon-Konzentration im Harn bei gestressten Tieren stark an. Dies ist aber an Hand von einer Videoaufzeichnung im Falle der Kotkonsistenz nur sehr schwer und im Falle der Pheromon-Konzentration gar nicht zu beurteilen.

Der geringste Anstieg ist in der Kategorie *Erkundungsverhalten* zu finden. Prozentual macht der Anstieg sieben Prozent aus. Bei Betrachtung der absoluten Zahlen (15 Ereignisse in der Basalmessung und 16 Ereignisse in der Testmessung) und unter der Prämisse, dass es für 48 Kühe gilt, wird deutlich, dass hier nicht von einer Veränderung gesprochen werden kann. Der AMS-Ausfall hat demnach keinen Einfluss auf das Verhalten. Laut FRASER ET AL. (1978) und SÜSS UND ANDREAE (1984) zeigen Kühe ein derartiges Verhalten nur dann, wenn sie sich nicht gestresst fühlen. PHILLIPS (1993) sieht im Erkundungsverhalten einen guten Indikator für das psychische und körperliche Wohlbefinden von Rindern. Die Zunahme in der gezeigten Verhaltenskategorie beweist daher, dass es sich bei der gegebenen Konstellation um keine belastende Situation handelt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Rinder nach HALL (2002) in gewisser Weise immer gleiche Verhaltensmuster vollbringen. Diese Verhaltensweisen werden stark vom Halungsverfahren und dem Management eines Betriebes beeinflusst. Dies bestätigen auch SCHRADER ET AL. (2006). Ihren Aussagen nach ist ein tierfreundliches Herdenmanagement für einen effizienten Betrieb essentiell. Überbelegung löst bei Kühen aggressiveres Verhalten aus (DIERSING-ESPENHORST 2014). Es kommt vermehrt zu Konkurrenzsituationen (SCHRADER ET AL. 2002). Dies kann aber mit den hier erzielten Ergebnissen nur teilweise bestätigt werden, da auch nur in einem Betrieb eine Überbelegung vorhanden ist. Dagegen ist eine gute Interaktion zwischen Tier und Betreuer bedeutsam für die Leistungsfähigkeit der Herde (LÜRZEL ET AL. 2015; NOWAK UND BOVIN 2015). WAIBLINGER ET AL. (2001) stellen fest, dass Kühe in Anwesenheit von vertrauten Personen, mit denen sie positive Erfahrungen über mehrere Wochen gemacht haben, eine geringere Anzahl unruhiger Verhaltensweisen und Abwehrverhalten zeigen. Diese Kühe haben niedrigere HR. Dies belegt auch die Studie von SCHMIED ET AL. (2008), wo dem Streicheln positive, physiologische Reaktionen zugeschrieben werden. Solch positive Erfahrungen (freundliches Zureden und Streicheln) machen auch die Kühe auf B1, die ein extrem vertrauensvolles Verhältnis zu ihrem Betriebsleiter und seiner Familie haben. „Rinder lernen im Allgemeinen schnell zwischen Personen, die sie freundlich oder aversiv behandeln, zu unterscheiden und reagieren entsprechend“ (WAIBLINGER ET AL. 2001). Positive Erfahrungen und regelmäßige, freundliche Interaktionen können Stressreaktionen reduzieren (WAIBLINGER ET AL. 2001; PROBST ET AL. 2008). Auch MOUNIER ET AL. (2006) stellen fest, dass sich ein positiver Umgang mit den Tieren in Stresssituationen auswirkt. Ein solch enger, positiver Kontakt zwischen der Herde B1 und dem Betriebsleiter, ist ein Grund dafür, dass in diesem

Betrieb agonistische Verhaltensweisen kaum gezeigt werden. Gestresste und nervöse Tiere entstehen meist erst aus Angst und Furcht vor dem Menschen (PROBST 2014). All diese Erkenntnisse belegen die Ergebnisse der Häufigkeitsauswertung und demnach ist der Schluss zu ziehen, dass der Ausfall eines AMS zu Stressreaktionen beim Rind führt. Wird hierauf jedoch statistisch getestet, so zeigt sich ein anderes Bild. Auf einem Signifikanzniveau von fünf Prozent kann statistisch lediglich festgestellt werden, dass der Energieausfall das Verhalten der Milchkühe nur marginal nachteilig beeinflusst.

#### **6.1.4.6 Bewegungsaktivität und Liegedauer**

Für diese Studie werden ALT-Pedometer verwendet, um die Bewegungsaktivität und die Liegedauer von Milchkühen aufzuzeichnen. ALT-Pedometer werden bereits erfolgreich bei diversen Untersuchungen zum Aktivitätsverhalten von Tieren eingesetzt (BREHME ET AL. 2003; BREHME ET AL. 2006). Die korrekte Arbeits- und Funktionsweise der ALT-Pedometer wird durch das Anbringen von zwei Pedometern an beiden Hinterbeinen überprüft. Die ausgewerteten Daten zeigen keine nennenswerten Abweichungen. Es ist daher von einer korrekten Aufzeichnungsmethode auszugehen. Das Messverfahren ist allgemein anerkannt und repräsentativ für die derzeitigen und weiteren Studien. Somit lässt sich festhalten, dass bei einer Wiederholung dieser Untersuchung die Ergebnisse gleich wären und die Ergebnisse dieser Studie daher gelten. Die Pedometer sind analog HOLZ (2009) am Fuß der Kühe angebracht und zusätzlich mit einem Panzertape fixiert. Aus Gründen einer leichteren Handhabung während des Versuchs befinden sich die Pedometer an den Hinterfüßen. Die Anbringung der Pedometer am Hinterbein ist für eine Schritt- bzw. Aktivitätsermittlung unkritisch (HOLZ 2009) und erweist sich im Laufe des Versuchs als sehr praktikabel. Da lediglich eine Unterscheidung zwischen Aktivität- und Ruheverhalten von Interesse ist, wird nicht zwischen den Liegepositionen L1 und L2 analog KRUMMEL (2013) unterschieden. Die Problematik, dass die Pedometer im Betrieb B1 nicht von Anfang an zur Datenerhebung zur Verfügung stehen und daher nur einen Tag lang Basalwerte aufzeichnen, stellt sich als irrelevant heraus. Die statistische Auswertung der Pedometer-Daten von den Betrieben B2 bis B4 ergibt keinerlei Unterschiede zwischen der Gewöhnungsphase und der Basalphase. Somit sind auch die Pedometer-Daten aus B1 voll belastbar. Die Fixierung mit Panzertape ist eine sinnvolle Maßnahme zur Sicherung der Pedometer. Während des gesamten Versuchs verliert keine Fokuskühe ihr Pedometer. Probleme können allerdings auftreten, wenn spezielle Bewegungen wie Kratzen oder Zucken nicht richtig erkannt werden und als Schritte gezählt werden. Dies führt dann unweigerlich zu ungenauen Messungen (HOFFMANN 2008). Derartige Fehler werden an Hand von Videoauswertungen korrigiert. Das Auslesen und das Auswerten der Daten zur Bestimmung der durchschnittlichen

Tageswerte von Schritten sind unproblematisch. Die durchschnittliche Dauer der Liegeperioden ergibt sich aus den Mittelwerten der Liegezeiten während der einzelnen Liegeperioden. Der Rückgang der Aktivität von 18,7 Prozent von 342 Schritte pro Stunde während der Basalmessung und 278 Schritte pro Stunde während der Testmessung, ist u. a. auf klimatische Veränderungen zurück zu führen. Die Versuche erstrecken sich von März bis August und beinhalten daher zunehmend wärmere Temperaturen, in denen die Tiere zu weniger Aktivität neigen. Sie verbringen mehr Zeit im Stehen, da ihnen die Liegeboxen zu warm sind. Dem zu Folge erhöhen sich die gemessenen Liegezeiten in L1 von 224 auf 276, aber gleichzeitig sinken sie in L2 von 2.290 auf 2.116. Es werden durchschnittlich zwölf Liegeperioden mit einer durchschnittlichen Dauer von 24 Minuten gemessen. Auch EDWARDS UND TOZER (2004) stellen eine höhere Aktivität bei kälteren Temperaturen fest. Gegenteiliges beobachten PERERA ET AL. (1986). Demnach legen sich Kühe im Winter vermehrt hin. Auch die Aktivität der Tiere variiert nach dem Stromausfall, von 0 Aktivitäts-Einheiten bis zu mehr als 15.000 Aktivitäts-Einheiten, wobei das Mittel der Basalmessungen höher liegt als das Mittel in der Testmessungen. Diese breite Verteilung der Aktivität der Tiere zwischen den Basal- und Testmessungen wird durch die Aussage von BÜSCHER ET AL. (2011) bestätigt. Hierbei wird festgehalten, dass starke individuelle Unterschiede in den Bewegungsgewohnheiten einzelner Tiere bestehen und es daher bedeutsam ist, solche Aktivitäts-Merkmale immer auf der Ebene eines einzelnen Tieres zu bewerten. Der Aktivitätswert 0 in der Testmessung ist ein technischer Messfehler, dessen Ursache nicht geklärt werden kann.

LUTHER ET AL. (2002) und WANGLER ET AL. (2005) unterstreichen, dass Rinder einen individuellen Biorhythmus mit Aktivitätshochphasen am frühen Morgen und mehreren Ruhephasen besitzen. Sie zeigen dabei ein ausgeglichenes und konstantes Bewegungsmuster. WÓJCIK UND RUDZIŃSKI (2014) dagegen beobachten die größte Aktivität im Zeitraum mittags bis abends, da zu diesem Zeitpunkt die meiste Stallarbeit verrichtet wird. Um derartige Aussagen zu bekräftigen oder abzulehnen, ist es nötig, den Rang der jeweiligen Tiere mit zu betrachten. Dieser hat Einfluss darauf, wann eine Kuh zum AMS geht (KETELAAR-DE LAUWERE ET AL. 1996). Da die Rangbetrachtung in dieser Arbeit allerdings ausgeklammert ist, erfolgt hierzu keinerlei Auswertungen. Auch die Haltungsbedingungen und das Herdenmanagement haben Einfluss auf die Aktivität (TUCKER ET AL. 2003; DRISSLER ET AL. 2005; FREGONESI ET AL. 2007a). Dies erklärt die breite Streuung der Daten. Die breite Streuung der Daten in der Testsituation kann durch die individuelle Stresstoleranz der Tiere erklärt werden. Während die eine Kuh von einem Ausfall des AMS über mehrere Stunden beunruhigt ist, irritiert dieses Ereignis eine andere Kuh kaum bis gar nicht. Das liegt am Charakter, am Temperament, am hormonellen Zyklus, an individuellen Erfahrungen, am Laktationsstadium der jeweiligen Kuh und auch an vielen

weiteren Faktoren. Aus diesem Grund, sollen nicht nur Durchschnittswerte von Herden betrachtet werden, sondern es müssen immer tierindividuelle Analysen erfolgen. Dies zeigen auch die anderen ausgewerteten stressinduzierenden Parameter aus dieser Studie. Der deutlich schmalere Boxplot von Betrieb B1 ist dem späteren Messbeginn geschuldet. Die Datenmenge ist hier kleiner. Wird dieser Betrieb außer Acht gelassen, so ist gut zu erkennen, dass die mittlere Aktivität in den anderen drei Betrieben zurückgeht. Dies induziert, dass der Energieausfall am AMS keine Stressbelastung für die Tiere darstellt. Wären die Kühe durch eine derartige Situation beunruhigt, dann würden Unruhe und Schrittzahl steigen. Durch die Tatsache, dass jeder Betrieb unterschiedlich geführt wird, lassen sich auch die Aktivitätsunterschiede pro Betrieb erklären. Dies liegt z. B. am unterschiedlichen Fütterungsmanagement (DEVRIES UND KEYSERLINGK 2005), der Belegungsdichte (FREGONESI ET AL. 2007b) und der Gestaltung der Liegeboxen (WAGNER-STORCH ET AL. 2003; TUCKER ET AL. 2006). Die Ausreißer während der Basalphase im Betrieb B4 sind auf die Wetterlage zurück zu führen. An den beiden ersten Basalmesstagen herrscht jeweils eine gewittrige Wetterlage. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch die Aussage mehrerer Betriebsleiter. Sie beobachten regelmäßig Verhaltensänderungen bei ihren Tieren nicht nur in Abhängigkeit der Wetterlage, sondern auch in Abhängigkeit der Mondphasen. Der Mond befindet sich zu diesem Zeitpunkt im ersten Viertel. Eine derartige Korrelation kann in zukünftigen Forschungsarbeiten untersucht werden, da bisher noch keine zuverlässige Korrelation nachgewiesen worden ist (KELLY ET AL. 1985).

Die mittlere Schrittzahl pro Stunde liegt bei allen Betrieben unter 400 Schritte. Die fehlenden Werte von Betrieb B1 sind durch das späte Bereitstellen der Pedometer zu erklären. Die Aktivität nimmt an Tag 13 der Versuchsreihe deutlich ab. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Pedometer am letzten Versuchstag im Laufe des Vormittags abgenommen werden und demnach nur ein Viertel der Tagesaktivität aufzeichnen. BREHME ET AL. (2003) ermitteln eine höhere durchschnittliche Schrittzahl von 681 Schritte pro Stunde. Ursächlich hierfür ist, dass sich die Kühe dieser Studie in unterschiedlichen Laktationsstadien befinden. Die Schrittzahl von BREHME ET AL. (2003) dagegen, stammt von Tieren kurz vor der Kalbung. Hier ist eine vermehrte Unruhe zu verspüren, die sich in gesteigerter Aktivität ausdrückt.

Bei Betrachtung der Aktivitätszahlen aller Betriebe fällt auf, dass die Aktivität in Betrieb B1 generell niedriger ist, als in den anderen drei Betrieben. Dies trifft im Besonderen auf Tag 10 zu. Hierfür lässt sich keine Erklärung finden. Lediglich im Labortagebuch ist als Randbemerkung für diesen Tag vermerkt, dass die Kühe an diesem Tag ausgesprochen ruhig und entspannt wirken. Der Mond befindet sich zu diesem Zeitpunkt im letzten Viertel.

Auffallend sind auch die Ausreißer in der Auswertung der mittleren Schrittzahl pro Stunde und pro Betrieb, die erst ab der Basalmessung auftreten. Ein Grund hierfür kann im Versuchsdesign liegen. Die Gewöhnungsphase und die Basalphase sind im Versuchsaufbau identisch. Es gibt nur einen Unterschied, der die Abweichungen erklären kann. Erst ab der Gewöhnungsphase werden Kotproben genommen. In der Regel sind die Rinder einen rektalen Eingriff durch regelmäßige künstliche Besamungen gewohnt und dulden diese sogar, wenn sie schnell erfolgt, ohne Fixierung (FISCHER 2009). Tierindividuell kann es aber zu Stressreaktionen kommen. Da die Tiere für die Dauer beider Kotprobenentnahmen fixiert sind, kann es sein, dass dies sie beunruhigt. Als Reaktion darauf reagieren sie unterschiedlich. Eine Kuh baut die Frustration durch Bewegung ab, eine andere legt sich lieber ab und stellt ihre Aktivitäten ein. Auch die Krankheiten von zwei Kühen aus Betrieb B4 haben einen Einfluss auf die Aktivität, denn in der Regel führen gesundheitliche Defizite zu einer Reduzierung der Aktivität (SCHULZE-PALS 2013; VEISSIER ET AL. 2017). Tierindividuelle Unterschiede können auch bei Gruppenveränderungen festgestellt werden. Dies ist in der vorliegenden Arbeit allerdings nicht vorgekommen, es zeigt aber, dass es schwierig ist, allgemeingültige Aussagen zu treffen. Laut WANGLER ET AL. (2005) zeigen Kühe 60 Tage nach der Kalbung eine deutlich höhere Aktivität als in den darauf folgenden 200 Laktationstagen. Grund hierfür sind neu entstehende Rangkämpfe bzw. Wiedereingliederungsaktivitäten. Gegenteiliges beobachten SCHRADER UND MAYER (2009). Wird der soziale Abstand nicht gewahrt, dann nehmen die agonistischen Handlungen zu, die Laufaktivität aber sinkt. Darüber hinaus kann auch die Milchleistung Einfluss auf das Aktivitätsverhalten nehmen. Der Bewegungsdrang einer Kuh ist signifikant abhängig von ihrer Milchleistung: Bei Kühen mit einer höheren Tagesmilchleistung als 35 Kilogramm steigt die Aktivität an. Diese Tiere weisen vermehrt größere tierindividuelle Aktivitätsunterschiede auf (WANGLER ET AL. 2005). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch WÓJCIK UND RUDZIŃSKI (2014). Kühe mit einer durchschnittlichen täglichen Milchleistung von 31 bis 40 Kilogramm sind am aktivsten. Kühe mit einer geringeren täglichen Milchleistung bis 20 Kilogramm bzw. Kühe mit über 40 Kilogramm Milchleistung sind weniger aktiv. Laut NORRING ET AL. (2012) kauen Kühe mit einer höheren Milchleistung mehr Zeit im Stehen wieder und weniger im Liegen, als Kühe mit einer geringeren Milchleistung. Dagegen kauen multipare Kühe, verglichen mit primiparen Kühen, mehr im Liegen wieder, verbringen aber insgesamt eine kürzere Zeit im Liegen. Nach NORRING UND VALROS (2016) gibt es derzeit noch keine Erkenntnis warum Hochleistungskühe längere Stehzeiten aufweisen. Die in der vorliegenden Arbeit auftretenden Ausreißer können auch auf den hormonellen Zyklus zurückzuführen sein. Dabei ist es rein zufällig, dass die Basal- und Testmessungen in diesen Zyklus einzelner Tiere fallen. Mehrere Studien belegen, dass zunehmende Unruhe und die damit verbundene ansteigende Aktivität ein Indikator der Brunst ist (WANGLER ET AL. 2005; ROELOFS ET AL. 2010; FRICKE ET AL. 2014b). In der

Literatur wird die Aktivitätszunahme während der Brunst mit einer Steigerung von einem Drittel bis fast zum Vierfachen des Ausgangswertes angegeben (KIDDY 1977; ERADUS ET AL. 1992; WENDL UND KLINDTWORTH 1997; KERBRAT UND DISENHAUS 2004; ROELOFS ET AL. 2010). Aber nicht jeder Anstieg der Aktivität ist hormonell bedingt. Der Gesundheitszustand, Veränderungen im Umfeld oder soziale Rankkämpfe nehmen ebenso Einfluss auf die Aktivität wie z. B. auch das Getriebenwerden durch andere brünstige Kühe (BREHME ET AL. 2003; EDWARDS UND TOZER 2004; WANGLER ET AL. 2005).

Das Absinken der Aktivität von 342 Schritten pro Stunde in der Basalmessung auf 278 Schritte in der Testmessung beruht auf der Datenkonstellation, dass nur Basal- und Testphase strikt getrennt ausgewertet werden. Als Basaldaten werden nur die Melkanrechtssperrungen gewertet, die auch nur in den Basaltagen stattfinden. Es ist daher analog KOSCHACK (2008) bei statistischen Aussagen immer die Datenlage genau zu prüfen. Eine Überprüfung des Ergebnisses drängt sich bei der Auswertung der Bewegungsaktivität auf, da hier das verspätete Anbringen der Pedometer im ersten Versuchsbetrieb zu einem kleineren Datensatz führt. Mit einer Veränderung des Datensatzes z. B. durch ein andersartiges Aggregieren der Daten wird das zuvor erhaltene Ergebnis überprüft. Der Datensatz wird nun so zusammengestellt, dass alle Datenzeilen, in denen keine Melkanrechtssperrung stattfindet, als Basaldaten betrachtet werden. Dadurch wird der Datensatz des Normalzustandes größer. Hierauf wird der Welch-Test angewendet. Nun ergibt sich ein anderes Ergebnis. Die mittlere Aktivität aus der Testmessung ist um mindestens 630 Einheiten größer als die mittlere Aktivität aus der Basalmessung. Die gemittelte Aktivität aller Basaltage beträgt 7.744 Aktivitätseinheiten und die gemittelte Aktivität der Testtage beträgt 8.826 Aktivitätseinheiten. In der Testmessung bewegen sich die Kühe dem zu Folge um 1.083 Einheiten am Tag mehr. Dies lässt die Interpretation analog JONG ET AL. (2002) zu, dass die Kühe durch den stressauslösenden AMS-Ausfall unruhiger werden. Das unterschiedliche Ergebnis zeigt, dass die Messungen vor den Basaltagen für die Veränderung der Mittelwerte verantwortlich sind. Es liegt nahe, dass zwischen den Messungen vor den Gewöhnungs- und den Basaltagen eine leichte Aktivitätszunahme bestanden hat. Dies ist auch deshalb plausibel, weil die Messungen vor den Basalmessungen nicht problemlos vernachlässigt werden können, denn sie stellen ja gerade den Normalzustand dar. Demnach induziert die Basalphase eine Aktivitätssteigerung, die dadurch zu erklären ist, dass der Fokus in dieser Zeit stringent auf die Tiere gelenkt wird. Es kommt aber in dieser Zeit auch zu Veränderungen in der Umwelt und somit tritt eine Aktivitätssteigerung auf, die dann mit der Zeit wieder abflacht. Der Spitzenwert der Aktivitätssteigerung tritt somit als Paradoxon in der Basalphase auf.

Zusammenfassend lässt sich daher festhalten, dass ein simulierter Energieausfall beim AMS die Kühe dahingehend beeinflusst, dass sie mit einer leichten Steigerung der Aktivität reagieren. Bei einer Wiederholung eines derartigen Versuches ist darauf zu achten, Datenverluste zu minimieren. Um eine, durch einen Stromausfall verursachte, mögliche Stressbelastung von Kühen lediglich anhand von Bewegungsdaten messen zu können, ist die Empfehlung für die weitere Forschung, eine mathematische Verteilung für die jeweilige Kuh zu finden, die ihre individuelle Aktivität widerspiegelt. Verlässt eine Kuh ihr gewohntes Bewegungsmuster, kann das ein Indikator für eine Stressbelastung sein.

Auch bei der Betrachtung der Liegedauer sind zwei Ergebnisse zu berücksichtigen. Je nachdem, ob mit dem großen oder kleinen Datensatz gerechnet wird, ergeben sich differente Werte. Wird mit dem kleinen Datensatz gerechnet, so ergeben sich Liegezeiten von 11,46 Stunden für die Basalmessung und 10,02 Stunden für die Testmessung. Demnach ist hier ein Unterschied von eineinhalb Stunden zu erkennen. Es werden durchschnittlich zwölf Liegeperioden mit einer durchschnittlichen Dauer von 24,2222 Minuten in der Basalphase und 23,7638 Minuten in der Testphase gemessen. Da es für diese vorliegende Arbeit unerheblich ist, ob die Kühe in Bauch- oder Seitenlage ruhen, werden die Werte von L1 und L2 zusammengezählt. Es ergibt sich eine durchschnittliche Liegezeit von einer halben Stunde, wobei die Werte und Ausreißer über alle Betriebe sehr weit streuen. Dies spricht für sehr individuelle Verhaltensweisen.

Interessant ist hierbei, dass auch die Aktivität abnimmt. Dies hat zur Folge, dass die Kühe deutlich mehr Zeit im Stehen verbringen. Dieses Ergebnis zeigt, dass der Melkausfall des AMS eine negative Auswirkung auf das Liegeverhalten hat. Zu demselben Ergebnis kommen O'DRISCOLL ET AL. (2011). Das Auslassen von Melkungen führt zu einem Anstieg der Milchmenge bei zunehmender Euter-Festigkeit und in der Folge zu einer verringerten Gesamtliegezeit und verkürzten Liegeperioden. Auch ALBRIGHT (1987) und WINTER UND HILLERTON (1995) sehen in verlängerten Stehzeiten ein Indiz für Stress oder Unbehagen. Dem widerspricht allerdings die Studie von NORRING UND VALROS (2016), dass Hochleistungskühe vermehrt längere Stehzeiten aufweisen. Der Grund hierfür ist noch nicht detailliert erforscht. Eine These, die durch diese Ergebnisauswertung gestützt wird, ist, dass durch den Ausfall einer Melkung der Euterdruck so groß wird, dass die Kuh es vermeidet sich hinzulegen.

Wohlbefinden und Verhalten von Milchkühen werden stark von ihrer physischen Umgebung wie z. B. Stalldesign, Bodenbelag, Liegeboxengestaltung, Futterqualität etc. beeinflusst. Darüber hinaus hat die Gruppenzusammensetzung innerhalb der Herde und damit die Besatzdichte einen ebenso starken Einfluss (KRAWCZEL ET AL. 2012b). Die Studien von KRAWCZEL ET AL. (2012a) und HILL ET AL. (2009) zeigen, dass eine Überbelegung von ca. 115 % keinen

Einfluss auf das täglich Liege- und Wiederkauverhalten hat. Wird die Besatzdichte dagegen auf über 130 % angehoben, so kommt es häufiger zu einer Reduzierung der täglichen Liegezeit. Auch WANG ET AL. (2016) können bei ihren Untersuchungen mit unterschiedlichen Besatzdichten keine Unterschiede in den täglichen Liegezeiten ausmachen. Bei ihren Untersuchungen ermitteln sie eine tägliche Liegezeit von  $11,91 \pm 0,39$  h/d, mit Liegehäufigkeiten von  $13,13 \pm 0,72$  n/d und einer jeweiligen Dauer von  $59,87 \pm 3,27$  min. Eine ähnliche Liegedauer mit 59,1 bis 61,0 Minuten pro Liegeperiode ermitteln auch WÓJCIK UND OLSZEWSKI (2015). Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit den Erkenntnissen aus der vorliegenden Arbeit. Die leichte Überbelegung im Betrieb B2 hat keinen Einfluss auf die Liegezeiten. Die durchschnittliche Liegezeit aller Betriebe liegt in der Basalmessung bei 11,46 Stunden. Die Liegehäufigkeiten von zwölf Perioden stimmen mit der Literatur überein, allerdings ist die durchschnittliche Dauer von 24,2222 Minuten in der Basalphase und 23,7638 Minuten in der Testphase deutlich kürzer. Dies ist ein marginaler Unterschied von ca. 30 Sekunden. Die Liegeperioden sind deutlich geringer als in der Literatur angegeben, was aber nicht zwingend als Stress interpretiert werden muss. DIERSING-ESPENHORST (2014) unterscheidet nicht zwischen leichter oder starker Überbelegung. Das Ergebnis ist pauschaler: Kühe, die in Ställen mit einer höheren Belegdichte gehalten werden, liegen tendenziell kürzer. Kühe dagegen, die mehr freie Liegeboxen pro Tier zur Verfügung haben, liegen länger. Dabei spielt auch die Stallgröße eine Rolle. In engen, kleinen Ställen verringert sich die Liegezeit. Diese Ergebnisse decken sich mit denen von TELEZHENKO ET AL. (2012). Hier wird beobachtet, dass der Prozentsatz an liegenden Kühen mit zunehmender Besatzdichte sinkt. Bei der in den Untersuchungen erprobten, geringsten Besatzdichte mit 25 Prozent, verbringen die Kühe fast 60 Prozent ihrer Zeit mit Liegen. Bei einer Besatzdichte von 100 Prozent sinkt der Anteil der Liegezeit auf 56 Prozent. Stall- oder Gruppengröße haben keinen Einfluss. Dies liegt darin begründet sein, dass Rinder naturgemäß in kleineren sozialen Verbänden mit einer Herdengröße von bis zu 30 Tieren leben. Obwohl sie Herdentiere sind, besitzen sie dennoch eine Individualdistanz von bis zu drei Metern. Diese ist rangabhängig, d. h. je größer der Rangunterschied zwischen den Tieren ist, desto größer versuchen sie auch ihre räumliche Distanz einzuhalten (SCHRADER UND MAYER 2009). Diese Beobachtung kann jedoch nicht mit der vorliegenden Studie bestätigt werden. Es gibt keine Hinweise darauf, dass die Liegedauer im Betrieb B1, einem kleineren, engeren Stall, sinkt.

Die Auswertung des großen Datensatz mit dem Welch-Test liefert ein völlig anderes Ergebnis. Auf einem Signifikanzniveau von fünf Prozent ist der Mittelwert der Liegezeiten in der Basalmessung statistisch gesehen, um höchstens 121,7886 kleiner als der Mittelwert der Liegezeiten in der Testmessung. Die Kühe liegen in der Basalphase durchschnittlich 10,85 Stunden und in der Testphase marginal, um 0,01 Stunden, länger. Der Energieausfall am AMS wirkt

sich demnach leicht bis gar nicht negativ auf das Liegeverhalten der Milchkühe aus. Die hier ermittelten Liegezeiten stimmen mit den Liegezeiten aus der Literatur überein. STONE ET AL. (2017) messen durchschnittliche Liegezeiten von  $11,1 \pm 0,1$  Stunden pro Tag, wobei die Liegedauer mit steigender Milchleistung zurückgeht. Die Forscher sehen die Rangstellung als Grund für die Liegedauer-Reduzierung an, denn erstgebärende Kühe werden eher vom Futtertisch vertrieben als mehrfach laktierende Kühe. Sowohl DEVRIES UND KEYSERLINGK (2005) als auch TUCKER ET AL. (2009b) betonen hierbei das kuhindividuelle Verhalten. Daraus ergibt sich eine Bandbreite von acht bis 16 Stunden am Tag für die Liegezeiten. FREGONESI UND LEAVER (2002) kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass Kühe mit einer hohen Milchleistung kürzere Liegezeiten aufweisen als Kühe mit einer geringeren Milchleistung. Die Ursache hierfür liegt wahrscheinlich in der Folge eines höheren Zeitbedarfs für die Fütterung. Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Studie. Hier ist ein Trend zwischen Laktationsnummer und der Liegedauer erkennbar. Dem zu Folge liegen ältere Kühe länger als jüngere. Darüber hinaus lässt sich auch beobachten, dass alle Kühe direkt einen Tag nach dem simulierten Stromausfall kürzere Liegezeiten aufweisen. Dies stützt wiederum die Theorie des zu festen, vollen Euters, das ein Abliegen erschwert. Die Auswertung mit den zwei unterschiedlichen Datensätzen zeigt, dass es bei einem maximal vier Stunden andauernden Stromausfall des AMS kurzfristig zu Tendenzen einer negativen Beeinflussung der Aktivität und der Liegedauer kommt. Je länger aber der Beurteilungszeitraum gewählt wird, desto mehr verblassen diese Tendenzen.

