

Automatisierte Brunst- und Stoffwechselüberwachung
bei der Milchkuh

von Lisa Zimmermann

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

Automatisierte Brunst- und Stoffwechselüberwachung
bei der Milchkuh

von Lisa Zimmermann

aus Nürnberg

München 2017

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen
Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Physiologie und Pathologie der Fortpflanzung

Arbeit angefertigt unter der Leitung von Univ.- Prof. Dr. Holm Zerbe

Mitbetreuung durch Dr. Rainer Martin

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, PhD

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Holm Zerbe

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Rolf Mansfeld
Univ.-Prof. Dr. Dr. Michael H. Erhard
Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. Erwin Märtlbauer
Univ.-Prof. Dr. Eckhard Wolf

Tag der Promotion: 29. Juli 2017

Meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	5
III.	MATERIAL UND METHODEN	41
1.	Versuchsbetrieb und Tiere	41
2.	Material	42
2.1.	Labor.....	42
2.1.1.	Materialien für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch	42
2.1.1.1.	Geräte für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch	42
2.1.1.2.	Verbrauchsmaterial für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch	43
2.1.1.3.	Reagenzien für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch	43
2.1.1.4.	Puffer und Lösungen für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch	44
2.1.2.	Materialien für die Bestimmung des β -HBA-Gehalts aus Vollmilch ...	45
2.2.	Kameras.....	45
2.3.	Nachtlicht	45
2.4.	Dairy management system	46
2.5.	Computer-Hardware	46
2.6.	Computer-Software.....	46
2.6.1.	Trackingsoftware.....	46
2.6.2.	Herdenmanagement-Software	47
2.7.	Marker	47
3.	Methoden	47
3.1.	Progesteronbestimmung.....	47
3.2.	β -HBA-Bestimmung aus Vollmilch und Versuchsgruppeneinteilung..	49

3.3.	Bestimmung der Parameter Milchmenge, Kraftfutteraufnahme und Bewegungsaktivität mittels Herdenmanagement-Programm	51
3.4.	Bestimmung der Bewegungsaktivität mittels Tracking-Methode	52
3.4.1.	Bildaufzeichnung und -verarbeitung	52
3.4.2.	2D-Matrixcode-Marker	53
3.4.3.	Beleuchtung bei Nacht	54
3.4.4.	Messung der Bewegungsaktivität	54
4.	Statistische Auswertung	55
4.1.	Brunsterkennung	55
4.2.	Stoffwechselüberwachung	56
IV.	ERGEBNISSE	57
1.	Brunsterkennung	57
1.1.	Einsatz der Tracking-Methode zur Brunsterkennung	57
1.1.1.	Quantifizierung der Bewegungsaktivität durch die Tracking-Methode	57
1.1.2.	Brunsterkennungsraten bei verschiedenen Aktivitätssteigerungsgrenzwerten	59
1.1.3.	Empfindlichkeit der Aktivitätsmessung mittels Tracking-Methode	62
1.1.4.	Praxistauglichkeit der Tracking-Methode	63
1.2.	Einsatz des Aktiometers zur Brunsterkennung	68
1.2.1.	Quantifizierung der Bewegungsaktivität durch das Aktiometer	69
1.2.2.	Brunsterkennungsraten bei verschiedenen Aktivitätssteigerungsgrenzwerten	71
1.2.3.	Empfindlichkeit der Aktivitätsmessung durch Aktiometer	73
1.2.4.	Praxistauglichkeit des Aktiometers	74
1.3.	Vergleich der Methoden Tracking und Aktiometer zur Brunsterkennung	74
2.	Stoffwechselüberwachung	76
2.1.	Vergleich von automatisiert erfassbaren Parametern bei Ketosekranken (K; Gruppe K) und gesunden Tieren (G; Gruppe G)	76
2.1.1.	Parameter Tages-Milchmenge	76

2.1.1.1.	Vergleich von Gruppe K und G – unabhängig von Laktationsnummer im Laktationsverlauf.....	76
2.1.1.2.	Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere der 1.Laktation	77
2.1.1.3.	Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere > 2.Laktation.....	77
2.1.2.	Parameter Kraftfutter-Aufnahme	79
2.1.2.1.	Vergleich von Gruppe K und G – unabhängig von Laktationsnummer	79
2.1.2.2.	Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere 1.Laktation	79
2.1.2.3.	Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere >2. Laktation.....	80
2.1.3.	Parameter Aktivität	82
2.1.3.1.	Vergleich von Gruppe K und G – unabhängig von Laktationsnummer	82
2.1.3.2.	Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere 1. Laktation	82
2.1.3.3.	Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere > 2. Laktation.....	83
2.1.3.4.	Vergleich der Bewegungsaktivität von Einzeltieren der Gruppe K und G mit der Gesamtherde an den DIM 6-12.....	84
3.	Fruchtbarkeit und Stoffwechsel.....	88
3.1.	Zeitpunkt der 1. Ovulation bei Tieren mit und ohne Ketose	88
3.2.	Aktivitätsverhalten in der Brunst bei Tieren der Gruppen K und G....	89
V.	DISKUSSION	93
1.	Brunsterkennung mittels Tracking-Methode oder Aktiometer?.....	93
1.1.	Die Sensitivität der Brunsterkennung mittels Tracking-Methode und Aktiometer ist prinzipiell gleich gut	93
1.2.	Ist die Tracking-Methode praktikabel?	96
1.3.	Fazit für den Einsatz der untersuchten Brunstüberwachungssysteme in der Praxis	97
2.	Ist eine Überwachung des Energiestoffwechsels mittels Aktivitätsmonitoring möglich?.....	98
2.1.	Kühe mit Ketose zeigen grundsätzlich eine geringere Bewegungsaktivität als gesunde Tiere	98
2.2.	Können Ketose-Kühe frühzeitig anhand ihrer Bewegungsaktivität identifiziert werden?	101

2.3.	Fazit für die Verwendung automatisiert erfassbarer Parameter zur Erkennung Ketose-kranker oder –gefährdeter Kühe	102
3.	Untersuchungen zu Beziehungen zwischen Fruchtbarkeit und Stoffwechsel.....	103
3.1.	Gibt es einen Einfluss der Ketose auf den Zeitpunkt der ersten Ovulation?	103
3.2.	Beeinflusst die Ketose die Brunsterkennung mittels Aktivitätsmonitoring?	104
VI.	ZUSAMMENFASSUNG.....	107
VII.	SUMMARY.....	111
VIII.	LITERATURVERZEICHNIS.....	115
IX.	DANKSAGUNG	123

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

°	Grad
°C	Grad Celsius
BHB (im Artikel)	Betahydroxybutyrat
β-HBA	Betahydroxybutyrat
μl	Mikroliter
μmol	Mikromol
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
AUC	Area under the curve
BCS	Body Condition Score
BSA	Bovines Serumalbumin
ca.	circa
cm	Zentimeter
DIM	days in milk
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EIA	Enzym Immuno Assay
G	Gesund
g	Gramm
GigE	Gigabit-Ethernet
GUI	Graphical User Interface
h	Stunde/n
HRP	Horseradish Peroxidase
Ig	Immunglobulin

IGF	Insulin like Growth factor
inkl.	inclusive
K	Ketose
kg	Kilogramm
konz	konzentriert/Konzentrat
l	Liter
LCD	Liquid Crystal Display
LH	Luteinisierendes Hormon
m	Meter
m ²	Quadratmeter
MAX	Maximum
Mbit	Megabit
min	Minute(n)
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter
NDF	neutral detergent fiber
NEFA	non esterified fatty acid
ng	Nanogramm
nm	Nanometer
p. p.	post partum
P4	Progesteron
PC	Personal Computer
pH	potentia hydrogenii

PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
RFID	Radio Frequency Identification
ROC	Receiver Operating Characteristic
s	Sekunde/n
SDK	Software Development Kit
SENS	Sensitivität
SIFT	Scale-Invariant Feature Transform
SPEZ	Spezifität
SQL	Structured Query Language
TOF	time of flight
U/min	Umdrehungen pro Minute
vs.	versus
W	Watt
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

I. EINLEITUNG

Die effektive Erkennung der Brunst ist eine der wichtigsten Aufgaben im Management von Milchviehbetrieben (Diskin et al., 2000; Nebel et al., 2000; Roelofs et al., 2010). Um den optimalen Besamungszeitpunkt zu identifizieren, ist eine genaue und möglichst engmaschige visuelle Beobachtung des Brunstverhaltens jedes einzelnen Tieres notwendig. Dies wird bei immer größer werdenden Betrieben mit weniger Arbeitskraft pro Tier zunehmend schwieriger (Lucy, 2001). Zudem können die Brunstsymptome bei hochleistenden Milchkühen in ihrer Intensität, Dauer oder Häufigkeit vermindert oder gar nicht mehr vorhanden sein (Lyimo et al., 2000; Roelofs et al., 2005a; Roelofs et al., 2005b; Van Eerdenburg et al., 1996; Van Vliet et al., 1996).

Ziel sollte eine Erkennungsrate von >70 % sein (Janowitz, 2009). Dem Landwirt entstehen durch das Übersehen einer Brunst und der damit verzögerten Wiederbelegung der Kuh Kosten in Höhe von 2 bis 4 € pro zusätzlichem Tag Gützeit. Das bedeutet einen Verlust von rund 40 bis 84 € pro übersehene Brunst (Jung, 2009). Inchaisri et al. (2010) schätzten die Kosten für Betriebe mit schlechter Reproduktionsleistung auf bis zu 231 € pro Kuh und Jahr. Verlängertes Kalbeintervall, reduzierte Milchleistung und vorzeitiges Abgehen aus der Herde sind Ursachen für diese Verluste (Inchaisri et al., 2010; Roelofs et al., 2010). Bei Milchkühen ist die mangelnde Fruchtbarkeit ein häufiger Grund für das vorzeitige Abgehen von Tieren aus der Herde. In den vergangenen Jahren war dies mit einem Anteil von >20 % die Hauptursache für Kuhabgänge in Deutschland (ADR, 2014). Ein großer Teil dieser fruchtbarkeitsbedingten Abgänge dürfte auf eine mangelhafte Brunsterkennung zurückzuführen sein.

Ein weiteres Problem, das nicht nur die Wirtschaftlichkeit eines Milchviehbetriebs stark negativ beeinflussen kann, sondern auch eine starke gesundheitliche Belastung der Kuh darstellt, ist die Ketose der Milchkuh. Es handelt sich dabei um Störungen des Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsels, die vor allem in den ersten zwei Laktationsmonaten infolge einer negativen Energiebilanz auftreten (Dohoo et al., 1984). Man unterscheidet bei diesem Erkrankungskomplex eine mit klinischen Symptomen einhergehende und eine subklinische Form. Die Inzidenz

der klinischen Ketose beträgt 2-15 % für Tiere in der Früh lactation (Duffield, 2000). Viel höher liegt der Wert für die subklinische Ketose mit 40-60 % in dieser Phase (Duffield et al., 1998; McArt et al., 2012; Simensen et al., 1990). Die Prävalenz der subklinischen Ketose wird mit 8,9-43 % in den ersten beiden Laktationsmonaten angegeben (Dohoo et al., 1983; Duffield et al., 1998; McArt et al., 2012). Die wirtschaftlichen Verluste entstehen durch reduzierte Milchleistungen sowie erhöhte Anfälligkeit gegenüber Folge- oder Begleiterkrankungen wie Nachgeburtsverhaltung, Metritis, Labmagenverlagerung, Mastitis, Lahmheit und Subfertilität, was wiederum zu einem erhöhten Abgangsrisiko in der frühen Phase der Laktation führt (Chapinal et al., 2012; Dubuc et al., 2012; Hurnik et al., 1975; McLaren et al., 2006; Ospina et al., 2010a, 2010b).

Staufenbiel (2004) beziffert die finanziellen Verluste pro Erkrankung für die subklinische Ketose auf rund 30 € und für die klinische Ketose auf etwa 150 €. Diese Angaben zeigen, wie bedeutend nicht nur die Erkennung der klinischen, sondern auch der subklinischen Ketose und deren Prophylaxe sind. In den letzten Jahren nehmen die Bemühungen zu, die Stoffwechselüberwachung durch automatisierte Lösungen zu erleichtern und sicherer zu gestalten.

Durch Zunahme der Betriebsgrößen bei gleichbleibender Arbeitskraft, leistungsbedingte Krankheitsanfälligkeit der Tiere und Zwang zur Wirtschaftlichkeit der Betriebe kommt automatisierten Überwachungssystemen im Milchviehbereich somit immer größere Bedeutung zu. Der Markt bietet bereits eine Reihe von Systemen zur Überwachung der Milchkuh für verschiedene Managementbereiche. So sind etliche automatisierte Systeme zur Unterstützung des Landwirts bei der Brunsterkennung sowie bei der Erkennung kranker Tiere bereits kommerziell erhältlich. Eine Evaluierung der Systeme hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Funktionalität liegt jedoch nicht immer vor.

Ein Ziel dieser Arbeit war es deshalb, einen Überblick über bereits in der Literatur evaluierte automatisierte Überwachungssysteme in der Milchviehhaltung zu geben, sowie Stärken und Schwächen dieser Systeme anhand wissenschaftlicher Studien darzustellen.

Ein weiteres Ziel dieser Dissertation war es, die von der Arbeitsgruppe bereits

etablierte Tracking-Methode als neuartiges optisches Brunstüberwachungssystem in Praxi zu testen und einem handelsüblichen System (Aktiometer) gegenüberzustellen. Besonderes Augenmerk wurde dabei nicht nur auf die Sicherheit und Funktionalität der Tracking-Methode, sondern auch auf ihre Praktikabilität in einem konventionellen Milchviehbetrieb gelegt. Des Weiteren wurde im gleichen Projekt überprüft, ob aus automatisiert erfassbaren Parametern wie Tagesmilchleistung, tägliche Kraftfutteraufnahme und Bewegungsaktivität ein Frühwarnsystem zur Erkennung Ketose-kranker bzw.-gefährdeter Tiere entwickelt werden kann.

II. LITERATURÜBERSICHT

Automatisierte Fruchtbarkeits- und Gesundheitsüberwachung bei der Milchkuh

Eine Übersicht

Lisa Zimmermann; Rainer Martin; Holm Zerbe

Klinik für Wiederkäuer mit Ambulanz und Bestandsbetreuung,

Ludwig-Maximilians-Universität München

Publiziert in Tierärztl Prax 2016; 44 (G): 242–251

Schlüsselwörter: Automatisierung, Überwachungssysteme, Brunst, Ketose, Geburt, Validierung

Zusammenfassung

Durch Zunahme der Betriebsgrößen bei gleichbleibender Arbeitskraft, leistungsbedingte Krankheitsanfälligkeit der Tiere und Zwang zur Wirtschaftlichkeit der Betriebe kommt automatisierten Überwachungssystemen im Milchviehbereich immer größere Bedeutung zu. Der Markt bietet bereits eine Reihe von Systemen zur Überwachung der Milchkuh für verschiedene Managementbereiche. Nicht immer liegt eine wissenschaftliche Validierung ihrer Eignung vor, die aufgrund der nicht unerheblichen Investitionskosten sowie zur Beurteilung der Praktikabilität eines Systems jedoch wünschenswert wäre. In Anbetracht der Entwicklung der letzten Jahre ist auch in den kommenden Jahren mit einem großen Fortschritt auf dem Gebiet der automatisierten Tierüberwachung zu rechnen. Für Tierärzte ergibt sich daher die Notwendigkeit, künftig Prinzipien entsprechender Systeme zu kennen, deren Nützlichkeit einschätzen und mit resultierenden Daten arbeiten zu können, um eine adäquate Beratung der betreuten Betriebe zu gewährleisten. Ziel dieses Übersichtsartikels

ist, Möglichkeiten und Grenzen derzeit verfügbarer Überwachungsinstrumente der Brunst, der Geburt und des Gesundheitsstatus (insbesondere der Stoffwechsellage) bei der Milchkuh, aber auch einzelner speziell ausgewählter Überwachungsbereiche darzustellen.

Keywords: Automation, monitoring systems, oestrus, ketosis, birth, validation

Summary

Automated surveillance systems have become increasingly important in dairy farming. This can be attributed to an increasing farm size with unaltered employee numbers, higher susceptibility of high-yielding animals to diseases and a general constraint to work more cost effectively. A variety of surveillance systems for different areas of application in dairy cow management are currently available. However, their applicability has not always been supported by scientific validation. With regards to the considerable costs in installing and running surveillance systems and to evaluate their practical aspects, further analyses are desirable. Considering the progress in computerbased systems in recent years, we are anticipating rapid developments in automated animal surveillance in the near future. Consequently, the need arises for veterinarians to understand the principles underlying such systems, to be able to assess their efficacy and to be capable of evaluating data derived from these systems in order to advise farmers appropriately. The aim of this study was to assess the benefits and limitations of current surveillance systems for oestrus-detection, partusalarm and monitoring health status mainly with regards to metabolic disorders in dairy cows, but also for other selected areas of health monitoring

Einleitung

Steigende Betriebsgrößen, leistungsbedingte Krankheitsanfälligkeit sowie haltungsbedingte Limitierung physiologischer Verhaltensweisen wirken sich zunehmend negativ auf die Herdengesundheit und -fruchtbarkeit sowie im Resultat auf die Wirtschaftlichkeit der Milchviehbetriebe aus. Die durchschnittliche Herdengröße in deutschen Betrieben stieg in den vergangenen 10 Jahren von knapp 45 auf über 75 Milchkühe an (89, 90). Als Arbeitsaufwand müssen betriebsabhängig rund 40 Arbeitskraftstunden pro Tierplatz und Jahr kalkuliert werden (88). Steigende Personalkosten sowie der Anspruch auf Arbeitskomfort und geregelte Freizeit gerade jüngerer Landwirte laufen einem angemessenen Monitoring großer Tierzahlen allerdings entgegen. So bekommt die automatisierte Überwachung der Gesundheit und der Fruchtbarkeit der Herden eine immer größere Bedeutung. Firmen haben diesen Markt für sich erkannt, sodass technische Lösungen in diesen Bereichen stark zunehmen.

Ziel dieses Übersichtsartikels ist, Möglichkeiten und Grenzen verfügbarer automatisierter Überwachungsinstrumente der Brunst, der Geburt und des Gesundheitsstatus, insbesondere der Stoffwechsellage, zu erfassen und in ihrer Nützlichkeit zu bewerten.

Automatisierte Brunstüberwachung

Die effektive Erkennung der Brunst ist eine der wichtigsten Aufgaben im Management von Milchviehbetrieben (43, 112, 124). Um den optimalen Besamungszeitpunkt zu identifizieren, bedarf es einer genauen und möglichst engmaschigen visuellen Kontrolle des Brunstverhaltens beim Einzeltier. Dies wird bei immer größer werdenden Betrieben mit weniger Arbeitskraft pro Tier zunehmend schwieriger (94). Zudem können die Brunstsymptome bei hochleistenden Milchkühen in ihrer Intensität, Dauer oder Häufigkeit vermindert oder gar nicht mehr vorhanden sein (97, 125, 126, 156, 157). Untersuchungen ergaben für Deutschland Brunsterkennungsraten von unter 50% (77). Ähnliche Ergebnisse verzeichneten Heuwieser und Mansfeld (69) bereits vor 20 Jahren. Ziel

sollte eine Erkennungsrate von > 70% sein (77). Dem Landwirt entstehen durch das Übersehen einer Brunst und der damit verzögerten Wiederbelegung der Kuh Kosten in Höhe von 2–4 € pro zusätzlichem Tag Gützeit (Zeitraum zwischen Abkalbung und erfolgreicher Besamung). Das bedeutet einen Verlust von rund 40–84 € pro übersehener Brunst (80). Inchaisri et al. (76) schätzten die Kosten für Betriebe mit schlechter Reproduktionsleistung auf bis zu 231 € pro Kuh und Jahr. Verlängertes Kalbeintervall, reduzierte Milchleistung und vorzeitiger Abgang aus der Herde sind Ursachen für die Verluste (76, 124). Bei Milchkühen ist die Unfruchtbarkeit ein häufiger Grund für den vorzeitigen Abgang. Sie stellte in den vergangenen Jahren mit einem Anteil von > 20% die Hauptursache für Kuhabgänge in Deutschland dar (1). Ein großer Teil dieser „Sterilitäten“ dürfte auf eine mangelhafte Brunsterkennung zurückzuführen sein.

Detektion des Aufsprungverhaltens

Das sicherste Anzeichen einer Brunst beim Rind ist das Dulden des Aufsprungs durch ein anderes Tier (54, 72). Diese Tatsache machen sich Systeme mit mechanisch-elektronischen Aufsprungdetektoren zunutze. Im Kreuzbeinbereich des zu überwachenden Tieres aufgeklebte batteriebetriebene Drucksensoren werden beim Bespringen durch ein anderes Tier aktiviert. Abhängig vom System wird dann direkt ein Funksignal über einen Empfänger an den Computer gesendet, sodass sowohl Aufsprungszeitpunkt und -dauer als auch die Intervalle zwischen den einzelnen Aufsprüngen registriert werden (47, 128, 130). Diese Form der Brunstüberwachung erreichte in verschiedenen Studien eine Sensitivität über 85% (5, 162). Bei einer anderen technischen Lösung beginnt der Sensor selbst zu blinken. Dabei kann systemabhängig entweder die Blinkfrequenz mit steigendem zeitlichem Abstand zum ersten geduldeten Aufsprung zunehmen (128, 135) oder eines von drei Lichtern in Serie leuchten, wobei jeweils eines für den Zeitpunkt „erwartete Brunst“, „Hochbrunst“ und „optimaler Besamungszeitpunkt“ steht. Welche der drei Lampen aufleuchtet, hängt von der Anzahl der Aufsprünge und der vergangenen Zeit seit dem ersten Aufsprung ab (128). Potenzielle Nachteile ergeben sich aus der mangelhaften Haltbarkeit am Tier vor allem während des Fellwechsels und auch während der Brunst durch die vermehrte Belastung der Sensoren. Durch Verlust der Sensoren kann es zu falsch negativen Ergebnissen

kommen. Falsch positive Resultate sind möglich, wenn die Sensoren durch das Kopfauflegen anderer Tiere oder durch Kuhbürsten aktiviert werden (135, 160, 162). Ein weiteres technisches Verfahren, brünstige Kühe auf 7-Tage-/24-Stunden-Basis anhand ihres Aufsprungverhaltens zu erkennen, ist die Videoüberwachung. Die Schwierigkeit liegt hier darin, den Stallbereich möglichst komplett zu überwachen und zugleich eine gute Erkennung und Identifikation der Tiere zu erreichen. Mittels geeigneter Software, die es ermöglicht, die aufgezeichneten Videosequenzen im Schnelldurchlauf durchzusehen und so den Aufsprung duldende Kühe zu identifizieren, konnte eine Brunsterkennungsrate von 80% gegenüber 68,6% bei rein visueller Tierbeobachtung erzielt werden (17). Bei Kombination beider Methoden stieg die Erkennungsrate sogar auf 88,6%. Ein Bewegungssensor erlaubte lediglich die Aufnahme von Videosequenzen, in denen die generelle Aktivität über einem festgelegten Grenzwert lag. Jede 24-Stunden-Sequenz wurde in 10-Minuten-Perioden unterteilt. Dem Anwender des Programms wurde zunächst nur das erste Bild einer jeden 10-Minuten-Periode angezeigt. Sobald eine Kuh auf einem dieser „Schnappschüsse“ auffälliges Verhalten (zwei Tiere dicht beieinander stehend, Duldung oder unterschiedlicher Aufenthaltsort in zwei aufeinanderfolgenden Bildern) zeigte, betrachtete der Anwender die zugehörige 10-Minuten-Sequenz in frei wählbarer Geschwindigkeit sowie mit der Möglichkeit des Vor- und Zurückspulens und überprüfte sie auf das Dulden eines Aufsprungs. Für die Auswertung der Videoaufnahmen war nach wie vor ein gewisser Zeitaufwand nötig. Dieser lag mit durchschnittlich 20 Minuten pro Tag aber deutlich unter den für die rein visuelle Brunstbeobachtung erforderlichen 40 Minuten (vier Beobachtungsperioden à 10 Minuten) (17).

Messung der Bewegungsaktivität

Neben der Duldung gehören Ruhelosigkeit und erhöhte Bewegungsaktivität zu den Anzeichen für ein brünstiges Tier. Daraus resultiert ein Anstieg der Aktivität während der Brunst gegenüber dem Diöstrus. Ohne technische Hilfsmittel ist dieses Brunstsymptom jedoch kaum erkennbar (124). Die verschiedenen Aktivitätsmesser unterscheiden sich in der Lokalisation der Anbringung am Tier und im Prinzip der Bewegungsdetektion. Schon vor Jahren wurden Pedometer, die an einem Bein der Kuh fixiert werden und die Schrittzahl pro bestimmter

Zeiteinheit aufzeichnen (► Abb. 1), entwickelt und in die Praxis eingeführt (83, 119). Die sogenannten Aktiometer werden an einem Halsband angebracht (► Abb. 2). Sie registrieren die Halsbewegungen in allen drei Dimensionen (109, 141). Weiterhin gibt es Aktivitätsmesser, die an einem Fuß befestigt werden und durch eine 3D-Beschleunigungssensor-Technik sowohl die Schrittzahl pro Zeiteinheit als auch das Steh- und Liegeverhalten des Tieres registrieren. So können sie neben der Brunstdetektion zur Erkennung lahmer Tiere beitragen (79, 86, 104, 130, 141).



Abb. 1 Pedometrie: Die Aktivitätsmessung mittels Schrittzählung ist seit langem im Einsatz.

Fig. 1 Pedometry: Locomotion has been measured for many years.



Abb. 2 Gleichzeitige Erfassung von Wiederkauverhalten und Bewegungsaktivität durch Aktiometer und Mikrofon, seitlich am Halsband angebracht

Fig. 2 Simultaneous measurement of rumination and movement activity using an activity meter and a microphone, fixed on the side of the collar.

Je nach Produkt werden die ständig aufgezeichneten Aktivitätsdaten entweder in bestimmten Zeitintervallen (z. B. alle 5 Minuten) aktiv an einen Receiver gesendet oder beim Aufsuchen eines bestimmten Standortes wie Melkstand, Melkroboter oder Kraftfutterstation passiv ausgelesen. Der Receiver leitet die Daten an den Computer mit Softwareprogramm zur Datenverarbeitung weiter. Die Aktivität eines jeden Tieres wird mit seiner durchschnittlichen Aktivität über einen vorherigen Referenzzeitraum oder mit der durchschnittlichen Herdenaktivität verglichen und bei Überschreitung eines festgelegten Grenzwerts erfolgt die Anzeige des Tieres als brünstig (130). Die Sensitivität der Aktivitätsmesser zur Brunstdetektion beträgt etwa 80%, wobei diese stark davon abhängt, welcher Grenzwert und Referenzzeitraum zur Definition eines Aktivitätsanstiegs herangezogen werden (5, 23, 55, 59, 93, 112, 125, 132). Die Spezifität liegt zwischen 90% und 100%; der positive prädiktive Wert kann abhängig vom Gerät und Software-Algorithmus stark (35–100%) variieren (23, 55, 93, 125, 130, 132). Neu auf dem Markt sind Ohrmarken oder -clips, die an den Kennzeichnungsohrmarken der Kühe befestigt oder wie jene in das Ohr eingezogen werden. Sie lassen sich auch zur Aktivitätsmessung einsetzen. Grundlage ist ebenfalls ein 3D-Beschleunigungsmesser, der die Ohrbewegungen in allen drei Ebenen des Raums registriert (14). Bikker et al. (14) ermittelten durch Vergleich der Sensordaten mit den Ergebnissen aus rein visueller Tierbeobachtung

lediglich einen Pearson-Korrelationskoeffizienten von 0,73 bzw. einen Konkordanz-Korrelationskoeffizienten von 0,35. Sie schlussfolgern, dass die Eignung dieses Systems für die Aktivitätsmessung in weiterer Forschung geprüft werden muss. Beim „Tracking“ erfolgt eine kontinuierliche Detektion von Bewegungen der Kühe durch „maschinelles Sehen“. Alle 2,5 Sekunden werden durch über dem Stallabteil hängende Kameras Bildinhalte generiert, elektronisch verarbeitet und auf das Vorkommen bestimmter Objekte, hier 2D-Marker, überprüft. Alle Kühe erhalten einen 2D-Marker (ähnlich einem Barcode), der über ein Halsband am Nacken befestigt wird und für eine dem Einzeltier zugeordnete Nummer kodiert. Anhand des Markers wird die Kuh kontinuierlich überwacht. Ein Softwareprogramm rechnet die generierten Orts-Zeit-Koordinaten in Bewegungsaktivität um. Die Sensitivität der Brunsterkennung dieser Methode lag bei 85%, die Spezifität bei 83% (40). Die Bildung sexuell aktiver Gruppen aus Tieren in oder nahe der Brunst ist in der Literatur ein länger bekanntes Phänomen (84, 91, 121). Die Erkennung dieser Gruppen soll durch die Registrierung anderer periöstrischer Tiere zu einer Verbesserung der Brunsterkennung beitragen können (121, 150). Mittels Tracking ließen sich retrospektiv über Koordinaten auch soziale Interaktionen zwischen den Tieren analysieren und so sexuell aktive Gruppen detektieren. Für den erstmals quantifizierbaren Parameter wurde der Begriff „Varianz der Sozialkontakte“ eingeführt. Die Kombination der Parameter Varianz der Sozialkontakte und Bewegungsaktivität ergab mit einer Sensitivität von 82% und einer Spezifität von 87% allerdings keine Verbesserung gegenüber der alleinigen Aktivitätsmessung (40).

Wiederkauverhalten und Brunstbeobachtung

Die Wiederkauzeit ist in der Brunst im Vergleich zu anderen Reproduktionsperioden nachweislich reduziert (117, 122). Verschiedene Systeme ermöglichen eine automatische Erfassung des Wiederkauens. Eine technische Lösung sind Halfter mit integrierten Dehnungs- oder Druckmessgeräten. Das Halfter muss so angelegt werden, dass sich das Messgerät unterhalb des Unterkiefers befindet, damit es die Kieferbewegungen beim Wiederkauen erfassen kann (31, 95, 99). Ein Nachteil ist neben der relativ zeitaufwendigen Anbringung und der limitierten Datenspeicherkapazität der Halfter der Umstand,

dass diese zum Auslesen der Daten abgenommen werden müssen (100). Daher erscheint diese Methode im derzeitigen Entwicklungsstand für die Überwachung größerer Herden ungeeignet. Bei der Aktivitätsmessung wurden bereits Ohrmarken und -clips genannt, die über einen 3D-Akzelerometer die Ohrbewegungen erfassen. Anders als bei der Messung der Bewegungsaktivität stellen sie zur Erfassung der Wiederkauzeit ein nützliches und vielversprechendes Tool dar. Im direkten Vergleich mit der visuellen Beobachtung ergab sich eine hohe Übereinstimmung: Pearson-Korrelationskoeffizient und Konkordanz-Korrelationskoeffizient betragen 0,93 (14). Ein relativ neues System vereint die Messung der Bewegungsaktivität und der Wiederkauzeit zur Brunst- und Gesundheitsüberwachung in einem Gerät (► Abb. 2, ► Abb. 3). Die Aktivitätsmessung erfolgt über oben genannte Aktiometer. Im selben Datenlogger befindet sich neben dem Aktivitätsmesser ein Mikrofon zur Erfassung der Wiederkauaktionen. Der Logger wird so auf der linken Halsseite angebracht, dass die durch Regurgitation und Wiederkauen hervorgerufenen unverkennbaren Töne durch das integrierte Mikrofon erfasst, verarbeitet und gespeichert werden können. Die in 2-Stunden-Intervallen zusammengefassten Daten können bis zu 22 Stunden auf dem Logger gespeichert werden. Innerhalb dieser Zeit muss der Logger über einen Reader, der sich an einem frequent besuchten Ort wie Tränkebecken, Melkstand oder -roboter befinden sollte, ausgelesen werden. Ein manuelles Auslesen mittels tragbarem Reader ist ebenfalls möglich (136). Die getrennt bewertete Nützlichkeit dieses Systems sowohl zur Aktivitätsmessung (109, 141) als auch zur Überwachung der Wiederkauaktivität (19, 136) wird in Studien bestätigt. Die Kombination aus Messung der gesteigerten Bewegungsaktivität und der reduzierten Wiederkauzeit mit einem Gerät gilt als vielversprechende Möglichkeit zur Verbesserung der Brunsterkennung, erfordert aber noch weitere Untersuchungen (123).

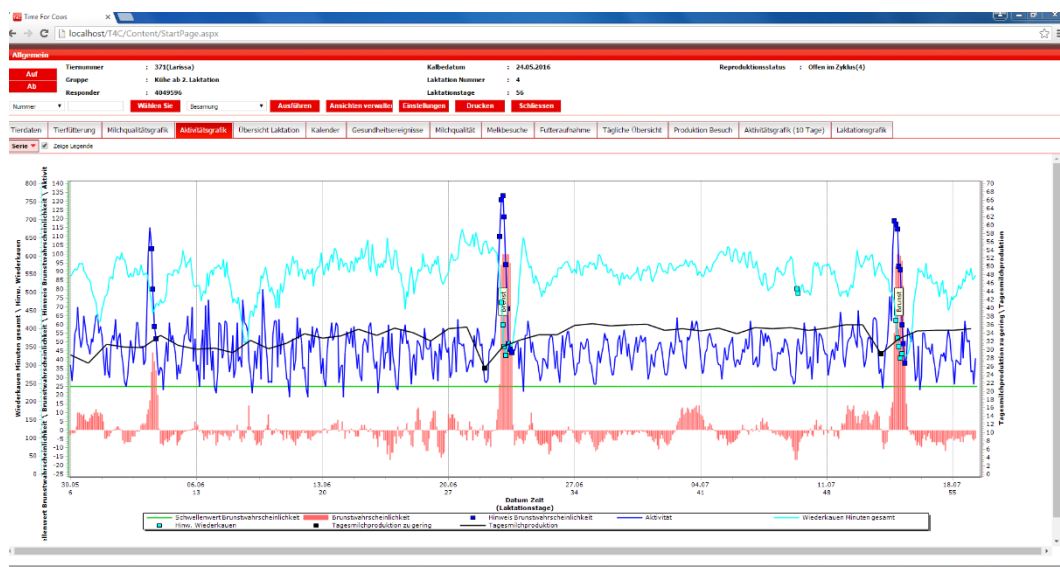


Abb. 3 Graphische Darstellung von Bewegungsaktivität (blau), Wiederkauverhalten (türkis) und Milchleistung (schwarz) am Stall-PC. Brunstbedingte Aktivitätszunahmen (Peaks) sind deutlich sichtbar. /**Fig. 3** Graphical illustration of movement activity (blue), rumination (turquoise) and milk yield (black) on a stall PC. Oestrus-related increases (peaks) of activity are clearly visible.

