

Aus dem Friedrich-Loeffler-Institut
eingereicht über das
Institut für Mikrobiologie und Tierseuchen
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Erkennen des Beginns der klinischen Mastitis
durch Auswertung der täglichen Aktivitäts- und
Milchmengendaten von Milchkühen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Susann Weise
Tierärztin aus Guben

Berlin 2021
Journal-Nr.: 4228

Aus dem Friedrich-Loeffler-Institut
eingereicht über das
Institut für Mikrobiologie und Tierseuchen
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Erkennen des Beginns der klinischen Mastitis durch
Auswertung der täglichen Aktivitäts- und
Milchmengendaten von Milchkühen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Susann Weise
Tierärztin
aus Guben

Berlin 2021
Journal Nr. 4228

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek
Erster Gutachter: Prof. Dr. Franz J. Conraths
Zweiter Gutachter: PD Dr. Bernd-Alois Tenhagen
Dritter Gutachter: Prof. Dr. Marc Drillich

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

dairy cows, mastitis, lactation, data analysis, data collection, dairy farming,
dairy engineering, performance recording

Tag der Promotion: 26.02.2021

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<https://dnb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-96729-104-9

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2021

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2021

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Inhaltsverzeichnis

2. Abkürzungsverzeichnis	V
3. Einleitung	1
4. Literaturübersicht.....	2
4.1 Digitalisierte Landwirtschaft – Bauernhof 4.0	2
4.2 Laktationskurve bei Milchkühen	3
4.2.1 Die Biologie der Laktationskurve	3
4.2.2 Verlauf der Laktationskurve	4
4.2.3 Betriebsspezifische Laktationskurven.....	5
4.3 Precision Dairy Farming	6
4.3.1 Aktivitätssensoren bei Milchkühen.....	8
4.3.2 Herdenmanagementprogramme für Milchkühe	9
4.4 Tagesaktivitäten - „Time budget“.....	10
4.5 Syndromic Surveillance	13
4.6 Mastitis	15
4.6.1 Milchmengenreduktion vor der Mastitis	18
4.6.2 Aktivitätsänderung durch Mastitis	19
5. Material und Methoden	21
5.1 Betriebe und technische Voraussetzungen	21
5.2 DairyComp305 – Herdenmanagementsoftware	25
5.3 Aktivitätsdaten	26
5.4 Zusammenführung der Daten	27
5.5 Falldefinition Mastitis	29
5.6 Verwendete Software	29
5.7 Definitionen	30
5.7.1 Bestimmung der Mastitisphase.....	30
5.7.2 Bestimmung der Kontrollphasen.....	30
5.7.3 Relativer Vergleich der 5 Tage vor Tag 0 zu einem tierindividuellen Vergleichszeitraum	30

5.8	Darstellungen	31
5.8.1	Darstellung der absoluten Werte von Milchmenge und Aktivitätsvariablen	31
5.8.2	Darstellung der relativen Differenzen der Tage -5 bis -1	31
5.9	Bestimmung des kritischen Zeitpunktes	31
5.10	Auswahl der Aktivitätsvariablen für weitere Analysen	31
5.11	Logistische Regression prozentualer Differenzen am Tag 2 vor dem Mastitis-Ereignis.....	32
5.12	Sensitivitäts-Spezifitätsanalyse unter Nutzung der prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Liegezeit und Motion Index.....	33
5.12.1	Verknüpfung der prozentualen Abweichungen der Einzelvariablen und der Variablenkombination	35
5.13	Prozentuale Abweichungen der Mastitisphasen im Vergleich zu den Kontrollphasen in Milchmenge, Liegezeit und Motion Index nach Zuordnung des Milchleistungslevels und der Gruppenaktivität	35
5.13.1	Erzeugung des Erwartungswertes für die tägliche Milchmenge	36
5.13.2	Erzeugung des Erwartungswertes für die Aktivität	38
5.13.3	Darstellung der adjustierten prozentualen Abweichungen	40
5.13.4	Logistische Regression der adjustierten prozentualen Differenzen.....	41
5.13.5	Erzeugung der Grenzwertoptimierungskurven (ROC-Kurven) der adjustierten prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit	41
6.	Ergebnisse	42
6.1	Erzeugte Datenbank.....	42
6.2	Datenbeschreibung	43
6.2.1	Tankmilchmenge im Beobachtungszeitraum	43
6.2.2	Aktivitäten im Beobachtungszeitraum.....	45
6.2.3	Mastitiden im Beobachtungszeitraum	47
6.2.4	Datennutzung für die Analysen der Mastitiden	49
6.3	Auswahl des Zeitpunktes und der Variablen	50

6.4	Logistische Regression	54
6.4.1	Betrieb 1	54
6.4.2	Betrieb 2	55
6.5	Sensitivität und Spezifität der prozentualen Abweichungen in der Milchmenge, der Liegezeit und des Motion Index als Grenzwerte	56
6.5.1	Grenzwertoptimierungskurven (ROC-Kurven)	56
6.5.2	Sensitivität und Spezifität nach Verknüpfung der prozentualen Abweichungen der Einzelvariablen und der Variablenkombination als Grenzwerte	66
6.6	Prozentuale Abweichungen der Mastitisphasen im Vergleich zu den Kontrollphasen in Milchmenge, Liegezeit und Motion Index nach Zuordnung des Milchleistungslevels und der Gruppenaktivität	68
6.6.1	Herdenlaktationskurve für Betrieb 2	68
6.6.2	Adjustierte prozentuale Abweichungen von Mastitisphasen und Kontrollphasen	69
6.6.3	Logistische Regression der adjustierten prozentualen Abweichungen der Milchmenge (an die Laktationskurve) und der Aktivität (an die Gruppenaktivität) am Tag zwei vor dem dokumentierten Mastitis-Ereignis	73
6.6.4	Grenzwertoptimierungskurven (ROC-Kurven) der adjustierten prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit	75
6.7	Vergleich der einfachen Methode und der adjustierten Methode an Laktationskurve und Gruppenaktivität im Betrieb 2	78
7.	Diskussion	80
7.1	Genutzte Daten	80
7.2	Auswertungen der Daten hinsichtlich Mastitis	84
7.3	Ausblick	87
8.	Zusammenfassung	89
9.	Summary	91
10.	Literaturverzeichnis	93
11.	Abbildungsverzeichnis	101
12.	Tabellenverzeichnis	108

13. Anhang	111
13.1 Beurteilte Variablen für die Bestimmung des Vergleichszeitraums	111
13.1.1 Betrieb 1 (BNR1).....	111
13.1.2 Betrieb 2 (BNR2).....	117
13.2 Relative Werte der Tage 5 bis 1 vor der Mastitis im Vergleich mit relativen Werten ohne die Entwicklung einer Mastitis	123
13.2.1 Betrieb 1 (BNR1).....	123
13.2.2 Betrieb 2 (BNR2).....	129
13.3 Logistisches Regressionsmodell unter Berücksichtigung der Laktationsnummer..	135
13.3.1 Betrieb 1.....	135
13.3.2 Betrieb 2.....	135
13.4 Beispielberechnung des Grenzwertes der Variablen aus dem optimalen Punkt nach YOUDEN auf der ROC-Kurve	136
13.4.1 Betrieb 1.....	136
13.4.2 Betrieb 2.....	137
13.5 Beispielberechnung des Grenzwertes der Variablen aus dem optimalen Punkt nach YOUDEN auf der ROC-Kurve (adjustierte Werte)	138
13.5.1 Prozentualer Milchmengenabfall am Tag -2 im Betrieb 2	138
14. Publikationsverzeichnis	139
15. Danksagung	140
16. Finanzierung	141
17. Selbständigkeitserklärung	142

2. Abkürzungsverzeichnis

AIC	Akaike Information Criterion
AUC	Area Under Curve
BNR 1	Betrieb 1
BNR 2	Betrieb 2
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CI	Konfidenzintervall (Confidence interval)
d.h.	das heißt
DC305	DairyComp 305
DIM	Days in milk, Tage in Laktation, Tage seit der letzten Kalbung
EVENT	Ereignis, das einem Tier zugeordnet wird (bspw. Mastitis, Trächtigkeitsuntersuchung)
evt.	eventuell
ID	Identifikationsnummer; Stallnummer der Tiere
IQA	Interquartilsabstand
kg	Kilogramm
LACT	Laktationsnummer
LyT	Liegezeit
LyTdec	prozentuale Abfall der Liegezeit
MI	Motion Index
MIdec	prozentuale Abfall des Motion Index
Milk	Milchmenge
Milkdec	prozentuale Abfall der Milchmenge
n	Anzahl
NA	not available; nicht verfügbar

Abkürzungsverzeichnis

OR	Odds Ratio; Chancenverhältnis
R	R Cran
r	Korrelationskoeffizient
ROC	Receiver Operating Characteristics; Grenzwertoptimierungskurve
SyS	Syndromic Surveillance System
u.a.	unter anderem
VAS	Valley Agricultural Software
vs.	Versus

3. Einleitung

Digitalisierung und Informationstechnik werden in der Milchviehhaltung in Zukunft vermehrt ihren Einsatz finden. Wachsende Kuhherden und immer geringere Betreuungsschlüssel in diesem Arbeitsfeld lassen die Herdenmanager mit großen Erwartungen auf die Digitalisierung schauen. Digitalisierte Informationen über die Herde und der Einzeltiere sollen eine Hilfe in der Organisation des modernen Herdenmanagements werden.

Precision Dairy Farming ist die Bezeichnung für den Einsatz von Technik und Digitalisierung in der Milchviehhaltung. Hierunter wird das Anbringen oder Einführen von Sensoren an oder in verschiedenste Körperteile sowie in die Umgebung von Kühen bezeichnet. Diese Sensoren messen Werte und die dazugehörigen Algorithmen erzeugen auswertbare Informationen über Einzeltiere, sowie ganze Kuhherden. In einem weiteren Schritt geht es darum, Interoperabilität verschiedener Systeme herzustellen. Momentan ist die fehlende Medienbruchfreiheit eine Hürde, die sich in einer mangelnden Interaktion verschiedener Systeme zeigt. In der vorliegenden Dissertation wurde diese Hürde der Interoperabilität für drei Datenquellen überwunden, indem die Daten in einer eigens für das Projekt angelegten Datenbank zusammengeführt wurden. Konkret wurden die im Jahre 2016 und 2017 gemessenen Milchmengen-, Aktivitäts- und Tierdaten von zwei Kuhherden im Osten Deutschlands gesammelt, zusammengeführt und auf Einzeltierebene ausgewertet.

In dieser Arbeit diente ein Beschleunigungssensor, der an den Hinterbeinen der Kühe fixiert war und dessen Daten primär zur Brunsterkennung genutzt wurden, zur Datenerzeugung. Der Beschleunigungssensor lieferte Daten zu Steh- und Liegezeiten und deren Wechsel, sowie zur Anzahl der Schritte und dem Bewegungsindex (*Motion Index*) des Einzeltieres. Eine weitere Datenquelle war das Melkstandsystem, welches für jede Melkzeit die ermolzene Milchmenge pro Tier ermittelte. Weitere Informationen über die Tiere standen über ein Herdenmanagementsystem zur Verfügung.

Das Ziel eines *Syndromic Surveillance Systems* ist es, Daten zur Erkennung von Syndromen und zur Überwachung von Populationen zu nutzen, die bereits für andere Zwecke, wie hier zur Brunsterkennung oder der Erzeugung von täglichen Milchminderleistungslisten, erzeugt werden.

Die hier im Weiteren präsentierten Auswertungen erfolgten mit dem Schwerpunkt auf dem Krankheitsereignis der klinischen Mastitis. Dieses wurde hinsichtlich dessen Ausprägung in Aktivitäts- und Milchmengendaten untersucht. Dabei sollten die Tage vor dem Eintreten der klinischen Mastitis betrachtet werden, um zu prüfen, ob und gegebenenfalls wie die Daten zur Früherkennung eines solchen Krankheitsereignisses genutzt werden können.

4. Literaturübersicht

4.1 Digitalisierte Landwirtschaft – Bauernhof 4.0

Die moderne Landwirtschaft erfährt mit der voranschreitenden Digitalisierung eine Wende im Management, die im deutschsprachigen Raum „Bauernhof 4.0“ genannt wird. Angelehnt an die Industrie 4.0, die nach Dampfmaschine, Fließband, Elektronik und IT nun intelligente Fabriken hervorbringt. Einzelne Teilbereiche sind digital miteinander verzahnt und sollen effizient zusammenarbeiten (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2018, Stumpenhausen, Bernhardt et al. 2018). Der Mensch hat darin eine weitestgehend überwachende Funktion. Ziel ist es, die Effizienz zu erhöhen und nicht die Kapazität (FarmFacts GmbH 2018). Bei stetiger Knappheit von Ressourcen, bspw. durch Reduzierung der nutzbaren Fläche und der verfügbaren Wassermenge (Britt, Cushman et al. 2018), wird in der optimierten Landwirtschaft eine Möglichkeit gesehen, nachhaltig die kontinuierlich wachsende Weltbevölkerung zu ernähren (Berckmans 2014).

Folgende Begrifflichkeiten sollen daher an dieser Stelle kurz erläutert werden:

Precision Farming ist das Sammeln von Daten durch Sensoren in verschiedenen Teilbereichen der Land- und Tierwirtschaft. Es ermöglicht die zielgerichtete Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen durch sensorgestützte Beurteilung des Bodens und gezielter Steuerung landwirtschaftlicher Maschinen. *Precision Dairy Farming* (siehe Kapitel 4.3) als automatisierte, sensorgestützte Tierbeobachtung im Milchviehbereich wird *Precision Farming* zugeordnet. *Precision Farming* wird als Vorstufe des *Smart Farming* gesehen (Griepentrog, 2015).

Smart Farming beruht darauf, dass erzeugte und gesammelte Daten aus verschiedenen Bereichen eines landwirtschaftlichen Betriebes zentral, eventuell cloudbasiert zusammengeführt und gemeinsam verarbeitet werden. Darunter wird die Umsetzung von intelligenten, selbständigen Lösungen auf Basis der integrierten Datenverarbeitung verstanden (Stumpenhausen, Bernhardt et al. 2018) (Abbildung 1). Dabei ist der Übergang von der alleinigen Datenlieferung zu eigenständigem Handeln durch die Technik auf Grundlage von Datenverarbeitung und -verknüpfung fließend.

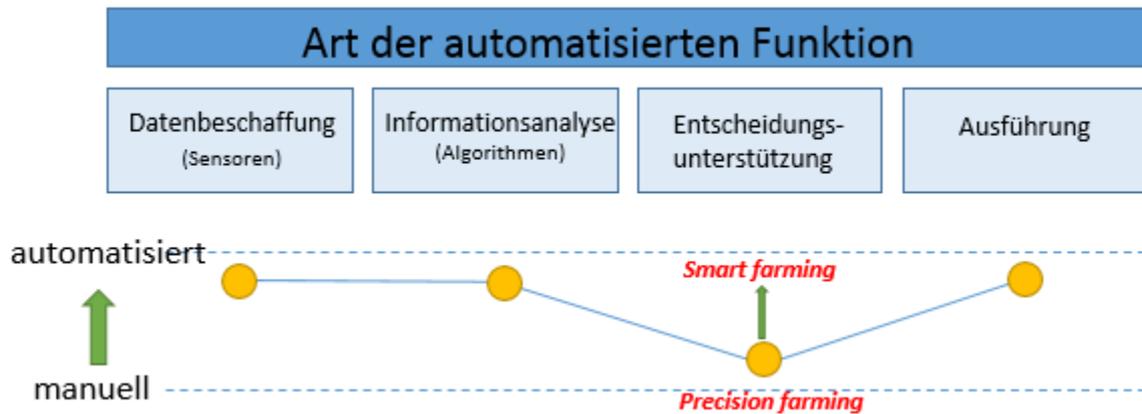


Abbildung 1. Die Automatisierung der Handlungsentscheidungen als Ergebnis der Datenauswertung ist der Schritt von Precision Farming zu Smart Farming modifiziert nach Parasuraman, Sheridan et al. (2000) und Griepentrog (2015)

Von jüngeren landwirtschaftlichen Betriebsleitern wird die eigene Digitalkompetenz immer besser eingeschätzt (Schultz 2018). Eine neue Generation an Landwirten und Tierhaltern wächst heran. Zimmermann, Martin et al. (2016) schilderten Folgendes: „Steigende Personalkosten sowie der Anspruch auf Arbeitskomfort und geregelte Freizeit gerade jüngerer Landwirte laufen einem angemessenen Monitoring großer Tierzahlen allerdings entgegen.“ Potential für professionelle Tierüberwachung erhofft man sich im Einsatz von Sensortechnik. Caja, Castro-Costa et al. (2016) erwähnen jedoch, dass der Einsatz von Robotern, wie Melkroboter oder Fütterungsroboter weniger zur Arbeitsplatzreduktion geführt hat, als zu einem flexibleren Arbeitsalltag und Verlagerung der Arbeit in den Managementbereich.

4.2 Laktationskurve bei Milchkühen

4.2.1 Die Biologie der Laktationskurve

Der Verlauf der Laktationskurve und somit der Milchproduktion über eine Zeitspanne, auch als Laktation bezeichnet, wird bei Pollott (2000) durch das Zusammenspiel der Zellproliferation des Euterparenchyms, der Zelldifferenzierung der sezernierenden Zellen und dem Zelluntergang als Folge programmierten Zelltods (Apoptose) erklärt (Abbildung 2).

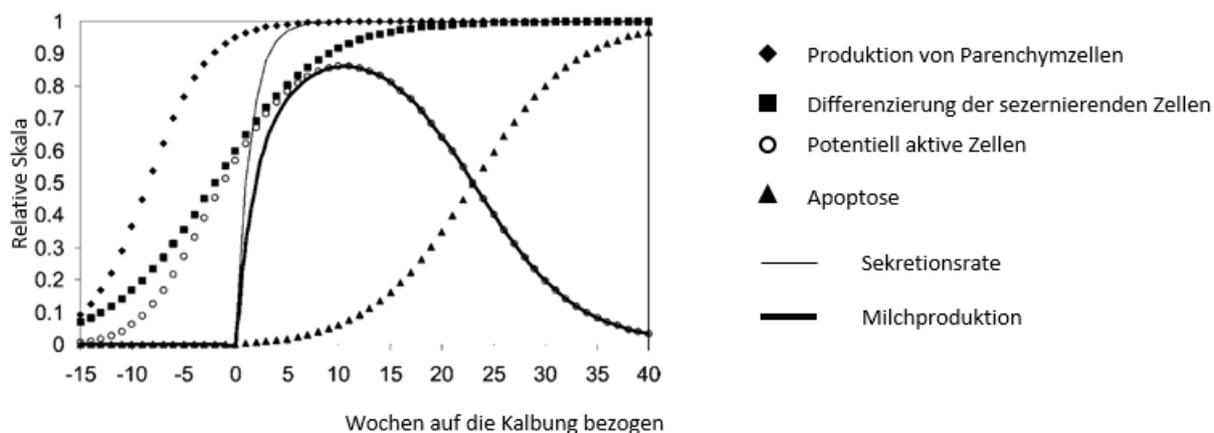


Abbildung 2. Schematisches Diagramm der Biologie der Milchdrüse während der Trächtigkeit und den ersten 40 Wochen der Laktation nach Pollott (2000). Während die Produktion der Parenchymzellen und die Differenzierung der sezernierenden Zellen vor der Kalbung beginnen, setzt die Milchproduktion mit der Kalbung ein.

Die Zellproliferation beginnt bereits während der ersten Phase der Trächtigkeit, steigt exponentiell mit der Kalbung und erreicht kurze Zeit später ihr Maximum (Knight und Wilde 1993).

Eine erhöhte Zelldifferenzierung liegt um den Zeitpunkt der Kalbung, in der Initialphase der Laktation bis hin zum Laktationspeak vor (Dijkstra, France et al. 1997). Die Apoptose von sezernierenden Zellen beginnt mit oder kurz nach der Kalbung (Wilde, Quarrie et al. 1997).

Nach Pollott (2000) haben die Fütterung und der Beginn einer erneuten Trächtigkeit, sowie Genetik maßgebliche Einflüsse auf Proliferation, Sekretion und Zelltod. Äußere Einflüsse, wie Kalbesaison, Wetter und Klima können ebenfalls die Milchproduktion beeinflussen (Dijkstra, Lopez et al. 2010).

4.2.2 Verlauf der Laktationskurve

Die Laktationskurve (Abbildung 3) des Milchrindes zeigt nach der Kalbung einen Anstieg, bis ein Maximum zwischen dem 30. bis 50. Tag in Milch (Otwinowska-Mindur, Ptak et al. 2013) erreicht ist. Nach diesem Peak folgt ein kontinuierlicher Abfall der Laktationskurve bis zum Trockenstehen (Macciotta, Dimauro et al. 2011). Duque, Casellas et al. (2018) definieren die Persistenz als eine sechsmonatige Zeitspanne und als den prozentualen Anteil der Milchproduktion in der 27. Woche nach dem Peak verglichen zur Milchleistung zwei Wochen nach dem Peak. Sie ist ein Maß für die Fähigkeit, die Milchmenge über den Zeitraum nach dem Peak bis zum Trockenstehen auf einem bestimmten Niveau zu halten. Nach 6 - 8 Wochen des Trockenstehens (Wilde, Addey et al. 1997) beginnt mit einer erneuten Kalbung die nächste Laktation und die Milchproduktion folgt erneut dem Verlauf der Laktationskurve.

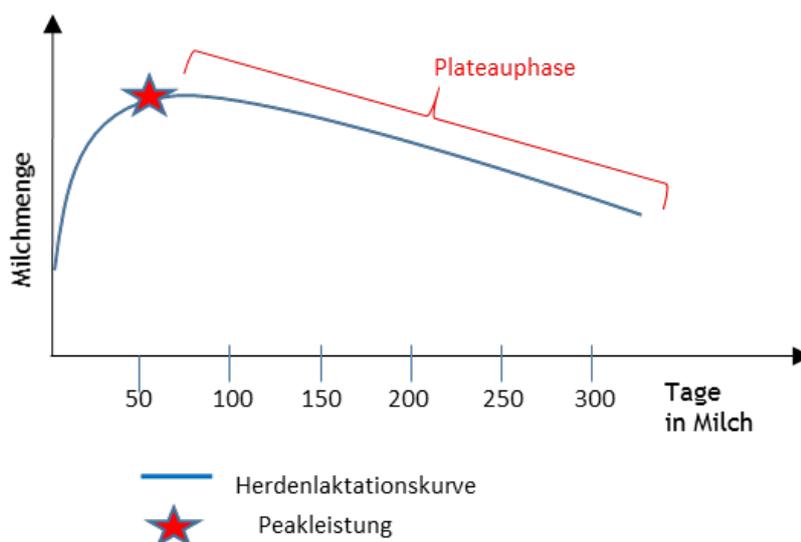


Abbildung 3. Laktationskurvenverlauf der Milchkuherde. Die durchschnittliche tägliche Milchmenge steigt schnell am Beginn der milchgebenden Phase an, erreicht die Peakleistung um den 50. Tag in Milch und fällt kontinuierlich (Plateauphase) bis zum Zeitpunkt des Trockenstehens ab.

Mit jeder Geburt beginnt für das Muttertier eine neue Laktationsphase. Die Laktationslänge ist die Anzahl der Tage von der Kalbung bis zum Trockenstelldatum (Duque, Casellas et al. 2018). Durch die züchterische Erhöhung der Persistenz werden auch verlängerte Laktationen in Betracht gezogen (Lehmann, Fadel et al. 2016).

Der Verlauf der Laktationskurve ist maßgeblich durch die Anzahl der Trächtigkeiten bzw. Laktationen (Laktationsnummer) geprägt. Die Laktationskurve der erstlaktierenden Kühe zeigt eine geringere Peakleistung und eine höhere Persistenz als in den späteren Laktationen (Scott, Yandell et al. 1996, Dematawewa, Pearson et al. 2007, Macciotta, Dimauro et al. 2011, Duque, Casellas et al. 2018). Der größte Produktionsanstieg ist , aufgrund des Zellanstiegs im Drüsengewebe des Euters zwischen erster und zweiter Laktation zu verzeichnen (Pollott 2000). Die Laktationskurve der zweiten Laktation liegt zwischen den Kurven der ersten Laktation und den Kurven ab der dritten Laktation. Die höchsten Laktationsleistungen werden ab der dritten Laktation erreicht. Die Laktationskurve der dritten Laktation zeigt nur geringe Abweichungen von den Kurven späterer Laktationen (Siebert und Pallauf 2010).

4.2.3 Betriebsspezifische Laktationskurven

Die Modellierung der herdenspezifischen und tierindividuellen Laktationskurve ist hilfreich für die Planung der Fütterung, der Züchtungsstrategie oder für ökonomische Management-Entscheidungen. Die herdenspezifischen und tierindividuellen Laktationskurven bieten

wichtige Informationen über die biologische oder ökonomische Entwicklung des Einzeltiers oder der Herde (Gradiz, Alvarado et al. 2009, Ghavi Hossein-Zadeh 2019). So können zeitabhängige Entscheidungen anhand von Merkmalen der Laktationskurven getroffen werden. Die Etablierung von Fütterungsgruppen entsprechend der Laktationsphase und des Leistungsniveaus ermöglicht es, die Gruppenmitglieder adäquat nach ihren jeweiligen Bedürfnissen zu versorgen und Kosten zu sparen (Tozer und Huffaker 1999).

In der Vergangenheit wurden bereits zahlreiche Modelle zur Laktationskurvenbeschreibung entwickelt. Als Datengrundlage dienten hier Informationen zu einzelnen Gemelke, die während der monatlichen Milchleistungsprüfung erhoben wurden. Um eine entsprechende Datenmenge zu erhalten, wurden Gemelke von einer großen Anzahl an Betrieben und über längere Zeiträume von mehreren Jahren gesammelt. So verwendeten Siebert und Pallauf (2010) 104.167 einzelne Milchleistungsprüfungen von 52 hessischen Milchviehbetrieben in der Zeit zwischen 2004 und 2007 zur Modellierung der Laktationskurvenverläufe.

Auf Grundlage solcher monatlichen Messungen entstanden Datensätze, die trotz großer Erfassungszeiträume und hoher Tierzahlen dennoch für das Einzeltier lückenhaft waren. Die erhobenen Milchmengen dienten jedoch zur Modellierung von Kurvenverläufen. Zahlreiche Laktationskurvenmodelle wurden darauf basierend entwickelt, wobei das Modell nach Wood (1967) viel zitiert wird und eines der ältesten Laktationskurvenmodelle ist.

Bei Vorliegen der täglichen Milchmengendaten, wie in dieser Arbeit gegeben, verdichten sich die Datenpunkte je Beobachtungszeitraum. Analysen auf dieser Datengrundlage ermöglichen die präzisere Darstellung des Verlaufs der Laktationskurve des Einzeltieres und gestatten es, kurzzeitige Reduktionen darzustellen. Herdenlaktationskurven stellen betriebsspezifische Besonderheiten dar (Abb.33), die in einer Modellierung nach Wood (1967) keine Berücksichtigung finden.

Des Weiteren ist es so möglich, tagesaktuelle Abweichungen als Indikator für Krankheiten zu testen.

4.3 Precision Dairy Farming

Nach Bewley (2010) ist *Precision Dairy Farming* der Einsatz von Technologie zur Messung von Indikatoren für Physiologie, Verhalten und Produktion auf individueller Tierebene zur Verbesserung von Managementstrategien und der Beurteilung der Leistung eines Milchviehbetriebes. Eastwood, Chapman et al. (2012) sehen in *Precision Dairy Farming* die Verbesserung der Managementstrategien zur Optimierung des landwirtschaftlichen Betriebes hinsichtlich ökonomischer, sozialer und umweltassoziierter Aspekte. Für das *Precision Dairy Farming* drängen eine Vielzahl an Sensoren aus anderen Industriegebieten

in den Kuhstall und versprechen bei einer immer geringeren Verfügbarkeit von qualifizierten Mitarbeitern ein optimales Management und die Versorgung von wachsenden Rinderbeständen (Bewley 2010). Integrierte Sensoren, Roboter und Automatisierungen werde zukünftig eine Vielzahl personengebundener Arbeiten in den Ställen ersetzen (Britt, Cushman et al. 2018).

Folgende und weitere mess- und überwachbare tierassoziierten Daten werden bereits verwendet bzw. sind denkbar:

- Milchmenge jeder Melkung
- *Body condition score*
- Gewicht
- Atemfrequenz
- Wiederkauaktivität
- Kauschläge
- pH-Wert im Pansen
- Wasseraufnahme
- Körpertemperatur
- Futteraufnahme
- Herzfrequenz
- Tierposition/ Lokalisation
- Liege- und Stehverhalten
- Brunst

Rutten, Velthuis et al. (2013) gruppieren die Sensoren in zwei Kategorien. Zum einen handelt es sich um Sensoren, die in der Umgebung der Tiere installiert sind, zum anderen um solche, die an den Tieren befestigt sind. Diese Sensoren können an Körperstellen, wie bspw. an den Beinen, am Hals, an der Ohrmuschel, im Pansen, am Schwanz oder in der Vagina angebracht werden. Automatische Melksysteme bieten die Möglichkeiten, zusätzliche Technik zu integrieren, die Messwerte bei Passage der Tiere durch den Melkroboter erhebt (bspw. Schätzung der Zellzahl mittels Messung der elektrischen Leitfähigkeit direkt während des Milchflusses) (Rutten, Velthuis et al. 2013).

Sensortechnik im Kuhstall ist als zusätzliches Hilfsmittel zu verstehen. Die erzeugten Informationen bedürfen einer Bewertung durch den Tierhalter und dienen als Unterstützung bei der Entscheidungsfindung (Pietersma, Lacroix et al. 1998, Rutten, Velthuis et al. 2013). Das Bewusstsein für die Stärken und Grenzen der erzeugten Sensordaten als Überwachungswerkzeug bietet dennoch Potenzial, die Milchviehhaltung in den folgenden Punkten zu verbessern (Bewley 2010): Das individuelle Leistungspotential der Tiere

maximieren, Krankheiten frühzeitig erkennen, den Medikamenteneinsatz vermindern, Effizienz steigern, Kosten reduzieren, Produktqualität, Gesundheit und Wohlbefinden der Tiere verbessern.

4.3.1 Aktivitätssensoren bei Milchkühen

Zur Messung von Aktivität von Kühen sind verschiedene Sensorausführungen im Einsatz. In den Anfängen der Aktivitätsmessung durch Sensoren wurde der Nutzen vorrangig in der Erkennung der gesteigerten Aktivität während der Brunst gesehen (Dolecheck, Silvia et al. 2015) und aus diesem Grund vorrangig zur Brunsterkennung genutzt. Mittlerweile werden die Daten ebenfalls zum Gesundheitsmonitoring der Rinderbestände herangezogen und Tiere mit Abweichungen in der Aktivität detektiert und für weiterführende Untersuchungen selektiert.

Zur Bewertung von Aktivitätssensoren dient die visuelle Tierbeobachtung und die Verhaltensbeurteilung mittels Videoaufnahmen als Goldstandard (Elischer, Arceo et al. 2013).

Validiert wurden darüber drei-dimensionale Beschleunigungssensoren zur Aktivitätsmessung. Diese Sensoren werden je nach Hersteller an einem Halsband befestigt, als eine Art Ohrmarke am Ohr eingezogen oder an einem Hinterbein mit einem Klettband fixiert. Als Rohwerte dienen die Beschleunigungen über die drei Achsen im Raum. Algorithmen berechnen aus diesen Werten die Aktivitätsvariablen zu denen Liegezeit, Stehzeit, Motion Index, Anzahl der Schritte und Anzahl der Wechsel zwischen Steh- und Liegezeit gehören (Trenel, Jensen et al. 2009).

Stein, Bongardt et al. (2017) testeten einen Pansenbolus für die Aktivitätsmessung. Die Messung des Bolus basiert ebenfalls auf der Messung von Beschleunigung, unterscheidet jedoch nicht zwischen Stehen und Liegen und erfasst auch keine Schritte.

Ein weiterer Ansatz ist die Nutzung von batterielosen, wartungsarmen und langlebigen hochfrequenten Radio-Frequenz-Identifikation Ohrmarken (HF-RFID). Diese flexiblen Ohrmarken haben einen eingearbeiteten Chip, der von mehreren Antennen im Stall ausgelesen wird. Ein Sektorenwechsel der Tiere im Bereich zwischen den montierten Antennen wird als Bewegungsvariable genutzt. Eine Lokalisation des Einzeltieres ist ebenfalls möglich (Hammer, Adrion et al. 2016).

Fleischrinder können mit einem Halsband, das mit einem Geolokalisationssensor ausgestattet ist, durch die damit zeitlich-räumlich erfassten Daten über weite Strecken

beobachtet werden (Ungar, Henkin et al. 2005). So sind Rückschlüsse auf die Aktivität der Tiere möglich.

4.3.2 Herdenmanagementprogramme für Milchkühe

Herdenmanagementprogramme in der Milchviehhaltung sind Softwareprogramme, die es ermöglichen, Informationen über Einzeltiere sowie die Herde zu sammeln und auszuwerten. In Deutschland sind häufig genutzte Programme HERDE von dsp Agrosoft und das in den Vereinigten Staaten von Amerika entwickelte System Dairy Comp 305. Weitere Programme werden von Melkstandanbietern, wie DeLaval (DelPro) oder Lely (T4C), direkt angeboten und ermöglichen eine problemlose Integration der von den Firmen angebotenen Zusatztechniken, wie Fütterungsautomaten, Aktivitätsdaten, Wiederkauaktivität oder Milchqualität.

Im Herdenmanagementprogramm Dairy Comp 305 können mittels Schnittstellen Informationen wie die monatlichen Daten der Milchleistungsprüfung oder der Milchmengen aus dem Melkstand importiert werden. Zudem sind händische Einträge möglich, wie Behandlungen oder Gruppenwechsel, die durch den Herdenmanager vorgenommen werden. Abfragen erfolgen über die Kommandozeile des Programms. Vorgefertigte Abfragen, die routinemäßig erfolgen, können auch hinterlegt oder automatisiert generiert und bspw. direkt an einen Drucker gesendet werden. Automatisiert kann auch täglich eine Dateikopie der aktuellen Daten erstellt und an einem vorgegebenen Speicherort (bspw. Dropboxordner) hinterlegt werden. Diese Dateikopie kann dann dazu dienen, in eine Dairy Comp 305 Consultant Version eingelesen zu werden. Für weitere Analysen oder Darstellungen kann die Software selbst genutzt werden. Es ist auch möglich, die abgerufenen Datensätze als CSV-Datei zu exportieren, diese in anderen Auswertungstools einzulesen und die Informationen dort auszuwerten.

Die beschriebenen Einträge, wie bspw. das Auftreten einer Mastitis, können als Grundlage für Analysen von Korrelationen zwischen Verhaltens- und Bewegungsmustern genutzt werden.

Voraussetzung für aussagekräftige Mastitisdaten einer Milchviehherde sind *standard operating procedures* für den Melkvorgang und die Diagnosestellung einer Euterentzündung sowie deren Behandlung, aber auch ein standardisierter Mastitisschlüssel zur Dokumentation der Entzündung (Wenz 2018).

Für die Dokumentation einer Mastitis sind folgende Details interessant:

- Datum der dokumentierten Mastitis
- Tiernummer

- Euterviertel
- Ausprägung von Krankheitssymptomen
- Erreger
- Ersterkrankung oder Wiederholung
- Art und Dauer der Behandlung

Die Voraussetzung für die Analyse großer Datenmengen ist, dass diese Details wiederkehrend einheitlich, vollständig und in der gleichen Reihenfolge eingetragen werden (Wenz und Giebel 2012).

In der Studie von Wenz und Giebel (2012) notierten 36 von 41 Milchviehbetrieben (86 %) das betroffene Euterviertel und 26 von 41 Betrieben (67 %) vermerkten die Behandlung. Nur 14 von 39 Betrieben hielten immer die gleiche Reihenfolge ein und nur 9 von 39 Betrieben nutzten die gleichen Abkürzungen in den Anmerkungen. Das Fazit der Studie war, dass fehlende einheitliche Industriestandards oder Empfehlungen für Gesundheitsaufzeichnungen zu benutzerdefinierten Aufzeichnungen führten. Diese wiederum zeigen mangelnde Genauigkeit und Einheitlichkeit, die jedoch für Bewertungen und Berichterstattung sowie Management-Entscheidungen hinsichtlich der Herdengesundheit notwendig sind.

4.4 Tagesaktivitäten - „Time budget“

Der Begriff *Time Budget* ist in das Deutsche als Stunden-, Zeit- oder Tagesplan zu übersetzen (Cook und Stöcker 2014). In der heute vorrangig etablierten Boxen-Laufstallhaltung im Milchviehbereich kann sich die einzelne Kuh frei bewegen und der Stall ist adäquat auf die Befriedigung ihrer Bedürfnisse auszustatten. Dazu gehört, dass die Tiere ausreichend Zugang zu Wasser, Futter und Liegebereichen haben (Gomez und Cook 2010).

Studien von Cook, Bennett et al. (2004) und Gomez und Cook (2010) zeigen eine durchschnittliche Dauer der Tagesaktivitäten, die in der Tabelle 1 dargestellt ist.

Tabelle 1: Durchschnittliche Dauer der Tagesaktivitäten einer Milchkuh in einer Boxen-Laufstallhaltung (Cook, Bennett et al. 2004, Gomez und Cook 2010)

Aktivität	Dauer
Liegezeit	12h
Stehen & Laufen	5h
Fressen	4h
Melken	3h

Der Tag einer Milchkuh in der Laufstallhaltung ist durch Liegen, Stehen, Laufen, Fressen, Saufen, Melken oder anderen Fixierungen geprägt. Eine Kuh sollte 12 bis 14 Stunden täglich in der Liegebox verbringen. Abzüglich aller anderen Tätigkeiten bleiben für das Melken nur maximal drei Stunden übrig. Alle Arbeiten im Stall sind so zu organisieren, dass die Tiere über den Tag möglichst wenig in ihrer freien Bewegungsausübung und ihrer Routine unterbrochen werden sowie allzeit Zugang zu Futter, Wasser und den Liegeboxen haben (Grant und Albright 2001, Scully 2016).

In der Tagesroutine hat die Einhaltung der Liegezeit für Kühe sehr hohe Priorität (Munksgaard, Jensen et al. 2005) und ist ein Zeichen für Wohlbefinden (Vasseur, Rushen et al. 2012, Solano, Barkema et al. 2016). Eine Reduktion der Liegezeit erzeugt eine Stressreaktion, die sich in einem erhöhten Kortisolspiegel äußert (Fisher, Verkerk et al. 2002).

Nicht zu vermeidende Unterbrechungen der freien Bewegung im Stallbereich ergeben sich durch das regelmäßige, 2-3-mal tägliche Melken der milchproduzierenden Gruppe (Österman und Redbo 2001) oder durch Fixierungen für Managementmaßnahmen, bspw. Trächtigkeitsuntersuchungen, Besamungen, Impfungen, Entmistung.

Weitere Beeinträchtigungen der freien Verhaltensäußerung können durch bauliche Aspekte, wie die Beschaffenheit der Liegeboxen (Fregonesi, Veira et al. 2007, Gomez und Cook 2010), aber auch durch die Belegungsdichte (Fregonesi, Tucker et al. 2007) oder durch Klimaeinflüsse wie Hitze (Cook, Mentink et al. 2007, Allen, Hall et al. 2015) entstehen.

Die Anteile des Tagesplans eines Tieres können auch durch das Tier selbst Veränderungen erfahren. So haben Brunst (Dolecheck, Silvia et al. 2015) und der Abschnitt der Laktation maßgeblich Einfluss auf den Tagesplan (Maselyne, Pastell et al. 2017). Krankheiten wie Lahmheit, Mastitis, Störungen in der Reproduktion oder Azidosen sind ebenfalls mit einem veränderten *Time Budget* assoziiert (DeVries, Beauchemin et al. 2009, Ito, von Keyserlingk et al. 2010, Siivonen, Taponen et al. 2011).