## 7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Heut zu Tage können sich gerade familiengeführte Milchviehbetriebe aus Gründen der Wettbewerbsfähigkeit dem Prozess der Technisierung und Automatisierung mit einer Nutzung von intelligent und digital vernetzten Systemen analog der *Industrie 4.0* kaum noch entziehen (BROCKARD 2016). Dennoch geben bei einer im Jahr 2016 durchgeführten Befragung von 521 landwirtschaftlichen Betrieben in Deutschland zum Thema *Landwirtschaft 4.0*, 30 Prozent der Befragten an, Sorge um den Verlust der Datenhoheit zu haben, und sogar 42 Prozent der Befragten geben an, generell Sorge um die IT- und Datensicherheit zu haben (SIKORA 2014; STATISTA GMBH 2017). CPS werden erst dann von der Bevölkerung als vertrauensvoll akzeptiert, wenn diese Systeme auch in der Lage sind, die gewaltige Datenflut mit einem sehr hohen Maß an Datensicherheit zu transportieren (ACATECH (HRSG.) 2011). Die Betriebs- bzw. die Unternehmensleiter stehen in der Verantwortung, nur die Daten auszulesen und weiter zu verarbeiten, die nützlich sind. Die Gefahr des Datenmissbrauchs bleibt aber immer bestehen. Die Grenze zwischen Nutzen und Schaden muss letztendlich von einer verantwortungsvollen Gesellschaft getroffen werden (STEIGER UND HARTBRICH 2014). Das Projekt *Stall 4.0* kann Betriebsleitern und der Bevölkerung vermitteln, dass derartige Sorgen unbegründet sind. Durch den Bau eines Demonstrationsbetriebes, eines „gläsernen Stalls“, können Skeptiker überzeugt werden. Die geplante Pilotanlage wird mit Hilfe von CPS und einem gezielten Lastenmanagement die voll automatisierte Milchvieh-Technik derart steuern, dass der regenerativ erzeugte, hofeigene Strom in vollem Einklang mit dem Tierwohl steht. Denn das Tierwohl und die Tiergesundheit stehen mehr und mehr im Zentrum öffentlicher Interessen (KEYSERLINGK ET AL. 2009; ROUHA-MÜLLEDER ET AL. 2010; SCHLOSSBERGER 2013). Um der Tiergerechtigkeit Rechnung zu tragen, müssen Tierwohl-Wissenschaftler und Ethologen an Entscheidungsprozessen teilhaben bzw. zu Rate gezogen werden, um Wissenslücken im Tierschutz zu beseitigen. Praktische Anwendungen wie z. B. Tierwohl-Bewertungstechniken und Verbesserungsmaßnahmen, sowohl auf landwirtschaftlichen Betrieben als auch in Laboratorien, müssen etabliert werden (MILLMAN ET AL. 2004). Hierzu ist das Projekt *Stall 4.0* bestens geeignet. Die Grundlagen für ein umfassendes On-Farm Energie Management System im Rahmen des Projektes *Stall 4.0* werden derzeit noch erarbeitet, in Prototypen umgesetzt und in der Praxis getestet. Durch die Einbeziehung regenerativer Energieträger einschließlich intelligenter Netzanbindung und durch intensive Erforschung der Tier-Technik-Interaktionen werden konkrete Lösungen für ein *Integrated Dairy Farming* entwickelt. Es können so auch ethologische Kriterien zur quantitativen und qualitativen Analyse bzw. Bewertung von tierartgerechten Verhaltensweisen bei zunehmend automatisierten Verfahrenstechniken validiert werden.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass ein kurzzeitiger simulierter Stromausfall eines AMS auf die Fokuskühe keine stressauslösende Wirkung hat. Um dieses Ergebnis zu validieren, ist auf dem geplanten Pilotbetrieb der Stromausfall nicht nur durch das Setzen von Blockzeiten zu simulieren, sondern real durchzuführen. Ein tatsächlicher Stromausfall bewirkt, dass sich das Tor des AMS nicht mehr öffnet. Es kommt daher zu keinerlei Besuchen des AMS mehr. Durch den realen Stromausfall ergibt sich zugleich auch die zweite Empfehlung: Der Stromausfall muss die ganze Herde betreffen und dieses Ereignis ist zu validieren. Für eine derartige Untersuchung sind die neuesten Messtechniken z. B. die Infrarot-Thermografie (IRT) (STEWART ET AL. 2017) zu verwenden. Erst dann kann eine wirklich belastbare Aussage zum Tier-Verhalten bei einem Stromausfall getroffen werden.

Bis zum Einsatz eines derartigen On-farm Energie Management Systems kann es aber immer wieder zu Stromschwankungen bis hin zu kurzfristigen Stromausfällen kommen. Bestimmte Tätigkeiten können notfalls durch händische Arbeiten ausgeglichen werden, dennoch sind für den Fall eines Stromausfalls bei höherer Technisierung, eine Notstromversorgung vorzuhalten. In jedem Fall ist aber eine zuvor definierte Netzunterbrechung als Fehlermeldung über eine am Betrieb angebrachte Meldeleuchte und/oder ein Signalhorn anzuzeigen. Darüber hinaus ist eine Weiterleitung des Alarms auf ein Smartphone unumgänglich. Eine Fehlermeldung wird erst dann als erkannt behandelt, wenn diese bestätigt wird. Hierzu ist es nötig, dass mehrere Telefonnummern hinterlegt sind und nacheinander angerufen werden (FELDMANN 2013).

Diese Empfehlungen dienen der erfolgreichen Umsetzung des Konzepts *Stall 4.0* und liefern weitere Forschungsansätze im Bereich der Tier-Technik-Interaktion, die zu detaillierteren Aussagen zum Tierwohl bei hohem Technisierungs- und Automatisationsstand beitragen können.

## 8 Zusammenfassung

Diese Studie des Projektes *Integrated Dairy Farming – Stall 4.0* versucht, die Frage zu beantworten, ob Schwankungen oder Ausfälle in der Energieversorgung eines AMS Auswirkungen auf das Verhalten von Milchkühen haben, bzw. ob zeitliche Verschiebungen im gewohnten Tagesablauf Stressreaktionen hervorrufen. Diese Forschungsfrage steht vor dem Hintergrund der Einführung eines Energie Management Systems auf einem landwirtschaftlichen Betrieb. Mit einem solchen ist der Betriebsleiter in der Lage, die auf dem Betrieb selbst produzierte, regenerative Energie im eigenen Betrieb zu nutzen und den Zukauf von Strom auf ein Minimum zu reduzieren. Der Eigenverbrauch wird so gesteuert, dass keine Spitzen bei der Einspeisung ins öffentliche Netz entstehen. Als Konsequenz kann es zu Energieschwankungen bis hin zum Energieausfall kommen. Hiervon wären die Folgen für die Nutzung eines AMS besonders gravierend. Die bereitgestellte Technik muss daher dem Tier und seinem Verhalten angepasst werden und nicht umgekehrt. Der Landwirt muss in die Steuerung jederzeit eingreifen können, um eventuelle Nachteile in Sachen Wohlbefinden der Tiere zu verhindern. Trotz des zunehmenden hohen Technisierungs- bzw. Automatisierungsgrades muss das Wohl der Tiere immer an erster Stelle stehen. Um einen Stromausfall am AMS zu simulieren und damit eine Stresssituation zu erzeugen, wird in den Monaten März bis August 2014 auf vier unterschiedlichen oberbayerischen Milchviehbetrieben jeweils zwölf Fokuskühen das Melkanrecht verweigert. Auf den Betrieben werden zwischen 52 und 73 Tiere der Rasse Fleckvieh mit einem Lely Astronaut gemolken. Der Versuchszeitraum beinhaltet sechs Tage Gewöhnung, drei Tage Basal- und vier Tage Testmessungen, in denen der Stromausfall simuliert wird. Die Belastungsbeurteilung erfolgt durch verschiedene stressinduzierende Parameter. Die Messungen der Herzfrequenzen zeigen keinerlei Stressbelastungen. Diese sinken im Vergleich von den Basal- zu den Testmessungen um 3,9 bpm ab. Ebenso verhält es sich mit der Wiederkaudauer. Eine lange Wiederkaudauer ist Indiz für Wohlbefinden und einen guten Gesundheitszustand bei der Milchkuh. Die Wiederkaudauer nimmt in der Testmessung um 29 Minuten im Vergleich zur Basalmessung zu. Damit ist bei diesem Parameter keine Stressbelastung manifestierbar. Der Parameter Milchmenge allerdings lässt eine Belastung erkennen. Hier sinkt die Milchmenge der Basalphase (31,2 Liter) um 3,6 Liter auf 27,6 Liter in der Testphase ab. Ein Absinken der Milchmenge induziert Stress. Die Bestimmung der fäkalen Cortisol-Metaboliten liefert kaum einen Unterschied zwischen der Basalmessung mit 13,6 Nanogramm pro Gramm und 13,1 Nanogramm pro Gramm in der Testmessung. Rein rechnerisch sinkt die Stressbelastung in der Testsituation sogar ab. Zur Validierung der Aktivitätsdaten werden diese unterschiedlich aufbereitet. Mit der Auswertung des kleineren Datensatzes ergibt sich eine Schrittzahlabnahme um 64 Schritte pro Stunde in der Testmessung, bei Auswertung des größeren

Datensatzes dagegen ergibt sich eine Zunahme um 46 Schritte pro Stunde. Demnach kann hier weder von einer Zunahme noch von einer Abnahme der Belastung gesprochen werden. Ähnliches gilt für die Ermittlung der Liegedauer. Bei Verwendung des kleineren Datensatzes ergibt sich eine Liegedauer von 11,46 Stunden in der Basalmessung und 10,02 Stunden in der Testmessung. Hier kann durch die Reduzierung von 1,44 Stunden von einer stressinduzierenden Wirkung gesprochen werden. Wird dagegen der größere Datensatz ausgewertet, so ergibt sich eine Liegedauer von 10,85 Stunden in der Basalzeit und 10,86 Stunden in der Testzeit. In diesem Fall steigt die Liegedauer um 0,01 Stunden an. Dies stellt somit, rein rechnerisch, einen positiven Belastungseffekt dar. Die Auswertung der Verhaltensparameter dagegen ergibt eine marginal negative Beeinflussung des Verhaltens. Alle Ergebnisse zusammen betrachtet, verdeutlichen, dass nicht ein einzelner Parameter herausgegriffen und für sich allein beurteilt werden kann. Es müssen immer alle Einflussgrößen in einen sinnvollen Kontext gebracht werden. Dabei spielt die Tierindividualität eine große und bedeutende Rolle. Jede Kuh reagiert individuell unterschiedlich. Dennoch zeigt sich durch die Auswertung dieser Studie, im Rahmen des Projektes *Integrated Dairy Farming – Stall 4.0*, dass ein maximal vier Stunden lang anhaltender, simulierter Stromausfall eines AMS zu moderaten Stressreaktionen bei Milchkühen führt.

## 9 Summary

Especially in Bavaria, Germany, Dairy Farming is going through structural changes. New stables for dairy cattle have to fulfil tougher requirements concerning efficiency, ethology, ecology and economy.

Consequently, this requires a higher level of automation (robotic milking systems, feeding robots, methods of disposal, air conditioning control systems, etc.) combined with an increasing need for communication among all components of the system analogously to industrial cyber-physical production systems, but taking into consideration animal welfare and animal comfort.

No other industry than animal agriculture is predestined to produce renewable energy. To use this optimally with a high own consumption portion, energy producers, power consumers and storage must be integrated in an intelligent “On-farm Smart Grid”.

This study was conducted to quantify possible stress reactions with dairy cattle by a temporary energy-conditioned failure of a milking robot. Besides heart activity, rumination, milk yield, the stress hormone cortisol, the animals' activity and behaviour were measured and recorded on video.

These indicators should show possible changes between the basic and the test measurement, i.e. whether a milking claim refusal by the automatic milking system (AMS) compared to the normal mode of the AMS, led to changes.

In order to measure stress correctly, it is important to use non-invasive methods, because the method itself can lead to a negative reaction.

This experiment was carried out on four different farms in which twelve dairy cattle were selected at random for the survey. In order to let the animals get used to them, heart rate sensor belts, which measure heart activity, were put on the animals six days before data admission (habituation). Data was collected for approximately two weeks per farm and every basal measurement took three days, test measurement four days. The basal measurement showed the state of the animals without any influence of an energy-conditioned failure of the AMS.

After finishing the surveys on the four farms and evaluating the test results, stress reactions by dairy cattle under possible energy-conditioned failure of milking robots were measured. The test results indicated that variations or failures in the energy supply had only little effect on cow behaviour.



## 10 Literaturverzeichnis

- ABDOLVAHAB-EMMINGER, H.; BENZ, C. (Hg.) (2005): Physikum exakt. Das gesamte Prüfungswissen für die 1. ÄP; 199 Tabellen, S. 614. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme. ISBN 3-13-107034-X.
- ABENI, F.; DEGANI, L.; CALZA, F.; GIANGIACOMO, R.; PIRLO, G. (2005): Milk Quality and Automatic Milking: Fat Globule Size, Natural Creaming, and Lipolysis. In: *Journal of Dairy Science* 88 (10), S. 3519–3529. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73037-X.
- ACATECH (HRSG.) (2011): Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion, S. 5, 7. München: Acatech (Acatech Position, Dez. 2011). ISBN 978-3-642-27566-1.
- ACHARYA, U. R.; JOSEPH, K. P.; KANNATHAL, N.; LIM, C. M.; SURI, J. S. (2006): Heart rate variability. A review. In: *Med Bio Eng Comput* 44 (12), S. 1031–1051. DOI: 10.1007/s11517-006-0119-0.
- ACHLER, B. (2013): Mehr Milch pro Roboter spart Geld. Aus der Forschung. In: *top agrar* (9), S. R28.
- ADAMS, W. M.; WAGNER, W. C. (1970): The Role of Corticoids in Parturition. In: *Biology of Reproduction* 3 (2), S. 223–228. DOI: 10.1093/biolreprod/3.2.223.
- ALBERTI, J. HINNERK (2010): 100 Antworten zu automatischen Melksystemen. Praxisempfehlungen zu Anforderungen an Mensch und Tier, Management, Haltung, Fütterung, Gesundheit. Frankfurt am Main: DLG-Verl. (DLG kompakt). ISBN 9783769007763.
- ALBRECHT, U. (2010): The circadian clock, S. 179. New York: Springer (Protein reviews, v. 12). ISBN 978-1-4419-1261-9.
- ALBRIGHT, J. L. (1987): Dairy Animal Welfare: Current and Needed Research. In: *Journal of Dairy Science* 70 (12), S. 2711–2731. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(87)80345-4.
- ALBRIGHT, J. L.; ARAVE, C. W. (1997): The Behaviour of Cattle, S. 45, 207. Wallingford, Oxon, UK: CAB International. ISBN 9780851991962.
- ALSAAOD, M.; NIEDERHAUSER, J. J.; BEER, G.; ZEHNER, N.; SCHUEPBACH-REGULA, G.; STEINER, A. (2015): Development and validation of a novel pedometer algorithm to quantify extended characteristics of the locomotor behavior of dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 98 (9), S. 6236–6242. DOI: 10.3168/jds.2015-9657.
- ANDRES-EICH, U.; KNECHTGES, W.; MÜLLER, M. (2007): Rund ums Rind. Bildung für nachhaltige Entwicklung Biologie. Hg. v. PÄDAGOGISCHES ZENTRUM RHEINLAND-PFALZ. Bad Kreuznach (PZ-Information, 4). Online verfügbar unter [https://static.bildung-rp.de/pl-materialien/PZ\\_4\\_2007\\_Rund\\_ums\\_Rind.pdf](https://static.bildung-rp.de/pl-materialien/PZ_4_2007_Rund_ums_Rind.pdf), zuletzt geprüft am 19.08.2017.
- ANON (2014): Landwirte leisten immer mehr. Produktionssteigerung durch moderne Technik setzt sich weiter fort. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* 204, 16.05.2014 (20), S. 50.

- ARCIDIACONO, C.; PORTO, S. M. C.; MANCINO, M.; CASCONI, G. (2017): A threshold-based algorithm for the development of inertial sensor-based systems to perform real-time cow step counting in free-stall barns. In: *Biosystems Engineering* 153, S. 99–109. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.11.003.
- ARIAS, N.; REQUENA, M.; PALME, R. (2013): Measuring faecal glucocorticoid metabolites as a non-invasive tool for monitoring adrenocortical activity in South American camelids. In: *Animal Welfare* 22 (1), S. 25–31. DOI: 10.7120/09627286.22.1.025.
- ARRENBURG, A. B.; STAINIER, D. Y. R.; BAIER, H.; HUISKEN, J. (2010): Optogenetic control of cardiac function. In: *Science* 330 (6006), S. 971–974. DOI: 10.1126/science.1195929.
- AXELROD, J.; REISINE, T. (1984): Stress hormones. Their interaction and regulation. In: *Science* 224 (4648), S. 452–459. DOI: 10.1126/science.6143403.
- BACH, A.; BUSTO, I. (2005): Effects on milk yield of milking interval regularity and teat cup attachment failures with robotic milking systems. In: *Journal of Dairy Research* 72 (1), S. 101–106. DOI: 10.1017/S0022029904000585.
- BAMBERG, E. (1994): Chemie, Biochemie und Nachweis von Steroidhormonen. In: FRIEDEMANN DÖCKE (HG.): *Veterinärmedizinische Endokrinologie*. Mit 165 Tabellen. 3., völlig überarb. und erw. Aufl. Jena [u.a.]: Fischer, S. 31–40. ISBN 9783334604328.
- BAUFÖRDERUNG LANDWIRTSCHAFT (Hg.) (2009): Energieeinsatz in der Tierhaltung. Aktuelle Beratungsempfehlungen ; Begriffe, Definitionen, Grundlagen, Energie- und Leistungsbedarf, Energieeinsparungen, Energiequellen, Energiemanagement 47. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverl., S. 16-19.
- BAUMGARTNER, C. (2013): Eutergesundheit. Grundlage der Qualitätsmilcherzeugung, S. 72. 7., überarb. Aufl. Bonn: AID (AID, 1275). ISBN 978-3-8308-1081-0.
- BAUMGARTNER, W. (2005): Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere, S. 108-110: Parey. ISBN 9783830441564.
- BECKERT, B.; BUSCHAK, D.; GRAF, B.; HÄGELE, M.; JÄGER, A.; MOLL, C. et al. (2016): Automatisierung und Robotik-Systeme. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 11-2016. Hg. v. Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI). FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG (ISI); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA). Karlsruhe. Online verfügbar unter [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/p/de/efi-studien/2016\\_StuDIS\\_11.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/p/de/efi-studien/2016_StuDIS_11.pdf), zuletzt geprüft am 10.04.2016.
- BEILHARZ, R. G.; MYLREA, P. J. (1963): Social position and movement orders of dairy heifers. In: *Animal Behaviour* 11 (4), S. 529–533. DOI: 10.1016/0003-3472(63)90275-6.
- BELO, C. J.; SCHLEGEL, S.; MOLL, J.; MÖSTL, E.; BRUCKMAIER, R. M. (2009): Milk ejection disorders in Swiss dairy cows: a field study. In: *The Journal of dairy research* 76 (2), S. 222–228. DOI: 10.1017/S002202990900394X.
- BENDEL, J. (2005): Auswirkungen von elastischen Bodenbelägen auf das Verhalten von Milchrindern im Laufstall, S. 43-46. Dissertation. LUDWIG - MAXIMILIANS - UNIVERSITÄT MÜNCHEN, München. Institut für Tierschutz, Verhaltenskunde und Tierhygiene der Tierärztlichen Fakultät.

- BENDER, R.; LANGE, S. (2001): Was ist der p-Wert? In: *Deutsche Medizinische Wochenschrift* 126 (15), S. T39–T40. DOI: 10.1055/s-2001-12739.
- BENZ, B. (2003): Weiche Laufflächen für Milchvieh bringen den notwendigen Kuhkomfort. 4. Jahrestagung. Hg. v. Wissenschaftliche Gesellschaft der Milcherzeugerberater e.V. Bad Sasendorf, S. 3. Online verfügbar unter <http://www.wgmev.de/download/jahrestagungen.html?task=document.viewdoc&id=33>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.
- BERINGHOFF, L. (2014): Kau-Sensoren melden die Brunst. Neue Technik im Kuhstall: Fress- und Wiederkau-Sensoren erkennen brünstige Kühe schneller und einfacher. Und die Systeme können noch mehr. In: *top agrar*, 2014 (5), S. R28-R31.
- BERKMILLER, M. (2014): Erfahrungen mit dem Melkroboter. Betrieb Berkmilller – Schön GbR. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hg.): Automatisches Melken. LfL-Information. Grub, 29. Januar 2014. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Freising Weihenstephan, S. 23–28.
- BERNING, F. (2015): Landwirtschaft 4.0: Chancen und Risiken. In: *top agrar* (11), S. 3, zuletzt geprüft am 20.02.2017.
- BERRY, D. P.; MCCARTHY, J. (2012): Genetic and non-genetic factors associated with milking order in lactating dairy cows. In: *Applied Animal Behaviour Science* 136 (1), S. 15–19. DOI: 10.1016/j.applanim.2011.11.012.
- BERTULAT, S.; FISCHER-TENHAGEN, C.; SUTHAR, V.; MÖSTL, E.; ISAKA, N.; HEUWIESER, W. (2013): Measurement of fecal glucocorticoid metabolites and evaluation of udder characteristics to estimate stress after sudden dry-off in dairy cows with different milk yields. In: *Journal of Dairy Science* 96 (6), S. 3774–3787. DOI: 10.3168/jds.2012-6425.
- BIANCA, W. (1976): The significance of meteorology in animal production. In: *International Journal of Biometeorology* 20 (2), S. 139–156. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01553047>, zuletzt geprüft am 01.02.2016.
- BIRKHOFFER, A.; SCHMIDT, G.; FÖRSTL, H. (2005): Herz und Hirn - Die Auswirkungen psychischer Erkrankungen und ihrer Therapie auf die Herzfrequenzvariabilität. In: *Fortschr Neurol Psychiatr* 73 (4), S. 192–205. DOI: 10.1055/s-2004-830109.
- BOISSY, A.; LE NEINDRE, P. (1997): Behavioral, Cardiac and Cortisol Responses to Brief Peer Separation and Reunion in Cattle. In: *Physiology & Behavior* 61 (5), S. 693–699. DOI: 10.1016/S0031-9384(96)00521-5.
- BOLINGER, D. J.; ALBRIGHT, J. L.; MORROW-TESCH, J.; KENYON, S. J.; CUNNINGHAM, M. D. (1997): The Effects of Restraint Using Self-Locking Stanchions on Dairy Cows in Relation to Behavior, Feed Intake, Physiological Parameters, Health, and Milk Yield. In: *Journal of Dairy Science* 80 (10), S. 2411–2417. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76193-9.
- BONETT, D. G.; PRICE, R. M. (2002): Statistical inference for a linear function of medians. Confidence intervals, hypothesis testing, and sample size requirements. In: *Psychological Methods* 7 (3), S. 370–383. DOI: 10.1037//1082-989X.7.3.370.

- BONKOB, K.; NEIBER, J.; NESER, S. (2012): Energieeinsparung in der Milchviehhaltung. Milchgewinnung: Vakuumversorgung, Kühlung, Reinigung, S. 2-8. 1. Aufl. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- BORCHERS, M. (2008): Untersuchungen zur Eignung des ALT-Pedometers als Fohlengeburtsmelder, S. 38. Dissertation. TIERÄRZTLICHE HOCHSCHULE HANNOVER, Hannover. Institut für Tierschutz und Verhalten (Heim-, Labortiere und Pferde).
- BORELL, E. VON (2009): Grundlagen des Verhaltens. In: STEFFEN HOY (HG.): Nutztierethologie. 35 Tabellen. Stuttgart: Ulmer (UTB, 3312), S. 36–37. ISBN 978-3-8001-2892-1.
- BORELL, E. VON; LANGBEIN, J.; DESPRÉS, G.; HANSEN, S.; LETERRIER, C.; MARCHANT-FORDE, J. et al. (2007): Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals -- a review. In: *Physiology & Behavior* 92 (3), S. 293–316. DOI: 10.1016/j.physbeh.2007.01.007.
- BRADÉ, W. (2001): Wichtige Verhaltenscharakteristika des Rindes. In: *Milchpraxis* 39 (3), S. 146–149.
- BRADÉ, W. (2013): Milcherzeugung unter den Bedingungen des Klimawandels – Möglichkeiten zur Vermeidung oder Minderung des Hitzestresses. In: *Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft* 91 (3), S. 2–6. DOI: 10.12767/buel.v91i3.34.g89.
- BRAUN, U.; STORNI, E.; HASSIG, M.; NUSS, K. (2014): Eating and rumination behaviour of Scottish Highland cattle on pasture and in loose housing during the winter. In: *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 156 (9), S. 425–431. DOI: 10.1024/0036-7281/a000624.
- BRAUN, U.; TROSCH, L.; NYDEGGER, F.; HASSIG, M. (2013): Evaluation of eating and rumination behaviour in cows using a noseband pressure sensor. In: *BMC veterinary research* 9, S. 164. DOI: 10.1186/1746-6148-9-164.
- BRAUN, U.; ZURCHER, S.; HASSIG, M. (2015): Eating and rumination activity in 10 cows over 10 days. In: *Research in Veterinary Science* 101, S. 196–198. DOI: 10.1016/j.rvsc.2015.05.001.
- BREHME, U.; BAHR, C.; HOLZ, R. (2003): Brunsterkennung von Rindern. LANDTECHNIK, Bd. 58, Nr. 2 (2003), S. 106–107. DOI: 10.1515/lt.2003.1412.
- BREHME, U.; STOLLBERG, U.; HOLZ, R.; SCHLEUSENER, T. (2008): ALT pedometer—New sensor-aided measurement system for improvement in oestrus detection. In: *Computers and electronics in agriculture* 62 (1), S. 73–80. DOI: 10.1016/j.compag.2007.08.014.
- BREHME, U.; STOLLBERG, U.; STRICKLER, B.; NIEDERHÄUSERN, R. VON (2006): Wohlbefinden bei Pferden in verschiedenen Haltungssystemen - Untersuchungen mit ALT-Pedometern zur Tiergerechtigkeit und zum Tagesablauf. In: *LandTechnik* 61 (6), S. 386–387. DOI: 10.1515/lt.2006.1142.
- BREITENBACH, C. (2003): Die gesundheitsbezogene Lebensqualität und das kardiovaskuläre Regulationsverhalten. Eine Pilotstudie bei diabetischer autonomer Neuropathie, S. 19. Dissertation. FREIE UNIVERSITÄT BERLIN, Berlin. Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin. Online verfügbar unter [http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS\\_thesis\\_000000001044](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000001044), zuletzt geprüft am 07.04.2016.

- BREMEL, R.; GANGWER, M. (1978): Effect of adrenocorticotropin injection and stress in milk cortisol content. In: *Journal of Dairy Science* (61), S. 1103–1108.
- BRINKMANN, J.; IVEMEYER, S.; PELZER, A.; WINCKLER, C.; ZAPF, R. (2016): Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis - Rind. Vorschläge für die Produktionsrichtungen Milchkuh, Aufzuchtkaib, Mastrind, S. 30-39. Darmstadt: KTBL. ISBN 978-3-945088-26-5.
- BRISTOW, D. J.; HOLMES, D. S. (2007): Cortisol levels and anxiety-related behaviors in cattle. In: *Physiology & Behavior* 90 (4), S. 626–628. DOI: 10.1016/j.physbeh.2006.11.015.
- BROCKARD, E. (2016): Blaupause für Industrie 4.0. In: *Elektronik* (5), S. 28.
- BROOM, D. M. (1986): Indicators of poor welfare. In: *British veterinary journal* 142 (6), S. 524–526. DOI: 10.1016/0007-1935(86)90109-0.
- BROOM, D. M. (1996): Animal welfare defined in terms of attempts to cope with the environment. In: *Acta Agriculturae Scandinavica. Section A. Animal Science. Supplementum (Denmark)* 27, S. 22–28.
- BROOM, D. M.; JOHNSON, K. G. (1993): Stress and animal welfare, S. 211 pp. 1st ed. London, New York: Chapman & Hall (Chapman & Hall animal behaviour series). ISBN 0412395800.
- BROWNIE, A. C. (1992): The metabolism of adrenal cortical steroids. In: V. H. T. JAMES (HG.): *The Adrenal gland*. 2nd ed. New York: Raven Press (Comprehensive endocrinology), S. 209–224. ISBN 9780881679199.
- BRUCKMAIER, R. M.; KRÖMKER, V. (2007): Kurzes Lehrbuch Milchkunde und Milchhygiene, S. 12-13: Parey. ISBN 9783830441557.
- BRUCKMAIER, R. M.; WELLNITZ, O. (2008): Induction of milk ejection and milk removal in different production systems. In: *Journal of Animal Science* 86 (13 Suppl), S. 15–20. DOI: 10.2527/jas.2007-0335.
- BRUHN, H. D. (2008): LaborMedizin. Indikationen, Methodik und Laborwerte ; Pathophysiologie und Klinik ; mit 71 Tabellen, S. 15 pp.: Schattauer. ISBN 9783794525508.
- BRUMMER, H. (1978): Verhaltensstörungen. In: HANS HINRICH SAMBRAUS UND HARALD BRUMMER (HG.): *Nutztierethologie. Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere : Eine angewandte Verhaltenskunde für die Praxis*. Berlin, Hamburg: P. Parey, S. 281 pp. ISBN 3-489-60236-6.
- BUCK, M.; FRIEDLI, K.; STEINER, B.; WECHSLER, B.; GYGAX, L.; STEINER, A. et al. (2010): Beeinflussen Entmistungsschieber die Herzfrequenz und die Fresszeit von Milchkühen in Laufställen? In: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (Hg.): *Nachhaltigkeit in der Wiederkäuer- und Schweinehaltung. Unter Mitarbeit von Internationale Gesellschaft für Nutztierhaltung IGN. 24. IGN-Tagung. Tänikon/Aadorf*, S. 53–56. Online verfügbar unter <http://www.animal-health-online.de/gross/wp-content/uploads/2010/06/24IGN-Tagung2010.pdf#page=55>, zuletzt geprüft am 14.08.2017.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT; NATURSCHUTZ; BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB); WWW.BMUB.BUND.DE (2016): Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. 1. Aufl. Unter Mitarbeit von BMUB, Referat KI I 1, S. 1–92. Online

verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf), zuletzt geprüft am 07.08.2017.

BUNDESNETZAGENTUR (2016): Länge der Versorgungsunterbrechung je Stromverbraucher in Deutschland in den Jahren 2006 bis 2015 (in Minuten), S. 15 pp., 45 pp. Online verfügbar unter <https://de-statista-com.eaccess.ub.tum.de/statistik/studie/id/21585/dokument/smart-grid-in-deutschland-statista-dossier/>, zuletzt geprüft am 07.08.2017.

BUNDESNETZAGENTUR; BUNDESKARTELLAMT (2016): Monitoringbericht 2016. Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB. Stand: 30. November 2016, S. 1–439. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/DatenaustauschUnd-Monitoring/Monitoring/Monitoringbericht2016.pdf;jsessionid=E6EE7A9EEE83DA107B67C8EA98DAA6FB?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/DatenaustauschUnd-Monitoring/Monitoring/Monitoringbericht2016.pdf;jsessionid=E6EE7A9EEE83DA107B67C8EA98DAA6FB?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 07.08.2017.

BUNDESREGIERUNG DEUTSCHLAND (2013): Deutschlands Zukunft gestalten. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 18. Legislaturperiode (2013–2017), S. 1–185. Online verfügbar unter [https://www.bundesregierung.de/Content/DE/\\_Anlagen/2013-12-17-koalitionsvertrag.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2013-12-17-koalitionsvertrag.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 07.08.2017.

BURDICK, N. C.; RANDEL, R. D.; CARROLL, J. A.; WELSH, T. H. (2011): Interactions between Temperament, Stress, and Immune Function in Cattle. In: *International Journal of Zoology* 2011 (3), S. 1–9. DOI: 10.1155/2011/373197.

BÜSCHER, W.; ALSAOD, M.; HENDRIKSEN, K. (2011): Recognition of activity pattern in dairy production by electronic devices for early detection of disturbances in animal health. In: Proceedings "Precision Livestock Farming '11", S. 50–56. ISBN 978-80-904 830-1-9.

BÜSCHER, W.; KLINDTWORTH, M.; HARMS, J. (2006): Prozesssteuerung in der Milchkuhhaltung (312). Online verfügbar unter [http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt\\_312.pdf](http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt_312.pdf), zuletzt geprüft am 12.08.2017.

CALAMARI, L.; PETRERA, F.; FAVA, A.; STEFANINI, L. (2010): Feeding behaviour of dairy cows in forced or free cow traffic in Automatic Milking System (AMS). In: *Ital J Animal Sci* 6 (1s), S. 410.

CANNON, W. B. (1914): The emergency function of the adrenal medulla in pain and the major emotions. In: *American journal of physiology--legacy content* 33 (2), S. 356–372.

CASTRO, Á.; PEREIRA, J. M.; AMIAMA, C.; BUENO, J. (2015): Typologies of dairy farms with automatic milking system in northwest Spain and farmers' satisfaction. In: *Ital J Animal Sci* 14 (2), S. 207–219. DOI: 10.4081/ijas.2015.3559.

CAVALLINA, R.; RONCORONI, C.; CAMPAGNA, M. C.; MINERO, M.; CANALI, E. (2010): Buffalo behavioural response to machine milking in early lactation. In: *Italian Journal of Animal Science* 7 (3), S. 287–296. Online verfügbar unter <http://www.aspajournal.it/index.php/ijas/article/download/ijas.2008.287/365>.