Progesteronbestimmung in der Milch

Schwache Brunstsymptome und verkürzte Brunstphasen erschweren bei hochleistenden Milchkühen die Brunsterkennung anhand von Verhaltensänderungen. Die Effektivität automatisierter Brunstdetektionsmethoden, die wie oben beschrieben auf Verhaltensänderungen beruhen, ist damit eingeschränkt (126, 156). Auch bei diesen Tieren läuft aber der hormonelle Zyklus ab und es kommt rund 18 Tage nach vorangegangener und kurz vor der erneuten Ovulation zu einem Abfall der Progesteronkonzentration im Blut (44, 151), der sich auch in einem Abfall des Progesterongehalts der Milch widerspiegelt (44, 127). Aufgrund der einfachen und regelmäßigen Gewinnung eignet sich Milch bestens als Nachweismedium für automatisierte Überwachungssysteme. Mittlerweile wurde eine Reihe von Biosensoren zur Ermittlung des Progesterongehalts der Milch entwickelt und auf Praxistauglichkeit getestet (29, 35, 36). Friggens und Chagunda (57) entwickelten ein dynamisches, deterministisches biologisches Modell, über das sich der Reproduktionsstatus einer Kuh in eine der drei folgenden Kategorien einteilen lässt: „postpartaler Anöstrus“, „Östrus“, „potenziell trächtig“. Zur Ermittlung des Status werden alle bekannten Informationen zum Tier wie Rasse, Parität, letzte Kalbung,

Besamungsdatum, Body Condition Score (BCS), Erkrankungen etc. und die laufend ermittelten Progesteronwerte aus diesem und dem letzten Zyklus herangezogen. In einem Praxisversuch mit In-Line-Milch-Progesteron-Messungen wurden mit dieser Methode 99,2% der genutzten und nachfolgend durch eine Trächtigkeit bestätigten Brunsten erkannt. Die Sensitivität des Modells lag bei 93,3% und die Spezifität bei 93,7% (58). Seit 2010 ist ein System zur kombinierten Brunst- und Gesundheitsüberwachung der Milchkuh auf dem Markt. Es bestimmt neben Progesteron die Laktatdehydrogenase-Aktivität und die Konzentration an β -Hydroxybutyrat (β -HBA) in der Milch und ermittelt den Reproduktionsstatus der Kuh nach oben erläuteter Methode. Das System kann in den Melkstand oder Melkroboter integriert werden (4, 130).

Milchmengenmessung

Viele moderne Melksysteme beinhalten bereits standardmäßig die Milchmengenerfassung. Der Beitrag dieser Daten zur automatisierten Brunsterkennung wird in der Literatur unterschiedlich bewertet. King (85) wies in der Brunst einen Abfall der Milchmenge von 2–6% nach. Die Verringerung der Milchmenge kann die Folge gesteigerter Ruhelosigkeit sowie Bewegungsaktivität und daraus resultierender geringerer Futterraufnahme sein (53). Eine Kompensation durch eine gesteigerte Milchmenge beim nächsten Melken konnte ebenfalls beobachtet werden (16, 140). Schofield et al. (140) wiesen einen signifikanten Milchmengenabfall lediglich bei 33% der Brunsten nach. Eine allein anwendbare Methode zur Brunsterkennung stellt die Milchmengenmessung somit nicht dar, doch kann sie in Kombination mit anderen Methoden durchaus hinweisend sein. Ein Überblick über automatisiert erfassbare Parameter und deren Eignung für die Brunstüberwachung gemäß Literaturangaben findet sich in

► Tab. 1.

Tab.1 Automatisiert erfassbare Parameter und Validierung hinsichtlich ihrer Eignung für die Überwachungsbereiche Brunst, Stoffwechsel und Geburt /Table 1 Automated recordable parameters and validation with regards to their suitability for oestrus-detection, partus-alarm and monitoring metabolism.

Parameter	Eignung des Parameters für den Überwachungsbereich		
	Brunst	Stoffwechsel	Geburt
Duldung	(5, 17, 23, 47, 112, 128, 135, 160, 162)		
Bewegungsaktivität	(5, 23, 40, 59, 79, 83, 93, 104, 109, 112, 123, 125)	(52)	(28, 154)
Wiederkauen	(117, 122, 123)	(22, 145, 146)	(18, 28, 116, 138, 145)
Fressverhalten		(62, 63)	(138)
Milchmenge	(140)	(52)	
Körpertemperatur			(20)
BHB in Milch		(4, 113)	
Progesteron in der Milch	(4, 35, 57, 58)		
Milchinhaltsstoffe			
intrapartaler Fruchtvorstoß			(24, 41, 98, 118)

BHB = β -Hydroxybutyrat

Automatisierte Geburtsüberwachung

Ein effizientes Abkalbmanagement, insbesondere eine störungsarme Geburt ist aus Tierschutzgründen, aber auch aus Gründen der Wirtschaftlichkeit von zentraler Bedeutung für einen Milchviehbetrieb (155). Die Kälberverluste stiegen in den vergangenen Jahren trotz Modernisierung der Betriebe an, wobei als Hauptursache Probleme bei der Kalbung genannt werden (108). Die Inzidenz der perinatalen Sterblichkeit beträgt international betrachtet 2–20% und liegt in den meisten Ländern bei 5–8% (108). Rund 75% der Todesfälle ereignen sich in der Stunde um die Kalbung, wobei 90% der in dieser Periode sterbenden Kälber zu Beginn der Geburt noch leben. Das bedeutet, dass ein Großteil der Verluste zu verhindern wäre (106–108). Neben der Bestimmung des Kalbetermins und der rechtzeitigen Verbringung in einen Abkalbebereich ist die Überwachung der zur Kalbung anstehenden Tiere wichtiger Teil eines guten Abkalbmanagements. Nur so kann ein Problem während der Kalbung rechtzeitig erkannt, entsprechend

eingegriffen und nachfolgend die Erstversorgung der Neonaten (vor allem die Kolostrumversorgung) sichergestellt werden (106). Nach Vasseur et al. (158) wurden peripartale Tiere lediglich dreimal (alle 4 Stunden) zwischen Morgen- und Abendmelken und nur einmal (alle 12 Stunden) während der Nacht begutachtet. Dargatz et al. (33) stellten fest, dass 16,7% der Färsen und 2,7% der Kühe Unterstützung bei der Kalbung brauchten. Die Begutachtung zur Kalbung anstehender Tiere durch die Landwirte erfolgte in ihren Untersuchungen im Mittel 3,6-mal bei Färsen und 2,5-mal bei Kühen in einer 24-Stunden-Periode. Die Landwirte griffen erst ein, nachdem sich die Tiere bereits durchschnittlich 2,8 Stunden (Färsen) bis 3,5 Stunden (Kühe) in der Geburt befunden hatten. Die Autoren schlussfolgern, dass die Überlebensrate der Kälber durch eine verbesserte Geburtsüberwachung gesteigert werden kann. Nachfolgend werden Möglichkeiten zur automatisierten Geburtsvorhersage oder -meldung beschrieben.

Bewegungsaktivität und Geburtsvorhersage

Zum Aktivitätsverhalten von Kühen im peripartalen Zeitraum gibt es nur wenige wissenschaftliche Studien. Jensen (78) und Titler et al. (154) zeigten, dass bereits am Tag vor der Kalbung die Anzahl der Liegephasen erhöht, ihre Dauer jedoch reduziert ist, sodass eine kürzere Gesamtliegezeit resultiert als an den Tagen zuvor. Außerdem war die Bewegungsaktivität gesteigert. Aus Liegeverhalten und Bewegungsaktivität (Schrittzahl) wurde stündlich ein Aktivitätsindex ermittelt (154). Anhand dessen konnte die Geburt eines Kalbes durchschnittlich 6 Stunden vor der Kalbung vorhergesagt werden (154). Eine erhöhte Anzahl an Liegephasen kurz vor der Kalbung verzeichneten auch Miedema et al. (110). Clark et al. (28) konnten eine erhöhte Aktivität vor der Geburt nicht bestätigen. Zur Erfassung von Aktivität und Liegeverhalten würden sich die oben beschriebenen zur Brunstüberwachung eingesetzten Systeme eignen (131). Allerdings sind im Moment nur wenige Daten verfügbar, die deren Praktikabilität und Zuverlässigkeit für die Geburtsvorhersage belegen.

Wiederkau- sowie Fressverhalten und Geburtsvorhersage

Eine ganze Reihe von Studien zeigt, dass Wiederkauzeit, Fresszeit und folglich Trockensubstanzaufnahme in den Stunden vor der Kalbung reduziert sind (18, 116, 138). Die Wiederkauzeit war durchschnittlich um 27% verkürzt, die Fresszeit um 57%, wodurch auch die Trockensubstanzaufnahme um 56% geringer ausfiel (18). Rund 4–8 Stunden vor der Abkalbung beginnen die Wiederkau- und Fresszeiten zu sinken (138), bis die Kuh das Wiederkauen 123 ± 58 Minuten ante partum ganz einstellt (116). Saint-Dizier und Chastant-Maillard (131) beurteilen die Erfassung des Wiederkauverhaltens als vielversprechende Maßnahme zur Vorhersage einer anstehenden Abkalbung, auch wenn deren Praktikabilität für diesen speziellen Einsatz erst an größeren Tierzahlen getestet werden muss. Dieser Parameter kann durch Erkrankungen (145, 147), Futterzusammensetzung und -qualität (9, 159) sowie Klima (146) leicht beeinflusst werden. Systeme zum Erfassen der Wiederkau- und Fressdaten wurden für die Brunst- und Stoffwechselüberwachung entwickelt und dort entsprechend beschrieben.

Körpertemperatur und Geburtsvorhersage

Burfeind et al. (20) zeigten anhand kontinuierlicher Messung der intravaginalen sowie zweimal täglicher Messung der Rektaltemperatur, dass die Körpertemperatur der Kuh am Tag der Kalbung absinkt. Die Vaginaltemperatur sinkt innerhalb von 48 Stunden vor der Kalbung um $0,6\text{--}0,7$ °C, die Rektaltemperatur um $0,4\text{--}0,6$ °C, wobei die Werte tageszeitabhängig schwanken. Deshalb sollte die Temperatur entweder einmal täglich zur gleichen Uhrzeit oder kontinuierlich gemessen werden (20, 131). War ein Abfall der Vaginaltemperatur um $\geq 0,3$ °C über 24 Stunden zu verzeichnen, konnte eine „Kalbung innerhalb der nächsten 24 Stunden“ mit einer Sensitivität von 62–71% und einer Spezifität von 81–87% vorhergesagt werden. Bei Messung der Rektaltemperatur waren die Werte mit 44–69% bzw. 86–88% etwas schlechter (20). Die Autoren schlussfolgern, dass diese Methode auf eine zeitnahe Kalbung hinweisen, jedoch nicht den genauen Abkalbebeginn angeben kann.

Geburtsmeldung durch intra- oder extravaginale Geburtsmelder

Von der Geburtsvorhersage ist die Geburtsmeldung abzugrenzen. Bei Letzterer befindet sich das Tier bereits in der Geburt. Die Austreibung eines intravaginal eingebrachten Senders durch die Fruchthüllen oder die Frucht selbst ist das Prinzip einiger auf dem Markt befindlicher Geräte: Ein Sensor wird intravaginal platziert und sendet bei dessen Austreibung und Aktivierung durch Temperaturabfall oder Lichtwirkung ein Funksignal zu einem im Stall angebrachten Empfänger (► Abb. 4). Nach Analyse der Daten wird eine Warnmeldung generiert und über das Telefonnetz als Sprach- oder Textnachricht auf das Mobiltelefon des Landwirts gesendet (131). Die Geburtsmeldung erfolgte system- und rasse- abhängig in 66,7–100% der Fälle richtig (24, 41, 131). Ein vom vorher genannten Prinzip der Geburtsmeldung abweichendes System evaluierten Marchesi et al. (98) und erzielten Werte von 100% für die Sensitivität und 95% für den positiven prädiktiven Wert. In der Studie wurden alle tragenden Kühe der Rasse Holstein Friesian am Tag 280 ± 5 mit dem batteriebetriebenen Transceiver ausgestattet, der sich aus zwei Teilen zusammensetzt. Ein rechteckiger Teil wird an die linke Schamlippe genäht, ein zylindrischer zweiter Teil, der in ersterem zu liegen kommt, an die rechte. Bei einer mechanischen Trennung der beiden Teile durch Fruchthüllen oder die Frucht wird ein Funksignal generiert und vom in der Nähe installierten Receiver empfangen. Nach Signalverarbeitung wird über das Mobilfunknetz eine Kurznachricht mit Datum und Uhrzeit an das Handy des Landwirts gesendet (98). Von wissenschaftlich validierten Systemen für die automatisierte Geburtsüberwachung genutzte Parameter sind mit entsprechenden Literaturverweisen in ► Tab. 1 aufgeführt.

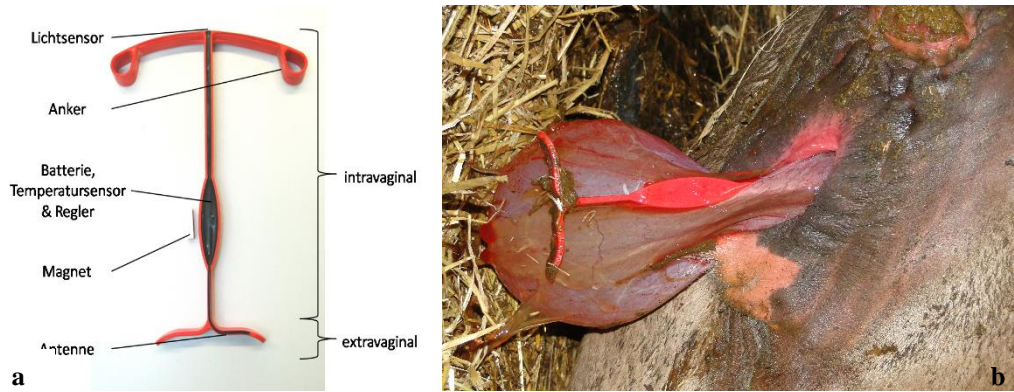


Abb. 4 a) Aufbau eines im Handel erhältlichen Geburtsmelders. b) Die telefonische Benachrichtigung des Landwirts erfolgt bei Austreibung des Geburtsmelders. (Fotos: Matthias Dippon). / Fig. 4 a) Setup of a commercially available partus detector. b) A partus alarm is sent to the mobile phone of the farmer when the device is being expelled. (Photos: Matthias Dippon).

Automatisierte Stoffwechselüberwachung

Die Frühlaktation der hochleistenden Milchkuh ist durch eine steil ansteigende Milchleistung und meist inadäquate Kapazität für die Trockensubstanzaufnahme gekennzeichnet. In unterschiedlicher Schwere und Dauer kommt es fast immer zu einer Phase der negativen Energiebilanz. Häufige Folge sind Störungen des Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsels, die vor allem in den ersten zwei Laktationsmonaten auftreten (46). Bei diesem Erkrankungskomplex werden eine mit klinischen Symptomen einhergehende und eine subklinische Form differenziert. Die Inzidenz der klinischen Ketose beträgt 2–15% für Tiere in der Frühlaktation (49). Viel höher liegt der Wert für die subklinische Ketose mit 40–60% (51, 102, 142). Die Prävalenz der subklinischen Ketose wird mit 8,9–43% in den ersten beiden Laktationsmonaten angegeben (45, 51, 102). Die wirtschaftlichen Verluste für den Betrieb entstehen jeweils durch eine reduzierte Milchleistung, eine erhöhte Anfälligkeit für Folgekrankheiten wie Nachgeburtsverhaltung, Metritis, Labmagenverlagerung, Mastitis, Lahmheit und Subfertilität, was wiederum ein erhöhtes Abgangsrisiko in der frühen Phase der Laktation zur Folge hat (26, 48, 72, 105, 114, 115). Im Zusammenhang mit Ketose anfallende tierärztliche Behandlungskosten sind gemessen am Gesamtverlust vergleichsweise gering. Staufenbiel (148) beziffert die finanziellen Verluste für die

subklinische Ketose auf rund 30 € und für die klinische Ketose auf etwa 150 € pro Erkrankungsfall. Diese Angaben zeigen, welche Bedeutung der Erkennung der klinischen, aber auch der subklinischen Ketose sowie deren Prophylaxe zukommt. In den letzten Jahren nahmen die Bemühungen zu, die Stoffwechselüberwachung durch automatisierte Lösungen zu erleichtern und sicherer zu gestalten.

Bewegungsaktivität

Trotz naheliegender Zusammenhänge gibt es bisher nur wenige publizierte Studien, in denen die Bewegungsaktivität der kranken Milchkuh analysiert wurde. Edwards und Tozer (52) stellten fest, dass kranke Kühe allgemein eine geringere Bewegungsaktivität aufwiesen als gesunde Tiere. Kühe mit Ketose zeigten jedoch rund eine Woche vor Diagnose der Erkrankung im Mittel eine höhere Aktivität als gesunde Kühe. Die Aktivität fiel dann bis zum Zeitpunkt des Auftretens der Erkrankung ab, wobei der größte Aktivitätsunterschied zwischen kranken und gesunden Kühen an den beiden Tagen vor der Diagnosestellung bestand. In diesem Zeitraum war die Aktivität der später kranken Tiere deutlich niedriger als die der nicht erkrankenden Kühe. Zur Detektion eines solchen Aktivitätsabfalls eignet sich prinzipiell jede der oben genannten Methoden zur Aktivitätsmessung für die Brunsterkennung. Viele Hersteller bieten bereits Softwareprogramme an, die sowohl ein Über- als auch Unterschreiten der tier- oder herdenspezifischen Durchschnittsaktivität melden.

Wiederkauverhalten

Hinsichtlich der täglichen Wiederkauzeit gibt es Unterschiede sowohl zwischen den Individuen als auch zwischen den Herden (122, 145). Gründe hierfür können das Sortieren und die Menge des aufgenommenen Futters beim Einzeltier oder die unterschiedliche Zusammensetzung der Rationen bei verschiedenen Herden sein (101, 137). So steigt beispielsweise die Wiederkauzeit mit steigendem Anteil der NDF (neutral detergent fiber) (32). Die durchschnittliche tägliche Wiederkauzeit wird in verschiedenen Studien mit Werten von rund 450–560 Minuten/Tag angegeben (22, 145, 146). Soriani et al. (145) ermittelten bei Kühen mit einer geringeren Wiederkauzeit vor der Abkalbung einen stärkeren Anstieg der BHB-Konzentration im Blut nach der Kalbung. Weiterhin konnte nach der Geburt eine

negative Korrelation zwischen täglicher Wiederkauzeit und der BHB-Konzentration im Blut nachgewiesen werden. Letzteres stellten auch Calamari et al. (22) fest. Das Wiederkauverhalten ist als hilfreicher Parameter anzusehen, mit dem frühzeitig Informationen über den Gesundheitszustand von Tieren in der kritischen Transitphase gewonnen werden können (22, 145). Er kann mit den oben genannten Methoden erfasst werden.

Fressverhalten

Ein deutlicher Abfall der täglichen Futteraufnahme, der Fresszeit und der Fressrate (Gramm Futter/Minute) können auf eine Erkrankung wie Ketose hinweisen. Durch die Verwendung dieser Parameter ließen sich in der Studie von Gonzalez et al. (63) an Ketose erkrankte Kühe rund 3 Tage vor der Diagnose durch einen Tierarzt erkennen. Auch Kühe mit subklinischer Ketose zeigten in einer Studie ein verändertes Fressverhalten: Eine Woche vor und 2 Wochen nach der Abkalbung nahmen sie weniger Trockensubstanz auf, suchten weniger häufig die Futterstation auf und verweilten darin kürzer als gesunde Tiere. Zudem beteiligten sich betroffene Kühe in der Woche vor der Kalbung weniger an Kämpfen um die Fressplätze als die Tiere, die nach der Kalbung gesund blieben (62). Zur automatisierten Überwachung des Fressverhaltens der Kühe bietet der Markt verschiedene Modelle. Eine Ohrmarke, die an die üblichen Ohrmarken angebracht wird und über einen 3D-Akzelerometer kontinuierlich die Ohrbewegung der Kuh registriert, wird als ein vielversprechendes Instrument zur automatisierten Überwachung des Fressens bei der Milchkuh gesehen (14, 161). Verglichen mit der visuellen Tierbeobachtung ergab sich eine gute Übereinstimmung (14). Wolfger et al. (161) ermittelten eine Sensitivität von 95% und eine Spezifität von 76% für die Erkennung von fressenden Stieren. Eine andere Methode ist der Einsatz von RFID (radio frequency identification). Dabei werden die Kühe mit Passiv-Transpondern an Ohrmarken oder Halsbändern ausgestattet und Antennen im Bereich des Futtertisches angebracht. Die Antennen senden in regelmäßigen Abständen Signale über eine definierte Entfernung aus. Befindet sich ein Transponder in Signalreichweite einer Antenne, gibt dieser das Signal zurück, das über einen mit den Antennen verbundenen Reader registriert und an einen verbundenen Computer geleitet wird. Hier erfolgt mittels Softwareprogrammen eine

Verarbeitung von Kuh-Identifikationsnummer und Zeitdaten. Mit dieser Technik können Häufigkeit und Dauer der Futteraufnahme sowie des Besuchs am Futtertisch oder der Futterstation registriert werden (37, 38). Durch Kombination der RFID-Technik mit digitalen Futterwaagen lassen sich neben Häufigkeit und Dauer der Futteraufnahme die aufgenommene Futtermenge pro Besuch und Tag sowie die Fressrate in Gramm/Minute erfassen (7, 25, 27, 74).

Milchmengenmessung

Ein Parameter, der täglich erhoben werden und wertvolle Informationen zum Gesundheitsstatus jeder Kuh liefern kann, ist die Tagesmilchmenge (52, 73, 96, 113). Edwards und Tozer (52) zeigten, dass ein Abfall der Milchmenge oft schon vor anderen klinischen Symptomen einer Ketose auftritt. Nach Dirksen et al. (42) ist die Tagesmilchmenge ein sensibler Faktor für die Stoffwechsellage der Milchkuh. Sowohl subklinische als auch klinische Ketosen führen häufig zu einem Abfall der Milchmenge (50, 52, 114). Auch wenn dies nicht auf ein spezifisches Gesundheitsproblem hinweist, ist die Milchmenge ein verhältnismäßig kostengünstig und einfach zu ermittelnder Parameter, aus dem in Kombination mit anderen Informationen ein Nutzen gezogen werden kann (73, 96). Systeme zur automatisierten Milchmengenmessung werden mittlerweile von den meisten Melktechnik-Herstellern kommerziell angeboten und können in die verschiedenen Melksysteme integriert werden.

β -Hydroxybutyrat-Konzentration in der Milch

Die Ketose ist durch ein Absinken der Blutglukosekonzentration, verbunden mit einer erhöhten Konzentration an freien Fettsäuren und Ketonkörpern im Blutplasma und der vermehrten Ausscheidung dieser Ketonkörper über Milch, Harn und Atemluft gekennzeichnet (70). Die leicht verfügbare Milch eignet sich besonders für die Verwendung in automatisierten Überwachungssystemen. Nielsen et al. (113) entwickelten ein biologisches, mathematisches Modell zur Vorhersage des Ketoserisikos einer Kuh. Dazu werden neben In-line-Messungen von BHB in der Milch weitere Informationen zum Tier wie Milchmengenverlauf, BCS, Erkrankung an Ketose in vergangenen Laktationen oder sonstige Erkrankungen herangezogen. Ein System mit entsprechender Sensortechnik, das

dieses Modell verwendet und in verschiedene Melksysteme integriert werden kann, ist bereits auf dem Markt (15, 129, 130).

Milchinhaltstoffe

Zur Beurteilung der Energieversorgung einer Milchkuh sind Milchfett- und -proteingehalt nützliche Parameter (66, 68, 111). Der Fett-Eiweiß-Quotient gilt als besser geeignet als die alleinige Betrachtung der Einzelwerte (64, 111). Durch ein Energiedefizit kommt es zu einer gesteigerten Milchfett- und einer verminderten Milchproteinbildung (149). Ein Fett-Eiweiß-Quotient $< 1,4$ steht für eine gute Energieversorgung der Kuh, einer $> 1,5$ für eine negative Energiebilanz mit erhöhtem Ketoserisiko (67, 111). In vielen Ländern werden die Milchinhaltstoffe wie Fett, Protein und Laktose im Rahmen von Milchqualitätssicherungssystemen analysiert (66, 111). Die Daten werden von den Landwirten unter anderem zur Beurteilung der betriebseigenen Fütterung, Energieversorgung und Stoffwechsellage der Milchkühe herangezogen und in Deutschland im Rahmen der Milchleistungsprüfung meist einmal pro Monat erhoben (75). Um Analysen der Milchinhaltstoffe für das moderne Gesundheitsmanagement der Milchkuh effektiver verwenden zu können, sind kürzere Probennahme-Intervalle notwendig (66). Daher wurden in den vergangenen Jahren eine Reihe von Sensoren und Verfahren zur Analyse der Milchinhaltstoffe entwickelt und getestet (15, 81, 82, 129). In Melkroboter integrierte Systeme sind bereits auf dem Markt. Eine Evaluierung zu deren Praktikabilität und Zuverlässigkeit konnte in der Literatur nicht gefunden werden.

► Tab. 1 zeigt einen Überblick über automatisiert erfassbare Parameter, deren Eignung für die Stoffwechselüberwachung wissenschaftlich validiert wurde.

Automatisierte allgemeine Gesundheitsüberwachung

Körpertemperaturmessung

Eine Erhöhung der Körperinnentemperatur ist ein Anzeichen verschiedener infektiöser Erkrankungen, die gehäuft in der postpartalen Phase der Milchkuh auftreten. Durch frühzeitige Erkennung und Behandlung febriler Tiere lassen sich schwerwiegende Erkrankungen und damit verbundene wirtschaftliche Verluste minimieren (144). Seit wenigen Jahren ist ein Ohrclip mit einem Temperaturfühler auf dem Markt, der bei einer Temperaturerhöhung ein Warnsignal abgibt. Er wird wie die üblichen Kennzeichnungs-Ohrmarken am Tier angebracht und sein etwa 10 cm langer, flexibler Temperatursensor bis zu einer Markierung in den Gehörgang des Tieres gelegt. Nach Überschreitung des vom Hersteller eingestellten Grenzwerts von 39,7 °C leuchtet ein rotes Lämpchen am Clip (103). Eine Evaluierung dieses Geräts erfolgte lediglich beim Kalb zur frühzeitigen Erkennung einer Pneumonie. Die Effizienz wurde als eingeschränkt beurteilt: Viele Sensoren erzeugten erst bei Temperaturen > 40 °C, wenn die Tiere bereits klinisch krank waren, ein Warnsignal. In anderen Fällen reagierten sie aufgrund einer fehlerhaften Lage des Sensors gar nicht. Allgemein wurde das richtige Platzieren des Temperaturfühlers im Gehörgang als schwierig beurteilt. Beim täglichen Beobachten der Tiere konnten fehlerhaft liegende Sensoren teilweise nicht erkannt werden, sodass auch febrile Kälber unentdeckt blieben (103). Untersuchungen bei der Milchkuh sind diesbezüglich in der Literatur derzeit nicht zu finden. Eine weitere neuartige Form der Temperaturmessung erfolgt über einen Vormagenbolus unter Verwendung der RFID-Technik. Der Bolus kann adulten Rindern eingegeben werden und liegt dann ähnlich einem Käfigmagneten im Retikulum. Je nach Einstellung werden im Sekunden- bis Stundenintervall Temperatur sowie pH-Wert gemessen und auf einem Chip gespeichert. Kommt das Tier in den Sendebereich (ca. 20 m Umkreis) der zum System gehörigen Antennen, werden die gespeicherten Dateien an die Empfangseinheit gefunkt und über das Internet an den damit verbundenen Server gesendet. Eine zugehörige Software analysiert die empfangenen Daten und erstellt Auswertungen, die dem Anwender einen gut nutzbaren Datenüberblick verschaffen (61). Zu Vormagenboli dieser oder ähnlicher Art gibt es zahlreiche Studien hinsichtlich ihrer Eignung zum

Nachweis einer Temperaturerhöhung im Krankheitsfall. Small et al. (143) beurteilen die Technik als effizientes Mittel zur nichtinvasiven Temperaturmessung bei Färsen mit Fieber nach Lipopolysaccharidininjektion. Nach Timsit et al. (153) erlaubt die kontinuierliche Messung der retikuloruminale Temperatur die frühzeitige Erkennung von an Rinderrippe erkrankten Tieren (12–136 Stunden, bevor die Tiere klinisch auffällig werden). Auch bei Milchkühen kann dieses System zur besseren Erkennung febriler Tiere beitragen (3). In Studien lag die durch den Bolus bestimmte Temperatur im Netzmagenbereich etwa 0,5 °C unterhalb der gemessenen Vaginal- und etwa 0,5 °C über der Rektaltemperatur (3, 12). Zudem kann es durch hohe Umgebungstemperatur, hohe Milchleistung oder Futteraufnahme (entstehende Fermentationswärme) zur Erhöhung kommen (12, 71, 92). Die Aufnahme größerer Mengen kalten Wassers führt längerfristig zu erniedrigten Messwerten (11, 30). An dieser Stelle soll auch auf die Möglichkeit der Pansen-pH-Wert-Messung durch dieselbe Technik hingewiesen werden. Die kontinuierliche Messung des pH-Werts im Retikulum ermöglicht die Identifizierung von Tieren, die an einer akuten oder subakuten Pansenazidose leiden (2, 3, 60, 61, 139). Pohl et al. (120) untersuchten den Zusammenhang zwischen Milch- und Körperinnentemperatur (Vaginaltemperatur, gemessen mit intravaginalem Sender) zum Nachweis febriler Tiere beim Melken in einem automatisierten Melksystem. Die Milchtemperatur lag generell etwa 0,5 °C unter der gemessenen Vaginaltemperatur. Als Ursache für den Temperaturunterschied wurde eine Abkühlung der Milch beim Durchfluss durch das Melkzeug bis zum Temperatursensor im Melkroboterarm angenommen. Abhängig von der Versuchsanordnung ermittelten die Autoren einen Grenzwert für die Milchtemperatur von > 38,7 °C bzw. $\geq 39,0$ °C als geeignet, auf febrile Tiere hinzuweisen. Auffällige Tiere sollten jedoch immer auf weitere Anzeichen einer systemischen Erkrankung untersucht werden. Generell zeichnet sich die Milchtemperatur als besonders einfach und regelmäßig zu erhebender Parameter aus, der bei Grenzwertüberschreitung auf kranke Tiere hinweisen kann, aber aufgrund vieler falsch positiver und falsch negativer Ergebnisse mit Vorbehalt betrachtet werden sollte (120).

Bestimmung von Körpergewicht und Body Condition Score

In Folge einer negativen Energiebilanz werden körpereigene Fettreserven mobilisiert, um den Energiebedarf zu decken (21). Die Körperkondition und somit auch der Verlust von Körpersubstanz kann durch verschiedene Methoden erfasst werden. Tierwaagen ermöglichen ein automatisiertes und regelmäßiges Wiegen der Tiere. Die Technik kann in einem Melkroboter oder am Ausgang eines Melkstands oder -karussells installiert sein. Obwohl bereits viele solcher Systeme auf dem Markt erhältlich sind, wurden nur wenige Evaluierungen dieser Wägungssysteme veröffentlicht. Thorup et al. (152) beurteilen ein frequentes Wiegen im Melkroboter in Kombination mit visueller Bestimmung des BCS als vielversprechende Maßnahme, um den Energiestatus der Kuh zu beurteilen. Dickinson et al. (39) führten Untersuchungen zur Wiederholbarkeit und Übereinstimmung von Wiegeergebnissen durch, die einerseits aus einer Durchgangswaage am Ausgang eines Melkkarussells und andererseits aus einer Standwaage resultierten. Aus den Resultaten schlossen sie, dass eine Durchgangswaage kein adäquates Instrument für die Ermittlung geringer Körpergewichtsänderungen darstellt, da die Messwerte abhängig vom Verhalten der Tiere auf der Waage unterschiedlich stark variieren und von denen der Standwaage abweichen können. Neben einer zu schnellen Durchgangsgeschwindigkeit und einem zu dichten Hintereinanderlaufen der Tiere wurde eine mangelhafte Identifizierung der durchlaufenden Kuh als mögliche Ursache für unterschiedliche oder gar fehlende Messungen genannt (39). Eine weitere Möglichkeit der Körperkonditionsbeurteilung ist die Ermittlung des BCS. Nicht automatisiert kann sie durch visuelle Beurteilung des Tieres oder sonographische Messung der Rückenfettdicke erfolgen (34). Beide Methoden hängen von den Fertigkeiten des Untersuchers ab und erfordern einen gewissen zusätzlichen Zeitaufwand. Dies war Anlass für umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeit zur Automatisierung der BCS-Bestimmung in den vergangenen Jahren. Die Lösungsansätze reichen von der Ermittlung der Schwanzansatz-Kontur mittels Wärmebildkamera (65) bis zur digitalkameragestützten visuellen Ermittlung definierter Winkel oder Abstände zwischen zuvor markierten anatomischen Punkten am Tier (6, 10, 13). Die im Moment vielversprechendste

Methode ist die automatisierte BCS-Bestimmung anhand von 3D-Bildern. Durch eine TOF-Kamera (TOF = time of flight, Laufzeitverfahren) wird infrarotes Licht einer bestimmten Frequenz ausgesendet und anhand der Phasenverschiebung des vom Objekt reflektierten Lichts die Entfernung des Objekts berechnet. Über einer stehenden Kuh angebracht, erhält man so eine 3D-Aufnahme des Kuhrückens (8). Entsprechende Softwareprogramme ermitteln anhand prominenter anatomischer Punkte (Wirbelsäule, Schwanzansatz, Hüft- und Sitzbeinhöcker) und ihrer Lage zueinander den BCS. Die beschriebene Methode wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen entwickelt und untersucht (8, 56, 87, 133, 134) und als vielversprechendes Tool zur automatisierten Beurteilung der Körperkondition bewertet. Zur Verbesserung der Bildqualität und -auswertung, die vor allem durch tierindividuelle Faktoren wie Bewegung und Fellbeschaffenheit, aber auch durch Umweltfaktoren wie Sonneneinstrahlung und Staub beeinflusst werden kann, bedarf es weiterer Entwicklungsarbeit (8, 134). Systeme, die nach diesem Prinzip arbeiten und je nach Anbieter in Kraftfutterstation, Durchgangsbereichen, Melkstand und -roboter angebracht werden können, sind kommerziell erhältlich.

► Tab. 2 zeigt einen Überblick über validierte Parameter zur automatisierten Überwachung der zuvor genannten Gesundheitsbereiche.

Tab. 2 Validierte Parameter zur automatisierten Überwachung ausgewählter Gesundheitsbereiche /Table 2 Validated parameters for automated surveillance of specially selected health areas

Überwachungsbereich	Parameter	Validierung
Vormagen-Gesundheit	Retikulorumen-pH	(2, 60, 61, 139)
	Retikulorumen-Temperatur	(61)
Körperinnentemperatur (Fieber)	Milchtemperatur	(120)
	Retikulorumen-Temperatur	(3, 143, 153)
	Gehörgangs-Temperatur	(103)
Körperkondition	BCS	(6, 8, 10, 13, 56, 65, 87, 133, 134)
	Körpergewicht	(39, 152)

Fazit

Der Trend der letzten Jahre zu immer größer werdenden Betrieben bei gleichbleibender Arbeitskraft sowie der Anspruch der Landwirte an ein Mindestmaß an Arbeitskomfort und zeitliche Ungebundenheit machen den Einsatz von technischen, möglichst automatisierten Hilfsinstrumenten in allen Bereichen der Milchviehhaltung erforderlich. Einige Beispiele zeigen, dass zuverlässig funktionierende Systeme das Potenzial haben, Gesundheit und Fruchtbarkeit in Milchviehherden weitgehend mitarbeiterunabhängig zu überwachen. Durch die Nutzung der freiwerdenden Zeit für andere Managementbereiche können so Tierwohl und Tiergesundheit, aber auch Effizienz und Wirtschaftlichkeit eines Betriebs gesteigert werden. Die Sinnhaftigkeit der Installation eines automatischen Gesundheits- oder Fruchtbarkeitsüberwachungssystems hängt natürlich in hohem Maße davon ab, ob der Landwirt bereit ist, die Technik anzuwenden, die anfallenden Daten und Informationen regelmäßig abzurufen, zu erfassen und sinnvoll im Arbeitsalltag sowie in der strategischen Planung einzusetzen. Aber auch der betreuende Tierarzt wird in Zukunft noch mehr dazu angehalten sein, sich mit derartigen Systemen und dem Umgang der resultierenden Daten vertraut zu machen, um den Landwirt optimal beraten zu können. Bereits heute bietet der Markt eine ganze Reihe automatisierter Systeme zur Überwachung verschiedener managementrelevanter Parameter und Situationen an. Da es sich oftmals um relativ hohe Investitionskosten handelt, besteht ein starker Bedarf nach Anwendungsstudien unter Praxisbedingungen. Nur so lässt sich eine wissenschaftlich fundierte Entscheidung für oder gegen die Investition und den Einsatz eines solchen Systems im jeweiligen Betrieb treffen. Betrachtet man den Fortschritt allein in den vergangenen 5 Jahren, sind zukünftig viele Neuerungen und Verbesserungen bestehender Systeme zu erwarten.