Des Weiteren können hierarchische Strukturen, in denen sich das Einzeltier in der Herde befindet, störend auf den Tagesablauf wirken. Die erstlaktierenden Kühe stehen mit den Tieren, die sich in späteren Laktationen befinden, in Konkurrenz um Ressourcen, wie Futterplätze und Liegeboxen. Eine Gruppierung der Tiere unter Berücksichtigung von Hierarchieausbildung reduziert die negativen sozialen Interaktionen, wie eine reduzierte Futteraufnahme oder verkürzte Liegezeiten und deren Folgen für die hierarchisch benachteiligten Tiere (Galindo und Broom 2000, Grant und Albright 2001).

4.5 Syndromic Surveillance

Eine Definition des Begriffs *Syndromic Surveillance System (SyS)* wurde für den Veterinärbereich bereits 2011 als Ergebnis des EU- Projekts „The triple-S“ (Syndromic Surveillance Survey, assessment towards guidelines for Europe) (Santé-publique-France.Projet-triple-S 2017) erstellt. Es ist eine (möglichst) in Echtzeit durchgeführte Sammlung, Auswertung, Interpretation und Verteilung von gesundheitsbezogenen Daten. Das Auftreten (oder das Ausbleiben) von potentiellen human- oder veterinärmedizinisch relevanten Bedrohungen, Einflüssen oder Ereignissen (Infektionserreger, Umwelteinflüsse, Managementveränderungen) soll somit erkannt und im Sinne des *One Health*-Ansatzes darauf reagiert werden (Dorea, Sanchez et al. 2011).

Ein Syndrom ist ein Symptomenkomplex. Es ist ein Komplex von Krankheitszeichen, charakteristisch für ein Krankheitsbild uneinheitlicher oder unbekannter Ätiologie (Wiesner und Ribbeck 2000).

In der Tierhaltung basieren traditionelle *Surveillance*-Programme auf passiver oder aktiver *Surveillance*. Die passive *Surveillance* ist die Mitteilung von verdächtigen Fällen durch Personen, die direkten Kontakt zu einer Population haben (Veldhuis, Brouwer-Middelesch et al. 2016). Diese Methode ist durch die Fähigkeiten und das Wissen des Tierhalters und des Tierarztes für das Auftreten von Krankheiten subjektiv geprägt (Hadorn, Haracic et al. 2008, Welby, van Schaik et al. 2017). Bei der aktiven *Surveillance* wird die komplette Population oder über ein Stichprobenverfahren eine repräsentative Anzahl von Tieren einer Population untersucht, um eine Krankheit zu identifizieren oder ihre Prävalenz zu bestimmen (Doherr und Audige 2001).

Rodriguez-Prieto, Vicente-Rubiano et al. (2015) ordnen die *Syndromic Surveillance* der passiven *Surveillance* zu. *Syndromic Surveillance* ist allerdings weniger von einem Beobachter abhängig, sondern von zuverlässigen und aussagekräftigen Datenquellen und hat das Potential, Abweichungen in einer Population noch vor dem Auftreten von klinischen Symptomen zu erkennen (Bisdorff, Schauer et al. 2017).

Nach Dorea, Sanchez et al. (2011) erfordert die Effektivität eines *Syndromic Surveillance System (SyS)* den Zugriff auf Daten, die sensitiv für krankheitsbezogene Veränderungen in der Population sind, und effektive Algorithmen, die potentielle Ausbruchsanzeichen erkennen können (Dorea, McEwen et al. 2013).

Für gewöhnlich dienen die genutzten Daten einem anderen Zweck als der *Surveillance* (Soler, Fouillet et al. 2011). Meist sind es automatisch gewonnene Daten und somit besteht kein Mehraufwand bei der Datenbereitstellung. Mit diesem Ansatz wird SyS als ein schnelles, sensitives, allerdings unspezifisches *Surveillance*-System entwickelt, das

traditionelle Verfahren nicht ersetzt, aber unterstützen und verbessern kann (Rodriguez-Prieto, Vicente-Rubiano et al. 2015)

Die Dokumentation klinischer Daten in der Tiermedizin mit Hilfe mobiler elektronischer Geräte war ein erster Schritt in die Richtung einer standardisierten Aufzeichnung von klinischen Befunden durch die Praktiker selbst, mit der Möglichkeit, darauf aufbauend weitere Analysen anzuschließen (Dorea und Vial 2016). Dieser erste Ansatz bedurfte der Motivation der Benutzer für die Verwendung und setzte sich aus Gründen, wie fehlende Nutzer-Freundlichkeit des Programms, fehlendes Verständnis der Praktiker für die Wichtigkeit eines solchen Systems und Skepsis gegenüber der Datensicherheit (Struchen, Hadorn et al. 2016) nicht durch. Das Ziel von *Syndromic Surveillance*, bereits existierende Daten für *Surveillance*-Analysen zu nutzen, führte zur Verwendung von Einträgen in der Praxissoftware. Anholt, Berezowski et al. (2014) zeigten eine Sensitivität von 87,6 % und eine Spezifität von 99,3 % mittels einer Textminingsoftware zur Analyse von Freitexteinträgen von 12 Kleintierarztpraxen bezüglich der Erkennung von Symptomen im Gastrointestinaltrakt.

Im Nutztierbereich haben Produktionsdaten das Potential, Abweichungen bzw. Veränderungen beim Einzeltier oder in einer Tiergruppe zu erkennen. Die Ausbreitung der Blauzungenkrankheit in Frankreich 2007 nutzten Madouasse, Marceau et al. (2013), um die Abweichung der monatlichen Milchmenge von Kühen von einem Erwartungswert zu bewerten. Die Erzeugung des Erwartungswertes für die Milchmenge sei jedoch zu verbessern. Marceau, Madouasse et al. (2014) formulierten Syndrome aus Reproduktionsdaten und fanden die häufigsten Auffälligkeiten in den Daten des Blauzungenausbruchs von 2007 in Frankreich im Indikator „verkürzte Trächtigkeit“.

Neben Produktionskennzahlen der Nutztiere nutzt *Precision Livestock Farming* mittels tier- oder gruppenindividueller Sensordaten Hinweise über die Physiologie und das Verhalten der beobachteten Tiere. So konnte unter kontrollierten, experimentellen Bedingungen mittels Biosensoren und Beschleunigungsmessern, die am Ohr von Schweinen angebracht waren, der Beginn von Afrikanischer Schweinepest anhand erhöhter Körpertemperatur und reduzierter Bewegung vor der Beobachtung von deutlicher Klinik und Laborbefunden erkannt werden (Martinez-Aviles, Fernandez-Carrion et al. 2017).

4.6 Mastitis

Eine Mastitis ist die Entzündung der Milchdrüse. In dieser Arbeit wird der Begriff Mastitis für die entzündliche Reaktion des Euters der Milchkuh (Blowey 2010) verwendet.

Gefäßpermeabilität, Vasodilatation, Ödem, erhöhte Durchblutung, Einwanderung von neutrophilen Granulozyten, verringerte Syntheseleistung des Euters, sowie Schmerzen und Fieber sind Anzeichen für eine Euterentzündung (Harmon 2001). Die fünf klassischen pathologischen Merkmale einer Entzündung, d.h. Rötung, Erwärmung, Schwellung, Schmerz und Funktionsverlust des betroffenen Gewebes, sind somit erfüllt. Ackermann (2009) erläutert einen Entzündungsprozess wie folgt: „Entzündungen sind meistens protektive Mechanismen mit dem biologischen Zweck, die Ursache der Gewebeschädigung zu verdünnen, zu isolieren und zu eliminieren und den Gewebedefekt durch Heilung zu reparieren.“

Die beschriebenen pathologischen Anzeichen dienen der Diagnose einer Mastitis. So werden klinische von subklinischen und akute von chronischen Mastitiden unterschieden. Subklinische Mastitiden lassen keine sichtbaren Veränderungen erkennen. Die somatische Zellzahl ist jedoch erhöht und deutet somit auf eine Entzündungsreaktion des Euters hin (Burvenich, de Spiegeleer et al. 2009). Eine akute Mastitis kann in eine chronische Mastitis übergehen, wenn die akute Entzündung nicht vollständig ausheilt. Ist die Zellzahl in der Milchleistungsprüfung 3-mal in Folge über 200 000 Zellen/ml erhöht, so spricht man von einer chronische Erkrankung des Euters (Mansfeld, Hoedemaker et al. 2014).

Die Ursachen einer Mastitis können vielfältig sein. Das Eindringen von Infektionserregern in das Eutergewebe wird häufig als alleinige Ursache einer Mastitis gesehen. Die Mastitis ist jedoch eine Faktorenkrankheiten (Abbildung 4). Das Tier selbst, seine Umwelt und der Erreger bestimmen die Entstehung und den Verlauf der Erkrankung (Krömker 2007, De Vliegher und Piepers 2018).

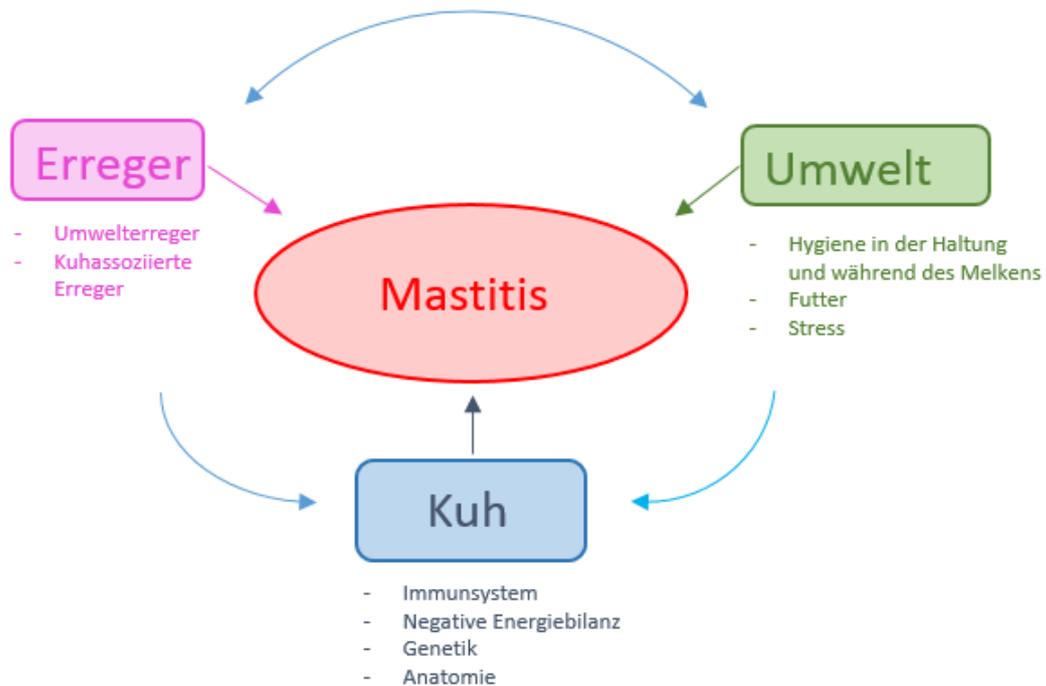


Abbildung 4. Faktorenkrankheit Mastitis. Die Entstehung einer Mastitis wird durch die Kuh selbst (Immunsystem, negative Energiebilanz, Genetik, Anatomie), ihre Umwelt (Hygiene in Haltung, während des Melkens, Futter, Stress) und den Mastitiserreger beeinflusst.

Hauptkriterium für eine klinische Mastitis sind sichtbare Veränderungen des Euters, wie Schwellung oder Rötung, und Veränderungen des Milchsekrets (bspw. Flocken, seröses Sekret). Diese Symptome können von Depression, Anorexie und Fieber begleitet werden (Stangaferro, Wijma et al. 2016).

Aus mikrobiologischer Sicht können Mastitiserreger in gram-positive und gram-negative Bakterien, sowie in Hefen, Pilzen und Algen eingeteilt werden (Watts 1988).

Eine Einteilungsmöglichkeit der Mastitis-verursachenden Erreger ist in kuhassozierte und umweltassozierte Mikroorganismen (Tabelle 2).

Tabelle 2. Kuhassoziierte und umweltassoziierte Mastitiserreger (nach Blowey, 2010)

Kuhassoziierte Erreger (kontagiös)	Umweltassoziierte Erreger
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Streptococcus uberis</i>
<i>Streptococcus agalactiae</i>	Coliforme Bakterien:
Koagulase- negative Staphylokokken	<i>Escherichia coli</i>
<i>Streptococcus dysgalactiae</i>	Citrobacter
<i>Corynebacterium bovis</i>	Enterobacter
Mykoplasmen	Klebsiella
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
	<i>Bacillus cereus</i>
	<i>Bacillus licheniformes</i>
	<i>Streptococcus faecalis</i>
	Pasteurella
	Pilze
	Hefen

Eine andere Kategorisierung unterscheidet Haupterreger von Nebenerregern.

Einteilungskriterium ist hier die klinische Ausprägung der Mastitis. Haupterreger erzeugen starke Veränderungen des Sekrets mit Anstieg der Zellzahl, eine Reduktion der Milchmenge und damit ökonomische Verluste. Infektionen mit Nebenerregern erzeugen moderate Entzündungen sowie einen geringen Anstieg der Zellzahl (Harmon 1994, Reyher, Haine et al. 2012). Die Einteilung allein nach klinischen Symptomen ist jedoch kritisch zu betrachten, da beispielsweise *E. coli* zu akuten, aber auch zu milden Mastitiden führen kann (Blowey 2010).

Euterentzündungen sind für den Tierhalter von besonderem ökonomischen Interesse. Tabelle 3 zeigt direkte und indirekte Kosten, die mit dem Auftreten von Mastitiden verbunden sind.

Tabelle 3. Kostenfaktoren von Mastitiden (nach Blowey, 2010; Krömker, 2007)

Direkte Kosten	Indirekte Kosten
Verworfenen Milch (Hemmstoffmilch)	Abzüge vom Milchpreis bei hoher Zellzahl
Medikamente und Tierarztkosten	Reduzierte Milch aufgrund der Gewebeerstörung und/ oder subklinischer Infektion
	Mehrarbeit für den Behandlungsaufwand
	Merzung (Verlust von genetischen Material) Remontierungskosten

4.6.1 Milchmengenreduktion vor der Mastitis

Die klinische Mastitis ist mit einer Reduktion der Milchmengenleistung assoziiert (Deluyker, Gay et al. 1991, Grohn, Wilson et al. 2004, Hagnestam, Emanuelson et al. 2007, Schukken, Hertl et al. 2009). Grohn, Wilson et al. (2004) berichten von einer Milchmengenreduktion bereits ein bis zwei Wochen vor der Mastitis, Rajala-Schultz, Grohn et al. (1999) und Hagnestam, Emanuelson et al. (2007) fanden sogar schon zwei bis vier Wochen vor Beginn der Mastitis eine Milchmengenreduktion. Zoche-Golob und Spilke (2013) beschreiben ein deutliches Absinken der Milchleistung mit einem Tiefpunkt 2 bis 3 Tage vor Sichtbarwerden der klinischen Mastitis. 10 Tage nach der Diagnose stabilisierte sich die Leistung wieder, erreichte aber nicht das Leistungsniveau vor dem Eintritt der Mastitis.

Eine große Spannbreite an Milchmengenreduktion während einer klinischen Mastitis wird berichtet. Diese variiert je nach Pathogenen, Laktationsstadium oder Laktationsnummer (Tabelle 4).

Tabelle 4. Milchmengenreduktion infolge einer klinischen Mastitis. Die Reduktion variiert ja nach Laktationsnummer und Pathogen

Referenz	Milchmengenreduktion	Laktationsnummer	Pathogen
Rajala-Schultz, Grohn et al. (1999)	1,7kg/ Tag	1	verschiedene
	1,1kg/ Tag	2	verschiedene
	2,5kg/ Tag	3	verschiedene
	2kg/ Tag		verschiedene
Grohn, Wilson et al. (2004)	2,5kg/ Tag	1	<i>Strep. spp</i>
	5,3kg/ Tag	2+	<i>Strep. spp</i>
	8,4kg/ Tag	1	<i>Staph. aureus</i>
	5,5kg/ Tag	2+	<i>Staph. aureus</i>
	3,2kg/ Tag	1	andere <i>Staph. spp.</i>
	Kein Unterschied zu gesunden Tieren	2+	andere <i>Staph. spp.</i>
	6,7kg/ Tag	1	<i>E. coli</i>
	13,1kg/ Tag	2+	<i>E. coli</i>
	7,6kg/ Tag	1	<i>Klebsiella spp.</i>
	9,9	2+	<i>Klebsiella spp.</i>
Hagnestam, Emanuelson et al. (2007)	5kg/ Tag	1	verschiedene

Neben einer klinischen Mastitis gibt es viele Gründe für einen Milchleistungsabfall. Deluyker, Gay et al. (1991) zählen dazu die linksseitige Labmagenverlagerung, Metritis, Ketose und Nachgeburtverhalten. Auch Lahmheit reduziert die Milchleistung (Rajala-Schultz, Grohn et al. 1999).

4.6.2 Aktivitätsänderung durch Mastitis

Ein krankhaftes Geschehen in einem Organismus äußert sich in Verhaltensänderungen (Weary, 2014; Keyserlingk, 2009). Kranke Tiere zeigen eine reduzierte Futteraufnahme, reduziertes Reproduktions- und gesteigertes Ruheverhalten als Folge von Schmerzen und der körpereigenen Immunreaktion, verbunden mit Fieber.

An Mastitis erkrankte Kühe zeigen ein abweichendes Verhalten im Vergleich zu Tieren mit anderen Erkrankungen. So ist allgemein eine erhöhte Liegezeit zur Regeneration von Erkrankungen zu erwarten (Fogsgaard, Rontved et al. 2012). Siivonen, Taponen et al. (2011) stellten für die beobachtete Reduktion der Liegezeit während der Mastitis die Theorie auf,

dass das Liegen auf dem schmerzhaften Euter unangenehm für das Tier ist und es deshalb weniger liegt.

Die Liegezeit ist nach der Mastitisinduktion reduziert (Siivonen, Taponen et al. 2011, Cyples, Fitzpatrick et al. 2012, Yeiser, Leslie et al. 2012) und bleibt nach Erkennen und Behandlung der Mastitis bis zu 10 Tagen verringert (Fogsgaard, Bennedsgaard et al. 2015). Allein Fogsgaard, Rontved et al. (2012) berichten von einer erhöhten Liegezeit am Tag 2 nach der Infektion. Umgekehrt ist die Stehzeit erhöht (Siivonen, Taponen et al. 2011).

Die Anzahl der Schritte ist in einigen Studien erhöht (Siivonen, Taponen et al. 2011, Fogsgaard, Bennedsgaard et al. 2015) und weist in anderen Arbeiten keine mit der Mastitis assoziierten Veränderungen auf (Medrano-Galarza, Gibbons et al. 2012, Yeiser, Leslie et al. 2012).

Eine zusätzliche Funktion des Aktivitätssensors IceQube der Firma IceRobotics liefert Daten für die Variable ‚Motion Index‘. Der Motion Index ist der Beschleunigungswert über alle drei räumlichen Achsen des Sensors (Thorup, Munksgaard et al. 2015) und ist somit ein Ausdruck der Beinaktivität der Kühe (Maselyne, Pastell et al. 2017).

5. Material und Methoden

5.1 Betriebe und technische Voraussetzungen

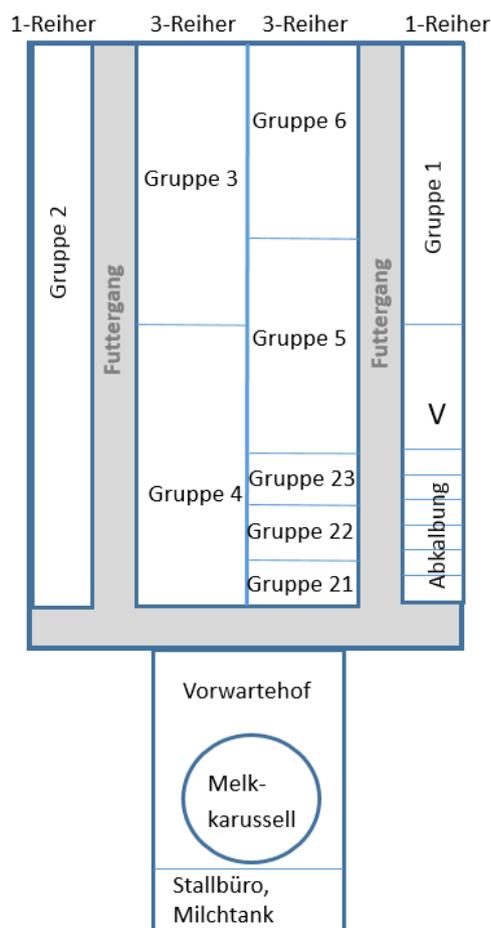
Die Untersuchungen wurden in zwei konventionellen Milchviehbetrieben durchgeführt, die Rinder der Rasse Holstein-Friesian hielten.

In Vorbereitung der Datensammlung wurden beide Betriebe besucht und die betrieblichen und technischen Gegebenheiten erfragt.

Betrieb 1

Der Betrieb 1 (BNR1) mit 1.300 melkenden Tieren befand sich im Osten Brandenburgs. Die Tiere waren in Boxenlaufstallhaltung aufgestellt und erhielten eine totale Mischration aus Mais- und Grassilage mit Kraft- und Mineralfutterzusätzen. Diese wurde den Tieren einmal täglich zwischen 6:00 und 10:00 Uhr vorgelegt und im Abstand von 2 Stunden nachgeschoben. Am Tag des ersten Besuchs, dem 14.03.2016, betrug die durchschnittliche Tankmilchmenge pro Tag und Tier 35 kg und eine durchschnittliche Zellzahl von 240.000 Zellen/ml Milch in der letzten Milchleistungsprüfung korrigiert auf die Milchleistung des Einzeltieres.

Die melkenden Herde wurde in einer großen Stallhalle (in Nutzung seit 2008) mit zentralem Treibgang unterteilt in 9 Aufstallungsgruppen gehalten. Drei Gruppen erforderten besondere Aufmerksamkeit (Krankengruppe, Mastitisgruppe, Frischabkalbegruppe) und standen auf Stroh (Abbildung 5).



Gruppe 1	FrISChe Kühe & Färsen bis 21. DIM
Gruppe 2	Hochleistende Färsen
Gruppe 3	Hochleistende Kühe & Färsen nach Gruppe 2 & 4
Gruppe 4	Hochleistende Kühe
Gruppe 5	Nach Behandlungsphase zur Beobachtung
Gruppe 6	Niederleistende Tiere, Zuchtuntauglich
Gruppe 21	FrISChe Kühe auf Stroh
Gruppe 22	Lahme Tiere auf Stroh
Gruppe 23	Mastitisgruppe auf Stroh
V	Vorbereiter (Kühe & Färsen)
Abkalbung	Abkalbeboxen mit Stroh
Melkkarussell	Boumatic Außenmelker Agricomp 2050, 60 Melkplätze

Abbildung 5. Betriebsskizze Betrieb 1 (Stand: 14.03.2016). Neun Produktionsgruppen befanden sich in einer großen Stallhalle (Länge 250 Meter; Breite:50 Meter), unterteilt durch zwei Futtergänge. Die Tiere aus den Gruppen wurden über zentrale Treibgänge Richtung Vorwarte Hof und Melkkarussell zum Melken getrieben. Gruppe 1, 2 und die Vorbereitergruppe waren in einem 1-Reiher Boxenlaufstall aufgestellt. Die Gruppen 3, 4, 5 und 6 waren in einem 3-Reiher Boxenlaufstall aufgestellt. Die Gruppen 21, 22 und 23 standen auf Stroh. (Skizze nicht maßstabsgetreu.)

Gemolken wurden die Tiere im Betrieb 1 in einem Melkkarussell mit 60 Außenmelkplätzen der Firma Boumatic (2050 Agricom) im 24 Stunden Schichtsystem 3-mal täglich. Die hochleistenden Gruppen (Gruppe 2,3,4) wurden ab Januar 2016 4-mal täglich gemolken. Die folgende Melkreihenfolge (Tabelle 5) ermöglichte diese Melkfrequenz:

Tabelle 5. Melkreihenfolge der Aufstallungsgruppen von BNR 1 über 24 Stunden. Fett markiert sind die Gruppen 2, 3, 4, die 4-mal täglich gemolken wurden. Die Gruppen 1, 5, 6, 21, 22, 23 wurden 3-mal täglich gemolken.

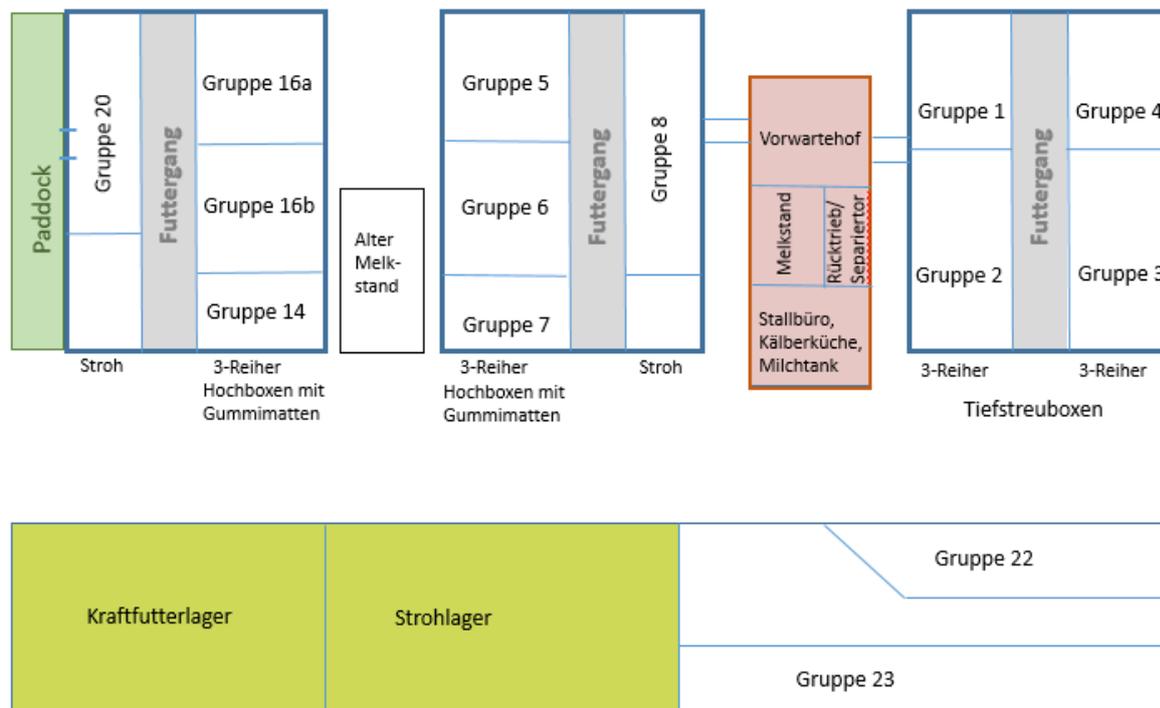
Anfangszeit	Melkreihenfolge der Gruppen								Endzeit
6:00	1	4	5	3	22	21	23	Spülen	10:00
10:30	2	6	4	Pause					13:00
14:00	1	3	5	2	22	21	23	Spülen	18:00
18:30	4	6	3	Pause					21:00
22:00	1	2	5	4	22	21	23	Spülen	01:30
02:00	3	6	2						05:00

Betrieb 2

Betrieb 2 (BNR2) mit circa 360 melkenden Kühen lag im westlichen Mecklenburg-Vorpommern.

Betrieb 2 nutzte Stallanlagen, die in den 1970er Jahren in der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik erbaut wurden (Abbildung 6). Die milchproduzierende Herde stand in zwei Stallhallen. Zwischen den Stallhallen stand das Melkhaus mit dem Side-by-side, Swing Over Melkstand (30 Melkplätze je Seite) der Firma Dairymaster. Aus beiden Ställen wurden die Tiere 2-mal täglich (ab 4:00 morgens und ab 16:00 nachmittags) in das Melkhaus getrieben und in der Reihenfolge Gruppe 8, Gruppe 1, Gruppe 2, Gruppe 3, Gruppe 4, Gruppe 5, Gruppe 6 und Gruppe 7 gemolken. Im Stall 1 standen 4 hochleistende Gruppen zwischen dem 6. und dem 200. Tag in Milch (DIM) in dreireihig angeordneten Tiefstreuboxen. Im zweiten Stall waren die frisch laktierenden Tiere (bis 5 DIM) und kranken Tiere auf Stroh (Gruppe 8), die Mastitisgruppe (Gruppe 7) und eine spätlaktierenden-Gruppe (>200 DIM, tragend) in Hochboxen mit Gummimatten (Gruppe 5) aufgestellt. Einmal täglich, morgens ab 3:00 Uhr, wurde den Kühen eine totale Mischration vorgelegt und diese zwei- bis dreimal täglich nachgeschoben. Die durchschnittliche Tankmilchmenge am Tag des ersten Betriebsbesuchs am 20.04.2016 betrug 33 kg pro Tag und Tier und die

durchschnittliche Zellzahl 180.000 Zellen/ml Milch korrigiert auf die Milchleistung des Einzeltieres.



Gruppe 1	mittelleistende Tiere 200 DIM
Gruppe 2	hochleistende Tiere >130 DIM
Gruppe 3	hochleistende Tiere > 50 DIM
Gruppe 4	frisch Laktierende 5-50 DIM
Gruppe 5	Altmelker, >200 Tage tragend
Gruppe 6	hochleistende Tiere >130 DIM
Gruppe 7	Mastitisgruppe
Gruppe 8	Frishmelker 1-5d; lahme Tiere
Gruppe 14	Färsen ohne Aktivitätssensor; 11-13 Monate
Gruppe 16a	tragende Färsen
Gruppe 16b	zu besamende Färsen mit Aktivitätssensor; 13-15 Monate
Gruppe 20	frische Trockensteher; auf Stroh mit Paddock
Gruppe 22	4 Wochen ante partum
Gruppe 23	„close-up“ Anfütterung

Abbildung 6. Betriebsskizze Betrieb 2 (Stand: 20.04.2016). In Stall 1 (rechts vom Melkstand) waren die Gruppen 1, 2, 3 und 4 in einem 3-Reiher Boxenlaufstall mit Tiefstreuboxen aufgestellt. Im ersten Stall links des Melkstands standen die Gruppe 8 (frische Kühe bis Tag 5 in Milch) auf Stroh. Gruppe 7 (Mastitisgruppe), Gruppe 6 und Gruppe 5 (Altmelker) waren in einem Boxenlaufstall, ausgestattet mit Gummimatten auf Hochboxen, eingestallt. Im Stall links des alten Melkstands befanden sich geschlechtsreife und tragende Färsen, sowie eine Trockenstehergruppe mit Zugang zu einem Paddock. Dieser drei Ställe gegenüber standen die Trockenstehergruppen 22 und 23 auf Stroh bis zur Abkalbung. (Skizze nicht maßstabsgetreu.)

5.2 DairyComp305 – Herdenmanagementsoftware

Die Herdenmanagement-Software DairyComp 305 (DC305) (Valley Agricultural Software (VAS), Vereinigte Staaten von Amerika) wurde in beiden Versuchsbetrieben zur Verwaltung der Tiere verwendet. DC305 ist eine Datenbank, in der die Einzeltiere anhand ihrer Stallnummer (ID) geführt und tierindividuelle Informationen, wie Lebensnummer oder Abstammung, gespeichert werden. Weitere Einträge sind Lebensereignisse, wie Kalbungen, Ergebnisse der Milchleistungsprüfungen, Umgruppierungen, Fruchtbarkeitsuntersuchungen und Erkrankungen, sowie Behandlungen.

Das Einfügen der Daten in die Software erfolgt automatisch oder händisch durch das Stallpersonal. Durch eine Zugangsbeschränkung für die Software ist der Zugriff auf die Daten und deren Bearbeitung auf den Herdenmanager und einen begrenzten Personenkreis im Stall, wie bspw. den Besamungstechniker, beschränkt.

Schnittstellen von Melkstandprogrammen oder Brunsterkennungssystemen ermöglichen die Zusammenführung der Milchmengen der Tiere und der Aktivitätsindizes in der Herdenmanagementsoftware. Ergebnisse der Milchleistungsprüfung können mittels einer Schnittstelle ebenfalls eingelesen werden.

Durch vorinstallierte terminierte Abfragen in DC305 können Routinearbeiten auf einem Milchviehbetrieb organisiert werden. So können bspw. automatisiert tägliche Listen mit in Brunst erwarteten Tieren oder wöchentlich Listen mit Tieren, die zur Trächtigkeitsuntersuchung vorgestellt werden sollen, zur Verfügung gestellt werden.

Eine täglich von den Betrieben erzeugte Datensicherung der Datenbank wurde in dieser Arbeit in die Consultant-Version DC305 eingelesen und pro Tier die täglichen Einzelgemelke, die Daten der letzten Abkalbungen und die Ereignisse (EVENTS) ausgelesen. Mit den folgenden Befehlen über die Kommandozeile von DC305 wurden die Werte abgefragt:

Befehl zum Abrufen der Milchmenge pro Tag

```
SHOW ID PEN LACT DIM D1M1 D1M2 DMLK1 MDAT1 FOR LACT>0 BY PEN DIM
```

Befehl zum Abrufen der Abkalbedaten (der letzten 20 Tage; der Tiere, die 0-20 Tage in Milch sind)

```
SHOW ID LACT DIM BDAT PFDAT FDAT FOR DIM=0-20 LACT>0 BY FDAT
```

Befehl zum Abrufen der Eventtabelle

```
EVENTS ID\2SI
```

Die erzeugten Listen wurden in eine csv-Datei aus DC305 exportiert.

5.3 Aktivitätsdaten

In Betrieb 1 wurde die Brunsterkennung der Kühe und im Betrieb 2 der Kühe und Färsen mit dem Sensorsystem von IceRobotics Ltd, South Queensferry, Vereinigtes Königreich, durchgeführt. Das System bestand aus dem Aktivitätssensor *IceQube*, einem tri-axialen Beschleunigungssensor, der mit einem Klettband am Hinterbein oberhalb des Fesselgelenks der Tiere befestigt wurde. Das Gehäuse des Sensors war mit einer eindeutigen Nummer versehen, über die jedes Tier per Tier-ID ihrem Sensor im Herdenprogramm zugeordnet werden konnte. Pfeile an den Seiten des Gehäuses halfen bei der richtigen Ausrichtung am Tier (Abbildung 7).



Abbildung 7. IceQube-Sensor ohne Klettband. Der Pfeil zeigt „oben“ an und hilft bei der richtigen Anbringung am Tier. Die eingekreiste Nummer ist die Sensor-ID, die mit dem ausgestatteten Tier in der Herdensoftware gekoppelt werden kann.

Die Aktivitätssensoren wurden im Betrieb 1 bei Passage der Kühe an einer Ausleseplatte auf dem Weg zum Melkstand vor jedem Melkvorgang ausgelesen. Im Betrieb 2 lasen im Stall angebrachte Antennen die Aktivitätsdaten unabhängig vom Melkprozess in voreingestellten Zeitabständen von 2 Stunden aus.

In der webbasierten Aufbereitung der Tierdaten (Cowalert (IceRobotics Ltd, South Queensferry, Vereinigtes Königreich)) konnten Informationen über die Aktivität der Tiere abgefragt und eingesehen werden.

Die Beschleunigung über die drei Achsen des Sensors wurde von der Sensorfirma bereits zu Steh- (standing time) und Liegezeiten (lying time), Schritte (steps), Wechsel (standing change) zwischen Steh- und Liegezeit und Motion Index (MI - Beschleunigungswert über alle drei räumlichen Achsen des Sensors und somit Ausdruck der Beinaktivität der Kühe) zusammengefasst und in Zeitblöcken von 15 min pro Tier regelmäßig in csv-Dateien zur Verfügung gestellt (Abbildung 8).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	subject	start	end	mi	steps	standing tim	lying time	standing change
2	77890	2017-10-31 00:00:01+00:00	2017-10-31 00:15:01+00:00	0	0	00:00:00	00:15:00	0
3	77890	2017-10-31 00:15:01+00:00	2017-10-31 00:30:01+00:00	0	0	00:00:00	00:15:00	0
4	77890	2017-10-31 00:30:01+00:00	2017-10-31 00:45:01+00:00	16	2	00:06:16	00:08:44	1
5	77890	2017-10-31 00:45:01+00:00	2017-10-31 01:00:01+00:00	3	1	00:15:00	00:00:00	0
6	77890	2017-10-31 01:00:01+00:00	2017-10-31 01:15:01+00:00	2	1	00:15:00	00:00:00	0
7	77890	2017-10-31 01:15:01+00:00	2017-10-31 01:30:01+00:00	15	2	00:15:00	00:00:00	0
8	77890	2017-10-31 01:30:01+00:00	2017-10-31 01:45:01+00:00	12	1	00:15:00	00:00:00	0
9	77890	2017-10-31 01:45:01+00:00	2017-10-31 02:00:01+00:00	1	0	00:15:00	00:00:00	0
10	77890	2017-10-31 02:00:01+00:00	2017-10-31 02:15:01+00:00	2	0	00:15:00	00:00:00	0
11	77890	2017-10-31 02:15:01+00:00	2017-10-31 02:30:01+00:00	11	2	00:15:00	00:00:00	0
12	77890	2017-10-31 02:30:01+00:00	2017-10-31 02:45:01+00:00	14	2	00:15:00	00:00:00	0
13	77890	2017-10-31 02:45:01+00:00	2017-10-31 03:00:01+00:00	6	0	00:15:00	00:00:00	0
14	77890	2017-10-31 03:00:01+00:00	2017-10-31 03:15:01+00:00	3	0	00:15:00	00:00:00	0
15	77890	2017-10-31 03:15:01+00:00	2017-10-31 03:30:01+00:00	9	2	00:03:40	00:11:20	1
16	77890	2017-10-31 03:30:01+00:00	2017-10-31 03:45:01+00:00	0	0	00:00:00	00:15:00	0
17	77890	2017-10-31 03:45:01+00:00	2017-10-31 04:00:01+00:00	0	0	00:00:00	00:15:00	0
18	77890	2017-10-31 04:00:01+00:00	2017-10-31 04:15:01+00:00	331	107	00:06:04	00:08:56	1
19	77890	2017-10-31 04:15:01+00:00	2017-10-31 04:30:01+00:00	6	2	00:15:00	00:00:00	0
20	77890	2017-10-31 04:30:01+00:00	2017-10-31 04:45:01+00:00	290	95	00:15:00	00:00:00	0
21	77890	2017-10-31 04:45:01+00:00	2017-10-31 05:00:01+00:00	14	3	00:15:00	00:00:00	0
22	77890	2017-10-31 05:00:01+00:00	2017-10-31 05:15:01+00:00	11	2	00:15:00	00:00:00	0
23	77890	2017-10-31 05:15:01+00:00	2017-10-31 05:30:01+00:00	9	1	00:15:00	00:00:00	0

Abbildung 8. Ausschnitt der übermittelten Aktivitätsdaten, hier exemplarisch für Kuh-ID (subject) = 77890 am 31.10.2017. Beginnend um 00:00:01 werden Motion Index (mi), Schritte (steps), Stehzeit (standing time), Liegezeit (lying time) und Wechsel zwischen Steh- und Liegezeit (standing change) in Zeitabschnitten von 15 min zusammengefasst übermittelt.

5.4 Zusammenführung der Daten

Aus den Datenquellen DairyComp305 und den bereitgestellten Aktivitätsdaten der Firma IceRobotics wurden die Werte als csv-Dateien in eine gemeinsame SQL-Datenbank über das integrierte Import-Werkzeug des Microsoft SQL-Server Management-Studios eingepflegt. Die Aggregation der eingelesenen Daten erfolgte über Prozeduren, bspw. um Aktivitäten auf der Basis von Tier und Tag zusammenzufassen.

In Tabelle 6 sind die erzeugten Tabellen der Datenbank aufgelistet, auf deren Grundlage weitere Ansichten erzeugt wurden.