- DECHAMPS, P.; NICKS, B.; CANART, B.; GIELEN, M.; ISTASSE, L. (1989): A note on resting behaviour of cows before and after calving in two different housing systems. In: *Applied Animal Behaviour Science* 23 (1-2), S. 99–105. DOI: 10.1016/0168-1591(89)90010-5.
- DEVRIES, T. J.; KEYSERLINGK, M.A.G. VON (2005): Time of Feed Delivery Affects the Feeding and Lying Patterns of Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 88 (2), S. 625–631. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72726-0.
- DEVRIES, T. J.; KEYSERLINGK, M.A.G. VON; WEARY, D. M. (2004): Effect of Feeding Space on the Inter-Cow Distance, Aggression, and Feeding Behavior of Free-Stall Housed Lactating Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 87 (5), S. 1432–1438. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73293-2.
- DIERSING-ESPENHORST, M. (2014): Weniger Kühe - weniger Aggressionen. In: *dlz agrarmagazin*, 2014 (7), S. 33.
- DRISLER, M.; GAWORSKI, M.; TUCKER, C. B.; WEARY, D. M. (2005): Freestall Maintenance. Effects on Lying Behavior of Dairy Cattle. In: *Journal of Dairy Science* 88 (7), S. 2381–2387. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72916-7.
- DU PREL, J.-B.; HOMMEL, G.; RÖHRIG, B.; BLETNER, M. (2009): Confidence interval or p-value?: part 4 of a series on evaluation of scientific publications. In: *Deutsches Arzteblatt international* 106 (19), S. 335–339. DOI: 10.3238/arztebl.2009.0335.
- DZIDIC, A.; MACUHOVA, J.; BRUCKMAIER, R. M. (2004a): Effects of Cleaning Duration and Water Temperature on Oxytocin Release and Milk Removal in an Automatic Milking System. In: *Journal of Dairy Science* 87 (12), S. 4163–4169. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73559-6.
- DZIDIC, A.; WEISS, D.; BRUCKMAIER, R. M. (2004b): Oxytocin release, milk ejection and milking characteristics in a single stall automatic milking system. In: *Livestock Production Science* 86 (1-3), S. 61–68. DOI: 10.1016/S0301-6226(03)00150-7.
- EDWARDS, J. L.; TOZER, P. R. (2004): Using Activity and Milk Yield as Predictors of Fresh Cow Disorders. In: *Journal of Dairy Science* 87 (2), S. 524–531. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73192-6.
- EL-BAHR, S. M.; KAHLBACHER, H.; RAUSCH, W.-D.; PALME, R. G. (2005): Excretion of catecholamines (adrenaline and noradrenaline) in domestic livestock. In: *Wien. Tierärztl. Mschr. - Vet. Med. Austria* (92), S. 207–213.
- ELFRICH, A.; ROESICKE, E. (2015): Rinderrassen, S. 20-24. 3. Auflage. Bonn: aid infodienst Ernährung Landwirtschaft Verbraucherschutz (AID, 1548). ISBN 9783830811800.
- ENDRES, M. I.; BARBERG, A. E. (2007): Behavior of dairy cows in an alternative bedded-pack housing system. In: *Journal of Dairy Science* 90 (9), S. 4192–4200. DOI: 10.3168/jds.2006-751.
- ENGELHARDT, W. von; AURICH, C. (2010): Physiologie der Haustiere, S. 609 pp.: Enke. ISBN 9783830410782.
- ERADUS, W. J.; ROSSING, W.; HOGWERF, P. H.; BENDERS, E. (1992): Signal processing of activity data for oestrus detection in dairy cattle. In: A. H. IPEMA, A. C. LIPPUS, J. H. M. METZ UND

- W. ROSSING (HG.): Prospects for Automatic Milking. Proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking: Pudoc Scientific Publishers. Wageningen (Netherlands), 23.-25.11.1992. Wageningen (EAAP publication, 65), S. 360–369. ISBN 90-220-1076-7, 9789022010761.
- ESSNER, A.; SJÖSTRÖM, R.; AHLGREN, E.; GUSTÅS, P.; EDGE-HUGHES, L.; ZETTERBERG, L.; HELLSTRÖM, K. (2015): Comparison of Polar® RS800CX heart rate monitor and electrocardiogram for measuring inter-beat intervals in healthy dogs. In: *Physiology & Behavior* 138, S. 247–253. DOI: 10.1016/j.physbeh.2014.10.034.
- ESSNER, A.; SJÖSTRÖM, R.; AHLGREN, E.; LINDMARK, B. (2013): Validity and reliability of Polar® RS800CX heart rate monitor, measuring heart rate in dogs during standing position and at trot on a treadmill. In: *Physiology & Behavior* 114-115, S. 1–5. DOI: 10.1016/j.physbeh.2013.03.002.
- FALLER, A.; SCHÜNKE, M.; SCHÜNKE, G. (1995): Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion, S. 133-150, 425-435. 12. Aufl. Stuttgart: Thieme (Flexibles Taschenbuch, 3014). ISBN 3-13-329712-0.
- FALTLHAUSER, M. (2016): Zahlen und Fakten zur Stromversorgung in Deutschland 2016, S. 1–24. Online verfügbar unter [https://www.wbu.de/pdf/positionen/20160725\\_WBUStrom2016.pdf](https://www.wbu.de/pdf/positionen/20160725_WBUStrom2016.pdf), zuletzt geprüft am 07.08.2017.
- FELDMANN, R. (2013): Wenn der Stall anruft. Alarmanlagen helfen beim Ausfall der Technik. Technik. In: *Bauernblatt*, 07.12.2013, S. 54–55.
- FEUCHTINGER, U.; FRANK, R.; RIEDL, J.; EGER, K. (2012): Smart Communications for Smart Grids. The Siemens View on the necessary communication infrastructure in order to support today's and tomorrow's Smart Grid applications with their requirements. Hg. v. Siemens, S. 1-11. Online verfügbar unter <http://w3.siemens.com/smartgrid/global/de/Ressourcencenter/Pages/Whitepaper-Download-Page.aspx>, zuletzt aktualisiert am 15.07.2013.
- FISCHER, A.-R. (2009): Die häufigsten Fehler bei der Besamung. Rind. In: *top agrar*, 2009 (12), S. R26-R29.
- FISHER, A.D.; VERKERK, G.A.; MORROW, C.J.; MATTHEWS, L.R. (2002): The effects of feed restriction and lying deprivation on pituitary–adrenal axis regulation in lactating cows. In: *Livestock Production Science* 73 (2-3), S. 255–263. DOI: 10.1016/S0301-6226(01)00246-9.
- FRANZ, J. (2014): Herzratenvariabilität als Marker kardialer vagaler Aktivität bei Patienten mit katatonen Schizophrenien im Vergleich zu Patienten mit anderen schizophrenen oder schizophreniformen Störungen, S. 20 pp. Dissertation. FREIE UNIVERSITÄT BERLIN, Berlin. Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin. Online verfügbar unter [http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS\\_derivative\\_000000014947/Diss\\_jfranz.pdf](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivative_000000014947/Diss_jfranz.pdf), zuletzt geprüft am 07.04.2016.
- FRASER, A. FERGUSON; BESSEI, W.; GLATTHAAR, A. (1978): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere, S. 17-53. Stuttgart: Ulmer (UTB für Wissenschaft Uni-Taschenbücher, 728). ISBN 3-800-12455-6.

- FRÉDÉRIC LEBEAU; HERINAINA ANDRIAMANDROSO\*, A. L.; JÉRÔME BINDELLE\*; BENOÎT MERCATORIS (2016): A review on the use of sensors to monitor cattle jaw movements and behavior when grazing. In: *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 20 (S1), S. 273–286.
- FREGONESI, J. A.; LEAVER, J.D. (2001): Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems. In: *Livestock Production Science* 68 (2-3), S. 205–216. DOI: 10.1016/S0301-6226(00)00234-7.
- FREGONESI, J. A.; LEAVER, J.D. (2002): Influence of space allowance and milk yield level on behaviour, performance and health of dairy cows housed in strawyard and cubicle systems. In: *Livestock Production Science* 78 (3), S. 245–257. DOI: 10.1016/S0301-6226(02)00097-0.
- FREGONESI, J. A.; TUCKER, C. B.; WEARY, D. M. (2007a): Overstocking reduces lying time in dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 90 (7), S. 3349–3354. DOI: 10.3168/jds.2006-794.
- FREGONESI, J. A.; VEIRA, D. M.; KEYSERLINGK, M. A. G. VON; WEARY, D. M. (2007b): Effects of bedding quality on lying behavior of dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 90 (12), S. 5468–5472. DOI: 10.3168/jds.2007-0494.
- FRICKE, P. M.; CARVALHO, P. D.; GIORDANO, J. O.; VALENZA, A.; LOPES, G.; AMUNDSON, M. C. (2014a): Expression and detection of estrus in dairy cows: the role of new technologies. In: *Animal: an international journal of animal bioscience* 8 Suppl 1, S. 134–143. DOI: 10.1017/S1751731114000299.
- FRICKE, P. M.; GIORDANO, J. O.; VALENZA, A.; LOPES, G.; AMUNDSON, M. C.; CARVALHO, P. D. (2014b): Reproductive performance of lactating dairy cows managed for first service using timed artificial insemination with or without detection of estrus using an activity-monitoring system. In: *Journal of Dairy Science* 97 (5), S. 2771–2781. DOI: 10.3168/jds.2013-7366.
- FRIEDRICH, A.; GRUDE, T.; KLEE, W.; LORENZ, I.; MATTHIES, K.; METZNER, M. et al. (2010): Klinische Propädeutik am Rind (Innere Medizin). Skript zur Vorlesung und Anleitung zu den praktischen Übungen, S. 6 pp., zuletzt geprüft am 10.08.2017.
- FRONDELIUS, L.; JÄRVENRANTA, K.; KOPONEN, T.; MONONEN, J. (2015): The effects of body posture and temperament on heart rate variability in dairy cows. In: *Physiology & Behavior* 139, S. 437–441. DOI: 10.1016/j.physbeh.2014.12.002.
- FRÜHWIRTH, M.; WOHLERS, J.; MESSERSCHMIDT, D.; BAARS, T.; WENZL, W.; MOSER, M. (2014): Herzratenvariabilität bei Rindern: Methodik zur Messung von vegetativer Reaktionslage und Stress. Hg. v. Human Research Institut für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung. Weiz, Österreich. Online verfügbar unter [http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/images/jdownloads/screenshots/thumbnails/\\_R\\_\\_\\_fodok\\_0\\_10556\\_hrv\\_rinder\\_postlufa11corr\\_\\_\\_pard17bd8b3bfd7d5d32c3c15735e42bc70\\_dat1403693599.jpeg](http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/images/jdownloads/screenshots/thumbnails/_R___fodok_0_10556_hrv_rinder_postlufa11corr___pard17bd8b3bfd7d5d32c3c15735e42bc70_dat1403693599.jpeg), zuletzt aktualisiert am 12.10.2016.
- FULKERSON, W. J.; SAWYER, G. J.; GOW, C. B. (1980): Investigations of ultradian and circadian rhythms in the concentration of cortisol and prolactin in the plasma of dairy cattle. In: *Australian journal of biological sciences* 33 (5), S. 557–561.

- GALINDO, F.; BROOM, D. M. (2000): The relationships between social behaviour of dairy cows and the occurrence of lameness in three herds. In: *Research in Veterinary Science* 69 (1), S. 75–79. DOI: 10.1053/rvsc.2000.0391.
- GALON, N. (2010): The Use of Pedometry for Estrus Detection in Dairy Cows in Israel. In: *J. Reprod. Dev.* 56, S. 48. DOI: 10.1262/jrd.1056S48.
- GANONG, W. F.; AUERSWALD, W.; BINDER, B.; MLCZUCH, J. (2013): Lehrbuch der Medizinischen Physiologie: Die Physiologie des Menschen für Studierende der Medizin und Ärzte, S. 344 pp.: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 9783662083123.
- GEIDEL, S.; BAUCH, A. (2013): Automatisierung des Treibens im Milchviehbetrieb. Beitrag auf der WGM-Webseite 2013. Hg. v. Wissenschaftliche Gesellschaft der Milcherzeugerberater e.V., S. 1-6. Online verfügbar unter [https://www.kuk-systems.de/images/Automatisierung\\_Treiben\\_Geidel\\_Bauch\\_2013.pdf](https://www.kuk-systems.de/images/Automatisierung_Treiben_Geidel_Bauch_2013.pdf), zuletzt geprüft am 16.08.2013.
- GERBER, A.; KROGMEIER, D.; EMMERLING, R.; GÖTZ, K.-U. (2007): Erstlaktationsleistungen und Laktationskurven von Fleckviehkühen in Abhängigkeit von der genetischen Milchleistungsanlagung des Vaters und der Betriebsintensität. In: *Züchtungskunde* 79 (4), S. 263–274.
- GONZALEZ, L. A.; CORREA, L. B.; FERRET, A.; MANTECA, X.; RUIZ-DE-LA-TORRE, J. L.; CALSAMIGLIA, S. (2009): Intake, water consumption, ruminal fermentation, and stress response of beef heifers fed after different lengths of delays in the daily feed delivery time. In: *Journal of Animal Science* 87 (8), S. 2709–2718. DOI: 10.2527/jas.2008-1709.
- GOREWIT, R. C.; SVENNERSTEN, K.; BUTLER, W. R.; UVNÄS-MOBERG, K. (1992): Endocrine Responses in Cows Milked by Hand and Machine. In: *Journal of Dairy Science* 75 (2), S. 443–448.
- GRÄFF, A.; HERRMANN, M.; PETERMEIER, H.; HOFFMANN, G.; BERNHARDT, H. (2017a): Effects of a simulated power cut in milking robots on the lying behavior of dairy cows. In: American Society of Agricultural and Biological Engineers (Hg.): ASABE 2017 Annual International Meeting. Spokane, Washington July 16-19, 2017. St. Joseph, Michigan, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, S. 1–11. DOI: 10.13031/aim.201700532.
- GRÄFF, A.; HÖLD, M.; STUMPENHAUSEN, J.; BERNHARDT, H. (2015): Auswirkungen eines Energieausfalls beim Melkroboter auf das Tierwohl und die Milchleistung. In: 12. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt, S. 294–299. ISBN 978-3-945088-09-8.
- GRÄFF, A.; MISTHILGER, B.; HÖLD, M.; WÖRZ, S.; STUMPENHAUSEN, J.; BERNHARDT, H. (2017b): Effects of Power Cuts on Dairy Cattle Behaviour. In: *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS* 58, S. 835. DOI: 10.3303/CET1758140.
- GRÄFF, A.; PALME, R.; PETERMEIER, H.; HÖLD, M.; STUMPENHAUSEN, J.; BERNHARDT, H. (2017c): Assessing Adrenocortical Activity in Dairy Cows During Simulated Power Cuts in Milking Robots. In: *International Journal of Engineering Research and Development* 13 (2), S. 38–43. Online verfügbar unter <http://ijerd.com/paper/vol13-issue2/Version-1/F13213843.pdf>, zuletzt geprüft am 16.03.2017.

- GRAHAM, L. H.; BROWN, J. L. (1996): Cortisol metabolism in the domestic cat and implications for non-invasive monitoring of adrenocortical function in endangered felids. In: *Zoo Biology* 15 (1), S. 71–82. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2361(1996)15:1<71::AID-ZOO7>3.0.CO;2-9.
- GRAUVOGL, A. (1984): Allgemeine Ethologie. In: HERMANN BOGNER, ANTON GRAUVOGL UND U. ANDREAE (HG.): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Stuttgart: Ulmer (Tierzuchtbücherei), S. 55 pp. ISBN 3-8001-4345-3.
- GYGAX, L.; NEUFFER, I.; KAUFMANN, C.; HAUSER, R.; WECHSLER, B. (2006): Milk Cortisol Concentration in Automatic Milking Systems Compared with Auto-Tandem Milking Parlors. In: *Journal of Dairy Science* 89 (9), S. 3447–3454. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72382-7.
- GYGAX, L.; NEUFFER, I.; KAUFMANN, C.; HAUSER, R.; WECHSLER, B. (2008): Restlessness behaviour, heart rate and heart-rate variability of dairy cows milked in two types of automatic milking systems and auto-tandem milking parlours. In: *Applied Animal Behaviour Science* 109 (2-4), S. 167–179. DOI: 10.1016/j.applanim.2007.03.010.
- HAGEN, K.; LANGBEIN, J.; SCHMIED, C et al. (2005): Heart rate variability in dairy cows—influences of breed and milking system. In: *Physiology & Behavior* 85 (2), S. 195–204. DOI: 10.1016/j.physbeh.2005.03.019.
- HAGEN, K.; LEXER, D.; PALME, R.; TROXLER, J.; WAIBLINGER, S. (2004): Milking of Brown Swiss and Austrian Simmental cows in a herringbone parlour or an automatic milking unit. In: *Applied Animal Behaviour Science* 88 (3), S. 209–225. DOI: 10.1016/j.applanim.2004.03.005.
- HALACHMI, I. (2009): Simulating the hierarchical order and cow queue length in an automatic milking system. In: *Biosystems Engineering* 102 (4), S. 453–460. DOI: 10.1016/j.biosystem-seng.2009.01.010.
- HALL, S. J. G. (2002): Behaviour of Cattle. In: PER JENSEN (HG.): The ethology of domestic animals. An introductory text. Wallingford, Oxon, UK, New York: CABI Pub, S. 131–143. ISBN 0851996027.
- HALLI, K.; KOCH, C.; ROMBERG, F.-J.; HOY, S. (2014): Bei der Brunst vergeht der Appetit. Fruchtbarkeit Neue Brunsterkennungssysteme setzen neben der Aktivität auch auf die Wiederkau-dauer als Kennzeichen. Doch ist dieses verlässlich? In: *dlz primus rind* (10), S. 18–19.
- HANSEN, S. S.; NØRGAARD, P.; PEDERSEN, C.; JØRGENSEN, R. J.; MELLAU, L.S.B.; ENEMARK, J. D. (2003): The Effect of Subclinical Hypocalcaemia Induced by Na<sup>2</sup>EDTA on the Feed Intake and Chewing Activity of Dairy Cows. In: *Veterinary Research Communications* 27 (3), S. 193–205. DOI: 10.1023/A:1023340506782.
- HARB, M. Y.; REYNOLDS, V. S.; CAMPLING, R. C. (1985): Eating behaviour, social dominance and voluntary intake of silage in group-fed milking cattle. In: *Grass and Forage Sci* 40 (1), S. 113–118. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1985.tb01727.x.
- HARMEYER, J. (2005): Herz. In: WOLFGANG VON ENGELHARDT, GERHARD BREVES UND FRANK AHRENS (HG.): Physiologie der Haustiere. 2., völlig neu bearb. Aufl. Stuttgart: Enke, S. 137–170. ISBN 3830410395.

- HARMS, J. (2012): Wirtschaftlichkeit automatischer Melksysteme unter Berücksichtigung der Übergangszeit vom konventionellen zum automatischen Melken. Abschlussbericht. Forschungs-Nr.: 1/27. Hg. v. Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Landesanstalt für Landwirtschaft und Fischerei. Gülzow-Prüzen, S. 21 pp. Online verfügbar unter [http://www.landwirtschaft-mv.de/static/LFA/Dateien/LFA%20Fachinformation%20Agrarökonomie%20Archiv%20TP\\_16\\_Forschungsbericht\\_1\\_27\\_x.pdf](http://www.landwirtschaft-mv.de/static/LFA/Dateien/LFA%20Fachinformation%20Agrarökonomie%20Archiv%20TP_16_Forschungsbericht_1_27_x.pdf), zuletzt aktualisiert am 09.08.2017.
- HARMS, J. H. (2005): Untersuchungen zum Einsatz verschiedener Varianten des Tierumtriebs bei automatischen Melksystemen (Einboxenanlagen). Zugl. Dissertation an der TU München, S. 15-53, 80-84. Unter Mitarbeit von JOHANN SCHÖN, HERMANN AUERNHAMMER UND FRIEDER J. SCHWARZ. Freising Weihenstephan: Technische Universität München.
- HART, K. D.; MCBRIDE, B. W.; DUFFIELD, T. F.; DEVRIES, T. J. (2014): Effect of frequency of feed delivery on the behavior and productivity of lactating dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 97 (3), S. 1713–1724. DOI: 10.3168/jds.2013-7504.
- HASEMANN, A. (2013): In der Ruhe liegt die Lösung. Klauengesundheit. In: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH (Hg.): dlz primus rind, Dezember 2013, S. 14–17.
- HEIDIG, K. (2007): Untersuchungen zu Milchejektionsstörungen bei erstlaktierenden Kühen, S. 27 pp. Diplomarbeit. HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN, Berlin. DOI: 10.18452/15656.
- HELMREICH, S.; HAUSER, R.; JUNGBLUTH, T.; WECHSLER, B.; GYGAX, L. (2014): Time-budget constraints for cows with high milking frequency on farms with automatic milking systems. In: *Livestock Science* 167, S. 315–322. DOI: 10.1016/j.livsci.2014.06.014.
- HERING, N.; MEIßNER, J.; RESCHKE, J. (2014): Schöne neue Industrielwelt? INDUSTRIE 4.0, BIG DATA UND DIE ZUKUNFT DER PRODUKTION. In: QZ 59, 2014, S. 36–39.
- HERMANS, G.G.N.; IPEMA, A. H.; STEFANOWSKA, J.; METZ, J.H.M. (2003): The Effect of Two Traffic Situations on the Behavior and Performance of Cows in an Automatic Milking System. In: *Journal of Dairy Science* 86 (6), S. 1997–2004. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73788-6.
- HERMANS, G.G.N.; MELIN, M.; PETTERSON, G.; WIKTORSSON, H. (2004): Behavior of high-and low-ranked dairy cows after redirection in selection gates in an automatic milking system. In: A. MEIJERING, H. HOGVEEN UND C.J.A.M. de KONING (HG.): Automatic Milking, a better understanding. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, S. 418–419. ISBN 978-90-76998-38-1. DOI: 10.3920/978-90-8686-525-3.
- HERSKIN, M. S.; MUNKSGAARD, L.; LADEWIG, J. (2004): Effects of acute stressors on nociception, adrenocortical responses and behavior of dairy cows. In: *Physiology & Behavior* 83 (3), S. 411–420. DOI: 10.1016/j.physbeh.2004.08.027.
- HILL, C. T.; KRAWCZEL, P. D.; DANN, H. M.; BALLARD, C. S.; HOVEY, R. C.; FALLS, W. A.; GRANT, R. J. (2009): Effect of stocking density on the short-term behavioural responses of dairy cows. In: *Applied Animal Behaviour Science* 117 (3-4), S. 144–149. DOI: 10.1016/j.applanim.2008.12.012.

HOFFMANN, B.; EVERS, P. (1986): Anabolic agents with sex hormone-like activities: Problems of residues. In: ANDRÉ G. RICO (HG.): Drug residues in animals. Orlando: Academic Press (Veterinary science and comparative medicine), S. 111–146. ISBN 9780125879705.

HOFFMANN, B.; SCHAMS, D.; GIMENEZ, T.; ENDER, M. L.; HERRMANN, C.; KARG, H. (1973): Changes of progesterone, total oestrogens, corticosteroids, prolactin and LH in bovine peripheral plasma around parturition with special reference to the effect of exogenous corticoids and a prolactin inhibitor respectively. In: *European Journal of Endocrinology* 73 (2), S. 385–395. DOI: 10.1530/acta.0.0730385.

HOFFMANN, G. (2008): Bewegungsaktivität und Stressbelastung bei Pferden in Auslaufhaltungssystemen mit verschiedenen Bewegungsangeboten, S. 65 pp. INAUGURAL-DISSERTATION. JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT, Gießen. Institut für Tierzucht und Haustiergenetik; Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Braunschweig. Online verfügbar unter <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2008/5973/pdf/HoffmannGundula-2008-05-26.pdf>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.

HOGVEEN, H.; OUWELTJES, W.; KONING, C.J.A.M. DE; STELWAGEN, K. (2001): Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. In: *Livestock Production Science* 72 (1-2), S. 157–167. DOI: 10.1016/S0301-6226(01)00276-7.

HÖLD, M.; BERNHARDT, H.; GRÄFF, A.; STUMPENHAUSEN, J. (2015): Grundlagenerarbeitung zur Implementierung eines On-Farm Energie Management Systems im Milchviehstall. In: *GIL Jahrestagung*, S. 73–76. Online verfügbar unter <http://cs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings238/73.pdf>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.

HÖLD, M.; GRÄFF, A.; STUMPENHAUSEN, J.; BERNHARDT, H. (2016): Basics for the energy distribution in a dairy barn with an energy management system. In: CLAUDIA KAMPHUIS UND WILMA STEENEVELD (HG.): Precision dairy farming 2016. First International Precision Dairy Farming Conference: Wageningen Academic Publishers. Leeuwarden, The Netherlands, 21 - 23 June 2016. Wageningen, S. 135–140. ISBN 978-90-8686-283-2.

HOLMAN, A.; THOMPSON, J.; ROUTLY, J. E.; CAMERON, J.; JONES, D. N.; GROVE-WHITE, D. et al. (2011): Comparison of oestrus detection methods in dairy cattle. In: *The Veterinary record* 169 (2), S. 47. DOI: 10.1136/vr.d2344.

HOLST, D. VON (2012): The Concept of Stress and Its Relevance for Animal Behavior. In: H. JANE BROCKMANN (HG.): Advances in the study of behavior, Bd. 27. Amsterdam, Boston: Elsevier (Advances in the Study of Behavior), S. 1–131. ISBN 9780120045273. DOI: 10.1016/S0065-3454(08)60362-9.

HOLZ, R. (2009): Benutzer Handbuch Pedometer-Logger. Ingenieurbüro Holz, Falkenhagen/Deutschland, 01/2009, S. 1–15.

HOLZER, S. M. (2015): Ermittlung der Stressbelastung von Milchkühen in cyberphysischen Systemen anhand der Herzaktivität. Bachelorarbeit. TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, Freising. Wissenschaftszentrum Weihenstephan.

HÖMBERG, D. (2014): Wieviel Milch darf im Euter bleiben? Rinder. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* 2014, 03.01.2014 (1), S. 42–43.

- HOPSTER, H.; BLOKHUIS, H. J. (1994): Validation of a heart-rate monitor for measuring a stress response in dairy cows. In: *Canadian Journal of Animal Science* 74 (3), S. 465–474. DOI: 10.4141/cjas94-066.
- HOPSTER, H.; BRUCKMAIER, R. M.; VAN DER WERF, J. T. N.; KORTE, S. M.; MACUHOVA, J.; KORTE-BOUWS, G.; VAN REENEN, C. G. (2002): Stress Responses during Milking; Comparing Conventional and Automatic Milking in Primiparous Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 85 (12), S. 3206–3216. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74409-3.
- HOPSTER, H.; VAN DER WERF, JOOP T.N.; BLOKHUIS, H. J. (1998): Side preference of dairy cows in the milking parlour and its effects on behaviour and heart rate during milking. In: *Applied Animal Behaviour Science* 55 (3-4), S. 213–229. DOI: 10.1016/S0168-1591(97)00064-6.
- HÖRNING, B.; ZEITLMANN, C.; TOST, J. (2001): Differences in the behaviour of dairy cows in the lying area of 40 loose houses. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2000. Vorträge anlässlich der 32. Internationalen Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., Fachgruppe Verhaltensforschung vom 9. bis 11. November 2000 in Freiburg/Breisgau. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: KTBL-Schrift, 403), S. 153–162. ISBN 3-7843-2132-1.
- HOY, S.; KRIETER, J.; GAULY, M. (2016): Nutztierhaltung und -hygiene, S. 11 pp. 2., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer (UTB Agrarwissenschaften, Veterinärmedizin, 2801). ISBN 978-3-8252-4369-2.
- HUBER-SCHLENSTEDT, R. (2010): AMS und Eutergesundheit - Vorbereitung und Kontrolle. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hg.): Automatisches Melken. Grub, 09.-10.07.2010. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Freising Weihenstephan, S. 17–34.
- HUDSON, S.; MULLORD, M.; WHITTLESTONE, W. G.; PAYNE, E. (1975): Diurnal Variations in Blood Cortisol in the Dairy Cow. In: *Journal of Dairy Science* 58 (1), S. 30–33. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(75)84513-9.
- HULSEN, J. (2015): Kuh-Signale. Krankheiten und Störungen früher erkennen, S. 26 pp. Unter Mitarbeit von DIRK ZAAIJER, JOOST DE VEER, OTLIS SAMPIMON, MENNO HOLZHAUER, JAN RIETJENS, JOEP DRIESSEN ET AL. Zutphen: Roodbont. ISBN 90-75280-54-8.
- HUZZEY, J. M.; NYDAM, D. V.; GRANT, R. J.; OVERTON, T. R. (2012): The effects of overstocking Holstein dairy cattle during the dry period on cortisol secretion and energy metabolism. In: *Journal of Dairy Science* 95 (8), S. 4421–4433. DOI: 10.3168/jds.2011-5037.
- HUZZEY, J. M.; VEIRA, D. M.; WEARY, D. M.; KEYSERLINGK, M. A. G. VON (2007): Prepartum behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis. In: *Journal of Dairy Science* 90 (7), S. 3220–3233. DOI: 10.3168/jds.2006-807.
- IMMERZ, M. (2006): Entwicklung eines autonomen Nachtreibesystems für Milchviehlaufställe und dessen Analyse hinsichtlich der Tier-Technik Interaktion, S. 25 pp. Bachelorarbeit. TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, Freising Weihenstephan. Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik.

- JACOBS, J. A.; SIEGFORD, J. M. (2012): Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. In: *Journal of Dairy Science* 95 (5), S. 2227–2247. DOI: 10.3168/jds.2011-4943.
- JOHNS, J.; PATT, A.; HILLMANN, E. (2015): Do Bells Affect Behaviour and Heart Rate Variability in Grazing Dairy Cows? In: *PloS one* 10 (6), S. e0131632. DOI: 10.1371/journal.pone.0131632.
- JONG, I. C. DE; VAN VOORST, S.; EHLHARDT, D. A.; BLOKHUIS, H. J. (2002): Effects of restricted feeding on physiological stress parameters in growing broiler breeders. In: *British poultry science* 43 (2), S. 157–168. DOI: 10.1080/00071660120121355.
- JÓNSSON, R.; BLANKE, M.; POULSEN, N. K.; CAPONETTI, F.; HØJSGAARD, S. (2011): Oestrus detection in dairy cows from activity and lying data using on-line individual models. In: *Computers and electronics in agriculture* 76 (1), S. 6–15. DOI: 10.1016/j.compag.2010.12.014.
- JUNGBLUTH, T.; BÜSCHER, W.; KRAUSE, M. (2005): Technik Tierhaltung, S. 40-46. Stuttgart: Ulmer (UTB Grundwissen Bachelor, 2641). ISBN 3825226417.
- KADZERE, C. T.; MURPHY, M. R.; SILANIKOVE, N.; MALTZ, E. (2002): Heat stress in lactating dairy cows. A review. In: *Livestock Production Science* 77 (1), S. 59–91. DOI: 10.1016/S0301-6226(01)00330-X.
- KAISER-WICHERN, A. (2017): Lely Wiederkauaktivität, 14.08.2017. Email an Anja Gräff. Laptop.
- KALUZA, G. (2015): Gelassen und sicher im Stress. Das Stresskompetenz-Buch: Stress erkennen, verstehen, bewältigen, S. 4 pp.: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 9783662458075.
- KÄMPER, H. (2010): Stromtipps - Hinweise zum effizienten Stromeinsatz in der Landwirtschaft. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft e. V. Berlin, S. 3 pp. Online verfügbar unter [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE\\_Stromtipps\\_Hinweise\\_zum\\_effizienten\\_Stromeinsatz\\_in\\_der\\_Landwirtschaft/\\$file/Tipps\\_Anlage.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Stromtipps_Hinweise_zum_effizienten_Stromeinsatz_in_der_Landwirtschaft/$file/Tipps_Anlage.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- KAMPF, D. (2016): Vorgehen bei einer Betriebsberatung. Fütterungs- und Haltungskontrolle auf einen Blick. Hg. v. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. Blekendorf, S. 2 pp. Online verfügbar unter [http://www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Landwirtschaft/Tier/Rinder/2016/Vorgehensweise\\_bei\\_einer\\_Betriebsberatung2.pdf](http://www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Landwirtschaft/Tier/Rinder/2016/Vorgehensweise_bei_einer_Betriebsberatung2.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- KARLIS, D.; XEKALAKI, E. (2005): Mixed poisson distributions. In: *International Statistical Review* 73 (1), S. 35–58. DOI: 10.1111/j.1751-5823.2005.tb00250.x.
- KASKE, M. (2005): Vormagenmotorik und Ingestapassage. In: WOLFGANG VON ENGELHARDT, GERHARD BREVES UND FRANK AHRENS (HG.): *Physiologie der Haustiere*. 2., völlig neu bearb. Aufl. Stuttgart: Enke, S. 326–337. ISBN 3830410395.
- KELLERER, S. (2015): Wieviel Strom braucht eine Kuh? Informationen und Tipps zum Energieeinsatz beim BBV Weilheim-Schongau in Oberhausen. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt*, 13.11.2015 (46), S. 17.
- KELLY, I.; ROTTON, J.; CULVER, R. (1985): The Moon Was Full and Nothing Happened. In: *Skeptical Inquirer* 11, S. 129–133, zuletzt geprüft am 29.08.2017.