Interessenkonflikt Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

Literatur zum Artikel

1. ADR. Rinderproduktion in Deutschland 2014. 2014: Tabelle 4.13.
2. AlZahal O, Steele M, Valdes E, McBride B. Technical note: The use of a telemetric system to continuously monitor ruminal temperature and to predict ruminal pH in cattle. *J Dairy Sci* 2009; 92: 5697-5701.
3. AlZahal O, AlZahal H, Steele M, Van Schaik M, Kyriazakis I, Duffield T, McBride B. The use of a radiotelemetric ruminal bolus to detect body temperature changes in lactating dairy cattle. *J Dairy Sci* 2011; 94: 3568-3574.
4. Asmussen T. Herd navigator or "How to benefit from frequent measurements". Proceedings of the 37th ICAR Biennial Session 2010, Riga, Latvia.
5. At-Taras EE, Spahr SL. Detection and characterization of estrus in dairy cattle with an electronic heatmount detector and an electronic activity tag. *J Dairy Sci* 2001; 84: 792-798.
6. Azzaro G, Caccamo M, Ferguson JD, Battiato S, Farinella GM, Guarnera GC, Puglisi G, Petriglieri R, Licitra G. Objective estimation of body condition score by modeling cow body shape from digital images. *J Dairy Sci* 2011; 94: 2126-2137.
7. Bach A, Iglesias C, Busto I. Technical Note: A Computerized System for Monitoring Feeding Behavior and Individual Feed Intake of Dairy Cattle. *J Dairy Sci* 2004; 87: 4207-4209.
8. Bauer U, Harms J, Steyer M, Salau J, Haas JH, Weber A, Junge W, Bieletzki S, Rothfuss H, Suhr O. Automatische Beurteilung der Körperkondition von Milchkühen. *LANDTECHNIK—Agricultural Engineering* 2012; 67: 409-412.
9. Beauchemin KA. Effects of Dietary Neutral Detergent Fiber Concentration and Alfalfa Hay Quality on Chewing, Rumen Function, and Milk Production of Dairy Cows. *J Dairy Sci* 1991; 74: 3140-3151.
10. Bercovich A, Edan Y, Alchanatis V, Moallem U, Parmet Y, Honig H, Maltz E, Antler A, Halachmi I. Development of an automatic cow body condition scoring using body shape signature and Fourier descriptors. *J Dairy Sci* 2013; 96: 8047-8059.
11. Bewley J, Grott M, Einstein M, Schutz M. Impact of intake water temperatures on reticular temperatures of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2008; 91: 3880-3887.
12. Bewley JM, Einstein ME, Grott MW, Schutz MM. Comparison of reticular and rectal core body temperatures in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2008; 91: 4661-4672.
13. Bewley JM, Peacock AM, Lewis O, Boyce RE, Roberts DJ, Coffey MP, Kenyon SJ, Schutz MM. Potential for estimation of body condition scores in dairy cattle from digital images. *J Dairy Sci* 2008; 91: 3439-3453.
14. Bikker JP, van Laar H, Rump P, Doorenbos J, van Meurs K, Griffioen GM, Dijkstra J. Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *J Dairy Sci* 2014; 97: 2974-2979.

15. Brandt M, Haeussermann A, Hartung E. Invited review: Technical solutions for analysis of milk constituents and abnormal milk. *J Dairy Sci* 2010; 93: 427-436.
16. Britt JH, Scott RG, Armstrong JD, Whitacre MD. Determinants of estrous behavior in lactating Holstein cows. *J Dairy Sci* 1986; 69: 2195-2202.
17. Bruyere P, Hetreau T, Ponsart C, Gatien J, Buff S, Disenhaus C, Giroud O, Guerin P. Can video cameras replace visual estrus detection in dairy cows? *Theriogenology* 2012; 77: 525-530.
18. Büchel S, Sundrum A. Short communication: Decrease in rumination time as an indicator of the onset of calving. *J Dairy Sci* 2014; 97: 3120-3127.
19. Burfeind O, Schirmann K, von Keyserlingk M, Veira D, Weary D, Heuwieser W. Technical note: Evaluation of a system for monitoring rumination in heifers and calves. *J Dairy Sci* 2011; 94: 426-430.
20. Burfeind O, Suthar VS, Voigtsberger R, Bonk S, Heuwieser W. Validity of prepartum changes in vaginal and rectal temperature to predict calving in dairy cows. *J Dairy Sci* 2011; 94: 5053-5061.
21. Butler W, Smith R. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1989; 72: 767-783.
22. Calamari L, Soriani N, Panella G, Petrera F, Minuti A, Trevisi E. Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *J Dairy Sci* 2014; 97: 3635-3647.
23. Cavalieri J, Eagles VE, Ryan M, Macmillan KL. Comparison of four methods for detection of oestrus in dairy cows with resynchronised oestrous cycles. *Aust Vet J* 2003; 81: 422-425.
24. Chanvallon A, Daviere JB, Girardot J, Lamy J-M, Leblay A. Surveillance automatisée des vêlages chez la vache laitière. *Recontres autour des Recherches sur les Ruminants 2012*, Paris, France.
25. Chapinal N, Veira DM, Weary DM, von Keyserlingk MA. Technical note: validation of a system for monitoring individual feeding and drinking behavior and intake in group-housed cattle. *J Dairy Sci* 2007; 90: 5732-5736.
26. Chapinal N, Carson ME, LeBlanc SJ, Leslie KE, Godden S, Capel M, Santos JE, Overton MW, Duffield TF. The association of serum metabolites in the transition period with milk production and early-lactation reproductive performance. *J Dairy Sci* 2012; 95: 1301-1309.
27. Chizzotti ML, Machado FS, Valente EE, Pereira LG, Campos MM, Tomich TR, Coelho SG, Ribas MN. Technical note: Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2015; 98: 3438-3442.
28. Clark CE, Lyons NA, Millapan L, Talukder S, Cronin GM, Kerrisk KL, Garcia SC. Rumination and activity levels as predictors of calving for dairy cows. *Animal* 2015; 9: 691-695.
29. Claycomb RW, Delwiche MJ. Biosensor for on-line measurement of bovine progesterone during milking. *Biosens Bioelectron* 1998; 13: 1173-1180.

30. Cunningham M, Martz F, Merilan C. Effect of drinking-water temperature upon ruminant digestion, intraruminal temperature, and water consumption of nonlactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1964; 47: 382-385.
31. Dado R, Allen M. Continuous computer acquisition of feed and water intakes, chewing, reticular motility, and ruminal pH of cattle. *J Dairy Sci* 1993; 76: 1589-1600.
32. Dado RG, Allen MS. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. *J Dairy Sci* 1995; 78: 118-133.
33. Dargatz DA, Dewell GA, Mortimer RG. Calving and calving management of beef cows and heifers on cow-calf operations in the United States. *Theriogenology* 2004; 61: 997-1007.
34. De Kruif A, Mansfeld R, Hoedemaker M. Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind. Stuttgart: Enke Verlag 2014.
35. Delwiche M, Tang X, BonDurant R, Munro C. Estrus detection with a progesterone biosensor. *Transactions of the ASAE* 2001; 44: 2003-2008.
36. Delwiche M, Tang X, BonDurant R, Munro C. Improved biosensor for measurement of progesterone in bovine milk. *Transactions of the ASAE* 2001; 44: 1997-2002.
37. DeVries T, Von Keyserlingk M, Weary D, Beauchemin K. Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *J Dairy Sci* 2003; 86: 3354-3361.
38. DeVries TJ, von Keyserlingk MAG, Weary DM, Beauchemin KA. Technical Note: Validation of a System for Monitoring Feeding Behavior of Dairy Cows. *J Dairy Sci* 2003; 86: 3571-3574.
39. Dickinson RA, Morton JM, Beggs DS, Anderson GA, Pyman MF, Mansell PD, Blackwood CB. An automated walk-over weighing system as a tool for measuring liveweight change in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2013; 96: 4477-4486.
40. Dietrich O. Etablierung einer neuen Methode zur automatisierten Brunsterkennung beim Rind Hrsg. Tierärztliches Department. München: Ludwig-Maximilians-Universität 2012.
41. Dippon M. Zuverlässigkeit und Praktikabilität der Geburtsüberwachung beim Rind mittels eines automatischen Geburtsmeldesystems. Hrsg. Tierärztliches Department. München: Ludwig-Maximilians-Universität 2015.
42. Dirksen G, Hagert-Theen C, Alexander-Katz M, Berger A. Stoffwechselüberwachung bei Kühen in der Hochlaktation anhand von Milchparametern. I: Tagesmilchmenge, Fett- und Eiweißkonzentration, Fett-Eiweiß-Quotient, Harnstoffkonzentration. *Tierärztliche Rundschau* 1997; 52: 319-324.
43. Diskin MG, Sreenan JM. Expression and detection of oestrus in cattle. *Reprod Nutr Dev* 2000; 40: 481-491.
44. Döcke F. Veterinärmedizinische Endokrinologie. In: Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind. Grunert E, Berchtold M, Hrsg. Jena: Gustav Fischer 1994; 74 ff.

-
45. Dohoo IR, Wayne Martin S, Meek AH, Sandals WCD. Disease, production and culling in Holstein-Friesian cows I. The data. *Prev Vet Med* 1983; 1: 321-334.
46. Dohoo IR, Martin SW. Subclinical ketosis: prevalence and associations with production and disease. *Can J Comp Med* 1984; 48: 1-5.
47. Dransfield MB, Nebel RL, Pearson RE, Warnick LD. Timing of insemination for dairy cows identified in estrus by a radiotelemetric estrus detection system. *J Dairy Sci* 1998; 81: 1874-1882.
48. Dubuc J, Duffield TF, Leslie KE, Walton JS, LeBlanc SJ. Risk factors and effects of postpartum anovulation in dairy cows. *J Dairy Sci* 2012; 95: 1845-1854.
49. Duffield T. Subclinical ketosis in lactating dairy cattle. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2000; 16: 231-253.
50. Duffield T, Lissemore K, McBride B, Leslie K. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *J Dairy Sci* 2009; 92: 571-580.
51. Duffield TF, Sandals D, Leslie KE, Lissemore K, McBride BW, Lumsden JH, Dick P, Bagg R. Efficacy of monensin for the prevention of subclinical ketosis in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1998; 81: 2866-2873.
52. Edwards JL, Tozer PR. Using Activity and Milk Yield as Predictors of Fresh Cow Disorders. *J Dairy Sci* 2004; 87: 524-531.
53. Eradus WJ, Rossing W, Hogewerf PH, Benders E. Signal processing of activity data for oestrus detection in dairy cattle. *Proc Int Symp Prospects for Automatic Milking 1992, Wageningen, the Netherlands*.
54. Esslemont RJ, Glencross RG, Bryant MJ, Pope GS. A quantitative study of pre-ovulatory behaviour in cattle (British Friesian heifers). *Applied Animal Ethology* 1980; 6: 1-17.
55. Firk R, Stamer E, Junge W, Krieter J. Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. *Livestock Production Science* 2002; 75: 219-232.
56. Fischer A, Luginbühl T, Delattre L, Delouard J, Faverdin P. Rear shape in 3 dimensions summarized by principal component analysis is a good predictor of body condition score in Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 2015; 98: 4465-4476.
57. Friggens NC, Chagunda MGG. Prediction of the reproductive status of cattle on the basis of milk progesterone measures: model description. *Theriogenology* 2005; 64: 155-190.
58. Friggens NC, Bjerring M, Ridder C, Højsgaard S, Larsen T. Improved Detection of Reproductive Status in Dairy Cows Using Milk Progesterone Measurements. *Reprod Domest Anim* 2008; 43: 113-121.
59. Galon N. The use of pedometry for estrus detection in dairy cows in Israel. *The Journal of reproduction and development* 2010; 56 Suppl: S48-52.

60. Gasteiner J, Fallast M, Rosenkranz S, Häusler J, Schneider K, Guggenberger T. Zum Einsatz einer intraruminalen pH-Datenmesseinheit mit kabelloser Datenübertragung bei Rindern unter verschiedenen Fütterungsbedingungen. Wiener Tierärztliche Monatsschrift 2009, Vet Med Austria 2009; 96: 188-194.
61. Gasteiner J, Boswerger B, Guggenberger T. Erfahrungen zum praktischen Einsatz des Pansensors auf Milchviehbetrieben. Der Praktische Tierarzt 2012; 93: 730-739.
62. Goldhawk C, Chapinal N, Veira DM, Weary DM, von Keyserlingk MA. Prepartum feeding behavior is an early indicator of subclinical ketosis. J Dairy Sci 2009; 92: 4971-4977.
63. Gonzalez LA, Tolkamp BJ, Coffey MP, Ferret A, Kyriazakis I. Changes in feeding behavior as possible indicators for the automatic monitoring of health disorders in dairy cows. J Dairy Sci 2008; 91: 1017-1028.
64. Grieve D, Korver S, Rijpkema Y, Hof G. Relationship between milk composition and some nutritional parameters in early lactation. Livestock Production Science 1986; 14: 239-254.
65. Halachmi I, Polak P, Roberts DJ, Klopčič M. Cow body shape and automation of condition scoring. J Dairy Sci 2008; 91: 4444-4451.
66. Hamann J, Krömker V. Potential of specific milk composition variables for cow health management. Livestock Production Science 1997; 48: 201-208.
67. Heuer C, Schukken YH, Dobbelaar P. Postpartum Body Condition Score and Results from the First Test Day Milk as Predictors of Disease, Fertility, Yield, and Culling in Commercial Dairy Herds. J Dairy Sci 1999; 82: 295-304.
68. Heuer C, Van Straalen W, Schukken Y, Dirkwager A, Noordhuizen J. Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: model development and precision. Livestock Production Science 2000; 65: 91-105.
69. Heuwieser W, Mansfeld R. Brunstbeobachtung beim Rind. Milchpraxis 1995; 1995: 75-79.
70. Hofmann W. Rinderkrankheiten Band 1. Stuttgart: Ulmer Verlag 1992.
71. Hungate RE. The rumen and its microbes. New York/London: Academic Press 1966.
72. Hurnik JF, King GJ, Robertson HA. Estrous and related behaviour in postpartum Holstein cows. Applied Animal Ethology 1975; 2: 55-68.
73. Huybrechts T, Mertens K, De Baerdemaeker J, De Ketelaere B, Saeys W. Early warnings from automatic milk yield monitoring with online synergistic control. J Dairy Sci 2014; 97: 3371-3381.
74. Huzzey JM, Veira DM, Weary DM, von Keyserlingk MAG. Prepartum Behavior and Dry Matter Intake Identify Dairy Cows at Risk for Metritis. J Dairy Sci 2007; 90: 3220-3233.
75. ICAR. International agreement of recording practices: guidelines approved by the General Assembly held in Berlin, Germany 2014.

76. Inchaisri C, Jorritsma R, Vos PLAM, van der Weijden GC, Hogeveen H. Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology* 2010; 74: 835-846.
77. Janowitz U. Fruchtbarkeitsstörungen und hormonelle Zyklussteuerung. *Milchrindtag* 2009, Brandenburg.
78. Jensen MB. Behaviour around the time of calving in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 2012; 139: 195-202.
79. Jónsson R, Blanke M, Poulsen NK, Caponetti F, Højsgaard S. Oestrus detection in dairy cows from activity and lying data using on-line individual models. *Computers and electronics in agriculture* 2011; 76: 6-15.
80. Jung M. Brunstbeobachtung: Welche Möglichkeiten bieten Technische Hilfsmittel? *Milchrindtag Brandenburg* 01/2009 2009, Brandenburg.
81. Kawamura S, Kawasaki M, Nakatsuji H, Natsuga M. Near-infrared spectroscopic sensing system for online monitoring of milk quality during milking. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety* 2007; 1: 37-43.
82. Kawasaki M, Kawamura S, Tsukahara M, Morita S, Komiya M, Natsuga M. Near-infrared spectroscopic sensing system for on-line milk quality assessment in a milking robot. *Computers and electronics in agriculture* 2008; 63: 22-27.
83. Kiddy CA. Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cows. *J Dairy Sci* 1977; 60: 235-243.
84. Kilgour R, Skarsholt BH, Smith JF, Bremner KJ, Morrison MCL. Observations on the behaviour and factors influencing the sexually-active group in cattle. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 1977; 37: 128-135.
85. King JO. The effect of oestrus on milk production in cows. *Vet Rec* 1977; 101: 107-108.
86. Kokin E, Praks J, Veermäe I, Poikalainen V, Vallas M. IceTag3D™ accelerometric device in cattle lameness detection. *Agronomy Research* 2014; 12: 223-230.
87. Krukowski M. Automatic Determination of Body Condition Score of Dairy Cows from 3D Images Processing and pattern recognitions in images from a time-of-flight camera. Hrsg. *Computer Science and Communication*. Stockholm, Sweden: KTH Royal Institute of Technology 2009.
88. KTBL. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft 2010/11. In: *KTBL-Datensammlung*. Hrsg: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft 2010; 541.
89. Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V. Leistungs- und Qualitätsprüfung in der Rinderzucht in Bayern 2004 Ergebnisse und Auswertungen. *Jahresbericht 2004*: 16
90. Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V. Leistungs- und Qualitätsprüfung in der Rinderzucht in Bayern 2015 Ergebnisse und Auswertungen. *Jahresbericht 2015*: 16.

91. Law RA, Young FJ, Patterson DC, Kilpatrick DJ, Wylie ARG, Mayne CS. Effect of dietary protein content on estrous behavior of dairy cows during early and mid lactation. *J Dairy Sci* 2009; 92: 1013-1022.
92. Liang D, Wood CL, McQuerry KJ, Ray DL, Clark JD, Bewley JM. Influence of breed, milk production, season, and ambient temperature on dairy cow reticulorumen temperature. *J Dairy Sci* 2013; 96: 5072-5081.
93. Lovendahl P, Chagunda MG. On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *J Dairy Sci* 2010; 93: 249-259.
94. Lucy MC. Reproductive Loss in High-Producing Dairy Cattle: Where Will It End? *J Dairy Sci* 2001; 84: 1277-1293.
95. Luginbuhl JM, Pond KR, Russ JC, Burns JC. A Simple Electronic Device and Computer Interface System for Monitoring Chewing Behavior of Stall-Fed Ruminant Animals¹. *J Dairy Sci* 1987; 70: 1307-1312.
96. Lukas J, Reneau J, Wallace R, Hawkins D, Munoz-Zanzi C. A novel method of analyzing daily milk production and electrical conductivity to predict disease onset. *J Dairy Sci* 2009; 92: 5964-5976.
97. Lyimo ZC, Nielen M, Ouweltjes W, Kruip TAM, Eerdenburg FJCMv. Relationship among estradiol, cortisol and intensity of estrous behavior in dairy cattle. *Theriogenology* 2000; 53: 1783-1795.
98. Marchesi G, Leonardi S, Tangorra FM, Calcante A, Beretta E, Pofcher E, Lazzari M. Evaluation of an electronic system for automatic calving detection on a dairy farm. *Animal Production Science* 2013; 53: 1112-1114.
99. Matsui K, Okubo T. A method for quantification of jaw movements suitable for use on free-ranging cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 1991; 32: 107-116.
100. Matsui K. A new ambulatory data logger for a long-term determination of grazing and rumination behaviour on free-ranging cattle, sheep and goats. *Applied Animal Behaviour Science* 1994; 39: 123-130.
101. Maulfair D, Zanton G, Fustini M, Heinrichs A. Effect of feed sorting on chewing behavior, production, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2010; 93: 4791-4803.
102. McArt JAA, Nydam DV, Oetzel GR. Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *J Dairy Sci* 2012; 95: 5056-5066.
103. McCorkell R, Wynne-Edwards K, Windeyer C, Schaefer A. Limited efficacy of Fever Tag((R)) temperature sensing ear tags in calves with naturally occurring bovine respiratory disease or induced bovine viral diarrhoea virus infection. *Can Vet J* 2014; 55: 688-690.
104. McGowan J, Burke C, Jago J. Validation of a technology for objectively measuring behaviour in dairy cows and its application for oestrous detection. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 2007.
105. McLaren CJ, Lissemore KD, Duffield TF, Leslie KE, Kelton DF, Grexton B. The relationship between herd level disease incidence and a return over feed index in Ontario dairy herds. *Can Vet J* 2006; 47: 767-773.

106. Mee JF. Managing the dairy cow at calving time. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2004; 20: 521-546.
107. Mee JF. Newborn dairy calf management. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2008; 24: 1-17.
108. Mee JF. Why Do So Many Calves Die on Modern Dairy Farms and What Can We Do about Calf Welfare in the Future? *Animals : an open access journal from MDPI* 2013; 3: 1036-1057.
109. Michaelis I, Hasenpusch E, Heuwieser W. Estrus detection in dairy cattle: changes after the introduction of an automated activity monitoring system? *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere* 2013; 41: 159-165.
110. Miedema HM, Cockram MS, Dwyer CM, Macrae AI. Changes in the behaviour of dairy cows during the 24 h before normal calving compared with behaviour during late pregnancy. *Applied Animal Behaviour Science* 2011; 131: 8-14.
111. Mottram T, Velasco-Garcia M, Berry P, Richards P, Ghesquiere J, Masson L. Automatic On-Line Analysis Of Milk Constituents (Urea, Ketones, Enzymes And Hormones) Using Biosensors. *Comparative Clinical Pathology* 2002; 11: 50-58.
112. Nebel RL, Dransfield MG, Jobst SM, Bame JH. Automated electronic systems for the detection of oestrus and timing of AI in cattle. *Anim Reprod Sci* 2000; 60-61: 713-723.
113. Nielsen NI, Friggens NC, Chagunda MGG, Ingvarsen KL. Predicting Risk of Ketosis in Dairy Cows Using In-Line Measurements of β -Hydroxybutyrate: A Biological Model. *J Dairy Sci* 2005; 88: 2441-2453.
114. Ospina P, Nydam D, Stokol T, Overton T. Association between the proportion of sampled transition cows with increased nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate and disease incidence, pregnancy rate, and milk production at the herd level. *J Dairy Sci* 2010; 93: 3595-3601.
115. Ospina P, Nydam D, Stokol T, Overton T. Associations of elevated nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the northeastern United States. *J Dairy Sci* 2010; 93: 1596-1603.
116. Pahl C, Hartung E, Grothmann A, Mahlkow-Nerge K, Haeussermann A. Rumination activity of dairy cows in the 24 hours before and after calving. *J Dairy Sci* 2014; 97: 6935-6941.
117. Pahl C, Hartung E, Mahlkow-Nerge K, Haeussermann A. Feeding characteristics and rumination time of dairy cows around estrus. *J Dairy Sci* 2015; 98: 148-154.
118. Palombi C, Paolucci M, Stradaoli G, Corubolo M, Pascolo PB, Monaci M. Evaluation of remote monitoring of parturition in dairy cattle as a new tool for calving management. *BMC Veterinary Research* 2013; 9: 191-191.
119. Peter A, Bosu W. Postpartum ovarian activity in dairy cows: correlation between behavioral estrus, pedometer measurements and ovulations. *Theriogenology* 1986; 26: 111-115.
120. Pohl A, Heuwieser W, Burfeind O. Technical note: Assessment of milk temperature measured by automatic milking systems as an indicator of body temperature and fever in dairy cows. *J Dairy Sci* 2014; 97: 4333-4339.

121. Ramírez-Iglesia LN, Viera Rosales FB, Martínez JA, Díaz de Ramírez A, Morillo Luque JG, Román R, Soto-Belloso E. Grupos sexuales activos en vacas posparto de ganadería mestiza de doble propósito. *Zootecnia Tropical* 2006; 24: 281-295.
122. Reith S, Hoy S. Relationship between daily rumination time and estrus of dairy cows. *J Dairy Sci* 2012; 95: 6416-6420.
123. Reith S, Brandt H, Hoy S. Simultaneous analysis of activity and rumination time, based on collar-mounted sensor technology, of dairy cows over the peri-estrus period. *Livestock Science* 2014; 170: 219-227.
124. Roelofs J, Lopez-Gatius F, Hunter RH, van Eerdenburg FJ, Hanzen C. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology* 2010; 74: 327-344.
125. Roelofs JB, van Eerdenburg FJ, Soede NM, Kemp B. Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology* 2005; 64: 1690-1703.
126. Roelofs JB, van Eerdenburg FJCM, Soede NM, Kemp B. Various behavioral signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology* 2005; 63: 1366-1377.
127. Roelofs JB, Van Eerdenburg FJ, Hazeleger W, Soede NM, Kemp B. Relationship between progesterone concentrations in milk and blood and time of ovulation in dairy cattle. *Anim Reprod Sci* 2006; 91: 337-343.
128. Rorie RW, Bilby TR, Lester TD. Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. *Theriogenology* 2002; 57: 137-148.
129. Rutten C, Velthuis A, Steeneveld W, Hogeveen H. Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *J Dairy Sci* 2013; 96: 1928-1952.
130. Saint-Dizier M, Chastant-Maillard S. Towards an automated detection of oestrus in dairy cattle. *Reprod Domest Anim* 2012; 47: 1056-1061.
131. Saint-Dizier M, Chastant-Maillard S. Methods and on-farm devices to predict calving time in cattle. *Vet J* 2015; 205: 349-356.
132. Sakaguchi M, Fujiki R, Yabuuchi K, Takahashi Y, Aoki M. Reliability of estrous detection in Holstein heifers using a radiotelemetric pedometer located on the neck or legs under different rearing conditions. *The Journal of reproduction and development* 2007; 53: 819-828.
133. Salau J, Haas J, Junge W, Bauer U, Harms J, Bielecki S. Feasibility of automated body trait determination using the SR4K time-of-flight camera in cow barns. *Springer Plus* 2014; 3: 225.
134. Salau J, Bauer U, Haas JH, Thaller G, Harms J, Junge W. Quantification of the effects of fur, fur color, and velocity on Time-Of-Flight technology in dairy production. *SpringerPlus* 2015; 4: 144.
135. Saumande J. Electronic detection of oestrus in postpartum dairy cows: efficiency and accuracy of the DEC® (showheat) system. *Livestock Production Science* 2002; 77: 265-271.

136. Schirmann K, von Keyserlingk MAG, Weary DM, Veira DM, Heuwieser W. Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *J Dairy Sci* 2009; 92: 6052-6055.
137. Schirmann K, Chapinal N, Weary D, Heuwieser W, Von Keyserlingk M. Rumination and its relationship to feeding and lying behavior in Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 2012; 95: 3212-3217.
138. Schirmann K, Chapinal N, Weary DM, Vickers L, von Keyserlingk MAG. Short communication: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. *J Dairy Sci* 2013; 96: 7088-7092.
139. Schneider K, Gasteiner J, Guggenberger T, Urdl M, Steiner S, Neidl A, Linhart N, Baumgartner W. Vergleichende Untersuchungen zur Messung des pH-Wertes im Vormagensystem von Rindern (Comparative measurements on ruminal pH-value in cattle). *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 2010; 123: 406-412.
140. Schofield SA, Phillips CJC, Owens AR. Variation in the milk production, activity rate and electrical impedance of cervical mucus over the oestrous period of dairy cows. *Anim Reprod Sci* 1991; 24: 231-248.
141. Silper BF, Madureira AML, Kaur M, Burnett TA, Cerri RLA. Short communication: Comparison of estrus characteristics in Holstein heifers by 2 activity monitoring systems. *J Dairy Sci* 2015; 98: 3158-3165.
142. Simensen E, Halse K, Gillund P, Lutnaes B. Ketosis treatment and milk yield in dairy cows related to milk acetoacetate levels. *Acta Vet Scand* 1990; 31: 433-440.
143. Small JA, Kennedy AD, Kahane SH. Core body temperature monitoring with passive transponder boluses in beef heifers. *Canadian Journal of Animal Science* 2008; 88: 225-235.
144. Smith BI, Risco CA. Management of periparturient disorders in dairy cattle. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2005; 21: 503-521.
145. Soriani N, Trevisi E, Calamari L. Relationships between rumination time, metabolic conditions, and health status in dairy cows during the transition period. *J Anim Sci* 2012; 90: 4544-4554.
146. Soriani N, Panella G, Calamari L. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *J Dairy Sci* 2013; 96: 5082-5094.
147. Stangaferro ML, Wijma R, Caixeta LS, Al-Abri MA, Giordano JO. Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part II. Mastitis. *J Dairy Sci*.
148. Staufenbiel R. Stoffwechselerkrankungen. In: *Tiergesundheits- und Tierkrankheitslehre*. Busch W, Methling W, Amselgruber WM, Hrsg. Stuttgart: Parey 2004; 334.
149. Steen A, Osteras O, Gronstol H. Evaluation of additional acetone and urea analyses, and of the fat-lactose-quotient in cow milk samples in the herd recording system in Norway. *Zentralbl Veterinarmed A* 1996; 43: 181-191.
150. Sveberg G, Refsdal AO, Erhard HW, Kommisrud E, Aldrin M, Tvette IF, Buckley F, Waldmann A, Ropstad E. Sexually active groups in cattle—a novel estrus sign. *J Dairy Sci* 2013; 96: 4375-4386.

-
151. Thatcher W, Guzeloglu A, Meikle A, Kamimura S, Bilby T, Kowalski A, Badinga L, Pershing R, Bartolome J, Santos J. Regulation of embryo survival in cattle. *Reprod Suppl* 2003; 253-266.
152. Thorup VM, Edwards D, Friggens NC. On-farm estimation of energy balance in dairy cows using only frequent body weight measurements and body condition score. *J Dairy Sci* 2012; 95: 1784-1793.
153. Timsit E, Assié S, Quiniou R, Seegers H, Bareille N. Early detection of bovine respiratory disease in young bulls using reticulo-rumen temperature boluses. *Vet J* 2011; 190: 136-142.
154. Titler M, Maquivar MG, Bas S, Rajala-Schultz PJ, Gordon E, McCullough K, Federico P, Schuenemann GM. Prediction of parturition in Holstein dairy cattle using electronic data loggers. *J Dairy Sci* 2015; 98: 5304-5312.
155. Uetake K. Newborn calf welfare: a review focusing on mortality rates. *Anim Sci J* 2013; 84: 101-105.
156. Van Eerdenburg FJ, Loeffler HS, van Vliet JH. Detection of oestrus in dairy cows: a new approach to an old problem. *Vet Q* 1996; 18: 52-54.
157. Van Vliet JH, Van Eerdenburg FJCM. Sexual activities and oestrus detection in lactating Holstein cows. *Applied Animal Behaviour Science* 1996; 50: 57-69.
158. Vasseur E, Borderas F, Cue RI, Lefebvre D, Pellerin D, Rushen J, Wade KM, de Passille AM. A survey of dairy calf management practices in Canada that affect animal welfare. *J Dairy Sci* 2010; 93: 1307-1315.
159. Welch JG, Smith AM. Forage Quality and Rumination Time in Cattle. *J Dairy Sci* 1970; 53: 797-800.
160. Williamson NB, Morris RS, Blood DC, Cannon CM, Wright PJ. A study of oestrous behaviour and oestrus detection methods in a large commercial dairy herd. II. Oestrous signs and behaviour patterns. *Vet Rec* 1972; 91: 58-62.
161. Wolfger B, Timsit E, Pajor EA, Cook N, Barkema HW, Orsel K. Technical note: Accuracy of an ear tag-attached accelerometer to monitor rumination and feeding behavior in feedlot cattle. *J Anim Sci* 2015; 93: 3164-3168.
162. Xu ZZ, McKnight DJ, Vishwanath R, Pitt CJ, Burton LJ. Estrus detection using radiotelemetry or visual observation and tail painting for dairy cows on pasture. *J Dairy Sci* 1998; 81: 2890-2896.

III. MATERIAL UND METHODEN

1. Versuchsbetrieb und Tiere

Der für die Untersuchungen zur Verfügung gestandene Milchviehbetrieb lag im schwäbischen Landkreis Augsburg in Bayern. Dieser besaß im Versuchszeitraum rund 75 Kühe (inkl. Trockensteher) und 110 Tiere Nachzucht der Rasse Fleckvieh. Alle Tiere waren in einem Laufstall mit planbefestigtem Boden, Schieberentmistung und Tiefstreuboxen mit Stroh untergebracht, wobei sich die Nachzucht getrennt durch den Futtertisch auf der einen und die Milchkühe auf der anderen Seite befand. Die rund 75 Milchkühe waren in zwei Gruppen (trockenstehende und laktierende Tiere) unterteilt. Das Abteil der zu melkenden Tiere umfasste eine Fläche von ca. 30x12 m und wurde von 12 Kameras rund um die Uhr überwacht. Die Daten aller darin untergebrachten Tiere wurden zur Auswertung herangezogen. Die trockenstehenden Kühe waren in einem separaten Abteil am hinteren Ende des Stalls untergebracht. In dieses wurden die Kühe ca. 55-60 Tage vor der Kalbung umgestallt. 20 Tage vor dem errechneten Geburtstermin wurden die Trockensteher zur Vermeidung allzu großer Rangkämpfe direkt nach der Geburt bereits wieder in die Gruppe der laktierenden Tiere eingegliedert. Nur zum Abkalben wurden die Kühe dann für wenige Tage (je nach Geburtsverlauf) in der Abkalbebox untergebracht. Aus diesem Grund begann die Erhebung aller Daten ab dem 4. Tag post partum (p.p.).

Die durchschnittliche Milchleistung im Betrieb lag bei 8.200 kg, die Zwischenkalbzeit bei 370 Tagen.

Vor dem Versuch erfolgte die Brunstbeobachtung sowohl visuell durch den Landwirt als auch unter Zuhilfenahme eines Aktivitätsmessers der Firma Westfalia (GEA Group, Düsseldorf). Die visuelle Brunstbeobachtung wurde durch den Landwirt an beiden Melkzeiten (morgens 7 - 9 Uhr, abends 17 - 19 Uhr), mittags um ca. 12.00 Uhr und am späten Abend um 22.30 Uhr für jeweils 5-10 min durchgeführt.

Der Landwirt nahm sowohl Besamung als auch Trächtigkeitsuntersuchung selbst vor. Auch die Identifizierung erkrankter Tiere übernahm er weitestgehend

eigenständig. Vor der Behandlung erkrankter Tiere erfolgte allerdings eine Kontrolle durch den Tierarzt.

Im Erhebungszeitraum vom 23.03.2015 - 27.09.2015 befanden sich regelmäßig etwa 60 Tiere im kameraüberwachten Bereich.