Tabelle 6. Übersicht der erstellten Tabellen in der Datenbank, deren Inhalt (Spalte) und ihre Beschreibung. In der Tabelle ACT stehen Aktivitätsvariablen, in der Tabelle MLK die Milchmengen der Tiere, in Tabelle EVENT befinden sich die Gesundheitsereignisse, und in Tabelle LACT Kalbedaten und Laktationsnummer, mit denen die aktuelle Laktation ermittelt werden kann.

Tabelle	Spalte	Beschreibung
ACT	BNR	Betriebsnummer
	ID	Tieridentifikationsnummer
	DATE	Datum
	MI	Motion Index
	STANDING_TIME	Stehzeit
	LYING_TIME	Liegezeit
	STANDING_CHANGE	Wechsel von Stehen und Liegen
MLK	BNR	Betriebsnummer
	ID	Tieridentifikationsnummer
	DATE	Datum
	PEN	Tiergruppe, Aufstallungsgruppe
	LACT	Laktationsnummer
	M1	Milchmenge der Melkung 1
	M2	Milchmenge der Melkung 2
	M3	Milchmenge der Melkung 3
	DMLK	Tagesmilchmenge aus DC305
EVENT	BNR	Betriebsnummer
	ID	Tieridentifikationsnummer
	DATE	Datum
	EVENT	Ereignis
	REMARK	Anmerkung
LACT	BNR	Betriebsnummer
	ID	Tieridentifikationsnummer
	LACT	Laktationsnummer
	FDAT	Letztes Kalbedatum

Die Zusammenführung der Daten in Views (Ansichten) erfolgte anhand der Betriebsnummer (BNR), der Tier-Identifikationsnummer (ID) und des Datums (DATE). Die Tage in Milch (days in milk (DIM)) wurden unter Nutzung der Laktationsnummer (LACT) und des letzten Kalbedatums tagesgenau in der Datenbank ermittelt. Die Tagesmilchmenge (M_SUM) wurde als Summe der Einzelgemelke pro Tier und Tag berechnet.

5.5 Falldefinition Mastitis

Als Mastitis wurde ein dokumentiertes Mastitis-Ereignis in der Managementsoftware (DC305) mit dem Eintrag „MAST“ angesehen.

Das Melkpersonal erkannte während des Vormelkens eine Euterentzündung anhand der folgenden klinischen Anzeichen:

- Euter: Schwellung, Rötung, Wärme
- Milchsekret: Flocken, wässrige oder breiige Konsistenz

In beiden Betrieben wurde das Melken in einem Schichtsystem mit wechselndem Personal organisiert. In beiden Betrieben war eine Person für das Treiben der Tiere in den Melkstand und die Boxenpflege zuständig. Im Betrieb 1 reinigte eine weitere Person das Euter und setzte das Melkzeug an. Eine dritte Person dippte nach. In Betrieb 2 übernahmen 2 Personen die Reinigung des Euters, das Ansetzen und dippten nach.

5.6 Verwendete Software

Die Datenbank, in der die Tierdaten zusammengeführt wurden, wurde mit dem Datenbanksystem Microsoft SQL-Server 2012 (Microsoft, Redmont, USA) erstellt. Der Datenimport erfolgte aus CSV bzw. Excel- Dateien über das integrierte Import-Werkzeug des Microsoft SQL-Server Management-Studio (Microsoft, Redmont, USA). Prozeduren und Views (Sichten) wurden mittels SQL erstellt.

Alle Analysen/ Berechnungen wurden in der Statistiksoftware R (R Development Core Team 2014) in der Version „R for Windows 3.5.2“ durchgeführt. Einzelne Funktionen folgender R-Pakete wurden verwendet:

xlsx (Dragulescu 2018)

gridExtra (Auguie 2017)

Epi (Carstensen, Plummer et al. 2019)

lubridate (Grolemund und Wickham 2011)

zoo (Zeileis und Grothendieck 2005)

pROC (Robin, Turck et al. 2011)

Abfragen der SQL-Datenbank erfolgten über MS Excel (MS Office® 2016, Microsoft, Redmont, USA).

5.7 Definitionen

5.7.1 Bestimmung der Mastitisphase

Die Mastitisphase in dieser Arbeit ist der Zeitraum vor dem dokumentierten Mastitis-Ereignis der jeweiligen Kuh. Der Tag des Eintrages des Mastitis-Ereignisses wurde als Tag 0 definiert. Die Tage vor dem Mastitis-Ereignis wurden mit -1 bis -10 gekennzeichnet. Tag -10 lag folglich 10 Tage vor dem dokumentierten Mastitis-Ereignis.

5.7.2 Bestimmung der Kontrollphasen

Als Kontrolle dienten Daten von Tieren, für die keine Gesundheitsereignisse an den 10 Beobachtungstagen registriert worden waren.

Diese ereignisfreien Zeitfenster, im weiteren Verlauf Kontrollphase genannt, umfassten ebenfalls 10 zusammenhängende Tage und stammten nicht zwingend von den Tieren, die auch eine Mastitis entwickelten. Es wurden alle zu Verfügung stehenden Zeitfenster genutzt. Das jüngste Datum wurde als Tag 0 bezeichnet. Die davorliegenden Tage wurden mit Bezug zu Tag 0 als Tag -1 bis Tag -10 benannt.

5.7.3 Relativer Vergleich der 5 Tage vor Tag 0 zu einem tierindividuellen Vergleichszeitraum

Der Median über die Werte der Tage -10 bis -6 diente im weiteren Verlauf als tierindividueller Vergleichswert (Abbildung 9).

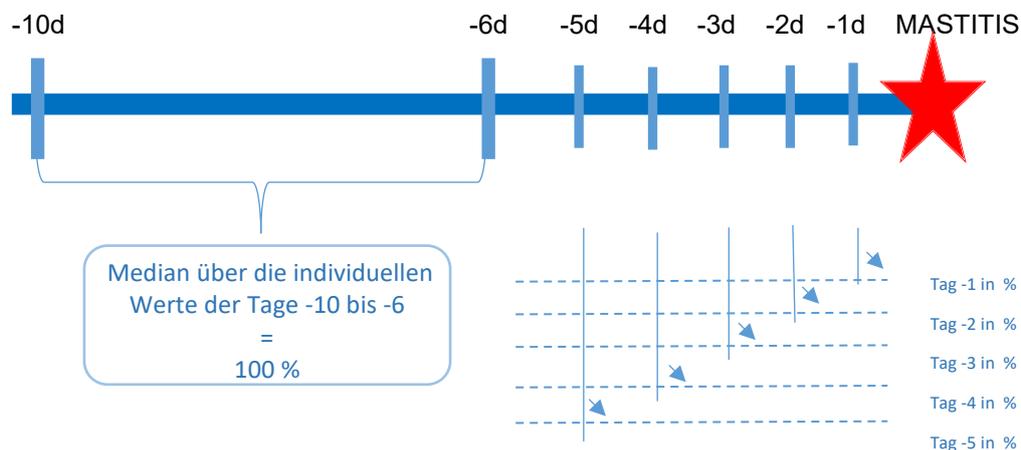


Abbildung 9. Schema zur Erzeugung der relativen Differenzen der Tage -5 bis -1 zum individuellen Vergleichszeitraum (Tag -10 bis Tag -6), dessen Median als 100 % (individueller Vergleichswert) angenommen wurde.

Die relative Differenz (Abweichungen) der jeweiligen Tage -5 bis -1 wurden zum Median der Vergleichstage (Tag-10 bis Tag -6), welcher 100 % entsprach, ermittelt und in Boxplots dargestellt.

5.8 Darstellungen

5.8.1 Darstellung der absoluten Werte von Milchmenge und Aktivitätsvariablen
Pro Betrieb wurden Boxplots, die statistischen Kennzahlen Minimum, 1. Quartil, Median, Mittelwert, 3. Quartil und Maximum über 10 Tage für die Mastitisphasen und die Kontrollphasen für die Milchmenge und die einzelnen Variablen der Aktivität erzeugt.

5.8.2 Darstellung der relativen Differenzen der Tage -5 bis -1
Die ermittelten relativen Differenzen zum tierindividuellen Vergleichszeitraum (Median der Werte an den Tagen -10 bis -6) der Tage -5 bis -1 wurden in Boxplots dargestellt. Die relativen Differenzen der Mastitisphasen und die relativen Differenzen der Kontrollphasen wurden zum direkten Vergleich nebeneinander dargestellt.

5.9 Bestimmung des kritischen Zeitpunktes

Die relativen Differenzen von Tag -1 bis -5 der Mastitisphasen wurden mittels Mann-Whitney-U-Test mit den relativen Werten der äquivalenten 5 Tage der Kontrollphasen auf statistisch signifikante Unterschiede getestet. Der früheste Tag mit signifikanten Unterschieden in den Variablen zwischen Mastitisphasen und Kontrollphasen wurde bestimmt. Die Anzahl der Kontrollphasen entsprach der Anzahl der Mastitisphasen. Die Auswahl der Kontrollphasen erfolgte zufällig.

5.10 Auswahl der Aktivitätsvariablen für weitere Analysen

Alle vorhandenen Aktivitätsvariablen wurden anfangs für die deskriptiven Analysen herangezogen. Da sich jedoch die Variablen teilweise gegenseitig bedingen (z.B. Steh- und Liegezeiten korrelieren negativ miteinander), wurden die Variablen miteinander mittels Korrelationsanalyse nach Pearson verglichen und bei hohen Korrelationen nur eine der beiden Variablen in die weitere Auswertung mit einbezogen. Die Auswahl der Variablen erfolgte anhand der erzielten p-Werte im statistischen Vergleich zwischen den Mastitis- und den Kontrollphasen.

5.11 Logistische Regression prozentualer Differenzen am Tag 2 vor dem Mastitis-Ereignis

Mit den in Abschnitt 6.3 selektierten Variablen wurde ein logistisches Regressionsmodell mit der Zielvariablen Eintreten von Mastitis (ja/nein) und den ausgewählten Variablen am Tag -2 durchgeführt. Dabei wurden alle Variablen als prozentuale Abweichungen vom Vergleichswert in das Modell aufgenommen und eine schrittweise Rückwärtsselektion durchgeführt. Regressionskoeffizienten und Chancenverhältnisse (Odds Ratios; OR) mit ihren jeweiligen 95 %-Konfidenzintervallen (CI) wurden dargestellt. Die logistischen Regressionsmodelle wurden für jeden der beiden Betriebe einzeln berechnet.

Der prozentuale Abfall in der Milchleistung, im Motion Index bzw. in der Liegezeit wurde als neue erklärende Variable ‚Milkdec‘, ‚Mldec‘ bzw. ‚LyTdec‘ („dec“ steht für *decrease*) definiert, wobei der Abfall als positiver Wert berechnet wurde und ein Anstieg der Milchleistung dementsprechend einen negativen Wert aufwies. Dadurch konnte erreicht werden, dass sich in der logistischen Regression ein Abfall der Milchleistung mit einem $OR > 1$ für das Auftreten von Mastitis ergab. Für die logistische Regression wurde eine weitere erklärende Variable ‚LACT‘ für die Laktation definiert. Dabei wurden die Laktationen als Erstlaktation, Zweitlaktation und weitere Laktationen kodiert (1, 2, 3+). Die Erstlaktation wurde in der logistischen Regression als Referenzkategorie gewählt. Falls sich die Zweitlaktation im Modell nicht von der Erstlaktation unterschied, wurden diese beiden Laktationsgruppen zusammengefasst (1+2 / 3+).

Die relative Qualität der Modelle wurde anhand des Akaike Information Criterion (AIC) (Akaike 1998) bewertet.

5.12 Sensitivitäts-Spezifitätsanalyse unter Nutzung der prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Liegezeit und Motion Index

Pro Betrieb wurde ein Datensatz erzeugt, der vollständige Werte an den Tagen -10, -9, -8, -7, -6 und -2 der Variablen Milchmenge (milk), Motion Index (MI) und Liegezeit (LyT) aufweist (Tabelle 7).

Tabelle 7. Anzahl Mastitis- und Kontrollphasen in den zwei Betrieben mit vollständigen Daten an den Tagen -10, -9, -8, -7, -6 und -2.

Betrieb	Zeitraum	n Mastitisphasen	n Kontrollphasen
BNR1	13.01.2016- 31.12.2016	220	1986
BNR2	01.05.2016- 31.12.2016	157	659

Für die Festlegung eines optimalen Grenzwertes wurden die prozentualen Abweichungen am Tag -2 in den Variablen Milchmenge, Motion Index und Liegezeit genutzt. Die Diskriminierungsfähigkeit wurde gemäß Tabelle 8 beurteilt. Dazu wurden die Werte der Variablen sowohl einzeln, als auch in Kombination zweier Variablen miteinander und alle 3 Variablen in Kombination gemeinsam betrachtet.

Tabelle 8. Testkriterien für die Berechnung von Sensitivität und Spezifität im Vergleich der Mastitisgruppe und der Kontrollgruppe.

	Mastitis	Kontrolle
Test erfüllt	<p>Wahr positiv</p> <p>(Rinder haben Mastitis und erfüllen die Testkriterien)</p>	<p>Falsch positiv</p> <p>(gesunde Rinder erfüllen die Kriterien, um als Mastitis-Rinder detektiert zu werden)</p>
Test nicht erfüllt	<p>Falsch negativ</p> <p>(Rinder haben Mastitis, erfüllen jedoch nicht die Testkriterien)</p>	<p>Wahr negativ</p> <p>(Rinder erfüllen nicht die Mastitis-Kriterien und sind nicht an Mastitis erkrankt)</p>

Die Sensitivität ist der Anteil der vom Test als „wahr positiv“ erkannten Mastitisphasen bezogen auf die Gesamtanzahl der Mastitisphasen.

Die Spezifität ist der Anteil der vom Test als „wahr negativ“ bestimmten Kontrolltiere bezogen auf die Gesamtanzahl in der Kontrollgruppe.

Mit dem R-Paket „pROC“ wurden für die prozentualen Abweichungen der Variablen Milchmenge, Motion Index und Liegezeit am Tag -2 vor Eintreten der klinischen Mastitis Grenzwertoptimierungs-Kurven erzeugt, die auch als *receiver operating characteristic* (ROC)-Kurven bekannt sind. Die optimalen Kombinationsmöglichkeiten von Sensitivität und Spezifität (bzw. 1 - Spezifität) der jeweiligen prozentualen Abweichungen der Variablen als Grenzwerte wurden gegeneinander aufgetragen. Dies erfolgte für Betrieb 1 und Betrieb 2 getrennt. Von beiden Betrieben wurden Daten aus dem Jahre 2016 genutzt (Tabelle 7).

Der optimale Grenzwert bzw. die optimale Grenzwertkombination wurde nach YODEN (Youden 1950) bestimmt und die jeweiligen Sensitivitäten und Spezifitäten berechnet.

$$YODEN - Index = \max(\text{Sensitivität} + \text{Spezifität})$$

Zum Vergleich der ROC-Kurven wurde der AUC-Wert (area under curve) herangezogen. Dieser Wert gibt an, wie groß die Fläche unter der ROC-Kurve ist, wobei ein Wert größer als 0,5 sein muss und möglichst gegen 1 gehen sollte. Je größer der AUC-Wert, desto besser ist die Variable geeignet, um Mastitis- von Kontrolltieren zu differenzieren (Diskriminierungsfähigkeit). Eine Variable, die nicht zwischen Mastitis- von Kontrolltieren differenziert, hätte in der ROC-Analyse einen AUC-Wert von 0,5.

Die Berechnung der optimalen Grenzwerte einzelner Variablen und Grenzwertkombinationen mehrerer Variablen erfolgte durch die Auflösung der logistischen Regressionsgleichung mit den errechneten Regressionskoeffizienten, die zum optimalen Punkt (nach YODEN) in der ROC-Kurve führte.

Die Formel

$$outcome = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 \text{Milk} + \beta_2 \text{MI} + \beta_3 \text{LyT})}}$$

ergibt, aufgelöst nach einer Variablen, die Grenzwertmöglichkeiten der anderen Variablen zur Erreichung dieses Optimums. Jede mögliche Kombination zwischen beispielsweise den Variablen Milch und Liegezeit, die diese Gleichung erfüllen, führt zum optimalen Grenzwert.

5.12.1 Verknüpfung der prozentualen Abweichungen der Einzelvariablen und der Variablenkombination

In einem weiteren Ansatz wurden Sensitivität und Spezifität nach der Verknüpfung der prozentualen Abweichungen der Variablen allein und in deren Kombinationen zueinander ermittelt. Dies erfolgte getrennt für die Datensätze des Betriebs 1 und des Betriebs 2 anhand der Werte des Tags 2 vor der Dokumentation der klinischen Mastitis. Folgendes Schema stellt die Verknüpfung der prozentualen Abweichungen dar:

% Abweichung Milchmenge

ODER % Abweichung Motion Index

ODER % Abweichung Liegezeit

ODER % Abweichung Milchmenge UND % Abweichung Motion Index

ODER % Abweichung Milchmenge UND % Abweichung Liegezeit

ODER % Abweichung Motion Index UND % Abweichung Liegezeit

Als Abgrenzung von Mastitisphasen zu Kontrollphasen dienten prozentuale Abweichungen in den Variablen allein oder in deren Kombination.

5.13 Prozentuale Abweichungen der Mastitisphasen im Vergleich zu den Kontrollphasen in Milchmenge, Liegezeit und Motion Index nach Zuordnung des Milchleistungslevels und der Gruppenaktivität

Die Milchmenge verändert sich im Verlauf der Laktation entsprechend der Laktationskurve und die Aktivität unterliegt Veränderungen durch vielfältige äußere Einflüsse, wie Stallklima oder Management. Mit einer Adjustierung der täglichen Milchmenge und der Aktivitätswerte (Liegezeit und Motion Index) sollten zeitabhängige Veränderungen in diesen Variablen eliminiert werden. Diese Adjustierung entspricht im Weiteren der Zuordnung der Mastitisphasen sowie der Kontrollphasen zu den jeweiligen Milchleistungslevels als auch des jeweiligen Aktivitätslevels.

5.13.1 Erzeugung des Erwartungswertes für die tägliche Milchmenge

Auf Grundlage der vorhandenen täglichen Milchmengen und der zugehörigen Tierdaten wurden Laktationskurven für die Laktationsnummern 1, 2, 3 und 4+ des Betriebs 2 erzeugt.

5.13.1.1 Berechnung der Herdenlaktationskurven

Für den Betrieb 2 wurden aus den vorhandenen Milchmengen im Zeitraum von Mai 2016 bis Dezember 2016 die Tiere nach Laktationen 1, 2, 3 und 4+ gruppiert und pro Tag in Milch (day in milk, DIM) der Median der Milchmengen ermittelt. Die Laktationskurve der 4.+ Laktation basierte auf den Milchmengen, die von Tieren in der 4. oder höheren Laktation produziert wurden.

Mit der Funktion „`zoo::rollapply`“ (R) wurde über die Mediane der Milchmengen pro DIM ein gleitender Mittelwert erzeugt (Abbildung 32). Dieser entstand als Mittelwert der 10 Medianwerte vor und nach dem entsprechend erzeugten Wert am Tag der Laktation.

Durch die gleitenden Mittelwerte wurde eine polynomischen Formel 6. Grades (R) erzeugt. Dies führte zu einer weiteren Glättung der Kurven und ermöglichte die Generierung der Werte der Milchmengen in den ersten 10 Tagen der Laktation (Abbildung 33).

5.13.1.2 Ermittlung des Erwartungswertes für die Milchmenge pro DIM

Eine theoretisch zu erwartende Milchmenge für die Tage -5 bis -1 vor dem Eintreten der klinischen Mastitis wurde anhand der Herdenlaktationskurve und des Leistungsniveaus des Einzeltieres errechnet.

Abbildung 10 stellt das Prinzip der weiteren Berechnungen dar. Die bereits bekannten Tagesmilchmengen des Einzeltiers wurden ins Verhältnis zur Milchmenge der Laktationskurve in der entsprechenden Laktationsphase gesetzt und das prozentuale Leistungsniveau des Einzeltieres zur Herdenlaktationskurve bestimmt.

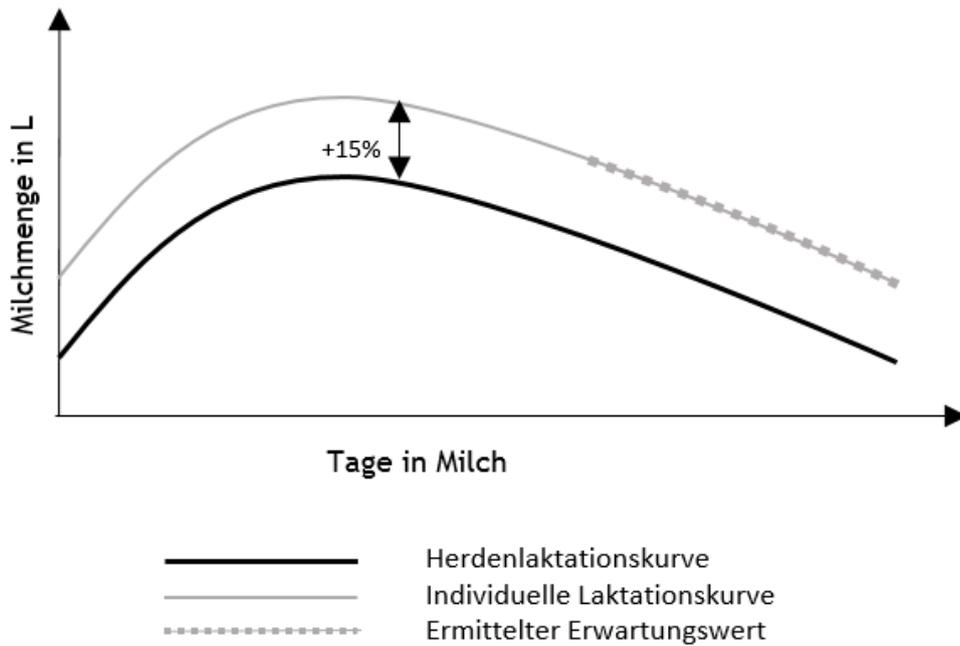


Abbildung 10. Prinzip zur Berechnung des Leistungsniveaus (graue Linie) des Einzeltieres zur Herdenlaktationsleistung (durchgehende schwarze Linie) und die Berechnung des Erwartungswertes (graue Punktlinie) für die tägliche Milchmenge.

Für die Analysen vor der klinischen Mastitis wurden pro Tier und Tag für den Beobachtungszeitraum Tag -10 bis -1 vor dem Eintreten des Mastitis-Ereignisses die Werte der Laktationskurve entsprechend Laktationsnummer und DIM dem Einzeltier zugeordnet (Abbildung 11).

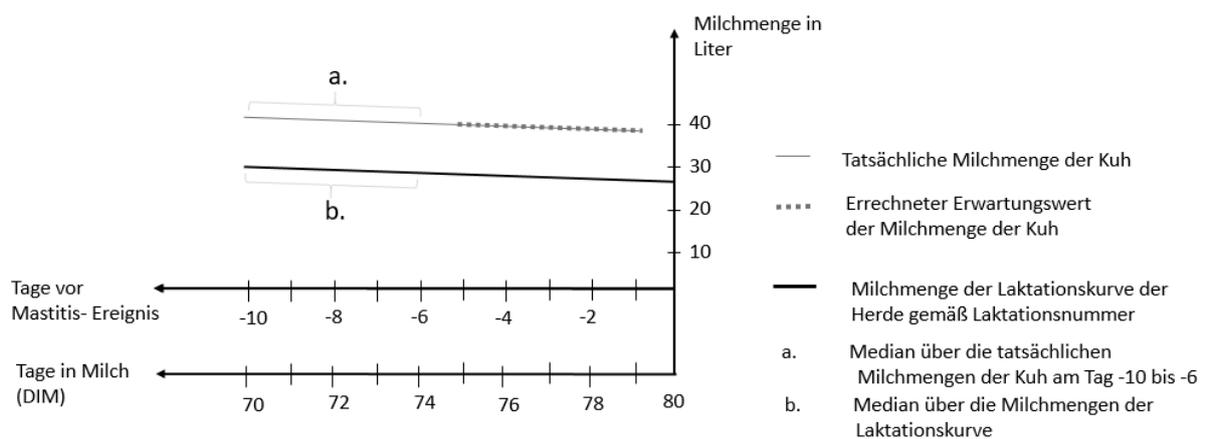


Abbildung 11. Beispiel der Zuordnung der tatsächlichen Milchmengen pro Tag (graue Linie) zu den Milchmengen des Herdendurchschnitts gemäß Laktationskurve (schwarze Linie) der entsprechenden Tage in Milch (DIM) im Beobachtungszeitfenster von -10 bis -6 Tage vor dem Mastitis-Ereignis. Es sind zwei Abszissen dargestellt: eine zeigt die Tage vor dem Mastitis-Ereignis an, die andere die zugehörigen Tage in Milch (DIM) in der Laktationskurve. Auf der Ordinate ist die Milchmenge in Liter (l) aufgetragen

Der Median der Tagesmilchmengen des Einzeltiers an den Tagen -10 bis -6 wurde mit dem Median der zugehörigen Werte des Laktationskurvenabschnitts ins Verhältnis gesetzt (Abbildung 11).

Dieses Verhältnis entsprach dem tierindividuellen Leistungsniveau des Einzeltieres in Bezug auf die Herdenlaktationskurve über diese ausgewählte Zeitspanne unter der Annahme, dass von der Kuh an den Vergleichstagen -10 bis -6 eine nicht von der Mastitis beeinflusste Milchleistung erbracht wurde.

Die Kenntnis des Leistungsniveaus des Einzeltieres über den Vergleichszeitraum Tag -10 bis Tag -6 diente zur Ermittlung der Erwartungswerte der Milchmenge an den Tagen -5 bis -1 (Abbildung 11; graue Punktlinie). Dieser Erwartungswert wurde ermittelt, indem die Werte der Laktationskurve an den Tagen -5 bis -1 mit dem tierindividuellen Leistungsniveau multipliziert wurden.

Aufgrund der retrospektiven Analyse lagen für die Tage -5 bis -1 auch die tatsächlich erbrachten Milchleistungen vor. Mit diesen wurden nun die ermittelten Erwartungswerte für die Tage -5 bis -1 verglichen. Die prozentualen Abweichungen vom Erwartungswert dienten als Grundlage für die weitere Untersuchung auf deren Eignung zur Abgrenzung von Mastitis-Tieren zur Kontrolltieren (weiter in Abschnitt 5.13.3)

5.13.2 Erzeugung des Erwartungswertes für die Aktivität

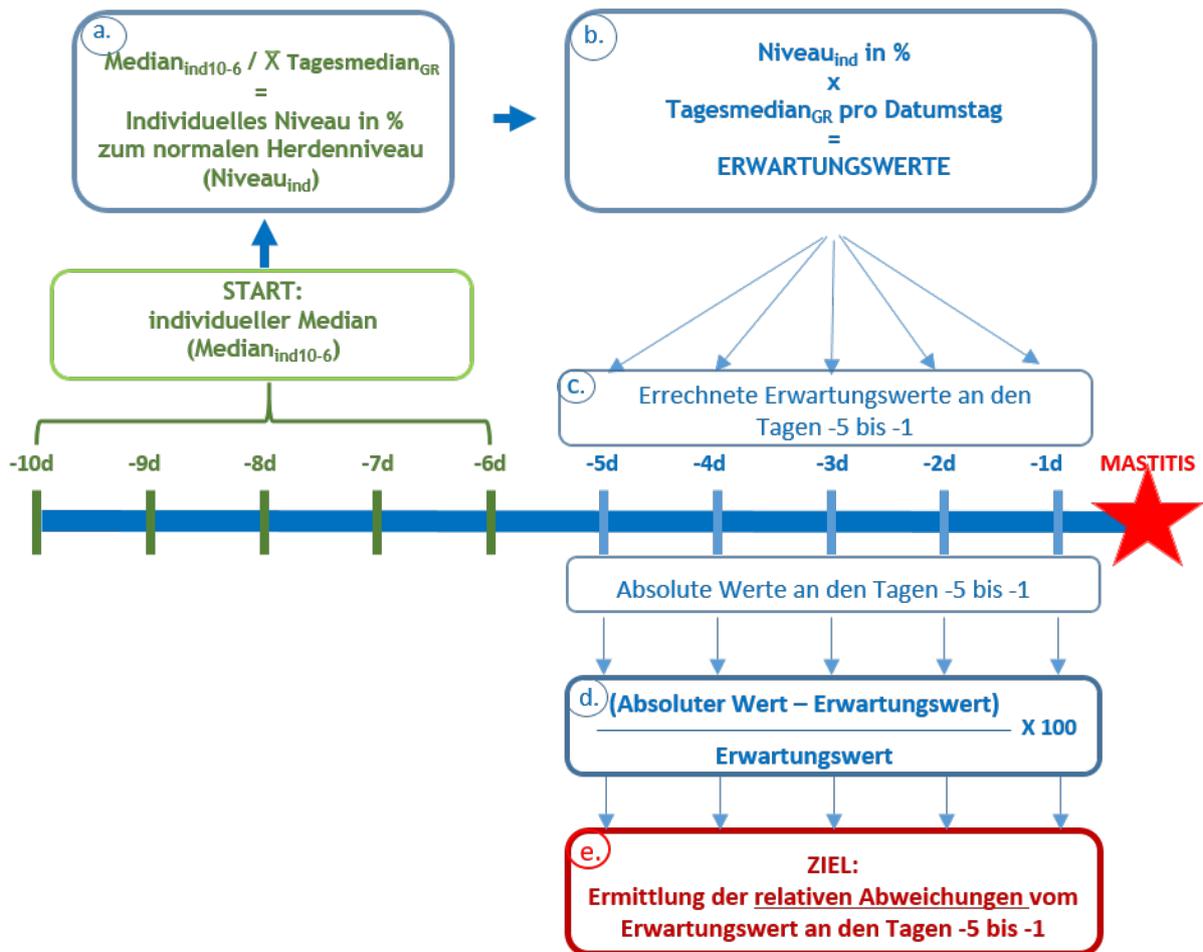
Mit der Formulierung eines Erwartungswertes für die Aktivität des Einzeltieres sollte die Dynamik in Liegezeit und Motion Index, die die gesamte Kuhgruppe durch äußere Einflüsse erfährt, bspw. Trächtigkeitsuntersuchung, Impfkationen oder verändertes Stallklima, aufgegriffen werden. Eine Kuhgruppe ist eine Untereinheit der Herde, in der die Tiere gehalten werden. Kuhgruppen sind u.a. durch unterschiedlich lange Wege zum Melkstand oder durch bestimmte Managementaktionen, wie Fixierung zur Durchführung der Puerperalkontrolle der frischlaktierenden Gruppe oder Trächtigkeitsuntersuchung der hochleistenden Gruppe, gekennzeichnet.

Das Einzeltier wurde in einem ereignisfreien Zeitraum in den Variablen Liegezeit und Motion Index ins Verhältnis zur Gruppenaktivität (Liegezeit und Motion Index) gesetzt. Anhand des tierindividuellen Aktivitätsniveaus in der täglichen Aktivität (Liegezeit und Motion Index) und der Dynamik der Gruppenaktivität über einen Zeitraum wurde in diesem Zeitraum ein tierindividueller Erwartungswert berechnet. Spezifische Abweichungen von diesem errechneten tierindividuellen Erwartungswert an den Tagen vor Eintreten einer klinischen Mastitis sollten es ermöglichen, die Mastitisphasen besser von den Kontrollphasen abgrenzen zu können.

5.13.2.1 Berechnung des individuellen Aktivitätsniveaus

Für jede Kuhgruppe (Aufstallungsgruppe) wurde für jeden Tag im Beobachtungszeitraum der Median der Aktivitätsvariablen Liegezeit und Motion Index ermittelt und den Tagen der individuellen Mastitisphasen bzw. den Kontrollphasen zugeordnet.

Anschließend wurde der Durchschnitt der Gruppenmediane der Tage -10 bis -6 sowie die Mediane der individuellen Werte jedes Tieres an den Tagen -10 bis -6 bestimmt.



$\text{Median}_{\text{ind}10-6}$	Median der absoluten Werte des Mastitistieres an den Tage -10 und -6
$\text{Tagesmediane}_{\text{GR}}$	Mediane pro Tag und Gruppe der entsprechend äquivalenten Tage
$\text{Niveau}_{\text{ind}}$	Verhältnis des Medians des einzelnen Tieres zum Mittelwert der Tagesmediane über die Tage -10 bis -6

Abbildung 12. Fließschema zur Erzeugung einer relativen Abweichung vom Erwartungswert der tierindividuellen Liegezeit und des Motion Index. Der individuelle Median der Werte an den Tagen -10 bis -6 wurden zur Ermittlung eines individuellen Niveaus (a.) in Liegezeit und Motion Index genutzt. Aus dem zeitlichen Verlauf der Gruppenaktivität und des individuellen Niveaus wurde anschließend Erwartungswerte (b., c.) sowie deren Abweichung (d., e.) von tatsächlich erzeugten Werte des Tieres in der Liegezeit und dem Motion Index berechnet.

Zur Bestimmung des Aktivitätsniveaus (Liegezeitniveau, Motion Index Niveau) für jedes Tier wurden deren Mediane über die Tage -6 bis -10 ($\text{Median}_{\text{ind}10-6}$) ins Verhältnis zum Mittelwert der Gruppenmediane (\bar{X} Tagesmedian_{GR}) an den Tagen -10 bis -6 gesetzt und die prozentuale Ausprägung des Einzeltiers ($\text{Niveau}_{\text{ind}}$) zur Gruppe bestimmt (Abbildung 12, a.). Dieses Niveau diente dazu, die Werte des Einzeltiers zur Gruppenaktivität einzuordnen und darauf basierend für die Tage -5 bis -1 die tierindividuellen Erwartungswerte zu erzeugen. Diese Herangehensweise ermöglichte es, die täglichen Aktivitätsschwankungen, die die Kuhgruppe durch äußere Einflüsse, wie Klimaveränderungen oder Herdenaktionen durchlebt, auf Einzeltierebene zu normalisieren. Die Abweichung eines Einzeltiers in der Liegezeit und Motion Index wurde nur dann als relevant beurteilt, wenn sie sich nicht durch die Gruppendynamik erklären ließ.

5.13.2.2 Ermittlung des Erwartungswertes für die tägliche Aktivität

Für die Ermittlung des Erwartungswertes wurde der Tagesmedian der Gruppe an den Tagen -5, -4, -3, -2, -1 mit dem tierindividuellen Liegezeitniveau und dem Niveau des Motion Index der Einzeltiere multipliziert (Abbildung 12, b.), da zu erwarten war, dass sich das Niveau an diesen Tagen fortsetzte.

Die Abweichungen der tatsächlichen gemessenen Werte der Liegezeit und des Motion Index von den errechneten Erwartungswerten wurden ermittelt (absoluter Wert; Abbildung 12, d.) und in einen prozentualen Wert (relative Abweichung; Abbildung 12, e.) überführt.

5.13.3 Darstellung der adjustierten prozentualen Abweichungen

Als Grundlage für die Ergebnisse der adjustierten prozentualen Abweichungen von den errechneten Erwartungswerten dienten Daten von Mastitis- und Kontrollphasen des Betriebs 2 aus den Jahren 2016 und 2017. Insgesamt wurden 332 Mastitisphasen und 1656 Kontrollphasen für die Darstellung der adjustierten prozentualen Abweichungen der Milchmenge vom Erwartungswert genutzt. Für die Auswertung der adjustierten prozentualen Abweichungen vom Erwartungswert des Motion Indexes und des Erwartungswertes der Liegezeit standen 252 Mastitisphasen und 1270 Kontrollphasen zur Verfügung. Da bei komplexen Berechnungen, wie bspw. der logistischen Regression, auf vollständige Datensätze geachtet wurde, stand der durch die verringerten Aktivitätswerte verminderte Datensatz (n= 252 (Mastitisphasen), n=1270 (Kontrollphasen)) zur Verfügung.

Die adjustierten prozentualen Abweichungen der Mastitis- und Kontrollphasen wurden nebeneinander für die Tage 5 bis 1 vor Eintreten der Mastitis in Boxplots jeweils getrennt für die Variablen tägliche Milchmenge, Motion Index, Liegezeit und Wechsel aufgetragen.

5.13.4 Logistische Regression der adjustierten prozentualen Differenzen

Mit den adjustierten prozentualen Abweichungen der täglichen Milchmenge, des Motion Indexes und der Liegezeit am Tag 2 vor Mastitis-Ereignis wurde ein logistisches Regressionsmodell mit der Zielvariablen Mastitis (ja/nein) erstellt. Die Vorgehensweise entsprach dabei der unter Methode 5.11 beschriebenen.

5.13.5 Erzeugung der Grenzwertoptimierungskurven (ROC-Kurven) der adjustierten prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit

Für die adjustierten prozentualen Abweichungen der Variablen Milchmenge, Motion Index und Liegezeit am Tag 2 vor Eintreten der klinischen Mastitis wurden wie bereits unter Methode 5.12 beschrieben die Grenzwertoptimierungs-Kurven erzeugt und optimale Grenzwerte ermittelt.

6. Ergebnisse

6.1 Erzeugte Datenbank

Die Daten der Betriebe wurden aus Tabellen (Tabelle 6, Kapitel 5.4) der SQL- Datenbank in Ansichten zusammengeführt. Abbildung 13 zeigt die Ansicht 'Abfrage_Tagebuch'. Eine Zeile in der Ansicht enthält pro Tier (ID) eines Betriebes (BNR) die Werte für den jeweiligen Datumstag (DATE). Es wird für den jeweiligen Tag aufgeführt, in welcher Gruppe (PEN) das Tier stand, in welcher Laktation und an welchem Tag in Laktation (DIM) es sich befand. Hinzu kommt die errechnete Milchmenge (M_SUM) aus den jeweiligen Einzelgemelken und die Werte, die mittels Aktivitätssensor gemessen wurden. Dazu zählen der Motion Index (MI), die Schritte (STEPS), die Stehzeit (STANDING_TIME), die Liegezeit (LYING_TIME) und die Wechsel (STANDING_CHANGE). Falls ein Ereignis (EVENT) an dem Datumstag in DairyComp305 eingetragen wurde, erscheint das in der vorletzten Spalte. Bemerkungen finden sich in der letzten Spalte (REMARK).

BNR	ID	DATE	PEN	LACT	DIM	DMLK	M_SUM	MI	STEPS	STANDING_TIME	LYING_TIME	STANDING_CHANGE	EVENT	REMARK
2	1759	01.06.2016 00:00:00	7	4	128	0	0	1840	556	12:59:45	11:00:15	22	MAST	UBRO RH.
2	1789	01.06.2016 00:00:00	1	5	212	25	25	3037	816	10:58:03	13:01:57	26		
2	1849	01.06.2016 00:00:00	3	5	112	33	33	3390	932	12:06:05	11:53:55	16	PREG	SOLDAT
2	3652	01.06.2016 00:00:00	20	2	284	0	0							
2	3664	01.06.2016 00:00:00	3	2	140	38	38	2753	812	13:54:52	10:05:08	26		
2	3665	01.06.2016 00:00:00	5	2	358	23	22							
2	3666	01.06.2016 00:00:00	5	2	345	22	22							
2	3667	01.06.2016 00:00:00	20	2	353	0	0							
2	3691	01.06.2016 00:00:00	5	2	249	24	24	3712	1101	13:43:50	10:16:10	24		
2	3706	01.06.2016 00:00:00	6	2	178	35	34	2054	565	18:19:52	05:40:08	15		
2	3723	01.06.2016 00:00:00	1	2	263	26	26							

Abbildung 13. Datenbankansicht 'Abfrage_Tagebuch'. Anhand der Betriebsnummer (BNR), der Identifikationsnummer (ID) jedes Tieres und dem Datum (DATE) wurden dem Tier die Gruppe (PEN), die Laktationsnummer (LACT), die Tagesmilchmenge aus dem DC305 (DMLK), die ermittelte Tagesmilchmenge (M_SUM) sowie die Aktivitätswerte Motion Index (MI), Schritte (STEPS), Stehzeit (STANDING_TIME), Liegezeit (LYING_TIME), Wechsel (STANDING_CHANGE) und die Ereignisse (EVENT) mit Vermerk (REMARK) zugeordnet.