- KERBRAT, S.; DISENHAUS, C. (2004): A proposition for an updated behavioural characterisation of the oestrus period in dairy cows. In: *Applied Animal Behaviour Science* 87 (3-4), S. 223–238. DOI: 10.1016/j.applanim.2003.12.001.
- KETELAAR-DE LAUWERE, C. C.; HENDRIKS, M. M. W. B.; ZONDAG, J.; IPEMA, A. H.; METZ, J. H. M.; NOORDHUIZEN, J. P. T. M. (2000): Influence of Routing Treatments on Cows' Visits to an Automatic Milking System, their Time Budget and Other Behaviour. In: *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science* 50 (3), S. 174–183. DOI: 10.1080/090647000750014304.
- KETELAAR-DE LAUWERE, C.C.; DEVIR, S.; METZ, J.H.M. (1996): The influence of social hierarchy on the time budget of cows and their visits to an automatic milking system. In: *Applied Animal Behaviour Science* 49 (2), S. 199–211. DOI: 10.1016/0168-1591(96)01030-1.
- KETELAAR-DE LAUWERE, C.C.; HENDRIKS, M.M.W.B.; METZ, J.H.M.; SCHOUTEN, W.G.P. (1998): Behaviour of dairy cows under free or forced cow traffic in a simulated automatic milking system environment. In: *Applied Animal Behaviour Science* 56 (1), S. 13–28. DOI: 10.1016/S0168-1591(97)00076-2.
- KEYSERLINGK, M.A.G. VON; RUSHEN, J.; DE PASSILLÉ, A. M.; WEARY, D. M. (2009): Invited review: The welfare of dairy cattle--key concepts and the role of science. In: *Journal of Dairy Science* 92 (9), S. 4101–4111. DOI: 10.3168/jds.2009-2326.
- KIDDY, C. A. (1977): Variation in Physical Activity as an Indication of Estrus in Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 60 (2), S. 235–243. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(77)83859-9.
- KINDERMANN, M.; FRÖHLIG, G. (2004): Körperliche Aktivität und Sport bei Schrittmacherpatienten. In: *Deutsches Ärzteblatt* / 101 (47), S. 3191–3197.
- KING, M. T. M.; CROSSLEY, R. E.; DEVRIES, T. J. (2016): Impact of timing of feed delivery on the behavior and productivity of dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 99 (2), S. 1471–1482. DOI: 10.3168/jds.2015-9790.
- KINGSLEY, M.; LEWIS, M. J.; MARSON, R. E. (2005): Comparison of Polar 810s and an ambulatory ECG system for RR interval measurement during progressive exercise. In: *International journal of sports medicine* 26 (1), S. 39–44. DOI: 10.1055/s-2004-817878.
- KNIERIM, U. (2002): Basic ethological considerations concerning the assessment of husbandry conditions with regard to farm animal welfare. In: *DTW. Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 109 (6), S. 261–266.
- KONDO, S.; HURNIK, J. F. (1990): Stabilization of social hierarchy in dairy cows. In: *Applied Animal Behaviour Science* 27 (4), S. 287–297. DOI: 10.1016/0168-1591(90)90125-W.
- KONDO, S.; SEKINE, J.; OKUBO, M.; ASAHIDA, Y. (1989): The effect of group size and space allowance on the agonistic and spacing behavior of cattle. In: *Applied Animal Behaviour Science* 24 (2), S. 127–135. DOI: 10.1016/0168-1591(89)90040-3.
- KÖNIG, H. E.; AURICH, C.; LIEBICH, H. G. (2012): Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis ; mit 53 Tabellen ; + Vet-Anatomie online, S. 439-450: Schattauer. ISBN 9783794528325.

- KONING, K. DE; OUWELTJES, W. (2001): Maximising the milking capacity of an automatic milking system. In: H. HOGEVEEN UND A. MEIJERING (HG.): *Robotic milking: Proceedings of the International Symposium held in Lelystad, The Netherlands, 17-19 August, 2000*. Second reprint. Wageningen: Pers, S. 38–46. ISBN 9074134874.
- KOOLHAAS, J. M.; KORTE, S. M.; BOER, S. F. DE; VAN DER VEGT, B. J.; VAN REENEN, C. G.; HOPSTER, H. et al. (1999): Coping styles in animals: current status in behavior and stress-physiology. In: *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 23 (7), S. 925–935. DOI: 10.1016/S0149-7634(99)00026-3.
- KOSCHACK, J. (2008): Standardabweichung und Standardfehler. Der kleine, aber feine Unterschied. In: *Zeitschrift für Allgemeinmedizin* 84 (6), S. 258–260. DOI: 10.1055/s-2008-1073146.
- KOVÁCS, L.; JURKOVICH, V.; BAKONY, M.; SZENCI, O.; PÓTI, P.; TÖZSÉR, J. (2014): Welfare implication of measuring heart rate and heart rate variability in dairy cattle. Literature review and conclusions for future research. In: *Animal* 8 (02), S. 316–330. DOI: 10.1017/S1751731113002140.
- KOVÁCS, L.; KEZER, F. L.; TOZSER, J.; SZENCI, O.; POTI, P.; PAJOR, F. (2015a): Heart Rate and Heart Rate Variability in Dairy Cows with Different Temperament and Behavioural Reactivity to Humans. In: *PloS one* 10 (8), S. e0136294. DOI: 10.1371/journal.pone.0136294.
- KOVÁCS, L.; KÉZÉR, F. L.; JURKOVICH, V.; KULCSÁR-HUSZENICZA, M.; TÖZSÉR, J. (2015b): Heart Rate Variability as an Indicator of Chronic Stress Caused by Lameness in Dairy Cows. In: *PloS one* 10 (8), S. e0134792. DOI: 10.1371/journal.pone.0134792.
- KRAFT, W. (2005): *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin*, S. 29 pp.: Schattauer. ISBN 9783794523085.
- KRAWCZEL, P. D.; KLAIBER, L. B.; BUTZLER, R. E.; KLAIBER, L. M.; DANN, H. M.; MOONEY, C. S.; GRANT, R. J. (2012a): Short-term increases in stocking density affect the lying and social behavior, but not the productivity, of lactating Holstein dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 95 (8), S. 4298–4308. DOI: 10.3168/jds.2011-4687.
- KRAWCZEL, P. D.; MOONEY, C. S.; DANN, H. M.; CARTER, M. P.; BUTZLER, R. E.; BALLARD, C. S.; GRANT, R. J. (2012b): Effect of alternative models for increasing stocking density on the short-term behavior and hygiene of Holstein dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 95 (5), S. 2467–2475. DOI: 10.3168/jds.2011-4686.
- KREUZER, M.; WENK, C.; LANZINI, T. (Hg.) (2008): *Globalisierung und Klimawandel. Verändern sie die Tierernährung in der Schweiz? Tagungsbericht, 6. Mai 2008, ETH-Zürich. KONGRESS. Zürich: Institut für Nutztierwissenschaften, Ernährung-Produkte-Umwelt, ETH-Zentrum (Schriftenreihe aus dem Institut für Nutztierwissenschaften, Ernährung-Produkte-Umwelt, ETH-Zürich, Bd. 30), S. 96 pp.*
- KROHN, C. C.; MUNKSGAARD, L. (1993): Behaviour of dairy cows kept in extensive (loose housing/pasture) or intensive (tie stall) environments II. Lying and lying-down behaviour. In: *Applied Animal Behaviour Science* 37 (1), S. 1–16. DOI: 10.1016/0168-1591(93)90066-X.

KROHN, C. C.; MUNKSGAARD, L.; JONASEN, B. (1992): Behaviour of dairy cows kept in extensive (loose housing/pasture) or intensive (tie stall) environments I. Experimental procedure, facilities, time budgets — diurnal and seasonal conditions. In: *Applied Animal Behaviour Science* 34 (1-2), S. 37–47. DOI: 10.1016/S0168-1591(05)80055-3.

KRUMMEL, K. (2013): Spezifizierung der Lokalisation von Technopathien unter besonderer Berücksichtigung von Dekubitus am Tarsus von Kühen mit der Erarbeitung von Grundlagen für die Erstellung einer Systematik zu Ort und Grad der Veränderungen, S. 54 pp. Dissertation. LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN, München. Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät. Online verfügbar unter [https://edoc.ub.uni-muenchen.de/15755/1/Krummel\\_Katharina.pdf](https://edoc.ub.uni-muenchen.de/15755/1/Krummel_Katharina.pdf), zuletzt geprüft am 19.08.2017.

KUČEVIĆ, D. (2009): Untersuchungen zu den soziometrischen Kenngrößen in Milchkuh-Herden, S. 64-65. Dissertation. JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT, Gießen. Institut für Tierzucht und Haustiergenetik. Online verfügbar unter [http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2010/7448/pdf/KucevicDenis\\_2009\\_12\\_04.pdf](http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2010/7448/pdf/KucevicDenis_2009_12_04.pdf), zuletzt geprüft am 19.08.2017.

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2013): Automatische Melksysteme. Verfahren - Kosten - Bewertung, S. 23 pp. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL-Schrift, 497). ISBN 978-3-941583-78-8.

KYTHREOTOU, N.; FLORIDES, G.; TASSOU, S. A. (2012): A proposed methodology for the calculation of direct consumption of fossil fuels and electricity for livestock breeding, and its application to Cyprus. In: *Energy* 40 (1), S. 226–235. DOI: 10.1016/j.energy.2012.01.077.

LADEWIG, J. (1994): Streß. In: FRIEDEMANN DÖCKE (HG.): Veterinärmedizinische Endokrinologie. Mit 165 Tabellen. 3., völlig überarb. und erw. Aufl. Jena [u.a.]: Fischer, S. 377–398. ISBN 9783334604328.

LANSER, E. W. (2000): Bedeutung der Zwischenmelkzeit bei Automatischen Melksystemen. In: *Milchpraxis* 38 (2), S. 88–91. Online verfügbar unter <https://www.vetion.de/tipinfo/pdf/milchpraxis/MP2-88-91.pdf>, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

LAZ BW (2011): Merkblatt Melken. Milcherzeugung. Das kleine 1 x 1 des Melkens. Hg. v. Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg. Aulendorf, S. 1-2. Online verfügbar unter [http://www.lazbw.de/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw\\_rh/pdf/m/Merkblatt\\_Melken\\_neu.pdf?attachment=true](http://www.lazbw.de/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_rh/pdf/m/Merkblatt_Melken_neu.pdf?attachment=true), zuletzt geprüft am 09.08.2017.

LE NEINDRE, P. (1989): Influence of rearing conditions and breed on social behaviour and activity of cattle in novel environments. In: *Applied Animal Behaviour Science* 23 (1-2), S. 129–140. DOI: 10.1016/0168-1591(89)90013-0.

LEFCOURT, A. M.; BITMAN, J.; KAHL, S.; WOOD, D. L. (1993): Circadian and Ultradian Rhythms of Peripheral Cortisol Concentrations in Lactating Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 76 (9), S. 2607–2612. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(93)77595-5.

LEFCOURT, A. M.; EREZ, B.; VARNER, M. A.; BARFIELD, R.; TASCH, U. (1999): A Noninvasive Radiotelemetry System to Monitor Heart Rate for Assessing Stress Responses of Bovines. In: *Journal of Dairy Science* 82 (6), S. 1179–1187. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75341-5.

- LEFCOURT, A. M.; KAHL, S.; AKERS, R. M. (1986): Correlation of Indices of Stress with Intensity of Electrical Shock for Cows. In: *Journal of Dairy Science* 69 (3), S. 833–842. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(86)80473-8.
- LEHNERT, S. (2008): Welcher Melkroboter für meinen Betrieb? In: *top agrar*, 2008 (3), S. R24-R29. Online verfügbar unter <https://www.topagrar.com/archiv/Welcher-Melkroboter-fuer-meinen-Betrieb-170576.html?action=download>, zuletzt geprüft am 19.08.2017.
- LEINBERGER, P. M. (2011): Untersuchung zur Stressbelastung von Rothirschen (*Cervus elaphus*) im Rahmen tierseuchenrechtlicher Eingriffe, S. 33, 61-62. Dissertation. LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN, München. Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung. Online verfügbar unter [https://edoc.ub.uni-muenchen.de/13536/1/Leinberger\\_Peter-Michael.pdf](https://edoc.ub.uni-muenchen.de/13536/1/Leinberger_Peter-Michael.pdf), zuletzt geprüft am 08.10.2014.
- LEMMER FULLWOOD GMBH (2014): Energiekonzepte für Milchviehbetriebe. Energie. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* (17), S. 48.
- LEPSCHY, M.; RETTENBACHER, S.; TOUMA, C.; PALME, R. G. (2008): Excretion of catecholamines in rats, mice and chicken. In: *Journal of comparative physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology* 178 (5), S. 629–636. DOI: 10.1007/s00360-008-0254-z.
- LEXER, D.; HAGEN, K.; LEJSCH, F.; PALME, R.; TROXLER, J.; WAIBLINGER, S. (2005): Zeitbudgets, Sozialverhalten und Kortisolmetabolitenkonzentrationen bei Fleckvieh- und Braunviehkühen, die in einem Roboter oder im Fischgrätenmelkstand gemolken werden. In: KATHRIN EINSCHÜTZ (HG.): Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2004. Vorträge anlässlich der 36. Internationalen Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., Fachgruppe Verhaltensforschung vom 17. bis 20. November 2004 in Freiburg/Breisgau. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverl. (KTBL-Schrift, 437), S. 115–123. ISBN 9783784321837.
- LEXER, D.; HAGEN, K.; PALME, R.; TROXLER, J.; WAIBLINGER, S. (2009): Time budgets and adrenocortical activity of cows milked in a robot or a milking parlour: interrelationships and influence of social rank. In: *Animal Welfare* (18), S. 73–80.
- LEXER, D.; HAGEN, K.; VOSIKA, B.; KHOL, J. L. (2003): Einfluss eines automatischen Melksystems auf Verhalten, Physiologie und Gesundheit von Milchkühen unter Berücksichtigung der Herdenüberwachung und verschiedener Fütterungsvarianten. Forschungsprojekt 1206 sub. Endbericht. Unter Mitarbeit von S. WAIBLINGER UND J. TROXLER. Hg. v. Institut für Tierhaltung und Tierschutz, S. 89 pp.
- LIEBHART, S. (2009): Auswirkungen einer Änderung der Haltungsumwelt auf ethologische, morphologische und hygienische Parameter einer Milchviehherde, S. 13 pp. Dissertation. LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT, München. Tierärztlichen Fakultät, Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung. Online verfügbar unter [https://edoc.ub.uni-muenchen.de/10153/1/Liebhart\\_Sarah.pdf](https://edoc.ub.uni-muenchen.de/10153/1/Liebhart_Sarah.pdf), zuletzt geprüft am 19.08.2017.
- LISTE, P. (2013): Fleckvieh: Milchleistung wie vom anderen Stern. Management. In: *top agrar* (7), S. R16-R23.
- LOEFFLER, K.; GÄBEL, G. (2013): Anatomie und Physiologie der Haustiere. 33 Tabellen, S. 165-181. 13., überarb. Aufl. Stuttgart: Ulmer (UTB, 13). ISBN 3800129574.

- LÖLLGEN, D.; MÜCK, H.; MÜCK-WEYMANN, M. (2016): Kleines HRV-Lexikon (inkl. autonome Funktionen). Herzratenvariabilität und autonome Funktion – Begriffe und Parameter. Köln. Online verfügbar unter <http://www.hrv24.de/index.htm>, zuletzt geprüft am 13.08.2017.
- LÖLLGEN, H. (1999): Herzfrequenzvariabilität. Serie: Neue Methoden in der kardialen Funktionsdiagnostik. In: *Deutsches Ärzteblatt* 96 (31-32), S. 2029–2032. Online verfügbar unter <http://www.aerzteblatt.de/pdf/96/31/a2029-2.pdf>, zuletzt geprüft am 17.08.2015.
- LÖLLGEN, H. (2015): Herzfrequenz und Blutdruck. In: JOSEF NIEBAUER (HG.): Sportkardiologie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 87–105. ISBN 978-3-662-43710-0. DOI: 10.1007/978-3-662-43711-7\_9.
- LU, Z. L.; YUAN, K.-H. (2010): Welch's t test. In: NEIL J. SALKIND (HG.): Encyclopedia of research design. Thousand Oaks, Calif: Sage, S. 1620–1623. ISBN 978-1-4129-6127-1. DOI: 10.13140/RG.2.1.3057.9607.
- LUPOLI, B.; JOHANSSON, B.; UVNÄS-MOBERG, K.; SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. (2001): Effect of suckling on the release of oxytocin, prolactin, cortisol, gastrin, cholecystokinin, somatostatin and insulin in dairy cows and their calves. In: *J. Dairy Res.* 68 (2), S. 175–187. DOI: 10.1017/S0022029901004721.
- LÜRZEL, S.; MÜNSCH, C.; WINDSCHNURER, I.; FUTSCHIK, A.; PALME, R.; WAIBLINGER, S. (2015): The influence of gentle interactions on avoidance distance towards humans, weight gain and physiological parameters in group-housed dairy calves. In: *Applied Animal Behaviour Science* 172, S. 9–16. DOI: 10.1016/j.applanim.2015.09.004.
- LUTHER, H. (2003): Untersuchungen zum automatischen Melken am Beispiel einer Melkboxenanlage. Dissertation an der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, S. 1 pp. Unter Mitarbeit von E. KALM UND D. ORDOLFF. Kiel: Selbstverlag des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (141).
- LUTHER, H.; JUNGE, W.; KALM, E. (2002): Space requirements in feeding, resting and waiting areas of robotic milking facilities. In: The first North American Conference on Robotic Milking. March 20-22, 2002, Toronto, Canada: Wageningen Pers. North American Conference on Robotic Milking. Wageningen, S. 20–22. ISBN 9076998124.
- LUTZ, B. (2000): Kuhkomfort als Voraussetzung für hohe Leistungen. (Stallklima, Haltung, Bewegung). In: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (Hg.): 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 6. - 8. Juni 2000. Gumpenstein, S. 27–30.
- MAATJE, K.; LOEFFLER, S. H.; ENGEL, B. (1997): Predicting Optimal Time of Insemination in Cows that Show Visual Signs of Estrus by Estimating Onset of Estrus with Pedometers. In: *Journal of Dairy Science* 80 (6), S. 1098–1105. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76035-1.
- MACADAM, W. R.; EBERHART, R. J. (1972): Diurnal Variation in Plasma Corticosteroid Concentration in Dairy Cattle. In: *Journal of Dairy Science* 55 (12), S. 1792–1795. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(72)85760-6.
- MACDONALD, I. A.; BOKKENHEUSER, V. D.; WINTER, J.; MCLERNON, A. M.; MOSBACH, E. H. (1983): Degradation of steroids in the human gut. In: *Journal of Lipid Research* 24 (6), S. 675–700.

Online verfügbar unter <http://www.jlr.org/content/24/6/675.full.pdf>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

MACDONALD, P. D. M.; PITCHER, T. J. (1979): Age-Groups from Size-Frequency Data. A Versatile and Efficient Method of Analyzing Distribution Mixtures. In: *J. Fish. Res. Bd. Can.* 36 (8), S. 987–1001. DOI: 10.1139/f79-137.

MAČUHOVÁ, J.; TANČIN, V.; BRUCKMAIER, R. M. (2003): Oxytocin release, milk ejection and milk removal in a multi-box automatic milking system. In: *Livestock Production Science* 81 (2-3), S. 139–147. DOI: 10.1016/S0301-6226(02)00304-4.

MALIK, M.; CAMM, A. J. (1996): Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. Electrophysiology, Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing. In: *Circulation* 93 (5), S. 1043–1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.

MAMMEN, N. (2014): Damit es gut läuft. Klauenkrankheiten werden durch Management, Haltung, Fütterung und Hygiene beeinflusst. Niko Mammen hat sich einmal genauer angeschaut, was getan werden muss, damit die Milchkuh gut laufen kann. Klauengesundheit. In: *dlz primus rind* (8), S. 28–30, zuletzt geprüft am 07.01.2015.

MANTECA, X.; DEAG, J. M. (1993): Individual differences in temperament of domestic animals: A review of methodology. In: *Animal Welfare* 2 (3), S. 247–268.

MARCHANT-FORDE, R. M.; MARLIN, D. J.; MARCHANT-FORDE, J. N. (2004): Validation of a cardiac monitor for measuring heart rate variability in adult female pigs: accuracy, artefacts and editing. In: *Physiology & Behavior* 80 (4), S. 449–458. DOI: 10.1016/j.physbeh.2003.09.007.

MARTIN, P.; BATESON, P. (2007): Measuring behaviour. An introductory guide, S. 48-70. 3rd ed. Cambridge, New York: Cambridge University Press. ISBN 9780521535632.

MATTACHINI, G.; RIVA, E.; PERAZZOLO, F.; NALDI, E.; PROVOLO, G. (2016): Monitoring feeding behaviour of dairy cows using accelerometers. In: *Journal of Agricultural Engineering* 47 (1), S. 54–58. DOI: 10.4081/jae.2016.498.

MELIN, M.; HERMANS, G.G.N.; PETTERSSON, G.; WIKTORSSON, H. (2006): Cow traffic in relation to social rank and motivation of cows in an automatic milking system with control gates and an open waiting area. In: *Applied Animal Behaviour Science* 96 (3-4), S. 201–214. DOI: 10.1016/j.applanim.2005.06.013.

MENDL, M.; ZANELLA, A. J.; BROOM, D. M. (1992): Physiological and reproductive correlates of behavioural strategies in female domestic pigs. In: *Animal Behaviour* 44 (6), S. 1107–1121. DOI: 10.1016/S0003-3472(05)80323-9.

MENKE, C.; WAIBLINGER, S.; FÖLSCH, D. W.; WIEPKEMA, P. R. (1999): Social Behaviour and Injuries of Horned Cows in Loose Housing Systems. In: *Animal Welfare* 8 (3), S. 243–258.

MENKE, C. A. (1996): Laufstallhaltung mit behornten Milchkühen, S. 8-9. Diss. Techn. Wiss. Nr. 11379. ETH ZÜRICH. DOI: 10.3929/ethz-a-001563107.

METZ-STEFANOWSKA, J.; HUIJSMANS, P.J.M.; HOGWERF, P. H.; IPEMA, A. H.; KEEN, A. (1992): Behaviour of cows before, during and after milking with an automatic milking system. In: A. H.

- IPEMA, A. C. LIPPUS, J. H. M. METZ UND W. ROSSING (HG.): Prospects for Automatic Milking. Proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking: Pudoc Scientific Publishers. Wageningen (Netherlands), 23.-25.11.1992. Wageningen (EAAP publication, 65), S. 278–288. ISBN 90-220-1076-7, 9789022010761.
- MIEDEMA, T.; DEVRIES, T. J. (2016): Association between rumination behavior, milk yield, and milk composition in dairy cows kept on commercial farms. In: *Journal of Animal Science* 94 (supplement 5), S. 33–34. DOI: 10.2527/jam2016-0073.
- MILLER, K.; WOOD-GUSH, D. G. M. (1991): Some effects of housing on the social behaviour of dairy cows. In: *Anim. Prod.* 53 (03), S. 271–278. DOI: 10.1017/S0003356100020262.
- MILLMAN, S. T.; DUNCAN, I. J.H.; STAUFFACHER, M.; STOOKEY, J. M. (2004): The impact of applied ethologists and the International Society for Applied Ethology in improving animal welfare. In: *Applied Animal Behaviour Science* 86 (3-4), S. 299–311. DOI: 10.1016/j.applanim.2004.02.008.
- MISTHILGER, B. (2015): Verhaltensuntersuchungen bei Milchkühen in cyberphysischen Systemen, S. 21-23. Bachelorarbeit. TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, Freising Weihenstephan. Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik.
- MOBERG, G. P.; MENCH, J. A. (2000): The biology of animal stress. Basic principles and implications for animal welfare, S. 1-21. Oxon, UK, New York: CABI Pub. ISBN 0851993591.
- MOHR, E.; LANGBEIN, J.; NÜRNBERG, G. (2002): Heart rate variability. In: *Physiology & Behavior* 75 (1-2), S. 251–259. DOI: 10.1016/S0031-9384(01)00651-5.
- MORGAN, K. N.; TROMBORG, C. T. (2007): Sources of stress in captivity. In: *Applied Animal Behaviour Science* 102 (3-4), S. 262–302. DOI: 10.1016/j.applanim.2006.05.032.
- MORMÈDE, P. (1990): Neuroendocrine responses to social stress. In: RENÉ ZAYAN UND ROBERT DANTZER (HG.): Social stress in domestic animals. A seminar in the Community Programme for the Coordination of Agricultural Research, held in Brussels, Belgium, 26-27 May 1988. Dordrecht, Boston: Kluwer Academic Publishers (EUR, 11710), S. 203–211. ISBN 0-7923-0615-5.
- MORROW, C. J.; KOLVER, E. S.; VERKERK, G. A.; MATTHEWS, L. R. (2002): Fecal glucocorticoid metabolites as a measure of adrenal activity in dairy cattle. In: *General and comparative endocrinology* 126 (2), S. 229–241. DOI: 10.1006/gcen.2002.7797.
- MÖSTL, E. (2014): Glucocorticoids, their metabolites and their measurement in various animal species. In: *Medycyna Weterynaryjna* 70 (9), S. 524–529. Online verfügbar unter <https://www.cabdirect.org/cabdirect/FullTextPDF/2014/20143325688.pdf>, zuletzt geprüft am 19.08.2017.
- MÖSTL, E.; MAGGS, J. L.; SCHRÖTTER, G.; BESENFELDER, U.; PALME, R. (2002): Measurement of Cortisol Metabolites in Faeces of Ruminants. In: *Veterinary Research Communications* (26), S. 127–139. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1014095618125.pdf>, zuletzt geprüft am 19.08.2017.

- MÖSTL, E.; MESSMANN, S.; BAGU, E.; ROBIA, C.; PALME, R. (1999): Measurement of Glucocorticoid Metabolite Concentrations in Faeces of Domestic Livestock. In: *J Vet Med Series A* 46 (10), S. 621–631. DOI: 10.1046/j.1439-0442.1999.00256.x.
- MÖSTL, E.; PALME, R. (2002): Hormones as indicators of stress. In: *Domestic Animal Endocrinology* (23), S. 67–74. DOI: 10.1016/S0739-7240(02)00146-7.
- MÖSTL, E.; PALME, R. (2008): Measuring faecal steroid metabolites with enzymeimmunoassays (EIA) on microtitre plates using biotinylated steroids as labels. Hg. v. University of Veterinary Medicine. Vienna, Austria, S. 1-2.
- MÖSTL, E.; RETTENBACHER, S.; PALME, R. (2005): Measurement of corticosterone metabolites in birds' droppings: an analytical approach. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 1046, S. 17–34. DOI: 10.1196/annals.1343.004.
- MOTTRAM, T. (2016): Animal board invited review. Precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. In: *Animal* 10 (10), S. 1575–1584. DOI: 10.1017/S1751731115002517.
- MOUNIER, L.; DUBROEUCQ, H.; ANDANSON, S.; VEISSIER, I. (2006): Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. In: *Journal of Animal Science* 84 (6), S. 1567–1576.
- MÜLLEDER, C.; PALME, R.; MENKE, C.; WAIBLINGER, S. (2003): Individual differences in behaviour and in adrenocortical activity in beef-suckler cows. In: *Applied Animal Behaviour Science* 84 (3), S. 167–183. DOI: 10.1016/j.applanim.2003.08.007.
- MÜLLER, C.; WINTER, C.; ROSENBAUM, D. (2010): Aktuelle objektive Messverfahren zur Erfassung körperlicher Aktivität im Vergleich zu subjektiven Erhebungsmethoden. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 61 (1), S. 11–18.
- MUNCK, A.; GUYRE, P. M.; HOLBROOK, N. J. (1984): Physiological Functions of Glucocorticoids in Stress and Their Relation to Pharmacological Actions\*. In: *Endocrine Reviews* 5 (1), S. 25–44. DOI: 10.1210/edrv-5-1-25.
- MUNKSGAARD, L.; JENSEN, M. B.; PEDERSEN, L. J.; HANSEN, S. W.; MATTHEWS, L. (2005): Quantifying behavioural priorities—effects of time constraints on behaviour of dairy cows, *Bos taurus*. In: *Applied Animal Behaviour Science* 92 (1-2), S. 3–14. DOI: 10.1016/j.applanim.2004.11.005.
- MUNKSGAARD, L.; RUSHEN, J.; PASSILLÉ, A. M. DE; KROHN, C. C. (2011): Forced versus free traffic in an automated milking system. In: *Livestock Science* 138 (1-3), S. 244–250. DOI: 10.1016/j.livsci.2010.12.023.
- MUNKSGAARD, L.; SIMONSEN, H. B. (1996): Behavioral and pituitary adrenal-axis responses of dairy cows to social isolation and deprivation of lying down. In: *Journal of Animal Science* 74 (4), S. 769–778. DOI: 10.2527/1996.744769x.
- NECHANITZKY, K.; STARKE, A.; MÜLLER, H.; RECKHARDT, M.; VIDONDO, B.; STEINER, A. (2015): Automatisierte Erkennung von Klauenhorndefekten einhergehend mit Lahmheiten bei Milchkühen. In: 12. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung.

Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt, S. 155–157. ISBN 978-3-945088-09-8.

NIEDERHÖFER, S. (2009): Stressbelastung bei Pferden in Abhängigkeit des Haltungssystems, S. 21 pp. Dissertation. TIERÄRZTLICHE HOCHSCHULE HANNOVER, Hannover. Online verfügbar unter <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/ZW5UHKSSVIZON5YGUUG2LT443J4S6G6W/full/1.pdf>, zuletzt geprüft am 17.08.2017.

NIELSEN, L. R.; PEDERSEN, A. R.; HERSKIN, M. S.; MUNKSGAARD, L. (2010): Quantifying walking and standing behaviour of dairy cows using a moving average based on output from an accelerometer. In: *Applied Animal Behaviour Science* 127, S. 12–19.

NORRING, M.; VALROS, A. (2016): The effect of lying motivation on cow behaviour. In: *Applied Animal Behaviour Science* 176, S. 1–5. DOI: 10.1016/j.applanim.2015.11.022.

NORRING, M.; VALROS, A.; MUNKSGAARD, L. (2012): Milk yield affects time budget of dairy cows in tie-stalls. In: *Journal of Dairy Science* 95 (1), S. 102–108. DOI: 10.3168/jds.2010-3458.