2. Material

2.1. Labor

2.1.1. Materialien für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch

2.1.1.1. Geräte für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch

Gefrierzelle (-20 °C)	(KLG Vertrieb, Garching)
Kühlschrank (+6 °C)	(Kirsch, Offenburg)
Kühlzentrifuge „Rotixa 50 RS“	(Hettich, Tuttlingen)
Laborgläser, 100 ml	(Schott AG, Mainz)
Laborwaage „PLJ360-3M“	(Kern, Balingen)
pH-Meter „inoLab®“	(Wissenschaftlich-Technische Werkstätten, Weilheim)
Microplate Reader „CLARIOstar“	(BMG Labtech, Ortenberg)
Pipetten, einstellbar, 1 - 10 µl, 10 - 100 µl, 20 - 200 µl, 100 - 1.000 µl, 1 - 5 ml	(Biohit, Köln)
Pipetten, einstellbar, „Transferpette®“, 0,5 - 10 µl, 220 µl	(Brand, Wertheim)
Pipette, einstellbar, „HandyStep®“, 1 µl - 50ml	(Brand, Wertheim)
Plattenwascher „ELx50 Auto Strip Washer“	(Bio Tek, Bad Friedrichshall)

Reinstwassersystem „GenPure“	(TKA, Niederelbert)
Rüttler für Mikrotiterplatten „MTS 4“	(IKA, Staufen)
Schüttler „Vortex Genius 3“	(IKA, Staufen)
Wasserbad, Temperatur regulierbar	(Memmert, Schwabach)

2.1.1.2. Verbrauchsmaterial für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch

Mikrotiterplatten „BRANDplates immunograde“	(Brand, Wertheim)
Pipettenspitzen, 1.200 µl	(Biohit, Köln)
Pipettenspitzen 10 – 5.000 µl	(Brand, Wertheim)
Probenröhrchen, 14 ml, Polypropylen	(Sarstedt, Nümbrecht)
Tubes (U-bottom Bulk), 1,4 ml	(Micronic B.V, Lelystad, Niederlande)

2.1.1.3. Reagenzien für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch

1. Antikörper: affinitätsgereinigt,

Schaf-Anti-Ratte-IgG	(LMU, Klinik für Wiederkäuer, Oberscheleißheim)
----------------------	--

2. Antikörper: 2H4-Anti-Progesteron

(Progesteron-7 α -BSA)	(SIGMA-ALDRICH, Steinheim)
-------------------------------	----------------------------

Chromogen: Tetramethylbenzidin	(Roth, Karlsruhe)
--------------------------------	-------------------

Marker: Prog 3-CMO-HRP	(LMU, Klinik für Wiederkäuer, Oberschleißheim)
------------------------	---

2.1.1.4. Puffer und Lösungen für die Bestimmung des Progesterongehalts aus Magermilch

Assay-Puffer:

7,12 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$

8,50 g NaCl

in 1 l Aqua dest. lösen

mit 5N HCl auf pH 7,2 eingestellt

Zugabe von 1g Albumin (BSA)

Coating-Puffer:

4,29 g $\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10 \text{H}_2\text{O}$

2,93 g NaHCO_3

in 1 l Aqua dest.

mit 1N HCl auf pH 9,6 eingestellt

Substratlösung A für Peroxidase:

1,0 g Wasserstoffperoxid-Harnstoff

18,0 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$

10,3 g Zitronensäure $\times \text{H}_2\text{O}$

100 μl Kathon

auf 1 l Aqua dest.

Substratlösung B für Peroxidase:**Lösung 1**

400 mg 3,3',5,5'-Tetramethylbenzidin

in 40 ml Aqua dest. lösen

Lösung 2

960 ml Aqua dest.

10,3 g Zitronensäure x H₂O

Lösung 1 und Lösung 2 getrennt voneinander herstellen und anschließend vermengen. Einstellung eines pH-Wertes von 2,4.

Waschlösung:

2 ml Tween80-Konzentrat / l Aqua dest. (entspricht 0,5 g Tween80 / l Aqua dest.)

Stopreagenz:

4N H₂SO₄ (hergestellt aus 100 ml H₂SO₄ konz. + 800 ml Aqua dest.)

2.1.2. Materialien für die Bestimmung des β -HBA-Gehalts aus Vollmilch

Ketotest-Teststreifen (Elanco Animal Health,
Greenfield, USA)

Eppendorf® Safe-Lock microcentrifuge

tubes volume 2ml (SIGMA-ALDRICH, Steinheim)

2.2. Kameras

GigE Monochrome Industrial Camera

DMK 23GP031 (The Imaging Source Europe
GmbH, Deutschland)

2.3. Nachtlicht

Synergy21 IR-Strahler Outdoor 60 W (Synergy21, Germering,
Deutschland)

2.4. Dairy management system

Hals-Rescounter (Aktiometer)	(GEA Group, Düsseldorf)
DairyFeed C Kraftfutterfütterung	(GEA Group, Düsseldorf)
Metatron Milchmengenmessung	(GEA Group, Düsseldorf)

2.5. Computer-Hardware

PC Fujitsu ESPRIMO Edition P420 Win7 Scr	(AsTina IT-Dienstleistungen, Augsburg)
LCD-Monitor, 19"	(HannStar, Taipei, Taiwan)
EDV-Hardware Toshiba USB 3,0 1TB	(AsTina IT-Dienstleistungen, Augsburg)
Netzwerkkomponenten NETGEAR 16-Port Gigabit PoE Plus Switch	(AsTina IT-Dienstleistungen, Augsburg)

2.6. Computer-Software**2.6.1. Trackingsoftware**

API "GigE-Vision SDK, Version 2.5.2.0"	(Smartek, Cokovec, Kroatien)
Betriebssystem „Windows® Vista“	(Microsoft Inc., Redmond, USA)
Bildverarbeitung „OpenCV“ (Open Source)	(opencv.willowgarage.com)
Camera Calibration Toolbox for Matlab® (Open Source)	(California Institute of Technology, Pasadena, USA)

Datenbank, „SQL Express 2005“	(Microsoft Inc., Redmond, USA)
Datenbankzugang „SQLAPI++“ (Shareware)	(SQLAPI.com)
GUI, graphische Benutzeroberfläche	(Larsen, Augsburg)
Markererkennung „ARToolkitPlus“ (Open Source)	(Studierstube, Technische Universität Graz, Österreich)
Scale-Invariant Feature Transform „SIFT Algorithmus“	(University of British Columbia, Vancouver, Kanada)
2.6.2. Herdenmanagement-Software	
Dairy Plan C21	(GEA Group, Düsseldorf)
2.7. Marker	
8-eckig verschweißte Planenstücke	(Schaller Planen, Augsburg)
PVC-Folie, 500g/m ² , bedruckt, Rückseite selbstklebend beschichtet	(Lindstädt, Augsburg)
Halsbandgewicht, 500g, Kunststoff	(Wahl GmbH, Dietmannsried)

3. Methoden

3.1. Progesteronbestimmung

Als „Goldstandard“ zur Bestimmung der Zyklusphase der Versuchstiere kam die Bestimmung von Progesteron (P4) aus Magermilch zum Einsatz. Die Bestimmung aus Magermilch war nötig, da P4 aufgrund seiner lipophilen Eigenschaften vornehmlich im Milchfett gelöst ist und somit Fett- und P4-Konzentrationen positiv miteinander korrelieren (Nuti et al., 1975). Des Weiteren konnte in verschiedenen Studien nachgewiesen werden, dass die Progesteronkonzentration vom Probennahmezeitpunkt der Milch abhängt (Ginther et al., 1976; Pennington et al., 1981). In beiden Studien zeigte sich, dass ein Konzentrationsunterschied

zwischen Vorgemelk und Nachgemelk besteht. Das Vorgemelk enthält weniger Fett und damit auch weniger Progesteron. Demgegenüber ist im Nachgemelk mehr Fett und damit mehr Progesteron vorzufinden.

Ausgewertet wurden die Proben über die photometrische Erfassung der Farbreaktion eines kompetitiven, heterologen Enzym-Immuno-Assays (EIA) nach der Doppelantikörper-Technik (Meyer, 1989), der im Labor der Klinik für Wiederkäuer der LMU München etabliert ist (Antikörper1: monoklonaler IgG1 aus der Ratte; Antikörper2: Progesteron7 α -BSA; Marker: Progesteron-3-CMO-HRP; Chromogen: Tetramethylbenzidin; Nachweisgrenze: 0,156 ng/ml; Probe: 5 μ l Magermilch; s. 2.1.1.).

Dreimal pro Woche (Montag, Mittwoch, Freitag) wurden beim Morgenmelken Vollmilchproben (ca. 12 ml) aller Versuchstiere genommen und zunächst bei -20 °C tiefgefroren.

Die folgende Tabelle 3 zeigt die Herstellung der für den EIA benötigten Magermilch.

Tab. 3: Aufbereitung der Milchproben

Arbeitsschritte	Geräte und Material
Milchproben auftauen, Fett emulgieren	40 min im Wasserbad bei 37 °C
Milchproben über Kopf zentrifugieren (Milchfett sammelt sich im Deckel der Röhrchen)	Zentrifuge (4 °C, 15 min, 4500-5000 U/min)
Dekantieren der überstehenden Magermilch in Probengefäße	Tubes (U-Bottom-Bulk), 1,4 ml

Die Analyse des P4-Gehalts in der Magermilch ist in Tabelle 4 beschrieben.

Tab. 4: Nachweis von P4 in Magermilch

Arbeitsschritte	Material und Maßnahme
Mikrotiterplatten auftauen und 2 x waschen	2 x 400 µl Tween80/well
Pipettieren: Standard, Kontrollen, Proben, Marker, Antikörper	je 5 µl/well je 50 µl/well
Ablauf der Immunreaktion	über Nacht im Kühlschrank auf Schüttler inkubieren
Platten abkippen und 5 x waschen	5 x 400 µl Tween80/well
Farbreaktion starten (Substrat A und B 1:1 mischen)	150 µl Substratmischung/well 30 min bei 37 °C im Dunkeln auf Schüttler inkubieren
Farbreaktion stoppen	50 µl 4N H ₂ SO ₄ /well
Messen	photometrisch bei 450 nm

Die Gesamtdauer für die Analyse eines Probensatzes betrug inklusive notwendiger Inkubationszeiten etwa 24 Stunden. Die so ermittelten P4-Daten konnten in zwei Kategorien gruppiert werden: < 0,3 ng/ml Magermilch keine Lutealphase; 0,3 – 2,0 ng/ml Lutealphase (Diöstrus oder Trächtigkeit). Als erste Brunst wurde die Phase unmittelbar vor dem ersten Anstieg von Progesteron von <0,3 ng/ml auf 0,3 - 2,0 ng/ml definiert. Anschließend wurde jeder Abfall von ≥ 0,3 ng/ml auf <0,3 ng/ml mit anschließendem Wiederanstieg auf ≥ 0,3 ng/ml als Brunst gewertet. Die unterste Nachweisgrenze lag bei 0,156 ng/ml.

3.2. β -HBA-Bestimmung aus Vollmilch und Versuchsgruppeneinteilung

β -HBA- Bestimmung: Die Messung des β -HBA-Gehaltes in der Milch erfolgte aus den gleichen Milchproben, die auch für die Progesteronbestimmung verwendet wurden. Es wurden die Milchproben aller Tiere, die im Versuchszeitraum kalbten und sich zwischen Tag 0 und Tag 60 post partum befanden, untersucht. Dazu wurden nach dem unter 3.1. genannten Auftauvorgang und Homogenisierung der Proben durch mehrmaliges Schwenken aus jedem Probengefäß ca. 2 ml Vollmilch in ein Eppendorf-Gefäß abgekippt und direkt im Anschluss mittels eines

Schnelltests (Ketotest, Elanco Animal Health, Greenfield, USA) auf das Vorhandensein von β -HBA untersucht. Gemäß Gebrauchsanweisung wurde ein Teststreifen aus dem Teststreifenbehälter entnommen und 3 s in die Milch gehalten. Anschließend wurde überschüssige Milch durch kurzes Schütteln vom Teststreifen entfernt und nach genau 60 s das Ergebnis abgelesen. Hierfür wurde die Farbe des Testfeldes mit der Farbskala auf dem Teststreifenbehälter verglichen. Als Ergebnis waren Konzentrationen von 0, 50, 100, 200, 500 und 1.000 $\mu\text{mol/l}$ möglich. Bei einem Wert von $\geq 100 \mu\text{mol/l}$ galt der Test als positiv. Der Ketotest sollte laut Herstellerangaben mit frischer Vollmilch durchgeführt werden. Im Hauptversuch war es aus arbeitstechnischen Gründen aber nicht möglich, den Test direkt nach der Milchprobenentnahme durchzuführen. Die Proben eines Morgenmelkens wurden deshalb vom Landwirt in einem Probengestell stehen gelassen bis die Probenzahl vollständig war. Daraus ergaben sich abhängig vom Entnahmezeitpunkt Zeitspannen von 5-90 min, bevor die Milchproben tiefgefroren wurden. Des Weiteren unterschied sich die Dauer, die die Milchproben bis zur gesammelten Auswertung tiefgefroren blieben, abhängig davon, ob die Proben am Versuchsbeginn oder -ende genommen wurden. Die kürzeste Dauer betrug 7 Tage, die längste 195 Tage. Um eine Beeinflussung des Testergebnisses durch das Handling der Milchproben (Standzeit und Einfrieren) auszuschließen, wurde ein Vorversuch mit dem Ketotest durchgeführt: In der Klinik für Wiederkäuer wurden von zehn Tieren mit Ketose und von zehn Tieren ohne Ketose Milchproben genommen. Die Diagnose einer vorhandenen oder fehlenden Ketose erfolgte dabei über die β -HBA-Bestimmung bei der routinemäßigen Eingangsblutuntersuchung. Es wurden von jedem Tier jeweils 6 Milchproben gewonnen: Die erste Milchprobe wurde sofort eingefroren. Bei der zweiten, dritten, vierten, fünften und sechsten Probe erfolgte das Einfrieren nach einer Standzeit von 5, 15, 30, 60 und 120 min. Vor dem Einfrieren wurde jeweils nach mehrmaligen Schwenken der Probengefäße der Ketotest nach Herstellerangaben durchgeführt und das Ergebnis notiert. Die Proben 1-6 wurden anschließend nach 7, 30, 60, 90, 140 und 180 Tagen wieder aufgetaut und erneut nach mehrmaligen Schwenken mittels Ketotest überprüft. Weder die Standzeit noch die Dauer des Gefrorenseins oder das Einfrieren selbst beeinflussten das Ergebnis des Ketotests.

Versuchsgruppeneinteilung: Bereits ab einem einzigen positiven Testergebnis innerhalb der ersten 60 Tage post partum wurde die Kuh als „Ketose-Kuh“ bzw. zur „Ketose-Gruppe“ (Gruppe K) gehörig eingestuft. Es war dabei unerheblich, an wie vielen weiteren Tagen eine erhöhte β -HBA-Konzentration festgestellt werden konnte oder wie stark positiv das Testergebnis ausfiel. Alle Tiere, die innerhalb des genannten Zeitraums in allen Proben negativ getestet wurden, wurden der „gesunden Gruppe“ (Gruppe G) zugeteilt. Bei einzelnen Tieren, die am Ende des Versuchszeitraums aufgrund einer zu kurzen Beprobungszeit noch keiner Gruppe zugeordnet werden konnten, wurden über das Versuchende hinaus Milchproben genommen bis der Tag 60 erreicht war. Die Gruppe der gesunden Tiere G umfasste insgesamt 27 Tiere, wovon sich 11 Tiere in der ersten Laktation und 16 in der dritten oder höheren Laktation befanden. In der Gruppe K befanden sich insgesamt 21 Tiere, davon 7 Erstlaktierende und 14 Tiere in der dritten oder einer höheren Laktation. Dass es in diesem Versuch kein Tier in der 2. Laktation gab, hing mit dem Umstand zusammen, dass diese zu dem Zeitpunkt bereits tragend waren oder trocken standen und somit nicht im Versuchszeitraum abkalbten.

3.3. Bestimmung der Parameter Milchmenge, Kraftfutteraufnahme und Bewegungsaktivität mittels Herdenmanagement-Programm

Unabhängig vom Versuch der Arbeitsgruppe war im Betrieb bereits transpondergestützte Technik von der Firma Westfalia (GEA Group, Düsseldorf) für die automatisierte Überwachung der Milchmenge, Kraftfutteraufnahme und Bewegungsaktivität installiert. Auf dem betriebseigenen Computer befand sich das zugehörige Herdenmanagement-Programm DairyPlan C21 (GEA Group, Düsseldorf).

Milchmenge: Die Milchmenge wurde beim Morgen- und Abendmelken automatisiert gemessen und unter der entsprechenden Kuhnummer ins Herdenmanagement-Programm übertragen und gespeichert.

Kraftfutteraufnahme: Die Kraftfutterzuteilung erfolgte automatisiert. Die der einzelnen Kuh täglich zur Verfügung stehende Kraftfuttermenge konnte entweder durch den Landwirt oder anhand der Milchleistung automatisch festgelegt werden. Die Kühe konnten die individuell verfügbare Menge mittels Transponder

an zwei im Stall installierten Kraftfutter-Stationen abrufen. In das Herdenmanagement-Programm wurden dann jeweils die angebotene und am Ende des Tages abgerufene Menge an Kraftfutter bzw. der Rest in % übertragen.

Bewegungsaktivität: Neben der visuellen Brunstbeobachtung wurde bereits vor Versuchsbeginn im Versuchsbetrieb die Aktivitätsmessung als Hilfsmittel zur besseren Brunsterkennung herangezogen. Verwendet wurden sogenannte Aktiometer (s. 2.4.), die sich am tiefsten Punkt des Halsbands der Tiere befanden und die im Laufen stattfindende Kopf-Hals-Bewegung registrierten. Die Daten wurden dann auf den Respondern als 2h-Werte gespeichert und beim Aufsuchen der Kraftfutterbox oder des Melkstands über die dort befindlichen Empfängermodule ausgelesen und in das Herden-Management-Programm übertragen.

Über eine Einstellung in diesem Programm wurde täglich zur gleichen Uhrzeit (23.59 Uhr) automatisch eine Liste mit den Parametern „Tagesmilchmenge“, „Menge des gefressenen und angebotenen Kraftfutters“ und „Bewegungsaktivität je 2h“ für jede Kuh der Versuchsgruppe erstellt und gespeichert. Die Listen mussten zur weiteren Auswertung lediglich in eine Excel-Tabelle übertragen werden.

3.4. Bestimmung der Bewegungsaktivität mittels Tracking-Methode

Die Bewegungsaktivität der Kühe wurde in diesem Versuch des Weiteren über ein in einem Vorgängerprojekt entwickeltes System ermittelt. Das System bestand aus speziellen Kameras, Tier-Markierungen, einer gesonderten Nachtbeleuchtung und notwendiger Hard- und Software (s. 2.2 bis 2.6.1.). Als Methode wurde das sogenannte „Maschinelle Sehen“ verwendet, bei dem Objekte (Kühe) mittels spezieller Markierungen (2D-Marker) (s. 2.7.) in Bildern detektiert und deren Eigenschaften (Ort-Zeit-Koordinaten) erkannt werden (Dietrich, 2012).

3.4.1. Bildaufzeichnung und -verarbeitung

Für die Bildaufzeichnung wurden 12 GigE-Monochrom-Industriekameras (s. 2.2.) im Stall verbaut. Sie wurden an speziell gefertigten Aluschienen in etwa 4 m Höhe über den beiden Laufgängen des Laufstalls installiert, sodass jede von ihnen jeweils eine „Zone“ von etwa 5x5m abdeckte und der Laufgang im Focus stand.

Die Kameras waren über Netzkabel und Switches mit dem Datenauswertenden Computer im Stall-Büro verbunden. Im 2,5-Sekunden-Takt wurden Bilder von den Kameras aufgenommen, an den Computer weitergeleitet, gespeichert und über ein zugehöriges Programm (s. 2.6.1.) auf das Vorkommen von Markern untersucht. Bei einem „Treffer“ wurden sowohl die Marker-Nummer, als auch die zugehörigen Ort-Zeit-Koordinaten gespeichert. Über ein Software-Programm (s. 2.6.1.) wurden dann mittels dieser Daten die Wechsel der Kuh von Kamera-Zone zu Kamera-Zone, die sogenannten Zonensprünge, berechnet und als Stundenwerte gespeichert.

3.4.2. 2D-Matrixcode-Marker

Damit die Tiere auf den Kamerabildern erkannt werden konnten, mussten sie mit einem Marker gekennzeichnet werden. Verwendet wurden dazu 12x12 cm große 2D-Matrixcodes, die aus schwarzen Quadraten auf weißer Fläche bestanden. Abhängig von der Anordnung der schwarzen Quadrate kodierten sie für eine bestimmte Zahl. Die auf selbsthaftende Folie aufgedruckten Codes wurden auf eine 8-eckige Markerbasis aus PVC-beschichtetem Gewebe geklebt und der so entstandene Marker mittels Rollladengurt und Kabelbindern am Halsband der Tiere angebracht. Bei der Befestigung der Marker am Halsband war es wichtig, dass dieser mittig auf dem Hals der Tiere zu liegen kam, damit die Erkennung durch die darüber hängenden Kameras möglichst optimal stattfinden konnte (s. Abb. 5). Zu diesem Zweck wurde zusätzlich zum Marker ein kleines Gegengewicht von 500 g (Wahl GmbH, Dietmannsried) unten am Halsband befestigt, das den Marker oben in seiner Position halten sollte. Jeder 2D-Matrixcode codierte für eine Nummer von 1-150, die jeweils einer Versuchskuh zugeordnet wurde.



Abb. 5: Korrekt angebrachter Marker: *Mittig auf dem Nacken der Kuh liegend, ausgependelt durch ein Gegengewicht unten am Halsband.*

3.4.3. Beleuchtung bei Nacht

Tagsüber waren die Lichtverhältnisse auch ohne künstliche Beleuchtung stets ausreichend für eine gute Erkennung der Marker durch die Kameras. Erst am Abend gegen 20.30 Uhr sank der Lux-Wert, trotz eines kleinen Nachtlichts, das der Orientierung der Tiere im Stall dienen sollte, unter die in einem Vorversuch ermittelten 5 Lux, die für eine gute Markererkennung nötig waren. Damit das Tracking auch nachts erfolgen konnte, wurden drei 60-W-Infrarot-Strahler (Synergy21 IR-Strahler Outdoor 60 W; Synergy21, Germering, Deutschland) an der Decke des Stalls angebracht. Mit einem Abstrahlwinkel von 160° und einer Reichweite von bis zu 80m konnte so der gesamte überwachte Stallbereich auch bei Nacht optimal ausgeleuchtet werden. Die Infrarotstrahler wurden jeden Abend zu Beginn des Melkens gegen 17 Uhr zusammen mit dem Nachtlicht über einen Lichtschalter vom Landwirt eingeschaltet.

3.4.4. Messung der Bewegungsaktivität

Durch die Anordnung der 12 GigE-Monochrom-Industriekameras wurde der gesamte überwachte Stallbereich in 12 gleichgroße „Zonen“ von etwa 5x5 m eingeteilt. Immer, wenn in einer Zone ein Marker erkannt wurde, wurden Ort und Zeitpunkt der Erkennung in einer Datenbank gespeichert (s.2.6.1.). Ein Analyse-Programm (s. 2.6.1.) ermittelte anhand dieser Ort-Zeit-Koordinaten, wie oft eine markierte Kuh sich zwischen den zwölf Zonen bewegt hat. Der Wechsel von einer Zone in eine benachbarte erhielt den Wert 1. Ein Wert von 10 bedeutet also, dass die Kuh in einem betrachteten Zeitraum 10 „Zonenwechsel“ vollzogen hat. Die so gewonnenen Trackingdaten wurden als Stundenwerte gespeichert und für

weitere Auswertungen in eine Exceltabelle übertragen. Um Aktivitätsveränderungen als Hinweis auf eine Brunst erkennen zu können, wurden diese 24-Stunden-Werte zu einem Tageswert aufsummiert.

4. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft Inc., USA).

4.1. Brunsterkennung

Im Versuchszeitraum 23.03.-27.09.2015 wurden bei 53 Tieren 173 Brunsten und 149 Diöstren bzw. Trächtigkeiten bis Tag 28 mittels Progesteronprofilen nachgewiesen.

Zur Darstellung der Häufigkeitsverteilung von mittlerer Tagesaktivität und mittlerer Aktivitätsänderung bei östrischen und nicht-östrischen Tieren wurden Boxplots (R Development Core Team, 2016) verwendet.

Für die Brunsterkennung wurde von den Tagesaktivitäten jeder Kuh der gleitende Mittelwert der letzten 10 Tage ermittelt. Ein Anstieg der Tagesaktivität über einen bestimmten Prozentsatz wurde als Brunst gewertet. Als Grenzwerte wurden Aktivitätssteigerungen von 35, 40, 45, 50-75 (in Einzelschritten), 100, 150, 200 und 250 % gegenüber dem gleitenden Mittelwert der letzten 10 Tage getestet.

Zur Bestimmung der Sensitivität wurde berechnet, wie viele der 173 stattgefundenen Brunsten bei Verwendung der einzelnen Aktivitätssteigerungsgrenzwerte erkannt wurden. Für die Berechnung der Spezifität wurden die mittels Progesteronprofil nachgewiesenen Diöstren und Trächtigkeiten in den ersten 28 Tagen (TU28) herangezogen. Wurde während eines Diöstrus bzw. TU28 der zu untersuchende Grenzwert überschritten, wurde dies als eine falsch positive Meldung betrachtet, unabhängig davon wie oft eine Überschreitung in diesem Zeitraum stattfand.

Die größte Summe aus Sensitivität und Spezifität ($SENS + SPEZ = MAX$) charakterisierte den rein rechnerisch geeignetsten Aktivitätsgrenzwert für das

jeweilige Brunsterkennungssystem.

Für die Beurteilung der Empfindlichkeit der Aktivitätsmessung durch die beiden Brunsterkennungssysteme wurden für die untersuchten Grenzwerte jeweils Sensitivität und Spezifität gegeneinander aufgetragen und eine „Receiver Operating Characteristic“ (ROC)-Kurve erstellt, sowie die „Area under the curve“ (AUC) berechnet.

4.2. Stoffwechselüberwachung

Zum Vergleich der Gruppen G und K hinsichtlich der Parameter Milchmenge, Kraftfutteraufnahme und Bewegungsaktivität durch Aktiometer erfolgte eine Gegenüberstellung der jeweiligen Mittelwerte an den Tagen in Milch (days in milk; DIM) 4-70. Dies erfolgte sowohl unabhängig als auch abhängig von der Laktationsnummer. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen wurden mittels eines Mann-Whitney-U-Tests ermittelt. Als statistisch signifikant wurden Ergebnisse mit $p < 0,05$ gewertet.

Um Ketose-krankte bzw. gefährdete Tiere (Gruppe K) frühzeitig anhand ihres Aktivitätsverhaltens erkennen zu können, wurde der Zeitraum DIM 6-12 betrachtet. Als Vergleichsgruppe wurde die Gesamtherde (inkl. Tiere der Gruppe K und G) herangezogen, die alle laktierenden Tiere, deren Responder beim Melken ausgelesen werden konnte, umfasste. Es wurde für jeden Versuchstag der Herdenmittelwert der Aktivität berechnet und am entsprechenden DIM dem Aktivitätswert der einzelnen Kühe (sowohl den kranken als auch den gesunden als Kontrolle) gegenübergestellt. Abhängig vom Aktivitätsverlauf des Einzeltiers bezogen auf den Verlauf des Herdenmittelwerts konnten die Tiere der Gruppen K und G in 2 Untergruppen eingeteilt werden: 1. Gruppe: Aktivität des Einzeltiers verläuft im Zeitraum DIM 6-12 mindestens 1x über dem Mittelwert der Tagesherdenaktivität; 2. Gruppe: Aktivität des Einzeltiers verläuft im Zeitraum DIM 6-12 stets unter dem Mittelwert der Tagesherdenaktivität. Die Berechnung eines statistisch signifikanten Zusammenhangs zwischen der Zugehörigkeit der Ketose-Tiere (K) und gesunden Tieren (G) zu einer der zwei Gruppen erfolgte mittels Chi-Quadrat-Test (R Development Core Team, 2016).

IV. ERGEBNISSE

1. Brunsterkennung

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit war es, die Zuverlässigkeit und Praktikabilität der sogenannten Tracking-Methode und eines handelsüblichen Aktiometers zur automatisierten Brunsterkennung im Vergleich zu testen. Die Tracking-Methode wurde in einem Vorläuferprojekt der Arbeitsgruppe etabliert, ist jedoch bisher nicht käuflich zu erwerben. Sie zeigte sich im Vorläuferprojekt geeignet, die Brunst einer Kuh anhand einer Aktivitätssteigerung zu erkennen. Der Unterschied zu anderen Aktivitätsmessern liegt darin, dass mit diesem optischen System über Kameras tatsächliche Ortswechsel der Tiere registriert werden können. Als Unterschied zur bereits etablierten Methode wurden in diesem Projekt noch höher auflösende Kameras (s. Material und Methoden 2.2.) verwendet, sodass die Markergröße bei gleichbleibend guter Erkennung von 17x17cm auf 12x12cm verkleinert werden konnte.

1.1. Einsatz der Tracking-Methode zur Brunsterkennung

1.1.1. Quantifizierung der Bewegungsaktivität durch die Tracking-Methode

In diesem Versuch konnte gezeigt werden, dass sich durch die Methode des Trackings eine Aktivitätserhöhung zur Brunst nachweisen lässt. Im Wilcoxon-Test konnte ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) zwischen der mittleren Bewegungsaktivität von Tieren der Gruppe „Brunst“ und denen der Gruppe „keine Brunst“ (inkl. frühes Stadium der Trächtigkeit (<28 Tage)) gezeigt werden. Der Median der mittleren Tagesaktivität bei den östrischen Tieren ($n=53$) lag bei 87,5, bei den nichtöstrischen ($n=53$) bei 37,9 Zonensprünge/Tag (Abb. 6).

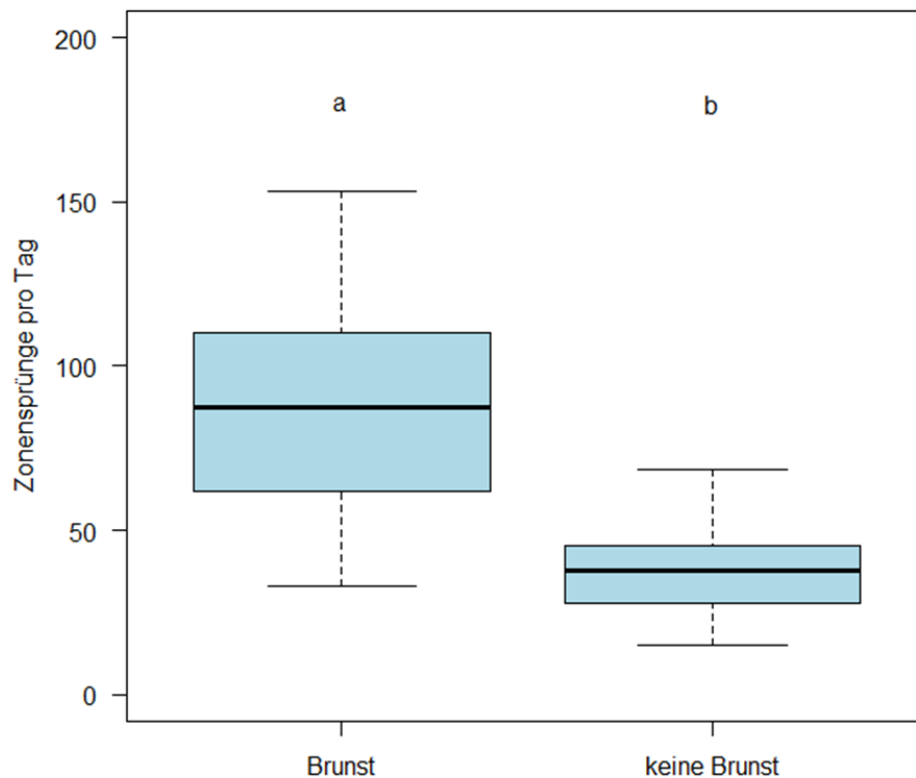


Abb. 6: Mittlere Tagesaktivität ermittelt mittels Tracking-Methode bei Tieren in der Gruppe „Brunst“ und „keine Brunst“ (inkl. frühe Trächtigkeit) (n=53). Die Anzahl der detektierten Wechsel von Beobachtungszonen eines Tieres im Stall dient als Maß für die Bewegungsaktivität. *ab=signifikant unterschiedlich ($p < 0,001$).* Tiere der Gruppe „Brunst“: Median=87,5; Minimum=33,0; Maximum=153,3; 1. Quartil=62,0; 3. Quartil=110,0; Interquartile Range=48; Ausreißer=keine / Tiere der Gruppe „keine Brunst“: Median=37,9; Minimum=14,8; Maximum=68,7; 1. Quartil=28,0; 3. Quartil=45,4; Interquartile Range=17,4; Ausreißer=keine

Auch die mittlere Aktivitätsänderung zum gleitenden Mittelwert der letzten 10 Tage unterschied sich signifikant zwischen östrischen und nichtöstrischen Tieren ($p < 0,001$). Bei den Tieren, die sich in der Brunst befanden, lag der Median bei 111,6%, bei Tieren in Diöstrus oder früher Trächtigkeit bei -3,95% (Abb. 7).

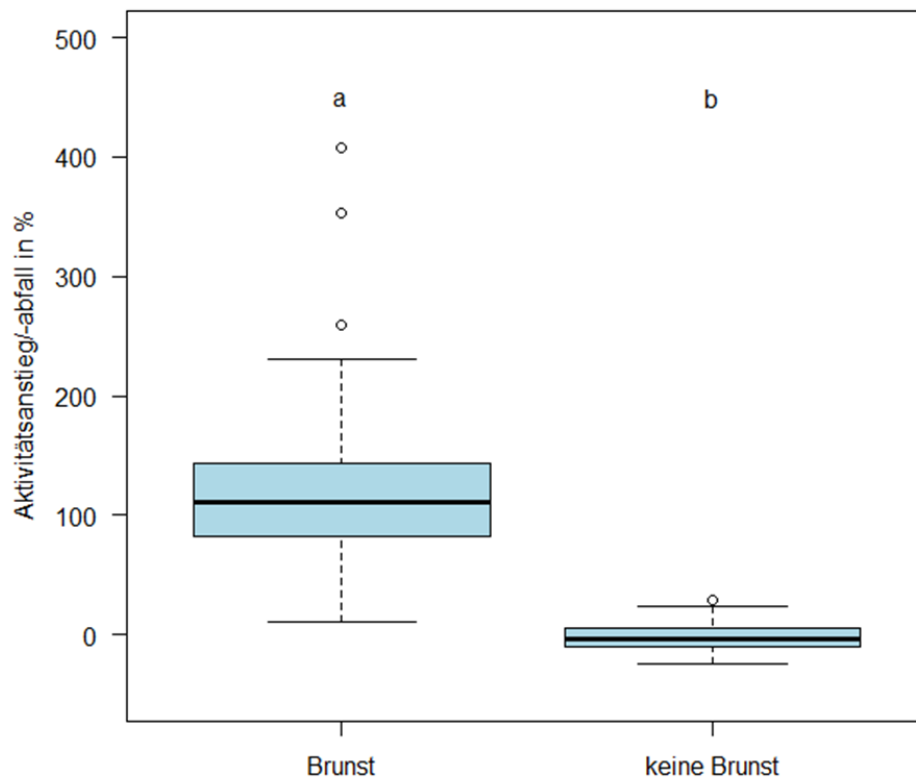


Abb. 7: Mittlere Aktivitätsänderung ermittelt mittels Tracking-Methode bei Tieren der Gruppe „Brunst“ und „keine Brunst“ (inkl. frühe Trächtigkeit) (n=53). Der relative Anstieg der Anzahl der Zonenwechsel eines Tieres im Stall im Vergleich zum gleitenden Mittelwert der letzten 10 Tage ist das Maß für die Aktivitätsänderung in %. ab=signifikant unterschiedlich ($p < 0,001$). Tiere der Gruppe „Brunst“: Median=111,6; Minimum=10,4; Maximum=231,0; 1. Quartil=82,3; 3. Quartil=142,9; Interquartile Range=60,6; Ausreißer=260,0, 407,7, 352,8 / Tiere der Gruppe „keine Brunst“: Median=-3,95; Minimum=-24,8; Maximum=23,2; 1. Quartil=-9,6; 3. Quartil=5,0; Interquartile Range=14,6; Ausreißer=29,5, 29,3

1.1.2. Brunsterkennungsraten bei verschiedenen Aktivitätssteigerungsgrenzwerten

Bei 53 Tieren wurden im gesamten Versuchszeitraum vom 23.03.15 bis 27.09.15 insgesamt 173 Brunsten anhand von P4-Verläufen in der Magermilch nachgewiesen. Tabelle 5 zeigt die Werte für Sensitivität und Spezifität bei Verwendung von unterschiedlichen Aktivitätssteigerungsgrenzwerten bei der Trackingmethode.