6.2 Datenbeschreibung

Die in der Datenbank gesammelten Daten der Milchmenge, der Aktivitäten und der dokumentierten Mastitiden ermöglichen es, die Betriebe in diesen Variablen im Beobachtungszeitraum zu beschreiben.

6.2.1 Tankmilchmenge im Beobachtungszeitraum

Betrieb 1

Die monatliche Tankmilchmenge pro Tag und Tier schwankte im Jahr 2016 zwischen 31 und 36 l pro Tag (Abbildung 14). In den Monaten Februar bis April und im Juli betrug der Mittelwert der täglichen Tankmilchmenge 36 l. Im Januar war die geringste durchschnittliche Milchmenge von 31 l zu erkennen. In den restlichen Monaten lag die tägliche Milchmenge zwischen 33 und 35 l.

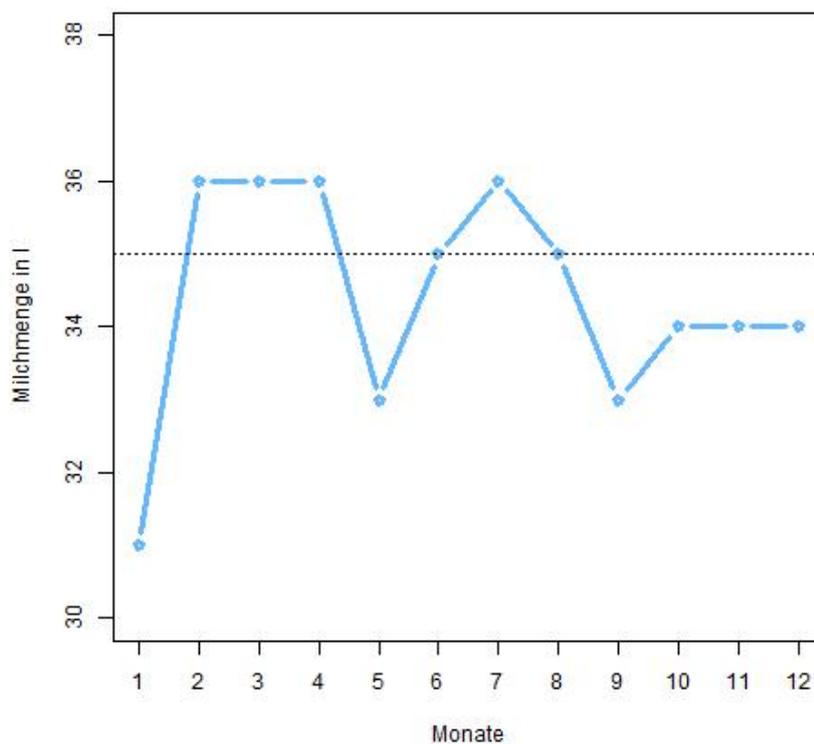


Abbildung 14. Durchschnittliche Tankmilchmenge in l pro Tag und Tier je Monat im Betrieb 1. Die eingetragene Punktlinie gibt als Orientierung 35 l an. In den Monaten Februar bis April und im Juli lag die tägliche Tankmilchmenge im Schnitt bei 36 l. Die geringste durchschnittliche Milchmenge von 31 l war im Januar zu beobachten. In den restlichen Monaten lag die tägliche Milchmenge zwischen 33 und 35 l.

Betrieb 2

Die Milchmenge im Betrieb 2 sank im Jahr 2016 zwischen April bis Oktober kontinuierlich von 34 auf 27 l Tankmilchmenge pro Tag und Tier (Abbildung 15), stagnierte im November und lag im Dezember bei 29 l. Als Ursache für diese Entwicklung wurde vom Betriebsleiter eine geringe Grundfutterqualität genannt.

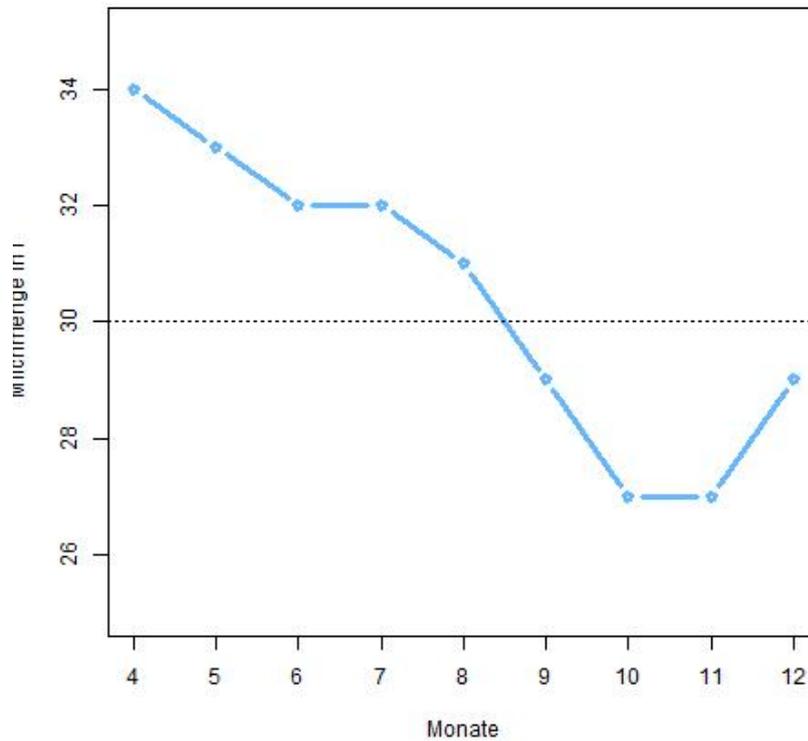


Abbildung 15. Durchschnittliche Tankmilchmenge in l pro Tag und Tier je Monat im Betrieb 2. Die eingetragene Punktlinie gibt als Orientierung 30 l an. Zwischen April und Oktober sank die durchschnittliche Milchmenge kontinuierlich von 34 auf 27 l, stagnierte im November und stieg im Dezember wieder auf 29 l durchschnittliche Milchmenge an.

6.2.2 Aktivitäten im Beobachtungszeitraum

Betrieb 1

Im Betrieb 1 waren im Jahr 2016, wie in Abbildung 16 dargestellt, im monatlichen Durchschnitt pro Tag zwischen 800 und 1200 Tieren mit einem funktionsfähigen Sensor ausgestattet und erzeugten vollständige Aktivitätsdaten pro Tag.

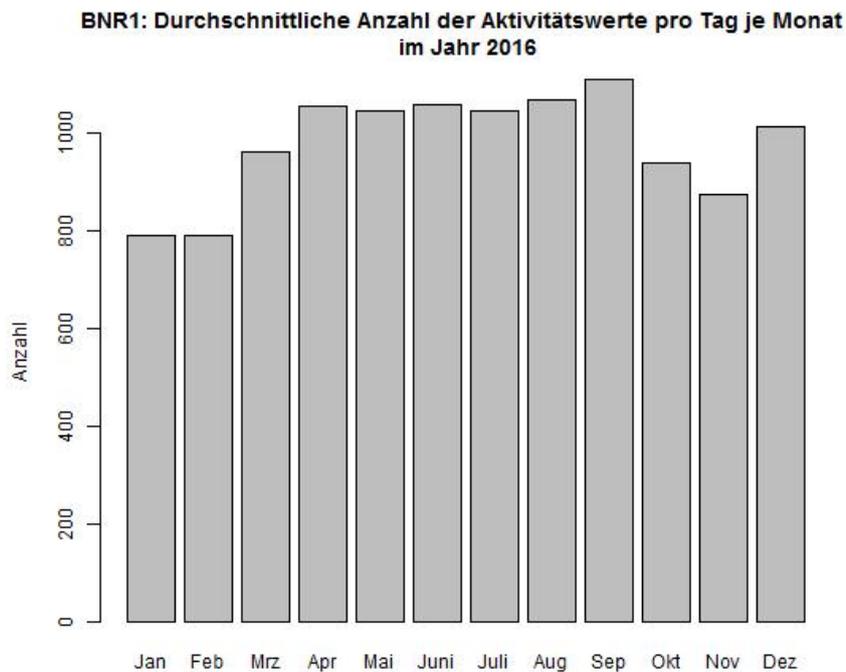


Abbildung 16. Durchschnittliche Anzahl von täglichen Aktivitätsdaten pro Monat im Jahr 2016 in Betrieb 1 (BNR1). Pro Tag und Tier wurde ein Aktivitätswert erfasst. Bspw. lagen im Januar im Durchschnitt pro Tag vollständige Aktivitätswerte von 800 Tieren vor.

Betrieb 2

Betrieb 2 begann im August 2015 die Nutzung der Aktivitätssensoren als Brunsterkennungssystem und brachte sukzessiv die Sensoren an den Tieren an, sodass 300 Rinder im monatlichen Durchschnitt pro Tag zu Beginn der Datensammlung im April 2016 mit einem Sensor ausgestattet waren (Abbildung 17). Die Anzahl der Datensätze der Aktivitätsdaten stieg im September 2016 bis auf über 350 pro Tag an.

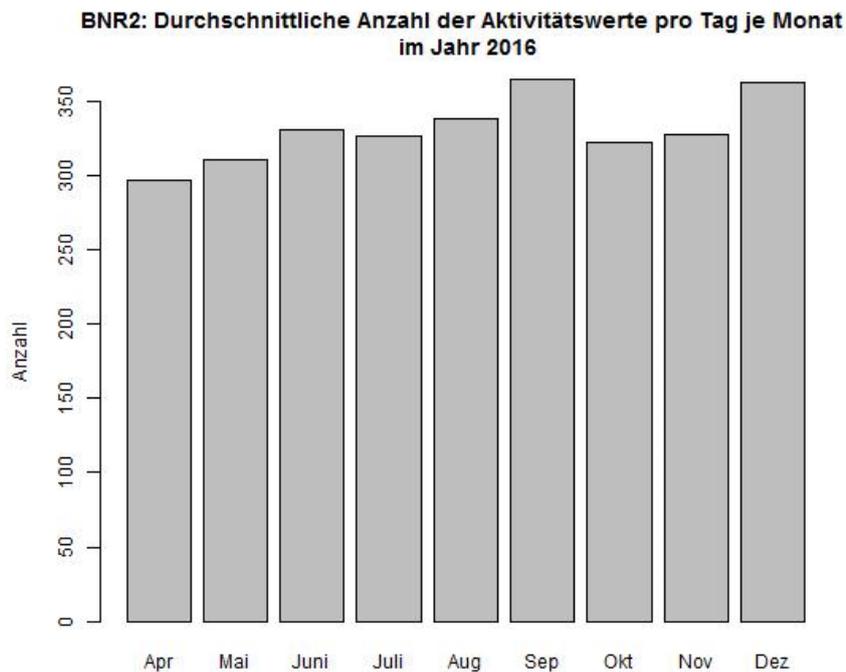


Abbildung 17. Durchschnittliche Anzahl von täglichen Aktivitätsdaten pro Monat im Jahr 2016 im Betrieb 2 (BNR2). Im April waren 300 Tiere im monatlichen Durchschnitt pro Tag mit einem Sensor ausgestattet. Im September 2016 stieg die Anzahl der vollständigen Datensätze der Aktivitätsdaten pro Tag auf 350 an.

6.2.3 Mastitiden im Beobachtungszeitraum

Betrieb 1

Im Betrieb 1 verteilen sich die dokumentierten Mastitis-Ereignisse pro Monat über das Jahr 2016 wie in Abbildung 18 dargestellt:

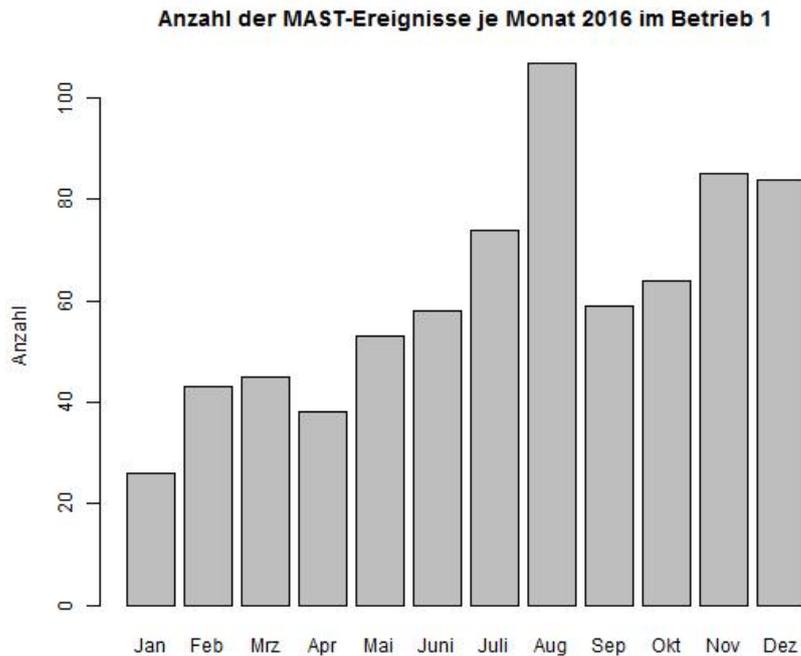


Abbildung 18. Anzahl der Mastitis-Ereignisse (MAST-Ereignisse) im Jahr 2016 im Betrieb 1. Ein Peak der Mastitisanzahl ist im Monat August zu erkennen. In den Monaten Januar bis April lag die Anzahl der Mastitiden bei rund 40 pro Monat. In den Monaten September bis Dezember 2016 schwankte sie zwischen 60 und 80 pro Monat.

Lag die Anzahl der Mastitiden am Anfang des Jahres 2016 (Januar bis April) bei rund 40 pro Monat, so stieg sie in den Sommermonaten bis zu einem Peak im Monat August von über 100 an und schwankten den Rest des Jahres (September bis Dezember) zwischen 60 und 80 Mastitiden pro Monat.

Betrieb 2

In Abbildung 19 ist die Anzahl der Mastitis-Ereignisse pro Monat des Jahres 2016 im Betrieb 2 dargestellt:

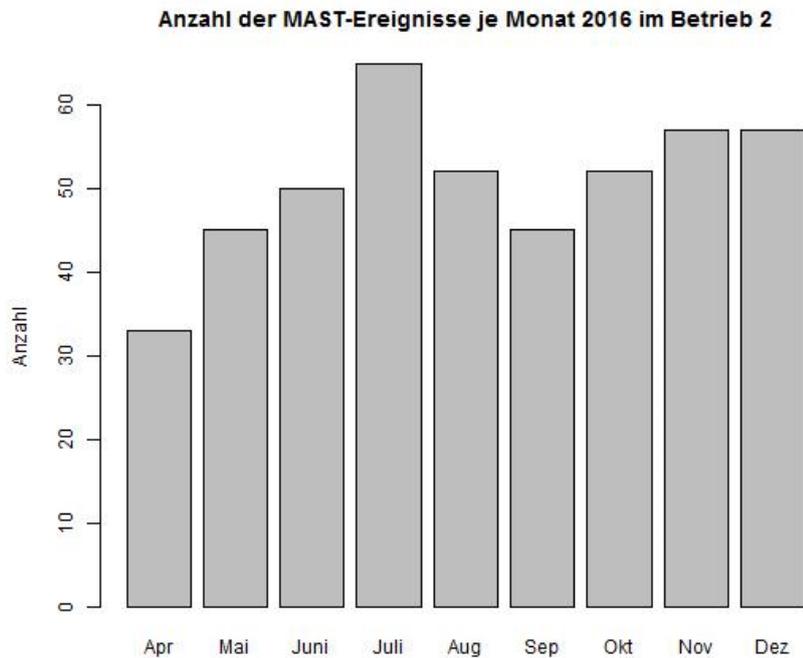


Abbildung 19. Anzahl der Mastitis-Ereignisse (MAST-Ereignisse) im Jahr 2016 im Betrieb 2. Ein Peak der Mastitisanzahl pro Monat wurde im Betrieb 2 im Monat Juli mit 65 pro Monat erreicht. In den anderen Monaten schwankte die Anzahl der Mastitiden zwischen 45 und 55 Mastitiden pro Monat. Die Anzahl der Mastitiden im Monat April von 33 Mastitiden ist in der begrenzten Erfassung in der zweiten Monatshälfte begründet. Die Datenerfassung begann erst Mitte April 2016.

Ein Peak der Mastitisanzahl pro Monat wurde im Betrieb 2 im Monat Juli mit 65 pro Monat erreicht. In den anderen Monaten schwankte die Anzahl der Mastitiden zwischen 45 und 55 Mastitiden pro Monat. Die Anzahl der Mastitiden im Monat April von 33 Mastitiden ist in der begrenzten Erfassung in der zweiten Monatshälfte begründet. Die Datenerfassung begann erst Mitte April 2016.

In beiden Betrieben ist ein Anstieg der dokumentierten Mastitis-Ereignisse in den Sommermonaten Juli (Betrieb 2) und August (Betrieb 1) zu erkennen.

6.2.4 Datennutzung für die Analysen der Mastitiden

Bei der täglichen Datengewinnung im Stall und in der Datenübertragung in den Speicherort der Daten gingen vereinzelt Milchmengen oder Werte der Aktivität verloren. Für die Berechnungen über Mastitisphasen bzw. Kontrollphasen wurden nur Zeitfenster genutzt, deren Werte vollständig vorlagen. Fehlte ein Wert (ein Wert pro Tag), so wurde das entsprechende Tier von weiteren Analysen für diesen unvollständigen Zeitraum von zehn Tagen ausgeschlossen.

Bei dem Wert der täglichen Milchmenge wurde darauf geachtet, dass alle Einzelgemelke des Tages erfasst wurden. Nur dann wurde das Tagesgemelk als vollständig bewertet.

Als Datengrundlage für die erste Datensicht der Mastitis-Ereignisse dienten aus jeweils beiden Betrieben die Daten aus dem Jahr 2016. Für Betrieb 1 (BNR1) lagen Daten von 11,5 Monaten und für Betrieb 2 (BNR2) für 8 Monate vor (Tabelle 9).

Für Betrieb 1 konnten 213 Mastitisphasen und 1863 Kontrollphasen zur Analyse der Veränderungen in der Milchleistung genutzt werden. 424 Mastitisphasen und 3583 Kontrollphasen zur Analyse der Veränderungen in der Aktivität standen zu Verfügung. In Betrieb 2 lagen 99 Mastitisphasen und 703 Kontrollphasen zur Analyse der Veränderungen in der Milchleistung und 241 Mastitisphasen und 789 Kontrollphasen zur Analyse der Veränderungen in der Aktivität vor.

Tabelle 9. Beobachtungszeitraum zur Analyse der Veränderungen der Milchmengen und Aktivitäten an den Tagen vor dem Mastitis-Ereignis für Betrieb 1 und Betrieb 2.

Betrieb	Zeitraum	Phasen	N vollständige 10- Tages- Zeiträume in Milch	N vollständige 10-Tages-Zeiträume in Aktivität
BNR1	13.01.2016 – 31.12.2016	Mastitisphasen	213	424
		Kontrollphasen	1863	3583
BNR2	01.05.2016 – 31.12.2016	Mastitisphasen	99	241
		Kontrollphasen	703	789

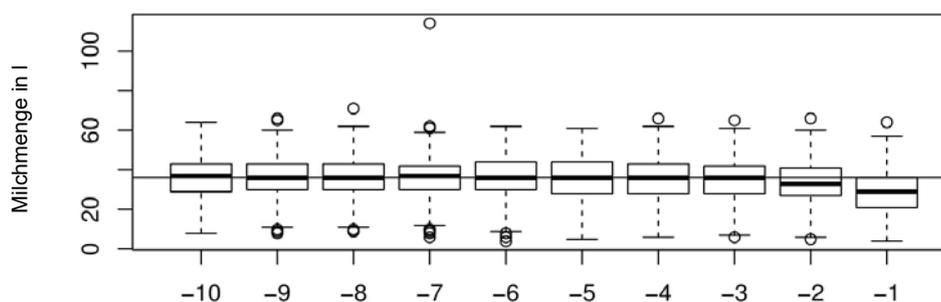
Durch die Wahl des Medians über die Werte von Zeitfenstern, bspw. der Tage -10 bis -6, wurde ein Lageparameter gewählt, der gegenüber spontanen Ausreißern stabil ist.

6.3 Auswahl des Zeitpunktes und der Variablen

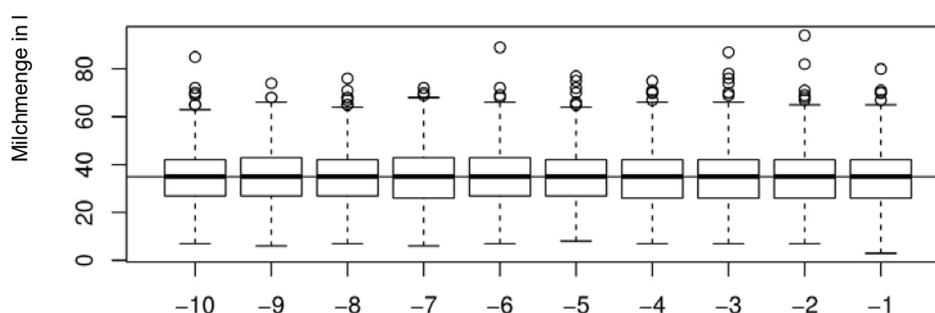
Im oberen Teil der Abbildung 20 sind die absolute Milchmengenwerte an den 10 Tagen vor dem Mastitis-Ereignis und die Kontrollphasen dargestellt. Aus dem Vergleich der Boxplots und der Kennzahlen (untere Teil der Abbildung 20) beider Phasen ergab sich, dass relevante Veränderungen ab dem Tag -5 vor einem Mastitis-Ereignis zu erwarten waren.

Exemplarisch wurden hier der Verlauf der Milchmengenveränderung im Betrieb 1 dargestellt (Abbildung 20). Alle weiteren Boxplots und Kennzahlen für Betrieb 1 und Betrieb 2 sind im Anhang 13.1 aufgelistet.

a. Mastitisphasen



b. Kontrollphasen



Mastitisphasen

	Tag -10	Tag -9	Tag -8	Tag -7	Tag -6	Tag -5	Tag -4	Tag -3	Tag -2	Tag -1
MAX	64	66	71	114	62	61	66	65	66	64
3rd Q	43	43	43	42	44	44	43	42	41	36
mean	36.22	36.15	36.23	36.23	35.68	35.78	35.64	34.89	33.56	28.63
median	37	36	36	37	36	36	36	36	33	29
1st Q	29	30	30	30	30	28	28	28	27	21
MIN	8	8	9	6	4	5	6	6	5	4

Kontrollphasen

	Tag -10	Tag -9	Tag -8	Tag -7	Tag -6	Tag -5	Tag -4	Tag -3	Tag -2	Tag -1
MAX	85	74	76	72	89	77	75	87	94	80
3rd Q	42	43	42	43	43	42	42	42	42	42
Mean	34.65	34.66	34.47	34.47	34.55	34.33	34.30	34.37	34.27	34.22
Median	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
1st Q	27	27	27	26	27	27	26	26	26	26
MIN	7	6	7	6	7	8	7	7	7	3

Abbildung 20. Boxplots (oben; a. und b.) und statistische Kennzahlen (unten) der Milchmenge (in l pro Tag) für 10 Tage vor einem Mastitis-Ereignis (Mastitisphasen n=213 Tiere) und in den Kontrollphasen (n=213 Tiere) im Betrieb 1

In der direkten Gegenüberstellung der relativen Abweichungen der Mastitisphasen (rot) und der Kontrollphasen (blau) (Abbildung 21) werden Abweichungen deutlich je geringer der Abstand zu Tag 0 wird.

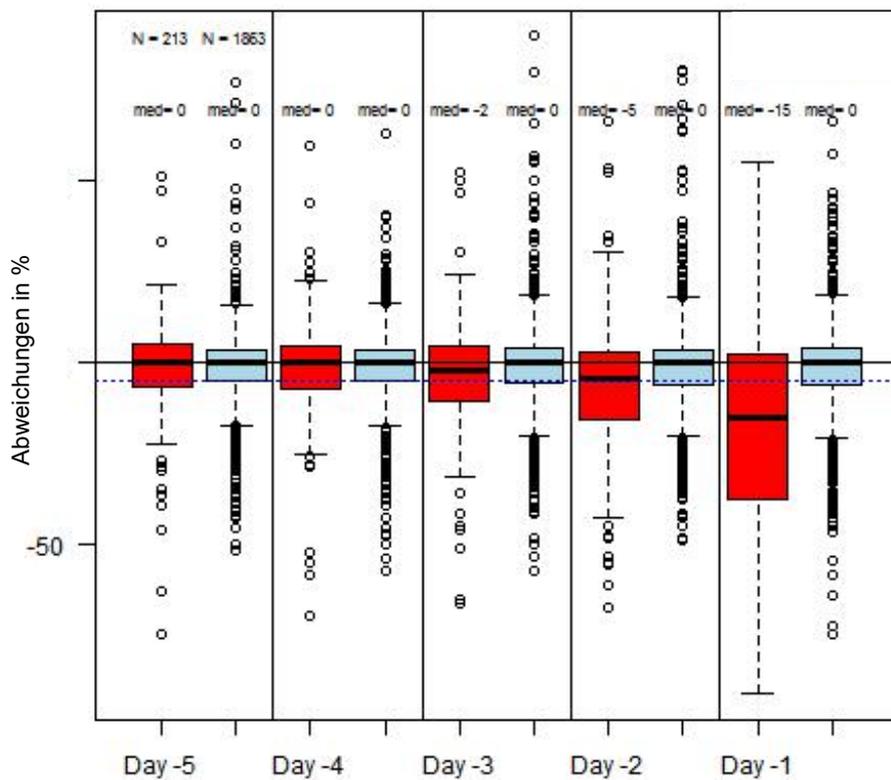


Abbildung 21. Relative Milchmengen an den Tagen -5 bis -1 für die Mastitisphasen (rot, n=213) und die Kontrollphasen (blau, n=1863) in Betrieb 1. Die gestrichelte Linie ist die Abweichung -5%.

Die relativen Werte der Mastitisphasen unterschieden sich von denen der Kontrollphasen am deutlichsten an Tag -1 und Tag -2 in beiden Betrieben. Der Motion Index unterschied sich in

Betrieb 1 an vier von fünf Tagen und in Betrieb 2 an drei der fünf Tage. Die Wechsel wiesen in beiden Betrieben die wenigsten Unterschiede auf (Tabelle 10, Tabelle 11).

Tabelle 10. p-Werte des Mann-Whitney-U-Tests zu den relativen Abweichungen der Mastitisphasen (n=213 (Milchmenge); n=424 (Aktivitätsvariablen)) gegenüber den relativen Abweichungen der Kontrollphasen (n= 1863 (Milchmenge); n= 3583 (Aktivitätsvariablen)) im Betrieb 1 (*statistische Signifikanz)

	Day-1	Day-2	Day-3	Day-4	Day-5
Milk	<0.0001*	0.0021*	0.4953	0.8639	0.1662
MI	<0.0001*	0.0007*	0.0047*	0.1190	0.0084*
Steps	<0.0001*	0.0134*	0.0539	0.1247	0.0021*
Change	0.0027*	0.8753	0.8745	0.8964	0.2326
Lying time	<0.0001*	<0.0001*	0.0100*	0.5737	0.9554
Standing time	<0.0001*	<0.0001*	0.0137*	0.8709	0.9163

Tabelle 11. p-Werte des Mann-Whitney-U-Tests zu den relativen Abweichungen der Mastitisphasen (n=99 (Milchmenge: milk); n=241 (Aktivitätsvariablen: MI, Steps, Change, Lying time, Standing time)) gegenüber den relativen Abweichungen der Kontrollphasen (n=703 (Milchmenge); n=789 (Aktivitätsvariablen)) im Betrieb 2 (*statistische Signifikanz)

	Day-1	Day-2	Day-3	Day-4	Day-5
Milk	<0.0001*	0.0027*	0.0726	0.0558	0.5965
MI	0.5685	<0.0001*	0.0155*	0.3908	0.0427*
Steps	0.2783	0.0007*	0.0726	0.8719	0.2072
Change	0.0265*	0.7157	0.7051	0.9437	0.3514
Lying time	<0.0001*	0.1959	0.6141	0.5954	0.8874
Standing time	<0.0001*	0.1575	0.856	0.5958	0.8396

Anhand der Tabelle 10 und Tabelle 11 ließ sich ein deutlicher Unterschied in den erhaltenen p-Werten von Tag -3 zu Tag -2 erkennen. Die relativen Werte der Milchmenge waren in beiden Betrieben ab Tag -2 statistisch signifikant unterschiedlich.

Da möglichst frühzeitig eine Veränderung in den Variablen vor der Dokumentation einer Mastitis genutzt werden sollte, wurde in den folgenden Untersuchungen besonderes Augenmerk auf den Tag -2 gelegt.

Die gemessenen Variablen Schritte und Motion Index (Abbildung 22) wiesen eine positive Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten $r=0,95$ auf. Die Liege- und Stehzeit (Abbildung 23) wiesen jeweils einen negativen Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten $r=-1,00$ auf. Daher wurden für die weiteren Analysen jeweils nur der Motion Index und die Liegezeit genutzt.

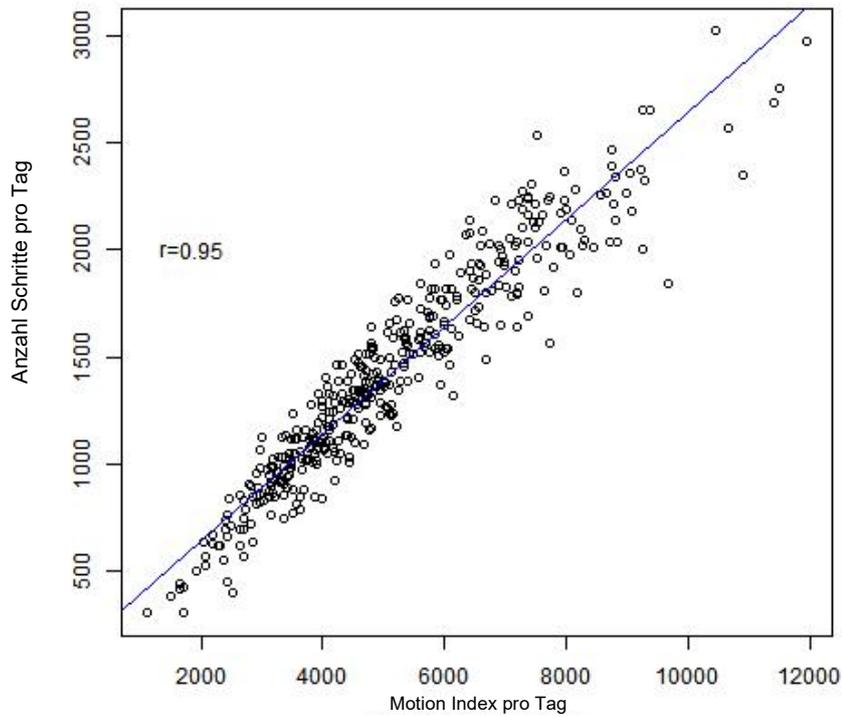


Abbildung 22. Verhältnis von Motion Index pro Tag und Schritte pro Tag; $r=0,95$ ($n=413$)

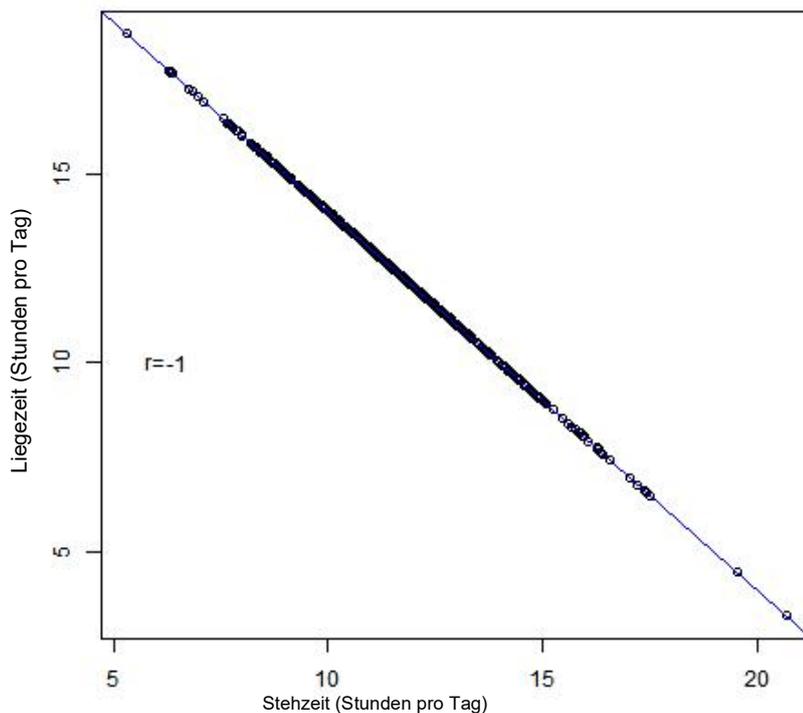


Abbildung 23. Verhältnis der Liegezeit (Stunden pro Tag) zur Stehzeit (Stunden pro Tag); $r=-1$ ($n=424$)

Für die weiteren Auswertungen wurden die Werte der prozentualen Abweichungen der Milchmengen, des Motion Index und der Liegezeit am Tag 2 vor dem Mastitis-Ereignis ausgewählt. Eine Veränderung der Anzahl der Mastitisphasen und der Kontrollphasen resultierte aus der Auswahl der Werte am Tag -2. Es wurden alle Werte von Phasen genutzt, für die sowohl eine prozentuale Abweichung in der Milchmenge als auch im Motion Index und in der Liegezeit am Tag -2 vorlag. Das Vorhandensein von Werten an den Tagen -1 bis -5 fand hier keine Berücksichtigung.

Die Anzahl der Mastitisphasen veränderte sich zu n=220 und Kontrollphasen n=1986 im Betrieb 1 und im Betrieb 2 n (Mastitisphasen)=157 und n (Kontrollphasen)=659.

6.4 Logistische Regression

Nach Auswahl der Variablen Milchmenge, Motion Index und Liegezeit am Tag -2 wurde pro Betrieb ein logistisches Regressionsmodell mit den prozentualen Abweichungen der Werte der Mastitisphasen im Vergleich zu den Werten der Kontrollphasen berechnet.

6.4.1 Betrieb 1

Für Betrieb 1 ergab sich für diese Ausgangswerte ein logistisches Regressionsmodell mit den in Tabelle 12 aufgeführten Werten.

Tabelle 12. Ergebnisse der logistischen Regression von Betrieb 1 unter Berücksichtigung der Variablen Milchmengenabfall (Milkdec), Abfall des Motion Index (Mldec) und Liegezeitabfall (LyTdec) am Tag -2 für das Auftreten von Mastitis (n(Mastitisphasen)=220 und n(Kontrollphasen)=1986; AIC=1381) (*statistische Signifikanz)

	Estimate	p-value	Odds Ratio	CI 2,5 %	CI 97,5 %
(Intercept)	-2,3846	<0,0001*	0,0921	0,0783	0,1076
Milkdec	0,0378	<0,0001*	1,0385	1,0270	1,0501
Mldec	-0,0021	0,0150*	0,9979	0,9956	0,9996
LyTdec	0,0157	0,0060*	1,0159	1,0045	1,0274

Alle drei Variablen sind signifikant mit dem Outcome assoziiert. Der Abfall in der Milchleistung (Milkdec) wies den höchsten p-Wert auf und war mit dem höchsten OR für das Auftreten von Mastitis assoziiert (OR = 1,0385; 95 % CI: 1,0270-1,0501). Für den Abfall in der Liegezeit ergab sich ebenfalls ein hohes OR (OR =1,0159; 95 % CI: 1,0045-1,0274), während ein Abfall im Motion Index zu einem geringeren OR (OR =0,9979; 95 % CI: 0,9956-0,9996) für das Auftreten von Mastitis führte.

Wurde die Variable Laktationsnummer (LACT) mit in das Modell aufgenommen, unterschied sich die Zweitlaktation nicht von der Erstlaktation (siehe Anhang 13.3.1), weshalb diese Laktationen zusammengefasst wurden (Tabelle 13).

Tabelle 13. Ergebnisse der logistischen Regression von Betrieb 1 unter Berücksichtigung der Variablen Milchleistungsabfall (Milkdec), Abfall des Motion Index (Mldec) und Liegezeitabfall (LyTdec) am Tag -2, sowie Laktation 1 und 2 gemeinsam im Vergleich zu höheren Laktationen (Laktation 3+) (LACT_2gr3) für das Auftreten von Mastitis (n(Mastitisphasen)=95 und n(Kontrollphasen)=1243; Laktation 3+: n(Mastitisphasen)=125 und n(Kontrollphasen)=743; AIC=1358) (*statistische Signifikanz)

	Estimate	p-value	Odds Ratio	CI 2,5 %	CI 97,5 %
(Intercept)	-2,7141	<0,0001*	0,0663	0,0528	0,0821
Milkdec	0,0357	<0,0001*	1,0363	1,0249	1,0479
LyTdec	0,0155	0,0069*	1,0156	1,0043	1,0272
Mldec	-0,0019	0,0261*	0,9981	0,9959	0,9998
LACT_2gr3	0,7254	<0,0001*	2,0656	1,5518	2,7564

Auch in diesem Modell wurden alle vier Parameter statistisch signifikant, wobei sich die ORs der zuvor untersuchten Variablen nur minimal gegenüber dem Modell ohne Laktationsnummer änderten. Für Betrieb 1 ergab sich für diese Ausgangswerte ein logistisches Regressionsmodell mit Parametern wie in Tabelle 13 aufgeführt, jedoch reduzierte sich das AIC von 1381 auf 1358. Tiere mit höheren Laktationen (3 und weitere; LACT_2gr3) zeigten ein höheres OR, an Mastitis zu erkranken (OR=2,0656; 95 % CI: 1,5518-2,7564) im Vergleich zu Tieren der ersten und zweiten Laktation.

6.4.2 Betrieb 2

Für Betrieb 2 ergaben sich für die Variablen Milchleistungsabfall, Motion Index-Abfall und Liegezeitabfall die in Tabelle 14 aufgeführten Parameter.

Tabelle 14. Ergebnisse der logistischen Regression von Betrieb 2 unter Berücksichtigung der Variablen Milchabfall (Milkdec), Abfall des Motion Index (Mldec) und Liegezeitabfall (LyTdec) am Tag -2 für das Auftreten von Mastitis (n(Mastitisphasen)=157 und n(Kontrollphasen)=659; AIC=763) (*statistische Signifikanz)

	Estimate	p-value	Odds Ratio	CI 2,5 %	CI 97,5 %
(Intercept)	-1,6157	<0,0001*	0,1987	0,1614	0,2422
Milkdec	0,0430	<0,0001*	1,0439	1,0270	1,0619
Mldec	0,0134	0,0147*	1,0135	1,0035	1,0250
LyTdec	0,0177	0,0031*	1,0178	1,0061	1,0300

Im Betrieb 2 wurden ebenfalls alle drei Variablen im logistischen Regressionsmodell signifikant. Der Abfall in der Milchleistung (Milkdec) und der Liegezeit (LyTdec) wiesen auch hier eine statistische Signifikanz auf und führten zu einem höheren OR für das Auftreten von Mastitis (Milchabfall: OR = 1,0439; 95 % CI: 1,0270-1,0619; Liegezeitabfall: OR = 1,0178; 95 % CI: 1,0061-1,0300).

Im Betrieb 2 hingegen ergab die Reduktion des Motion Indexes ein leicht erhöhtes OR (OR = 1,0135; 95 % CI: 1,0035-1,0250) für das Auftreten von Mastitis.