NOWAK, R.; BOIVIN, X. (2015): Filial attachment in sheep: Similarities and differences between ewe-lamb and human-lamb relationships. In: *Applied Animal Behaviour Science* 164, S. 12–28. DOI: 10.1016/j.applanim.2014.09.013.

NYDEGGER, F.; LORENZ GYGAX; WENDELIN, E. (2011): Automatisches Messen der Kaubewegungen bei Wiederkäuern mit Hilfe eines Drucksensors. In: *Agrarforschung Schweiz* 2 (2), S. 60–65.

OBERSCHÄTZL, R.; HAIDN, B.; HARMS, J.; PEIS, R.; STITZELBERGER, I.; ROSE, T.; BERNHARDT, H. (2013): Die automatisierte Erfassung des Verhaltens von Milchkühen – ein Vergleich. 400–405 Seiten / LANDTECHNIK, Bd. 68, Nr. 6 (2013). DOI: 10.15150/lt.2013.256.

O'DRISCOLL, K.; GLEESON, D.; O'BRIEN, B.; BOYLE, L. (2011): Does omission of a regular milking event affect cow comfort? In: *Livestock Science* 138 (1-3), S. 132–143. DOI: 10.1016/j.livsci.2010.12.013.

PACHE, S. (2013): Die richtige finden. Melktechnik. In: *dlz primus rind*, 2013 (7), S. 14–17.

PAHLKE, M. (2014): Mehr Tränkeplatz bringt mehr Milch. Fütterung - Warum häufigeres Füttern besser ist und mehr Tränkeplatz zu mehr Milch führt, erläutert Trevor DeVries von der Universität Guelph, Kanada. In: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH (Hg.): *dlz primus rind* 2014, Bd. 1. Unter Mitarbeit von Markus Pahlke, Maren Diersing-Espenhorst und Anneke Hase-mann. München, S. 12–13.

PALME, R. (2005): Measuring fecal steroids: Guidelines for practical application. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 1046, S. 75–80. DOI: 10.1196/annals.1343.007.

PALME, R. (2012): Monitoring stress hormone metabolites as a useful, non-invasive tool for welfare assessment in farm animals. In: *Animal Welfare* 21 (3), S. 331–337. DOI: 10.7120/09627286.21.3.331.

PALME, R.; FISCHER, P.; SCHILDORFER, H.; ISMAIL, M. N. (1996): Excretion of infused <sup>14</sup>C-steroid hormones via faeces and urine in domestic livestock. In: *Animal Reproduction Science* 43 (1), S. 43–63.

- PALME, R.; MÖSTL, E. (1997): Measurement of cortisol metabolites in faeces of sheep as a parameter of cortisol concentration in blood. In: *Zeitschrift fuer Säugetierkunde* 62 (2), S. 192–197.
- PALME, R.; MÖSTL, E. (2001): Determination of faecal cortisol metabolites in domestic livestock for non-invasive monitoring of disturbances. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2000. Vorträge anlässlich der 32. Internationalen Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., Fachgruppe Verhaltensforschung vom 9. bis 11. November 2000 in Freiburg/Breisgau. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: KTBL-Schrift, 403), S. 9–17. ISBN 3-7843-2132-1.
- PALME, R.; RETTENBACHER, S.; TOUMA, C.; EL-BAHR, S. M.; MÖSTL, E. (2005): Stress hormones in mammals and birds: comparative aspects regarding metabolism, excretion, and noninvasive measurement in fecal samples. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 1040, S. 162–171. DOI: 10.1196/annals.1327.021.
- PALME, R.; ROBIA, C.; BAUMGARTNER, W.; MÖSTL, E. (2000): Transport stress in cattle as reflected by an increase in faecal cortisol metabolite concentrations. In: *Veterinary Record* 146 (4), S. 108–109. DOI: 10.1136/vr.146.4.108.
- PALME, R.; ROBIA, C.; MESSMANN, S.; HOFER, J.; MÖSTL, E. (1999): Measurement of fecal cortisol metabolites in ruminants: A non-invasive parameter of adrenocortical function. In: *Wien. Tierärztl. Mschr. - Vet. Med. Austria* 86 (7), S. 237–241.
- PALME, R.; TOUMA, C.; ARIAS, N.; DOMINCHIN, M. F.; LEPSCHY, M. (2013): Steroid extraction: get the best out of faecal samples. In: *Wien. Tierärztl. Mschr. - Vet. Med. Austria* 100, S. 238–246.
- PALME, R.; WETSCHER, F.; WINCKLER, C. (2003): Measuring faecal cortisol metabolites: a non-invasive tool to assess animal welfare in cattle. In: JOSIP KOS (HG.): International scientific and professional congress. Proceedings = Međunarodni znanstveni stručni kongres : zbornik radova. Zagreb: Veterinarski fakultet; Hrvatska veterinarska komora, S. 145–150. ISBN 9789536062423.
- PASTELL, M.; AISLA, A.-M.; HAUTALA, M.; POIKALAINEN, V.; PRAKS, J.; VEERMÄE, I.; AHOKAS, J. (2006): Contactless measurement of cow behavior in a milking robot. In: *Behavior Research Methods* 38 (3), S. 479–486. DOI: 10.3758/BF03192802.
- PELZER, A.; BÜSCHER, W.; HERRMANN, H.-J. (2012): Planungshinweise zur Liegeboxengestaltung für Milchkühe. In: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft - DLG e.V. (Hg.): Merkblätter und Arbeitsblätter, Bd. 379. Unter Mitarbeit von Michael Biallowons. Frankfurt am Main: DLG-Verlag GmbH (Merkblätter und Arbeitsblätter), S. 1–19. Online verfügbar unter [http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt\\_379.pdf](http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt_379.pdf), zuletzt geprüft am 05.10.2016.
- PERERA, K. S.; GWAZDAUSKAS, F. C.; PEARSON, R. E.; BRUMBACK, T. B. (1986): Effect of Season and Stage of Lactation on Performance of Holsteins. In: *Journal of Dairy Science* 69 (1), S. 228–236. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(86)80390-3.
- PESENHOFER, G.; PALME, R.; PESENHOFER, R. M.; KOFLER, J. (2006): Comparison of two methods of fixation during functional claw trimming - walk-in crush versus tilt table - in dairy cows

- using faecal cortisol metabolite concentrations and daily milk yield as parameters. In: *Wien. Tierärztl. Mschr. - Vet. Med. Austria* (93), S. 288–294. Online verfügbar unter <http://www.wtm.at/Archiv.html#>, zuletzt geprüft am 14.12.2015.
- PETER, H.; PENZEL, T.; PETER, J. H. (2007): Enzyklopädie der Schlafmedizin, S. 1254 pp. Berlin: Springer Medizin. ISBN 978-3-540-28839-8.
- PHILLIPS, C. J. C. (1993): Cattle behaviour, S. 212 pp. Ipswich, UK: Farming Press Books. ISBN 9780852362518.
- PHILLIPS, C. J. C. (2002): Cattle behaviour and welfare, S. 49, 94, 149-151. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science. ISBN 0632056452.
- POLAR ELECTRO OY (2013): RS800CX Gebrauchsanleitung, S. 40, 60-61, 69. Kempele.
- POMMER, R.; ECKEL, H.; HARTMANN, W.; KÄMPER, H. (2014): Energiebedarf in der Milchviehhaltung, S. 33 pp. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL-Heft, 104). ISBN 978-3-945088-00-5.
- PORGES, S. W. (1995): Cardiac vagal tone. A physiological index of stress. In: *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 19 (2), S. 225–233. DOI: 10.1016/0149-7634(94)00066-A.
- PORZIG, E.; TEMBROCK, G.; ENGELMANN, C.; SIGNORET, J. P.; CZAKO, J. (1969): Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere, S. 121 pp. 1. Aufl. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH.
- POTTER, M. J.; BROOM, D. M. (1986): Behaviour and welfare of cows in a cubicle house. In: *Applied Animal Behaviour Science* 16 (1), S. 94–95. DOI: 10.1016/0168-1591(86)90048-1.
- PRESCOTT, N. B.; MOTTRAM, T. T.; WEBSTER, A. J. F. (1998a): Effect of food type and location on the attendance to an automatic milking system by dairy cows and the effect of feeding during milking on their behaviour and milking characteristics. In: *Animal Science* 67 (2), S. 183–193.
- PRESCOTT, N. B.; MOTTRAM, T. T.; WEBSTER, A. J. F. (1998b): Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system. In: *Applied Animal Behaviour Science* 57 (1-2), S. 23–33. DOI: 10.1016/S0168-1591(97)00112-3.
- PROBST, J. (2014): Prägende Erlebnisse zwischen Rind und Mensch. Eine positive Mensch-Tier-Beziehung ist der Schlüssel zum Erfolg. Tierwohl. In: *Lebendige Erde* (4), S. 42–45.
- PROBST, J.; LEIBER, F.; HILLMANN, E.; SPENGLER NEFF, A. (2008): Wirksamkeit einer Behandlungsmethode zur Vorbereitung von Rindern auf Transport und Schlachtung und deren Auswirkung auf Verhalten, Blutparameter und Fleischqualität. In: M. KREUZER, C. WENK UND T. LANZINI (HG.): Globalisierung und Klimawandel. Verändern sie die Tierernährung in der Schweiz? Tagungsbericht, 6. Mai 2008, ETH-Zürich: Institut für Nutztierwissenschaften, Ernährung-Produkte-Umwelt, ETH-Zentrum. Kongress. Zürich (Schriftenreihe aus dem Institut für Nutztierwissenschaften, Ernährung-Produkte-Umwelt, ETH-Zürich, Bd. 30), S. 96–99. ISBN 3906466302.

- RAAB, A.; DANTZER, R.; MICHAUD, B.; MORMEDE, P.; TAGHZOUTI, K.; SIMON, H.; LE MOAL, M. (1986): Behavioural, physiological and immunological consequences of social status and aggression in chronically coexisting resident-intruder dyads of male rats. In: *Physiology & Behavior* 36 (2), S. 223–228. DOI: 10.1016/0031-9384(86)90007-7.
- RABE, T.; RUNNEBAUM, B. (1982): Kontrazeption. Methoden, Indikation, Kontraindikation, S. 134 pp. Berlin, Heidelberg [etc.]: Springer-Verlag (Heidelberger Taschenbücher, 213). ISBN 978-3-540-11132-0.
- REIMINK, A. (2015a): AMS: Melkpausen nicht zu eng takten. Viele Betriebe stellen das Melkintervall am Roboter zu kurz ein. Das kann böse Folgen für die Eutergesundheit haben. Eine neue Auswertung bietet Hilfe. Melken. In: *top agrar*, 2015 (11), S. R28-R32.
- REIMINK, A. (2015b): Zwei Energiefüchse aus dem Süden. Die Kühlung am Roboter spart Strom. In: *dlz primus rind* (4), S. R20-R23. Online verfügbar unter <http://www.topagrar.com/archiv/Zwei-Energie-Fuechse-aus-dem-Sueden-1736482.html?action=download>, zuletzt geprüft am 17.04.2015.
- RICHTER, T.; KARRER, M. (2006): Grundsätze der Nutztierhaltung. In: T. RICHTER UND B. BUSCH (HG.): Krankheitsursache Haltung. Beurteilung von Nutztierställen - ein tierärztlicher Leitfaden: Enke, S. 49–50. ISBN 9783830410430.
- RIEDER, J. (2017): Anzahl Melkroboter in Bayern. München, 08.03.2017. Email an Josef Bauerdick. Laptop.
- RITZER, G.; JURGENSON, N. (2010): Production, Consumption, Prosumption. In: *Journal of Consumer Culture* 10 (1), S. 13–36. DOI: 10.1177/1469540509354673.
- RODENBURG, J. (2017): Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. In: *Journal of Dairy Science* 100 (9), S. 7729. DOI: 10.3168/jds.2016-11715.
- ROELOFS, J.; LÓPEZ-GATIUS, F.; HUNTER, R. H. F.; VAN EERDENBURG, F. J. C. M.; HANZEN, C. (2010): When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. In: *Theriogenology* 74 (3), S. 327–344. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2010.02.016.
- ROELOFS, J. B.; VAN EERDENBURG, F. J. C. M.; SOEDE, N. M.; KEMP, B. (2005): Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. In: *Theriogenology* 64 (8), S. 1690–1703. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2005.04.004.
- ROON, S. V.; BUBER, T. (2013): Versorgungsqualität und -zuverlässigkeit als Standortfaktor. Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH. München, 29.04.2013, S. 49-65. Online verfügbar unter [https://www.ffegmbh.de/download/veroeffentlichungen/351\\_tagung2013\\_roon/Tagung2013\\_roon.pdf](https://www.ffegmbh.de/download/veroeffentlichungen/351_tagung2013_roon/Tagung2013_roon.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- ROTZ, C. A.; COINER, C. U.; SODER, K. J. (2003): Automatic Milking Systems, Farm Size, and Milk Production. In: *Journal of Dairy Science* 86 (12), S. 4167–4177. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74032-6.
- ROUHA-MÜLLEDER, C.; PALME, R.; WAIBLINGER, S. (2010): Erhebungen zur Tiergerechtheit in 80 Milchkuhbetrieben mit Boxenlaufställen - Tiergesundheit und andere tierbezogene Indikatoren. In: *Wien. Tierärztl. Mschr. - Vet. Med. Austria* 97 (9/10), S. 231–241.

- ROYLE, C.; GARNSWORTHY, P. C.; MCARTHUR, A. J.; MEPHAM, T. B. (1992): Effects of frequent milking on heart rate and other physiological variables in dairy cows. In: A. H. IPEMA, A. C. LIPPUS, J. H. M. METZ UND W. ROSSING (HG.): Prospects for Automatic Milking. Proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking: Pudoc Scientific Publishers. Wageningen (Netherlands), 23.-25.11.1992. Wageningen (EAAP publication, 65), S. 237–243. ISBN 90-220-1076-7, 9789022010761.
- RUSHEN, J.; BUTTERWORTH, A.; SWANSON, J. C. (2011): Animal behavior and well-being symposium: Farm animal welfare assurance: science and application. In: *Journal of Animal Science* 89 (4), S. 1219–1228. DOI: 10.2527/jas.2010-3589.
- RUSHEN, J.; MUNKSGAARD, L.; MARNET, P. G.; DEPASSILLÉ, A. M. (2001): Human contact and the effects of acute stress on cows at milking. In: *Applied Animal Behaviour Science* 73 (1), S. 1–14. DOI: 10.1016/S0168-1591(01)00105-8.
- RUSHEN, J.; PASSILLÉ, A. M. de; KEYSERLINGK, M. A. G. von; WEARY, D. M. (2007): The Welfare of Cattle, S. 43-69: Springer Netherlands. ISBN 9781402065576.
- RUSHEN, J.; PASSILLÉ, A. M. B. DE; MUNKSGAARD, L. (1999): Fear of People by Cows and Effects on Milk Yield, Behavior, and Heart Rate at Milking. In: *Journal of Dairy Science* 82 (4), S. 720–727. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75289-6.
- RUSSELL, E.; KOREN, G.; RIEDER, M.; VAN UUM, S. (2012): Hair cortisol as a biological marker of chronic stress. Current status, future directions and unanswered questions. In: *Psychoneuroendocrinology* 37 (5), S. 589–601. DOI: 10.1016/j.psychoneu.2011.09.009.
- RÜTZ, A. (2014): Ruhige Kühe, gesunde Klauen. Beim Kūhetreiben mit dem Stockmanship-Konzept Lahmheiten gezielt vorbeugen. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* (7), S. 48–49, zuletzt geprüft am 25.02.2014.
- RUUSKA, S.; KAJAVA, S.; MUGHAL, M.; ZEHNER, N.; MONONEN, J. (2016): Validation of a pressure sensor-based system for measuring eating, rumination and drinking behaviour of dairy cattle. In: *Applied Animal Behaviour Science* 174, S. 19–23. DOI: 10.1016/j.applanim.2015.11.005.
- SAGI, R.; GOREWIT, R. C.; MERRILL, W. G.; WILSON, D. B. (1980): Premilking Stimulation Effects on Milking Performance and Oxytocin and Prolactin Release in Cows. In: *Journal of Dairy Science* 63 (5), S. 800–806.
- SAMBRAUS, H. H. (1969a): Das soziale Lecken des Rindes. In: *Zeitschrift für Tierpsychologie* 26 (7), S. 805–810.
- SAMBRAUS, H. H. (1969b): Zur sozialen Rangordnung von Rindern. In: *Journal of Animal Breeding and Genetics* 86 (1-4), S. 240–257. DOI: 10.1111/j.1439-0388.1969.tb00179.x.
- SAMBRAUS, H. H. (1975): Beobachtungen und Überlegungen zur Sozialordnung von Rindern. In: *Züchtungskunde* 47, S. 8–14.
- SAMBRAUS, H. H. (1978): Rind. In: HANS HINRICH SAMBRAUS UND HARALD BRUMMER (HG.): Nutztierethologie. Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere : Eine angewandte Verhaltenskunde für die Praxis. Berlin, Hamburg: P. Parey, S. 50-121, 159. ISBN 3-489-60236-6.

SAMBRAUS, H. H. (1991): Nutztierkunde. Biologie, Verhalten, Leistung und Tierschutz ; 38 Tabellen, S. 159-190. Stuttgart: Ulmer (Uni-Taschenbücher Agrarwissenschaften, Veterinärmedizin, Zoologie, 1622). ISBN 3-8001-2637-0.

SAMBRAUS, H. H.; FRIES, B.; OSTERKORN, K. (1978): Das Sozialgeschehen in einer Herde hornloser Hochleistungsrinder. In: *Zeitschrift für Tierzucht und Züchtungsbiologie* 95 (1-4), S. 81–88.

SAMMITO, S.; BÖCKELMANN, I. (2015): Analyse der Herzfrequenzvariabilität. Mathematische Basis und praktische Anwendung. In: *Herz* 40 Suppl 1, S. 76–84. DOI: 10.1007/s00059-014-4145-7.

SAMUELSSON, B.; UVNÄS-MOBERG, K.; GOREWIT, R. C.; SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. (1996): Profiles of the hormones somatostatin, gastrin, CCK, prolactin, growth hormone, oxytocin and cortisol. II. In dairy cows that are milked during food deprivation. In: *Livestock Production Science* 46 (1), S. 57–64. DOI: 10.1016/0301-6226(96)00021-8.

SAPOLSKY, R. M.; ROMERO, L. M.; MUNCK, A. U. (2000): How Do Glucocorticoids Influence Stress Responses? Integrating Permissive, Suppressive, Stimulatory, and Preparative Actions 1. In: *Endocrine Reviews* 21 (1), S. 55–89. DOI: 10.1210/edrv.21.1.0389.

SARTIN, J. L.; KEMPPAINEN, R. J.; CUMMINS, K. A.; WILLIAMS, J. C. (1988): Plasma Concentrations of Metabolic Hormones in High and Low Producing Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 71 (3), S. 650–657.

SATO, S.; TARUMIZU, K. (1993): Heart rates before, during and after allo-grooming in cattle (*Bos taurus*). In: *J. Ethol.* 11 (2), S. 149–150. DOI: 10.1007/BF02350048.

SATO, S.; TARUMIZU, K.; HATAE, K. (1993): The influence of social factors on allogrooming in cows. In: *Applied Animal Behaviour Science* 38 (3-4), S. 235–244. DOI: 10.1016/0168-1591(93)90022-H.

SCHATZ, S.; PALME, R. (2001): Measurement of faecal cortisol metabolites in cats and dogs: a non-invasive method for evaluating adrenocortical function. In: *Veterinary Research Communications* 25 (4), S. 271–287.

SCHEFFRAN, J. (2017): Klimawandel als Risikoverstärker in komplexen Systemen. In: GUY BRASSEUR, DANIELA JACOB UND SUSANNE SCHUCK-ZÖLLER (HG.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin: Springer Spektrum, S. 287–294. ISBN 978-3-662-50397-3. DOI: 10.1007/978-3-662-50397-3\_28.

SCHEGA, L.; HAMACHER, D.; BÖCKELMANN, I.; HUCKAUF, A.; MECKE, R.; GRUBERT, J.; TÜMLER, J. (2010): Vergleich von Messverfahren zur Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV). In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 61 (12), S. 17–21. Online verfügbar unter [http://www.zeitschrift-sportmedizin.de/fileadmin/content/archiv2010/heft12/spomed\\_12\\_2010\\_pdfe/39\\_Orginalia\\_Schega\\_korr\\_bg.pdf](http://www.zeitschrift-sportmedizin.de/fileadmin/content/archiv2010/heft12/spomed_12_2010_pdfe/39_Orginalia_Schega_korr_bg.pdf), zuletzt geprüft am 08.04.2016.

SCHEUNERT, A. (1927): Das Wiederkauen. In: A. BETHE, G. BERGMANN VON, G. EMBDEN UND A. ELLINGER (HG.): Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. Verdauung und Verdauungsapparat. Unter Mitarbeit von B. P. Babkin, G. Bergmann, M. Bergmann, H. Bluntschli,

A. Eckstein, L. Elek et al. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, S. 379–397. ISBN 9783642484988.

SCHIRMANN, K.; CHAPINAL, N.; WEARY, D. M.; HEUWIESER, W.; KEYSERLINGK, M. A. G. VON (2012): Rumination and its relationship to feeding and lying behavior in Holstein dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 95 (6), S. 3212–3217. DOI: 10.3168/jds.2011-4741.

SCHIRMANN, K.; KEYSERLINGK, M. A. G. VON; WEARY, D. M.; VEIRA, D. M.; HEUWIESER, W. (2009): Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 92 (12), S. 6052–6055. DOI: 10.3168/jds.2009-2361.

SCHLOSSBERGER, F. (2013): Mit Tierwohl Absatz sichern? Speziell erzeugtes und gekennzeichnetes Fleisch soll den Verbrauchern die Möglichkeit geben, eine besonders artgerechte Tierhaltung zu fördern. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* 203., 2013 (29), S. 28–29.

SCHMEIDUCH, S. B. (2002): Belastungsreaktionen von Zucht- und Schlachtrindern im Straßen - Ferntransport, S. 143 pp. TIERÄRZTLICHE HOCHSCHULE HANNOVER, Hannover. Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie.

SCHMIDT, A.; AURICH, J.; MÖSTL, E.; MÜLLER, J.; AURICH, C. (2010a): Changes in cortisol release and heart rate and heart rate variability during the initial training of 3-year-old sport horses. In: *Hormones and Behavior* 58 (4), S. 628–636. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2010.06.011.

SCHMIDT, A.; MÖSTL, E.; WEHNERT, C.; AURICH, J.; MÜLLER, J.; AURICH, C. (2010b): Cortisol release and heart rate variability in horses during road transport. In: *Hormones and Behavior* 57 (2), S. 209–215. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2009.11.003.

SCHMIED, C.; WAIBLINGER, S.; SCHARL, T.; LEISCH, F.; BOVIN, X. (2008): Stroking of different body regions by a human: Effects on behaviour and heart rate of dairy cows. In: *Applied Animal Behaviour Science* 109 (1), S. 25–38. DOI: 10.1016/j.applanim.2007.01.013.

SCHOPFER, U. (2002): Möglichkeiten der praxisnahen Objektivierung von Stressbelastungen bei Milchkühen während des Melkens, S. 52 pp. Diplomarbeit. RHEINISCHE FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT, Bonn. Landwirtschaftliche Fakultät.

SCHRADER, L. (2001): Identifizierung individueller Verhaltenscharakteristika bei Milchkühen. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2000. Vorträge anlässlich der 32. Internationalen Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., Fachgruppe Verhaltensforschung vom 9. bis 11. November 2000 in Freiburg/Breisgau. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: KTBL-Schrift, 403), S. 18–27. ISBN 3-7843-2132-1.

SCHRADER, L.; BÜNGER, B.; MARAHRENS, M.; MÜLLER-ARNKE, I.; OTTO, C.; SCHÄFFER, D.; ZERBE, F. (2006): Methode zur Bewertung von Tierhaltungsanlagen hinsichtlich Umweltwirkungen und Tiergerechtigkeit. Anforderungen in der Rinderhaltung. Unter Mitarbeit von BRIGITTE EURICH-MENDEN. In: BRIGITTE EURICH-MENDEN (HG.): Nationaler Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren. Methode zur Bewertung von Tierhaltungsanlagen hinsichtlich Umweltwirkungen und Tiergerechtigkeit. Darmstadt: KTBL (KTBL-Schrift, 446), S. 61–63. ISBN 3939371130.

SCHRADER, L.; BÜNGER, B.; MARAHRENS, M.; MÜLLER-ARNKE, I.; OTTO, C.; SCHÄFFER, D.; ZERBE, F. (2009): Verhalten von Rindern. Hg. v. Kuratorium für Technik und Bauwesen (KTBL). Darmstadt, S. 3 pp. Online verfügbar unter [https://www.ktbl.de/fileadmin/user\\_upload/artikel/Tierhaltung/Rind/Tierverhalten/Tierverhalten.pdf](https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Tierhaltung/Rind/Tierverhalten/Tierverhalten.pdf), zuletzt geprüft am 26.09.2016.

SCHRADER, L.; KEIL, N. M.; RÖLLI, D.; NYDEGGER, F. (2002): Einfluss eines erhöhten Tier-Fressplatzverhältnisses auf das individuelle Verhalten von Milchkühen im Laufstall. Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. In: *KTBL-Schrift 407*, 2002, S. 17–22.

SCHRADER, L.; MAYER, C. (2004): Aspekte der Tiergerechtheit bei der Weidehaltung von Rindern. In: Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte (Hg.): Ressourcenschonende Grünlandnutzung – Erfolge, Probleme, Perspektiven. 15. Wissenschaftliche Fachtagung. Unter Mitarbeit von M. Anger, E. Berg, W. Büscher, H. G. Frede, M. Hartmann, M. Henseleit et al. 15. Wissenschaftliche Fachtagung, Bd. 130. Bonn, 04.02.2004. 130 Bände. Bonn (Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn), S. 32–38.

SCHRADER, L.; MAYER, C. (2009): Verhalten. In: WILFRIED BRADE UND GERHARD FLACHOWSKY (HG.): Rinderzucht und Milcherzeugung : Empfehlungen für die Praxis. Aus dem Institut für Tierernährung. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft (289). Braunschweig: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), S. 65–77.

SCHRÖPFER, F. (2012): Test: Freier oder gelenkter Kuhverkehr? Automatisches Melksystem. Hg. v. Elite - Magazin für Milcherzeuger. Münster, S. 1 pp. Online verfügbar unter <http://www.elite-magazin.de/technik/Test-Freier-oder-gelenkter-Kuhverkehr-843298.html>, zuletzt aktualisiert am 18.05.2012, zuletzt geprüft am 07.10.2013.

SCHRÖTER, I. (2016): Automatische Aktivitätsmessung bei Milchkühen zur Festlegung des optimalen Besamungszeitraums, S. 55 pp. Dissertation. JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT, Gießen. Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement.

SCHULZE-PALS, L. (2013): Mastitis durch Aktivität früher erkennen. Aus der Forschung. In: *top agrar*, 2013 (9), S. R28.

SELYE, H. (1976): Stress without distress. In: GEORGE SERBAN (HG.): Psychopathology of Human Adaptation. Boston, MA, s.l.: Springer US, S. 137–146. ISBN 978-1-4684-2240-5.

SHERIFF, M. J.; DANTZER, B.; DELEHANTY, B.; PALME, R.; BOONSTRA, R. (2011): Measuring stress in wildlife: techniques for quantifying glucocorticoids. In: *Oecologia* 166 (4), S. 869–887. DOI: 10.1007/s00442-011-1943-y.

SHUTT, D. A.; FELL, L. R. (1985): Comparison of Total and Free Cortisol in Bovine Serum and Milk or Colostrum. In: *Journal of Dairy Science* 68 (7), S. 1832–1834. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(85)81035-3.

SIGL, M. (2010): AMS aus Sicht der Praxis. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hg.): Automatisches Melken. Grub, 09.-10.07.2010. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Freising Weihenstephan, S. 35–42.

- SIKORA, A. (2014): IT-Sicherheitsarchitekturen für Industrie 4.0. In: *Elektronik industrial*, S. 35–38. Online verfügbar unter <http://www.elektroniknet.de/kommunikation/it-sicherheitsarchitekturen-fuer-industrie-4-0-115194.html>, zuletzt geprüft am 15.02.2017.
- SILANIKOVE, N. (2000): Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. In: *Livestock Production Science* 67 (1), S. 1–18.
- SILBERNAGL, S.; DESPOPOULOS, A.; GAY, W.-R. (1991): Taschenatlas der Physiologie, S. 50–58, 154–184. 4., überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme (Flexibles Taschenbuch MED). ISBN 3-423-03182-4.
- SINGH, S.; WARD, W.; LAUTENBACH, K.; MURRAY, R. (1993): Behaviour of lame and normal dairy cows in cubicles and in a straw yard. In: *Veterinary Record* 133 (9), S. 204–208. DOI: 10.1136/vr.133.9.204.
- SMITH, V. G.; EDGERTON, L. A.; HAFS, H. D.; CONVEY, E. M. (1973): Bovine Serum Estrogens, Progestins and Glucocorticoids during Late Pregnancy, Parturition and Early Lactation. In: *Journal of Animal Science* 36 (2), S. 391–396. DOI: 10.2134/jas1973.362391x.
- SON, G. H.; CHUNG, S.; KIM, K. (2011): The adrenal peripheral clock. Glucocorticoid and the circadian timing system. In: *Frontiers in Neuroendocrinology* 32 (4), S. 451–465. DOI: 10.1016/j.yfrne.2011.07.003.
- SPERONI, M.; ABENI, F.; CAPELLETTI, M.; MIGLIORATI, L.; PIRLO, G. (2003): Two years of experience with an automatic milking system. 2. Milk yield, milking interval and frequency. In: *Italian Journal of Animal Science* 15 (2), S. 260–262.
- SPERONI, M.; PIRLO, G.; LOLLI, S. (2006): Effect of Automatic Milking Systems on Milk Yield in a Hot Environment. In: *Journal of Dairy Science* 89 (12), S. 4687–4693. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72519-X.
- SPRENGEL, D.; KORNDÖRFER, R. (2014): Eigene Stärken und Schwächen erkennen. Betriebsvergleich für AMS-Betriebe frei geschaltet. LKV-Milcherzeugung. In: *LKV-Journal* (1), S. 20. Online verfügbar unter [www.lkv.bayern.de/media/Aktuell/LKV\\_Journal\\_1401.pdf](http://www.lkv.bayern.de/media/Aktuell/LKV_Journal_1401.pdf), zuletzt geprüft am 01.10.2014.
- STATISTA GMBH (Hg.) (2017): Landwirtschaft in Deutschland. Dossier, S. 25, 90–94. Online verfügbar unter <https://de-statista-com.eaccess.ub.tum.de/statistik/studie/id/6455/dokument/landwirtschaft-statista-dossier/>, zuletzt geprüft am 04.08.2017.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2014): Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe rückläufig. Pressemitteilung vom 17. Januar 2014 - 22/14. Wiesbaden. Joisten, Barbara, [www.destatis.de/kontakt](http://www.destatis.de/kontakt), S. 1–2. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2014/01/PD14\\_022\\_411.html](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2014/01/PD14_022_411.html), zuletzt geprüft am 20.02.2014.
- STEIGER, H.; HARTBRICH, I. (2014): Wir brauchen eine neue Arbeitskultur. INDUSTRIE 4.0. In: *VDI Nachrichten*, 18.07.2014 (29). Online verfügbar unter <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Wir-neue-Arbeitskultur>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- STEINHARDT, M. (2006): Einflüsse von Geschlecht, Alter und Körpermasse auf physiologische Reaktionen junger Saugkälber einer Mutterkuhhaltung bei der Enthornung unter Sedation mit Xylazin. In: *Tierärztliche Praxis Großtiere* (3), S. 155–164.