Der nach der Formel $SENS + SPEZ = MAX$ als rein mathematisch optimal ermittelter Aktivitätsgrenzwert lag bei einer Aktivitätssteigerung von 100%. Die Sensitivität betrug dabei 50,3%, die Spezifität 77,2%. Als bester praktisch anwendbarer Aktivitätssteigerungsgrenzwert (Erläuterung s. Diskussion 1.1.) wurde eine Aktivitätssteigerung von 56% mit einer Sensitivität von 80,3% und einer Spezifität von 45,6% für die Tracking-Methode ermittelt (Tab. 5).

Tab. 5: Gegenüberstellung von Sensitivität und Spezifität zu den verschiedenen Aktivitätssteigerungsgrenzwerten bei der Tracking-Methode.

Aktivitätssteigerungsgrenzwert (%)	Sensitivität (SENS) (%)	Spezifität (SPEZ) (%)
35	93,6	20,1
40	90,8	26,8
45	88,4	32,2
50	84,4	36,9
51	83,8	38,3
52	83,8	38,3
53	82,7	39,6
54	82,1	40,3
55	80,3	41,6
56	80,3	45,6
57	78,6	46,3
58	78,0	47,0
59	76,9	48,3
60	76,3	49,7
61	74,6	50,3
62	73,4	51,0
63	72,8	51,0
64	71,7	51,0
65	70,5	51,0
66	69,4	52,3
67	69,4	52,3
68	68,8	52,3
69	68,8	53,7
70	68,2	55,0
71	68,2	55,7
72	67,1	57,7
73	67,1	58,4
74	67,1	59,1
75	65,3	59,1
100	50,3	77,2
150	28,9	93,3
200	20,8	96,0
250	9,8	96,6

Der Grenzwert entspricht der Aktivitätssteigerung in der Brunst in %. Die Steigerung bezieht sich auf den gleitenden Mittelwert der Aktivität der letzten 10 Tage. Bester rein mathematisch ermittelter Aktivitätssteigerungsgrenzwert (fett gedruckt schwarz): 100 mit SENS=50,3 und SPEZ=77,2; bester praktisch anwendbarer Aktivitätssteigerungsgrenzwert (fettgedruckt blau): 56 mit SENS=80,3 und SPEZ=45,6

1.1.3. Empfindlichkeit der Aktivitätsmessung mittels Tracking-Methode

Für die Beurteilung der Qualität der Tracking-Methode zur Brunsterkennung wurde eine ROC-Kurve erstellt und die „Area under the curve (AUC)“ berechnet. Diese kann maximal 1 betragen. Je höher der Wert ist, desto besser ist die Diskriminierungsfähigkeit des untersuchten Parameters. Die AUC der Tracking-Methode wurde anschließend mit der des Aktimeters verglichen, um die qualitativ bessere Methode zu ermitteln (s. 1.3.).

Abbildung 8 zeigt das Verhältnis von Sensitivität und 1-Spezifität (ROC - Kurve) für die Aktivitätssteigerungsgrenzwerte 35, 40, 45, 50 – 75 (in Einzelschritten), 100, 150, 200 und 250. Die Fläche unter der Kurve AUC beträgt 0,691.

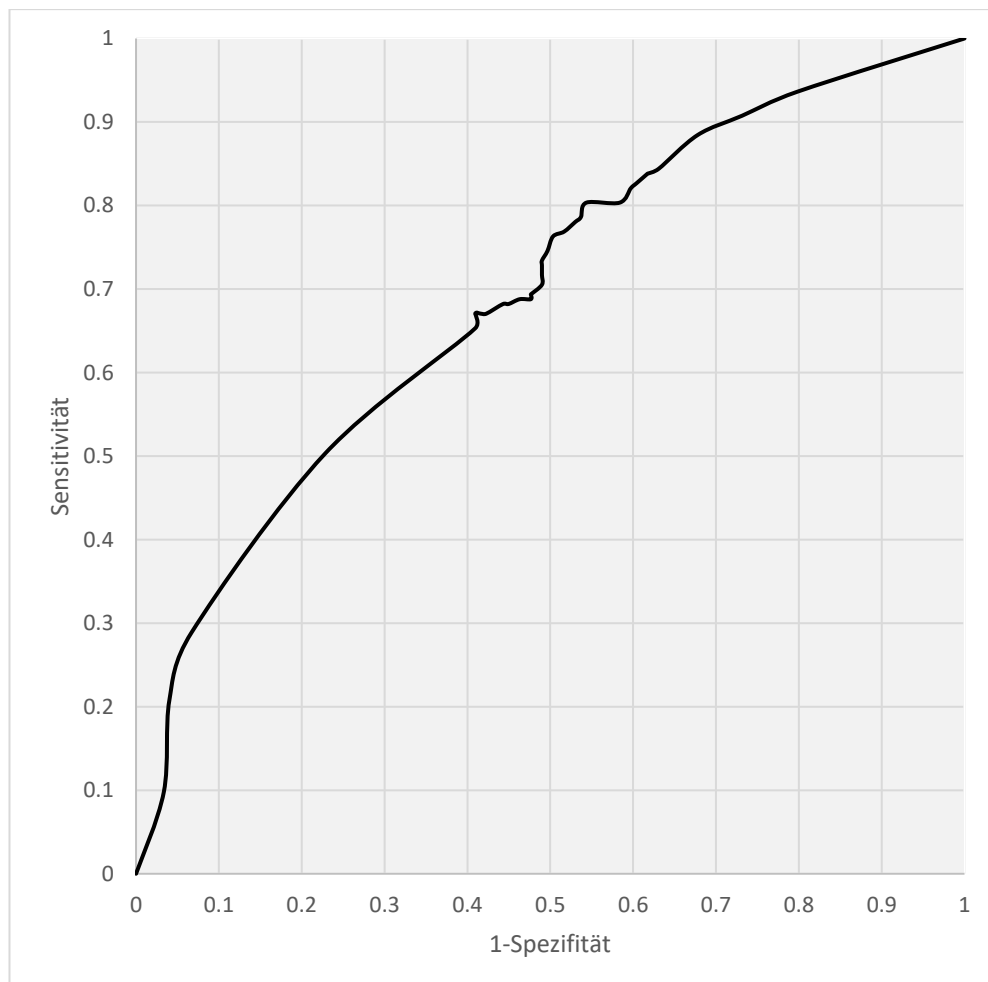


Abb. 8: ROC-Kurve für die Erfassung der Brunsten mittels Tracking-Methode. Dargestellt ist das Verhältnis zwischen Sensitivität und 1-Spezifität, bezogen auf die prozentuale Erhöhung der Bewegungsaktivität um 35, 40, 45, 50-75 (in Einzelschritten), 100, 150, 200 und 250 % gegenüber dem gleitenden Mittelwert der 10 Vortage. Area under the curve (AUC): 0,691

1.1.4. Praxistauglichkeit der Tracking-Methode

Neben der Zuverlässigkeit sollte in dieser Arbeit auch der Aspekt der Praktikabilität der Tracking-Methode untersucht werden.

Markeranbringung und Zeitaufwand

Während des Versuchszeitraums von 23.03.2015 bis 27.09.2015 wurden 74 Tiere mit Markern ausgestattet. Für das Anbringen der Marker war es nötig, die Tiere im Fangfressgitter mit dem Kopf zu fixieren. Ausgehend davon, dass die Kuh bereits fixiert und mit einem Gegengewicht-tragenden Halsband ausgestattet worden war, wurden nach einiger Übung für das alleinige Befestigen des Markers in Abhängigkeit von den Abwehrbewegungen des Tieres rund 5 min benötigt. Die Schwierigkeit lag darin, den Marker so am Halsband zu fixieren, dass er unabhängig von der Halsform mittig oben zu liegen kam (Abb. 9). Ein schlanker und nach oben spitz zulaufender Hals erschwerte das Vorgehen. Bis zum Versuchsende mussten 258 Marker gewechselt werden, da eine gute Erkennung sonst nicht mehr möglich gewesen wäre. Ausgehend von einer Befestigungszeit von 10 min bei Erstanbringung und von 5 min für jeden folgenden Markerwechsel (Tab. 6) ergaben sich rund 33 h 50 min Arbeitszeit für die Markerbefestigung im gesamten Versuchszeitraum (Tab. 7). Das Aufsuchen und die Fixierung der Tiere waren hier zeitlich nicht inkludiert.

Tab. 6: Arbeitsschritte und durchschnittlicher Zeitaufwand für die Markerbefestigung

Arbeitsschritt	benötigte Zeit	Bemerkung
Fixation der Kuh im Fressgitter	1 – 30 min	
Anlegen des Halsbandes mit Gegengewicht	1 – 2 min	nur bei 1. Anbringung
Ausstanzen von Löchern im Halsband für die Befestigung des Markers	3 min	nur bei 1. Anbringung
Individuelle Befestigung des Markers mit Kabelbindern	2 – 10 min	



Abb. 9: Korrekt angebrachter Marker. Der Marker liegt mittig oben auf dem Hals; das Gegengewicht (blau) unten hält den Marker in Position.

Tab. 7: Gesamt-Arbeitszeit für Anbringung und Wechsel der Marker im Versuchszeitraum

Tätigkeit	Arbeitszeit	Gesamtzahl	Gesamt-Arbeitszeit
Erst-Anbringung von Halsband und Marker	10 min/Tier	74 Tiere	740 min
Marker-Wechsel	5 min/Tier	258 Marker	1290 min
Gesamt:			2030 min = 33 h 50 min bzw. = 27,4 min/Tier

Marker-Haltbarkeit und Wechselgründe

Im Median konnte ein Marker 35 Tage am Tier belassen werden, bevor er wegen in Tabelle 8 und Abbildungen 11 bis 14 dargestellter Gründe gewechselt werden musste. Die kürzeste Haltbarkeitsdauer betrug 1 Tag, die längste 87 Tage (Abb. 10). Je Tier wurden im Durchschnitt 3,5 Marker benötigt.

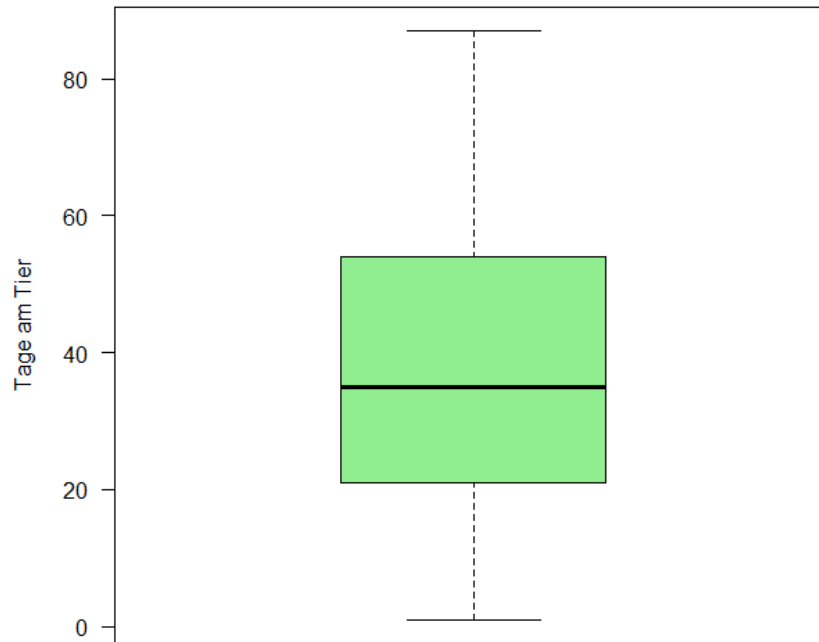


Abb. 10: Verbleib der Marker am Tier in Tagen. Minimum: 1 Tag; 1. Quartil: 21 Tage; Median: 35 Tage; 3. Quartil: 54 Tage; Maximum: 87 Tage

Tab. 8: Gründe für Markerwechsel und prozentualer Anteil an allen Wechseln

Grund für Markerwechsel	Anteil an allen Wechseln (%)
Marker verblasst/abgenutzt/verbogen	76
teilweises Ablösen der selbstklebenden Folie	17
totaler Verlust der selbstklebenden Folie	4
totaler Markerverlust	3

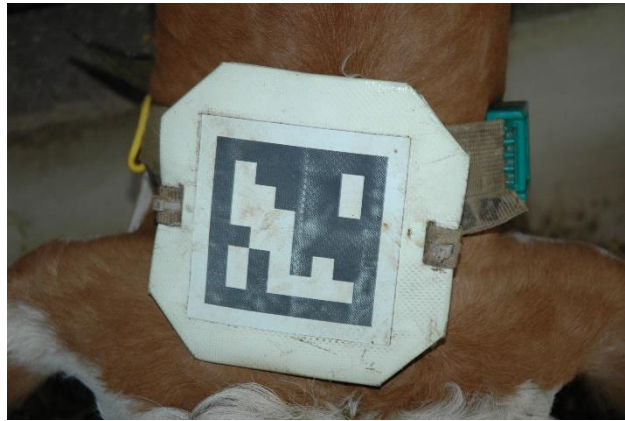


Abb. 11: Verblasster/abgenutzter Marker



Abb. 12: Beginnende Ablösung der selbstklebenden Marker-Folie von der Unterlage an den Ecken



Abb. 13: Vollständige Ablösung der selbstklebenden Marker-Folie von der Unterlage mit Verschiebung



Abb. 14: Einseitiges Ausreißen der Markerfixierung am Halsband

Gründe für eine mangelhafte oder gar fehlende Markererkennung

Diese ergab sich durch die teils erhebliche Verschmutzung durch Kot, Staub, Futter und Fliegenkot sowie das Verdrehen der Marker um die eigene Achse bei besonders aktiven (z. T. brünstigen) Tieren (Abb. 15 und 16). Für eine konstant gute Markererkennung wurden im Abstand von zwei Tagen alle Marker mit einem feuchten Tuch gereinigt. Bei einer veranschlagten Reinigungszeit von rund 30 min pro Woche ergab sich auf den gesamten Versuchszeitraum von 27 Wochen eine Arbeitszeit von 13,5 h. Verdrehte Marker wurden bei zufälliger Feststellung oder aufgrund einer fehlenden Erkennung schnellstmöglich in die richtige Position gebracht. Im gesamten Versuchszeitraum kam eine komplette Verdrehung des Markers um die eigene Achse in insgesamt 14 Fällen vor. Davon befanden sich retrospektiv 5 Tiere im brunstnahen Zeitraum.



Abb. 15: Stark Kot-verschmutzter Marker



Abb. 16: Um die eigene Achse verdrehter Marker

1.2. Einsatz des Aktimeters zur Brunsterkennung

Neben der Tracking-Methode wurde zur Brunsterkennung die bereits vor Versuchsbeginn im Betrieb genutzte Aktivitätsmessung durch Aktimeter herangezogen. Anders als bei der Tracking-Methode wird bei diesem die Körperbewegung (insbesondere die des Halses) an sich erfasst, unabhängig davon, ob sich das Tier auf der Stelle bewegt oder läuft.

1.2.1. Quantifizierung der Bewegungsaktivität durch das Aktiometer

Auch bei Verwendung der Aktiometer konnte ein statistisch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) zwischen der mittleren Tagesaktivität von Tieren der Gruppe „Brunst“ und von denen der Gruppe „keine Brunst“ (inkl. der frühen Trächtigkeit (< 28 Tage)) ermittelt werden. Der Median der mittleren Tagesaktivität bei den östrischen Tieren ($n=53$) lag bei 435,7, bei den nichtöstrischen ($n=53$) bei 196,9 (Abb. 17).

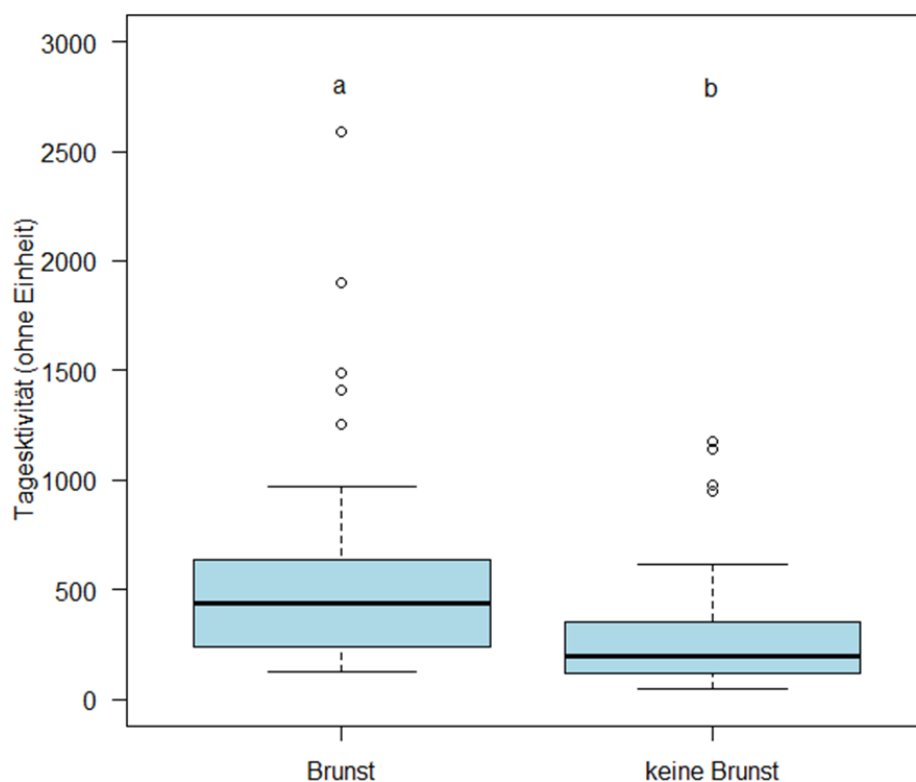


Abb. 17: Mittlere Tagesaktivität ermittelt mittels Aktiometer bei Tieren der Gruppe „Brunst“ und der Gruppe „keine Brunst“ (inkl. frühe Trächtigkeit) ($n=53$). Die mittels Aktiometer registrierte Körperbewegung dient als Maß für die Bewegungsaktivität. ab=signifikant unterschiedlich ($p < 0,001$). Tiere der Gruppe „Brunst“: Median=435,7; Minimum=127,6; Maximum=967,0; 1. Quartil=241,6; 3. Quartil=639,7; Interquartile Range=398,1; Ausreißer=2588,8, 1899,2, 1489,6, 1414, 1254,4 / Tiere der Gruppe „keine Brunst“: Median=196,9; Minimum=43,9; Maximum=613,0; 1. Quartil=115,4; 3. Quartil=354,8; Interquartile Range=239,4; Ausreißer=1179,3, 1140,5, 979,7, 949,2

Die mittlere Aktivitätsänderung zum gleitenden Mittelwert der letzten 10 Tage unterschied sich signifikant zwischen östrischen und nichtöstrischen Tieren ($p < 0,001$). Bei den Tieren, die sich in der Brunst befanden, lag der Median der Aktivitätsänderung bei 121,8 %, bei Tieren der Gruppe „keine Brunst“ (inkl. frühe Trächtigkeit (<28 Tage)) bei -4,1 % (Abb. 18).

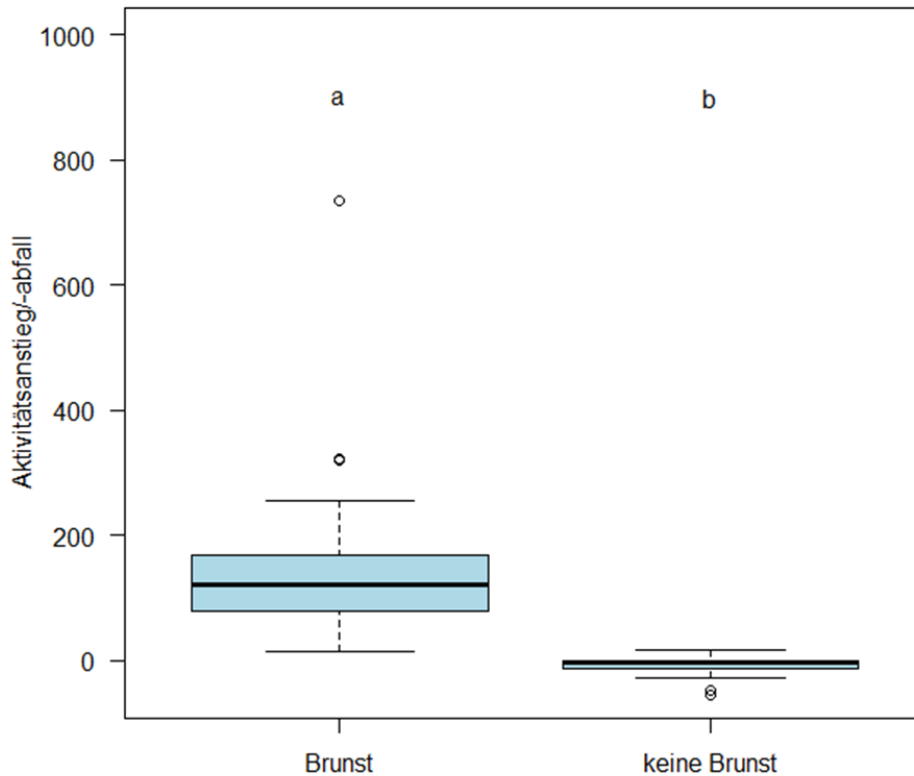


Abb. 18: Mittlere Aktivitätsänderung ermittelt mittels Aktiometer bei Tieren der Gruppe „Brunst“ und der Gruppe „keine Brunst“ (inkl. frühe Trächtigkeit) (n=53). Der relative Anstieg der Bewegungsaktivität eines Tieres im Vergleich zum gleitenden Mittelwert der letzten 10 Tage ist das Maß für die Aktivitätsänderung in %. ab=signifikant unterschiedlich ($p < 0,001$). Tiere der Gruppe „Brunst“: Median=121,8; Minimum=14,2; Maximum=254,8; 1. Quartil=78,0; 3. Quartil=167,7; Interquartile Range=89,7; Ausreißer=321,9, 318,5, 734,3 / Tiere der Gruppe „keine Brunst“: Median=-4,1; Minimum=-28,0; Maximum=16,5; 1. Quartil=-12,8; 3. Quartil=-0,10; Interquartile Range=12,7; Ausreißer=-56,8, -47,2

1.2.2. Brunsterkennungsraten bei verschiedenen Aktivitätssteigerungsgrenzwerten

Bei 53 Tieren wurden im gesamten Versuchszeitraum vom 23.03.2015 bis 27.09.2015 insgesamt 173 Brunsten anhand von P4-Verläufen in der Magermilch nachgewiesen. Tabelle 9 zeigt die Werte für Sensitivität und Spezifität bei Verwendung von unterschiedlichen Aktivitätssteigerungsgrenzwerten bei Verwendung des Aktiometers.

Nach der Formel $SENS + SPEZ = MAX$ erwies sich für das Aktiometer-System in diesem Betrieb rein mathematisch ein Grenzwert von 51% Aktivitätssteigerung mit einer Sensitivität von 84,4 % und einer Spezifität von 66,4 % als optimal. Als bester praktisch anwendbarer Aktivitätssteigerungsgrenzwert (Erläuterung s. Diskussion 1.1.) wurde der gleiche Wert ermittelt (Tab. 9).

Tab. 9: Gegenüberstellung von Sensitivität und Spezifität zu den verschiedenen Aktivitätssteigerungsgrenzwerten bei Aktiometer-Anwendung.

Aktivitätssteigerungsgrenzwert (%)	Sensitivität (SENS) (%)	Spezifität (SPEZ) (%)
35	86,1	42,3
40	84,4	47,4
45	84,4	55,0
50	84,4	65,8
51	84,4	66,4
52	81,5	67,1
53	79,8	69,1
54	78,6	70,5
55	76,9	71,1
56	75,7	71,1
57	75,1	71,8
58	74,0	72,5
59	73,4	73,2
60	71,7	73,2
61	71,7	73,2
62	71,1	73,8
63	69,4	75,2
64	68,8	75,2
65	65,9	75,2
66	65,3	75,2
67	62,4	76,5
68	62,4	77,2
69	62,4	77,9
70	62,4	77,9
71	62,4	77,9
72	61,3	78,5
73	60,1	79,9
74	60,1	79,9
75	60,1	80,5
100	51,4	87,2
150	35,3	93,3
200	19,1	97,3
250	12,7	99,3

Der Grenzwert entspricht der Aktivitätssteigerung in der Brunst in %. Die Steigerung bezieht sich auf den gleitenden Mittelwert der Aktivität der letzten 10 Tage. Bester rein mathematisch ermittelter Aktivitätssteigerungsgrenzwert (fettgedruckt): 51 mit SENS=84,4% und SPEZ=66,4%; bester praktisch anwendbarer Aktivitätssteigerungsgrenzwert: ebenfalls 51 (= rechnerisch bester Wert)

1.2.3. Empfindlichkeit der Aktivitätsmessung durch Aktiometer

Für die Beurteilung der Qualität des Aktiometers zur Brunsterkennung wurde analog zur Tracking-Methode eine ROC-Kurve erstellt und die AUC berechnet. Diese kann maximal 1 betragen. Je höher der Wert ist, desto besser ist die Diskriminierungsfähigkeit des untersuchten Parameters. Die AUC des Aktiometers, wurde anschließend mit der Tracking-Methode verglichen, um die qualitativ bessere Methode zu ermitteln (s. 1.3.).

Abbildung 19 zeigt das Verhältnis von Sensitivität und 1-Spezifität für die Aktivitätssteigerungsgrenzwerte 35, 40, 45, 50-75 (in Einzelschritten), 100, 150, 200 und 250 bei der Aktivitätsmessung mittels Aktiometer. Die Fläche unter der Kurve (AUC) beträgt 0,776.

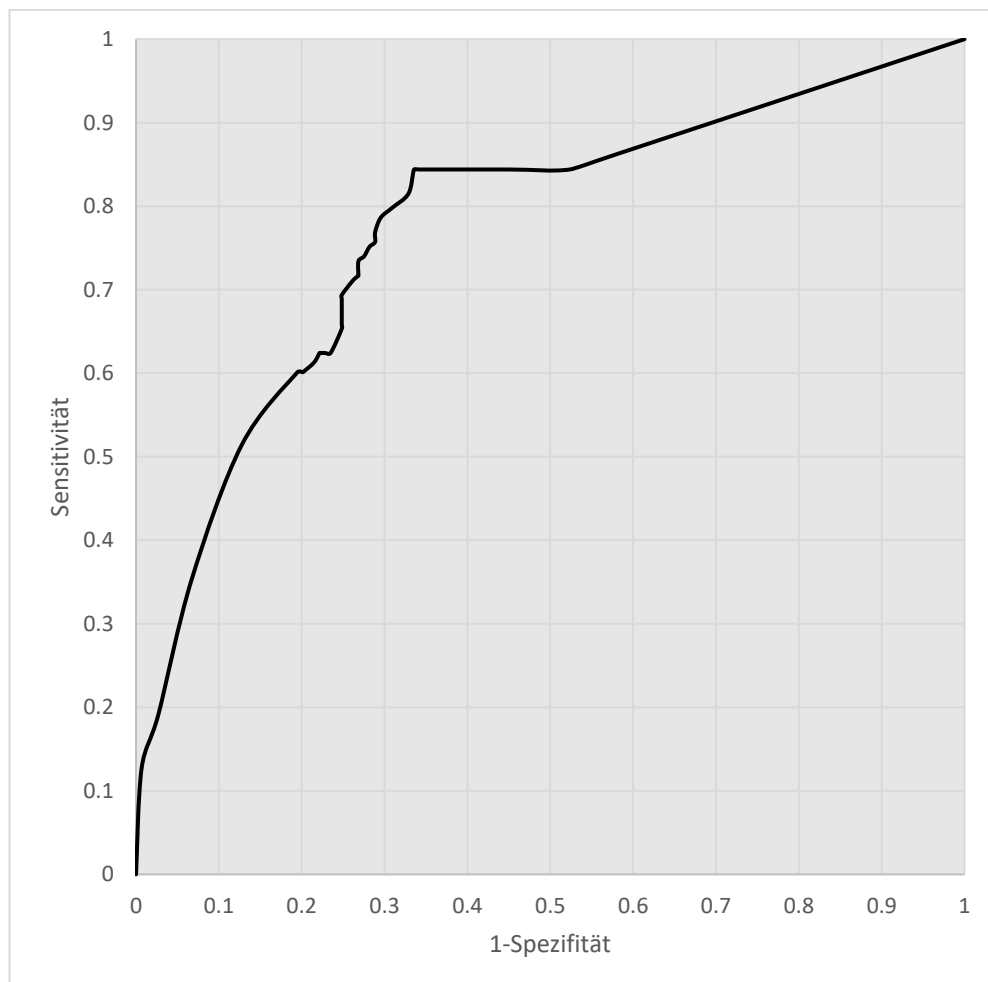


Abb. 19: ROC-Kurve für die Erfassung der Brunsten durch Aktiometer. Dargestellt ist das Verhältnis zwischen Sensitivität und 1-Spezifität, bezogen auf die prozentuale Erhöhung der Bewegungsaktivität um 35, 40, 45, 50-75 (in Einzelschritten), 100, 150, 200 und 250 % gegenüber dem gleitenden Mittelwert der 10 Vortage. Area under the curve (AUC): 0,776

1.2.4. Praxistauglichkeit des Aktiometers

Für die Aufrechterhaltung der Funktionalität des Systems musste während des gesamten Versuchszeitraums keine Arbeitszeit aufgewendet werden. Lediglich bei zwei Tieren waren in den ersten 12 bzw. 14 Tagen post partum ohne erkennbare Ursache keine Daten erfasst worden. Das Problem bestand aber nicht weiter fort. Ginge man davon aus, dass für die Erstanbringung der Aktiometer analog zur Marker-Halsband-Anbringung ein Zeitaufwand von 1-2 min pro Tier benötigt würde, ergäbe sich bei den 74 beobachteten Tieren ein Zeitaufwand von maximal 2 h 28 min.

1.3. Vergleich der Methoden Tracking und Aktiometer zur Brunsterkennung

Die Empfindlichkeit der Aktivitätsmessung mittels Aktiometer übertraf die mittels Tracking (AUC=0,776 vs. 0,691). Das bedeutet, dass in diesem Projekt das Aktiometer besser zur Erkennung von brünstigen Tieren anhand eines Aktivitätsanstiegs zur Brunst geeignet war als die Tracking-Methode. Hinsichtlich der Sensitivität (Sicherheit bei der Erkennung tatsächlich brünstiger Kühe) unterschieden sich die beiden Systeme nicht wesentlich. Bei Verwendung der Aktiometer konnte jedoch bei gleicher Sensitivität der beiden Systeme stets eine höhere Spezifität (Sicherheit bei der Erkennung nicht brünstiger Kühe) erreicht werden. Das Aktiometer-System erwies sich in diesem Versuch insgesamt als das weniger arbeitsintensive Brunstüberwachungssystem. Außer der Zeit für die Anbringung der Aktiometer-Halsbänder war hier keine Wartung oder Pflege zur Aufrechterhaltung der Funktionalität des Systems nötig. Anders verhielt es sich bei der Tracking-Methode: Durch Markerwechsel und Reinigung kam eine Arbeitszeitbelastung von insgesamt 47 h und 20 min zustande (Tab. 10).

Tab. 10: Vergleich der Systeme Tracking und Aktiometer hinsichtlich Empfindlichkeit und Praktikabilität. Die angegebenen Werte beziehen sich jeweils auf den Versuchszeitraum von 188 Tagen. SENS=Sensitivität; SPEZ=Spezifität; AUC=Area under the curve

Parameter	Tracking	Aktiometer
rechnerisch bester Aktivitätsgrenzwert mit SENS und SPEZ	Grenzwert: 100 SENS: 50,3 % SPEZ: 77,2 %	Grenzwert: 51 SENS: 84,4 % SPEZ: 66,4 %
Praktisch bester Aktivitätsgrenzwert mit SENS und SPEZ	≠ rechnerisch bester Grenzwert; Grenzwert: 56 SENS: 80,3% SPEZ: 45,6%	= rechnerisch bester Grenzwert
Empfindlichkeit der Aktivitätsmessung anhand der AUC	AUC = 0,691	AUC = 0,776
Zeitaufwand für Instandhaltung des Systems	33 h 50 min für Erstanbringung und Wechsel der Marker 13 h 30 min für Reinigung der Marker Gesamt: 47 h 20 min bzw. 38,4 min/Tier	2 h 28 min für Anbringung der Aktiometer Gesamt: 2 h 28 min bzw. 2 min/Tier
Störung der Datenerfassung	Schmutz, Verdrehung, Abnutzung	Fehlende Datenübertragung (in 2 Fällen)
Langlebigkeit des Systems	Mediane Haltbarkeit eines Markers: 35 Tage ≈ 3,5 Marker/Tier	Kein Austausch der Responder nötig 1 Responder/Tier

2. Stoffwechselüberwachung

2.1. Vergleich von automatisiert erfassbaren Parametern bei Ketosekranken (K; Gruppe K) und gesunden Tieren (G; Gruppe G)

2.1.1. Parameter Tages-Milchmenge

2.1.1.1. Vergleich von Gruppe K und G – unabhängig von Laktationsnummer im Laktationsverlauf

Tiere der Gruppe K (n=21) zeigten am Tag 4 p. p. im Mittel eine um 2,2 l höheren Milchleistung (24,6 l versus 22,4 l) als Tiere der Gruppe G (n=27). Auch im restlichen Beobachtungszeitraum lag die mittlere tägliche Milchleistung der K-Tiere durchschnittlich 1,5 l über der der G-Tiere. Lediglich an Tag 29 unterschritt die Milchleistung der Ketose-Tiere die der gesunden Tiere um durchschnittlich 0,1 l. Ein statistisch signifikanter Unterschied mit einer um 2,9 l und 3,9 l höheren Milchleistung bei der Gruppe K gegenüber der Gruppe G bestand an DIM 59 bzw. 70 ($p < 0,05$). Gruppe K erreichte die maximale mittlere Milchleistung mit 35,9 l an DIM 57, Gruppe G mit 34,3 l an DIM 45 (Abb. 20). Der prozentuale Anstieg bis zur maximalen Milchleistung, gemessen an der Leistung am ersten Messzeitpunkt DIM 4, betrug bei Gruppe K 45,9 % und bei Gruppe G 53,1 %.