In diesem Betrieb unterschied sich die 2. Laktation ebenfalls nicht von der 1. Laktation (siehe Anhang 13.3), weshalb diese beiden Laktationen (LACT_2gr) ebenfalls zusammengefasst (LACT_2gr3) wurden (Tabelle 15)

Tabelle 15. Ergebnisse der logistischen Regression von Betrieb 2 unter Berücksichtigung der Variablen Milchleistungsabfall (Milkdec), Abfall des Motion Index (Mldec) und Liegezeitabfall (LyTdec), sowie Laktation 1 und 2 gemeinsam im Vergleich zu höheren Laktationen (Laktation 3+) (LACT_2gr3) für das Auftreten von Mastitis (n(Mastitisphasen)=69 und n(Kontrollphasen)=378; Laktation 3+: n(Mastitisphasen)= 88 und n(Kontrollphasen)=281; AIC= 757) (*statistische Signifikanz)

	Estimate	p-value	Odds Ratio	CI 2,5 %	CI 97,5 %
(Intercept)	-1,8614	<0,0001*	0,1555	0,1166	0,2037
Milkdec	0,0428	<0,0001*	1,0437	1,0266	1,0618
LyTdec	0,0170	0,0046*	1,0171	1,0054	1,0293
Mldec	0,0133	0,0151*	1,0134	1,0034	1,0249
LACT_2gr3	0,5063	0,0060*	1,6591	1,1571	2,3863

Nach Berücksichtigung der Laktationen veränderten sich die ORs nicht wesentlich und die im Modell enthaltenen Variablen blieben auch bei diesem Betrieb (Tabelle 15) statistisch signifikant. Das AIC veränderte sich von 763 auf 758. Es zeigte sich hier ebenfalls, dass Tiere ab der 3. Laktation (LACT_2gr3) im Vergleich zu den Tieren der ersten und zweiten Laktation ein höheres Chancenverhältnis aufwiesen, an Mastitis zu erkranken (OR=1,6591; 95 % CI: 1,1571-2,3863).

6.5 Sensitivität und Spezifität der prozentualen Abweichungen in der Milchmenge, der Liegezeit und des Motion Index als Grenzwerte

6.5.1 Grenzwertoptimierungskurven (ROC-Kurven)

Zum Vergleich der prozentualen Abweichungen der Variablen Milchmenge, Motion Index und Liegezeit jeweils einzeln und deren Kombinationen als Grenzwerte für die Vorhersage von klinischen Mastitiden wurden Grenzwertoptimierungskurven (ROC-Kurven) erzeugt. Die

prozentualen Abweichungen am Tag zwei vor Eintritt der klinischen Mastitis wurden als Grenzwerte herangezogen.

6.5.1.1 Grenzwertoptimierungskurven für den Betrieb 1

Für Betrieb 1 wurden ROC-Kurven der prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der Variablen Milchmenge (milk), Motion Index (MI), Liegezeit (LyT) zusammen in einer Grafik (Abbildung 24) dargestellt.

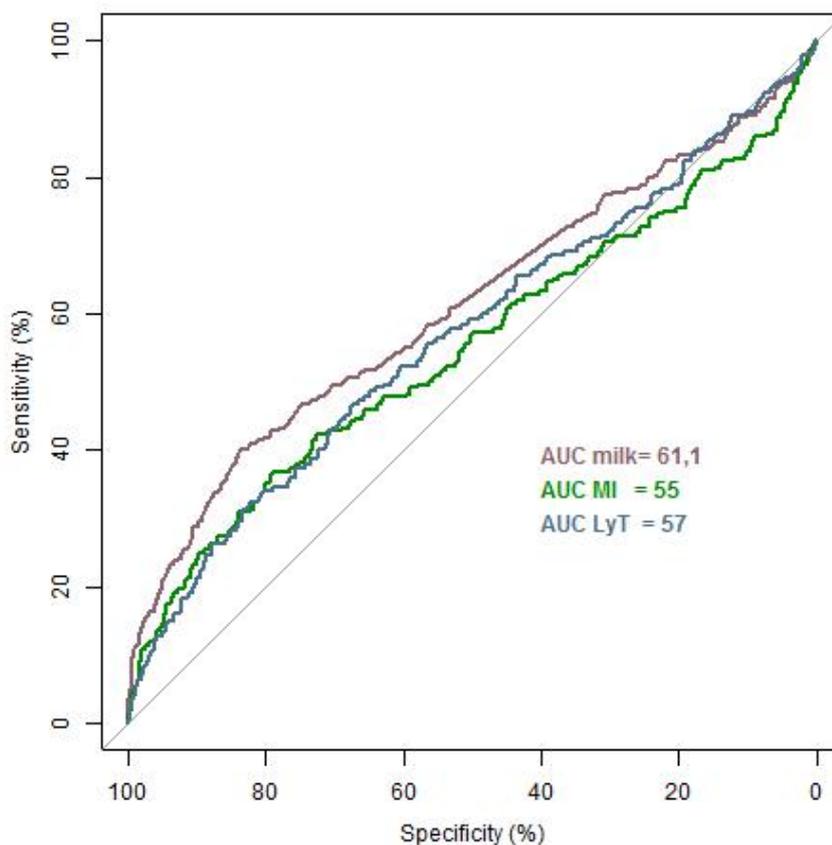


Abbildung 24. Grenzwertoptimierungskurven für den Betrieb 1.: Sensitivität in % als Ordinate; 100 % - Spezifität in % als Abszisse. Die prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der Variablen Milchmenge (milk; violett), Motion Index (MI; grün) und Liegezeit (LyT; blau) für den Betrieb 1 (n(Mastitisphasen)=220; n(Kontrollphasen)=1986). Die Werte der area under curve (AUC) betragen für die prozentualen Abweichungen der Milchmenge (milk) als Grenzwert 61 %, für den Motion Index (MI) 55 % und für die Liegezeit (LyT) 57 %.

Die ROC-Kurven der prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der einzelnen Variablen zeigen gering unterschiedliche Verläufe (Abbildung 24). Die ROC-Kurve der Milchmenge liegt über der der Liegezeit und der ROC-Kurve des Motion Index.

In Tabelle 16 sind die Werte der area under curve (AUC) für die prozentualen Abweichungen als Grenzwerte für die Variablen Milchmenge (milk), Motion Index (MI) und Liegezeit (Lying time (LyT)) jeweils allein und in deren Kombinationen (milk&MI; milk&LyT; MI&LyT;

milk&MI&LyT) aufgeführt. Der Motion Index (MI) allein hat den geringsten AUC-Wert von 55,0 % und die Kombination der Grenzwerte aller drei Variablen (milk&MI&LyT) weist den höchsten AUC-Wert von 62,2 % auf.

Tabelle 16. AUC-Werte der Abweichungen als Grenzwerte (n(Mastitisphasen)=220; n(Kontrollphasen)=1986) der Variablen einzeln und in Kombination für den Betrieb 1

	Milk yield (milk)	Motion Index (MI)	Lying time (LyT)	milk & MI	milk & LyT	MI & LyT	milk & MI & LYT
AUC in %	61,1	55,0	57,0	61,3	61,5	56,4	62,2

Wird die Milchmenge allein herangezogen, dann liegt der optimale Grenzwert nach YOUDEN bei einem $lr.eta=0,119$, was einer prozentualen Abweichung der Milchmenge von -9,1 % entspricht. Damit wurde eine Sensitivität von 40,4 % und eine Spezifität von 83,8 % erreicht (Abbildung 25).

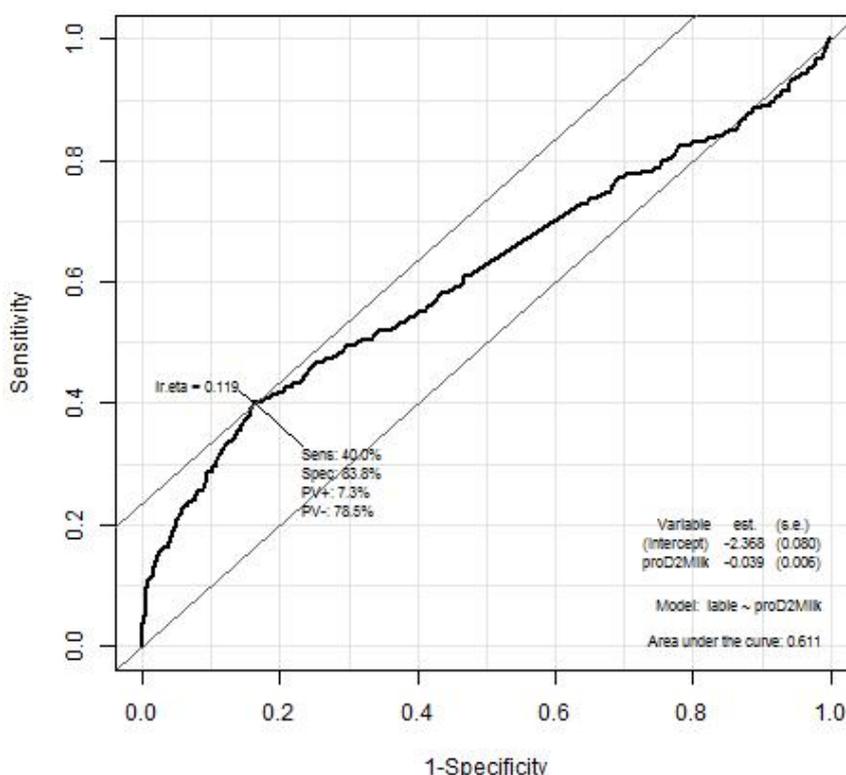


Abbildung 25. ROC-Kurve der prozentualen Abweichungen der Milchleistung als Grenzwerte für Betrieb 1. Der optimale Grenzwert nach YOUDEN liegt bei einem $lr.eta$ von 0,119, mit dem eine Sensitivität von 40,4 % und eine Spezifität von 83,8 % erreicht wurde.

In Abbildung 26 ist die ROC-Kurve der Kombination aus prozentualer Abweichung der Milchmenge und des Motion Index dargestellt. Die optimale Grenzwertkombination nach YOUDEN dieser beiden Variablen ergibt ein $lr.eta$ von 0,116.

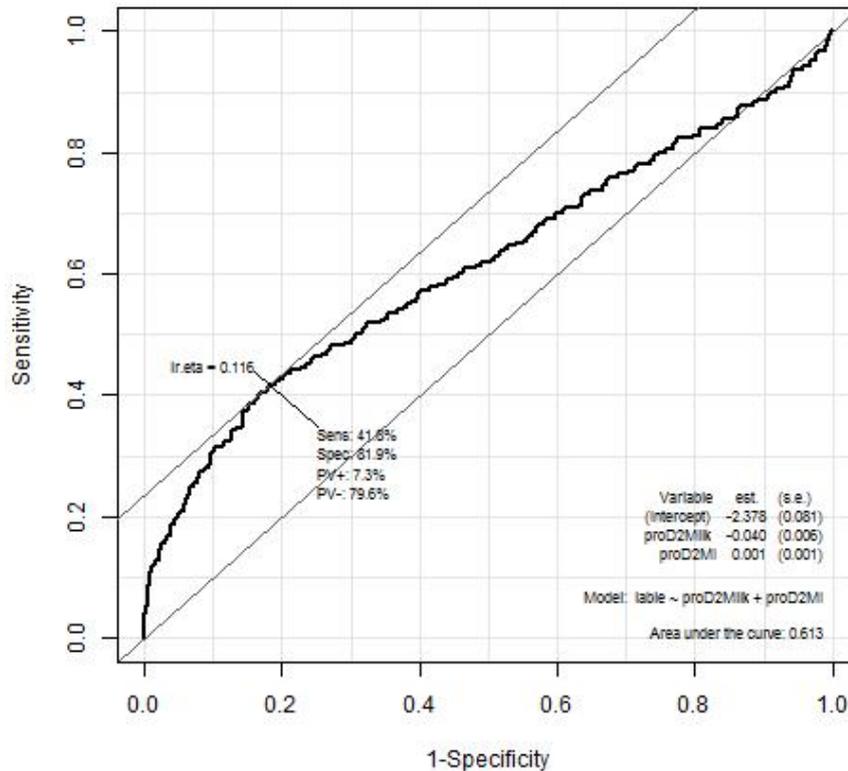


Abbildung 26. ROC-Kurve der Kombination der prozentualen Abweichungen der Milchmenge (milk) und des Motion Index (MI) für Betrieb 1. Die optimale Grenzwertkombination (Ir.eta=0,116) ergibt eine Sensitivität von 41,6 % und eine Spezifität von 81,9 %.

Der Wert Ir.eta von 0,116 wurde in die Formel (siehe Methode in 5.12) eingesetzt und diese nach der jeweils gesuchten Variablen aufgelöst. Es ergab sich folgende Kombination der prozentualen Abweichungen in Milchmenge und Motion Index (Tabelle 17):

Tabelle 17. Kombination der prozentualen Abweichung in Milchmenge (milk) und Motion Index am Tag -2 für Betrieb 1

Milk (% Abweichung)	Motion Index (% Abweichung)
-9	12,5

Die optimale Grenzwertkombination der prozentualen Abweichung in Milchmenge und Motion Index liegt bei einer Reduktion der Milchmenge um 9 % und einem Anstieg des Motion Index um 12,5 %.

Die Kombination aller drei Variablen miteinander (prozentuale Abweichung Milchmenge UND Liegezeit UND Motion Index) ergab eine optimale Grenzwertkombination nach YODEN, die eine Sensitivität von 47,3 % und eine Spezifität von 77,5 % aufwies (Abbildung 27).

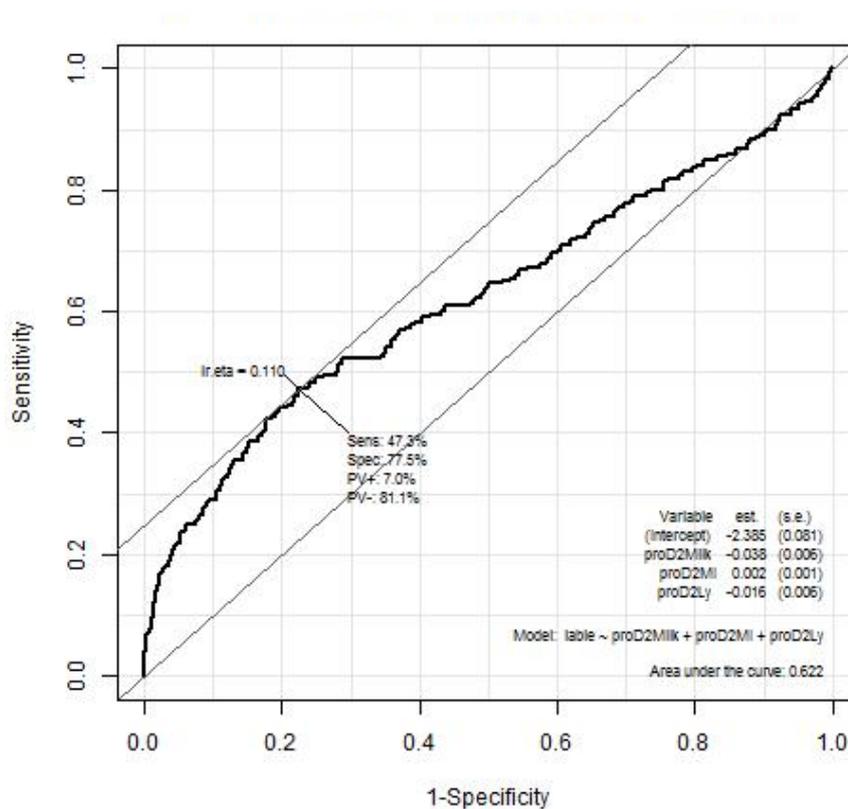


Abbildung 27. Prozentuale Abweichungen am Tag -2 der Milchmenge (milk), des Motion Index (MI) und der Liegezeit (Ly) als Grenzwerte für Betrieb 1. Der optimale Grenzwert nach YOUDEN (Ir.eta=0,110) ergab eine Sensitivität von 47,3 % und eine Spezifität von 77,5 %.

Der Wert Ir.eta von 0,110 wurde in die Formel (siehe in Methode 5.12) eingesetzt und die Formel nach der jeweils gesuchten Variablen aufgelöst. Es ergaben sich bspw. folgende Möglichkeiten der Grenzwertkombinationen (Tabelle 18):

Tabelle 18. Kombinationen der prozentualen Abweichungen in Milchmenge (milk) und Motion Index (MI) und Liegezeit (LyT) am Tag -2 des Betriebs 1, die ein Ir.eta von 0,110 repräsentieren.

Milk (% Abweichung)	Motion Index (% Abweichung)	Lying time (% Abweichung)
-6	-5	-8,15
-7	-2	-4,15
-7	-1	-9,15

Die optimale Kombination von Sensitivität und Spezifität bei $tr.eta$ von 0,110 wurde in diesem Datensatz bspw. bei einer prozentualen Abweichung der Milchmenge von -6 %, des Motion Index von -5 % und der Liegezeit von -8,15 % erreicht.

6.5.1.2 Grenzwertoptimierungskurven für den Betrieb 2

Für Betrieb 2 wurden ebenfalls die ROC-Kurven der prozentualen Abweichungen am Tag -2 vor dem Eintreten der klinischen Mastitis als Grenzwerte der Variablen Milchmenge (milk), Motion Index (MI) und Liegezeit (LyT) in der Abbildung 28 dargestellt.

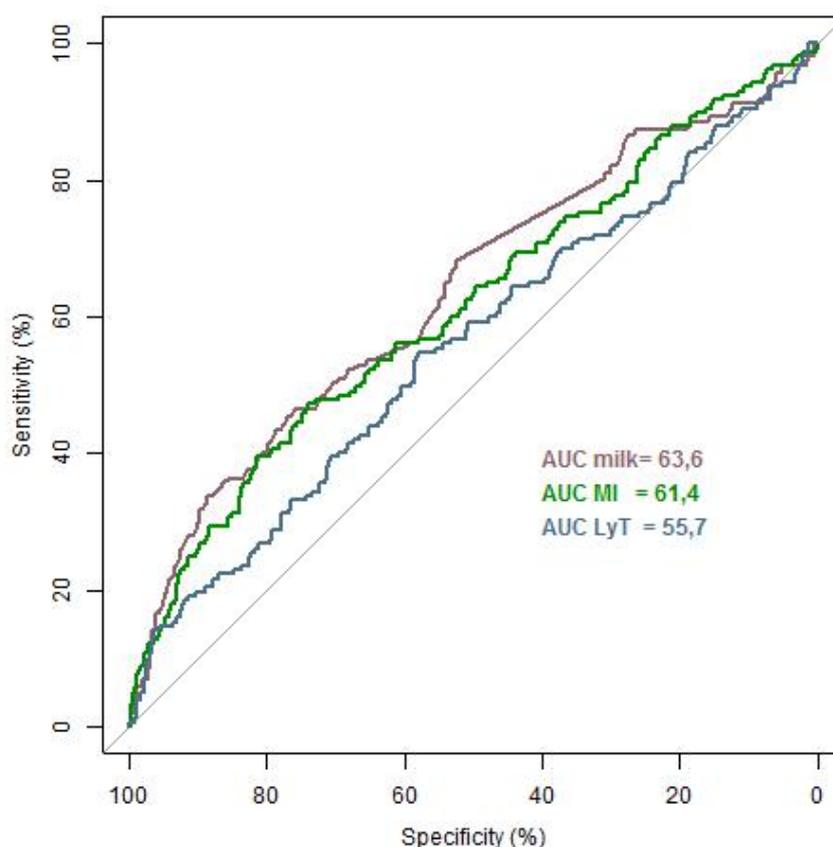


Abbildung 28. Grenzwertoptimierungskurven für den Betrieb 2. Sensitivität in % als Ordinate; 100 % - Spezifität in % als Abszisse. Die prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der Variablen Milchmenge (milk; violett), Motion Index (MI; grün) und Liegezeit (LyT; blau) für den Betrieb 2 ($n(\text{Mastitisphasen})=157$; $n(\text{Kontrollphasen})=659$). Die Werte der area under curve (AUC) betragen für die prozentualen Abweichungen der Milchmenge als Grenzwert 63,6 %, für den Motion Index 61,4 % und für die Liegezeit 55,7 %.

Die ROC-Kurven der prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der einzelnen Variablen zeigten gering unterschiedliche Verläufe (Abbildung 28). Die ROC-Kurve der Milchmenge lag über der des Motion Index und der ROC-Kurve der Liegezeit.

In Tabelle 19 wurden die Werte der area under curve (AUC) für die prozentualen Abweichungen als Grenzwerte für die Variablen Milchmenge (milk) Motion Index (MI) und Liegezeit (Lying time (LyT)) jeweils allein und in deren Kombinationen (milk&MI; milk&LyT; MI&LyT; milk&MI&LyT) aufgeführt. Die AUC-Werte der prozentualen Abweichung der Milchmenge und des Motion Index lagen im Betrieb 2 eng beieinander. In Betrieb 2 ergab die Liegezeit (Lying time (LyT)) allein den geringsten AUC-Wert von 55,7 % und die Kombination der Grenzwerte aller drei Variablen (milk&MI&LyT) wies auch in Betrieb 2, wie bereits zuvor in Betrieb 1 den höchsten AUC-Wert von 66,9 % auf.

Tabelle 19. AUC-Werte der Abweichungen als Grenzwerte (n(Mastitisphasen)=157; n(Kontrollphasen)=659) der Variablen allein und in Kombinationen für den Betrieb 2.

	Milk yield (milk)	Motion Index (MI)	Lying time (LyT)	milk & MI	milk & LyT	MI & LyT	milk & MI & LYT
AUC in %	63,6	61,4	55,7	66,0	65,0	62,2	66,9

Wurde die Milchmenge allein herangezogen, lag der optimale Grenzwert nach YODEN bei $I_r.\eta=0,243$, was einer Abweichung in der Milchmenge von -11,2 % entsprach (siehe Anhang 13.4.2). Damit wurde eine Sensitivität von 33,8 % und eine Spezifität von 88,8 % erreicht (Abbildung 29).

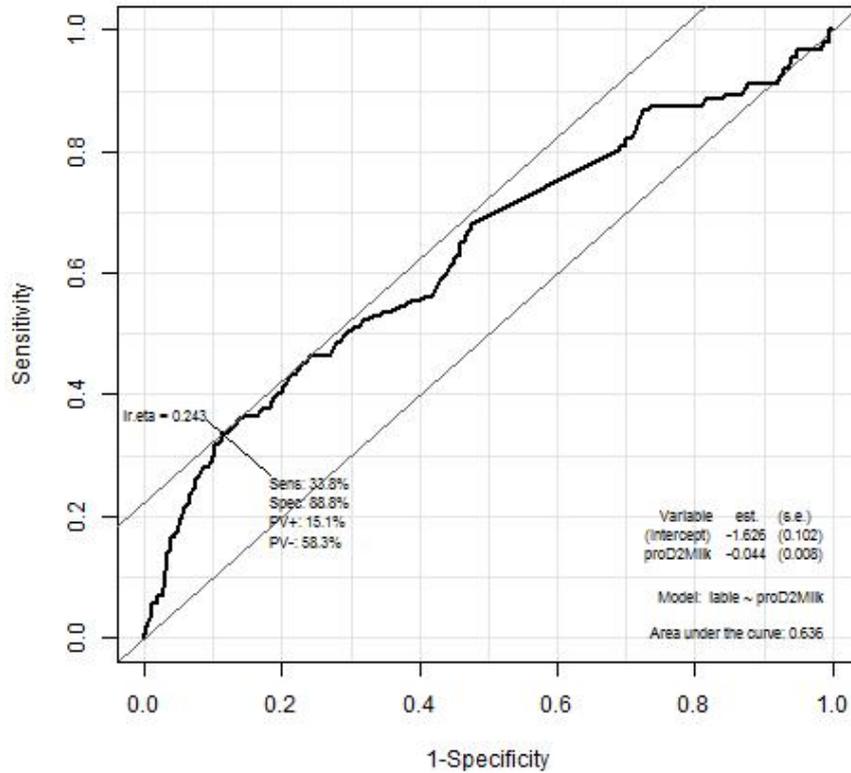


Abbildung 29. Prozentuale Abweichungen der Milch (milk) als Grenzwerte für Betrieb 2. Der optimale Grenzwert nach YOUDEN lag bei einer prozentualen Abweichung der Milchmenge von -11,2 %, mit dieser wurde eine Sensitivität von 33,8 % und eine Spezifität von 88,8 % erreicht.

In Abbildung 30. wurde die ROC-Kurve der Kombination der prozentualen Abweichung der Milchmenge und des Motion Index dargestellt. Die optimale Grenzwertkombination nach YOUDEN dieser beiden Variablen ergibt ein Ir.eta von 0,193.

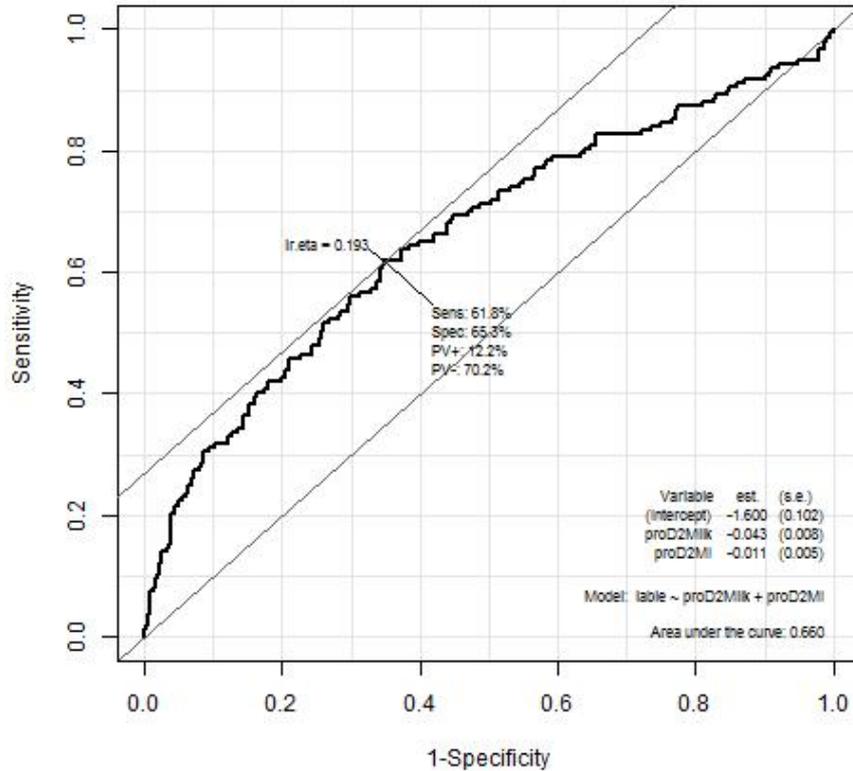


Abbildung 30 ROC-Kurve der Kombination der prozentualen Abweichung der Milchmenge und des Motion Index im Betrieb 2. Die optimale Grenzwertkombination ($Ir.eta=0,193$) ergibt eine Sensitivität von 61,8 % und eine Spezifität von 65,3 %.

Der Wert $Ir.eta$ von 0,193 wurde in die Formel (siehe Methode in 5.12) eingesetzt und diese nach einer Variablen aufgelöst (Anhang 13.4.2). Es ergaben sich folgende Möglichkeiten der Variablenkombination (Tabelle 20):

Tabelle 20. Kombinationen der prozentualen Abweichungen in Milchmenge (milk) und Motion Index am Tag -2 im Betrieb 2.

Milk (% Abweichung)	Motion Index (% Abweichung)
-5	4,14545455
-4	0,23636364
-3	-3,67272727
-2	-7,58181818

Bei einem prozentualen Abfall der Milchmenge um 3,0 % und des Motion Index um 3,6 % wäre bspw. ein $Ir.eta$ von 0,193 erfüllt. Diese Kombination führte in diesem hier genutzten Datensatz zu einer Sensitivität von 61,8 % und einer Spezifität von 65,3 %.

Die Kombination aller drei Variablen miteinander (prozentuale Abweichung Milchmenge UND Liegezeit UND Motion Index) ergab eine optimale Grenzwertkombination nach YODEN mit einem $Ir.eta$ von 0,218, welche eine Sensitivität von 51,0 % und eine Spezifität von 78,5 % aufwies (Abbildung 31).

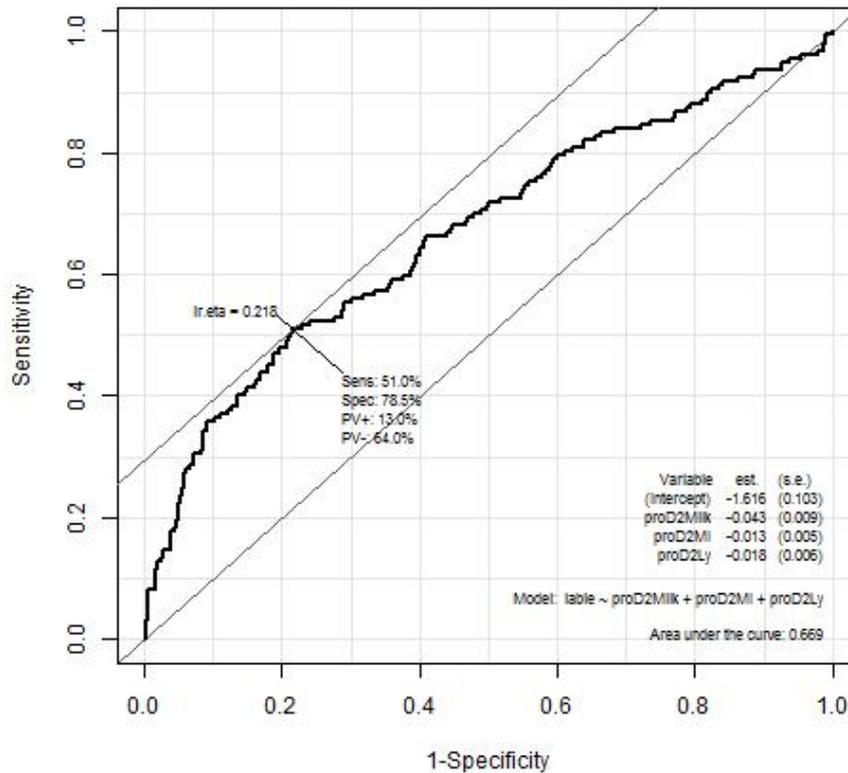


Abbildung 31. ROC-Kurve der prozentualen Abweichungen am Tag -2 der Milchmenge (Milk), des Motion Index (MI) und der Liegezeit (Ly) als Grenzwerte für Betrieb 2. Der optimale Grenzwert nach YODEN bei einem $Ir.eta$ von 0,218 ergab eine Sensitivität von 51,0 % und eine Spezifität von 78,5 %.

Der Wert $Ir.eta$ von 0,218 wurde in die Formel (siehe in Methode 5.12) eingesetzt und die Formel nach einer Variablen aufgelöst. Es ergaben sich folgende Möglichkeiten der Variablenkombination (Tabelle 21):

Tabelle 21. Kombinationen der prozentualen Abweichungen in Milchmenge (milk), Motion Index und Liegezeit (Lying time) am Tag -2 im Betrieb 2. Die aufgeführten Grenzwertkombinationen pro Zeile ergeben ein Ir.eta von 0,218.

Milk (% Abweichung)	Motion Index (% Abweichung)	Lying time (% Abweichung)
-7	-5	-2,2
-6	-5	-5,50769231
-5	-5	-8,81538462
-7	-2	-2,61538462
-6	-2	-5,92307692
-5	-2	-9,23076923
-7	-1	-2,75384615
-6	-1	-6,06153846
-5	-1	-9,36923077

Die optimale Kombination von Sensitivität und Spezifität mit Ir.eta von 0,218 wurde in diesem Datensatz bspw. bei einer prozentualen Abweichung der Milchmenge von -7 %, im Motion Index von -5 % und in der Liegezeit von -2,2 % erreicht.

6.5.2 Sensitivität und Spezifität nach Verknüpfung der prozentualen Abweichungen der Einzelvariablen und der Variablenkombination als Grenzwerte

Die Verknüpfung der prozentualen Abweichungen der einzelnen Variablen allein mit den prozentualen Abweichungen der Variablen in Zweierkombinationen ergeben für die beiden Betriebe jeweils folgende Sensitivitäten und Spezifitäten.

6.5.2.1 Sensitivität und Spezifität in Betrieb 1

Im Betrieb 1 ergeben sich bei der folgenden Verknüpfung der prozentualen Abweichungen

Milchmenge <= -3 %	ODER
Motion Index <=-13 %	ODER
Liegezeit <=-5 %	ODER
Milchmenge <= -5 und Motion Index <=-3	ODER
Milchmenge <=-8 und Liegezeit <=-5	ODER
Motion Index<=-6 und Liegezeit <=-6	

eine **Sensitivität von 72 %** und eine **Spezifität von 40 %**.

Dies bedeutet, 72 % der Tiere, für die zwei Tage später eine klinische Mastitis dokumentiert wurde, erfüllten an diesem Beobachtungstag eine dieser Bedingungen. 40 % der Tiere, für die keine klinische Mastitis zwei Tage später dokumentiert wurde, erfüllten an diesem Beobachtungstag keine dieser Bedingungen.

6.5.2.2 Sensitivität und Spezifität in Betrieb 2

Im Betrieb 2 ergeben sich bei der folgenden Verknüpfung der prozentualen Abweichungen in

der	Milchmenge ≤ -9 %	ODER
	Motion Index ≤ -15 %	ODER
	Liegezeit ≤ -8 %	ODER
	Milchmenge ≤ -5 und Motion Index ≤ -2	ODER
	Milchmenge ≤ -4 und Liegezeit ≤ -1	ODER
	Motion Index ≤ -4 und Liegezeit ≤ -1	

eine **Sensitivität von 72 %** bei einer **Spezifität von 63,6 %**.

72 % der Tiere, für die zwei Tage später eine klinische Mastitis dokumentiert wurde, erfüllten an diesem Beobachtungstag eine dieser Bedingungen. 63,6 % der Tiere, für die keine klinische Mastitis zwei Tage später dokumentiert wurde, erfüllten an diesem Beobachtungstag keine dieser Bedingungen.

6.6 Prozentuale Abweichungen der Mastitisphasen im Vergleich zu den Kontrollphasen in Milchmenge, Liegezeit und Motion Index nach Zuordnung des Milchleistungslevels und der Gruppenaktivität

6.6.1 Herdenlaktationskurve für Betrieb 2

Für den Betrieb 2 wurden für die Laktationsnummern eins, zwei, drei und vier aufwärts (+) die Mediane der Milchmengen pro Tagen in Milch (DIM) ermittelt und über diese Werte ein gleitender Mittelwert erzeugt (Abbildung 32).

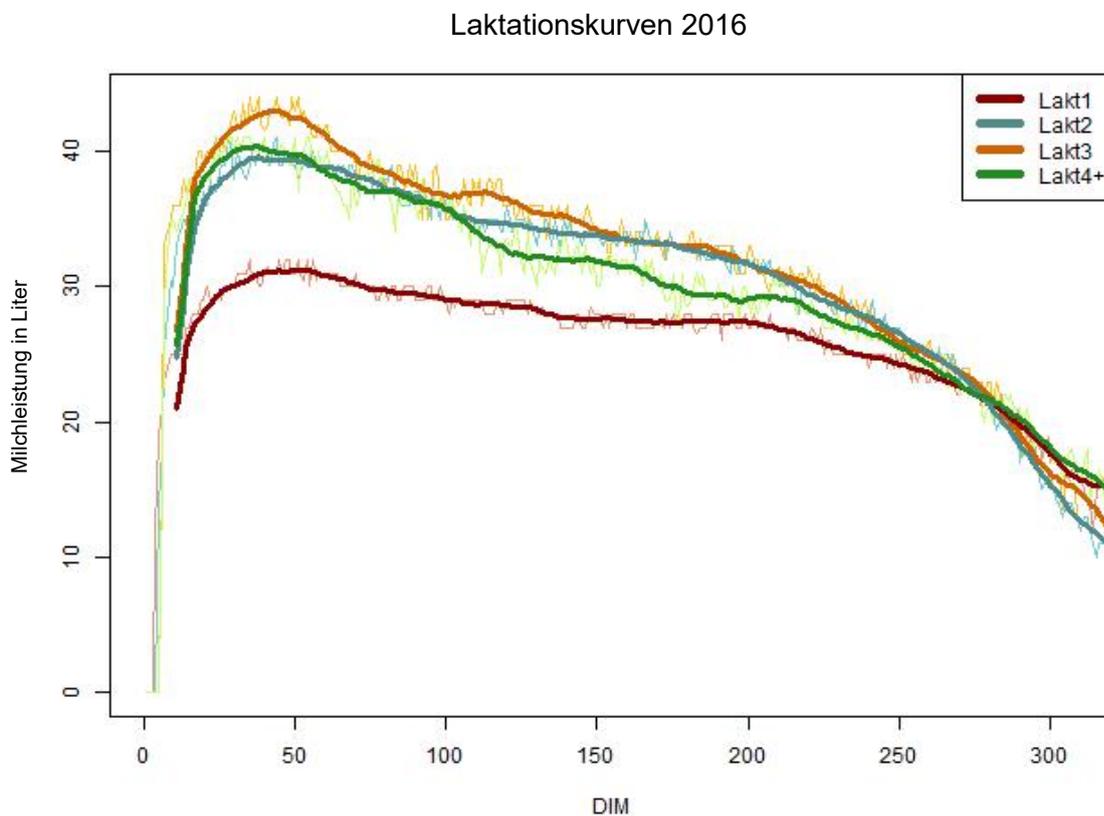


Abbildung 32. Laktationskurven im Betrieb 2. Die Milchmenge (Milchleistung in Liter) ist pro Tag in Milch (DIM) aufgetragen. Der Verlauf der Laktationskurven ist für die Laktationsnummer 1 rot, für die Laktationsnummer 2 blau, für die Laktationsnummer 3 gelb und für die Laktationsnummer 4 und aufwärts grün dargestellt. Durch die jeweils ungeglättete Linie der Mediane pro Milchmenge pro Tag verläuft die jeweils geglättete Laktationskurve des gleitenden Mittelwertes.

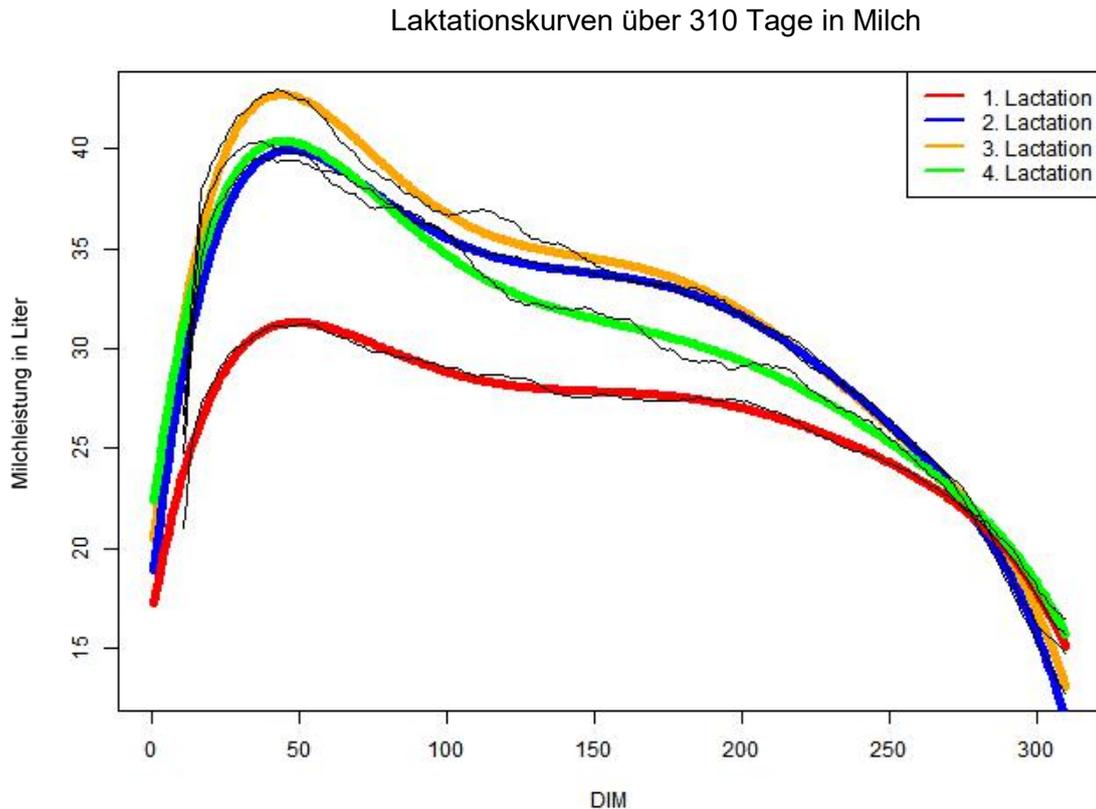


Abbildung 33. Laktationskurven des Betriebs 2 über 310 Tage in Milch (DIM). Schwarz sind die Kurven der gleitenden Mittelwerte eingezeichnet. Der Verlauf der Laktationskurven ist für die Laktationsnummer 1 rot, für die Laktationsnummer 2 blau, für die Laktationsnummer 3 gelb und für die Laktationsnummer 4 und aufwärts grün dargestellt. Farbige sind die Kurven dargestellt, die mittels polynomischer Formel 6. Grades erzeugt wurden.