- STEVENSON, J. S.; HILL, S. L.; NEBEL, R. L.; DEJARNETTE, J. M. (2014): Ovulation timing and conception risk after automated activity monitoring in lactating dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 97 (7), S. 4296–4308. DOI: 10.3168/jds.2013-7873.
- STEWART, M.; WILSON, M. T.; SCHAEFER, A. L.; HUDDART, F.; SUTHERLAND, M. A. (2017): The use of infrared thermography and accelerometers for remote monitoring of dairy cow health and welfare. In: *Journal of Dairy Science* 100 (5), S. 3893–3901. DOI: 10.3168/jds.2016-12055.
- STÖBER, M. (2006): Haltungs- und umweltbedingte Beeinflussung zentralnervös gesteuerter Funktionen. In: G. DIRKSEN (HG.): *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*: Parey, S. 1149–1156. ISBN 9783830441694.
- STONE, A. E.; JONES, B. W.; BECKER, C. A.; BEWLEY, J. M. (2017): Influence of breed, milk yield, and temperature-humidity index on dairy cow lying time, neck activity, reticulorumen temperature, and rumination behavior. In: *Journal of Dairy Science* 100 (3), S. 2395–2403. DOI: 10.3168/jds.2016-11607.
- STUMPF, M. T.; FISCHER, V.; KOLLING, G. J.; SILVA, A. V. D.; RIBEIRO, M. E. R.; SANTOS, C. D. S. D. (2016): Behaviors associated with cows more prone to produce milk with reduced stability to ethanol test due to feeding restriction. In: *Cienc. Rural* 46 (9), S. 1662–1667. DOI: 10.1590/0103-8478cr20151246.
- SÜSS, M.; ANDREAE, U. (1984): Rind. In: HERMANN BOGNER, ANTON GRAUVOGL UND U. ANDREAE (HG.): *Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere*. Stuttgart: Ulmer (Tierzuchtbücherei), S. 149–215. ISBN 3-8001-4345-3.
- SVENNERSTEN-SJAUNJA, K.; BERGLUND, I.; PETTERSSON, G. (2001): The milking process in an automatic milking system, evaluation of milk yield, teat condition and udder health. In: H. HOGEVEEN UND A. MEIJERING (HG.): *Robotic milking: Proceedings of the International Symposium held in Lelystad, The Netherlands, 17-19 August, 2000*. Second reprint. Wageningen: Pers, S. 277–288. ISBN 9074134874.
- SYME, G. J.; SYME, L. A. (1979): Social structure in farm animals. No. 636.08 S9. In: *Developments in Animal and Veterinary Sciences* (4).
- SYNLAB HOLDING DEUTSCHLAND GMBH (Hg.) (2015): Umrechnungstabelle Einheiten Konventionell - SI. Online verfügbar unter [http://www.synlab.de/de/tier/tieraerzte-und-fachkreise/umrechnungstabelle-einheiten/?no\\_cache=1](http://www.synlab.de/de/tier/tieraerzte-und-fachkreise/umrechnungstabelle-einheiten/?no_cache=1), zuletzt geprüft am 05.04.2016.
- TALABÉR, G.; JONDAL, M.; OKRET, S. (2013): Extra-adrenal glucocorticoid synthesis. Immune regulation and aspects on local organ homeostasis. In: *Molecular and Cellular Endocrinology* 380 (1-2), S. 89–98. DOI: 10.1016/j.mce.2013.05.007.
- TALLO-PARRA, O.; MANTECA, X.; SABES-ALSINA, M.; CARBAJAL, A.; LOPEZ-BEJAR, M. (2015): Hair cortisol detection in dairy cattle by using EIA: protocol validation and correlation with faecal cortisol metabolites. In: *Animal : an international journal of animal bioscience* 9 (6), S. 1059–1064. DOI: 10.1017/S1751731115000294.
- TARVAINEN, M. P.; NISKANEN, J. P. (2012): Kubios HRV - User's Guide. version 2.1. In: *Finland: Biosignal Analysis and Medical Imaging Group (BSAMIG), Department of Applied Physics,*

University of Eastern Finland, S. 1–44. Online verfügbar unter [http://pulse-sports.ru/a\\_ryzhov/rr/Kubios\\_HRV\\_Users\\_Guide.pdf](http://pulse-sports.ru/a_ryzhov/rr/Kubios_HRV_Users_Guide.pdf), zuletzt geprüft am 08.06.2016.

TARVAINEN, M. P.; NISKANEN, J.-P.; LIPPONEN, J. A.; RANTA-AHO, P. O.; KARJALAINEN, P. A. (2014): Kubios 5HRV6 – Heart rate variability analysis software. In: *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 113 (1), S. 210–220. DOI: 10.1016/j.cmpb.2013.07.024.

TARVAINEN, M. P.; RANTA-AHO, P. O.; KARJALAINEN, P. A. (2002): An advanced detrending method with application to HRV analysis. In: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 49 (2), S. 172–175.

TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN (1996): Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. In: *European Heart Journal* (17), S. 354–381.

TELEZHENKO, E.; KEYSERLINGK, M. A. G. VON; TALEBI, A.; WEARY, D. M. (2012): Effect of pen size, group size, and stocking density on activity in freestall-housed dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 95 (6), S. 3064–3069. DOI: 10.3168/jds.2011-4953.

TERMEULEN, S. B.; BUTLER, W. R.; NATZKE, R. P. (1981): Rapidity of Cortisol Transfer Between Blood and Milk Following Adrenocorticotropin Injection. In: *Journal of Dairy Science* 64 (11), S. 2197–2200. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(81)82829-9.

TEUGELS, J. L.; VYNCKIER, P. (1996): The structure distribution in a mixed Poisson process. In: *International Journal of Stochastic Analysis* 9 (4), S. 489–496.

THORUP, V. M.; NIELSEN, B. L.; ROBERT, P.-E.; GIGER-REVERDIN, S.; KONKA, J.; MICHIE, C.; FRIGGENS, N. C. (2016): Lameness Affects Cow Feeding But Not Rumination Behavior as Characterized from Sensor Data. In: *Frontiers in veterinary science* 3 (37), S. 1–11. DOI: 10.3389/fvets.2016.00037.

THORWART, H. (2017): Melker-Milchkuh-Interaktion im Melkstand auf Basis von Herzfrequenzanalysen, S. 59 pp. Bachelorarbeit. TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, Freising Weihenstephan. Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik.

THUN, R. (1987): Untersuchungen über die Tagesrhythmik von Cortisol beim Rind, S. 63-64. Stuttgart: Ferdinand Enke (Enke Copythek). ISBN 3432968418.

THUN, R.; EGGENBERGER, E.; ZEROBIN; KONRAD; LÜSCHER, T.; VETTER, W. et al. (1981): Twenty-four-hour secretory pattern of cortisol in the bull: evidence of episodic secretion and circadian rhythm. In: *Endocrinology* 109 (6), S. 2208–2212. DOI: 10.1210/endo-109-6-2208.

TOBER, O.; LOEBSIN, C. (2015): Herzfrequenzvariabilität von Milchkühen in einem frei gelüfteten Stall bei unterschiedlichen Temperaturen. In: 12. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt, S. 170–175. ISBN 978-3-945088-09-8.

TOBER, O.; LOEBSIN, C.; HOFFMANN, G. (2014): Untersuchungen zur Herzfrequenzvariabilität von Milchkühen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen. In: Arbeitsgruppe „Stallklima und Emissionen“ (Hg.): Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung. Dummersdorf, S. 16–30.

- TOUMA, C.; PALME, R. (2005): Measuring fecal glucocorticoid metabolites in mammals and birds: the importance of validation. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 1046, S. 54–74. DOI: 10.1196/annals.1343.006.
- TUCKER, C. B. (2002): Behaviour of Cattle. In: PER JENSEN (HG.): The ethology of domestic animals. An introductory text. Wallingford, Oxon, UK, New York: CABI Pub, S. 151–160. ISBN 0851996027.
- TUCKER, C. B.; LACY-HULBERT, S. J.; WEBSTER, J. R. (2009a): Effect of milking frequency and feeding level before and after dry off on dairy cattle behavior and udder characteristics. In: *Journal of Dairy Science* 92 (7), S. 3194–3203. DOI: 10.3168/jds.2008-1930.
- TUCKER, C. B.; WEARY, D. M.; FRASER, D. (2003): Effects of Three Types of Free-Stall Surfaces on Preferences and Stall Usage by Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 86 (2), S. 521–529. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73630-3.
- TUCKER, C. B.; WEARY, D. M.; KEYSERLINGK, M. A. G. VON; BEAUCHEMIN, K. A. (2009b): Cow comfort in tie-stalls: increased depth of shavings or straw bedding increases lying time. In: *Journal of Dairy Science* 92 (6), S. 2684–2690. DOI: 10.3168/jds.2008-1926.
- TUCKER, C. B.; WEARY, D. M.; RUSHEN, J.; PASSILLE, A. M. DE (2004): Designing better environments for dairy cattle to rest. In: *Advances in dairy technology: Proceedings of the Western Canadian Dairy Seminar* (16), S. 35.
- TUCKER, C. B.; ZDANOWICZ, G.; WEARY, D. M. (2006): Brisket Boards Reduce Freestall Use. In: *Journal of Dairy Science* 89 (7), S. 2603–2607. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72337-2.
- UMSTÄTTER, C. (2002): Tier-Technik-Beziehung bei der automatischen Milchgewinnung, S. 62 pp. Dissertation. HUMBOLDT-UNIVERSITÄT, Berlin. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät. Online verfügbar unter <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/umstaetter-christina-2002-06-04/PDF/Umstaetter.pdf>, zuletzt geprüft am 13.10.2016.
- VEISSIER, I.; MIALON, M.-M.; SLOTH, K. H. (2017): Short communication. Early modification of the circadian organization of cow activity in relation to disease or estrus. In: *Journal of Dairy Science* 100 (5), S. 3969–3974. DOI: 10.3168/jds.2016-11853.
- VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSBERATER IN BAYERN (Hg.) (2007): Tierische Erzeugung. Bedeutung der Veredlungswirtschaft, Grundlagen der Fütterung, Grundlagen der Tierzucht, Funktion und Planung landwirtschaftlicher Betriebsgebäude, Rinderhaltung und -fütterung, Rinderzucht, Schweinehaltung und -fütterung, Schweinezucht, Tiergesundheit und Tierschutz, weitere Nutztiere, Ökologische Tierhaltung, Futtermittelkunde, S. 355, 515. 12., völlig neu bearb. und erw. Aufl. München: BLV-Buchverl. (Die Landwirtschaft, 2). ISBN 978-3-8354-0051-1.
- VERKERK, G. A.; PHIPPS, A. M.; CARRAGHER, J. F.; MATTHEWS, L. R.; STELWAGEN, K. (1998): Characterization of milk cortisol concentrations as a measure of short-term stress responses in lactating dairy cows. In: *Animal Welfare* 7 (1), S. 77–86.
- VIJAYAKUMAR, M.; PARK, J. H.; KI, K. S.; LIM, D. H.; KIM, S. B.; PARK, S. M. et al. (2017): The effect of lactation number, stage, length, and milking frequency on milk yield in Korean Holstein

- dairy cows using automatic milking system. In: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 30 (8), S. 1093–1098. DOI: 10.5713/ajas.16.0882.
- VINCEN, T. L.; NEWTON, J. R.; DEATON, C. M.; FRANKLIN, S. H.; BIDDICK, T.; MCKEEVER, K. H. et al. (2006): Retrospective study of predictive variables for maximal heart rate (HRmax) in horses undergoing strenuous treadmill exercise. In: *Equine veterinary journal. Supplement* (36), S. 146–152. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05531.x.
- WAGNER, K.; BARTH, K.; PALME, R.; FUTSCHIK, A.; WAIBLINGER, S. (2012): Integration into the dairy cow herd: Long-term effects of mother contact during the first twelve weeks of life. In: *Applied Animal Behaviour Science* 141 (3-4), S. 117–129. DOI: 10.1016/j.applanim.2012.08.011.
- WAGNER, W. C.; OXENREIDER, S. L. (1972): Adrenal Function in the Cow. Diurnal Changes and the Effects of Lactation and Neurohypophyseal Hormones. In: *Journal of Animal Science* 34 (4), S. 630–635.
- WAGNER-STORCH, A. M.; PALMER, R. W.; KAMMEL, D. W. (2003): Factors Affecting Stall Use for Different Freestall Bases. In: *Journal of Dairy Science* 86 (6), S. 2253–2266. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73816-8.
- WAIBLINGER, S.; FRESENDORF, A.; SPITZER, G. (2002): The role of social licking in cattle for conflict resolution. In: *Proceedings of the 1st European Conference of Behavioural Biology, 1–4. August, Münster*, S. 22.
- WAIBLINGER, S.; MENKE, C.; KORFF, J.; BUCHER, A. (2001): Effects of different persons on the behaviour and heart rate of dairy cows during a veterinary procedure. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2000. Vorträge anlässlich der 32. Internationalen Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., Fachgruppe Verhaltensforschung vom 9. bis 11. November 2000 in Freiburg/Breisgau. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: KTBL-Schrift, 403), S. 54–62. ISBN 3-7843-2132-1.
- WANG, F. X.; SHAO, D. F.; LI, S. L.; WANG, Y. J.; AZARFAR, A.; CAO, Z. J. (2016): Effects of stocking density on behavior, productivity, and comfort indices of lactating dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 99 (5), S. 3709–3717. DOI: 10.3168/jds.2015-10098.
- WANGLER, A.; MEYER, A.; REHBOCK, F.; SANFTLEBEN, P. (2005): Wie effizient ist die Aktivitätsmessung als ein Hilfsmittel in der Brunsterkennung bei Milchrindern. In: *Züchtungskunde* 77 (2/3), S. 110–127.
- WEARY, D. M.; HUZZEY, J. M.; KEYSERLINGK, M. A. G. VON (2009): Board-invited review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. In: *Journal of Animal Science* 87 (2), S. 770–777. DOI: 10.2527/jas.2008-1297.
- WEBSTER, J. R.; STEWART, M.; ROGERS, A. R.; VERKERK, G. A. (2008): Assessment of welfare from physiological and behavioural responses of New Zealand dairy cows exposed to cold and wet conditions. In: *Animal Welfare* 17 (1), S. 19–26.

- WEISS, D.; HELMREICH, S.; MÖSTL, E.; DZIDIC, A.; BRUCKMAIER, R. M. (2004): Coping capacity of dairy cows during the change from conventional to automatic milking. In: *Journal of Animal Science* 82 (2), S. 563–570.
- WEISS, D.; MÖSTL, E.; BRUCKMAIER, R. M. (2005): Physiological and behavioural effects of changeover from conventional to automatic milking in dairy cows with and without previous experience. In: *Vet.Med.-Czech* 50 (6), S. 253–261.
- WELCH, B. L. (1938): The Significance of the Difference Between Two Means when the Population Variances are Unequal. In: *Biometrika* 29 (3/4), S. 350–362. DOI: 10.2307/2332010.
- WELCH, B. L. (1951): On the comparison of several mean values: An alternative approach. In: *Biometrika* 38 (3/4), S. 330–336.
- WELCH, J. G. (1982): Rumination, Particle Size and Passage from the Rumen. In: *Journal of Animal Science* 54 (4), S. 885–894. DOI: 10.2527/jas1982.544885x.
- WENDL, G.; KLINDTWORTH, K. (1997): Einsatz von elektronischen Schrittzählern (Pedometer) zur Brunsterkennung bei Milchkühen. 3. Internationale Tagung "Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung". Kiel, 11.03.1997, S. 335–343.
- WENZEL, C.; SCHÖNREITER-FISCHER, S.; UNSHELM, J. (2003): Studies on step–kick behavior and stress of cows during milking in an automatic milking system. In: *Livestock Production Science* 83 (2-3), S. 237–246. DOI: 10.1016/S0301-6226(03)00109-X.
- WESTIN, R.; VAUGHAN, A.; PASSILLE, A. M. DE; DEVRIES, T. J.; PAJOR, E. A.; PELLERIN, D. et al. (2016): Lying times of lactating cows on dairy farms with automatic milking systems and the relation to lameness, leg lesions, and body condition score. In: *Journal of Dairy Science* 99 (1), S. 551–561. DOI: 10.3168/jds.2015-9737.
- WICHERN, A. (2014): Wiederkauintensität. Waldstetten, 21.11.2014. Email an Anja Gräff. Laptop.
- WIERENGA, H. K. (1983): The influence of the space for walking and lying in a cubicle system on the behaviour of dairy cattle. In: S. H. BAXTER, M. R. BAXTER UND Mac Cormack, J. A. C. (Hg.): *Farm animal housing and welfare. A seminar in the CEC programme of coordination of research on animal welfare*. Boston: Nijhoff for the Commission of the European Communities (Current topics in veterinary medicine and animal science, 24), S. 171–179. ISBN 0-89838-597-0.
- WIERENGA, H. K. (1990): Social dominance in dairy cattle and the influences of housing and management. In: *Applied Animal Behaviour Science* 27 (3), S. 201–229. DOI: 10.1016/0168-1591(90)90057-K.
- WIERENGA, H. K.; HOPSTER, H. (1990): The Significance of Cubicles for the Behaviour of Dairy Cows. In: *Applied Animal Behaviour Science* 26 (4), S. 309–337.
- WILLIAMS, D. P.; JARCZOK, M. N.; ELLIS, R. J.; HILLECKE, T. K.; THAYER, J. F.; KOENIG, J. (2016a): Two-week test–retest reliability of the Polar® RS800CX™ to record heart rate variability. In: *Clinical Physiology and Functional Imaging*, S. 1–6. DOI: 10.1111/cpf.12321.

- WILLIAMS, M. L.; MAC PARTHALÁIN, N.; BREWER, P.; JAMES, W. P. J.; ROSE, M. T. (2016b): A novel behavioral model of the pasture-based dairy cow from GPS data using data mining and machine learning techniques. In: *Journal of Dairy Science* 99 (3), S. 2063–2075. DOI: 10.3168/jds.2015-10254.
- WINCKLER, C. (2009): Verhalten der Rinder. In: STEFFEN HOY (HG.): *Nutztierethologie*. 35 Tabellen. Stuttgart: Ulmer (UTB, 3312), S. 78–104. ISBN 978-3-8001-2892-1.
- WINCKLER, C.; LAISTER, S.; REGNER, A.-M.; ZENGER, K.; HESSE, N.; KNIERIM, U. (2006): Einfluss des sozialen Leckens auf Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität bei Milchkühen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hg.): *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2006*. 38. Tagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der DVG, Bd. 448, S. 23–29. ISBN 3939371181.
- WINTER, A.; HILLERTON, J. E. (1995): Behaviour associated with feeding and milking of early lactation cows housed in an experimental automatic milking system. In: *Applied Animal Behaviour Science* 46 (1), S. 1–15.
- WÓJCIK, P.; OLSZEWSKI, A. (2015): Use of pedometers to analyse 24-hour activity and fertility of Limousin cows. In: *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica* (322 (36) 4), S. 119–124. Online verfügbar unter [http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-fa11c8de-2bad-4c40-a5fe-bf4c4dfc2bc1/c/727\\_119.pdf](http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-fa11c8de-2bad-4c40-a5fe-bf4c4dfc2bc1/c/727_119.pdf), zuletzt geprüft am 10.08.2017.
- WÓJCIK, P.; RUDZIŃSKI, J. (2014): Effectiveness of using activity tags in management of high-producing dairy herd. In: *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica* (32), S. 59–65. Online verfügbar unter <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-285bd3e0-388e-4df1-9ce6-91b15935d2e4/c/615.pdf>, zuletzt geprüft am 19.08.2017.
- WOLFSOHN, M. (2011): *Eustress - Positiven Stress erfahren und einsetzen*, S. 4 pp.: GRIN Verlag. ISBN 9783640879069.
- WOOD, M. T. (1977): Social grooming patterns in two herds of monozygotic twin dairy cows. In: *Animal Behaviour* 25, S. 635–642. DOI: 10.1016/0003-3472(77)90114-2.
- YEISER, E. E.; LESLIE, K. E.; MCGILLIARD, M. L.; PETERSSON-WOLFE, C. S. (2012): The effects of experimentally induced *Escherichia coli* mastitis and flunixin meglumine administration on activity measures, feed intake, and milk parameters. In: *Journal of Dairy Science* 95 (9), S. 4939–4949. DOI: 10.3168/jds.2011-5064.
- YOUNG, E.; ABELSON, J.; LIGHTMAN, S. (2004): Cortisol pulsatility and its role in stress regulation and health. In: *Frontiers in Neuroendocrinology* 25 (2), S. 69–76. DOI: 10.1016/j.yfrne.2004.07.001.
- ZÄHNER, M.; KECK, M.; LANGHANS, W.; WECHSLER, B.; HAUSER, R. (2001): Influence of weather protection in winter on ethological and physiological parameters in dairy cows. In: *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2000*. Vorträge anlässlich der 32. Internationalen Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesell-

schaft e.V., Fachgruppe Verhaltensforschung vom 9. bis 11. November 2000 in Freiburg/Breisgau. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: KTBL-Schrift, 403), S. 28–36. ISBN 3-7843-2132-1.

ZÄHNER, M. E. (2001): Beurteilung von Minimalställen für Milchvieh anhand ethologischer und physiologischer Parameter, S. 85 pp. Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. DOI: 10.3929/ethz-a-004228078.

ZIPP, K. A.; BARTH, K.; KNIERIM, U. (2013): Heart rate and level of agitation of dairy cows with and without calf contact during different stimulations in the parlour. In: MICHAEL ERHARD (HG.): Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2013. Vorträge anlässlich der 45. Internationalen Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V. (DVG), Fachgruppe Ethologie und Tierhaltung vom 21. bis 23. November 2013 in Freiburg/Breisgau. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (KTBL-Schrift, 503), S. 203–205. ISBN 3941583875.

ZWIJACZ-KOZICA, T.; SELVA, N.; BARJA, I.; SILVÁN, G.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, L.; ILLERA, J. C.; JODŁOWSKI, M. (2013): Concentration of fecal cortisol metabolites in chamois in relation to tourist pressure in Tatra National Park (South Poland). In: *Acta Theriol* 58 (2), S. 215–222. DOI: 10.1007/s13364-012-0108-7.

## 11 Anhang

Anhang 1: Übersicht der aufgezeichneten Gesamthäufigkeiten pro Betrieb

Verhaltensparameter	B1		B2		B3		B4	
	Basal	Test	Basal	Test	Basal	Test	Basal	Test
<b>Eintritt Melkroboter</b>	30	62	39	64	36	110	29	68
<b>Wiederkauen</b>	10	12	13	26	6	39	9	25
<b>Geruchswahrnehmung</b>	0	2	6	1	3	5	6	8
<b>Koten</b>	2	0	0	1	0	0	0	2
<b>Harnen</b>	0	0	3	2	1	1	0	4
<b>Reiben/Kratzen</b>	6	17	1	6	13	22	7	26
<b>Fellpflege Zunge</b>	18	25	15	24	27	42	22	116
<b>Soziales Lecken</b>	0	0	0	0	0	0	1	0
<b>Soziales Belecken</b>	1	0	0	1	2	0	3	0
<b>Aggression Fokuskuh</b>	7	7	21	44	54	110	14	53
<b>Aggression gegen Fokuskuh</b>	1	6	16	37	28	46	6	28
<b>Verdrängung Fokuskuh</b>	7	11	19	24	27	41	4	28
<b>Verdrängung anderer Kuh</b>	10	7	9	17	18	34	3	16
<b>Bein heben</b>	2	9	6	15	1	14	6	34
<b>Hin her tippeln</b>	20	52	47	70	78	192	61	162
<b>Gesenkte Kopfhaltung</b>	35	81	53	98	106	212	52	108
<b>Kopfbewegungen schnell</b>	14	43	20	31	24	57	33	103
<b>Zungenrollen</b>	2	19	0	0	0	0	0	0

## Anhang 2: Extraktionsprotokoll Kotproben

<b>Datum:</b>	24.11.2014	<b>Extra- hierte Pro- ben:</b>	B1 Kuh 3/1, 4/1, 5/1, 7/1 und 8/1 B2 Kuh 6/1
<b>Durch- geführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		
<b>1. Extraktion</b>			
10:15	Auftauen: B1 Kuh 3/1 und 5/1 (23.3. - 29.3.14)		
11:00	Abwiegen (0,5 g)		
11:30	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
11:45	Schütteln: B1 Kuh 3/1 (23.3. - 29.3.14) und B1 Kuh 5/1 (23.3. - 24.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 5/1 (25.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
12:00	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
12:20	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>2. Extraktion</b>			
11:50	Auftauen: B1 Kuh 4/1 (23.3. - 29.3.14)		
12:30	Abwiegen (0,5 g)		
12:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
13:10	Schütteln: B1 Kuh 4/1 (23.3. - 29.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min		
13:30	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
13:50	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>3. Extraktion</b>			
14:10	Auftauen: B1 Kuh 7/1 (23.3. - 29.3.14)		
14:40	Abwiegen (0,5 g)		
15:00	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
15:05	Schütteln: B1 Kuh 7/1 (23.3. - 29.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min		
15:20	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
15:40	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>4. Extraktion</b>			
15:15	Auftauen: B1 Kuh 8/1 (23.3. - 29.3.14) und B2 Kuh 6/1 (8.4. - 14.4.14)		
16:00	Abwiegen (0,5 g)		
16:40	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
16:45	Schütteln: B1 8/1 (23.3. - 29.3.14) und B2 Kuh 6/1 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 6/1 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
17:05	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
17:25	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		

<b>Datum:</b>	25.11.2014	<b>Extra- hierte Pro- ben:</b>	B1 Kuh 3/2, 9/2, 10/1, 11/1 und 12/2 B2 Kuh 3/1, 4/1, 4/2, 5/2, 6/2
<b>Durch- geführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		
<b>1. Extraktion</b>			

08:35	Auftauen: B1 Kuh 12/2 (23.3 - 29.3.14) und B2 Kuh 5/2 (8.4. - 14.4.14)
09:20	Abwiegen (0,5 g)
09:50	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
09:55	Schütteln: B1 Kuh 12/2 (23.3. - 29.3.14) und B2 Kuh 5/2 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 5/2 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
10:15	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
10:35	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>2. Extraktion</b>	
10:00	Auftauen: B1 Kuh 3/2 und 9/2 (23.3. - 29.3.14)
10:30	Abwiegen (0,5 g)
11:10	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
11:25	Schütteln: B1 Kuh 3/2 (23.3. - 29.3.14) und B1 Kuh 9/2 (23.3. - 24.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 9/2 (25.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
11:45	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
12:10	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>3. Extraktion</b>	
11:00	Auftauen: B2 Kuh 4/2 und 6/2 (8.4. - 14.4.14)
11:55	Abwiegen (0,5 g)
12:40	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
12:50	Schütteln: B2 Kuh 4/2 (8.4. - 14.4.14) und B2 Kuh 6/2 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 6/2 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
13:10	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
13:30	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>4. Extraktion</b>	
12:55	Auftauen: B2 Kuh 3/1 und 4/1 (8.4. - 14.4.14)
13:20	Abwiegen (0,5 g)
13:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
14:00	Schütteln: B2 Kuh 3/1 (8.4. - 14.4.14) und B2 Kuh 4/1 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 4/1 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
14:20	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
14:40	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>5. Extraktion</b>	
15:35	Auftauen: B1 Kuh 10/1 und 11/1 (23.3. - 29.3.14)
16:05	Abwiegen (0,5 g)
16:35	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
16:40	Schütteln: B1 Kuh 10/1 (23.3. - 29.3.14) und B1 Kuh 11/1 (23.3. - 24.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 11/1 (25.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
17:00	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
17:15	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren

<b>Datum:</b>	26.11.2014	<b>Extra- hierte Pro- ben:</b>	B1 Kuh 11/2, 12/1, B2 Kuh 1/2, 2/1, 3/2, 7/1, 7/2, 8/1, 10/2 und 11/1
---------------	------------	--	---

<b>Durchgeführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		
<b>1. Extraktion</b>			
09:40	Auftauen: B2 Kuh 2/1 und 7/2 (8.4. - 14.4.14)		
10:20	Abwiegen (0,5 g)		
10:45	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
10:55	Schütteln: B2 Kuh 2/1 (8.4. - 14.4.14) und B2 Kuh 7/2 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 7/2 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
11:15	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
11:35	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>2. Extraktion</b>			
11:00	Auftauen: B2 Kuh 7/1 und 11/1 (8.4. - 14.4.14)		
11:40	Abwiegen (0,5 g)		
12:10	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
12:15	Schütteln: B2 Kuh 7/1 (8.4. - 14.4.14) und B2 Kuh 11/1 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 11/1 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
12:35	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
12:55	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>3. Extraktion</b>			
13:05	Auftauen: B1 Kuh 11/2 und 12/1 (23.3. - 29.3.14)		
13:40	Abwiegen (0,5 g)		
14:25	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
14:30	Schütteln: B1 Kuh 11/2 (23.3. - 29.3.14) und B1 Kuh 12/1 (23.3. - 24.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 12/1 (25.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
14:55	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
15:15	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>4. Extraktion</b>			
14:35	Auftauen: B2 Kuh 1/2 und 8/1 (8.4. - 14.4.14) und K1 (B3 Kuh 1/2 17.7.14)		
15:20	Abwiegen (0,5 g)		
15:50	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
15:55	Schütteln: B2 Kuh 1/2 (8.4. - 14.4.14) und B2 Kuh 8/1 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 8/1 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
16:10	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
16:25	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>5. Extraktion</b>			
16:00	Auftauen: B2 Kuh 3/2 und 10/2 (8.4. - 14.4.14)		
16:35	Abwiegen (0,5 g)		
16:50	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
16:55	Schütteln: B2 Kuh 3/2 (8.4. - 14.4.14) und B2 Kuh 10/2 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 10/2 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
17:10	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
17:25	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		

<b>Datum:</b>	27.11.2014	<b>Extra- hierte Pro- ben:</b>	B1 Kuh 1/1, 5/2, 6/1 und 7/2 B2 Kuh 10/1 und 11/2
<b>Durch- geführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		
<b>1. Extraktion</b>			
12:20	Auftauen: B1 Kuh 1/1 und 5/2 (23.3. - 29.3.14)		
12:45	Abwiegen (0,5 g)		
13:05	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
13:10	Schütteln: B1 Kuh 1/1 (23.3. - 29.3.14) und B1 Kuh 5/2 (23.3. - 24.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 5/2 (25.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
13:30	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
13:45	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>2. Extraktion</b>			
13:00	Auftauen: B2 Kuh 10/1 und 11/2 (8.4. - 14.4.14) und K2 (B3 Kuh 1/2 17.7.14)		
13:35	Abwiegen (0,5 g)		
13:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
14:00	Schütteln: B2 Kuh 10/1 (8.4. - 14.4.14), B2 Kuh 11/2 (8.4.14) und K2 (B3 Kuh 1/2 17.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 11/2 (9.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
14:15	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
14:35	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>3. Extraktion</b>			
14:05	Auftauen: B1 Kuh 6/1 und 7/2 (23.3. - 29.3.14)		
14:45	Abwiegen (0,5 g)		
15:15	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
15:20	Schütteln: B1 Kuh 6/1 (23.3. - 29.3.14) und B1 Kuh 7/2 (23.3. - 24.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 7/2 (25.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
15:40	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
15:55	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		

09:05	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
09:10	Schütteln: B2 Kuh 5/1 (8.4. - 14.4.14) und B2 Kuh 9/2 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 9/2 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
09:30	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
09:45	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>2. Extraktion</b>			
09:20	Auftauen: B2 Kuh 9/1 und 12/2 (8.4. - 14.4.14) und K3 (B3 Kuh 1/2 17.7.14)		
09:55	Abwiegen (0,5 g)		
10:15	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		

10:20	Schütteln: B2 Kuh 9/1 (8.4. - 14.4.14), B2 Kuh 12/2 (8.4.14) und K3 (B3 Kuh 1/2 17.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 12/2 (9.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
10:40	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
11:00	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>3. Extraktion</b>	
10:25	Auftauen: B1 Kuh 1/2 und 2/2 (23.3. - 29.3.14)
11:10	Abwiegen (0,5 g)
11:35	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H2O
11:40	Schütteln: B1 Kuh 1/2 (23.3. - 29.3.14) und B1 Kuh 2/2 (23.3. - 24.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 2/2 (25.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
11:55	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
12:10	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>4. Extraktion</b>	
11:50	Auftauen: B1 Kuh 4/2 und 9/1 (23.3. - 29.3.14)
12:15	Abwiegen (0,5 g)
12:30	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H2O
12:35	Schütteln: B1 Kuh 4/2 (23.3. - 29.3.14) und B1 Kuh 9/1 (23.3. - 24.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 9/1 (25.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
12:50	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
13:10	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren