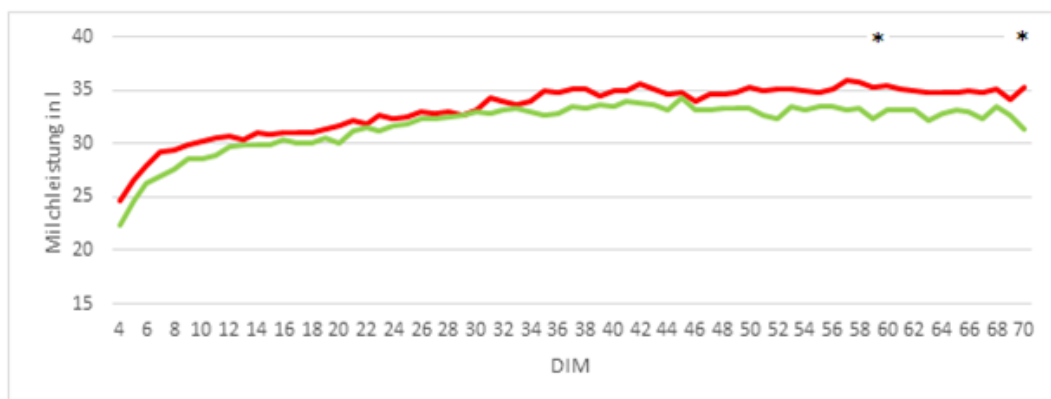


Abb. 20: Mittlere tägliche Milchleistung der Gruppe K (rot; n=21) und der Gruppe G (grün; n=27) an den Tagen in Milch (DIM) 4-70. Erfasst sind alle Tiere, unabhängig von der Laktationsnummer. An Tagen, die mit * gekennzeichnet sind, bestand ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen Gruppe K und G. Die mittlere, minimale und maximale Standardabweichung beträgt bei Gruppe K 5,4l, 3,9l und 6,7l, bei Gruppe G 5,4l, 3,6l und 6,7l.

2.1.1.2. Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere der 1.Laktation

Bei alleiniger Betrachtung der erstlaktierenden Kühe betrug die Milchmenge an DIM 4 in der Gruppe K im Mittel 19,3 l, in der Gruppe G 18,9 l. Über den gesamten Zeitraum (DIM 4-70) betrachtet, lag die tägliche Milchmenge der Gruppe G durchschnittlich 0,1 l unter der der Ketose-Gruppe. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppe bestand nicht. Die maximale Gruppenleistung betrug in der Gruppe K 30,9 l/Tag und wurde an DIM 70 erreicht. In Gruppe G erfolgte dies mit 30,7 l an DIM 53 (Abb. 21). Der prozentuale Anstieg bis zur maximalen Milchleistung, gemessen an der Einsatzleistung an DIM 4, betrug bei Gruppe K 60,1 % und bei Gruppe G 62,4 %.

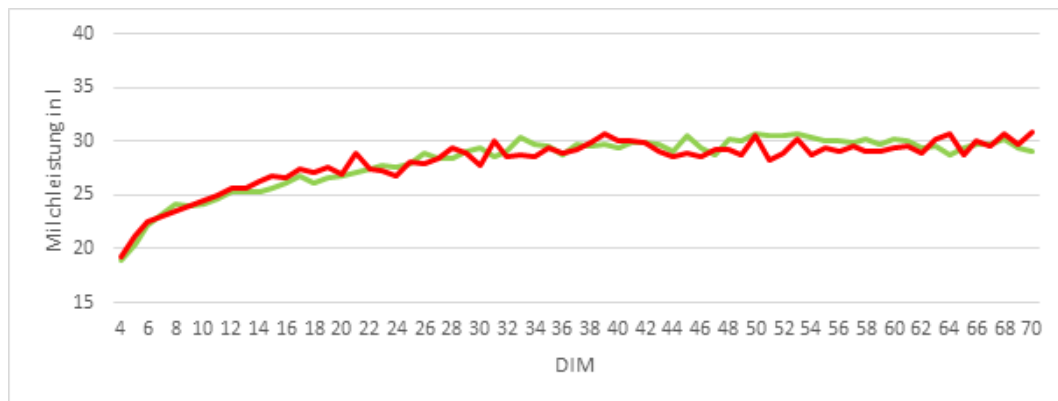


Abb. 21: Mittlere tägliche Milchleistung der Gruppe K (rot; n=7) und der Gruppe G (grün; n=11) an den Tagen in Milch (DIM) 4-70. Erfasst sind nur Tiere der 1. Laktation. Die mittlere, minimale und maximale Standardabweichung beträgt bei Gruppe K 3,5l, 1,9l und 6,8l, bei Gruppe G 3,4l, 1,9l und 5,1l.

2.1.1.3. Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere > 2.Laktation

Der Gruppendurchschnitt der Einsatzleistung lag an DIM 4 bei der Ketose-Gruppe mit 27,4 l im Mittel 2,9 l über der der gesunden Gruppe. Bezogen auf den gesamten Zeitraum DIM 4-70, überstieg die Milchleistung der Gruppe K die von G um durchschnittlich 1,4 l. Im Zeitraum DIM 15-33 betrug der Unterschied lediglich 0,1 l. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen beiden Gruppen ergaben sich an den Tagen 51, 52, 54, 57, 58, und 59: Die Milchleistung der Gruppe K lag an diesen Tagen 3,50, 4,16, 3,13, 3,82, 3,80 bzw. 4,30 l über der Leistung der Gruppe G. Gruppe K erreichte die maximale mittlere Tagesmilchleistung mit 38,8 l an DIM 58, Gruppe G mit 37,0 l an DIM 41 (Abb. 22). Der prozentuale Anstieg der

Milchmenge von Einsatz- bis Maximalleistung betrug bei der Ketose-Gruppe im Mittel 41,6 %, bei der Gruppe der gesunden Tiere 51,0 %.

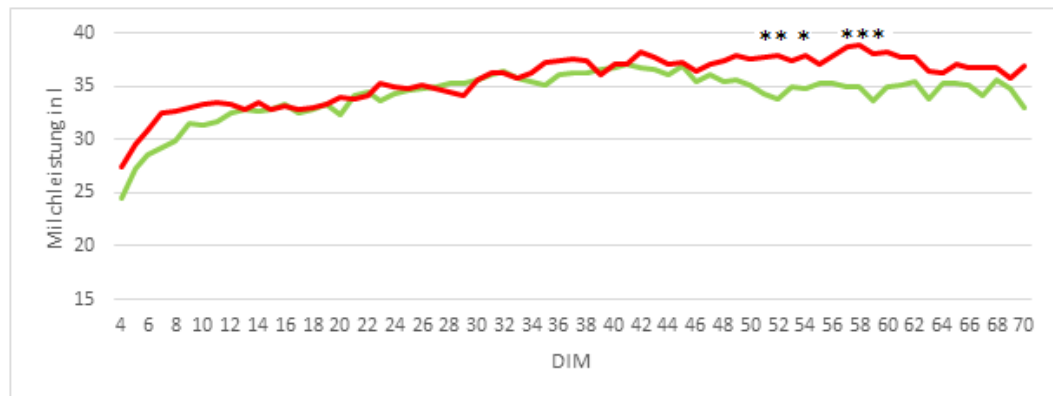


Abb. 22: Mittlere tägliche Milchleistung der Gruppe K (rot; n=14) und der Gruppe G (grün; n=16) an den Tagen in Milch (DIM) 4-70. Erfasst sind nur Tiere >2. Laktation. An Tagen, die mit * gekennzeichnet sind, bestand ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen Gruppe K und G. Die mittlere, minimale und maximale Standardabweichung beträgt bei Gruppe K 4,3l, 2,6l und 6,1l, bei Gruppe G 5,0l, 2,0l und 7,1l.

2.1.2. Parameter Kraftfutter-Aufnahme

2.1.2.1. Vergleich von Gruppe K und G – unabhängig von Laktationsnummer

Über den gesamten Zeitraum DIM 4-70 lag der Kraftfutterrest, der am Tagesende nicht abgerufen wurde, bei Gruppe G durchschnittlich um 3,2 Prozentpunkte höher als bei Gruppe K (Mittelwert 7,9 vs. 4,7 %). Ein signifikanter Unterschied von 4,2 Prozentpunkten zwischen den beiden Gruppen bestand an DIM 34 ($p \leq 0.05$), wobei die Ketose-Tiere weniger Kraftfutter übrig ließen (4,2%) als die gesunden Tiere (8,4%). Im Zeitraum DIM 4-13 lag die nicht abgeholte Kraftfuttermenge bei G durchschnittlich 9,5 Prozentpunkte über der von K. Der Unterschied erwies sich als nicht signifikant (Abb. 23).

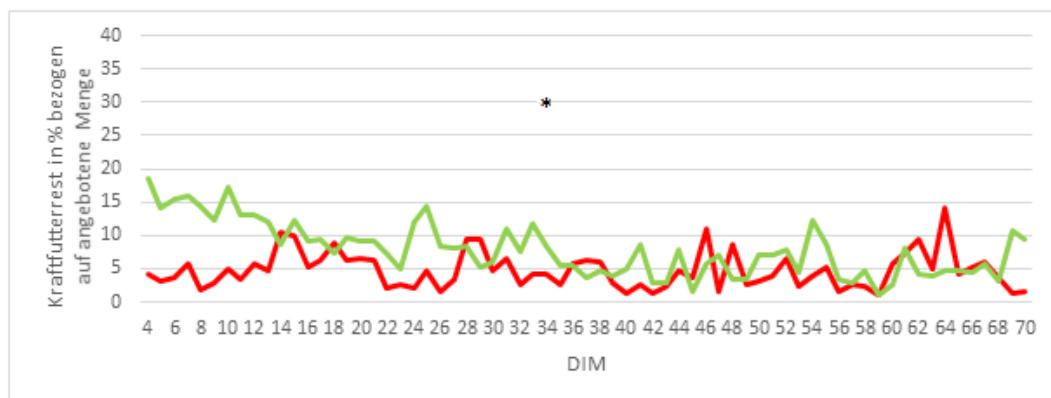


Abb. 23: Täglicher Kraftfutterrest in % bei Gruppe K (rot; n=21) und Gruppe G (grün; n=27) an den Tagen in Milch (DIM) 4-70. Erfasst sind alle Tiere, unabhängig von der Laktationsnummer. An Tagen, die mit * gekennzeichnet sind, bestand ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen Gruppe K und G. Die mittlere, minimale und maximale Standardabweichung beträgt bei Gruppe K 10,3%, 1,3% und 24,3%, bei Gruppe G 19,5%, 1,6% und 37,2%.

2.1.2.2. Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere 1.Laktation

Innerhalb der Erstlaktierenden zeigt sich gemittelt über den Zeitraum DIM 4-70 ein durchschnittlich 9 Prozentpunkte höherer täglicher Kraftfutterrest bei der Gruppe G gegenüber der Gruppe K. Wie aus der Abbildung 24 ersichtlich, bestand der größere Unterschied im Zeitraum DIM 4-36. Über diesen gerechnet ließen die Tiere der Gruppe G im Durchschnitt um 15,5 Prozentpunkte mehr Kraftfutter liegen, als die der Gruppe K. Die größte Differenz zwischen den beiden Gruppen bestand mit 32,6 Prozentpunkten an DIM 4. Gruppe K hatte hier einen Rest von

1,9 %, Gruppe G von 34,5 %. Dieser Unterschied erwies sich als signifikant ($p=0,034$), ebenso wie der Unterschied von 5,8 Prozentpunkten ($p=0,03318$) an DIM 20 und an DIM 40 von 3,7 Prozentpunkten ($p=0,0226$).

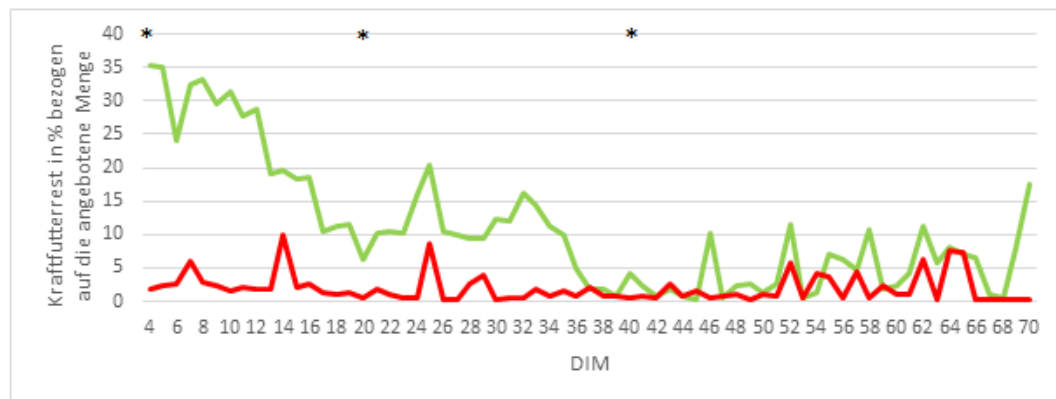


Abb. 24: täglicher Kraftfutterrest in % bei Gruppe K (rot; $n=7$) und Gruppe G (grün; $n=11$) an den Tagen in Milch (DIM) 4-70. Erfasst sind nur Tiere der 1. Laktation. An Tagen, die mit * gekennzeichnet sind, bestand ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen Gruppe K und G. Die mittlere, minimale und maximale Standardabweichung beträgt bei Gruppe K 2,8%, 0,2% und 21,5%, bei Gruppe G 20,9%, 0,4% und 48,6%.

2.1.2.3. Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere >2. Laktation

Bei Betrachtung der Tiere mit einer Laktationszahl >2 konnte hinsichtlich des täglichen Kraftfutterrests kein deutlicher Unterschied zwischen Gruppe K und G festgestellt werden. In beiden Gruppen lag der mittlere tägliche Kraftfutterrest über den gesamten Zeitraum DIM 4-70 betrachtet bei 6 %. Signifikante Unterschiede konnten an DIM 60 ($p=0,02642$) und 62 ($p=0,02926$) festgestellt werden. An diesen Tagen war bei Gruppe K ein um 5,0 Prozentpunkte (DIM 60) bzw. 10,7 Prozentpunkte (DIM 62) höherer Kraftfutterrest zu verzeichnen, verglichen mit Gruppe G (Abb. 25).

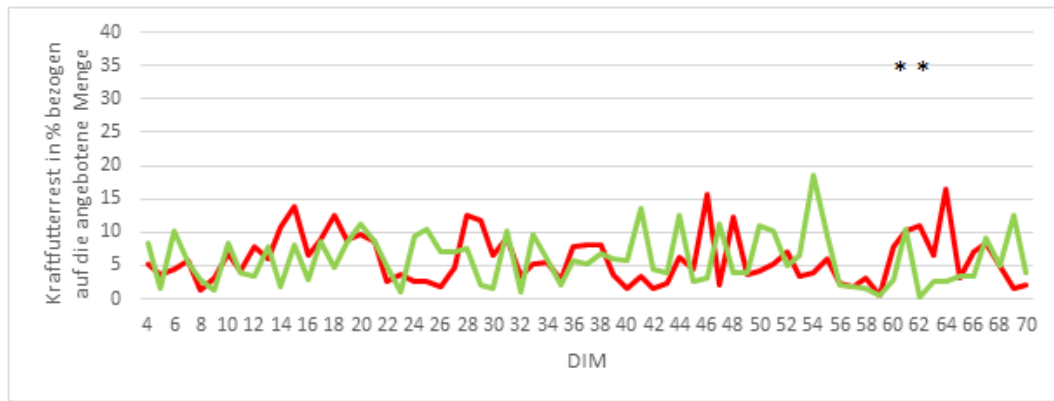


Abb. 25: Täglicher Kraftfutterrest in % bei Gruppe K (rot; n=14) und Gruppe G (grün; n=16) an den Tagen in Milch (DIM) 4-70. Erfasst sind nur Tiere der > 2. Laktation. An Tagen, die mit * gekennzeichnet sind, bestand ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen Gruppe K und G. Die mittlere, minimale und maximale Standardabweichung beträgt bei Gruppe K 11,9%, 0,7% und 29,0%, bei Gruppe G 14,4%, 0,3% und 37,4%.

2.1.3. Parameter Aktivität

2.1.3.1. Vergleich von Gruppe K und G – unabhängig von Laktationsnummer

Bis auf zwei Tage (DIM 40 und 48) lag das Aktivitätslevel der Gruppe G stets über dem der Gruppe K. An den Tagen 40 und 48 post partum lag die Aktivität der Gruppe G 3,1 bzw. 2,4 % unter der von Gruppe K. Über den Zeitraum DIM 4-70 gerechnet, überstieg die Aktivität der gesunden Gruppe die der Ketose-Gruppe um durchschnittlich 52,6 %. Der größte Unterschied bestand dabei an DIM 17 mit 120,6%. Statistisch signifikant ($p < 0,05$) war der Unterschied an den Tagen DIM 9-30, ausgenommen DIM 15, 18, und 29 ($p \approx 0,06$). Weiterhin zeigte sich ein signifikanter Unterschied an den Tagen 53, 59, 61 und 70 (Abb. 26).

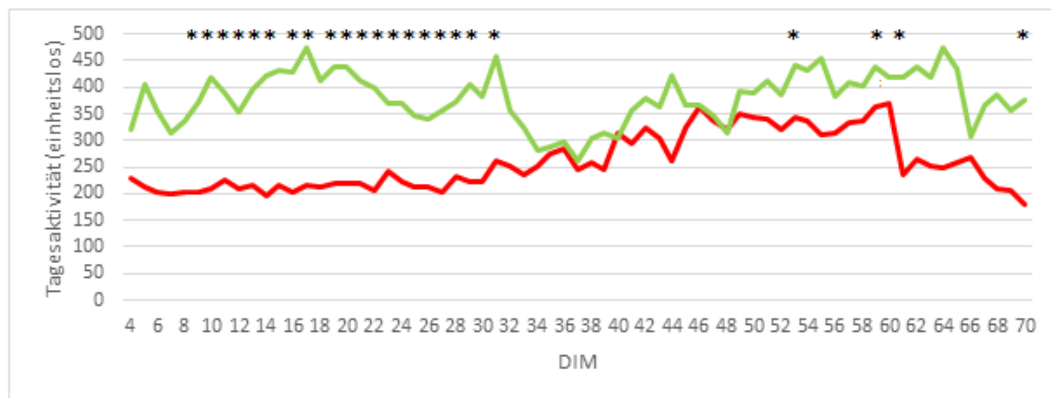


Abb. 26: Mittlere Tagesaktivität der Gruppe K (rot; n=21) und Gruppe G (grün; n=27) an den Tagen in Milch (DIM) 4-70. Erfasst sind alle Tiere, unabhängig von der Laktationsnummer. An Tagen, die mit * gekennzeichnet sind, bestand ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen Gruppe K und G. Die mittlere, minimale und maximale Standardabweichung beträgt bei Gruppe K 307,6, 163,7 und 587,3, bei Gruppe G 413,7, 261,3 und 574,8.

2.1.3.2. Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere 1. Laktation

Bei alleiniger Betrachtung der Erstlaktierenden zeigte sich, dass die mittlere Tagesaktivität der Tiere der Gruppe G die der Gruppe K über den gesamten Zeitraum DIM 4-70 um durchschnittlich 160,2 % deutlich überstieg. Der größte Unterschied mit 288,0 % bestand an Tag 44. Signifikant ($p < 0,05$) waren die Unterschiede an DIM 19-23, 30, 31, 52 und 57 (Abb. 27).

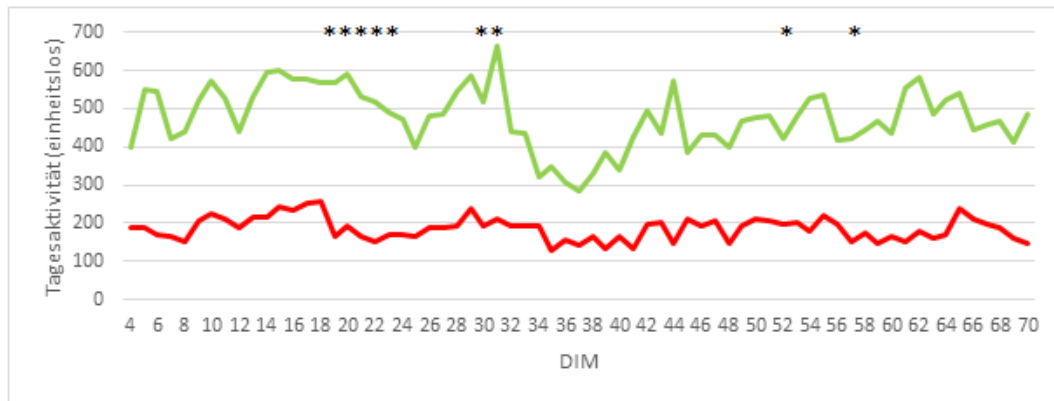


Abb. 27: Mittlere Tagesaktivität der Gruppe K (rot; n=7) und Gruppe G (grün; n=11) an den Tagen in Milch (DIM) 4-70. Erfasst sind nur Tiere der 1. Laktation. An Tagen, die mit * gekennzeichnet sind, bestand ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen Gruppe K und G. Die mittlere, minimale und maximale Standardabweichung beträgt bei Gruppe K 119,5, 49,1 und 247,4, bei Gruppe G 518,4, 233,7 und 800,2.

2.1.3.3. Vergleich von Gruppe K und G – nur Tiere > 2. Laktation

Bei den Tieren ab der zweiten Laktation betrug der Aktivitätsunterschied zwischen gesund und Ketose-positiv über den Zeitraum DIM 4-70 durchschnittlich 6,6 %, wobei die Aktivität von K unter der von G lag. Anhand Abbildung 28 ließ sich der gesamte Zeitraum in drei Teile einteilen: 1. Abschnitt DIM 4-32: Aktivität von G lag durchschnittlich 33,1 % über der von K; 2. Abschnitt DIM 33-51: Aktivität von K lag durchschnittlich 21,0 % über der von G; 3. Abschnitt DIM 52-70: Aktivität von G lag durchschnittlich 16,2 % über der von K. Statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) fanden sich an DIM 13-17 und DIM 70.

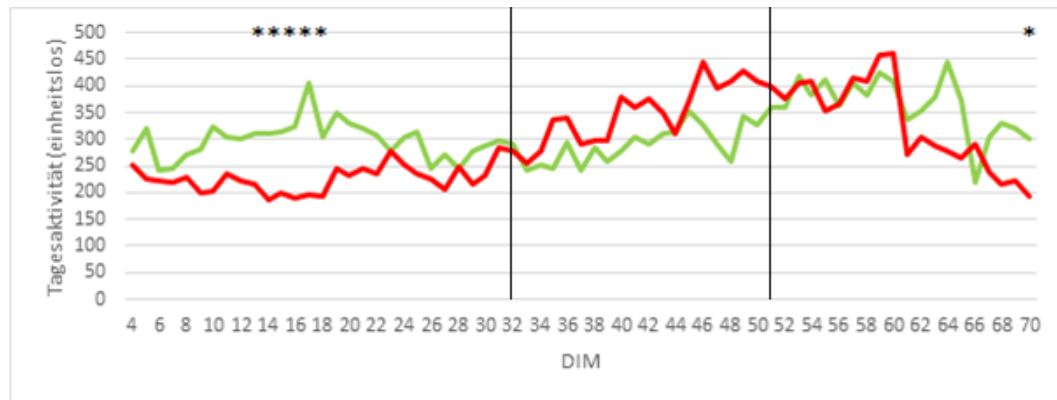


Abb. 28: Mittlere Tagesaktivität der Gruppe K (rot; n=14) und Gruppe G (grün; n=16) an den Tagen in Milch (DIM) 4-70. Erfasst sind nur Tiere > 2. Laktation. An Tagen, die mit * gekennzeichnet sind, bestand ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen Gruppe K und G. Mittels der senkrechten schwarzen Linien wurden die im Text beschriebenen drei Abschnitte gekennzeichnet. Die mittlere, minimale und maximale Standardabweichung beträgt bei Gruppe K 358,8, 165,3 und 694,0, bei Gruppe G 310,3, 170,3 und 548,8.

2.1.3.4. Vergleich der Bewegungsaktivität von Einzeltieren der Gruppe K und G mit der Gesamtherde an den DIM 6-12

Das zuvor dargestellte deutlich unterschiedliche Aktivitätsverhalten der Gruppen K und G rechtfertigte im Weiteren eine genauere Analyse des Zusammenhangs zwischen Auftreten von Ketose und Bewegungsaktivität im zeitlichen Verlauf post partum.

Abbildung 29 zeigt die Verteilung der ersten positiven Ketotest-Ergebnisse bei den Tieren der Gruppe K. Die Werte beziehen sich auf die Tage, die sich die Tiere in Milch befanden (DIM). Das erste positive Ketotest-Ergebnis trat bei den Tieren der Gruppe K im Mittel an DIM 15 auf. Der früheste Nachweis eines erhöhten β -HBA-Gehaltes in der Milch erfolgte bei zwei Tieren bereits bei der ersten Milchprobe an DIM 4, der späteste an DIM 38.

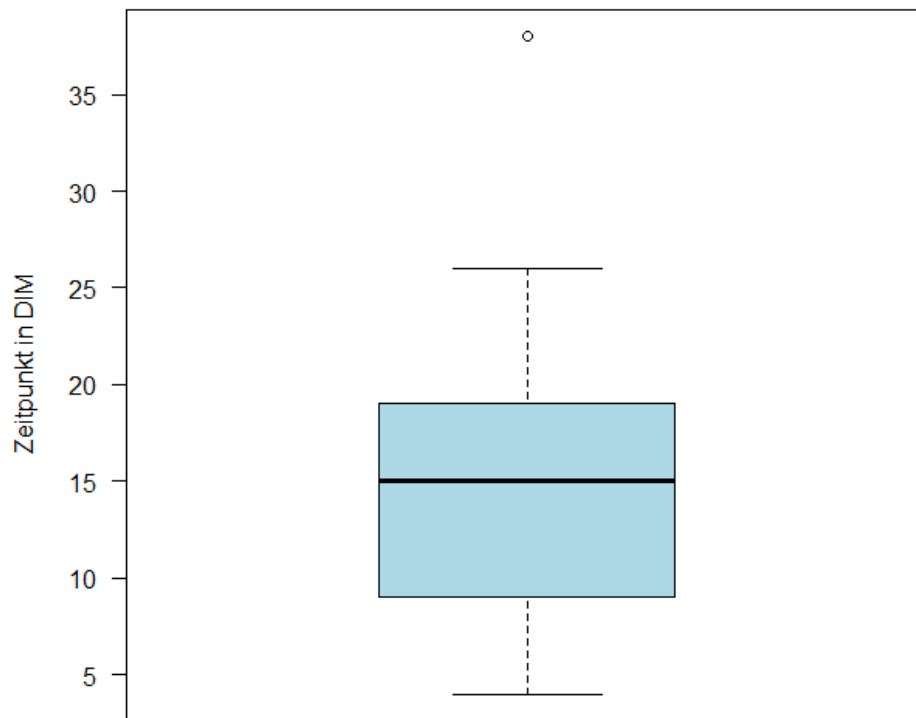


Abb. 29: Zeitpunkt des ersten positiven Keto-Testergebnisses bei den Tiere der Gruppe K. Die Untersuchung wurde mittels Ketotest der Milch durchgeführt (s. Material und Methoden 3.2. (n=21; Median: DIM 15; Minimum: DIM 4; 1. Quartil: DIM 9; 3. Quartil: DIM19; Maximum: DIM 26; Ausreißer: DIM 38)

Aus Abbildung 29 wird ersichtlich, dass für ein frühzeitiges Erkennen von Ketoseverdächtigen bzw. bereits kranken Tieren in diesem Betrieb der Zeitraum der ersten beiden Wochen post partum betrachtet werden muss. Um Ketoseverdächtige Tiere frühzeitig identifizieren zu können, wurde im Folgenden der Tagesmittelwert der Herdenaktivität der Einzeltier-Aktivität an den entsprechenden Tagen in Milch gegenübergestellt.

Wie bei Material und Methoden Punkt 4.2. beschrieben, wurden die Probanden anhand ihres Aktivitätsverlaufs im Zeitraum DIM 6-12 bezogen auf die Tagesherdendurchschnittsaktivität in die folgenden zwei Gruppen eingeteilt:

Gruppe 1 (n= 21): Die Tagesaktivität des Einzeltiers liegt im Zeitraum DIM 6-12 **mindestens 1x über dem Tagesherdenmittelwert** (Abb. 30, 31, 32).

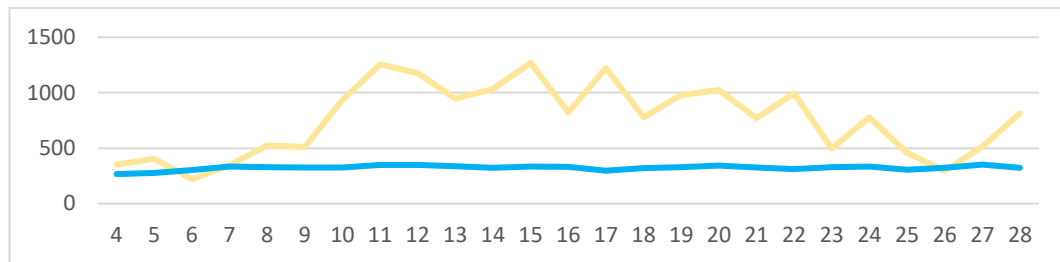


Abb. 30: Beispiel für den Aktivitätsverlauf einer Kuh der Gruppe 1: Im Zeitraum DIM 6-12 schneidet die Kurve des Einzeltieres (gelb) die des Herdemittelwerts (blau) ≥ 1 mal oder übertrifft diesen.

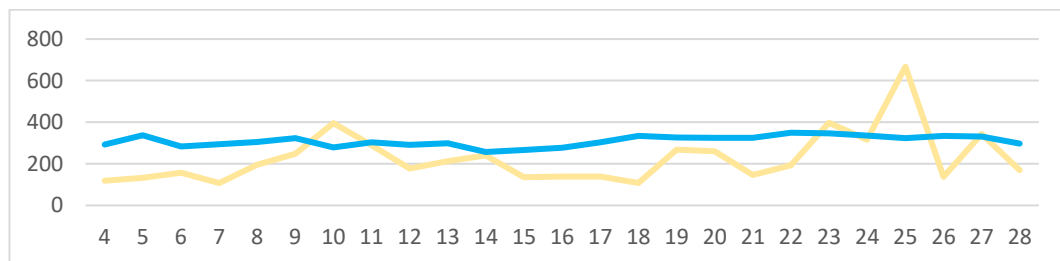


Abb. 31: Beispiel für den Aktivitätsverlauf einer Kuh der Gruppe 1: Im Zeitraum DIM 6-12 liegt das Aktivitätslevel der betrachteten Kuh (gelb) größtenteils unter dem Herdenmittelwert, schneidet aber die Kurve des Herdemittelwerts (blau) ≥ 1 mal.

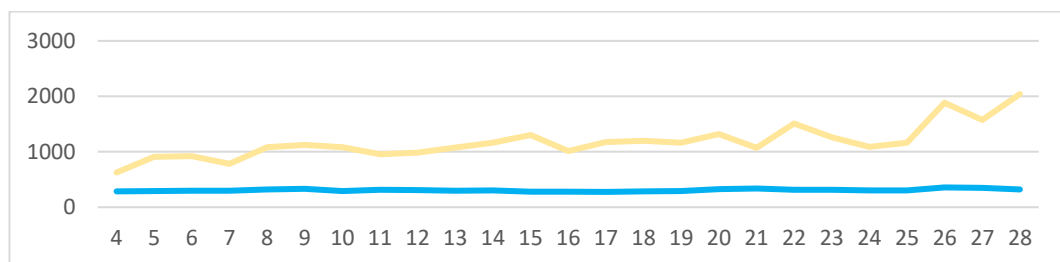


Abb.32: Beispiel für den Aktivitätsverlauf einer Kuh der Gruppe 1: Im Zeitraum DIM 6-12 liegt die Tagesaktivität des betrachteten Einzeltieres (gelb) stets über dem Herdenmittelwert (blau).

Gruppe 2 (n=25): Die Tagesaktivität des Einzeltiers liegt im Zeitraum DIM 6-12 stets unter Tagesherdenmittelwert (Abb. 33).

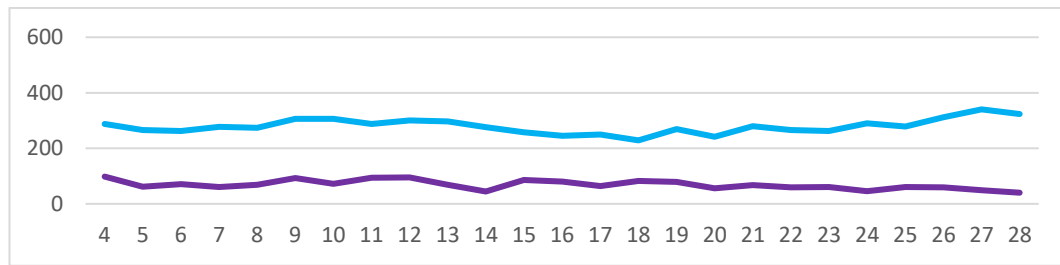


Abb. 33: Beispiel für den Aktivitätsverlauf einer Kuh der Gruppe 2: Im Zeitraum DIM 6-12 liegt die Tagesaktivität des betrachteten Einzeltieres (lila) stets unter dem Herdenmittelwert (blau).

Die Verteilung der Einzeltiere der Gruppen G und K auf die zwei Aktivitätsgruppen ist in Tabelle 11 dargestellt: Der Gruppe 1 wurden 3 Tiere aus K und 18 Tiere aus G, der Gruppe 2 17 Tiere aus K und 8 Tiere aus G zugeteilt. Jeweils ein Tier aus K und G konnten bei dieser Auswertung nicht einbezogen werden, da die Aktivitätsaufzeichnung im Zeitraum DIM 6-12 aus technischen Gründen nicht erfolgte (s.1.2.4.).

Tab. 11: Verteilung der Einzeltiere aus den Gruppen G und K auf die zwei Aktivitätsgruppen

Aktivitätsgruppe	Anzahl Tiere aus K	Anzahl Tiere aus G
1	3	18
2	17	8
Gesamt	20	26

Gruppe 1 (n= 21): Die Tagesaktivität des Einzeltiers liegt im Zeitraum DIM 6-12 mindestens 1x über dem Tagesherdenmittelwert (Abb. 11, 12, 13). Gruppe 2 (n=25): Die Tagesaktivität des Einzeltiers liegt im Zeitraum DIM 6-12 stets unter Tagesherdenmittelwert (Abb. 14). K=Gruppe „Ketose-krank“; G=Gruppe „gesund“

In der Gruppe K lag bei 85 % (n=17) der Tiere die Aktivität im Zeitraum DIM 6-12 permanent unter der Herdendurchschnittsaktivität; Bei Gruppe G betrug der Anteil hier 30,8 %. Der größte Anteil (69,2 %; n=18) der Tiere aus Gruppe G hatte im Zeitraum DIM 6-12 ein permanent höheres Aktivitätslevel als der Herdendurchschnitt oder es schnitt dessen Verlauf in diesem Zeitraum mindestens einmal. Bei der Gruppe K betrug der Anteil hier nur 15 % (n=3).

Mittels Chi-Quadrat-Test wurde die statistische Signifikanz hinsichtlich der Aktivitätsgruppenzuteilung und Zugehörigkeit zu Gruppe K oder G überprüft. Der ermittelte p-Wert von 0,000252 bestätigte einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen dem Aktivitätsverlauf der Einzeltiere im Zeitraum DIM 6-12 und Zugehörigkeit zu Gruppe K und G.