Das Milchleistungsmaximum war jeweils in allen dargestellten Laktationskurven (Abbildung 33) um den 50. DIM zu erkennen. Bis zu diesem Peak stiegen die Laktationskurven von einer Einstiegsmilchmenge in der ersten Laktation von 17 kg, in der zweiten und dritten Laktation von circa 20 kg und in der vierten+ Laktation von 23 kg (grüne Laktationskurve) stetig an. Das höchste Maximum erreichte die Laktationskurve der Laktationsnummer 3 mit 43 kg. Das geringste Maximum erreichte die Laktationskurve der Laktationsnummer 1 mit 31 kg. Die Laktationsnummern zwei und vier+ hatten einen Laktationskurvenpeak bei 40 kg. Der Verlauf der Laktationskurven nach dem Peak von zweiter, dritter und vierter+ Laktation ähnelten sich. Die Laktationskurve der ersten Laktation zeigte nach dem Laktationskurvenpeak einen weniger starken Abfall als die Laktationskurven der übrigen Laktationsnummern und bildete bis circa 200 DIM ein Plateau.

6.6.2 Adjustierte prozentuale Abweichungen von Mastitisphasen und Kontrollphasen

Die folgenden Boxplots (Abbildung 34, Abbildung 35, Abbildung 36 und Abbildung 37) stellen die Abweichungen von den errechneten Erwartungswerten an den Tagen -1 bis -5 für die

Variablen Milchmenge, Motion Index, Liegezeit und Wechsel zwischen Liegen und Stehen dar.

Ab dem Tag -2 vor dem dokumentierten Mastitis-Ereignis zeigten die Mastitisphasen eine prozentuale Reduktion in der Milchmenge vom Erwartungswert (Abbildung 34). Im Median betrug diese Reduktion -2,3 % (1. Quartil=-10,3 %, 3.Quartil=3,8 %). Am Tag -1 betrug die prozentuale Reduktion im Median -6,6 % (1. Quartil=-26 %, 3.Quartil=-1,4 %). Der Median der adjustierten prozentualen Abweichungen der Kontrollphasen hingegen lag an allen 5 Tagen bei 0. Die Grenzen des ersten und dritten Quartils waren -5 % und 5 % (gestrichelte Linien).

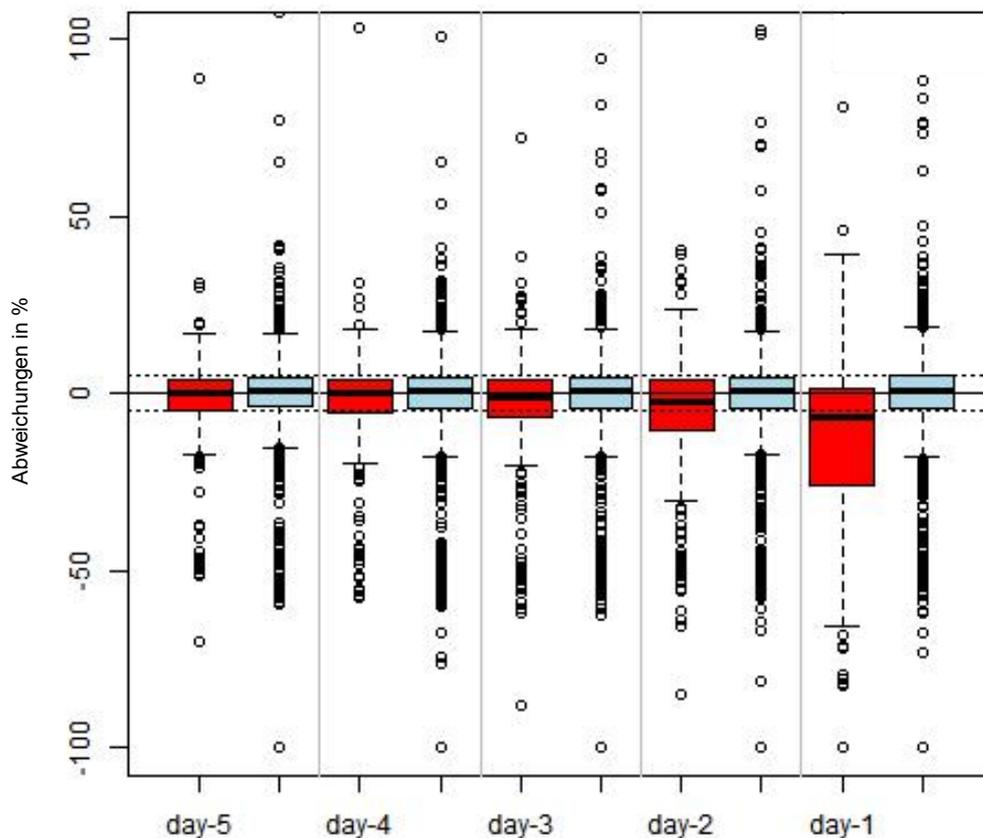


Abbildung 34. Adjustierte prozentuale Abweichungen der Milchmengen der Mastitisphasen (n=332; rot) an den Tagen -5 bis -1 im Vergleich zu den adjustierten prozentualen Abweichungen der Milchmengen an den Tagen -5 bis -1 der Kontrollphasen (n=1656; blau) im Betrieb 2. Die gestrichelten horizontalen Linien zeigen die prozentualen Abweichungen von 5% und -5%.

Die prozentuale Reduktion des Motion Index vom erwarteten Wert (Abbildung 35) betrug am Tag -2 für die Mastitisphasen im Median -3,5 % (1. Quartil=-11,6 %, 3. Quartil=6,6 %). Am Tag -1 war die prozentuale Abweichung im Median -1,3 % (1. Quartil=-12,2 %, 3. Quartil=12,2 %). Der Interquartilsabstand (IQA) mit 24,8 % am Tag -1 war im Vergleich zu den Tagen -3 bis -5 (IQA im Mittel 16,9 %) deutlich größer. Der Median der adjustierten prozentualen Abweichungen der Kontrollphasen war an allen 5 Tagen 0.

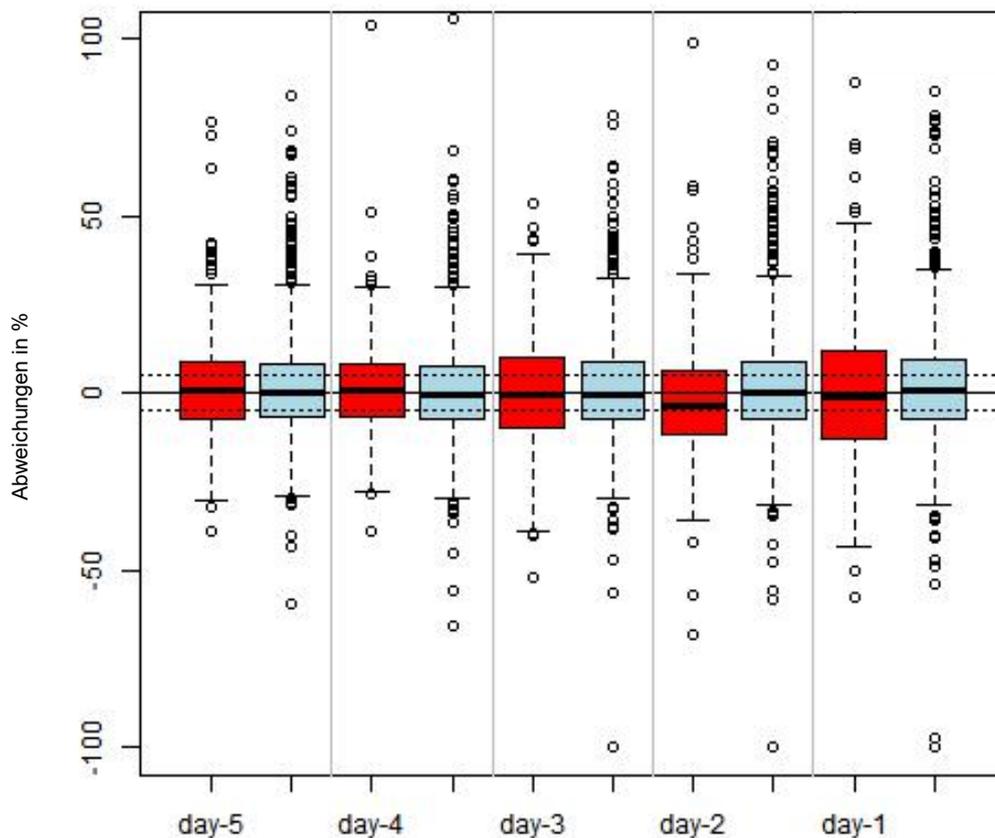


Abbildung 35. Adjustierte prozentuale Abweichungen des Motion Index der Mastitisphasen (n=252; rot) an den Tagen -5 bis -1 im Vergleich zu den adjustierten prozentualen Abweichungen des Motion Index an den Tagen -5 bis -1 der Kontrollphasen (n=1270; blau) im Betrieb 2. Die gestrichelten horizontalen Linien zeigen die prozentualen Abweichungen von 5% und -5%.

In der Liegezeit zeigten sich die adjustierten prozentualen Abweichungen vom Erwartungswert der Mastitisphasen deutlich am Tag -1, an dem der Median bei -6,4 % (1. Quartil=-14,5 %, 3. Quartil=2,2 %) lag. Der Wert von -10,4 % des 1. Quartils und des Medians von -2 % am Tag -2 zeigten die Tendenz einer Reduktion der Liegezeit beginnend von diesem Tag an.

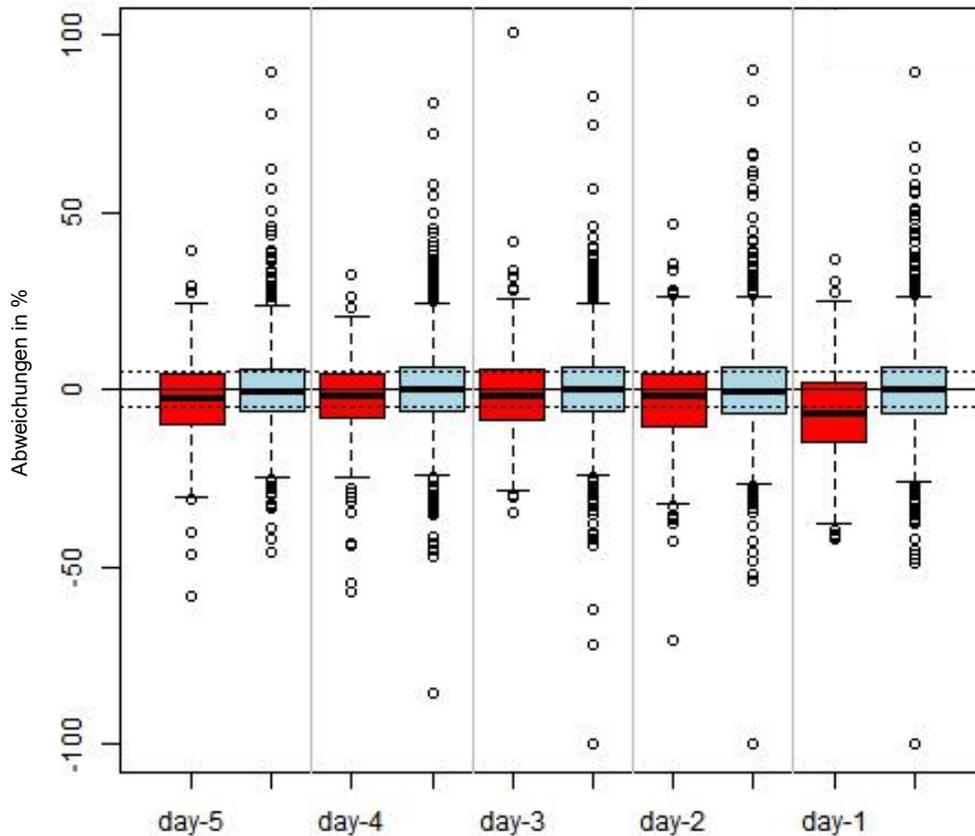


Abbildung 36. Adjustierte prozentuale Abweichungen der Liegezeit der Mastitisphasen (n=252; rot) an den Tagen -5 bis -1 im Vergleich zu den adjustierten prozentualen Abweichungen der Liegezeit an den Tagen -5 bis -1 der Kontrollphasen (n=1270; blau) im Betrieb 2. Die gestrichelten horizontalen Linien zeigen die prozentualen Abweichungen von 5% und -5%.

Abbildung 37 zeigt die adjustierten prozentualen Abweichungen vom errechneten Erwartungswert der Anzahl der Wechsel. Die Mediane sowohl der Mastitisphasen als auch der Kontrollphasen lagen zwischen 0,2 % und -1,6 %. Auch die Interquartilsbereiche wiesen ähnliche Abstände im Mittel von 24,4 % untereinander auf. Allein das 1. Quartil am Tag -1

der Mastitisphasen betrug -15,9 % (der Mittelwert des 1. Quartils an den Tagen -5 bis Tag -2 der Mastitisphasen betrug -11,9 %).

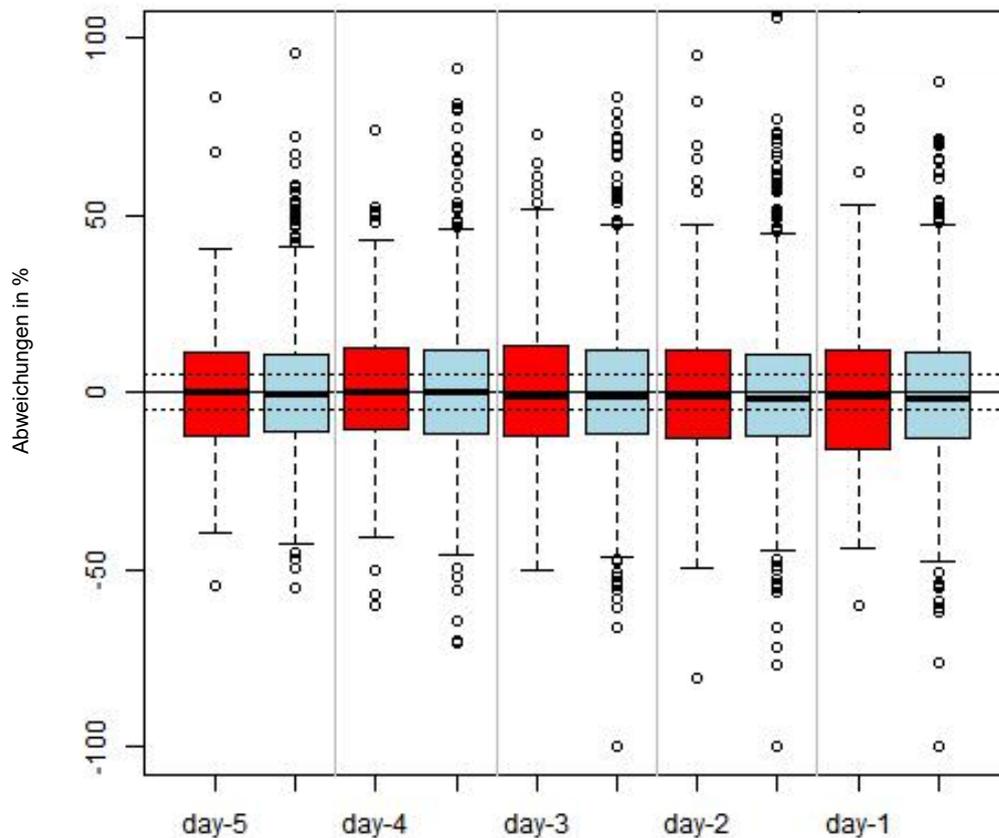


Abbildung 37. Adjustierte prozentuale Abweichungen der Wechsel der Mastitisphasen (n=252; rot) an den Tagen -5 bis -1 im Vergleich zu den adjustierten prozentualen Abweichungen der Wechsel an den Tagen -5 bis -1 der Kontrollphasen (n=1270; blau) im Betrieb 2. Die gestrichelten horizontalen Linien zeigen die prozentualen Abweichungen von 5% und -5%.

6.6.3 Logistische Regression der adjustierten prozentualen Abweichungen der Milchmenge (an die Laktationskurve) und der Aktivität (an die Gruppenaktivität) am Tag zwei vor dem dokumentierten Mastitis-Ereignis

Nach Auswahl der Variablen Milchmenge, Motion Index und Liegezeit am Tag -2 wurde ein logistisches Regressionsmodell mit den adjustierten prozentualen Abweichungen dieser Werte im Vergleich zu adjustierten prozentualen Abweichungen der Kontrollphasen berechnet.

Es ergab sich für diese Ausgangswerte ein logistisches Regressionsmodell mit den in Tabelle 22 aufgeführten Ergebnissen.

Tabelle 22. Ergebnisse der logistischen Regression des adjustierten prozentualen Abfalls in Milchmenge (Milkdec), Motion Index (Mldec) und Liegezeit (LyTdec) bezüglich des Auftretens von Mastitis (n(Mastitisphasen)=252 und n(Kontrollphasen)=1270; AIC=1341) (*statistische Signifikanz)

	Estimate	p-value	Odds Ratio	CI 2,5 %	CI 97,5 %
(Intrecept)	-1,6783	<0,0001*	0,1867	0,1615	0,2148
Milkdec	0,0152	0,0008*	1,0153	1,0062	1,0244
Mldec	0,0082	0,0526	1,0082	1,0004	1,0169
LyTdec	0,0220	<0,0001*	1,0222	1,0114	1,0335

Die Variablen des adjustierten prozentualen Abfalls der Milchmenge und der Liegezeit waren im logistischen Regressionsmodell statistisch signifikant ($p < 0,05$). Die adjustierten prozentualen Abweichungen des Motion Indexes hingegen nicht ($p > 0,05$). Der Abfall in der Liegezeit (LyTdec) wies den geringsten p-Wert und das höchste OR für das Auftreten von Mastitis auf (OR = 1,0222; 95 % CI: 1,0114-1,0335). Ein Abfall in der Milchmenge war mit einem höheren OR für eine Mastitis-Erkrankung (OR = 1,0153; 95 % CI: 1,0062-1,0244) assoziiert. Wurde die Variable Laktationsnummer (LACT) in das Modell aufgenommen (Tabelle 23), ließ sich die erste Laktation deutlich von allen anderen unterscheiden..

Sowohl die zweite Laktation (LACT2) (OR=2,095; 95 % CI:1,4154-3,1552) als auch die späteren Laktationen (LACT3+) (OR=2,7161; 95 % CI:1,8791-3,9961) waren statistisch signifikant unterschiedlich bezüglich der Entwicklung einer Mastitis und wiesen ein erhöhtes OR im Vergleich zur ersten Laktation (LACT1) für eine Mastitis-Erkrankung auf.

Tabelle 23. Ergebnisse der logistischen Regression des adjustierten prozentualen Abfalls von Milchmenge (Milkdec), Motion Index (Mldec) und Liegezeit (LyTdec), sowie Laktation 2 (LACT2) (n=473), Laktation 3 und höheren Laktationen (LACT3+) (n=589) bezüglich des Auftretens von Mastitis (n(Mastitisphasen)=252 und n(Kontrollphasen)=1270; AIC=1314) (Laktation 1(LACT1) n=458) (*statistische Signifikanz)

	Estimate	p-value	Odds Ratio	CI 2,5 %	CI 97,5 %
(Intrecept)	-2,3531	<0,0001*	0,0951	0,0679	0,1296
Milkdec	0,0150	0,0014*	1,0151	1,0057	1,0244
Mldec	0,0077	0,0639	1,0078	1,0001	1,0165
LyTdec	0,0224	<0,0001*	1,0226	1,0118	1,0339
LACT2	0,7417	0,0003*	2,0995	1,4154	3,1552
LACT3	0,9992	<0,0001*	2,7161	1,8791	3,9961

Die Variablen des adjustierten prozentualen Abfalls in Milchmenge und Liegezeit blieben im Modell (Tabelle 23) signifikant, die ORs der einzelnen Variablen änderten sich nur minimal

gegenüber dem Modell ohne Berücksichtigung der Laktation. Es ergab sich für diese Ausgangswerte ein logistisches Regressionsmodell mit ähnlichen Ergebnissen wie in Tabelle 22 aufgeführt, jedoch reduzierte sich das AIC von 1341 auf 1314.

6.6.4 Grenzwertoptimierungskurven (ROC-Kurven) der adjustierten prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit

Die adjustierten prozentualen Abweichungen der Milchmenge, des Motion Index und der Liegezeit am Tag -2 dienten als Grenzwerte zur Darstellung der jeweiligen ROC-Kurven (Abbildung 38).

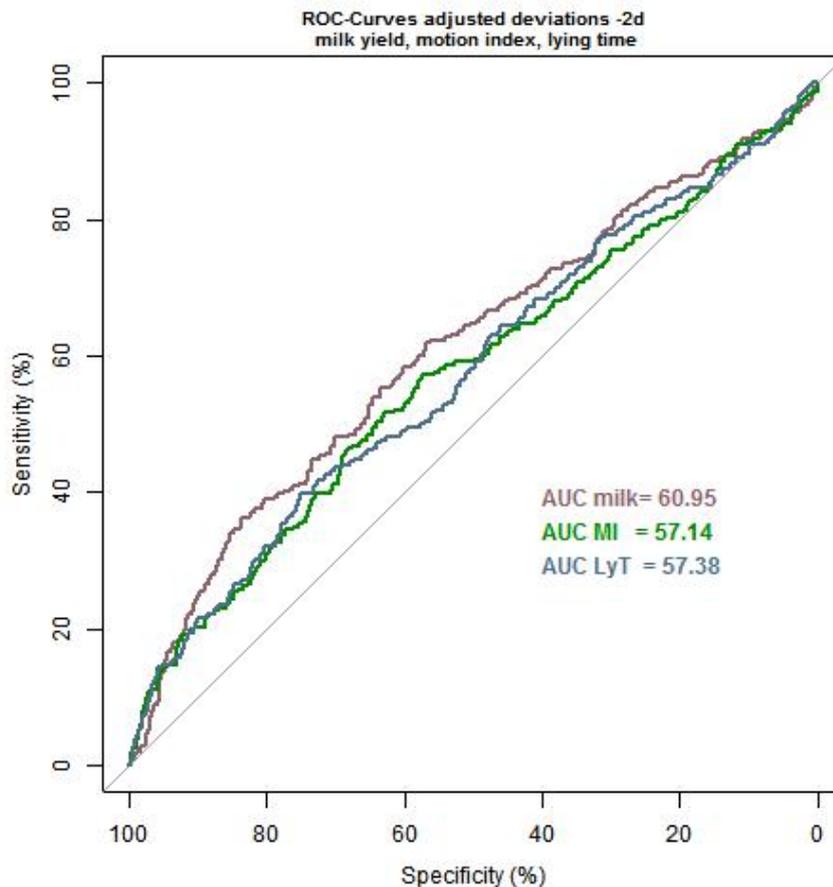


Abbildung 38. Grenzwertoptimierungskurven der adjustierten prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit. Sensitivität in % als Ordinate; 100 %-Spezifität in % als Abszisse. Die adjustierten prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der Variablen Milchmenge (milk; violett), Motion Index (MI; grün) und Liegezeit (LyT; blau) (n(Mastitisphasen)=252; n(Kontrollphasen)=1270). Die Werte der area under curve (AUC) betragen für die prozentualen Abweichungen der Milchmenge (milk) als Grenzwert 66,95 %, für den Motion Index (MI) 57,14 % und für die Liegezeit (LyT) 57,38 %.

Die ROC-Kurven der adjustierten prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der einzelnen Variablen zeigten gering unterschiedliche Verläufe (Abbildung 38). Die ROC-Kurve der Milchmenge liegt über der Kurve der Liegezeit und der des Motion Index.

In Tabelle 24 sind die Werte der area under curve (AUC) für die adjustierten prozentualen Abweichungen als Grenzwerte für die Variablen Milchmenge (Milk Yield (milk)), Motion Index (MI) und Liegezeit (Lying time (LyT)) jeweils allein und in Kombination (milk&MI; milk&LyT; MI&LyT; milk&MI&LyT) aufgeführt. Alle AUC-Werte liegen eng beieinander. Dennoch wird deutlich, dass der Motion Index (MI) allein den geringsten AUC-Wert von 57,1 % ergibt und die Kombination der Grenzwerte aller drei Variablen (milk&MI&LyT) den höchsten AUC-Wert von 62,6 % aufweist.

Tabelle 24. AUC-Werte der adjustierten Abweichungen als Grenzwerte (n(Mastitisphasen)=252; n(Kontrollphasen)=1270) der Variablen Milchmenge (Milk Yield (milk)), Motion Index (MI) und Liegezeit (LyT) allein und in Kombination miteinander.

	Milk (MY)	Motion Index (MI)	Lying time (LyT)	milk & MI	milk & LyT	MI & LyT	milk & MI & LyT
AUC in %	61,0	57,1	57,4	62,2	62,6	59,8	62,6

Wird die adjustierte prozentuale Abweichung der Milchmenge allein herangezogen, so liegt der optimale Grenzwert nach YOUDEN bei einem $I_r.eta=0,175$, was einer prozentualen Abweichung in der Milchmenge von -6,6 % entspricht. Damit wurde eine Sensitivität von 36,1 % und eine Spezifität von 83,7 % erreicht (Abbildung 39).

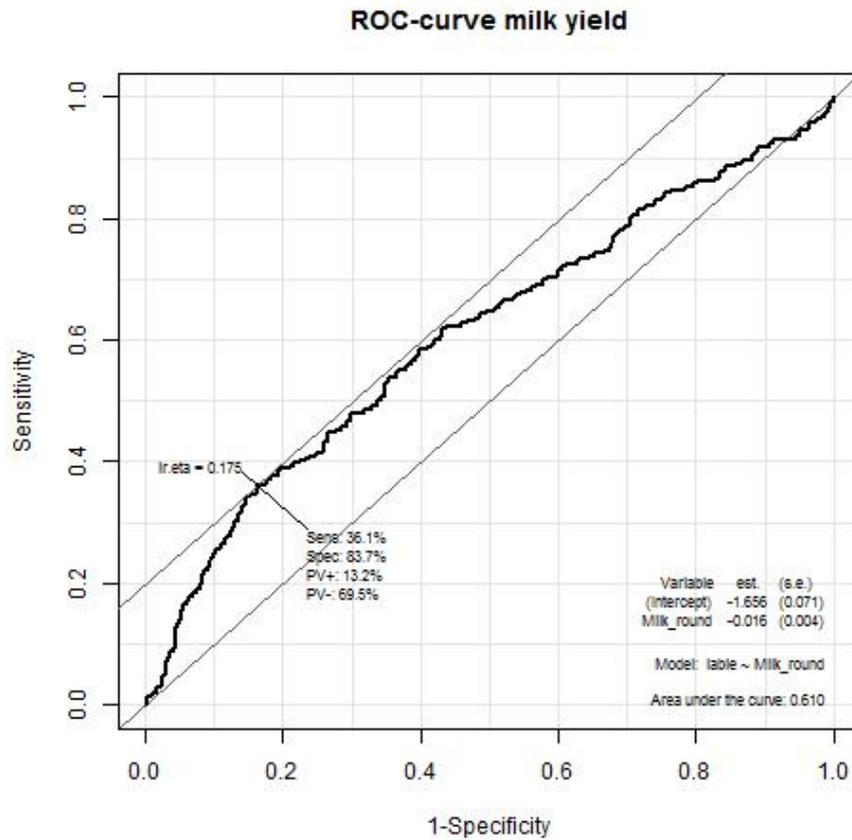


Abbildung 39. ROC-Kurve der adjustierten prozentualen Abweichungen der Milchmenge als Grenzwert ($n(\text{Mastitisphasen})=252$; $n(\text{Kontrollphasen})=1270$). Der optimale Grenzwert nach YOUDEN liegt bei einem $lr.eta$ von 0,175, mit dem eine Sensitivität von 36,1 % und eine Spezifität von 83,7 % erreicht wurde.

Im Anhang 13.5.1 wurden alle optimalen Grenzwerte der adjustierten prozentualen Abweichungen für Milchmenge, Motion Index, Liegezeit sowie den Kombinationen Milchmenge und Motion Index, Milchmenge und Liegezeit, Motion Index und Liegezeit sowie Milchmenge und Motion Index und Liegezeit aufgelistet (Tabelle 31).

6.7 Vergleich der einfachen Methode und der adjustierten Methode an Laktationskurve und Gruppenaktivität im Betrieb 2

Der Vergleich der Methode 5.12 mit Nutzung der einfachen Abweichungen wies keinen deutlichen Unterschied zur Methode 5.13.5 mit den adjustierten Abweichungen der Milchleistung an der Laktationskurve und der Aktivitätswerte Liegezeit und Motion Index zur Gruppenaktivität auf.

Die AUC des Tests mit den einfachen Abweichungen wiesen erhöhte Werte auf (fett unterlegt in Tabelle 25), auch wenn diese Erhöhungen überwiegend gering waren.

Tabelle 25. Gegenüberstellung der AUC der prozentualen Abweichungen des einfachen Tests und der adjustierten Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 2.

Variable	AUC einfach	AUC adjustiert
Milchmenge	63,6 %	61,0 %
Motion Index	61,4 %	57,1 %
Liegezeit	55,7 %	57,4 %
Milchmenge UND Motion Index	66,0 %	62,2 %
Milchmenge UND Liegezeit	65,0 %	62,6 %
Motion Index UND Liegezeit	62,2 %	58,8 %
Milchmenge UND Motion Index UND Liegezeit	66,9 %	62,6 %

Hohe Werte in der Sensitivität führen zu einer Verringerung der Spezifität. Eine Erhöhung der Spezifität reduziert die Sensitivität. Der Vergleich der Werte für Sensitivität und Spezifität mit Hilfe des optimalen Grenzwert nach YODEN zeigte keine deutliche Verbesserung des Ergebnisses durch die adjustierten prozentualen Abweichungen im Vergleich zum Test mit den einfachen prozentualen Abweichungen (Tabelle 26).

Tabelle 26. Gegenüberstellung der Sensitivität und Spezifität an den optimalen Grenzwerten nach YODEN der prozentualen Abweichungen des einfachen Tests und der adjustierten Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 2

Variable	Sensitivität Einfacher Test	Spezifität Einfacher Test	Sensitivität Adjustierte Werte	Spezifität Adjustierte Werte
Milchmenge	33,8 %	88,8 %	36,1 %	83,7 %
Motion Index	47,1 %	73,9 %	50,4 %	64,2 %
Liegezeit	58,1 %	54,8 %	39,7 %	75,1 %
Milchmenge UND Motion Index	61,8 %	65,3 %	52,4 %	73,5 %
Milchmenge UND Liegezeit	67,5 %	57,4 %	58,3 %	62,5 %
Motion Index UND Liegezeit	43,3 %	78,3 %	45,6 %	74,7 %
Milchmenge UND Motion Index UND Liegezeit	51,0 %	78,5 %	48,4 %	75,9 %

7. Diskussion

Die Fragestellung dieser Arbeit war zu untersuchen, welche Abweichungen Milchkühen in ihrer Milchleistung und Aktivitätsvariablen an den Tagen vor der Diagnose einer Mastitis aufweisen. Die Ergebnisse zeigen, dass Abweichungen der genannten Variablen an den Tagen vor dem Mastitis-Ereignis in den untersuchten Betrieben zu erkennen waren. Weiterführende Untersuchungen hinsichtlich Unterteilung von Euterentzündungen könnten aufzeigen, für welche Form von Mastitis dieser Ansatz der Früherkennung von Nutzen sein könnte.

7.1 Genutzte Daten

Die Dokumentation von Mastitiden wurde in dieser Arbeit als Untersuchungsgegenstand gewählt, da bei diesen von zuverlässig dokumentierten Einträgen in die Herdensoftware ausgegangen werden kann (Wenz und Giebel 2012). Für die Betriebe besteht ein hohes Interesse, Euterentzündungen zu erkennen, um die Zellzahl der Tankmilch zu senken, die erkrankten Tiere zu behandeln und der Entstehung chronischer Euterentzündungen vorzubeugen. Das ökonomische Interesse der Reduktion von Milchmengenverlusten und die Verringerung des Antibiotikaeinsatzes (Krömker 2007) als Folge einer Euterentzündung ist ein treibender Faktor für den Einsatz von Precision Dairy Farming zur Erkennung von Mastitiden.

Da die Tierinformationen, deren Aktivitätsdaten und Milchmengen aus verschiedenen Quellen stammten, erfolgte die Zusammenführung der Daten in einer Datenbank. Diese diente zur Identifikation von Mastitisphasen und der zeitlichen Zuordnung der Milchmengen und Aktivitätswerten. Die Daten der Tiere konnten hinsichtlich weiterer Faktoren, wie Laktationsnummer, Laktationsphase oder Aufstallungsgruppen, betrachtet werden und bildeten somit die Grundlage für die in dieser Arbeit aufgeführten Analysen.

Die Daten stammten aus dem laufenden Betrieb aus kommerziell geführten Milchviehhaltungen und es lagen keine standardisierten Pläne für Diagnosen und Dokumentationen von Krankheiten vor. Das Melkpersonal erkannte nach betriebsinternen Kriterien, die allgemein eine Euterentzündung charakterisieren, das Gesundheitsereignis Mastitis. Dies birgt jedoch eine Verzerrung in sich. Bereits Zoche-Golob und Spilke (2013) diskutierten den Faktor Mensch bei der Erkennung der klinischen Mastitis. Wechselndes Personal pro Melkschicht, welches evtl. unterschiedlich geschult ist, sowie die individuelle Wahrnehmung der klinischen Schwere zu Beginn einer Mastitis haben Einfluss auf das Erkennen und den Zeitpunkt des Erkennens der Euterentzündung. Zusätzliche Aufgaben während des Melkens, wie Tiere in den Melkstand zu treiben oder die parallele Betreuung

von Abkalbungen, können zu Ablenkung und Unaufmerksamkeit und somit ebenfalls zum Übersehen einer beginnenden Mastitis führen.

In beiden untersuchten Betrieben dokumentierte jedoch nur ein begrenzter Personenkreis die Mastitis in der Herdenmanagementsoftware. Die Nutzung eines detaillierten Diagnoseschlüssels wurde nicht praktiziert und begrenzte die Untersuchungen in der hier vorliegenden Arbeit auf das Auftreten von Mastitis ohne Berücksichtigung der Kriterien Euterviertel, klinische Schwere, Erreger oder Vorerkrankungen. Wenz (2018) empfiehlt die Aufzeichnungen von Mastitiden unter Einhaltung wiederkehrend gleicher Informationen, gleicher Reihenfolge und die Verwendung einheitlicher Abkürzungen. Diese Informationen wären zur Gruppierung der Euterentzündungen hilfreich und könnten dazu dienen, die Aktivitäts- und Milchmengenabweichungen bspw. nach Schwere der Klinik zu stratifizieren. Es ist anzunehmen, dass sich daraus ein gesteigerter Erkenntnisgewinn produzieren ließe und deutlich würde, für welche Ausprägung einer Mastitis die deutlichsten Veränderungen in den Aktivitäts- und Milchmengendaten zu erwarten sind.

Die zeitliche Verschiebung der Erkennung des Krankheitsbeginns kann wiederum zu Verschiebungen in der Darstellung der Mastitis in den Aktivitäts- und Milchmengendaten geführt haben. So kann eine am Abend vorliegende leichte Entzündung des Euters, die erst am Folgetag erkannt und dokumentiert wurde, zu einer Verschiebung der mit dem Ereignis „klinische Mastitis“ assoziierten Abweichungen in den Milchmengen- und Aktivitätsdaten um einen kompletten Tag führen. Es bestand jedoch keine Möglichkeit, diese potenzielle Verschiebung zu korrigieren, da der Zeitpunkt der Diagnose nicht einer Melkschicht zuzuordnen war, sondern nur dem jeweiligen Tag. Daher wäre es hilfreich, zukünftig einen Vermerk zu ergänzen, der besagt, in welcher Melkschicht die klinische Mastitis erstmals auftrat. So könnte geprüft werden, ob eine Verschiebung der Diagnose in die nächste Melkschicht am Morgen eine Verschiebung in den Abweichungen der erklärenden Variablen erzeugt.

Die nutzbare Datenmenge wurde durch erhebliche Datenverluste reduziert. Diese Verluste entstanden im täglichen Ablauf auf den Betrieben durch ausgefallene, fehlerhafte Messeinrichtungen oder durch Übertragungsfehler bspw. von der Melkstandsoftware zur Herdenmanagementsoftware DC305. So traten z.B. in den Melkständen Fehler in der Zuordnung der Tiere zu den ermolkenen Milchmengen auf. Wurde ein Tier bei Betreten des Melkplatzes nicht registriert, so addierte sich dessen Milchmenge der des zuvor registrierten Tiers auf diesem Melkplatz auf.

In Betrieb 1 erfolgte die Tieridentifikation bei Betreten des Karussells durch die Kuh mittels eines Transponders und einer Ausleseplatte auf dem Boden des Karusselleingangs. In Betrieb 2 wurden die Kuhnummern in der Reihe, in der die Tiere den side-by-side Melkstand

betraten, im Melkstandprogramm erfasst und die Gemelksmengen über die Melkplatznummern den Tieren zugeordnet.

Milchmengen einer Melkzeit gingen verloren, wenn der Melkvorgang einer Schicht nicht beendet war, bevor die Synchronisation der Herdenmanagementsoftware mit dem Programm des Melkstandes erfolgte (v.a. Betrieb 2). In diesem Falle wurden keine Gemelke dieser Melkschicht übermittelt und für die Untersuchungen ging ein gesamter Tag verloren, da nur vollständige Datensätze der Tagesgemelke in der Studie genutzt wurden.

Auch die Aktivitätsdaten waren nicht vollständig. Fehlende Daten können darauf zurückgeführt werden, dass Aktivitätssensoren entweder nicht an den Tieren montiert oder defekt waren. Bei Erstkalbinnen fehlte häufig der Zeitraum der frühen Laktation, da der Sensor vorrangig zur Brunsterkennung genutzt wurde und somit die Anbringung des Sensors erst nach der freiwilligen Wartezeit erfolgte. Für die Erkennung von Gesundheitsereignissen wäre jedoch eine sofortige Anbringung des Aktivitätssensors mit der ersten Melkzeit oder einer noch früheren Befestigung vor der Kalbung zu empfehlen.

Des Weiteren ergaben sich Fehldaten durch die Laufzeit der Sensoren. Bedingt durch die Batteriekapazität, die mit 5 Jahren angegeben wurde und somit für ein Kuhleben ausreichend lang bemessen ist, wurden Sensoren jedoch wiederverwendet und können dadurch vor Beendigung eines zweiten oder dritten Kuhlebens ausfallen. Aber auch mechanische Einflüsse, wie Schläge gegen Stalleinrichtungen, können den Aktivitätssensor beschädigen. Eine regelmäßige Inventur und Austausch defekter Sensoren ist für eine möglichst lückenlose Datenerzeugung notwendig.