<b>Datum:</b>	01.12.2014	<b>Extrahierte Proben:</b>	B1 Kuh 2/1, 6/2, 8/2 und 10/2
<b>Durchgeführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		B2 Kuh 1/1, 2/2, 8/2 und 12/1
			B3 Kuh 4/1, 6/2, 8/2 und 10/2
<b>1. Extraktion</b>			
10:00	Auftauen: B2 Kuh 1/1 und 12/1 (8.4. - 14.4.14)		
10:30	Abwiegen (0,5 g)		
10:45	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H2O		
10:50	Schütteln: B2 Kuh 1/1 (8.4. - 14.4.14) und B2 Kuh 12/1 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 12/1 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
11:10	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
11:30	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>2. Extraktion</b>			
11:00	Auftauen: B1 Kuh 6/2 und 8/2 (23.3. - 29.3.14) und K4 (B3 Kuh 1/2 17.7.14)		
11:40	Abwiegen (0,5 g)		
11:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H2O		
12:00	Schütteln: B1 Kuh 6/2 (23.3. - 29.3.14), B1 Kuh 8/2 (23.3.14) und K4 (B3 Kuh 1/2 17.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 8/2 (24.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
12:15	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		

12:35	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>3. Extraktion</b>	
12:25	Auftauen: B2 Kuh 2/2 und 8/2 (8.4. - 14.4.14)
12:55	Abwiegen (0,5 g)
13:10	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
13:15	Schütteln: B2 Kuh 2/2 (8.4. - 14.4.14) und B2 Kuh 8/2 (8.4. - 9.4.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B2 Kuh 8/2 (10.4. - 14.4.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
13:35	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
13:50	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>4. Extraktion</b>	
13:25	Auftauen: B1 Kuh 2/1 und 10/2 (23.3. - 29.3.14)
14:00	Abwiegen (0,5 g)
14:15	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
14:20	Schütteln: B1 Kuh 2/1 (23.3. - 29.3.14) und B1 Kuh 10/2 (23.3. - 24.3.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B1 Kuh 10/2 (25.3. - 29.3.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
14:40	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
15:00	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>5. Extraktion</b>	
14:30	Auftauen: B3 Kuh 4/1 und 10/2 (13.7. - 19.7.14)
15:10	Abwiegen (0,5 g)
15:25	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
15:30	Schütteln: B3 Kuh 4/1 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 10/2 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 10/2 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
15:45	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
16:05	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>6. Extraktion</b>	
15:40	Auftauen: B3 Kuh 6/2 und 8/2 (13.7. - 19.7.14)
16:10	Abwiegen (0,5 g)
16:25	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
16:30	Schütteln: B3 Kuh 6/2 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 8/2 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 8/2 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
16:45	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
17:00	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren

<b>Datum:</b>	02.12.2014	<b>Extrahierte Proben:</b>	B3 Kuh 1/1, 1/2, 3/1, 4/2, 5/1, 9/1, 10/1, 11/1, 11/2 und 12/2
<b>Durchgeführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		
<b>1. Extraktion</b>			
08:45	Auftauen: B3 Kuh 4/2 und 11/1 (13.7. - 19.7.14)		
09:15	Abwiegen (0,5 g)		
09:30	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		

09:35	Schütteln: B3 Kuh 4/2 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 11/1 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 11/1 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
09:55	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
10:15	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>2. Extraktion</b>	
09:45	Auftauen: B3 Kuh 1/1 und 1/2 (13.7. - 19.7.14) und K5 (B3 Kuh 1/2 17.7.14)
10:25	Abwiegen (0,5 g)
10:40	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H2O
10:45	Schütteln: B3 Kuh 1/1 (13.7. - 19.7.14), B3 Kuh 1/2 (13.7.14) und K5 (B3 Kuh 1/2 17.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 1/2 (14.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
11:05	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
11:25	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>3. Extraktion</b>	
10:55	Auftauen: B3 Kuh 11/2 und 12/2 (13.7. - 19.7.14)
11:35	Abwiegen (0,5 g)
11:50	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H2O
11:55	Schütteln: B3 Kuh 11/2 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 12/2 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 12/2 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
12:10	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
12:25	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>4. Extraktion</b>	
14:45	Auftauen: B3 Kuh 3/1 und 5/1 (13.7. - 19.7.14)
15:15	Abwiegen (0,5 g)
15:30	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H2O
15:35	Schütteln: B3 Kuh 3/1 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 5/1 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 5/1 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
15:50	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
16:10	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>5. Extraktion</b>	
15:45	Auftauen: B3 Kuh 9/1 und 10/1 (13.7. - 19.7.14)
16:20	Abwiegen (0,5 g)
16:40	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H2O
16:45	Schütteln: B3 Kuh 9/1 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 10/1 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 10/1 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
17:05	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
17:20	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren

<b>Datum:</b>	03.12.2014	<b>Extrahierte Proben:</b>	B3 Kuh 2/1, 2/2, 3/2, 5/2, 6/1, 7/1, 7/2, 8/1, 9/2 und 12/1
<b>Durchgeführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		

<b>1. Extraktion</b>	
08:50	Auftauen: B3 Kuh 2/2 und 9/2 (13.7. - 19.7.14)
09:30	Abwiegen (0,5 g)
09:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
10:00	Schütteln: B3 Kuh 2/2 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 9/2 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 9/2 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
10:20	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
10:35	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>2. Extraktion</b>	
10:10	Auftauen: B3 Kuh 2/1 und 7/2 (13.7. - 19.7.14) und K6 (B3 Kuh 1/2 17.7.14)
10:45	Abwiegen (0,5 g)
11:10	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
11:15	Schütteln: B3 Kuh 2/1 (13.7. - 19.7.14), B3 Kuh 7/2 (13.7.14) und K6 (B3 Kuh 1/2 17.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 7/2 (14.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
11:35	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
11:55	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>3. Extraktion</b>	
13:20	Auftauen: B3 Kuh 5/2 und 7/1 (13.7. - 19.7.14)
13:45	Abwiegen (0,5 g)
14:10	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
14:15	Schütteln: B3 Kuh 5/2 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 7/1 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 7/1 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
14:35	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
14:50	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>4. Extraktion</b>	
14:20	Auftauen: B3 Kuh 6/1 und 8/1 (13.7. - 19.7.14)
15:00	Abwiegen (0,5 g)
15:15	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
15:20	Schütteln: B3 Kuh 6/1 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 8/1 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 8/1 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
15:40	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
16:05	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>5. Extraktion</b>	
14:55	Auftauen: B3 Kuh 3/2 und 12/1 (13.7. - 19.7.14)
15:45	Abwiegen (0,5 g)
15:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
16:00	Schütteln: B3 Kuh 3/2 (13.7. - 19.7.14) und B3 Kuh 12/1 (13.7. - 14.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B3 Kuh 12/1 (15.7. - 19.7.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
16:20	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
16:40	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren

<b>Datum:</b>	08.12.2014	<b>Extrahierte Proben:</b>	B4 Kuh 4/1, 4/2, 5/1, 5/2, 9/1, 9/2, 11/1 und 11/2
<b>Durchgeführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		
<b>1. Extraktion</b>			
13:25	Auftauen: B4 Kuh 5/1 und 5/2 (03.8. - 09.8.14)		
14:00	Abwiegen (0,5 g)		
14:15	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
14:20	Schütteln: B4 Kuh 5/1 (03.8. - 09.8.14) und B4 Kuh 5/2 (03.8. - 04.8.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 5/2 (05.8. - 09.8.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
14:35	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
14:50	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>2. Extraktion</b>			
14:25	Auftauen: B4 Kuh 9/1 und 9/2 (03.8. - 09.8.14) und K7 (B3 Kuh 1/2 17.7.14)		
15:00	Abwiegen (0,5 g)		
15:10	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
15:15	Schütteln: B4 Kuh 9/1 (03.8. - 09.8.14), B4 Kuh 9/2 (03.08.14) und K7 (B3 Kuh 1/2 17.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 9/2 (04.8. - 09.8.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
15:35	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
15:55	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>3. Extraktion</b>			
15:25	Auftauen: B4 Kuh 11/1 und 11/2 (03.8. - 09.8.14) und B4 Kuh 4/1 und 4/2 (03.08.14)		
16:00	Abwiegen (0,5 g)		
16:15	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
16:20	Schütteln: B4 Kuh 11/1 (03.8. - 09.8.14) und B4 Kuh 4/1 und 4/2 (03.08.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 11/2 (03.8. - 09.8.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
16:35	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
16:55	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		

<b>Datum:</b>	09.12.2014	<b>Extrahierte Proben:</b>	B4 Kuh 6/1, 6/2, 7/1, 7/2, 10/1, 10/2, 12/1 und 12/2
<b>Durchgeführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		
<b>1. Extraktion</b>			
12:00	Auftauen: B4 Kuh 10/1 und 10/2 (03.08. - 09.08.14)		
12:30	Abwiegen (0,5 g)		
12:45	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
12:50	Schütteln: B4 Kuh 10/1 (03.08. - 09.08.14) und B4 Kuh 10/2 (03.08. - 04.08.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 10/2 (05.08. - 09.08.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
13:10	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		

13:30	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>2. Extraktion</b>	
13:00	Auftauen: B4 Kuh 12/1 und 12/2 (03.08. - 09.08.14) und K8 (B3 Kuh 1/2 17.7.14)
13:40	Abwiegen (0,5 g)
13:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
14:00	Schütteln: B4 Kuh 12/1 (03.08. - 09.08.14), B4 Kuh 12/2 (03.08.14) und K8 (B3 Kuh 1/2 17.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 12/2 (04.08. - 09.08.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
14:15	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
14:35	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>3. Extraktion</b>	
14:10	Auftauen: B4 Kuh 7/1 und 7/2 (03.08. - 09.08.14)
14:45	Abwiegen (0,5 g)
14:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
15:00	Schütteln: B4 Kuh 7/1 (03.08. - 09.08.14) und B4 Kuh 7/2 (03.08. - 04.08.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 7/2 (05.08. - 09.08.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
15:15	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
15:30	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>4. Extraktion</b>	
15:05	Auftauen: B4 Kuh 6/1 und 6/2 (03.08. - 09.08.14)
15:40	Abwiegen (0,5 g)
15:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
16:00	Schütteln: B4 Kuh 6/1 (03.08. - 09.08.14) und B4 Kuh 6/2 (03.08. - 04.08.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 6/2 (05.08. - 09.08.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
16:20	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
16:35	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren

<b>Datum:</b>	10.12.2014	<b>Extrahierte Proben:</b>	B4 Kuh 1/1, 1/2, 2/1, 2/2, 3/1, 3/2, 8/1 und 8/2
<b>Durchgeführt von:</b>	Nadine Isabel Müller		
<b>1. Extraktion</b>			
09:10	Auftauen: B4 Kuh 8/1 und 8/2 (03.08. - 09.08.14)		
09:40	Abwiegen (0,5 g)		
09:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O		
10:00	Schütteln: B4 Kuh 8/1 (03.08. - 09.08.14) und B4 Kuh 8/2 (03.08. - 04.08.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 8/2 (05.08. - 09.08.14) mit Hand vortexen für 1,5 min		
10:15	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C		
10:35	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren		
<b>2. Extraktion</b>			
10:10	Auftauen: B4 Kuh 2/1 und 2/2 (03.08. - 09.08.14) und K9 (B3 Kuh 1/2 17.7.14)		
10:45	Abwiegen (0,5 g)		

10:55	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
11:00	Schütteln: B4 Kuh 2/1 (03.08. - 09.08.14), B4 Kuh 2/2 (03.08.14) und K9 (B3 Kuh 1/2 17.7.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 2/2 (04.08. - 09.08.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
11:20	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
11:35	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>3. Extraktion</b>	
10:40	Auftauen: B4 Kuh 1/1 und 1/2 (03.08. - 09.08.14)
11:25	Abwiegen (0,5 g)
11:45	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
11:50	Schütteln: B4 Kuh 1/1 (03.08. - 09.08.14) und B4 Kuh 1/2 (03.08. - 04.08.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 1/2 (05.08. - 09.08.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
12:05	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
12:20	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren
<b>4. Extraktion</b>	
12:00	Auftauen: B4 Kuh 3/1 und 3/2 (03.08. - 09.08.14)
12:35	Abwiegen (0,5 g)
12:45	Zugabe von 4 ml 100 % Methanol und 1 ml bidest. H <sub>2</sub> O
12:50	Schütteln: B4 Kuh 3/1 (03.08. - 09.08.14) und B4 Kuh 3/2 (03.08. - 04.08.14) mit Überkopfschüttler für 15 min; B4 Kuh 3/2 (05.08. - 09.08.14) mit Hand vortexen für 1,5 min
13:05	Zentrifugieren für 15 min bei 4500 rpm und 4 °C
13:20	500 µl Überstand in 1,5 ml Eppis pipettieren

TK-Proben bei -25°C am Donnerstag den 18.12.14 aus TK-Truhe entnommen und um 07:00 Uhr vom LST aus mit dem Dienstfahrzeug nach Wien gefahren Ankunft und Übergabe persönlich an Prof. Palme um 12:40 Uhr in Wien, Proben Temperatur bei Übergabe -8°C

Anhang 3: Kotproben Extraktion Tabelle Wien

					Palme & Möstl, 1997; Palme et al., 1999	
					11,17-dioxoan- drostanes (72a)	
	<b>Be- trieb</b>	<b>Kuh</b>	<b>Probe</b>	<b>Datum</b>	<b>pg/well</b>	<b>1:10(50µl )</b>
(Box1)1_1	B1	1	1	23.03.2014	7.8	17.1
2	B1	1	2	23.03.2014	4.5	9.8
3	B1	1	1	24.03.2014	5.4	11.8
4	B1	1	2	24.03.2014	6.9	15.2
5	B1	1	1	25.03.2014	9.2	20.3
6	B1	1	2	25.03.2014	10.2	22.4
7	B1	1	1	26.03.2014	5.4	11.9
8	B1	1	2	26.03.2014	7.3	16.1
9	B1	1	1	27.03.2014	10.5	23.1
10	B1	1	2	27.03.2014	12.6	27.7
11	B1	1	1	28.03.2014	5.3	11.7
12	B1	1	2	28.03.2014	3.9	8.6
13	B1	1	1	29.03.2014	4.1	9.0
14	B1	1	2	29.03.2014	5.8	12.8
15	B1	2	1	23.03.2014	3.4	7.5
16	B1	2	2	23.03.2014	2.8	6.2
17	B1	2	1	24.03.2014	5.9	13.0
18	B1	2	2	24.03.2014	8.3	18.3
19	B1	2	1	25.03.2014	6.6	14.5
20	B1	2	2	25.03.2014	5.6	12.3
21	B1	2	1	26.03.2014	2.9	6.4
22	B1	2	2	26.03.2014	4.8	10.6
23	B1	2	1	27.03.2014	3.5	7.7
24	B1	2	2	27.03.2014	3.9	8.6
25	B1	2	1	28.03.2014	3.3	7.3
26	B1	2	2	28.03.2014	7.1	15.6
27	B1	2	1	29.03.2014	3.1	6.8
28	B1	2	2	29.03.2014	2.1	4.6
29	B1	3	1	23.03.2014	3.3	7.3
30	B1	3	2	23.03.2014	5.1	11.2
31	B1	3	1	24.03.2014	4.2	9.2
32	B1	3	2	24.03.2014	2.7	5.9
33	B1	3	1	25.03.2014	5.1	11.2
34	B1	3	2	25.03.2014	6.4	14.1
35	B1	3	1	26.03.2014	6.6	14.5
36	B1	3	2	26.03.2014	4.5	9.9
2_1	B1	3	1	27.03.2014	10.1	22.2
2	B1	3	2	27.03.2014	7.0	15.4
3	B1	3	1	28.03.2014	6.6	14.5

4	B1	3	2	28.03.2014	4.9	<b>10.8</b>
5	B1	3	1	29.03.2014	5.2	<b>11.4</b>
6	B1	3	2	29.03.2014	6.5	<b>14.3</b>
7	B1	4	1	23.03.2014	8.2	<b>18.0</b>
8	B1	4	2	23.03.2014	5.9	<b>13.0</b>
9	B1	4	1	24.03.2014	7.8	<b>17.2</b>
10	B1	4	2	24.03.2014	8.4	<b>18.5</b>
11	B1	4	1	25.03.2014	3.9	<b>8.6</b>
12	B1	4	2	25.03.2014	4.9	<b>10.8</b>
13	B1	4	1	26.03.2014	4.4	<b>9.7</b>
14	B1	4	2	26.03.2014	3.0	<b>6.5</b>
15	B1	4	1	27.03.2014	8.7	<b>19.1</b>
16	B1	4	2	27.03.2014	6.9	<b>15.2</b>
17	B1	4	1	28.03.2014	4.2	<b>9.2</b>
18	B1	4	2	28.03.2014	5.1	<b>11.2</b>
19	B1	4	1	29.03.2014	16.1	<b>35.4</b>
20	B1	4	2	29.03.2014	13.5	<b>29.7</b>
21	B1	5	1	23.03.2014	3.6	<b>7.9</b>
22	B1	5	2	23.03.2014	3.5	<b>7.7</b>
23	B1	5	1	24.03.2014	5.1	<b>11.2</b>
24	B1	5	2	24.03.2014	6.3	<b>13.9</b>
25	B1	5	1	25.03.2014	6.8	<b>15.0</b>
26	B1	5	2	25.03.2014	9.1	<b>20.0</b>
27	B1	5	1	26.03.2014	1.0	<b>2.1</b>
28	B1	5	2	26.03.2014	1.2	<b>2.6</b>
29	B1	5	1	27.03.2014	4.9	<b>10.8</b>
30	B1	5	2	27.03.2014	10.2	<b>22.4</b>
31	B1	5	1	28.03.2014	5.2	<b>11.4</b>
32	B1	5	2	28.03.2014	4.5	<b>9.9</b>
33	B1	5	1	29.03.2014	5.3	<b>11.7</b>
34	B1	5	2	29.03.2014	8.6	<b>18.9</b>
35	B1	6	1	23.03.2014	5.2	<b>11.4</b>
36	B1	6	2	23.03.2014	6.5	<b>14.3</b>
3_1	B1	6	1	24.03.2014	4.7	<b>10.3</b>
2	B1	6	2	24.03.2014	7.5	<b>16.5</b>
3	B1	6	1	25.03.2014	5.3	<b>11.7</b>
4	B1	6	2	25.03.2014	5.5	<b>12.1</b>
5	B1	6	1	26.03.2014	3.3	<b>7.3</b>
6	B1	6	2	26.03.2014	5.4	<b>11.9</b>
7	B1	6	1	27.03.2014	5.4	<b>11.9</b>
8	B1	6	2	27.03.2014	3.9	<b>8.6</b>
9	B1	6	1	28.03.2014	8.3	<b>18.3</b>
10	B1	6	2	28.03.2014	5.6	<b>12.3</b>
11	B1	6	1	29.03.2014	2.7	<b>5.9</b>
12	B1	6	2	29.03.2014	3.0	<b>6.6</b>
13	B1	7	1	23.03.2014	5.4	<b>11.9</b>
14	B1	7	2	23.03.2014	7.5	<b>16.5</b>

15	B1	7	1	24.03.2014	4.6	<b>10.1</b>
16	B1	7	2	24.03.2014	5.4	<b>11.9</b>
17	B1	7	1	25.03.2014	4.9	<b>10.8</b>
18	B1	7	2	25.03.2014	4.6	<b>10.1</b>
19	B1	7	1	26.03.2014	2.1	<b>4.6</b>
20	B1	7	2	26.03.2014	2.1	<b>4.6</b>
21	B1	7	1	27.03.2014	8.1	<b>17.8</b>
22	B1	7	2	27.03.2014	4.9	<b>10.8</b>
23	B1	7	1	28.03.2014	6.0	<b>13.2</b>
24	B1	7	2	28.03.2014	8.1	<b>17.8</b>
25	B1	7	1	29.03.2014	9.1	<b>20.0</b>
26	B1	7	2	29.03.2014	3.8	<b>8.4</b>
27	B1	8	1	23.03.2014	4.9	<b>10.8</b>
28	B1	8	2	23.03.2014	7.5	<b>16.5</b>
29	B1	8	1	24.03.2014	5.0	<b>11.0</b>
30	B1	8	2	24.03.2014	6.5	<b>14.3</b>
31	B1	8	1	25.03.2014	10.5	<b>23.1</b>
32	B1	8	2	25.03.2014	9.9	<b>21.8</b>
33	B1	8	1	26.03.2014	5.2	<b>11.4</b>
34	B1	8	2	26.03.2014	7.0	<b>15.4</b>
35	B1	8	1	27.03.2014	6.0	<b>13.2</b>
36	B1	8	2	27.03.2014	7.7	<b>16.9</b>
4_1	B1	8	1	28.03.2014	8.2	<b>18.0</b>
2	B1	8	2	28.03.2014	7.9	<b>17.4</b>
3	B1	8	1	29.03.2014	8.1	<b>17.8</b>
4	B1	8	2	29.03.2014	9.9	<b>21.8</b>
5	B1	9	1	23.03.2014	5.1	<b>11.2</b>
6	B1	9	2	23.03.2014	7.2	<b>15.8</b>
7	B1	9	1	24.03.2014	6.5	<b>14.3</b>
8	B1	9	2	24.03.2014	7.6	<b>16.7</b>
9	B1	9	1	25.03.2014	10.3	<b>22.7</b>
10	B1	9	2	25.03.2014	11.8	<b>26.0</b>
11	B1	9	1	26.03.2014	6.7	<b>14.7</b>
12	B1	9	2	26.03.2014	5.9	<b>13.0</b>
13	B1	9	1	27.03.2014	9.4	<b>20.7</b>
14	B1	9	2	27.03.2014	11.7	<b>25.7</b>
15	B1	9	1	28.03.2014	5.9	<b>13.0</b>
16	B1	9	2	28.03.2014	6.8	<b>15.0</b>
17	B1	9	1	29.03.2014	6.2	<b>13.6</b>
18	B1	9	2	29.03.2014	5.9	<b>13.0</b>
19	B1	10	1	23.03.2014	5.0	<b>11.0</b>
20	B1	10	2	23.03.2014	4.0	<b>8.8</b>
21	B1	10	1	24.03.2014	5.7	<b>12.5</b>
22	B1	10	2	24.03.2014	3.6	<b>7.9</b>
23	B1	10	1	25.03.2014	4.4	<b>9.7</b>
24	B1	10	2	25.03.2014	3.4	<b>7.5</b>
25	B1	10	1	26.03.2014	2.6	<b>5.7</b>

26	B1	10	2	26.03.2014	4.0	<b>8.7</b>
27	B1	10	1	27.03.2014	3.0	<b>6.6</b>
28	B1	10	2	27.03.2014	4.6	<b>10.1</b>
29	B1	10	1	28.03.2014	2.4	<b>5.3</b>
30	B1	10	2	28.03.2014	3.0	<b>6.6</b>
31	B1	10	1	29.03.2014	3.8	<b>8.4</b>
32	B1	10	2	29.03.2014	3.9	<b>8.6</b>
33	B1	11	1	23.03.2014	5.9	<b>13.0</b>
34	B1	11	2	23.03.2014	9.3	<b>20.5</b>
35	B1	11	1	24.03.2014	10.4	<b>22.9</b>
36	B1	11	2	24.03.2014	11.8	<b>26.0</b>
5_1	B1	11	1	25.03.2014	7.3	<b>16.1</b>
2	B1	11	2	25.03.2014	9.7	<b>21.3</b>
3	B1	11	1	26.03.2014	2.2	<b>4.8</b>
4	B1	11	2	26.03.2014	3.6	<b>7.9</b>
5	B1	11	1	27.03.2014	5.6	<b>12.3</b>
6	B1	11	2	27.03.2014	5.4	<b>11.9</b>
7	B1	11	1	28.03.2014	4.4	<b>9.7</b>
8	B1	11	2	28.03.2014	4.6	<b>10.1</b>
9	B1	11	1	29.03.2014	9.1	<b>20.0</b>
10	B1	11	2	29.03.2014	15.6	<b>34.3</b>
11	B1	12	1	23.03.2014	5.5	<b>12.1</b>
12	B1	12	2	23.03.2014	4.6	<b>10.1</b>
13	B1	12	1	24.03.2014	4.0	<b>8.8</b>
14	B1	12	2	24.03.2014	5.8	<b>12.8</b>
15	B1	12	1	25.03.2014	3.5	<b>7.7</b>
16	B1	12	2	25.03.2014	4.6	<b>10.1</b>
17	B1	12	1	26.03.2014	4.1	<b>9.0</b>
18	B1	12	2	26.03.2014	4.6	<b>10.1</b>
19	B1	12	1	27.03.2014	2.4	<b>5.3</b>
20	B1	12	2	27.03.2014	4.0	<b>8.8</b>
21	B1	12	1	28.03.2014	2.8	<b>6.2</b>
22	B1	12	2	28.03.2014	3.8	<b>8.4</b>
23	B1	12	1	29.03.2014	3.0	<b>6.6</b>
24	B1	12	2	29.03.2014	3.0	<b>6.6</b>

					Palme & Möstl, 1997; Palme et al., 1999	
					11,17-dioxoan- drostanes (72a)	72a
	<b>Be- trieb</b>	<b>Kuh</b>	<b>Probe</b>	<b>Datum</b>		1:10(50µl )
5_25	B2	1	1	08.04.2014	8.8	<b>19.4</b>
26	B2	1	2	08.04.2014	5.3	<b>11.7</b>
27	B2	1	1	09.04.2014	3.5	<b>7.7</b>

28	B2	1	2	09.04.2014	5.1	11.2
29	B2	1	1	10.04.2014	2.3	5.1
30	B2	1	2	10.04.2014	5.3	11.7
31	B2	1	1	11.04.2014	3.4	7.5
32	B2	1	2	11.04.2014	3.2	7.0
33	B2	1	1	12.04.2014	5.4	11.9
34	B2	1	2	12.04.2014	6.8	15.0
35	B2	1	1	13.04.2014	4.8	10.6
36	B2	1	2	13.04.2014	3.8	8.4
6_1	B2	1	1	14.04.2014	4.5	9.9
2	B2	1	2	14.04.2014	6.1	13.4
3	B2	2	1	08.04.2014	5.0	11.0
4	B2	2	2	08.04.2014	5.6	12.3
5	B2	2	1	09.04.2014	3.1	6.8
6	B2	2	2	09.04.2014	4.2	9.2
7	B2	2	1	10.04.2014	7.3	16.1
8	B2	2	2	10.04.2014	7.1	15.6
9	B2	2	1	11.04.2014	2.8	6.2
10	B2	2	2	11.04.2014	4.5	9.9
11	B2	2	1	12.04.2014	5.7	12.5
12	B2	2	2	12.04.2014	4.7	10.3
13	B2	2	1	13.04.2014	10.2	22.4
14	B2	2	2	13.04.2014	7.6	16.7
15	B2	2	1	14.04.2014	7.7	16.9
16	B2	2	2	14.04.2014	7.0	15.4
17	B2	3	1	08.04.2014	5.3	11.7
18	B2	3	2	08.04.2014	8.9	19.6
19	B2	3	1	09.04.2014	4.6	10.1
20	B2	3	2	09.04.2014	4.1	9.0
(Box3)2 1	B2	3	1	10.04.2014	4.1	9.0
22	B2	3	2	10.04.2014	6.3	13.9
23	B2	3	1	11.04.2014	4.6	10.1
24	B2	3	2	11.04.2014	3.9	8.6
25	B2	3	1	12.04.2014	8.0	17.6
26	B2	3	2	12.04.2014	8.1	17.8
27	B2	3	1	13.04.2014	6.0	13.2
28	B2	3	2	13.04.2014	6.6	14.5
29	B2	3	1	14.04.2014	6.9	15.2
30	B2	3	2	14.04.2014	8.3	18.3
31	B2	4	1	08.04.2014	5.0	11.0
32	B2	4	2	08.04.2014	5.5	12.1
33	B2	4	1	09.04.2014	4.3	9.5
34	B2	4	2	09.04.2014	6.5	14.3
35	B2	4	1	10.04.2014	6.1	13.4
36	B2	4	2	10.04.2014	5.2	11.4
7_1	B2	4	1	11.04.2014	5.4	11.9

2	B2	4	2	11.04.2014	4.8	<b>10.6</b>
3	B2	4	1	12.04.2014	5.6	<b>12.3</b>
4	B2	4	2	12.04.2014	4.7	<b>10.3</b>
5	B2	4	1	13.04.2014	2.7	<b>5.9</b>
6	B2	4	2	13.04.2014	4.3	<b>9.5</b>
7	B2	4	1	14.04.2014	3.2	<b>7.0</b>
8	B2	4	2	14.04.2014	3.0	<b>6.6</b>
9	B2	5	1	08.04.2014	4.5	<b>9.9</b>
10	B2	5	2	08.04.2014	5.8	<b>12.8</b>
11	B2	5	1	09.04.2014	4.3	<b>9.5</b>
12	B2	5	2	09.04.2014	6.3	<b>13.9</b>
13	B2	5	1	10.04.2014	3.1	<b>6.8</b>
14	B2	5	2	10.04.2014	4.5	<b>9.9</b>
15	B2	5	1	11.04.2014	2.4	<b>5.3</b>
16	B2	5	2	11.04.2014	2.8	<b>6.2</b>
17	B2	5	1	12.04.2014	3.4	<b>7.5</b>
18	B2	5	2	12.04.2014	5.2	<b>11.4</b>
19	B2	5	1	13.04.2014	2.4	<b>5.3</b>
20	B2	5	2	13.04.2014	3.7	<b>8.1</b>
21	B2	5	1	14.04.2014	1.9	<b>4.2</b>
22	B2	5	2	14.04.2014	3.1	<b>6.8</b>
23	B2	6	1	08.04.2014	4.4	<b>9.7</b>
24	B2	6	2	08.04.2014	6.4	<b>14.1</b>
25	B2	6	1	09.04.2014	3.4	<b>7.5</b>
26	B2	6	2	09.04.2014	4.9	<b>10.8</b>
27	B2	6	1	10.04.2014	6.6	<b>14.5</b>
28	B2	6	2	10.04.2014	4.5	<b>9.9</b>
29	B2	6	1	11.04.2014	5.1	<b>11.2</b>
30	B2	6	2	11.04.2014	5.4	<b>11.9</b>
31	B2	6	1	12.04.2014	6.4	<b>14.1</b>
32	B2	6	2	12.04.2014	5.4	<b>11.9</b>
33	B2	6	1	13.04.2014	4.4	<b>9.7</b>
34	B2	6	2	13.04.2014	5.8	<b>12.8</b>
35	B2	6	1	14.04.2014	6.3	<b>13.9</b>
36	B2	6	2	14.04.2014	6.5	<b>14.3</b>
8_1	B2	7	1	08.04.2014	5.0	<b>11.0</b>
2	B2	7	2	08.04.2014	6.8	<b>15.0</b>
3	B2	7	1	09.04.2014	10.1	<b>22.2</b>
4	B2	7	2	09.04.2014	9.7	<b>21.3</b>
5	B2	7	1	10.04.2014	4.4	<b>9.7</b>
6	B2	7	2	10.04.2014	7.3	<b>16.1</b>
7	B2	7	1	11.04.2014	4.8	<b>10.6</b>
8	B2	7	2	11.04.2014	4.0	<b>8.8</b>
9	B2	7	1	12.04.2014	6.8	<b>15.0</b>
10	B2	7	2	12.04.2014	7.3	<b>16.1</b>
11	B2	7	1	13.04.2014	4.9	<b>10.8</b>
12	B2	7	2	13.04.2014	5.4	<b>11.9</b>