Ausgehend davon, dass ein bereits oder zukünftig an Ketose erkranktes Tier in den Tagen 6-12 p. p. permanent eine niedrigere Tagesaktivität zeigte als der Herdendurchschnitt und der Aktivitätsverlauf eines Tieres, das nicht an einer Ketose erkrankte, die Herdendurchschnittsaktivität in eben diesem Zeitraum permanent oder mindestens einmal überstieg, konnte für die Erkennung Ketosekranker bzw. -gefährdeter Tiere mittels dieser Methode in diesem Betrieb eine Sensitivität von 85 % und eine Spezifität von 69,2 % ermittelt werden.

3. Fruchtbarkeit und Stoffwechsel

3.1. Zeitpunkt der 1. Ovulation bei Tieren mit und ohne Ketose

Die mediane Zeit bis zum Auftreten der 1. Ovulation post partum betrug in Gruppe K 30 Tage und in Gruppe G 24 Tage. Der früheste Zeitpunkt war bei K Tag 17, bei G Tag 14. Die späteste erste Ovulation fand am 98. Tag post partum bei einem Tier der Ketosegruppe statt. Bei G betrug die längste Zeit bis zum Auftreten der ersten Ovulation 64 Tage (Abb. 34). Die Unterschiede waren nicht signifikant ($p=0,28914$).

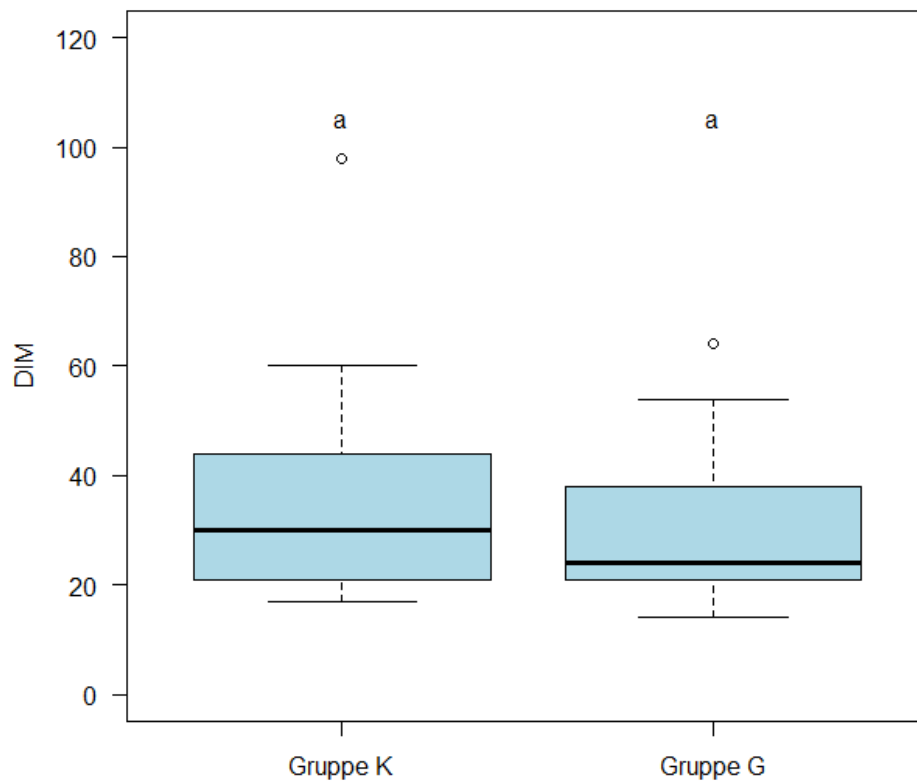


Abb. 34: Zeitpunkt der 1. Ovulation post partum bei den Gruppen K und G nach DIM. Die 1. Ovulation wurde anhand des ersten Progesteronanstiegs ($> 0,3$ ng/ml) post partum über einen Progesterontest aus Magermilch bestimmt (s. Material und Methoden 3.1.). aa=kein signifikanter Unterschied zwischen K und G; Gruppe K: $n=18$; Median: DIM 30; Minimum: DIM 17; 1. Quartil: DIM 21; 3. Quartil: DIM 44; Maximum: DIM 60; Ausreißer: DIM 98. Gruppe G: $n=25$; Median: DIM 24; Minimum: DIM 14; 1. Quartil: DIM 21; 3. Quartil: DIM 38; Maximum: DIM 54; Ausreißer: DIM 64. Zwei Tiere der Gruppe G wurden in die Auswertung aufgrund eines zu kurzen Versuchszeitraums nicht einbezogen. Bei drei Tieren der Gruppe K fand während des Versuchszeitraums keine Ovulation statt. Auch diese Tiere wurden nicht in die Auswertung einbezogen. K=Gruppe „Ketosekrank“; G=Gruppe „gesund“; DIM=Days in milk

3.2. Aktivitätsverhalten in der Brunst bei Tieren der Gruppen K und G

Die mittlere Aktivität am Tag der Brunst unterschied sich bei Tieren der Gruppe K und G signifikant ($p < 0,05$). So betrug der Median der mittleren Tagesaktivität 281,7 und 484,5, das 1. Quartil 196,9 und 360,7 und das 3. Quartil 509,7 und 708,8 bei Gruppe K bzw. G (Abb. 35).

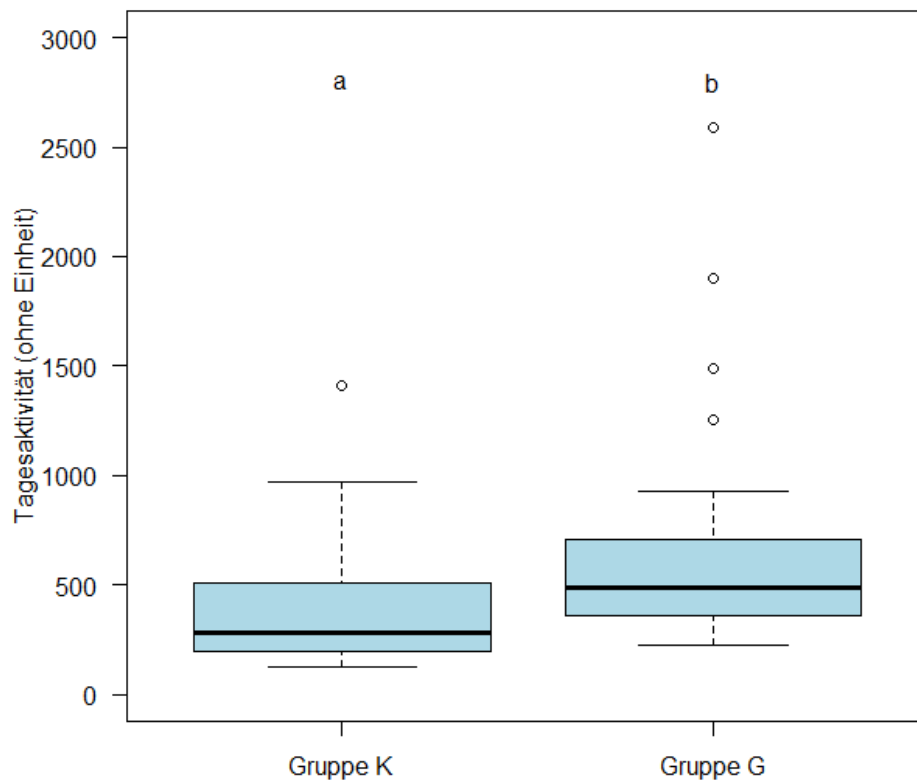


Abb. 35: Mittlere Bewegungsaktivität am Tag der Brunst bei Tieren der Gruppe K und G. Die mittels Aktiometer registrierte Körperbewegung dient als Maß für die Bewegungsaktivität. Gruppe K: Minimum=127,6; 1.Quartil=196,9; Median=281,7; 3. Quartil=509,7; Maximum=967,0; Ausreißer=1414,0 / Gruppe G: Minimum=222,9; 1. Quartil=360,7; Median=484,5; 3. Quartil=708,8; Maximum=930,9; Ausreißer= 1254,4, 1489,6, 1899,2, 2588,8; ab=signifikant unterschiedlich ($p < 0,05$). K=Gruppe „Ketose-krank“; G=Gruppe „gesund“

Im Gegensatz zur mittleren Tagesaktivität zeigte sich beim Vergleich der mittleren Aktivitätssteigerung am Tag der Brunst (bezogen auf den gleitenden Mittelwert der letzten 10 Tage) bei Tieren der Gruppe K und G kein signifikanter Unterschied. Der Median betrug 121,35% und 115,1%, das 1. Quartil 79,6% und 63,9% und das 3. Quartil 156,5% und 177,2% bei Tieren der Gruppe K bzw. G (Abb. 36).

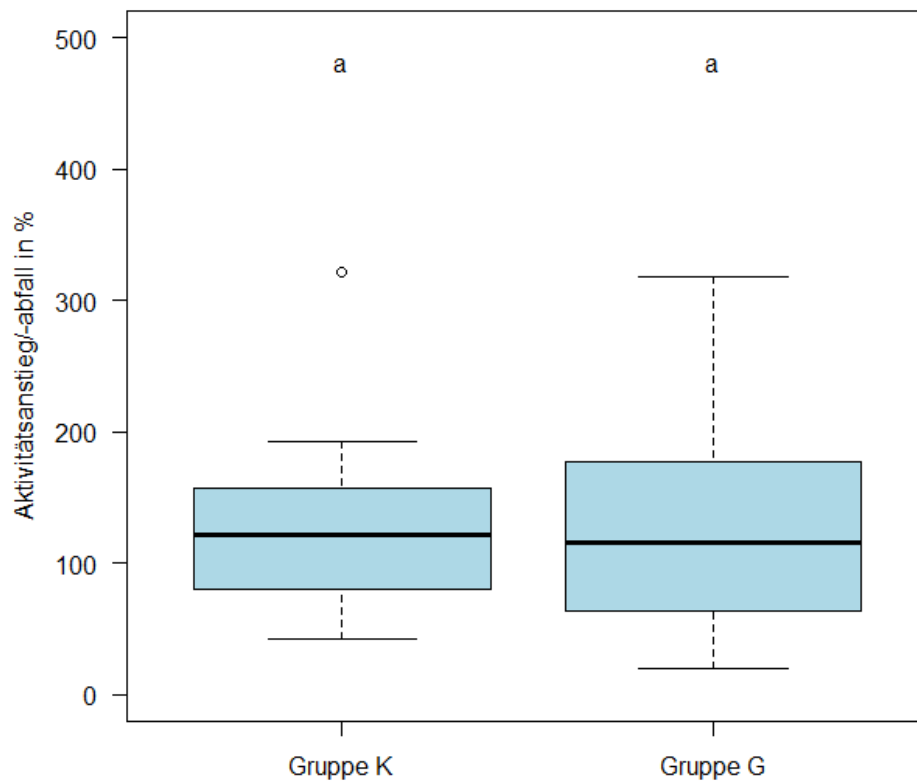


Abb. 36: Mittlere Aktivitätssteigerung am Tag der Brunst bei Tieren der Gruppe K und G. Der relative Anstieg der Bewegungsaktivität eines Tieres im Vergleich zum gleitenden Mittelwert der letzten 10 Tage ist das Maß für die Aktivitätsänderung in %. aa=kein signifikanter Unterschied zwischen K und G. Gruppe K: Minimum=42,2; 1. Quartil=79,6; Median=121,35; 3. Quartil=156,5; Maximum=192,5; Ausreißer= 321,9 / Gruppe G: Minimum=20,2; 1. Quartil=63,9; Median=115,1; 3. Quartil=177,2; Maximum 318,5; Ausreißer=keine; K= Gruppe „Ketose-krank“; G=Gruppe „gesund“

V. DISKUSSION

1. Brunsterkennung mittels Tracking-Methode oder Aktiometer?

Die effektive Erkennung der Brunst ist eine der wichtigsten Aufgaben im Management von Milchviehbetrieben. Um den optimalen Besamungszeitpunkt zu identifizieren, ist eine genaue und möglichst engmaschige Beobachtung des Brunstverhaltens jedes einzelnen Tieres notwendig. Dies wird bei immer größer werdenden Betrieben mit weniger Arbeitskraft und -zeit pro Tier zunehmend schwieriger. Automatisierte Brunsterkennungssysteme können den Landwirt bei dieser wichtigen Aufgabe unterstützen und durch Reduzierung der Arbeitszeitbelastung sowie durch Verbesserung der Fruchtbarkeit zur Wirtschaftlichkeit eines Betriebes beitragen. Im Folgenden wird der Einsatz zweier bereits etablierter Brunsterkennungssysteme hinsichtlich ihrer Eignung zur Brunsterkennung bei Verwendung eines betriebsspezifischen Aktivitätssteigerungsgrenzwertes sowie ihrer Einsetzbarkeit in der Praxis diskutiert. Im Falle des Trackings wird zudem ein Vergleich der Ergebnisse mit denen des Vorgängerprojekts angestellt (Dietrich, 2012).

1.1. Die Sensitivität der Brunsterkennung mittels Tracking-Methode und Aktiometer ist prinzipiell gleich gut

In diesem Versuch wurde gezeigt, dass sowohl durch die Tracking-Methode als auch durch die Aktiometer-Methode die in der Brunst signifikant erhöhte Bewegungsaktivität sowie Aktivitätssteigerung im Vergleich zu den vorangegangenen 10 Tagen erkannt werden kann. Hinsichtlich der Sensitivität unterschieden sich die beiden Systeme nicht wesentlich. So konnten bei einem Aktivitätssteigerungsgrenzwert von 50% von beiden Systemen 146 Brunsten erkannt werden. Die Spezifität der beiden Systeme unterschied sich jedoch deutlich. Bei Verwendung der Aktiometer-Methode wurde bei gleicher Sensitivität im Mittel eine um 21,9 Prozentpunkte höhere Spezifität erreicht als durch die Tracking-Methode. Der Unterschied war bei niedrigen Aktivitätssteigerungsgrenzwerten deutlicher als bei hohen. Durch das Tracking wurden also mehr nicht

in Brunst befindliche Tiere als „brunstverdächtig“ gemeldet (=falsch positiv), als durch die Aktiometer. Ein Grund dafür könnte sein, dass bei Tieren, deren Marker über mehrere Tage unbemerkt schlecht erkannt wurden und die dadurch weniger registrierte als tatsächlich durchgeführte Zonensprünge aufwiesen, ein scheinbarer Aktivitätsanstieg nach Wegfallen der Störung als Brunst angezeigt wurde.

Für das Aktiometer wurde eine Aktivitätssteigerung von 51% und für die Tracking-Methode von 100 % rein rechnerisch als am besten geeignet ermittelt, um in diesem Betrieb brünstige Tiere zu erkennen. Diese Grenzwerte ergaben sich aus der höchsten Summe aus Sensitivität und Spezifität und sind damit rein rechnerisch die beste Kombination aus diesen beiden Werten. Die meisten Landwirte erwarten aber von automatisierten Brunsterkennungssystemen vor allem, dass möglichst alle brünstigen Tiere erkannt werden. Durch nachfolgend gezielte Beobachtung oder Untersuchung der als brünstig gemeldeten Tiere wird dann überprüft, ob sich ein Tier tatsächlich in Brunst befindet. Daraus folgt, dass eine höhere Sensitivität zu Lasten einer schlechteren Spezifität in der Regel in Kauf genommen wird, damit der Landwirt möglichst wenig tatsächlich brünstige Tiere übersieht. Ausgehend davon, dass in einem gut geführten Betrieb die Brunsterkennung >80% betragen sollte (De Kruif et al., 2014), ist ein Aktivitätssteigerungsgrenzwert mit einer Sensitivität in eben diesem Bereich für jede Brunstüberwachungsmethode erstrebenswert. Für das Tracking wäre damit ein Grenzwert von 56 % Aktivitätssteigerung mit einer Sensitivität von 80,3 % und einer Spezifität von 45,6 % für diesen Betrieb am besten geeignet. Für das Aktiometer lag der rechnerisch ermittelte beste Grenzwert von 51 % Aktivitätssteigerung mit einer Sensitivität von 84,4 % und einer Spezifität von 66,4% ohnehin schon über der gewünschten 80%-Grenze. Bei gleicher Sensitivität erreichte das Tracking hier lediglich eine Spezifität von 36,9 %.

Im Vorläufer-Projekt zur vorliegenden Dissertation wurde für die Brunsterkennung in der damaligen Versuchsherde ein optimaler Aktivitätssteigerungsgrenzwert von 250 % ermittelt (Dietrich, 2012). Dieser konnte in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Rein rechnerisch erwies sich hier für das Aktiometer eine Aktivitätssteigerung von 51% und für das Tracking eine von 100% als am

geeignetsten, um brünstige Kühe zu erkennen. Als mögliche Gründe für die unterschiedlichen Werte der Aktivitätssteigerungen bei den brünstigen Tieren in den beiden Versuchsbetrieben bzw. -projekten kommt eine schlechtere Brunstäußerung oder ein generell niedrigeres Aktivitätslevel bei den Tieren im aktuellen Betrieb in Frage. Da in beiden Betrieben der Boden des Stalls planbefestigt war, kann der Einfluss einer unterschiedlichen Bodenbeschaffenheit auf die Äußerung der Brunstsymptome eher vernachlässigt werden (Platz et al., 2008; Squires, 2010). Eine hohe Milchleistung als Ursache schwächerer Brunstsymptome wird in der Literatur ebenfalls diskutiert (Lopez-Gatius et al., 2005; Lopez et al., 2004). Die durchschnittliche Milchleistung der Versuchsherde bei Dietrich (2012) betrug 7.800 kg/Jahr, die in diesem Versuch bei 8.200 kg/Jahr. Eine verminderte Brunstsymptomatik in der aktuellen Versuchsherde aufgrund eines höheren Anteils hochleistender Tiere kommt also als Ursache in Betracht. Die Durchführung des Versuchs zu unterschiedlichen Jahreszeiten könnte ebenso eine Erklärung darstellen: Im Vorgängerprojekt fand der Versuch Ende Februar bis Anfang Juni statt, in diesem Projekt Ende März bis Ende September. Die heißen Sommermonate könnten in der aktuellen Studie also einen Einfluss auf die Bewegungsaktivität gehabt haben. Studien zeigten, dass Hitzestress infolge hoher Umgebungstemperaturen zu einer geringeren Bewegungsaktivität und auch einem geringeren Aktivitätsanstieg in der Brunst führen können (Lopez-Gatius et al., 2005; Sakatani et al., 2012). In beiden Versuchen wurde der Anteil an lahmen Tieren nicht untersucht, der ebenfalls die Ausprägung der Brunstsymptome negativ beeinflussen kann (Walker, Smith, Jones, et al., 2008; Walker, Smith, Routly, et al., 2008). Auch die Reduzierung der Markergröße von 17x17cm auf 12x12cm kann durch den größeren Einfluss von Schmutz auf kleineren Markern zu einer generell niedrigeren Anzahl an Erkennungen pro Tag geführt haben, sodass auch ein Aktivitätsanstieg nicht in vollem Ausmaß erfasst werden konnte. Gegen diese Hypothese spricht, dass auch das Aktiometer-System einen besten Aktivitätssteigerungsgrenzwert von 250% nicht bestätigen konnte, obwohl dieses System nicht von Verschmutzung beeinflusst wird.

1.2. Ist die Tracking-Methode praktikabel?

Automatisierte Brunst- und Gesundheitsüberwachungssysteme sollen nicht nur sichere Messungen durchführen, sondern auch Arbeitszeit minimieren. Somit ist der zeitliche Aufwand für Installation und Wartung eines Systems für den Nutzer von großem Interesse.

Für die Erstanbringung der Trackingmarker- und -halsbänder waren rund 10 min/Tier gegenüber 2min/Tier für das Anbringen der Aktiometer-Halsbänder nötig. Zudem müssen für das Wechseln und Reinigen der Marker in den 188 Tagen des Versuchszeitraums durchschnittlich 28,4 min/Tier veranschlagt werden. Bei einer Herdengröße von 100 Kühen ergäbe sich so nur für die Instandhaltung des Tracking-Systems ein Zeitaufwand von rund 15 min/Tag. Die Zeitangaben umfassen jedoch nicht das Aufsuchen und Fixieren der Tiere im Fangressgitter. Handelte es sich um ein widerwilliges Tier, das gezielt fixiert werden musste, konnten leicht 30-60 min vergehen, bevor die eigentliche Tätigkeit am System möglich war. Das Fangen der Tiere erforderte zudem die Hilfe einer zweiten Person. Für die Aufrechterhaltung der Funktionalität der Aktiometer war keine zusätzliche Arbeitszeit notwendig. Eine Reinigung entfällt ebenfalls.

Ein großes Problem für die sichere Funktionalität des Tracking-Systems im gesamten Versuchszeitraum war die Verschmutzung der Marker, vor allem durch Kot und Staub. Infolge dessen konnten einzelne Marker zeitweise nur schlecht oder gar nicht mehr durch die Kameras erkannt werden. Dies wirkte sich unmittelbar auf die anhand der Markererkennungen berechneten Zonensprünge und damit auf die Bewegungsaktivität aus. Die Marker der besonders aktiven brünstigen Tiere waren zumeist am stärksten verschmutzt, was durch das Aufspringen anderer Tiere erklärt werden könnte. Wurde ein Marker nach der routinemäßigen 2-tägigen Reinigung so stark verschmutzt, dass der 2D-Code von den Kameras nicht mehr erkannt werden konnte, waren die Stunden bzw. Tage bis zum Bemerkens des Problems unbrauchbar. Eine fehlende Erkennung konnte nur durch mehrmalige tägliche Fernabfrage via Internet (ca. alle 4 h) der bereits erfolgten Markererkennungen eines jeden Tieres herausgefunden werden. Wurde ein Tier bis zum Vormittag (10 Uhr) gar nicht registriert oder sistierte die Anzahl der Erkennungen zwischen zwei Fernabfragen, musste das Tier schnellstmöglich

aufgesucht und die Ursache beseitigt werden. Ebenso wurde mit Verdrehungen von Markern am Halsband verfahren, durch die eine Erkennung ebenfalls nicht mehr möglich war. Die Generierung einer automatisierten Warnmeldung bei fehlender Erkennung könnte hier eine Erleichterung schaffen. Eine Verschmutzung der Aktiometer spielte für deren Funktionalität keine Rolle. Lediglich in zwei Fällen wurde über einen Zeitraum von wenigen Tagen keine Aktivität aufgezeichnet. Die Ursache konnte jedoch nicht aufgeklärt werden, da das Problem auch ohne Eingreifen nicht länger fortbestand und bei Bemerkungen schon behoben war. Die Robustheit und Einfachheit in der Anbringung machen das Aktiometer zu einem äußerst praktikablen Brunsterkennungssystem in der Laufstallhaltung von Milchkühen.

1.3. Fazit für den Einsatz der untersuchten Brunstüberwachungssysteme in der Praxis

Automatisierte Systeme zur Tierüberwachung sollen in erster Linie zu einer Vereinfachung des Managements, Reduzierung aufzuwendender Arbeitszeit und des Weiteren zu einer Verbesserung eines bestimmten Managementbereiches beitragen. Sowohl das Tracking- als auch das Aktiometer-System konnten einen signifikanten Aktivitätsanstieg zur Brunst gegenüber dem gleitenden Mittelwert der vergangenen 10 Tage nachweisen. Die Sensitivität beider Systeme bei entsprechend gewählten Aktivitätssteigerungsgrenzwerten würde den Einsatz beider Systeme zur Brunsterkennung in der Praxis erlauben. Dabei wäre es vorteilhaft, für jeden Betrieb einen individuellen Aktivitätssteigerungsgrenzwert zur Brunsterkennung zu ermitteln. Das bedeutet, dass ein jedes Brunsterkennungssystem eine gewisse Vorlaufzeit benötigt, bis es anhand ins System eingespielter Daten zuverlässig brünstige Tiere erkennen kann. Angesichts der deutlich höheren Spezifität des Aktiometers gegenüber der Trackingmethode erwies sich ersteres in diesem Projekt als besser geeignet für den praktischen Einsatz zur Brunsterkennung. Durch die höhere Anzahl an falsch positiv als brünstig gemeldeten Kühen hätte der Landwirt bei Verwendung der Tracking-Methode einen deutlichen höheren Arbeitsaufwand mit der anschließenden Kontrolle auf eine tatsächliche Brunst als bei Verwendung der Aktiometer.

Betrachtet man die benötigte Zeit, die zur Einführung und Aufrechterhaltung der

im Versuch verwendeten Systeme aufgebracht werden musste, schneidet das System des Trackings gegenüber dem des Aktiometers in diesem Betrieb deutlich schlechter ab. Aufgrund des geringeren Arbeitsaufwands und der geringeren Fehleranfälligkeit stellt sich das Aktiometer als das in diesem Betrieb zu bevorzugende Instrument der Brunsterkennungshilfe dar. Das wohl größte Problem ist die Verschmutzungsanfälligkeit der Tracking-Methode als optisches Brunsterkennungssystem. Gerade die Marker brünstiger Tiere waren vermutlich durch den vermehrten Sozialkontakt und die erhöhte Aktivität häufig stark verschmutzt, was zu einer schlechteren Erkennung der Marker und folglich inadäquaten Bestimmung der Zonensprünge und damit der Bewegungsaktivität führen konnte. Um dies weitestgehend zu verhindern, war eine generelle Reinigung aller Marker alle zwei Tage oder einzelner Marker sofort bei Erkennung einer starken Verschmutzung notwendig. Auch der Landwirt gab bei Befragung diesen Umstand zusammen mit der teils sehr kurzen Haltbarkeit der Marker als größtes Problem der Tracking-Methode an, was eine weitere Nutzung des Systems in seinem Betrieb ausschloss. Als weiteren Punkt nannte er eine Beeinflussung des Wohlbefindens der Tiere durch das für Reinigung und Auswechseln der Marker nötige Treiben und Fixieren der Tiere sowie ein durch ihn vermutetes generelles Unbehagen der Tiere durch die auf dem Nacken befindlichen Marker. Als positiv bewertete er die Möglichkeit, sich auch nachts via Kamera schnell einen Überblick über das Verhalten der Tiere im Stall verschaffen zu können. Das Problem der Verschmutzung könnte den Einsatz eines solchen optischen Systems zumindest in der Milchviehhaltung grundsätzlich verhindern.

2. Ist eine Überwachung des Energiestoffwechsels mittels Aktivitätsmonitoring möglich?

2.1. Kühe mit Ketose zeigen grundsätzlich eine geringere Bewegungsaktivität als gesunde Tiere

Kühe mit Ketose (Gruppe K) wiesen im Beobachtungszeitraum DIM 4-70 eine um durchschnittlich 30,8% geringere mittlere Tagesaktivität als gesunde Tiere (Gruppe G) auf. Da Ketose-Tiere bereits median an DIM 15 zum ersten Mal mittels

Ketotest positiv getestet wurden, aber bereits davor eine geringere Tagesaktivität als gesunde Tiere zeigten, ist dieses Phänomen womöglich weniger als Folge der Ketose anzusehen, sondern vielmehr als Auslöser anzusehen. Ein möglicher Zusammenhang wäre, dass die Tiere der Gruppe G auch schon während der Trockenstehphase ein generell höheres Aktivitätsniveau aufwiesen. Solche Tiere könnten aufgrund einer dadurch besseren Fitness größere Mengen an Ketonkörpern, die bei rasant ansteigender Milchleistung und nicht schritthaltender Futteraufnahme zwangsläufig anfallen, besser metabolisieren, da Ketonkörper v.a. von Skelett- und Herzmuskel genutzt werden (Von Engelhardt et al., 2010). Zudem könnte eine höhere Bewegungsaktivität der Tiere einen geringeren Ansatz von Depotfett vor der Kalbung bedingen, das während der Phase der negativen Energiebilanz abgebaut wird, und dessen Stoffwechselprodukte zur Ketogenese genutzt werden können. Die Bewegungsaktivität der trockenstehenden Tiere sowie der genaue BCS zur Kalbung wurden in diesem Projekt nicht erfasst.

Das bekannte Phänomen des gehäuften Auftretens einer Insulinresistenz bei peripartalen Kühen ist in diesem Zusammenhang ebenfalls von Interesse. Während der späten prä- und frühen postpartalen Phase finden im endokrinen System der Milchkuh Veränderungen statt, die eine energetische Versorgung von Fetus und Milchdrüse sicherstellen sollen (Baird, 1981). So sind das Euter und der trächtige Uterus trotz des Vorhandenseins von Insulinrezeptoren weitestgehend Insulin-insensitiv (Herzog, 2001; Vernon et al., 1991). In anderen extrahepatischen Gewebe kann es zu einer Insulinresistenz kommen (Sano et al., 1991), die vermutlich auch eine wichtige Rolle bei der Entstehung der Ketose spielt (Hayirli, 2006). Zudem folgerten Baruselli et al. (2016) anhand ihrer Resultate, dass Kühe, die am Laktationsende hochenergetische Rationen zur fressen bekommen, oder solche Tiere, die unabhängig vom Laktationsstadium deutlich über Bedarf mit Energie versorgt werden, ein höheres Risiko haben, eine Insulinresistenz zu entwickeln. Eine über den Bedarf hinausgehende Energiezufuhr führt zu einem vermehrten Ansatz von Körperfett (BCS steigt) und erhöht damit auch das Risiko für eine Ketose (Garro et al., 2014; Gillund et al., 2001). Ähnlich kann auch beim Menschen eine Insulinresistenz und in Folge das Entwickeln eines Diabetes Typ 2

auf einen ungesunden Lebenswandel verbunden mit Übergewicht, hochkalorischer Ernährung und mangelnder Bewegung zurückgeführt werden. Sowohl Prävention als auch Therapie des Diabetes sind durch Bewegungstraining und Gewichtskontrolle häufig möglich (Toplak et al., 2016). Außerdem wurde gezeigt, dass Personen, die viel Zeit im Sitzen verbringen (Fernsehen oder Arbeit im Sitzen), ein höheres Risiko haben, leichter an Diabetes zu erkranken (Rubin et al. 2015). Eine Reduzierung der im Sitzen verbrachten Zeit in Verbindung mit gesteigerter physischer Aktivität wird deshalb zur Prävention des Diabetes Typ 2 empfohlen (Rockette-Wagner et al., 2015). Übertragen auf die Milchkuh könnte dies bedeuten, dass Tiere mit einer geringeren Bewegungsaktivität sowohl eine höhere Gefahr haben, einen höheren BCS zu erreichen, als auch eine Insulinresistenz zu entwickeln und in Folge an einer Ketose zu erkranken. Im Anbetracht dessen könnte ein Bewegungsprogramm bereits für trockenstehende Kalbinnen und Kühe zur Steigerung von Muskelmasse und Fitness und zur Kontrolle des BCS ein mögliches Instrument zur Prophylaxe einer Insulinresistenz und der Ketose sein. Weitere Untersuchungen über einen Zusammenhang von Aktivitätsverhalten, Insulinresistenz und Ketose sind dringend geboten.

Die Gruppen-Unterschiede zwischen K und G bei Betrachtung des Parameters Milchleistung waren nicht deutlich. Die Einsatzleistung an DIM 4, als auch die durchschnittliche Tagesmilchleistung im Zeitraum DIM 4-70 bei Gruppe G war um 2,2 l bzw. 1,5 l niedriger als bei Gruppe K. Ebenso lag die maximale mittlere Tagesmilchleistung diesem Zeitraum bei Gruppe K mit 35,9l höher als bei Gruppe G mit 34,3l. Der Zeitpunkt, an dem diese Maximalleistung erreicht werden konnte, trat jedoch bei Tieren der Gruppe G früher (DIM 45) ein als bei denen von K (DIM 57). Dies könnte einer Reduzierung der Milchmenge in Folge der Ketose geschuldet sein (Rajala-Schultz et al., 1999). Zwar lag die Milchleistung der Gruppe K durchschnittlich über der von Gruppe G; es ist jedoch denkbar, dass in der Gruppe K – ohne Ketose-Erkrankung - eine noch höhere Leistung erreicht worden wäre.

Bei der Kraftfutter-Aufnahme fiel auf, dass die Tiere der Gruppe K trotz geringerer Bewegungsaktivität ihr zugeteiltes Kraftfutter zuverlässiger abholten, als Tiere der Gruppe G. Ein Erklärungsansatz könnte sein, dass Tiere der Gruppe K vor oder

während einer Ketosepisode zwar ihre komplette Kraftfuttermenge abholten, aber aufgrund der geringeren Bewegungsaktivität weniger häufig zur Grundfutteraufnahme zum Futtertisch gingen. Es wurden jedoch keine Daten zur Grundfutteraufnahme erhoben. So wäre es möglich, dass Tiere der Gruppe G eine höhere Menge an Grundfutter aufgenommen haben und dadurch ihren Energiebedarf bereits soweit decken konnten, dass eine Aufnahme der vollständigen Kraftfuttermenge zur Bedarfsdeckung nicht unbedingt nötig gewesen war. Die oben geschilderte geringere Milchleistung in Gruppe G könnte ebenfalls durch die geringere Kraftfutteraufnahme bedingt sein.

Da der Ketotest nur ein semiquantitativer Test ist, der zudem nur alle 2-3 Tage im Beobachtungszeitraum durchgeführt wurde, wurde der Verlauf von Milchleistung, Bewegungsaktivität und Kraftfutteraufnahme nicht beim Einzeltier sondern auf Gruppenebene untersucht. Eine Verfälschung der Milchleistungswerte durch andere peripartale Erkrankungen wurde nicht untersucht: So könnten Nachgeburtsverhaltung, Metritits, Mastitis, Labmagenverlagerungen oder auch Lahmheiten ebenfalls zu einer Reduzierung der Milchmenge beigetragen haben (Deluyker et al., 1991; Rajala-Schultz et al., 1999). Diese könnten auch das Aktivitätsverhalten der Versuchstiere beeinflusst haben (Mazrier et al., 2006; Reader et al., 2011; Stangaferro et al., 2016a, 2016b, 2016c) und damit auch die Kraftfutteraufnahme.

2.2. Können Ketose-Kühe frühzeitig anhand ihrer Bewegungsaktivität identifiziert werden?

Die deutlichen Unterschiede in der Bewegungsaktivität von Ketose-Tieren und gesunden Tieren gaben Anlass eine Methode zu entwickeln, mit dem Tiere, die bereits an einer Ketose leiden oder an ihr erkranken werden, anhand der Bewegungsaktivität erkannt werden sollen. Als Bezugsgröße musste ein Wert gewählt werden, der dem Landwirt zur Verfügung steht, da eine Unterscheidung in „krank“ und „gesund“ prospektiv nicht möglich ist. Aus diesem Grund wurde den Aktivitätswerten der Ketose-Tiere der Durchschnitt der Aktivität aller Tiere der Herde am jeweiligen Tag (Tagesherdenmittelwert) gegenübergestellt. Da eine Ketose mittels Ketotest in diesem Betrieb median an DIM 15 nachgewiesen werden konnte, wurde besonderes Augenmerk auf die ersten beiden Wochen p.p.

gelegt. Es zeigte sich, dass die Aktivitäten der meisten K-Tiere den Herdendurchschnitt in den DIM 6-12 durchgehend unterschritten, die der gesunden Tiere hingegen permanent überschritten (Tab. 11)

Die retrospektiv ermittelte Sensitivität für die Erkennung ketosekranker oder –gefährdeter Kühe anhand ihres Aktivitätsverhaltens lag in dieser Arbeit bei 85%, die Spezifität bei 69,2%. Diese Methode wäre im Praxiseinsatz, wie die meisten automatisierten Systeme, kein Allein-Diagnoseinstrument, um sicher alle kranken oder an Ketose erkrankenden Kühe zu ermitteln. Es könnte aber durchaus hinweisend sein und durch Einsatz weiterer dann gezielter Diagnostik (z.B. Ketotest, Tierbeobachtung) zu einer besseren Erkennung an Ketose leidender Tiere führen. Eine Kostenreduktion durch gezieltes Testen gemeldeter Tiere mittels Ketotest könnte gegenüber einem generellen Testen aller postpartalen Tiere ebenfalls möglich sein. So könnte eine mögliche Empfehlung lauten, dass alle Tiere an DIM 4 zu testen sind, um die Tiere zu erkennen, die bereits zu diesem Zeitpunkt erhöhte Ketonkörperkonzentrationen in der Milch aufweisen und in Folge nur noch die Tiere, die im Zeitraum DIM 6-12 permanent unter der Herdendurchschnittsaktivität liegen. Durch den gezielteren Einsatz der Diagnostik könnten sich für den Landwirt sowohl Kosten- als auch Zeitersparnisse ergeben. Weitere dem Landwirt zu Verfügung stehende Daten, wie ein plötzlicher Milchabfall, könnten ebenfalls dazu genutzt werden, ein Testen von Tieren zu veranlassen, die anhand der Bewegungsaktivität an den DIM 6-12 nicht gemeldet wurden.