Trotz all dieser Limitationen blieb ein großer Datensatz übrig, der es gestattete, sich dem Kernthema der Auswertung der Aktivitäts- und Milchmengendaten an den Tagen vor einem dokumentierten Mastitis-Ereignis zu widmen.

Hierzu wurde zu Beginn der Zeitraum von zehn Tagen vor dem Mastitis-Ereignis betrachtet. Diese Zeitspanne ergab sich aus dem Anspruch, mögliche Veränderungen frühzeitig zu erkennen und diese Veränderungen dem Auftreten von Mastitiden eindeutig zuordnen zu können. Ein Milchabfall zwei bis drei-3 Tage vor der Mastitis wurde bereits von Zoche-Golob und Spilke (2013) beschrieben. Eine Veränderung, die durch eine Euterentzündung verursacht wird, wurde früher als zehn Tage vor der Mastitis nicht erwartet. Bereits Stangaferro, Wijma et al. (2016) konzentrierten sich auf Veränderungen an den fünf Tagen vor der Diagnose der klinischen Mastitis. Die Milchreduktion von ein bis vier Wochen vor dem Einsetzen der Mastitis, wie in der Literatur beschrieben (Rajala-Schultz, Grohn et al. 1999, Grohn, Wilson et al. 2004, Hagnestam, Emanuelson et al. 2007), wurde für diese Arbeit hinsichtlich der Aussagekraft kritisch betrachtet, denn wie in Abbildung 4 dargestellt,

ist die Euterentzündung eine Faktorenkrankheit. Äußere Einflüsse, wie Management oder Fütterung, aber auch Krankheiten, wie linksseitige Labmagenverlagerung, Metritis, Ketose und Nachgeburtverhalten sowie Lahmheit (Deluyker, Gay et al. 1991, Rajala-Schultz, Grohn et al. 1999), sind als Ursachen von Milchmengenreduktion beschrieben. Diese Reduktion kann schon weit vor der Mastitis gemessen werden und ist dann lediglich ein Indikator für ein aus den genannten Krankheiten resultierendes Energiedefizit der Kuh. Ein solches Defizit kann wiederum zu einer Immundepression führen und letztlich auch zur Entstehung einer Euterentzündung beitragen. Die Mastitis ist dann das Ergebnis einer erheblichen Beeinträchtigung des Allgemeinzustandes. Die beschriebene Assoziation zwischen Milchmengenreduktion bereits Wochen vor dem Auftreten einer Mastitis und dem tatsächlichen Krankheitsereignis ist somit nicht mit der Reduktion auf Grund von erkranktem Drüsengewebe des Kuheuters direkt vor Eintritt der Euterentzündung zu verwechseln.

Die Liegezeit korrelierte stark negativ mit der Stehzeit (Abbildung 23). Während die Tiere liegen, können sie nicht stehen und umgekehrt (Siivonen, Taponen et al. 2011). Der Motion Index korreliert mit der Anzahl der Schritte (Abbildung 22), da der Motion Index die gemessene Beschleunigung über drei Achsen (Thorup, Munksgaard et al. 2015) ist und sich folglich aus diesen Werten der Schritt berechnet. Der Motion Index ist eine Variable, die von der Firma IceRobotics (IceRobotics Ltd, South Queensferry, Vereinigtes Königreich) zur Brunsterkennung genutzt wird. Aus Forschungsgründen sollte der Motion Index auch bei den hier durchgeführten Untersuchungen Berücksichtigung finden.

Die Wechsel von Steh- zu Liegezeit zeigten keine Hinweise auf Veränderung vor der Mastitisiagnose (Abbildung 43 und Abbildung 49), wie bereits bei Cycles, Fitzpatrick et al. (2012) und Kester, Sorter et al. (2015) beschrieben, und wurden somit bei weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt.

Die absoluten Werte der einzelnen Tiere unterschieden sich vor allem in der Milchmenge sehr stark voneinander, weshalb auf die Verwendung eines einheitlichen absoluten Grenzwertes für die Milchmenge für alle Tiere verzichtet wurde. Stangaferro, Wijma et al. (2016) zeigten, dass vor allem die erstlaktierenden Kühe mit einer allgemein geringeren Laktationsleistung von einer Mastitisedetektion profitieren. Aus diesem Grund wurde in vorliegender Arbeit jedes Einzeltier für sich betrachtet und ein Grundniveau (Tage 10 bis 6 vor dem Mastitisbeginn; Abbildung 9) gebildet. Die prozentualen Abweichungen der Werte an den Tagen 1 bis 5 vor dem dokumentierten Mastitis-Ereignis wurden anschließend gegenüber dieser individuellen Vergleichsphase (Tage -10 bis -6) betrachtet. Den Ansatz, Milchmengenwerte der Individuen zu Durchschnittswerten der vergangenen sieben Tage zu vergleichen und durch dieses Vorgehen Abweichungen aufzudecken, verfolgten auch Wilson, Gonzalez et al. (2004).

Für die vorliegende Arbeit wurde als Vergleichswert der Median über die Tageswerte der Milchmenge, der Liegezeit und des Motion Index der Tage 10 bis 6 vor der dokumentierten Mastitis herangezogen, da der Median stabiler als der Mittelwert gegenüber Ausreißern ist, wie sie vereinzelt durch Messfehler, vor allem in der Milchmenge (Registrierungsfehler der Kühe in der Melkreihenfolge im Melkstand), auftraten. Einzelne starke Ausreißer hätten den Mittelwert so stark beeinflusst, dass diese Werte ein falsches Vergleichsniveau erzeugt hätten und als Folge falsche Abweichungen der Werte an den Tagen 5 bis 1 ermittelt worden wären. Der Ausschluss der Daten wäre eine notwendige Konsequenz gewesen und hätte eine Datenreduktion bedeutet.

Tag 2 vor Mastitisbeginn wurde gewählt, weil er den frühesten Tag darstellte, an dem signifikante Unterschiede in der prozentualen Abweichung der Milchmenge (BNR1 $p=0,0021$; BNR2 $p=0,0027$), dem Motion Index (BNR1 $p=0,007$; BNR2 $p<0,0001$) und der Liegezeit (BNR1 $p<0,0001$; BNR2 $p=0,1959$ (nicht signifikant)) der Mastitis-Tiere im Vergleich zu Kontrolltieren nachgewiesen wurden. Die Milchmengenreduktion am Tag 2 vor der Feststellung einer Mastitis zeigten bereits Stangaferro, Wijma et al. (2016) und Lukas, Reneau et al. (2009), wobei erstere einen Effekt der Laktationsnummer auf die Reduktion der absoluten Milchmenge zeigen konnten. Bei einem zukünftigen Einsatz im Betrieb entstünde für den Tierhalter somit ein Handlungsvorsprung von zwei Tagen.

Ab Tag 2 vor der Mastitis zeigte vor allem die Milchmenge einen deutlichen prozentualen Abfall (Abbildung 52 und Abbildung 58). Tag 3 vor der Mastitis zu nutzen, wie es bei Zoche-Golob und Spilke (2013) hinsichtlich der Milchmengenreduktion beschrieben ist, hätte zwar einen zeitlichen Vorteil im Hinblick der Früherkennung ergeben, jedoch zeigten die prozentualen Abweichungen der Milchmenge der Mastitisphasen zu den Kontrollphasen in beiden Betrieben an Tag 3 vor der Mastitis keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tabelle 10, Tabelle 11).

7.2 Auswertungen der Daten hinsichtlich Mastitis

Mit Hilfe der logistischen Regression war es möglich, die relevanten Variablen und den Einfluss der Laktationsnummer auf das Eintreten einer dokumentierten Mastitis darzustellen. Hierzu wurden die relativen Abweichungen der Variablen Milchmenge, Liegezeit und Motion Index an Tag 2 vor der dokumentierten Mastitis von erkrankten Tieren bzw. ein beliebiger Tag von Kontroll-Tieren genutzt.

In beiden Betrieben konnte ein statistisch gesicherter Zusammenhang des prozentualen Abfalls der Milchleistung (BNR1 OR=1,0385; BNR2 OR=1,0439) und der Liegezeit (BNR1 OR=1,0159; BNR2 OR=1,0178) zur Entwicklung einer Mastitis gezeigt werden. Der Abfall des Motion Index ist dagegen in Betrieb 1 (BNR1 OR=0,9979) mit einem geringeren OR und

in Betrieb 2 mit einem erhöhten OR (BNR2 OR=1,0135) assoziiert. Da der Motion Index direkt mit den Schritten korreliert, können auch die in der Literatur beschriebenen uneinheitlichen Ergebnisse der Schritte bezüglich Mastitis herangezogen werden. Dort werden gesteigerte Schrittzahlen (Siivonen, Taponen et al. 2011, Fogsgaard, Bennedsgaard et al. 2015), reduzierte Schrittzahlen (Yeiser, Leslie et al. 2012) und gleichbleibende Schrittzahlen (Kester, Sorter et al. 2015) im Zusammenhang mit dem Auftreten von Mastitis beschrieben. Dies könnte auch ein Hinweis sein, dass es betriebsbedingte Unterschiede im Motion Index gibt oder dass der Motion Index einen geringen Vorhersagewert bezüglich Mastitis hat. Denkbar ist, dass der Zeitpunkt der Diagnose zwischen den Betrieben variiert und somit unterschiedliche Ergebnisse des Chancenverhältnisses (OR) erzeugt.

Die prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Liegezeit und Motion Index dienten als Grenzwerte zur Bestimmung von Sensitivität und Spezifität. Der optimale Grenzwert nach YODEN hat in dieser Arbeit ein ausgewogenes Verhältnis von Sensitivität zu Spezifität. Weder die Sensitivität noch die Spezifität nimmt extreme Werte an. Mit einer Verschiebung des Grenzwertes kann die Sensitivität oder Spezifität erhöht werden, wobei sich damit dann jeweils umgekehrt die Spezifität oder Sensitivität reduziert.

Die Wahl des Grenzwertes wird sich im Praxiseinsatz nach den Zielen und Kapazitäten des Tierhalters richten müssen. Mit einer hohen Sensitivität werden möglichst viele Mastitisphasen frühzeitig entdeckt. Die Anpassung des Grenzwertes an dieses Ziel führt aber auch zur Erkennung vieler falsch-positiver Tiere, die dann ebenfalls weiterführend untersucht werden müssen. Dies hat erhöhte Kosten (Geld und Arbeit) und unnötigen Maßnahmen bei Rindern, die keine Mastitis entwickeln, zur Folge.

Wenn wiederum die Wahl des Grenzwertes zu einer Steigerung der Spezifität führt, steigt die Zahl der falsch-negativen Tieren zu Ungunsten der Erkennung von Mastitisphasen. Es werden dann weniger Tiere vom Test erkannt, die potentiell an Mastitis erkranken. Der Arbeitsaufwand zur Kontrolle verringert sich zwar, jedoch besteht damit die Gefahr, dass Tiere, die die Grenzwerte nicht über-/unterschreiten, weil sie evtl. milde Symptome zeigen, als falsch-negativ deklariert werden. Die Tatsache, dass die Ermittlung von Risikotieren ein zusätzliches Hilfsmittel ist und nicht die absolute Wahrheit abbildet, sollte dem Melkpersonal erklärt werden. Deren Aufmerksamkeit während des Vormelkens und bei der Euterbeurteilung spielt dabei eine wichtige Rolle. Andernfalls könnte die Eutergesundheit leiden und sich in einer erhöhten Herdenzellzahl widerspiegeln.

Exemplarisch für Betrieb 2 wurde, wie in Methode 5.13 erläutert, geprüft, inwieweit eine Korrektur der Aktivität nach Herdenniveau und der Milchmenge an die Laktationskurve einen Vorteil in der Identifizierung von Mastitisphasen mit sich bringt.

Die Milchmenge jeder Kuh wurde jeweils mit der Laktationskurve der jeweiligen Laktationsnummer und den Laktationstagen (DIM – *days in milk*) in Beziehung gesetzt. Damit wurde der Verlauf der Laktationskurve über die Laktation hinweg berücksichtigt. Die Milchmenge steigt in den ersten ca. 50 DIM an und fällt aus biologischen Gründen (Pollott 2000) nach einer Plateauphase bis zum nächsten Trockenstehen stetig ab. Dieser Verlauf konnte in Betrieb 2 dieser Arbeit bestätigt werden (Abbildung 33).

Einflüsse wie Belegungsdichte (Fregonesi, Tucker et al. 2007), Klima (Cook, Mentink et al. 2007) oder Maßnahmen wie Fixierungen der Tiere für Trächtigkeitsuntersuchungen können den „Tagesplan“ von Kühen beeinflussen. Diese Veränderungen im Zeitplan stellen sich im Aktivitätsprofil der gesamten Aufstallungsgruppe dar und sollten in dieser Arbeit Berücksichtigung in der Berechnung des Aktivitätsniveaus des Einzeltieres im Kontext der Gruppe finden.

Der Einsatz einer polynomischen Formel überbrückt das Fehlen einzelner Werte/ Zeitfenster, die nicht durch Werte aus dem Betrieb abgedeckt werden konnten. Je näher das Zeitfenster, aus dessen Milchmengenwerte die Laktationskurven erzeugt werden, am Mastitis-Ereignis liegt, umso aktueller, bezogen auf das Ereignis, wird der Laktationskurvenverlauf abgebildet. Daraus kann wiederum ein möglichst exakter Erwartungswert für das Einzeltier hinsichtlich des aktuellen Leistungsniveaus der Herde abgeleitet werden. Allerdings entsteht so die Notwendigkeit, die Laktationskurve aus einer geringeren Datendichte zu modellieren.

Die Wahl eines größeren Zeitfensters ermöglicht die Nutzung einer größeren Anzahl von Daten für den jeweiligen DIM. Dieses Vorgehen bildet aber eventuell den Verlauf der Laktation eines Individuums in einem definierten Zeitraum, in dem beispielsweise Management- oder Fütterungsprobleme kurzzeitig die Milchleistung reduzieren, nicht ab.

Den vorliegenden Zahlen nach (Ergebnisse unter 6.7; Tabelle 25 und Tabelle 26) bringt keine der beiden Methoden (Methode 5.12 (Vergleich der Tage vor dem Mastitis-Ereignis ohne Bezug zu Laktationskurve und Gruppenaktivität zum individuellen Vergleichszeitraum) und Methode 4.13.5 (Vergleich der Tage vor dem Mastitis-Ereignis mit Bezug zu Laktationskurve und Gruppenaktivität zum individuellen Vergleichszeitraum)) einen deutlichen Vorteil in der Mastitiserkennung aus den Aktivitäts- und Milchmengendaten in Betrieb 2. Der Aufwand, die Werte der Kühe in den Kontext des Verlaufs der Laktationskurve der jeweiligen Laktationsnummern und die Aktivität in Bezug zur durchschnittlichen Gruppenaktivität der zugehörigen Tiere zu setzen, ergab keine stärkeren Abweichungen bei den Mastitisphasen, anhand derer sie von den Kontrollphasen besser abgrenzbar gewesen wären.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die biologischen Veränderungen im Verlauf der Laktationskurve über den Beobachtungszeitraum von 10 Tagen in den beiden untersuchten Betrieben vernachlässigbar waren und keine zusätzliche Information über die Abweichungen der Milchmenge vor der Mastitis lieferten.

Die Methode unter 5.7.3, welche die Tage vor der dokumentierten Mastitis mit einem individuellen Vergleichszeitraum (Tage 10 bis 6 vor der dokumentierten Mastitis) vergleicht, hat den Vorteil, dass keine Sammlung von historischen Daten der Herde zur Erzeugung von Laktationskurven benötigt wird. Die Aktivitätsdaten von Aufstallungsgruppen des jeweils betrachteten Tieres sind ebenfalls nicht notwendig. Gruppenwechsel sind jedoch in beiden Ansätzen kritisch zu betrachten. Ein Wechsel des Tieres zwischen Aufstallungsgruppen während des Beobachtungszeitraums von 10 Tagen vor der dokumentierten Mastitis kann zu Abweichungen in den individuellen Aktivitätsdaten führen, die nicht auf einem sich ankündigenden Krankheitsgeschehen wie Mastitis beruhen, sondern durch veränderte Laufwege oder Rangkämpfe in der neuen Gruppe verursacht werden (Grant und Albright 2001).

Zu einer Überdeckung der Aktivitätsreduktion vor der Mastitis könnte es durch das Auftreten der Brunst kommen. Dolecheck, Silvia et al. (2015) zeigten eine sehr deutliche Aktivitätssteigerung während der Brunst. Die Brunst führt zwar ebenfalls zu einer verminderten Milchmenge, wie bereits Lewis und Newman (1984) sowie Walton und King (1986) zeigten, jedoch könnte die Berücksichtigung des zyklisch wiederkehrenden Brunstmusters eine Differenzierung beider Ereignisse ermöglichen.

7.3 Ausblick

Weitere Forschungsfragen, die sich aus dieser Arbeit ergeben, werden im Folgenden aufgeführt.

Der Nutzen der in dieser Arbeit erzeugten Ergebnisse ist im täglichen Ablauf in den Betrieben zu prüfen. Hierzu ist es notwendig, einen soliden Datenfluss aufzubauen und die Daten über eine Routine auf Tierebene zusammenfließen zu lassen. Dies würde die manuelle Erstellung der Datenbank ersetzen. Die täglich erzeugten Daten müssten hierzu nach Aktivitäts- und Milchmengenabweichungen analysiert werden. Tiere, die Grenzwerte unter- oder überschreiten, sollten einer weiterführenden klinischen Untersuchung unterzogen werden.

Die Verwendung von Daten weiterer Sensoren im täglichen Einsatz, die bspw. Informationen über die Beschaffenheit der Milch (Leitfähigkeit, Zellzahl) messen, könnte zusätzliche Hinweise auf eine beginnende Mastitis liefern.

Zur Überbrückung von Datenlücken in den Aktivitätsvariablen durch Fehlen einzelner Intervallwerte eines Tages und bei den Milchmengenwerten einzelner Melkungen könnte die Extrapolation in Betracht gezogen werden. Es würden somit lückenlose Daten für weitere Auswertungen zur Verfügung stehen und im täglichen Gebrauch könnten die Daten möglichst aller Tiere berücksichtigt werden.

Für die Berechnung eines individuellen Vergleichszeitraums ist im Praxisbetrieb zu überprüfen, wie hoch der Datenausfall pro Tag ist, sowie ob ein kürzerer Zeitraum als fünf Tage zur Berechnung eines Aktivitäts- bzw. Leistungsniveaus oder eine geringere Anzahl an Tageswerten ausreichend ist.

Für detailliertere Informationen über Art und Ausprägung der klinischen Mastitiden wird ein einheitlicher Diagnoseschlüssel zur Dokumentation empfohlen. Ein praxisnaher Schlüssel könnte folgende Einteilung nach der Klinik der Mastitis aufweisen: Leichtgradige Mastitiden (nur Sekretveränderungen), mittelgradige Mastitiden (Sekret- und Euterveränderungen), hochgradige Mastitiden (Sekret- und Euterveränderungen, Störung des Allgemeinbefindens). Die Eintragungen sollten gleichbleibend einheitlich sein und möglichst von einem kleinen geschulten Personenkreis vorgenommen werden. Das betroffene Euterviertel sollte ebenso vermerkt werden wie die definierte Abstufung der klinischen Ausprägung der Mastitis. Eine Ausweitung auf den Erregertyp wäre ebenfalls denkbar.

Die Prüfung der Vergleichbarkeit verschiedener Beschleunigungssensoren würde den Kreis der Projektbetriebe erweitern und die Etablierung eines *Syndromic Surveillance Systems* zur Erkennung von Mastitiden in Milchviehbetrieben vorantreiben.

8. Zusammenfassung

Mastitis ist die wirtschaftlich bedeutendste Erkrankung der Milchkuh. Bei der Mastitis des Rindes handelt es sich um eine Faktorenkrankheit. Eine Vielzahl von Einflüssen trägt zu ihrer Entstehung bei und ihre klinische Ausprägung kann divers sein. Mit dem Einzug der Digitalisierung in den Kuhstall wird in *precision dairy farming* die Möglichkeit gesehen, als Frühwarnsystem (*Syndromic Surveillance System*) zu dienen. Die Erkennung einer beginnenden Mastitis durch Veränderungen in Milchproduktion bzw. im Verhalten des Rindes kann eine frühzeitige Reaktion und einen Behandlungsvorsprung mit sich bringen, der wiederum eine Relevanz für Tierschutz und Herdengesundheit hat.

In der vorliegenden Arbeit wurden individuelle Milchmengen und Aktivitätsvariablen von Kühen in Boxenlaufstallhaltung der Rasse Holstein Friesian aus zwei Milchviehbetrieben (Betrieb 1 mit 1100 und Betrieb 2 mit 400 melkenden Kühen) verwendet und auf Abweichungen in diesen Variablen an den Tagen vor der Diagnose einer klinischen Mastitis untersucht. Dokumentierte Mastitiden in der Herdensoftware DairyComp305 dienten dazu, Mastitisphasen zu erkennen. Die Kühe waren mit dem Aktivitätssensor IceQube von IceRobotics Ltd., South Queensferry, UK, ausgestattet.

Nach der Sichtung der absoluten Werte der täglichen Milchmengen und der Aktivitätswerte (Liegezeit, Stehzeit, Schritte, Motion Index, Wechsel von Stehen zu Liegen) an den zehn Tagen vor einer dokumentierten Mastitis wurde für jedes Mastitis-Ereignis eine individuelle prozentuale Abweichung an den fünf Tagen vor dem Mastitis-Ereignis für die genannten Variablen berechnet. Zum einen reduzierten sich die Variablen auf die prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Liegezeit und Motion Index, da die Stehzeit umgekehrt proportional zur Liegezeit ist und die Wechsel von Stehen zu Liegen keinen signifikanten Hinweis gaben, mit dem das spätere Auftreten von Mastitis erklärt werden könnte. Zum anderen erwiesen sich die prozentualen Abweichungen dieser Variablen am Tag 2 vor der dokumentierten Mastitis als signifikant verschieden im Vergleich zur Kontrollphase.

Die Nutzung der prozentualen Abweichung der Variablen Milchmenge, Liegezeit und Motion Index zur Abgrenzung der Mastitisphasen von Kontrollphasen ergab mit dem hier genutzten Datensatz in Betrieb 1 eine Sensitivität von 70 % und eine Spezifität von 40 %. Für den Datensatz des Betriebes 2 ergab sich bei einer für diesen Betrieb formulierten Grenzwertkombination bei gleicher Sensitivität von 70 % eine Spezifität von 63,6 %.

Die Berücksichtigung des Laktationsstadiums auf die Milchmengenabweichung und der Bezug der Einzeltieraktivität zur Gruppenaktivität ergab keinen bedeutsamen Vorteil in der Abgrenzung von Mastitisphasen zu Kontrollphasen.

Nach unserem Kenntnisstand wurde bisher keine vergleichbare Anzahl an Tieren mit Euterentzündungen für Analysen über solch einen langen Zeitraum zu diesem Thema herangezogen. Letztendlich bleibt jedoch anzumerken, dass weiterführende Untersuchungen mit detaillierten Informationen (Diagnoseschlüssel) zur Ausprägung der klinischen Mastitis nötig sind. In einem weiteren Schritt wäre ebenfalls zu prüfen, wie sich die hier gewonnenen Erkenntnisse auf die tägliche Arbeit im Kuhstall anwenden lassen.

9. Summary

Detection of the start of clinical mastitis by analysing daily activity and milk yield data in dairy cows

Mastitis is the disease with the highest economic impact in dairy production. As it is a multifactorial disease, different factors influence the emergence of mastitis and the clinical occurrence can be diverse. Digitalization in the dairy barn, known as precision dairy farming, has the potential to serve as a syndromic surveillance system. The detection of a beginning clinical mastitis by changes in milk yield and behavior may allow early recognition and treatment of the cow at risk.

In this study, individual milk yields and activity variables of holstein frisian dairy cows housed in freestall barns in two dairy farms (farm 1 hold 1100 and farm 2 hold 400 milking cows) were investigated for deviations of these variables in the days, before clinical mastitis was diagnosed. Documented mastitis events in the herd management software Dairy Comp305 were used to identify mastitis periods. The cows were equipped with activity sensors (IceQubes of IceRobotics Ltd, South Queensferry, UK).

First, the absolute values of daily milk yields and activity values (lying time, standing time, steps, motion index and changes of standing to lying) were examined ten days before the documented mastitis event. After that, the individual relative deviation five days before mastitis was calculated for all listed variables.

Due to the indirect proportional relationship of standing time and lying time and the lack of statistical significance of changes between standing and lying concerning the development of mastitis, the number of variables were reduced to the relative deviation in milk yield, lying time and motion index. On day two before the documented mastitis, the chosen variables were significant compared to the control periods.

The relative deviations of milk yield, lying time and motion index were used to distinguish between animals with mastitis and a control group. In farm 1, a combination of cut-off points led to a sensitivity of 70 % and a specificity of 40 %. In farm 2, the sensitivity of 70 % and specificity of 63.6 % was reached.

When the effect of the lactation phase on the deviation in milk yield and the individual activity to the group activity was taken into account, it became evident that this was no meaningful advantage in distinguishing mastitis periods from a control periods by relative deviations.

So far, no comparable number of mastitis events over such a long period was used for analysing this topic. It has to be noted however, that further analyses may be necessary,

which could utilize more detailed information about clinical mastitis. It will also be important to check the insights of this thesis during the daily work in dairy farms.

10. Literaturverzeichnis

- Ackermann, M. R.** (2009). Akute Entzündungen. In: Pathologie der Haustiere. J. F. Z. M. Donald McGavin (Hrsg.). München, Urban & Fischer. (1), S. 95- 141.
- Akaike, H.** (1998). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. In: Selected Papers of Hirotugu Akaike. E. Parzen, K. Tanabe and G. Kitagawa (Hrsg.). New York, NY, Springer New York. S. 199-213.
- Allen, J. D., L. W. Hall, R. J. Collier and J. F. Smith** (2015). Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *J Dairy Sci* 98(1): 118-127.
- Anholt, R. M., J. Berezowski, I. Jamal, C. Ribble and C. Stephen** (2014). Mining free-text medical records for companion animal enteric syndrome surveillance. *Prev Vet Med* 113(4): 417-422.
- Auguie, B.** (2017). Package 'gridExtra'.
- Berckmans, D.** (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *OIE Revue Scientifique et Technique* 33(1): 189-196.
- Bewley, J.** (2010). Precision Dairy Farming: Advanced Analysis Solutions for Future Profitability. In: First North American Conference on Precision Dairy Management, Toronto, Canada, S. 2-5.
- Bisdorff, B., B. Schauer, N. Taylor, V. Rodriguez-Prieto, A. Comin, A. Brouwer, F. Dorea, J. Drewe, L. Hoinville, A. Lindberg, M. M. Aviles, B. Martinez-Lopez, M. Peyre, J. P. Ferreira, J. Rushton, G. Van Schaik, K. D. C. Stark, C. Staubach, M. Vicente-Rubiano, G. Witteveen, D. Pfeiffer and B. Hasler** (2017). Active animal health surveillance in European Union Member States: gaps and opportunities. *Epidemiol Infect* 145(4): 802-817.
- Blowey, R. W. E., P. W.** (2010). Introduction. In: Mastitis control in dairy herds. (Hrsg.), Cabi Publishing. 2nd Edition. S.3
- Britt, J. H., R. A. Cushman, C. D. Dechow, H. Dobson, P. Humblot, M. F. Hutjens, G. A. Jones, P. S. Ruegg, I. M. Sheldon and J. S. Stevenson** (2018). Invited review: Learning from the future—A vision for dairy farms and cows in 2067. *J Dairy Sci*: 3722-3741.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.** (2018). "Was ist Industrie 4.0?" Retrieved 16.05.2018, from <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>.
- Burvenich, Chr., B. de Spiegeleer, P. Winter, H.-H. Zehle** (2009). Somatische Zellen und Zellzahlen. In: Praktische Leitfaden Mastitis (Hrsg.). Stuttgart, Parey. S. 17- 24.
- Caja, G., A. Castro-Costa and C. H. Knight** (2016). Engineering to support wellbeing of dairy animals. *J Dairy Res* 83(2): 136-147.
- Carstensen, B., M. Plummer, E. Laara and M. Hills** (2019). Epi: A Package for Statistical Analysis in Epidemiology.
- Cook, N. B., T. B. Bennett and K. V. Nordlund** (2004). Effect of free stall surface on daily activity patterns in dairy cows with relevance to lameness prevalence. *J Dairy Sci* 87(9): 2912-2922.

- Cook, N. B., R. L. Mentink, T. B. Bennett and K. Burgi** (2007). The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 90(4): 1674-1682.
- Cook, N. B. and C. Stöcker** (2014). Mehr Platz schaffen! Elite - Das Magazin der Milcherzeuger, Hrsg. Carolin Dinkels, Landwirtschaftsverlag, S. 68 -71
- Cyples, J. A., C. E. Fitzpatrick, K. E. Leslie, T. J. DeVries, D. B. Haley and N. Chapinal** (2012). Short communication: The effects of experimentally induced *Escherichia coli* clinical mastitis on lying behavior of dairy cows. *J Dairy Sci* 95(5): 2571-2575.
- De Vliegher, S. O., I.; Piepers, S.** (2018). REVIEW: Management and prevention of mastitis: A multifactorial approach with a focus on milking, bedding and data management *J Integr Agric* 17: 1214- 1233.
- Deluyker, H. A., J. M. Gay, L. D. Weaver and A. S. Azari** (1991). Change of Milk-Yield with Clinical-Diseases for a High Producing Dairy-Herd. *J Dairy Sci* 74(2): 436-445.
- Dematawewa, C. M., R. E. Pearson and P. M. Vanraden** (2007). Modeling extended lactations of Holsteins. *J Dairy Sci* 90(8): 3924-3936.
- DeVries, T. J., K. A. Beauchemin, F. Dohme and K. S. Schwartzkopf-Genswein** (2009). Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feeding, ruminating, and lying behavior. *J Dairy Sci* 92(10): 5067-5078.
- Dijkstra, J., J. France, M. S. Dhanoa, J. A. Maas, M. D. Hanigan, A. J. Rook and D. E. Beever** (1997). A model to describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. *J Dairy Sci* 80(10): 2340-2354.
- Dijkstra, J., S. Lopez, A. Bannink, M. S. Dhanoa, E. Kebreab, N. E. Odongo, M. H. Fathi Nasri, U. K. Behera, D. Hernandez-Ferrer and J. France** (2010). Evaluation of a mechanistic lactation model using cow, goat and sheep data. *J Agric Sci* 148(3): 249-262.
- Doherr, M. G. and L. Audige** (2001). Monitoring and surveillance for rare health-related events: a review from the veterinary perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 356(1411): 1097-1106.
- Dolecheck, K. A., W. J. Silvia, G. Heersche, Jr., Y. M. Chang, D. L. Ray, A. E. Stone, B. A. Wadsworth and J. M. Bewley** (2015). Behavioral and physiological changes around estrus events identified using multiple automated monitoring technologies. *J Dairy Sci*.
- Dorea, F. C., B. J. McEwen, W. B. McNab, J. Sanchez and C. W. Revie** (2013). Syndromic surveillance using veterinary laboratory data: algorithm combination and customization of alerts. *PLoS One* 8(12): e82183.
- Dorea, F. C., J. Sanchez and C. W. Revie** (2011). Veterinary syndromic surveillance: Current initiatives and potential for development. *Prev Vet Med* 101(1-2): 1-17.
- Dorea, F. C. and F. Vial** (2016). Animal health syndromic surveillance: a systematic literature review of the progress in the last 5 years (2011-2016). *Vet Med (Auckl)* 7: 157-170.
- Dragulescu, A. A.** (2018). Read, write, format Excel 2007 (xlsx) files.
- Duque, N. P., J. Casellas, J. H. Quijano, R. Casals and X. Such** (2018). Fitting lactation curves in a Colombian Holstein herd using nonlinear models. *Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellin* 71(2): 8459-8468.

Eastwood, C. R., D. F. Chapman and M. S. Paine (2012). Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: Case studies of precision dairy farms in Australia. *Agric Syst* 108: 10-18.

Elischer, M. F., M. E. Arceo, E. L. Karcher and J. M. Siegford (2013). Validating the accuracy of activity and rumination monitor data from dairy cows housed in a pasture-based automatic milking system. *J Dairy Sci* 96(10): 6412-6422.

FarmFacts GmbH. (2018). "Smart Farming entlastet den Landwirt und liefert eine wichtige Datengrundlage." _ Retrieved 22.05.2018, from <https://www.nextfarming.de/smart-farming/>.

Fisher, A. D., G. A. Verkerk, C. J. Morrow and L. R. Matthews (2002). The effects of feed restriction and lying deprivation on pituitary–adrenal axis regulation in lactating cows. *Livest Prod Sci* 73(2): 255-263.

Fogsgaard, K. K., T. W. Bennedsgaard and M. S. Herskin (2015). Behavioral changes in freestall-housed dairy cows with naturally occurring clinical mastitis. *J Dairy Sci* 98(3): 1730-1738.

Fogsgaard, K. K., C. M. Rontved, P. Sorensen and M. S. Herskin (2012). Sickness behavior in dairy cows during *Escherichia coli* mastitis. *J Dairy Sci* 95(2): 630-638.

Fregonesi, J. A., C. B. Tucker and D. M. Weary (2007). Overstocking Reduces Lying Time in Dairy Cows. *J Dairy Sci* 90(7): 3349-3354.

Fregonesi, J. A., D. M. Veira, M. A. G. von Keyserlingk and D. M. Weary (2007). Effects of Bedding Quality on Lying Behavior of Dairy Cows. *J Dairy Sci* 90(12): 5468-5472.

Galindo, F. and D. M. Broom (2000). The relationships between social behaviour of dairy cows and the occurrence of lameness in three herds. *Res Vet Sci* 69(1): 75-79.

Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2019). Application of non-linear mathematical models to describe effect of twinning on the lactation curve features in Holstein cows. *Res Vet Sci* 122: 111-117.

Gomez, A. and N. B. Cook (2010). Time budgets of lactating dairy cattle in commercial freestall herds. *J Dairy Sci* 93(12): 5772-5781.

Gradiz, L., L. Alvarado, A. K. Kahi and H. Hirooka (2009). Fit of Wood's function to daily milk records and estimation of environmental and additive and non-additive genetic effects on lactation curve and lactation parameters of crossbred dual purpose cattle. *Livest Sci* 124(1): 321-329.

Grant, R. J. and J. L. Albright (2001). Effect of Animal Grouping on Feeding Behavior and Intake of Dairy Cattle. *J Dairy Sci* 84: E156-E163.

Griepentrog, H. W. (2015). Vom Precision zum Smart Farming – Die Potenziale und Herausforderungen für eine zukunftsorientierte Landwirtschaft. BLT-Fachtagung „Innovative Agrartechnik“. Wieselburg.

Grohn, Y. T., D. J. Wilson, R. N. Gonzalez, J. A. Hertl, H. Schulte, G. Bennett and Y. H. Schukken (2004). Effect of pathogen-specific clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 87(10): 3358-3374.

Grolemund, G. and H. Wickham (2011). Dates and Times Made Easy with lubridate, *Journal of Statistical Software*, 40(3), 1-25.

- Hadorn, D. C., S. S. Haracic and K. D. Stark** (2008). Comparative assessment of passive surveillance in disease-free and endemic situation: example of *Brucella melitensis* surveillance in Switzerland and in Bosnia and Herzegovina. *BMC Vet Res* 4: 52.
- Hagnestam, C., U. Emanuelson and B. Berglund** (2007). Yield losses associated with clinical mastitis occurring in different weeks of lactation. *J Dairy Sci* 90(5): 2260-2270.
- Hammer, N., F. Adrion, M. Staiger, E. Holland, E. Gallmann and T. Jungbluth** (2016). Comparison of different ultra-high-frequency transponder ear tags for simultaneous detection of cattle and pigs. *Livest Sci* 187: 125-137.
- Harmon, R. J.** (1994). Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. *J Dairy Sci* 77(7): 2103-2112.
- Harmon, R. J.** (2001). Somatic Cell Counts: A Primer. In: National Mastitis Council, United States, S. 3- 9.
- Ito, K., M. A. von Keyserlingk, S. J. Leblanc and D. M. Weary** (2010). Lying behavior as an indicator of lameness in dairy cows. *J Dairy Sci* 93(8): 3553-3560.
- Kester, H. J., D. E. Sorter and J. S. Hogan** (2015). Activity and milk compositional changes following experimentally induced *Streptococcus uberis* bovine mastitis. *J Dairy Sci* 98(2): 999-1004.
- Knight, C. H. and C. J. Wilde** (1993). Mammary Cell Changes during Pregnancy and Lactation. *Livest Prod Sci* 35(1-2): 3-19.
- Krömker, V.** (2007). Euterkrankheiten. In: Kurzes Lehrbuch Milchkunde und Milchhygiene. 1 (Hrsg.). Stuttgart, Enke. S. 48- 59.
- Lehmann, J. O., J. G. Fadel, L. Mogensen, T. Kristensen, C. Gaillard and E. Kebreab** (2016). Effect of calving interval and parity on milk yield per feeding day in Danish commercial dairy herds. *J Dairy Sci* 99(1): 621-633.
- Lewis, G. S. and S. K. Newman** (1984). Changes Throughout Estrous Cycles of Variables That Might Indicate Estrus in Dairy-Cows. *J Dairy Sci* 67(1): 146-152.
- Lukas, J. M., J. K. Reneau, R. Wallace, D. Hawkins and C. Munoz-Zanzi** (2009). A novel method of analyzing daily milk production and electrical conductivity to predict disease onset. *J Dairy Sci* 92(12): 5964-5976.
- Macciotta, N. P. P., C. Dimauro, S. P. G. Rasso, R. Steri and G. Pulina** (2011). The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. *Ital J Anim Sci* 2011: 213-223.
- Madouasse, A., A. Marceau, A. Lehebel, H. Brouwer-Middelesch, G. van Schaik, Y. Van der Stede and C. Fourichon** (2013). Evaluation of a continuous indicator for syndromic surveillance through simulation. application to vector borne disease emergence detection in cattle using milk yield. *PLoS One* 8(9): e73726.
- Mansfeld, R., M. Hoedemaker, A. de Kruif** (2014). Eutergesundheit und Milchqualität. In: Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind. (Hrsg.). Stuttgart, Enke Verlag. 3., S. 91-126.
- Marceau, A., A. Madouasse, A. Lehebel, G. van Schaik, A. Veldhuis, Y. Van der Stede and C. Fourichon** (2014). Can routinely recorded reproductive events be used as indicators

of disease emergence in dairy cattle? An evaluation of 5 indicators during the emergence of bluetongue virus in France in 2007 and 2008. *J Dairy Sci* 97(10): 6135-6150.

Martinez-Aviles, M., E. Fernandez-Carrion, J. M. L. Garcia-Baones and J. M. Sanchez-Vizcaino (2017). Early Detection of Infection in Pigs through an Online Monitoring System. *Transbound Emerg Dis* 64(2): 364-373.

Maselyne, J., M. Pastell, P. T. Thomsen, V. M. Thorup, L. Hanninen, J. Vangeyte, A. Van Nuffel and L. Munksgaard (2017). Daily lying time, motion index and step frequency in dairy cows change throughout lactation. *Res Vet Sci* 110: 1-3.

Medrano-Galarza, C., J. Gibbons, S. Wagner, A. M. de Passille and J. Rushen (2012). Behavioral changes in dairy cows with mastitis. *J Dairy Sci* 95(12): 6994-7002.

Munksgaard, L., M. B. Jensen, L. J. Pedersen, S. W. Hansen and L. Matthews (2005). Quantifying behavioural priorities—effects of time constraints on behaviour of dairy cows, *Bos taurus*. *Appl Anim Behav Sci* 92(1): 3-14.

Österman, S. and I. Redbo (2001). Effects of milking frequency on lying down and getting up behaviour in dairy cows. *Appl Anim Behav Sci* 70(3): 167-176.

Otwinowska-Mindur, A., E. Ptak, W. Jagusiak and A. Satola (2013). Modeling lactation curves of Polish Holstein-Friesian cows. Part I: The accuracy of five lactation curve models. *J Anim Feed Sci* 22(1): 19-25.