13	B2	7	1	14.04.2014	5.9	<b>13.0</b>
14	B2	7	2	14.04.2014	7.6	<b>16.7</b>
15	B2	8	1	08.04.2014	5.2	<b>11.4</b>
16	B2	8	2	08.04.2014	4.1	<b>9.0</b>
17	B2	8	1	09.04.2014	4.5	<b>9.9</b>
18	B2	8	2	09.04.2014	7.5	<b>16.5</b>
19	B2	8	1	10.04.2014	5.9	<b>13.0</b>
20	B2	8	2	10.04.2014	4.4	<b>9.7</b>
21	B2	8	1	11.04.2014	4.2	<b>9.2</b>
22	B2	8	2	11.04.2014	6.0	<b>13.2</b>
23	B2	8	1	12.04.2014	4.0	<b>8.8</b>
24	B2	8	2	12.04.2014	2.6	<b>5.7</b>
25	B2	8	1	13.04.2014	5.6	<b>12.3</b>
26	B2	8	2	13.04.2014	7.7	<b>16.9</b>
27	B2	8	1	14.04.2014	6.2	<b>13.6</b>
28	B2	8	2	14.04.2014	5.5	<b>12.1</b>
29	B2	9	1	08.04.2014	2.9	<b>6.4</b>
30	B2	9	2	08.04.2014	4.8	<b>10.6</b>
31	B2	9	1	09.04.2014	3.4	<b>7.5</b>
32	B2	9	2	09.04.2014	3.4	<b>7.5</b>
33	B2	9	1	10.04.2014	2.9	<b>6.4</b>
34	B2	9	2	10.04.2014	5.5	<b>12.1</b>
35	B2	9	1	11.04.2014	5.2	<b>11.4</b>
36	B2	9	2	11.04.2014	5.4	<b>11.9</b>
9_1	B2	9	1	12.04.2014	3.0	<b>6.5</b>
2	B2	9	2	12.04.2014	3.2	<b>7.1</b>
3	B2	9	1	13.04.2014	2.3	<b>5.0</b>
4	B2	9	2	13.04.2014	1.8	<b>4.0</b>
5	B2	9	1	14.04.2014	1.9	<b>4.1</b>
6	B2	9	2	14.04.2014	3.2	<b>7.1</b>
7	B2	10	1	08.04.2014	2.5	<b>5.5</b>
8	B2	10	2	08.04.2014	1.6	<b>3.5</b>
9	B2	10	1	09.04.2014	2.6	<b>5.8</b>
10	B2	10	2	09.04.2014	3.6	<b>7.8</b>
11	B2	10	1	10.04.2014	3.3	<b>7.3</b>
12	B2	10	2	10.04.2014	1.7	<b>3.8</b>
(Box4)1 3	B2	10	1	11.04.2014	2.1	<b>4.5</b>
14	B2	10	2	11.04.2014	3.2	<b>6.9</b>
15	B2	10	1	12.04.2014	3.4	<b>7.5</b>
16	B2	10	2	12.04.2014	2.9	<b>6.4</b>
17	B2	10	1	13.04.2014	3.2	<b>7.0</b>
18	B2	10	2	13.04.2014	4.0	<b>8.8</b>
19	B2	10	1	14.04.2014	2.3	<b>5.0</b>
20	B2	10	2	14.04.2014	1.7	<b>3.7</b>
21	B2	11	1	08.04.2014	1.7	<b>3.8</b>
22	B2	11	2	08.04.2014	3.1	<b>6.8</b>

23	B2	11	1	09.04.2014	1.9	<b>4.1</b>
24	B2	11	2	09.04.2014	2.0	<b>4.3</b>
25	B2	11	1	10.04.2014	2.8	<b>6.1</b>
26	B2	11	2	10.04.2014	2.2	<b>4.7</b>
27	B2	11	1	11.04.2014	1.2	<b>2.7</b>
28	B2	11	2	11.04.2014	1.5	<b>3.3</b>
29	B2	11	1	12.04.2014	1.7	<b>3.8</b>
30	B2	11	2	12.04.2014	2.3	<b>5.0</b>
31	B2	11	1	13.04.2014	0.7	<b>1.5</b>
32	B2	11	2	13.04.2014	0.4	<b>0.8</b>
33	B2	11	1	14.04.2014	2.0	<b>4.3</b>
34	B2	11	2	14.04.2014	3.2	<b>7.0</b>
35	B2	12	1	08.04.2014	1.4	<b>3.1</b>
36	B2	12	2	08.04.2014	0.9	<b>2.0</b>
10_1	B2	12	1	09.04.2014	3.8	<b>8.4</b>
2	B2	12	2	09.04.2014	4.4	<b>9.7</b>
3	B2	12	1	10.04.2014	2.3	<b>5.0</b>
4	B2	12	2	10.04.2014	2.0	<b>4.3</b>
5	B2	12	1	11.04.2014	2.2	<b>4.9</b>
6	B2	12	2	11.04.2014	4.4	<b>9.7</b>
7	B2	12	1	12.04.2014	2.2	<b>4.8</b>
8	B2	12	2	12.04.2014	1.7	<b>3.8</b>
9	B2	12	1	13.04.2014	2.9	<b>6.4</b>
10	B2	12	2	13.04.2014	3.9	<b>8.5</b>
11	B2	12	1	14.04.2014	3.5	<b>7.8</b>
12	B2	12	2	14.04.2014	2.4	<b>5.2</b>

					Palme & Möstl, 1997; Palme et al., 1999	
					11,17-dioxoan- drostanes (72a)	72a
	<b>Be- trieb</b>	<b>Kuh</b>	<b>Probe</b>	<b>Datum</b>		1:10(50µl )
10_13	B3	1	1	13.07.2014	3.5	<b>7.7</b>
14	B3	1	2	13.07.2014	4.5	<b>9.8</b>
15	B3	1	1	14.07.2014	3.3	<b>7.3</b>
16	B3	1	2	14.07.2014	2.8	<b>6.2</b>
17	B3	1	1	15.07.2014	3.4	<b>7.6</b>
18	B3	1	2	15.07.2014	4.7	<b>10.3</b>
19	B3	1	1	16.07.2014	2.3	<b>5.0</b>
20	B3	1	2	16.07.2014	2.0	<b>4.4</b>
21	B3	1	1	17.07.2014	4.4	<b>9.6</b>
22	B3	1	2	17.07.2014	5.0	<b>11.0</b>
23	B3	1	1	18.07.2014	2.3	<b>5.0</b>

24	B3	1	2	18.07.2014	2.6	<b>5.7</b>
25	B3	1	1	19.07.2014	3.6	<b>7.9</b>
26	B3	1	2	19.07.2014	6.1	<b>13.4</b>
27	B3	2	1	13.07.2014	3.7	<b>8.1</b>
28	B3	2	2	13.07.2014	0.7	<b>1.5</b>
29	B3	2	1	14.07.2014	1.2	<b>2.6</b>
30	B3	2	2	14.07.2014	3.9	<b>8.6</b>
31	B3	2	1	15.07.2014	1.3	<b>2.9</b>
32	B3	2	2	15.07.2014	1.5	<b>3.3</b>
33	B3	2	1	16.07.2014	4.0	<b>8.8</b>
34	B3	2	2	16.07.2014	6.2	<b>13.6</b>
35	B3	2	1	17.07.2014	5.0	<b>10.9</b>
36	B3	2	2	17.07.2014	3.2	<b>7.1</b>
11_1	B3	2	1	18.07.2014	5.0	<b>11.0</b>
2	B3	2	2	18.07.2014	6.5	<b>14.3</b>
3	B3	2	1	19.07.2014	3.7	<b>8.1</b>
4	B3	2	2	19.07.2014	2.9	<b>6.3</b>
5	B3	3	1	13.07.2014	4.4	<b>9.7</b>
6	B3	3	2	13.07.2014	3.6	<b>8.0</b>
7	B3	3	1	14.07.2014	2.8	<b>6.2</b>
8	B3	3	2	14.07.2014	2.2	<b>4.9</b>
9	B3	3	1	15.07.2014	2.2	<b>4.7</b>
10	B3	3	2	15.07.2014	3.4	<b>7.5</b>
11	B3	3	1	16.07.2014	2.1	<b>4.6</b>
12	B3	3	2	16.07.2014	2.2	<b>4.8</b>
13	B3	3	1	17.07.2014	2.2	<b>4.8</b>
14	B3	3	2	17.07.2014	4.0	<b>8.8</b>
15	B3	3	1	18.07.2014	2.5	<b>5.4</b>
16	B3	3	2	18.07.2014	2.6	<b>5.7</b>
17	B3	3	1	19.07.2014	4.4	<b>9.6</b>
18	B3	3	2	19.07.2014	5.5	<b>12.0</b>
19	B3	4	1	13.07.2014	2.3	<b>5.0</b>
20	B3	4	2	13.07.2014	1.1	<b>2.5</b>
21	B3	4	1	14.07.2014	4.8	<b>10.5</b>
22	B3	4	2	14.07.2014	2.8	<b>6.2</b>
23	B3	4	1	15.07.2014	2.1	<b>4.7</b>
24	B3	4	2	15.07.2014	1.4	<b>3.1</b>
25	B3	4	1	16.07.2014	6.1	<b>13.4</b>
26	B3	4	2	16.07.2014	3.0	<b>6.6</b>
27	B3	4	1	17.07.2014	2.1	<b>4.6</b>
28	B3	4	2	17.07.2014	3.6	<b>7.9</b>
29	B3	4	1	18.07.2014	2.8	<b>6.1</b>
30	B3	4	2	18.07.2014	7.1	<b>15.6</b>
31	B3	4	1	19.07.2014	3.6	<b>7.9</b>
32	B3	4	2	19.07.2014	3.0	<b>6.5</b>
33	B3	5	1	13.07.2014	3.8	<b>8.4</b>
34	B3	5	2	13.07.2014	13.4	<b>29.4</b>

35	B3	5	1	14.07.2014	6.1	<b>13.4</b>
36	B3	5	2	14.07.2014	5.8	<b>12.8</b>
12_1	B3	5	1	15.07.2014	4.8	<b>10.6</b>
2	B3	5	2	15.07.2014	6.9	<b>15.1</b>
3	B3	5	1	16.07.2014	7.1	<b>15.5</b>
4	B3	5	2	16.07.2014	5.4	<b>11.9</b>
(Box5)5	B3	5	1	17.07.2014	7.3	<b>16.1</b>
6	B3	5	2	17.07.2014	10.1	<b>22.2</b>
7	B3	5	1	18.07.2014	5.5	<b>12.0</b>
8	B3	5	2	18.07.2014	4.5	<b>9.8</b>
9	B3	5	1	19.07.2014	11.3	<b>24.8</b>
10	B3	5	2	19.07.2014	15.5	<b>34.1</b>
11	B3	6	1	13.07.2014	2.0	<b>4.3</b>
12	B3	6	2	13.07.2014	1.1	<b>2.4</b>
13	B3	6	1	14.07.2014	9.9	<b>21.8</b>
14	B3	6	2	14.07.2014	13.6	<b>30.0</b>
15	B3	6	1	15.07.2014	5.1	<b>11.2</b>
16	B3	6	2	15.07.2014	4.0	<b>8.7</b>
17	B3	6	1	16.07.2014	3.8	<b>8.4</b>
18	B3	6	2	16.07.2014	5.0	<b>11.0</b>
19	B3	6	1	17.07.2014	3.3	<b>7.2</b>
20	B3	6	2	17.07.2014	4.3	<b>9.5</b>
21	B3	6	1	18.07.2014	2.4	<b>5.3</b>
22	B3	6	2	18.07.2014	6.9	<b>15.1</b>
23	B3	6	1	19.07.2014	7.4	<b>16.3</b>
24	B3	6	2	19.07.2014	4.3	<b>9.4</b>
25	B3	7	1	13.07.2014	0.9	<b>1.9</b>
26	B3	7	2	13.07.2014	4.9	<b>10.7</b>
27	B3	7	1	14.07.2014	8.2	<b>18.0</b>
28	B3	7	2	14.07.2014	4.7	<b>10.4</b>
29	B3	7	1	15.07.2014	0.6	<b>1.4</b>
30	B3	7	2	15.07.2014	4.3	<b>9.4</b>
31	B3	7	1	16.07.2014	5.5	<b>12.2</b>
32	B3	7	2	16.07.2014	4.0	<b>8.8</b>
33	B3	7	1	17.07.2014	2.8	<b>6.2</b>
34	B3	7	2	17.07.2014	8.3	<b>18.3</b>
35	B3	7	1	18.07.2014	4.6	<b>10.2</b>
36	B3	7	2	18.07.2014	5.9	<b>13.0</b>
13_1	B3	7	1	19.07.2014	3.9	<b>8.6</b>
2	B3	7	2	19.07.2014	7.8	<b>17.1</b>
3	B3	8	1	13.07.2014	3.8	<b>8.3</b>
4	B3	8	2	13.07.2014	3.2	<b>7.1</b>
5	B3	8	1	14.07.2014	3.1	<b>6.9</b>
6	B3	8	2	14.07.2014	6.0	<b>13.3</b>
7	B3	8	1	15.07.2014	3.5	<b>7.6</b>
8	B3	8	2	15.07.2014	3.4	<b>7.5</b>
9	B3	8	1	16.07.2014	4.7	<b>10.3</b>

10	B3	8	2	16.07.2014	6.3	<b>13.9</b>
11	B3	8	1	17.07.2014	4.8	<b>10.5</b>
12	B3	8	2	17.07.2014	4.2	<b>9.2</b>
13	B3	8	1	18.07.2014	4.7	<b>10.4</b>
14	B3	8	2	18.07.2014	9.7	<b>21.3</b>
15	B3	8	1	19.07.2014	6.6	<b>14.5</b>
16	B3	8	2	19.07.2014	5.1	<b>11.2</b>
17	B3	9	1	13.07.2014	2.6	<b>5.8</b>
18	B3	9	2	13.07.2014	4.7	<b>10.2</b>
19	B3	9	1	14.07.2014	12.3	<b>27.1</b>
20	B3	9	2	14.07.2014	4.3	<b>9.4</b>
21	B3	9	1	15.07.2014	4.6	<b>10.1</b>
22	B3	9	2	15.07.2014	10.4	<b>22.9</b>
23	B3	9	1	16.07.2014	2.7	<b>5.9</b>
24	B3	9	2	16.07.2014	1.3	<b>2.9</b>
25	B3	9	1	17.07.2014	3.7	<b>8.2</b>
26	B3	9	2	17.07.2014	7.9	<b>17.4</b>
27	B3	9	1	18.07.2014	14.2	<b>31.3</b>
28	B3	9	2	18.07.2014	5.6	<b>12.3</b>
29	B3	9	1	19.07.2014	4.4	<b>9.7</b>
30	B3	9	2	19.07.2014	8.5	<b>18.8</b>
31	B3	10	1	13.07.2014	6.1	<b>13.4</b>
32	B3	10	2	13.07.2014	6.7	<b>14.8</b>
33	B3	10	1	14.07.2014	6.1	<b>13.4</b>
34	B3	10	2	14.07.2014	12.1	<b>26.6</b>
35	B3	10	1	15.07.2014	5.2	<b>11.4</b>
36	B3	10	2	15.07.2014	6.8	<b>15.0</b>
14_1	B3	10	1	16.07.2014	3.9	<b>8.7</b>
2	B3	10	2	16.07.2014	7.5	<b>16.6</b>
3	B3	10	1	17.07.2014	13.3	<b>29.3</b>
4	B3	10	2	17.07.2014	7.6	<b>16.6</b>
5	B3	10	1	18.07.2014	10.7	<b>23.5</b>
6	B3	10	2	18.07.2014	12.7	<b>28.0</b>
7	B3	10	1	19.07.2014	12.1	<b>26.5</b>
8	B3	10	2	19.07.2014	7.4	<b>16.3</b>
9	B3	11	1	13.07.2014	3.2	<b>7.1</b>
10	B3	11	2	13.07.2014	6.9	<b>15.2</b>
11	B3	11	1	14.07.2014	3.7	<b>8.2</b>
12	B3	11	2	14.07.2014	3.7	<b>8.2</b>
13	B3	11	1	15.07.2014	2.2	<b>4.7</b>
14	B3	11	2	15.07.2014	4.6	<b>10.0</b>
15	B3	11	1	16.07.2014	2.3	<b>5.1</b>
16	B3	11	2	16.07.2014	2.1	<b>4.6</b>
17	B3	11	1	17.07.2014	5.4	<b>12.0</b>
18	B3	11	2	17.07.2014	6.0	<b>13.1</b>
19	B3	11	1	18.07.2014	4.5	<b>9.9</b>
20	B3	11	2	18.07.2014	4.2	<b>9.2</b>

21	B3	11	1	19.07.2014	5.9	<b>13.1</b>
22	B3	11	2	19.07.2014	8.3	<b>18.3</b>
23	B3	12	1	13.07.2014	6.3	<b>13.9</b>
24	B3	12	2	13.07.2014	4.9	<b>10.8</b>
25	B3	12	1	14.07.2014	5.2	<b>11.3</b>
26	B3	12	2	14.07.2014	9.2	<b>20.3</b>
27	B3	12	1	15.07.2014	4.9	<b>10.7</b>
28	B3	12	2	15.07.2014	2.6	<b>5.8</b>
29	B3	12	1	16.07.2014	5.9	<b>12.9</b>
30	B3	12	2	16.07.2014	5.2	<b>11.5</b>
31	B3	12	1	17.07.2014	6.1	<b>13.5</b>
32	B3	12	2	17.07.2014	4.1	<b>9.0</b>
(Box6)33	B3	12	1	18.07.2014	11.6	<b>25.6</b>
34	B3	12	2	18.07.2014	5.7	<b>12.5</b>
35	B3	12	1	19.07.2014	9.3	<b>20.5</b>
36	B3	12	2	19.07.2014	3.8	<b>8.4</b>

					Palme & Möstl, 1997; Palme et al., 1999	
					11,17-dioxoandrosta- nes (72a)	72a
	<b>Be- trieb</b>	<b>Kuh</b>	<b>Probe</b>	<b>Datum</b>		1:10(50µl )
15_1	B4	1	1	03.08.2014	10.1	<b>22.2</b>
2	B4	1	2	03.08.2014	16.9	<b>37.1</b>
3	B4	1	1	04.08.2014	8.0	<b>17.5</b>
4	B4	1	2	04.08.2014	8.7	<b>19.0</b>
5	B4	1	1	05.08.2014	8.6	<b>19.0</b>
6	B4	1	2	05.08.2014	6.4	<b>14.0</b>
7	B4	1	1	06.08.2014	6.1	<b>13.3</b>
8	B4	1	2	06.08.2014	3.2	<b>7.0</b>
9	B4	1	1	07.08.2014	6.2	<b>13.7</b>
10	B4	1	2	07.08.2014	5.0	<b>11.0</b>
11	B4	1	1	08.08.2014	3.9	<b>8.5</b>
12	B4	1	2	08.08.2014	4.9	<b>10.8</b>
13	B4	1	1	09.08.2014	6.6	<b>14.6</b>
14	B4	1	2	09.08.2014	4.8	<b>10.5</b>
15	B4	2	1	03.08.2014	5.5	<b>12.1</b>
16	B4	2	2	03.08.2014	1.6	<b>3.5</b>
17	B4	2	1	04.08.2014	3.3	<b>7.2</b>
18	B4	2	2	04.08.2014	3.0	<b>6.5</b>
19	B4	2	1	05.08.2014	4.8	<b>10.6</b>
20	B4	2	2	05.08.2014	2.3	<b>5.0</b>
21	B4	2	1	06.08.2014	11.0	<b>24.1</b>
22	B4	2	2	06.08.2014	5.3	<b>11.7</b>

23	B4	2	1	07.08.2014	4.7	<b>10.4</b>
24	B4	2	2	07.08.2014	2.3	<b>5.0</b>
25	B4	2	1	08.08.2014	2.4	<b>5.2</b>
26	B4	2	2	08.08.2014	2.9	<b>6.4</b>
27	B4	2	1	09.08.2014	5.4	<b>12.0</b>
28	B4	2	2	09.08.2014	3.9	<b>8.7</b>
29	B4	3	1	03.08.2014	3.0	<b>6.7</b>
30	B4	3	2	03.08.2014	7.8	<b>17.1</b>
31	B4	3	1	04.08.2014	7.1	<b>15.7</b>
32	B4	3	2	04.08.2014	8.3	<b>18.2</b>
33	B4	3	1	05.08.2014	8.7	<b>19.1</b>
34	B4	3	2	05.08.2014	8.4	<b>18.4</b>
35	B4	3	1	06.08.2014	11.5	<b>25.2</b>
36	B4	3	2	06.08.2014	6.5	<b>14.4</b>
16_1	B4	3	1	07.08.2014	3.6	<b>7.9</b>
2	B4	3	2	07.08.2014	5.0	<b>11.1</b>
3	B4	3	1	08.08.2014	8.6	<b>18.9</b>
4	B4	3	2	08.08.2014	5.2	<b>11.3</b>
5	B4	3	1	09.08.2014	8.6	<b>19.0</b>
6	B4	3	2	09.08.2014	9.6	<b>21.1</b>
7	B4	4	1	03.08.2014	4.4	<b>9.7</b>
8	B4	4	2	03.08.2014	9.6	<b>21.2</b>
9	B4	5	1	03.08.2014	6.0	<b>13.3</b>
10	B4	5	2	03.08.2014	10.3	<b>22.7</b>
11	B4	5	1	04.08.2014	22.1	<b>48.6</b>
12	B4	5	2	04.08.2014	12.1	<b>26.6</b>
13	B4	5	1	05.08.2014	8.2	<b>18.1</b>
14	B4	5	2	05.08.2014	13.9	<b>30.7</b>
15	B4	5	1	06.08.2014	6.1	<b>13.3</b>
16	B4	5	2	06.08.2014	9.3	<b>20.5</b>
17	B4	5	1	07.08.2014	6.9	<b>15.1</b>
18	B4	5	2	07.08.2014	7.5	<b>16.5</b>
19	B4	5	1	08.08.2014	13.7	<b>30.2</b>
20	B4	5	2	08.08.2014	9.0	<b>19.9</b>
21	B4	5	1	09.08.2014	5.3	<b>11.7</b>
22	B4	5	2	09.08.2014	5.1	<b>11.3</b>
23	B4	6	1	03.08.2014	8.9	<b>19.6</b>
24	B4	6	2	03.08.2014	4.8	<b>10.5</b>
25	B4	6	1	04.08.2014	6.07	<b>13.4</b>
26	B4	6	2	04.08.2014	11.7	<b>25.7</b>
27	B4	6	1	05.08.2014	5.22	<b>11.5</b>
28	B4	6	2	05.08.2014	6.35	<b>14.0</b>
29	B4	6	1	06.08.2014	18.87	<b>41.5</b>
30	B4	6	2	06.08.2014	17.82	<b>39.2</b>
31	B4	6	1	07.08.2014	9.08	<b>20.0</b>
32	B4	6	2	07.08.2014	6.53	<b>14.4</b>
33	B4	6	1	08.08.2014	6.87	<b>15.1</b>

34	B4	6	2	08.08.2014	7.43	<b>16.3</b>
35	B4	6	1	09.08.2014	14.56	<b>32.0</b>
36	B4	6	2	09.08.2014	11.49	<b>25.3</b>
17_1	B4	7	1	03.08.2014	13.6	<b>29.9</b>
2	B4	7	2	03.08.2014	9.4	<b>20.7</b>
3	B4	7	1	04.08.2014	10.0	<b>22.0</b>
4	B4	7	2	04.08.2014	9.5	<b>20.9</b>
5	B4	7	1	05.08.2014	22.3	<b>49.1</b>
6	B4	7	2	05.08.2014	19.7	<b>43.3</b>
7	B4	7	1	06.08.2014	10.1	<b>22.2</b>
8	B4	7	2	06.08.2014	15.3	<b>33.7</b>
9	B4	7	1	07.08.2014	11.5	<b>25.3</b>
10	B4	7	2	07.08.2014	17.6	<b>38.7</b>
11	B4	7	1	08.08.2014	12	<b>26.4</b>
12	B4	7	2	08.08.2014	9.8	<b>21.6</b>
13	B4	7	1	09.08.2014	13.7	<b>30.1</b>
14	B4	7	2	09.08.2014	16.6	<b>36.5</b>
15	B4	8	1	03.08.2014	8.3	<b>18.3</b>
16	B4	8	2	03.08.2014	14.0	<b>30.8</b>
17	B4	8	1	04.08.2014	22.0	<b>48.4</b>
18	B4	8	2	04.08.2014	11.4	<b>25.1</b>
19	B4	8	1	05.08.2014	4.5	<b>9.9</b>
20	B4	8	2	05.08.2014	7.0	<b>15.4</b>
21	B4	8	1	06.08.2014	8.3	<b>18.3</b>
22	B4	8	2	06.08.2014	8.7	<b>19.1</b>
23	B4	8	1	07.08.2014	4.8	<b>10.6</b>
24	B4	8	2	07.08.2014	5.2	<b>11.4</b>
(Box7)2 5	B4	8	1	08.08.2014	<b>51.2</b>	<b>112.6</b>
26	B4	8	2	08.08.2014	<b>54.2</b>	<b>119.2</b>
27	B4	8	1	09.08.2014	2.4	<b>5.3</b>
28	B4	8	2	09.08.2014	2.4	<b>5.3</b>
29	B4	9	1	03.08.2014	6.3	<b>13.9</b>
30	B4	9	2	03.08.2014	9.5	<b>20.9</b>
31	B4	9	1	04.08.2014	6.8	<b>15.0</b>
32	B4	9	2	04.08.2014	12.3	<b>27.1</b>
33	B4	9	1	05.08.2014	27.9	<b>61.4</b>
34	B4	9	2	05.08.2014	44.7	<b>98.3</b>
35	B4	9	1	06.08.2014	9.2	<b>20.2</b>
36	B4	9	2	06.08.2014	8.7	<b>19.1</b>
18_1	B4	9	1	07.08.2014	10.3	<b>22.7</b>
2	B4	9	2	07.08.2014	14.5	<b>31.9</b>
3	B4	9	1	08.08.2014	6.1	<b>13.4</b>
4	B4	9	2	08.08.2014	7.8	<b>17.2</b>
5	B4	9	1	09.08.2014	3.2	<b>7.0</b>
6	B4	9	2	09.08.2014	7.2	<b>15.8</b>
7	B4	10	1	03.08.2014	4.2	<b>9.2</b>

8	B4	10	2	03.08.2014	3.3	<b>7.3</b>
9	B4	10	1	04.08.2014	6.4	<b>14.1</b>
10	B4	10	2	04.08.2014	6.4	<b>14.1</b>
11	B4	10	1	05.08.2014	2.4	<b>5.3</b>
12	B4	10	2	05.08.2014	2.0	<b>4.4</b>
13	B4	10	1	06.08.2014	4.4	<b>9.7</b>
14	B4	10	2	06.08.2014	3.4	<b>7.5</b>
15	B4	10	1	07.08.2014	4.5	<b>9.9</b>
16	B4	10	2	07.08.2014	3.4	<b>7.5</b>
17	B4	10	1	08.08.2014	2.8	<b>6.2</b>
18	B4	10	2	08.08.2014	5.2	<b>11.4</b>
19	B4	10	1	09.08.2014	3.7	<b>8.1</b>
20	B4	10	2	09.08.2014	3.9	<b>8.6</b>
21	B4	11	1	03.08.2014	11.5	<b>25.3</b>
22	B4	11	2	03.08.2014	10.1	<b>22.2</b>
23	B4	11	1	04.08.2014	2.5	<b>5.5</b>
24	B4	11	2	04.08.2014	2.1	<b>4.6</b>
25	B4	11	1	05.08.2014	7.5	<b>16.5</b>
26	B4	11	2	05.08.2014	10.8	<b>23.8</b>
27	B4	11	1	06.08.2014	3.2	<b>7.0</b>
28	B4	11	2	06.08.2014	2.7	<b>5.9</b>
29	B4	11	1	07.08.2014	2.3	<b>5.1</b>
30	B4	11	2	07.08.2014	5.6	<b>12.3</b>
31	B4	11	1	08.08.2014	2.1	<b>4.6</b>
32	B4	11	2	08.08.2014	1.6	<b>3.5</b>
33	B4	11	1	09.08.2014	5.5	<b>12.1</b>
34	B4	11	2	09.08.2014	10.3	<b>22.7</b>
35	B4	12	1	03.08.2014	11.5	<b>25.3</b>
36	B4	12	2	03.08.2014	13.6	<b>29.9</b>
19_1	B4	12	1	04.08.2014	8.7	<b>19.1</b>
2	B4	12	2	04.08.2014	11.1	<b>24.4</b>
3	B4	12	1	05.08.2014	6.3	<b>13.9</b>
4	B4	12	2	05.08.2014	8.0	<b>17.6</b>
5	B4	12	1	06.08.2014	6.5	<b>14.3</b>
6	B4	12	2	06.08.2014	10.2	<b>22.4</b>
7	B4	12	1	07.08.2014	4.8	<b>10.6</b>
8	B4	12	2	07.08.2014	4.3	<b>9.5</b>
9	B4	12	1	08.08.2014	4.4	<b>9.7</b>
10	B4	12	2	08.08.2014	6.9	<b>15.2</b>
11	B4	12	1	09.08.2014	5.7	<b>12.5</b>
12	B4	12	2	09.08.2014	6.4	<b>14.1</b>

						Palme & Möstl, 1997; Palme et al., 1999	
						11,17-dioxoan- drostanes (72a)	72a
	<b>Kontrolle</b>	<b>Be- trieb</b>	<b>Kuh</b>	<b>Prob e</b>	<b>Datum</b>		1:10(50µl )
13	K1	B3	1	2	17.07.2014	3.7	<b>8.1</b>
14	K2	B3	1	2	17.07.2014	7.4	<b>16.3</b>
15	K3	B3	1	2	17.07.2014	5.0	<b>11.0</b>
16	K4	B3	1	2	17.07.2014	4.9	<b>10.8</b>
17	K5	B3	1	2	17.07.2014	4.2	<b>9.2</b>
18	K6	B3	1	2	17.07.2014	7.3	<b>16.1</b>
19	K7	B3	1	2	17.07.2014	6.4	<b>14.1</b>
20	K8	B3	1	2	17.07.2014	5.2	<b>11.4</b>
21	K9	B3	1	2	17.07.2014	5.9	<b>13.0</b>



## 12 Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die bei der promotionsführenden Einrichtung bzw. Fakultät

*Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt*

der TUM zur Promotionsprüfung vorgelegte Arbeit mit dem Titel:

***Untersuchungen zu Auswirkungen von simulierten Energieausfällen eines automatischen Melksystems auf ausgewählte Stressparameter von Milchkühen***

*Am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik*

unter der Anleitung Betreuung durch

*Prof. Dr. H. Bernhardt*

ohne sonstige Hilfe erstellt und bei der Abfassung nur die gemäß § 6 Abs. 6 und 7 Satz 2 angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe keine Organisation eingeschaltet, die gegen Entgelt Betreuerinnen und Betreuer für die Anfertigung von Dissertationen sucht, oder die mir obliegenden Pflichten hinsichtlich der Prüfungsleistungen für mich ganz oder teilweise erledigt.

Ich habe die Dissertation in dieser oder ähnlicher Form in keinem anderen Prüfungsverfahren als Prüfungsleistung vorgelegt.

Ich habe den angestrebten Doktorgrad **noch nicht** erworben und bin **nicht** in einem früheren Promotionsverfahren für den angestrebten Doktorgrad endgültig gescheitert.

Die öffentlich zugängliche Promotionsordnung der TUM ist mir bekannt, insbesondere habe ich die Bedeutung von § 28 (Nichtigkeit der Promotion) und § 29 (Entzug des Doktorgrades) zur Kenntnis genommen. Ich bin mir der Konsequenzen einer falschen Eidesstattlichen Erklärung bewusst.

Mit der Aufnahme meiner personenbezogenen Daten in die Alumni-Datei bei der TUM bin ich einverstanden

Freising, den.....

.....  
Unterschrift