2.3. Fazit für die Verwendung automatisiert erfassbarer Parameter zur Erkennung Ketose-kranker oder –gefährdeter Kühe

In dieser Arbeit konnte eine deutlich verringerte Bewegungsaktivität bei Tieren der Gruppe K gegenüber G festgestellt werden. Dieser Parameter könnte, wie unter 2.2. diskutiert, zu einer Detektion von Ketose-kranken bzw. –gefährdeten Tieren in einer Herde beitragen. Es sollten weitere Untersuchungen über die Verwendung des Aktivitätsverhaltens im Zeitraum 6-12 Tage post partum als Frühwarnsystem für Ketose durchgeführt werden, um die Eignung genauer zu evaluieren und eine Zufälligkeit der Ergebnisse in diesem Betrieb auszuschließen.

Zudem sollte in einem neuen Versuch überprüft werden, inwiefern sich andere postpartale Erkrankungen auf die Eignung dieses Parameters auswirken. Ob eine Prophylaxe der Ketose durch ein gezieltes Bewegungsprogramm bei trockenstehenden Hochleistungskühen sinnvoll und wirksam ist, gilt es in einer weiteren Arbeit mit Kontrollgruppe zu untersuchen. Dabei sollte auch der Zusammenhang von Bewegungsaktivität in der Trockenstehzeit, Insulinresistenz in der Transitphase und Auftreten einer Ketose in den ersten Wochen p.p. durch gezielte Diagnostik genauer überprüft werden.

3. Untersuchungen zu Beziehungen zwischen Fruchtbarkeit und Stoffwechsel

3.1. Gibt es einen Einfluss der Ketose auf den Zeitpunkt der ersten Ovulation?

In vorliegenden Versuch trat die erste mittels Progesteronverlauf nachweisbare Ovulation in Gruppe K median 30 Tage p.p. auf, bei Gruppe G dagegen 24 Tage p.p. Dieser Unterschied konnte jedoch nicht statistisch gesichert werden ($p=0,28914$), was vermutlich auf die relativ geringen Probandenzahlen zurückzuführen ist (Gruppe K: $n=18$; Gruppe G: $n=25$). Bei gleichbleibender Tendenz sowie Verdopplung der Tierzahlen in beiden Gruppen wäre der Unterschied möglicherweise signifikant. Zudem wurden, wie in Abb. 15 dargestellt, drei Tiere der Ketose-Gruppe, die bis zum letzten Versuchstag noch keine anhand des Progesteronverlaufs nachweisbare Ovulation zeigten, nicht in die Auswertung einbezogen. Das späte Auftreten der ersten Ovulation bei diesen Tieren könnte den Zeitpunkt der ersten Ovulation in der Ketose-Gruppe weiter nach hinten verschieben.

Tiere, die nach der Geburt aufgrund einer negativen Energiebilanz infolge hoher Milchleistung und inadäquater Futteraufnahme viel Körperfett mobilisieren, weisen erhöhte Blutkonzentrationen an nicht-veresterten Fettsäuren (non esterified fatty acids; NEFA), β -HBA und Triacylglyceriden, aber erniedrigte Konzentrationen an Insulin, Glucose und IGF-1 (Insulin-like-growth-Faktor) auf

(Grummer et al., 2004). Ein erhöhter Gehalt an NEFA im Blut könnte einen Einfluss auf den Zyklus der Ketose-Kühe gehabt haben. Kühe mit erhöhten Blut-NEFA-Werten in der Transitphase haben ein höheres Risiko für eine spätere Ketose (Feldmann et al., 2013). Zudem wird von einem direkten Einfluss der NEFA auf die Ovarien ausgegangen, der zu einer Vergrößerung des Zeitintervalls zwischen Kalbung und erster Ovulation führt (Rukkwamsuk et al., 1999). Ein Schlüsselfaktor dafür, ob ein dominanter Follikel zur Ovulation kommt oder nicht, ist neben seiner Größe und der LH (Luteinisierendes Hormon)-Pulsfrequenz die systemische Konzentration an IGF-1 (Roche, 2006). Es wäre also durchaus möglich, dass die später eintretende erste Ovulation in der Gruppe K auf eine hohe NEFA- und niedrige IGF-1-Blutkonzentrationen infolge der negativen Energiebilanz zurückzuführen ist.

3.2. Beeinflusst die Ketose die Brunsterkennung mittels Aktivitätsmonitoring?

Am Tag der Brunst war die mittels Aktiometer-Methode bestimmte Bewegungsaktivität der Tiere der Gruppe K signifikant ($p < 0,05$) geringer als die der Gruppe G. Die tatsächliche Bewegungsaktivität am Tag der Brunst ist jedoch hinsichtlich der Brunsterkennung nicht ausschlaggebend, da es sich bei den Tieren in Gruppe G um generell aktivere Tiere gehandelt haben könnte. Der relative Anstieg der Bewegungsaktivität zur Brunst im Vergleich zum gleitenden Mittelwert der letzten 10 Tage individuell für jedes Tier ist daher von besonderer Bedeutung. Bei Betrachtung des Aktivitätsanstiegs zur Brunst zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen K und G. Die Steigerung lag bei Gruppe K median bei 121,4% und bei Gruppe G bei 115,1%. Es wurden hier jedoch alle im Versuchszeitraum anhand des Progesteronverlaufs identifizierten Brunsten einbezogen. Rutherford et al. (2016) zeigten, dass der Aktivitäts-Peak bezogen auf die Bewegungsaktivität der vergangenen 8 Tage in der ersten Brunst bei Tieren, die an subklinischer Ketose erkrankt waren geringer ausfiel, als bei gesunden Tieren. Im Laktationsverlauf schien der negative Effekt der Ketose auf den Aktivitätspeak jedoch geringer zu werden. Das könnte ebenfalls einen Grund für den nicht signifikanten Unterschied im vorliegenden Versuch darstellen. Die Brunsten wurden bei Rutherford et al. (2016) anhand Verhalten und klinischer

Untersuchung diagnostiziert und nicht wie in diesem Versuch anhand des Progesteronverlaufs. Auch bei alleiniger Betrachtung des Aktivitätsanstiegs in der Brunst zur ersten Ovulation konnte in diesem Versuch kein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) berechnet werden. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass mittels Progesterontest auch Ovulationen diagnostiziert werden können, die ohne Verhaltensänderungen wie einer Aktivitätssteigerung einhergehen und „still“ verlaufen. Somit können diese als Brunst gewerteten still verlaufenden Brunsten/Ovulationen zu einer Erniedrigung der durchschnittlichen Aktivitätswerte geführt haben. Eine visuelle Beobachtung oder klinische Untersuchung der Tiere auf Vorliegen einer Brunst fand in dieser Versuchsanordnung nicht statt.

VI.ZUSAMMENFASSUNG

Der Trend der letzten Jahre zu immer größer werdenden Milchviehbetrieben bei gleichbleibender Arbeitskraft sowie der Anspruch der Landwirte an ein Mindestmaß an Arbeitskomfort und zeitliche Ungebundenheit machen den Einsatz von technischen, möglichst automatisierten Hilfsinstrumenten in verschiedenen Bereichen der Milchviehhaltung erforderlich.

Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit wurden in Form eines Übersichtsartikels eine Zusammenstellung und eine kritische Bewertung bereits im Handel erhältlicher und in unterschiedlichem Maß wissenschaftlich evaluierter automatisierter Überwachungssysteme erstellt. Eine Reihe von Beispielen zeigt, dass zuverlässig funktionierende Systeme das Potenzial haben, Gesundheit und Fruchtbarkeit in Milchviehherden teilweise mitarbeiterunabhängig zu überwachen. Durch die Nutzung der freiwerdenden Zeit für andere Managementbereiche könnten so Tiergesundheit und Tierwohl verbessert, aber auch Effizienz und Wirtschaftlichkeit eines Betriebs gesteigert werden. Bei einigen Systemen besteht jedoch noch Bedarf an praktischen Anwendungsstudien und technischen Weiterentwicklungen zur Verbesserung der Praktikabilität. Angesichts der aktuellen rasanten technischen Entwicklungen ist auch künftig mit Neuerungen und Verbesserungen auch bei bereits bestehenden Systemen zu rechnen.

Der praktische Teil des Promotionsprojektes wurde über einen Zeitraum von 6 Monaten in einem schwäbischen Milchviehbetrieb mit rund 75 Milchkühen durchgeführt. Ein Hauptziel war es, die von der Arbeitsgruppe bereits etablierte sogenannte Tracking-Methode zur automatisierten Brunstbeobachtung mit einer handelsüblichen Aktivitätsmessmethode zu vergleichen. Bei der Tracking-Methode handelt es sich um ein optisches System zur Brunsterkennung bei Milchkühen: Über hochauflösende, an der Stalldecke aufgehängte GigE-Kameras wird die Bewegungsaktivität der mit 2D-Matrix-Code-Markern markierten Kühe ermittelt. Die Berechnung der Aktivität eines jeden Tieres erfolgt anhand der Anzahl der vollzogenen Zonensprünge zwischen den 12 Kamera-überwachten Stallsegmenten. Als zweites automatisiertes Brunstüberwachungssystem wurde

ein handelsübliches Aktiometer-System verwendet, das mittels 3D-Accelerometer am Halsband die Aktivität jedes Tieres anhand der Körperbewegungen bestimmt. Als Goldstandard zur Ermittlung des Zyklusstandes der Tiere wurde die Progesteronbestimmung aus Magermilch verwendet.

Im Beobachtungszeitraum konnten 173 Brunst- und 149 Nicht-Brunst-Phasen (Diöstrus und frühe Trächtigkeiten bis Tag 28) bei 53 Tieren nachgewiesen werden. Bei der Tracking-Methode betrug die mittlere Tagesaktivität in der Phase „Brunst“ median 87,5 Zonensprünge/Tag und in der Phase „keine Brunst“ 37,9 Zonensprünge/Tag. Beim Aktiometer-System lagen die Werte median bei 435,7 (ohne Einheit) bzw. 196,9. Bei beiden Systemen war der Unterschied der Bewegungsaktivität zwischen den Phasen „Brunst“ und „keine Brunst“ signifikant ($p < 0,001$). Mit beiden Systemen konnte in der Brunst eine Steigerung der Bewegungsaktivität verglichen mit dem gleitenden Mittelwert der letzten 10 Tage abgebildet werden. Der mediane Anstieg der Bewegungsaktivität am Tag der Brunst betrug 111,6% bei der Tracking-Methode und 121,8% bei der Aktiometer-Methode. Bei Verwendung eines für diesen Betrieb sinnvollen Aktivitätssteigerungsgrenzwerts zeigte die Tracking-Methode eine Sensitivität von 80,3% und eine Spezifität von 45,6%. Das Aktiometer-System zeigte hier eine Sensitivität von 84,4% und eine Spezifität von 66,4%. Für die Einführung und Instandhaltung der Tracking-Methode musste gegenüber der Aktiometer-Methode im Versuchszeitraum deutlich mehr Zeit aufgewandt werden: So betrug die durchschnittlich notwendige Wartungszeit bedingt durch Verschmutzung, Defekt und Verlust pro Tier über den gesamten Versuchszeitraums 38,4 Minuten beim Tracking- und 2 Minuten beim Aktiometer-System. Die mediane Markerhaltbarkeit betrug bei der Tracking-Methode 35 Tage; beim Aktiometer-System war ein Geräteaustausch nicht notwendig. Die vergleichsweise niedrige Spezifität (mehr falsch-positive Brunstmeldungen) und der nicht unerhebliche Arbeitsaufwand in Verbindung mit der hohen Störanfälligkeit der Tracking-Methode verhindern einen Einsatz der Methode zur Brunsterkennung im derzeitigen Entwicklungsstadium zumindest in der Milchviehhaltung.

Ein weiteres Ziel der Arbeit war es, zu prüfen, welches Potential standardmäßig im Milchviehbetrieb erhobene Management- und Leistungsparameter haben, um

Störungen des Kohlenhydrat-Lipid-Stoffwechsels frühzeitig anzuzeigen. Dafür wurden im Versuchsbetrieb täglich automatisiert erhobene Parameter wie Tagesmilchleistung, tägliche Kraftfutteraufnahme und Bewegungsaktivität (Aktiometer-System) bei Tieren mit Ketose (Gruppe K) und gesunden Tieren (Gruppe G) vergleichend analysiert. Die Einteilung der Kühe in die Gruppen K und G erfolgte anhand der β -HBA-Bestimmung mittels Keto-Test™. Dazu wurden die dreimal wöchentlich genommenen Milchproben aller Kühe, die im Versuchszeitraum kalbten, bis Tag 60 post partum untersucht. Ein deutlicher und zukünftig gegebenenfalls nutzbarer Unterschied zwischen den Tieren der Gruppen K und G konnte nur bei dem Parameter Bewegungsaktivität festgestellt werden. Tiere der Gruppe K zeigten in der Phase vom 4. bis 70. Laktationstag durchschnittlich eine um 30,8% niedrigere mittlere Bewegungsaktivität als Tiere der Gruppe G. Anhand der Bewegungsaktivität in den ersten 6-12 Tagen post partum konnte für den Versuchsbetrieb retrospektiv eine Methode entwickelt werden, die für die Erkennung Ketose-kranker bzw. -gefährdeter Tiere eine Sensitivität von 85% und eine Spezifität von 69,2% erreichte. Tiere der Gruppe K zeigten in diesem Zeitraum jeweils individuell eine durchgehend niedrigere Aktivität als die Tagesherdendurchschnittsaktivität. Bei Tieren der Gruppe G überschritt die Aktivität die Tagesherdendurchschnittsaktivität in den Tagen 6-12 post partum mindestens einmal oder sogar durchgehend.

In entsprechenden Folgeprojekten ist weitere Entwicklungsarbeit für die Tracking-Methode zwingend notwendig, um vor allem die Marker hinsichtlich Haltbarkeit am Tier und Widerstandskraft gegenüber Schmutz weiter zu verbessern. Zudem sollte die Markergröße durch Einsatz noch höher auflösender Kameras weiter reduziert werden, um einen höheren Tragekomfort für die Tiere zu erreichen. Wird dies geleistet, könnten prinzipiell weitere Parameter wie Liege- und Fresszeiten erhoben und zur Früherkennung von Erkrankungen genutzt werden.

Die retrospektive Auswertung des Aktivitätsverhaltens an den Tagen 6-12 post partum zeigte sich in diesem Betrieb geeignet, um frühzeitig auf Ketose-kranker bzw. -gefährdeter Tiere hinzuweisen. Eine Eignung dieser Methode für andere Betriebe sollte in Nachfolgestudien in weiteren Betrieben prospektiv getestet werden.

VII. SUMMARY

In recent years a trend towards increasing dairy farm sizes with unaltered employee numbers and farmers' demands for a minimum of work comfort and work life balance calls for the use of technical, possibly automated tools in various areas of dairy cattle farming.

The first part of this thesis is a review summarizing and a critically evaluating commercially available and, to a varying extent, scientifically evaluated automated monitoring systems. A number of examples show that reliably functioning systems have the potential to monitor health and fertility in dairy herds partly independently from the workforce. The time made available by these time-saving methods can then be used for other management areas, such as improving animal welfare and animal health, but also efficiency and profitability of the farm. Some systems, however, still need to be studied further in practical application trials and or further technical improvements are required to improve practical aspects. Considering the progress in computer-based systems in recent years, rapid developments can be anticipated in the near future.

The practical part of the thesis was carried out over a period of 6 months in a dairy farm in Southern Germany with around 75 dairy cows. One of the main objectives was to compare the so-called tracking method for automated oestrus detection with a commercial activity measurement method. The tracking method has already been established by the working group in previous work. It is an optical system for oestrus detection in dairy cows. The motion activity of the cows marked with 2D matrix code markers is determined by means of high-resolution GigE cameras suspended from the stable ceiling. The calculation of the activity of each animal is based on the number of zone changes between the 12 camera-monitored barn segments (zones). As a second automated monitoring system, a commercially available actiometer system was used, which determines the activity of each animal by the body movements by means of a 3D Accelerometer on the collars. The progesterone levels in skimmed milk samples was used as the gold standard for determining the cycle status of the dairy cows.

In the observation period, 173 oestrus and 149 non-oestrus phases (dioestrus and early pregnancies until day 28) were detected in 53 animals. In the tracking method, the median daily activity in the "oestrus" phase was 87.5 zone-changes/day and in the "non-oestrus" phase 37.9 zone-changes/day. In the actiometer system, the median values were 435.7 (without unit) and 196.9 respectively. In both systems, the difference in motion activity between the "oestrus" and "non-oestrus" phases was significant ($p < 0.001$). With both systems, an increase in movement activity could be seen in oestrus compared to the moving average of the last 10 days. The median increase in movement activity on the day of oestrus was 111.6% for the tracking method and 121.8% for the actiometer method. Using an activity enhancement threshold that is useful for this farm, the tracking method showed a sensitivity of 80.3% and a specificity of 45.6%. The actiometer system showed a sensitivity of 84.4% and a specificity of 66.4%. During the test period introduction and maintenance of the tracking method required significantly more time than the actiometer method: over the test period the average maintenance time per animal due to contamination, defect and loss was 38.4 minutes for the tracking-method and 2 minutes for the actiometer system. The median marker durability was 35 days for the tracking method; in case of the actiometer system, no device had to be exchanged. The low specificity (more false positive reports) of the tracking method and the workload associated with its high susceptibility for malfunctions prevent the use of this oestrus detection method in dairy cattle farming at the current stage of development.

A further aim of the study was to examine the potential of standard management and performance parameters in dairy farming to detect early stages of disturbances of the carbohydrate-lipid metabolism. For this purpose, automatically recorded parameters such as daily milk yield, daily concentrate intake and movement activity (actiometer system) in animals with ketosis (group K) and healthy animals (group G) were compared. Based on beta-hydroxybutyrate-levels determined by Keto-Test™ the cows were divided into groups K and G. For this purpose, the milk samples taken three times a week from all cows which calved during the experimental period were examined until day 60 post partum. The parameter movement activity was the only clear and in the future possibly

usable difference between the animals of the groups K and G. On average, animals of group K exhibited a reduced motility by 30.8% when compared to animals from group G. This retrospectively developed method based on activity during the first 6-12 days post partum had a sensitivity of 85% and a specificity of 69.2% for the detection of animals that will later develop ketosis or already suffer from ketosis on the study farm. Animals of group K showed a continuously lower activity than the daily herd average during this period. In animals of group G, the activity exceeded daily herd average activity in days 6-12 post partum at least once or even continuously.

In subsequent projects, further development work for the tracking method is absolutely necessary in order to further improve the markers in terms of durability and resistance to contamination. In addition, the marker size should be further reduced by the use of even higher-resolution cameras in order to achieve a higher comfort for the animals. If this can be achieved other parameters such as lying and feeding times could be determined and used for the early detection of disease.

The retrospective evaluation of the activity behaviour on the days 6-12 post partum proved suitable in this farm to detect dairy cows that will later develop ketosis or already suffer from ketosis. The suitability of this method for other farms should be tested prospectively in follow-up studies on other farms.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

Literatur zum Literaturteil/Artikel: siehe S. 29 - 39

Literatur exkl. Literaturteil/Artikel:

ADR. (2014). Rinderproduktion in Deutschland 2014. Tabelle 4.13.

Baird, G. (1981). Lactation, pregnancy and metabolic disorder in the ruminant. *Proceedings of the Nutrition Society*, 40(01), 115-120.

Baruselli, P. S., Vieira, L. M., Sa Filho, M. F., Mingoti, R. D., Ferreira, R. M., Chiaratti, M. R., Oliveira, L. H., Sales, J. N., & Sartori, R. (2016). Associations of insulin resistance later in lactation on fertility of dairy cows. *Theriogenology*, 86(1), 263-269.

Chapinal, N., Carson, M. E., LeBlanc, S. J., Leslie, K. E., Godden, S., Capel, M., Santos, J. E., Overton, M. W., & Duffield, T. F. (2012). The association of serum metabolites in the transition period with milk production and early-lactation reproductive performance. *J Dairy Sci*, 95(3), 1301-1309.

De Kruif, A., Mansfeld, R., & Hoedemaker, M. (2014). *Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind*: Enke Verlag.

Deluyker, H. A., Gay, J. M., Weaver, L. D., & Azari, A. S. (1991). Change of milk yield with clinical diseases for a high producing dairy herd. *J Dairy Sci*, 74(2), 436-445.

Dietrich, O. (2012). *Etablierung einer neuen Methode zur automatisierten Brunsterkennung beim Rind (Dr.med.vet)*, Ludwig-Maximilians- Universität, München.

Diskin, M. G., & Sreenan, J. M. (2000). Expression and detection of oestrus in cattle. *Reprod Nutr Dev*, 40(5), 481-491.

Dohoo, I. R., & Martin, S. W. (1984). Subclinical ketosis: prevalence and associations with production and disease. *Can J Comp Med*, 48(1), 1-5.

Dohoo, I. R., Wayne Martin, S., Meek, A. H., & Sandals, W. C. D. (1983). Disease, production and culling in Holstein-Friesian cows I. The data. *Prev Vet Med*, 1(4), 321-334.

Dubuc, J., Duffield, T. F., Leslie, K. E., Walton, J. S., & LeBlanc, S. J. (2012). Risk factors and effects of postpartum anovulation in dairy cows. *J Dairy Sci*, 95(4), 1845-1854.

Duffield, T. (2000). Subclinical ketosis in lactating dairy cattle. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*, 16(2), 231-253.

Duffield, T. F., Sandals, D., Leslie, K. E., Lissemore, K., McBride, B. W., Lumsden, J. H., Dick, P., & Bagg, R. (1998). Efficacy of monensin for the prevention of subclinical ketosis in lactating dairy cows. *J Dairy Sci*, 81(11), 2866-2873.

Feldmann, M., Fetrow, J., Hoedemaker, M., Mansfeld, R., & de Kruif, A. (2013). *Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind*: Georg Thieme Verlag.

Garro, C. J., Mian, L., & Cobos Roldan, M. (2014). Subclinical ketosis in dairy cows: prevalence and risk factors in grazing production system. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 98(5), 838-844.

Gillund, P., Reksen, O., Grohn, Y. T., & Karlberg, K. (2001). Body condition related to ketosis and reproductive performance in Norwegian dairy cows. *J Dairy Sci*, 84(6), 1390-1396.

Ginther, O. J., Nuti, L. C., Garcia, M. C., Wentworth, B. C., & Tyler, W. J. (1976). Factors affecting progesterone concentration in cow's milk and dairy products. *J Anim Sci*, 42(1), 155-159.

Grummer, R. R., Mashek, D. G., & Hayirli, A. (2004). Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*, 20(3), 447-470.

Hayirli, A. (2006). The role of exogenous insulin in the complex of hepatic lipidoses and ketosis associated with insulin resistance phenomenon in postpartum dairy cattle. *Vet Res Commun*, 30(7), 749-774.

Herzog, K. (2001). Versuche zur pankreatischen Insulinresponse von trockenstehenden und laktierenden Kühen sowie Kühen mit Leberverfettung mittels intravenösem Glucosetoleranztest und hyperglykämischer Clampertechnik. Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover.

Hurnik, J. F., King, G. J., & Robertson, H. A. (1975). Estrous and related behaviour in postpartum Holstein cows. *Applied Animal Ethology*, 2(1), 55-68.

Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos, P. L. A. M., van der Weijden, G. C., & Hogeveen, H. (2010). Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology*, 74(5), 835-846.

Janowitz, U. (2009). Fruchtbarkeitsstörungen und hormonelle Zyklussteuerung. Paper presented at the Milchrindtag Brandenburg.

Jung, M. (2009). Brunstbeobachtung: Welche Möglichkeiten bieten Technische Hilfsmittel? Paper presented at the Milchrindtag Brandenburg 01/2009, Brandenburg.

Lopez-Gatius, F., Santolaria, P., Mundet, I., & Yaniz, J. L. (2005). Walking activity at estrus and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology*, 63(5), 1419-1429.

Lopez, H., Satter, L. D., & Wiltbank, M. C. (2004). Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. *Anim Reprod Sci*, 81(3–4), 209-223.

Lucy, M. C. (2001). Reproductive Loss in High-Producing Dairy Cattle: Where Will It End? *J Dairy Sci*, 84(6), 1277-1293.

Lyimo, Z. C., Nielen, M., Ouweltjes, W., Kruij, T. A. M., & Eerdenburg, F. J. C. M. v. (2000). Relationship among estradiol, cortisol and intensity of estrous behavior in dairy cattle. *Theriogenology*, 53(9), 1783-1795.

Mazrier, H., Tal, S., Aizinbud, E., & Bargai, U. (2006). A field investigation of the use of the pedometer for the early detection of lameness in cattle. *Can Vet J*, 47(9), 883-886.

McArt, J. A. A., Nydam, D. V., & Oetzel, G. R. (2012). Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *J Dairy Sci*, 95(9), 5056-5066.

McLaren, C. J., Lissemore, K. D., Duffield, T. F., Leslie, K. E., Kelton, D. F., & Grexton, B. (2006). The relationship between herd level disease incidence and a return over feed index in Ontario dairy herds. *Can Vet J*, 47(8), 767-773.

Meyer, H. (1989). *Enzymimmunologische Meßverfahren zur Hormonanalytik*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.

Nebel, R. L., Dransfield, M. G., Jobst, S. M., & Bame, J. H. (2000). Automated electronic systems for the detection of oestrus and timing of AI in cattle. *Anim Reprod Sci*, 60-61, 713-723.

Nuti, L. C., Wentworth, B. C., Karavolas, H. J., Tyler, W. J., & Ginther, O. J. (1975). Comparison of radioimmunoassay and gas-liquid chromatography analyses of progesterone concentrations in cow's milk. *Proc Soc Exp Biol Med*, 149(4), 877-880.

Ospina, P., Nydam, D., Stokol, T., & Overton, T. (2010a). Association between the proportion of sampled transition cows with increased nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate and disease incidence, pregnancy rate, and milk production at the herd level. *J Dairy Sci*, 93(8), 3595-3601.

Ospina, P., Nydam, D., Stokol, T., & Overton, T. (2010b). Associations of elevated nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the northeastern United States. *J Dairy Sci*, 93(4), 1596-1603.

Pennington, J. A., Spahr, S. L., & Lodge, J. R. (1981). Influences on progesterone concentration in bovine milk. *J Dairy Sci*, 64(2), 259-266.

Platz, S., Ahrens, F., Bendel, J., Meyer, H. H., & Erhard, M. H. (2008). What happens with cow behavior when replacing concrete slatted floor by rubber coating: a case study. *J Dairy Sci*, 91(3), 999-1004.

R Development Core Team. (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. Retrieved from <http://www.R-project.org>

Rajala-Schultz, P., Gröhn, Y., & McCulloch, C. (1999). Effects of milk fever, ketosis, and lameness on milk yield in dairy cows. *Journal of dairy Science*, 82(2), 288-294.

Reader, J. D., Green, M. J., Kaler, J., Mason, S. A., & Green, L. E. (2011). Effect of mobility score on milk yield and activity in dairy cattle. *J Dairy Sci*, 94(10), 5045-5052.

Roche, J. F. (2006). The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Anim Reprod Sci*, 96(3-4), 282-296.

Rockette-Wagner, B., Edelstein, S., Venditti, E. M., Reddy, D., Bray, G. A., Carrion-Petersen, M. L., Dabelea, D., Delahanty, L. M., Florez, H., Franks, P. W., Montez, M. G., Rubin, R., & Kriska, A. M. (2015). The impact of lifestyle intervention on sedentary time in individuals at high risk of diabetes. *Diabetologia*, 58(6), 1198-1202.

Roelofs, J., Lopez-Gatius, F., Hunter, R. H., van Eerdenburg, F. J., & Hanzen, C. (2010). When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, 74(3), 327-344.

Roelofs, J. B., van Eerdenburg, F. J., Soede, N. M., & Kemp, B. (2005a). Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology*, 64(8), 1690-1703.

Roelofs, J. B., van Eerdenburg, F. J. C. M., Soede, N. M., & Kemp, B. (2005b). Various behavioral signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology*, 63(5), 1366-1377.

Rukkwamsuk, T., Kruip, T. A., & Wensing, T. (1999). Relationship between overfeeding and overconditioning in the dry period and the problems of high producing dairy cows during the postparturient period. *Vet Q*, 21(3), 71-77.

Rutherford, A. J., Oikonomou, G., & Smith, R. F. (2016). The effect of subclinical ketosis on activity at estrus and reproductive performance in dairy cattle. *J Dairy Sci*, 99(6), 4808-4815.

Sakatani, M., Balboula, A. Z., Yamanaka, K., & Takahashi, M. (2012). Effect of summer heat environment on body temperature, estrous cycles and blood antioxidant levels in Japanese Black cow. *Anim Sci J*, 83(5), 394-402.

Sano, H., Nakai, M., Kondo, T., & Terashima, Y. (1991). Insulin responsiveness to glucose and tissue responsiveness to insulin in lactating, pregnant, and nonpregnant, nonlactating beef cows. *J Anim Sci*, 69(3), 1122-1127.

Simensen, E., Halse, K., Gillund, P., & Lutnaes, B. (1990). Ketosis treatment and milk yield in dairy cows related to milk acetoacetate levels. *Acta Vet Scand*, 31(4), 433-440.

Squires, E. J. (2010). *Applied animal endocrinology*: CABI.

Stangaferro, M. L., Wijma, R., Caixeta, L. S., Al-Abri, M. A., & Giordano, J. O. (2016a). Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *J Dairy Sci*, 99(9), 7395-7410.

Stangaferro, M. L., Wijma, R., Caixeta, L. S., Al-Abri, M. A., & Giordano, J. O. (2016b). Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part II. Mastitis. *J Dairy Sci*, 99(9), 7411-7421.

Stangaferro, M. L., Wijma, R., Caixeta, L. S., Al-Abri, M. A., & Giordano, J. O. (2016c). Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part III. Metritis. *J Dairy Sci*, 99(9), 7422-7433.

Staufenbiel, R. (2004). Stoffwechselerkrankungen. In W. Busch, W. Methling & W. M. Amselgruber (Eds.), *Tiergesundheits- und Tierkrankheitslehre* (pp. 334): Parey.

Toplak, H., Hoppichler, F., Wascher, T. C., Schindler, K., & Ludvik, B. (2016). [Obesity and type 2 diabetes]. *Wien Klin Wochenschr*, 128 Suppl 2, S196-200.

Van Eerdenburg, F. J., Loeffler, H. S., & van Vliet, J. H. (1996). Detection of oestrus in dairy cows: a new approach to an old problem. *Vet Q*, 18(2), 52-54.

Van Vliet, J. H., & Van Eerdenburg, F. J. C. M. (1996). Sexual activities and oestrus detection in lactating Holstein cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 50(1), 57-69.

Vernon, R., & Sasaki, S. (1991). Control of responsiveness of tissues to hormones. *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants* (pp. 155-182): Academic Press San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto.

Von Engelhardt, W., & Breves, G. (2010). *Physiologie der Haustiere (Physiology of Companion Animals)*. Stuttgart: MVS Medizinverlag Stuttgart GmbH & Co. KG, 462 und 635.

Walker, S. L., Smith, R. F., Jones, D. N., Routly, J. E., & Dobson, H. (2008). Chronic stress, hormone profiles and estrus intensity in dairy cattle. *Horm Behav*, 53(3), 493-501.

Walker, S. L., Smith, R. F., Routly, J. E., Jones, D. N., Morris, M. J., & Dobson, H. (2008). Lameness, activity time-budgets, and estrus expression in dairy cattle. *J Dairy Sci*, 91(12), 4552-4559.

IX. DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Zerbe für sein in mich gesetztes Vertrauen und die Unterstützung bei dieser Arbeit bedanken.

Weiterhin gilt großer Dank meinem Betreuer Dr. Rainer Martin, der durch sein praktisch orientiertes Denken und Angehen der einzelnen Arbeitsbereiche maßgeblich zu einer zeitnahen Umsetzung der Ideen und letztendlich Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen hat.

Vielen Dank an Oliver Dietrich und Robert Wagner, die mich in technischen Fragen so großartig unterstützt haben!

Ein großes Dankeschön geht ebenfalls an die Schaumann-Stiftung für die großzügige finanzielle Unterstützung, die es mir ermöglichte, mich voll und ganz auf dieses Projekt zu konzentrieren.

Tausend Dank an das gesamte Laborteam der Klinik und hier vor allem an Sandra Kirsch, die mich bei der Auswertung der zig Tausend Milchproben so tatkräftig unterstützt hat. Danke auch an Frank Weber für die Sofort-Hilfe bei technischen Pannen, für die Entwicklungsarbeit zur Vereinfachung der Dateneingabe und für all die netten Diskussionen und hilfreichen Tipps. Die Laborarbeit war, wenn auch Anfangs nicht erwartet, für mich einer der schönsten und nettesten Aspekte dieser Arbeit. Vielen Dank!

Einen Herzlichen Dank natürlich auch an Rita, die mir in so mancher hektischen Zeit noch ein Plätzchen in Herrn Zerbes Terminkalender verschaffen konnte und mich bei allen auftretenden Problemen sofort unterstützt hat.

Danke an alle Mitarbeiter der Klinik, vor allem meine Doktorandenkollegen! Danke für die vielen netten und lustigen Gespräche und die lehrreiche Zeit in der Klinik.

Vielen Dank an Anna Rieger für die große Hilfe in allen statistischen Angelegenheiten.

Uneingeschränkter Dank gilt meiner ganzen Familie, die mich nicht nur während des Studiums, sondern auch in der Zeit danach immer unterstützt hat. Danke fürs Mut-Machen, Trost Spenden und die Freiheit, immer meinen Interessen folgen zu können und dabei immer auf eure volle Unterstützung zählen zu dürfen. DANKE Damian, für deine fortwährende Unterstützung und dein stetes Vertrauen in mich- du hattest es nicht immer leicht 😊.

Zu guter Letzt möchte ich mich von ganzem Herzen bei den wohl wichtigsten Personen dieses Projekts bedanken: Liebe Familie Seitz, ohne das zur Verfügung-Stellen eures Betriebs und eure Unterstützung wäre diese Arbeit nie zustande gekommen. Vielen Dank für die tatkräftige Hilfe bei allen handwerklichen Problemen, die Entnahme der unzähligen Milchproben, für die netten und aufbauenden Worte, wenn´s mal nicht so geklappt hat und für das Stellung halten während meines Urlaubs- kurz: DANKE für das liebe und offene Aufnehmen auf euren Hof und eure Unterstützung! Ihr habt mir den praktischen Teil meiner Arbeit zu einer schönen Zeit gemacht, an die ich mich sicher noch lange und gerne erinnern werde!