Parasuraman, R., T. B. Sheridan and C. D. Wickens (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Trans Syst Man Cybern A Syst Hum* 30(3): 286-297.

Pietersma, D., R. Lacroix and K. M. Wade (1998). A framework for the development of computerized management and control systems for use in dairy farming. *J Dairy Sci* 81(11): 2962-2972.

Pollott, G. E. (2000). A biological approach to lactation curve analysis for milk yield. *J Dairy Sci* 83(11): 2448-2458.

R Development Core Team (2014). *A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.

Rajala-Schultz, P. J., Y. T. Grohn and C. E. McCulloch (1999). Effects of milk fever, ketosis, and lameness on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 82(2): 288-294.

Rajala-Schultz, P. J., Y. T. Grohn, C. E. McCulloch and C. L. Guard (1999). Effects of clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 82(6): 1213-1220.

Reyher, K. K., D. Haine, I. R. Dohoo and C. W. Revie (2012). Examining the effect of intramammary infections with minor mastitis pathogens on the acquisition of new intramammary infections with major mastitis pathogens--a systematic review and meta-analysis. *J Dairy Sci* 95(11): 6483-6502.

Robin, X., N. Turck, A. Hainard, N. Tiberti, F. Lisacek, J.-C. Sanchez and M. Müller (2011). pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves, *BMC Bioinformatics*, 12, p. 77.

Rodriguez-Prieto, V., M. Vicente-Rubiano, A. Sanchez-Matamoros, C. Rubio-Guerri, M. Melero, B. Martinez-Lopez, M. Martinez-Aviles, L. Hoinville, T. Vergne, A. Comin, B.

Schauer, F. Dorea, D. U. Pfeiffer and J. M. Sanchez-Vizcaino (2015). Systematic review of surveillance systems and methods for early detection of exotic, new and re-emerging diseases in animal populations. *Epidemiol Infect* 143(10): 2018-2042.

Rutten, C. J., A. G. Velthuis, W. Steeneveld and H. Hogeveen (2013). Invited review: sensors to support health management on dairy farms. *J Dairy Sci* 96(4): 1928-1952.

Santé-publique-France.Projet-triple-S. (2017, 2017-10-16). "Triple-S (Syndromic Surveillance Survey, Assessment towards Guidelines for Europe)." from <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Veille-et-alerte/Projet-Triple-S> (2018-04-16, Riems)

Schukken, Y. H., J. Hertl, D. Bar, G. J. Bennett, R. N. Gonzalez, B. J. Rauch, C. Santisteban, H. F. Schulte, L. Tauer, F. L. Welcome and Y. T. Grohn (2009). Effects of repeated gram-positive and gram-negative clinical mastitis episodes on milk yield loss in Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 92(7): 3091-3105.

Schultz, O. (2018, 09.03.2018). "Die Digitalkompetenz wird auf dem Bauernhof wichtiger." *Agrarzeitung*, 2018. from <https://www.agrarzeitung.de/nachrichten/hintergruende/report-landtechnik-die-digitalkompetenz-wird-auf-dem-bauernhof-wichtiger-81721>

Schulz, J., W. Brabant and J. Erics (2002). 2. Trächtigkeit. In: *Geburtskunde und praktische Geburtshilfe.* (Hrsg.). Berlin, Berlin Lehmanns Media - LOB.de, 2002, Nachdruck der 1. Aufl., S. 12

Scott, T. A., B. Yandell, L. Zepeda, R. D. Shaver and T. R. Smith (1996). Use of lactation curves for analysis of milk production data. *J Dairy Sci* 79(10): 1885-1894.

Scully, T. (2016). "Balance cows' time budget to improve health and production." Retrieved 20.01.2019, from <https://www.progressivedairy.com/topics/herd-health/balance-cows-time-budget-to-improve-health-and-production>.

Siebert, F. and J. Pallauf (2010). Analysis of Hessian dairy herd improvement test results as a predictor of a risk for ketosis. *Zuchtungskunde* 82(2): 112-122.

Siivonen, J., S. Taponen, M. Hovinen, M. Pastell, B. J. Lensink, S. Pyorala and L. Hanninen (2011). Impact of acute clinical mastitis on cow behaviour. *Appl Anim Behav Sci* 132(3-4): 101-106.

Solano, L., H. W. Barkema, E. A. Pajor, S. Mason, S. J. LeBlanc, C. G. R. Nash, D. B. Haley, D. Pellerin, J. Rushen, A. M. de Passillé, E. Vasseur and K. Orsel (2016). Associations between lying behavior and lameness in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. *J Dairy Sci* 99(3): 2086-2101.

Soler, M. S., A. Fouillet, A. C. Viso, L. Josseran, G. E. Smith, A. J. Elliot, J. McMenamin, A. Ziemann, T. Krafft and T. S. Project (2011). Assessment of syndromic surveillance in Europe. *Lancet* 378(9806): 1833-1834.

Stangaferro, M. L., R. Wijma, L. S. Caixeta, M. A. Al-Abri and J. O. Giordano (2016). 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.

Stein, S. K., J. Bongardt and C. Knorr (2017). Activity-based heat detection with the smaXtec intraruminal bolus system. *World Dairy Summit.* Belfast.

- Struchen, R., D. Hadorn, F. Wohlfender, S. Balmer, S. Susptitz, J. Zinsstag and F. Vial** (2016). Experiences with a voluntary surveillance system for early detection of equine diseases in Switzerland. *Epidemiol Infect* 144(9): 1830-1836.
- Stumpfenhausen, J., H. Bernhardt, M. Hold and A. Graeff** (2018). Stall 4.0 - Forschungen für ein Integrated Dairy Farming - Bericht aus der Bayer Nutztierakademie. *Tierärztliche Umschau* 73(10): 366-367.
- Thorup, V. M., L. Munksgaard, P. E. Robert, H. W. Erhard, P. T. Thomsen and N. C. Friggens** (2015). Lameness detection via leg-mounted accelerometers on dairy cows on four commercial farms. *Animal* 9(10): 1704-1712.
- Tozer, P. R. and R. G. Huffaker** (1999). Mathematical equations to describe lactation curves for Holstein-Friesian cows in New South Wales. *Aust J Agric Res* 50(3): 431-440.
- Trenel, P., M. B. Jensen, E. L. Decker and F. Skjoth** (2009). Quantifying and characterizing behavior in dairy calves using the IceTag automatic recording device. *J Dairy Sci* 92(7): 3397-3401.
- Ungar, E. D., Z. Henkin, M. Gutman, A. Doley, A. Genizi and D. Ganskopp** (2005). Inference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. *Rangeland Ecology & Management* 58(3): 256-266.
- Vasseur, E., J. Rushen, D. B. Haley and A. M. de Passille** (2012). Sampling cows to assess lying time for on-farm animal welfare assessment. *J Dairy Sci* 95(9): 4968-4977.
- Veldhuis, A., H. Brouwer-Middelesch, A. Marceau, A. Madouasse, Y. Van der Stede, C. Fourichon, S. Welby, P. Wever and G. van Schaik** (2016). Application of syndromic surveillance on routinely collected cattle reproduction and milk production data for the early detection of outbreaks of Bluetongue and Schmallenberg viruses. *Prev Vet Med* 124: 15-24.
- Walton, J. S. and G. J. King** (1986). Indicators of Estrus in Holstein Cows Housed in Tie Stalls. *J Dairy Sci* 69(11): 2966-2973.
- Watts, J. L.** (1988). Etiological Agents of Bovine Mastitis. *Vet Microbiol* 16(1): 41-66.
- Welby, S., G. van Schaik, A. Veldhuis, H. Brouwer-Middelesch, C. Peroz, I. M. Santman-Berends, C. Fourichon, P. Wever and Y. Van der Stede** (2017). Effectiveness and Cost Efficiency of Different Surveillance Components for Proving Freedom and Early Detection of Disease: Bluetongue Serotype 8 in Cattle as Case Study for Belgium, France and the Netherlands. *Transbound Emerg Dis* 64(6): 1771-1781.
- Wenz, J. R.** (2018). Optimization of Clinical Mastitis Records on Dairies. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 34(3): 493-505.
- Wenz, J. R. and S. K. Giebel** (2012). Retrospective evaluation of health event data recording on 50 dairies using Dairy Comp 305. *J Dairy Sci* 95(8): 4699-4706.
- Wiesner, E. and R. Ribbeck** (2000). Syndrom. *Lexikon der Veterinärmedizin A- Z Stuttgart, Hippokrates*. 4. Auflage: S. 1422.
- Wilde, C. J., C. V. P. Addey, P. Li and D. G. Fernig** (1997). Programmed cell death in bovine mammary tissue during lactation and involution. *Exp Physiol* 82(5): 943-953.
- Wilde, C. J., L. H. Quarrie, E. Tonner, D. J. Flint and M. Peaker** (1997). Mammary apoptosis. *Livest Prod Sci* 50(1-2): 29-37.

Wilson, D. J., R. N. Gonzalez, J. Hertl, H. F. Schulte, G. J. Bennett, Y. H. Schukken and Y. T. Grohn (2004). Effect of clinical mastitis on the lactation curve: a mixed model estimation using daily milk weights. *J Dairy Sci* 87(7): 2073-2084.

Wood, P. D. P. (1967). Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle. *Nature* 216(5111): 164-165.

Yeiser, E. E., K. E. Leslie, M. L. McGilliard and C. S. Petersson-Wolfe (2012). The effects of experimentally induced *Escherichia coli* mastitis and flunixin meglumine administration on activity measures, feed intake, and milk parameters. *J Dairy Sci* 95(9): 4939-4949.

Youden, W. J. (1950). Index for Rating Diagnostic Tests. *Biometrics* 6(2): 172-173.

Zeileis, A. and G. Grothendieck (2005). zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series, *Journal of Statistical Software*, 14(6), 1-27.

Zimmermann, L., R. Martin and H. Zerbe (2016). Automated fertility and health surveillance systems in dairy cows. A review. *Tieraerztliche Praxis Ausgabe Grosstiere Nutztiere* 44(4): 242-251.

Zoche-Golob, V. and J. Spilke (2013). Herdenspezifische Schätzung der Milchleistungsminderung durch wiederholte klinische Mastitis. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr* 126: 2069-2276.

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Die Automatisierung der Handlungsentscheidungen als Ergebnis der Datenauswertung ist der Schritt von Precision Farming zu Smart Farming modifiziert nach Parasuraman, Sheridan et al. (2000) und Griepentrog (2015).....	3
Abbildung 2. Schematisches Diagramm der Biologie der Milchdrüse während der Trächtigkeit und den ersten 40 Wochen der Laktation nach Pollott (2000). Während die Produktion der Parenchymzellen und die Differenzierung der sezernierenden Zellen vor der Kalbung beginnen, setzt die Milchproduktion mit der Kalbung ein.....	4
Abbildung 3. Laktationskurvenverlauf der Milchkuhherde. Die durchschnittliche tägliche Milchmenge steigt schnell am Beginn der milchgebenden Phase an, erreicht die Peakleistung um den 50. Tag in Milch und fällt kontinuierlich (Plateauphase) bis zum Zeitpunkt des Trockenstehens ab.	5
Abbildung 4. Faktorenkrankheit Mastitis. Die Entstehung einer Mastitis wird durch die Kuh selbst (Immunsystem, negative Energiebilanz, Genetik, Anatomie), ihre Umwelt (Hygiene in Haltung, während des Melkens, Futter, Stress) und den Mastitiserreger beeinflusst.	16
Abbildung 5. Betriebsskizze Betrieb 1 (Stand: 14.03.2016). Neun Produktionsgruppen befanden sich in einer großen Stallhalle (Länge 250 Meter; Breite:50 Meter), unterteilt durch zwei Futtergänge. Die Tiere aus den Gruppen wurden über zentrale Treibegänge Richtung Vorwartehof und Melkkarussell zum Melken getrieben. Gruppe 1, 2 und die Vorbereitergruppe waren in einem 1-Reiher Boxenlaufstall aufgestellt. Die Gruppen 3, 4, 5 und 6 waren in einem 3-Reiher Boxenlaufstall aufgestellt. Die Gruppen 21, 22 und 23 standen auf Stroh. (Skizze nicht maßstabsgetreu.).....	22
Abbildung 6. Betriebsskizze Betrieb 2 (Stand: 20.04.2016). In Stall 1 (rechts vom Melkstand) waren die Gruppen 1, 2, 3 und 4 in einem 3-Reiher Boxenlaufstall mit Tiefstreuboxen aufgestellt. Im ersten Stall links des Melkstands standen die Gruppe 8 (frische Kühe bis Tag 5 in Milch) auf Stroh. Gruppe 7 (Mastitisgruppe), Gruppe 6 und Gruppe 5 (Altmelker) waren in einem Boxenlaufstall, ausgestattet mit Gummimatten auf Hochboxen, eingestallt. Im Stall links des alten Melkstands befanden sich geschlechtsreife und tragende Färsen, sowie eine Trockenstehergruppe mit Zugang zu einem Paddock. Dieser drei Ställe gegenüber standen die Trockenstehergruppen 22 und 23 auf Stroh bis zur Abkalbung. (Skizze nicht maßstabsgetreu.)	24
Abbildung 7. IceQube-Sensor ohne Klettband. Der Pfeil zeigt „oben“ an und hilft bei der richtigen Anbringung am Tier. Die eingekreiste Nummer ist die Sensor-ID, die mit dem ausgestatteten Tier in der Herdensoftware gekoppelt werden kann.	26
Abbildung 8. Ausschnitt der übermittelten Aktivitätsdaten, hier exemplarisch für Kuh-ID (subject) = 77890 am 31.10.2017. Beginnend um 00:00:01 werden Motion Index (mi),	

Schritte (steps), Stehzeit (standing time), Liegezeit (lying time) und Wechsel zwischen Steh- und Liegezeit (standing change) in Zeitabschnitten von 15 min zusammengefasst übermittelt.....	27
Abbildung 9. Schema zur Erzeugung der relativen Differenzen der Tage -5 bis -1 zum individuellen Vergleichszeitraum (Tag -10 bis Tag -6), dessen Median als 100 % (individueller Vergleichswert) angenommen wurde.	30
Abbildung 10. Prinzip zur Berechnung des Leistungsniveaus (graue Linie) des Einzeltieres zur Herdenlaktationsleistung (durchgehende schwarze Linie) und die Berechnung des Erwartungswertes (graue Punktlinie) für die tägliche Milchmenge.	37
Abbildung 11. Beispiel der Zuordnung der tatsächlichen Milchmengen pro Tag (graue Linie) zu den Milchmengen des Herdendurchschnitts gemäß Laktationskurve (schwarze Linie) der entsprechenden Tage in Milch (DIM) im Beobachtungzeitfenster von -10 bis -6 Tage vor dem Mastitis-Ereignis. Es sind zwei Abszissen dargestellt: eine zeigt die Tage vor dem Mastitis-Ereignis an, die andere die zugehörigen Tage in Milch (DIM) in der Laktationskurve. Auf der Ordinate ist die Milchmenge in Liter (l) aufgetragen.....	37
Abbildung 12. Fließschema zur Erzeugung einer relativen Abweichung vom Erwartungswert der tierindividuellen Liegezeit und des Motion Index. Der individuelle Median der Werte an den Tagen -10 bis -6 wurden zur Ermittlung eines individuellen Niveaus (a.) in Liegezeit und Motion Index genutzt. Aus dem zeitlichen Verlauf der Gruppenaktivität und des individuellen Niveaus wurde anschließend Erwartungswerte (b., c.) sowie deren Abweichung (d., e.) von tatsächlich erzeugten Werte des Tieres in der Liegezeit und dem Motion Index berechnet.	39
Abbildung 13. Datenbankansicht `Abfrage_Tagebuch`. Anhand der Betriebsnummer (BNR), der Identifikationsnummer (ID) jedes Tieres und dem Datum (DATE) wurden dem Tier die Gruppe (PEN), die Laktationsnummer (LACT), die Tagesmilchmenge aus dem DC305 (DMLK), die ermittelte Tagesmilchmenge (M_SUM) sowie die Aktivitätswerte Motion Index (MI), Schritte (STEPS), Stehzeit (STANDING_TIME), Liegezeit (LYING_TIME), Wechsel (STANDING_CHANGE) und die Ereignisse (EVENT) mit Vermerk (REMARK) zugeordnet.....	42
Abbildung 14. Durchschnittliche Tankmilchmenge in l pro Tag und Tier je Monat im Betrieb 1. Die eingetragene Punktlinie gibt als Orientierung 35 l an. In den Monaten Februar bis April und im Juli lag die tägliche Tankmilchmenge im Schnitt bei 36 l. Die geringste durchschnittliche Milchmenge von 31 l war im Januar zu beobachten. In den restlichen Monaten lag die tägliche Milchmenge zwischen 33 und 35 l.	43
Abbildung 15. Durchschnittliche Tankmilchmenge in l pro Tag und Tier je Monat im Betrieb 2. Die eingetragene Punktlinie gibt als Orientierung 30 l an. Zwischen April und Oktober	

sank die durchschnittliche Milchmenge kontinuierlich von 34 auf 27 l, stagnierte im November und stieg im Dezember wieder auf 29 l durchschnittliche Milchmenge an....44

Abbildung 16. Durchschnittliche Anzahl von täglichen Aktivitätsdaten pro Monat im Jahr 2016 in Betrieb 1 (BNR1). Pro Tag und Tier wurde ein Aktivitätswert erfasst. Bspw. lagen im Januar im Durchschnitt pro Tag vollständige Aktivitätswerte von 800 Tieren vor.45

Abbildung 17. Durchschnittliche Anzahl von täglichen Aktivitätsdaten pro Monat im Jahr 2016 im Betrieb 2 (BNR2). Im April waren 300 Tiere im monatlichen Durchschnitt pro Tag mit einem Sensor ausgestattet. Im September 2016 stieg die Anzahl der vollständigen Datensätze der Aktivitätsdaten pro Tag auf 350 an.....46

Abbildung 18. Anzahl der Mastitis-Ereignisse (MAST-Ereignisse) im Jahr 2016 im Betrieb 1. Ein Peak der Mastitisanzahl ist im Monat August zu erkennen. In den Monaten Januar bis April lag die Anzahl der Mastitiden bei rund 40 pro Monat. In den Monaten September bis Dezember 2016 schwankte sie zwischen 60 und 80 pro Monat.47

Abbildung 19. Anzahl der Mastitis-Ereignisse (MAST-Ereignisse) im Jahr 2016 im Betrieb 2. Ein Peak der Mastitisanzahl pro Monat wurde im Betrieb 2 im Monat Juli mit 65 pro Monat erreicht. In den anderen Monaten schwankte die Anzahl der Mastitiden zwischen 45 und 55 Mastitiden pro Monat. Die Anzahl der Mastitiden im Monat April von 33 Mastitiden ist in der begrenzten Erfassung in der zweiten Monatshälfte begründet. Die Datenerfassung begann erst Mitte April 2016.48

Abbildung 20 Boxplots (oben; a. und b.) und statistische Kennzahlen (unten) der Milchmenge (in l pro Tag) für 10 Tage vor einem Mastitis-Ereignis (Mastitisphasen n=213 Tiere) und den Kontrollphasen (n=213 Tiere) im Betrieb 1.....51

Abbildung 21. Relative Milchmengen an den Tagen -5 bis -1 für die Mastitisphasen (rot, n=213) und die Kontrollphasen (blau, n=1863) in Betrieb 1. Die gestrichelte Linie ist die Abweichung -5%.....51

Abbildung 22. Verhältnis von Motion Index pro Tag und Schritte pro Tag; $r=0,95$ (n=413) ...53

Abbildung 23. Verhältnis der Liegezeit (Stunden pro Tag) zur Stehzeit (Stunden pro Tag); $r=1$ (n=424).....53

Abbildung 24. Grenzwertoptimierungskurven für den Betrieb 1.: Sensitivität in % als Ordinate; 100 % -Spezifität in % als Abszisse. Die prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der Variablen Milchmenge (milk; violett), Motion Index (MI; grün) und Liegezeit (LyT; blau) für den Betrieb 1 (n(Mastitisphasen)=220; n(Kontrollphasen)=1986). Die Werte der area under curve (AUC) betragen für die prozentualen Abweichungen der Milchmenge (milk) als Grenzwert 61 %, für den Motion Index (MI) 55 % und für die Liegezeit (LyT) 57 %.57

- Abbildung 25. ROC-Kurve der prozentualen Abweichungen der Milchleistung als Grenzwerte für Betrieb 1. Der optimale Grenzwert nach YOUDEN liegt bei einem $Ir.eta$ von 0,119, mit dem eine Sensitivität von 40,4 % und eine Spezifität von 83,8 % erreicht wurde. ...58
- Abbildung 26. ROC-Kurve der Kombination der prozentualen Abweichungen der Milchmenge (milk) und des Motion Index (MI) für Betrieb 1. Die optimale Grenzwertkombination ($Ir.eta=0,116$) ergibt eine Sensitivität von 41,6 % und eine Spezifität von 81,9 %.59
- Abbildung 27. Prozentuale Abweichungen am Tag -2 der Milchmenge (milk), des Motion Index (MI) und der Liegezeit (Ly) als Grenzwerte für Betrieb 1. Der optimale Grenzwert nach YOUDEN ($Ir.eta=0,110$) ergab eine Sensitivität von 47,3 % und eine Spezifität von 77,5 %.60
- Abbildung 28. Grenzwertoptimierungskurven für den Betrieb 2. Sensitivität in % als Ordinate; 100 % -Spezifität in % als Abszisse. Die prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der Variablen Milchmenge (milk; violett), Motion Index (MI; grün) und Liegezeit (LyT; blau) für den Betrieb 2 ($n(\text{Mastitisphasen})=157$; $n(\text{Kontrollphasen})=659$). Die Werte der area under curve (AUC) betragen für die prozentualen Abweichungen der Milchmenge als Grenzwert 63,6 %, für den Motion Index 61,4 % und für die Liegezeit 55,7 %.61
- Abbildung 29. Prozentuale Abweichungen der Milch (milk) als Grenzwerte für Betrieb 2. Der optimale Grenzwert nach YOUDEN lag bei einer prozentualen Abweichung der Milchmenge von -11,2 %, mit dieser wurde eine Sensitivität von 33,8 % und eine Spezifität von 88,8 % erreicht.63
- Abbildung 30 ROC-Kurve der Kombination der prozentualen Abweichung der Milchmenge und des Motion Index im Betrieb 2. Die optimale Grenzwertkombination ($Ir.eta=0,193$) ergibt eine Sensitivität von 61,8 % und eine Spezifität von 65,3 %.64
- Abbildung 31. ROC-Kurve der prozentualen Abweichungen am Tag -2 der Milchmenge (Milk), des Motion Index (MI) und der Liegezeit (Ly) als Grenzwerte für Betrieb 2. Der optimale Grenzwert nach YOUDEN bei einem $Ir.eta$ von 0,218 ergab eine Sensitivität von 51,0 % und eine Spezifität von 78,5 %.65
- Abbildung 32. Laktationskurven im Betrieb 2. Die Milchmenge (Milchleistung in Liter) ist pro Tag in Milch (DIM) aufgetragen. Der Verlauf der Laktationskurven ist für die Laktationsnummer 1 in rot, für die Laktationsnummer 2 in blau, für die Laktationsnummer 3 in gelb und für die Laktationsnummer 4 und aufwärts in grün dargestellt. Durch die jeweils ungeglättete Linie der Mediane pro Milchmenge pro Tag verläuft die jeweils geglättete Laktationskurve des gleitenden Mittelwertes.68
- Abbildung 33. Laktationskurven des Betriebs 2 über 310 Tage in Milch (DIM). Schwarz sind die Kurven der gleitenden Mittelwerte eingezeichnet. Der Verlauf der Laktationskurven ist für die Laktationsnummer 1 in rot, für die Laktationsnummer 2 in blau, für die Laktationsnummer 3 in gelb und für die Laktationsnummer 4 und aufwärts in grün

dargestellt. Farbige sind die Kurven dargestellt, die mittels polynomischer Formel 6. Grades erzeugt wurden.	69
Abbildung 34. Adjustierte prozentuale Abweichungen der Milchmengen der Mastitisphasen (n=332; rot) an den Tagen -5 bis -1 im Vergleich zu den adjustierten prozentualen Abweichungen der Milchmengen an den Tagen -5 bis -1 der Kontrollphasen (n=1656; blau) im Betrieb 2. Die gestrichelten horizontalen Linien zeigen die prozentualen Abweichungen von 5% und -5%.	70
Abbildung 35. Adjustierte prozentuale Abweichungen des Motion Index der Mastitisphasen (n=252; rot) an den Tagen -5 bis -1 im Vergleich zu den adjustierten prozentualen Abweichungen des Motion Index an den Tagen -5 bis -1 der Kontrollphasen (n=1270; blau) im Betrieb 2. Die gestrichelten horizontalen Linien zeigen die prozentualen Abweichungen von 5% und -5%.	71
Abbildung 36. Adjustierte prozentuale Abweichungen der Liegezeit der Mastitisphasen (n=252; rot) an den Tagen -5 bis -1 im Vergleich zu den adjustierten prozentualen Abweichungen der Liegezeit an den Tagen -5 bis -1 der Kontrollphasen (n=1270; blau) im Betrieb 2. Die gestrichelten horizontalen Linien zeigen die prozentualen Abweichungen von 5% und -5%.	72
Abbildung 37. Adjustierte prozentuale Abweichungen der Wechsel der Mastitisphasen (n=252; rot) an den Tagen -5 bis -1 im Vergleich zu den adjustierten prozentualen Abweichungen der Wechsel an den Tagen -5 bis -1 der Kontrollphasen (n=1270; blau) im Betrieb 2. Die gestrichelten horizontalen Linien zeigen die prozentualen Abweichungen von 5% und -5%.	73
Abbildung 38. Grenzwertoptimierungskurven der adjustierten prozentualen Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit. Sensitivität in % als Ordinate; 100 %-Spezifität in % als Abszisse. Die adjustierten prozentualen Abweichungen als Grenzwerte der Variablen Milchmenge (milk; violett), Motion Index (MI; grün) und Liegezeit (LyT; blau) (n(Mastitisphasen)=252; n(Kontrollphasen)=1270). Die Werte der area under curve (AUC) betragen für die prozentualen Abweichungen der Milchmenge (milk) als Grenzwert 66,95 %, für den Motion Index (MI) 57,14 % und für die Liegezeit (LyT) 57,38 %.....	75
Abbildung 39. ROC-Kurve der adjustierten prozentualen Abweichungen der Milchmenge als Grenzwert (n(Mastitisphasen)=252; n(Kontrollphasen)=1270). Der optimale Grenzwert nach YODEN liegt bei einem Ir.eta von 0,175, mit dem eine Sensitivität von 36,1 % und eine Spezifität von 83,7 % erreicht wurde.	77
Abbildung 40. Boxplots und statistische Kennzahlen der Milchmenge (milk yield in l) pro Tag für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=213 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=1863 Tiere) im Betrieb 1	111

Abbildung 41. Boxplots und statistische Kennzahlen des Motion Index (MI) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	112
Abbildung 42. Boxplots und statistische Kennzahlen der Anzahl der Schritte (STEPS) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	113
Abbildung 43. Boxplots und statistische Kennzahlen der Anzahl der Wechsel (Changes) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	114
Abbildung 44. Boxplots und statistische Kennzahlen der Stehzeit (Standtime) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	115
Abbildung 45. Boxplots und statistische Kennzahlen der Liegezeit (Lyingtime) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	116
Abbildung 46. Boxplots und statistische Kennzahlen der Milchmenge (milk yield in l) pro Tag für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=99 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=703 Tiere) im Betrieb 2	117
Abbildung 47. Boxplots und statistische Kennzahlen des Motion Index (MI) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2	118
Abbildung 48. Boxplots und statistische Kennzahlen der Anzahl der Schritte (STEPS) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2	119
Abbildung 49. Boxplots und statistische Kennzahlen der Anzahl der Wechsel (Changes) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2	120
Abbildung 50. Boxplots und statistische Kennzahlen der Stehzeit (Standtime) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2	121
Abbildung 51. Boxplots und statistische Kennzahlen der Liegezeit (Lyingtime) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2	122
Abbildung 52. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Milchmenge in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=213 Tiere) und die relativen Abweichungen der Milchmenge in Kontrollphasen (n=1863 Tiere) im Betrieb 1	123

Abbildung 53. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung des Motion Index in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen des Motion Indexes in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	124
Abbildung 54. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Schritte in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen der Schritte in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	125
Abbildung 55. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Wechsel in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen der Wechsel in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	126
Abbildung 56. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Liegezeit in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen der Liegezeit in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	127
Abbildung 57. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Stehzeit in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen der Stehzeit in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1	128
Abbildung 58. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Milchmenge in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=99 Tiere) und die relativen Abweichungen der Milchmenge in Kontrollphasen (n=703 Tiere) im Betrieb 2.....	129
Abbildung 59. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung des Motion Indexes in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen des Motion Indexes in Kontrollphasen (n=789 Tiere) im Betrieb 2	130
Abbildung 60. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Schritte in den 5 Tagen vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen der Schritte von 5 Vergleichstagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2	130
Abbildung 61. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Wechsel in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen der Wechsel in Kontrollphasen (n=789 Tiere) im Betrieb 2	132
Abbildung 62. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Liegezeit in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen der Liegezeit in Kontrollphasen (n=789 Tiere) im Betrieb 2.....	133
Abbildung 63. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Stehzeit in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen der Stehzeit in Kontrollphasen (n=789 Tiere) im Betrieb 2	134

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durchschnittliche Dauer der Tagesaktivitäten einer Milchkuh in einer Boxen-Laufstallhaltung (Cook, Bennett et al. 2004, Gomez und Cook 2010)	11
Tabelle 2. Kuhassoziierte und umweltassoziierte Mastitiserreger (nach Blowey, 2010)	17
Tabelle 3. Kostenfaktoren von Mastitiden (nach Blowey, 2010; Krömker, 2007).....	18
Tabelle 4. Milchmengenreduktion infolge einer klinischen Mastitis. Die Reduktion variiert je nach Laktationsnummer und Pathogen.....	19
Tabelle 5. Melkreihenfolge der Aufstallungsgruppen von BNR 1 über 24 Stunden. Fett markiert sind die Gruppen 2, 3, 4, die 4-mal täglich gemolken wurden. Die Gruppen 1, 5, 6, 21, 22, 23 wurden 3-mal täglich gemolken.....	23
Tabelle 6. Übersicht der erstellten Tabellen in der Datenbank, deren Inhalt (Spalten) und ihre Beschreibung. In der Tabelle ACT stehen Aktivitätsvariablen, in der Tabelle MLK die Milchmengen der Tiere, in Tabelle EVENT befinden sich die Gesundheitsereignisse, und in Tabelle LACT Kalbedaten und Laktationsnummer, mit denen die aktuelle Laktation ermittelt werden kann.	28
Tabelle 7. Anzahl Mastitis- und Kontrollphasen in den zwei Betrieben mit vollständigen Daten an den Tagen -10, -9, -8, -7, -6 und -2.	33
Tabelle 8. Testkriterien für die Berechnung von Sensitivität und Spezifität im Vergleich der Mastitisgruppe und der Kontrollgruppe.	33
Tabelle 9. Beobachtungszeitraum zur Analyse der Veränderungen der Milchmengen und Aktivitäten an den Tagen vor dem Mastitis-Ereignis für Betrieb 1 und Betrieb 2. 213 Mastitis- und 1863 Kontrollphasen zur Analyse der Veränderungen in der Milchleistung und 424 Mastitis- und 3583 Kontrollphasen zur Analyse der Veränderungen in der Aktivität in Betrieb 1; 99 Mastitis- und 703 Kontrollphasen zur Analyse der Veränderungen in der Milchleistung und 241 Mastitis- und 789 Kontrollphasen zur Analyse der Veränderungen in der Aktivität in Betrieb 2	49
Tabelle 10. p-Werte des Mann-Whitney-U-Tests zu den relativen Abweichungen der Mastitisphasen (n=213 (Milchmenge); n=424 (Aktivitätsvariablen)) gegenüber den relativen Abweichungen der Kontrollphasen (n= 1863 (Milchmenge); n= 3583 (Aktivitätsvariablen)) im Betrieb 1 (*statistische Signifikanz)	52
Tabelle 11. p-Werte des Mann-Whitney-U-Tests zu den relativen Abweichungen der Mastitisphasen (n=99 (Milchmenge: milk); n=241 (Aktivitätsvariablen: MI, Steps, Change, Lying time, Standing time)) gegenüber den relativen Abweichungen der Kontrollphasen (n=703 (Milchmenge); n=789 (Aktivitätsvariablen)) im Betrieb 2 (*statistische Signifikanz).....	52
Tabelle 12. Ergebnisse der logistischen Regression von Betrieb 1 unter Berücksichtigung der Variablen Milchmengenabfall (Milkdec), Abfall des Motion Index (MIdec) und	

Liegezeitabfall (LyTdec) am Tag -2 für das Auftreten von Mastitis (n(Mastitisphasen)=220 und n(Kontrollphasen)=1986; AIC= 1381) (*statistische Signifikanz).....	54
Tabelle 13. Ergebnisse der logistischen Regression von Betrieb 1 unter Berücksichtigung der Variablen Milchleistungsabfall (Milkdec), Abfall des Motion Index (Mldec) und Liegezeitabfall (LyTdec) am Tag -2, sowie Laktation 1 und 2 gemeinsam im Vergleich zu höheren Laktationen (Laktation 3+) für das Auftreten von Mastitis (n(Mastitisphasen)=95 und n(Kontrollphasen)=1243; Laktation 3+: n(Mastitisphasen)=125 und n(Kontrollphasen)=743; AIC=1358) (*statistische Signifikanz).....	55
Tabelle 14. Ergebnisse der logistischen Regression von Betrieb 2 unter Berücksichtigung der Variablen Milchabfall (Milkdec), Abfall des Motion Index (Mldec) und Liegezeitabfall (LyTdec) am Tag -2 für das Auftreten von Mastitis (n(Mastitisphasen)=157 und n(Kontrollphasen)=659; AIC=763) (*statistische Signifikanz)	55
Tabelle 15. Ergebnisse der logistischen Regression von Betrieb 2 unter Berücksichtigung der Variablen Milchleistungsabfall (Milkdec), Abfall des Motion Index(Mldec) und Liegezeitabfall (LyTdec), sowie Laktation 1 und 2 gemeinsam im Vergleich zu höheren Laktationen (Laktation 3+) für das Auftreten von Mastitis (n(Mastitisphasen)=69 und n(Kontrollphasen)=378; Laktation 3+: n(Mastitisphasen)= 88 und n(Kontrollphasen)=281; AIC= 757) (*statistische Signifikanz)	56
Tabelle 16. AUC-Werte der Abweichungen als Grenzwerte (n(Mastitisphasen)=220; n(Kontrollphasen)=1986) der Variablen einzeln und in Kombination für den Betrieb 1 ..	58
Tabelle 17. Kombination der prozentualen Abweichung in Milchmenge (milk) und Motion Index am Tag -2 für Betrieb 1	59
Tabelle 18. Kombinationen der prozentualen Abweichungen in Milchmenge (milk) und Motion Index (MI) und Liegezeit (LyT) am Tag -2 des Betriebs 1, die ein Ir.eta von 0,110 repräsentieren.	60
Tabelle 19. AUC-Werte der Abweichungen als Grenzwerte (n(Mastitisphasen)=157; n(Kontrollphasen)=659) der Variablen allein und in Kombinationen für den Betrieb 2. ...	62
Tabelle 20. Kombinationen der prozentualen Abweichungen in Milchmenge (milk) und Motion Index am Tag -2 im Betrieb 2.....	64
Tabelle 21. Kombinationen der prozentualen Abweichungen in Milchmenge (milk), Motion Index und Liegezeit (Lying time) am Tag -2 im Betrieb 2. Die aufgeführten Grenzwertkombinationen pro Zeile ergeben ein Ir.eta von 0,218.	66
Tabelle 22. Ergebnisse der logistischen Regression des adjustierten prozentualen Abfalls in Milchmenge (Milkdec), Motion Index (Mldec) und Liegezeit (LyTdec) bezüglich des	

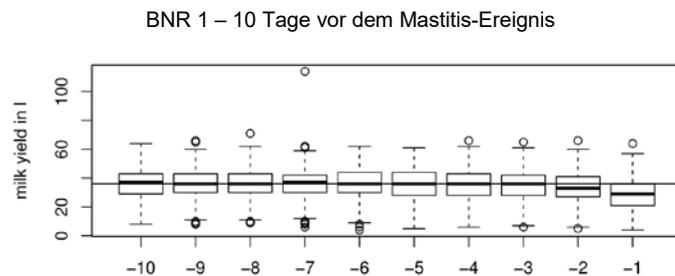
Auftretens von Mastitis (n(Mastitisphasen)=252 und n(Kontrollphasen)=1270; AIC=1341) (*statistische Signifikanz)	74
Tabelle 23. Ergebnisse der logistischen Regression des adjustierten prozentualen Abfalls von Milchmenge (Milkdec), Motion Index (Mldec) und Liegezeit (LyTdec), sowie Laktation 2 (LACT2) (n=473), Laktation 3 und höheren Laktationen (LACT3+) (n=589) bezüglich des Auftretens von Mastitis (n(Mastitisphasen)=252 und n(Kontrollphasen)=1270; AIC=1314) (Laktation 1(LACT1) n=458) (*statistische Signifikanz)	74
Tabelle 24. AUC-Werte der adjustierten Abweichungen als Grenzwerte (n(Mastitisphasen)=252; n(Kontrollphasen)=1270) der Variablen Milchmenge (Milk Yield (milk)), Motion Index (MI) und Liegezeit (LyT) allein und in Kombination miteinander. ...	76
Tabelle 25. Gegenüberstellung der AUC der prozentualen Abweichungen des einfachen Tests und der adjustierten Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 2.	78
Tabelle 26. Gegenüberstellung der Sensitivität und Spezifität an den optimalen Grenzwerten nach YODEN der prozentualen Abweichungen des einfachen Tests und der adjustierten Abweichungen in Milchmenge, Motion Index und Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 2.	79
Tabelle 27. Logistisches Regressionsmodell des Betriebs 1, bei dem die Laktationen 2 und 3 zur Laktation 1 verglichen wurden (n(Mastitis)=220; n(Vergleich)=1986; AIC=1357). .	135
Tabelle 28. Logistisches Regressionsmodell des Betriebs 2, bei dem die Laktationen 2 und 3 zur Laktation 1 verglichen wurden (n(Mastitisphasen)=157; n(Kontrollphasen)=659; AIC=756).	135
Tabelle 29. AUC der ROC-Kurve, Ir.eta, Sensitivität, Spezifität für den optimalen Grenzwert in der prozentualen Abweichung der Milchmenge, des Motion Index und der Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 1	136
Tabelle 30. AUC der ROC-Kurve, Ir.eta, Sensitivität, Spezifität für den optimalen Grenzwert in der prozentualen Abweichung der Milchmenge, des Motion Index und der Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 2	137
Tabelle 31. AUC der ROC-Kurve, Ir.eta, Sensitivität, Spezifität für den optimalen Grenzwert in der adjustierten prozentualen Abweichung der Milchmenge, des Motion Index und der Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 2	138

13. Anhang

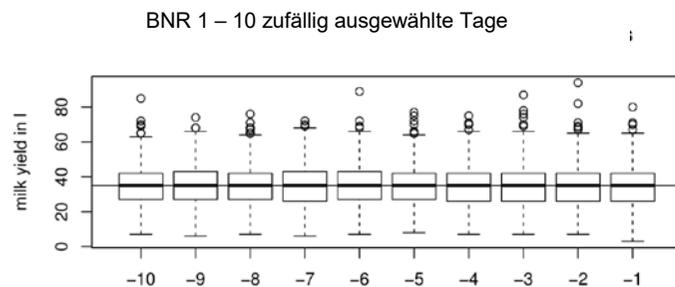
13.1 Beurteilte Variablen für die Bestimmung des Vergleichszeitraums

Im Folgenden sind Boxplots und statistische Kennzahlen der beurteilten Variablen (absolute Werte) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis und für 10 zufällig ausgewählte Tage dargestellt.

13.1.1 Betrieb 1 (BNR1)

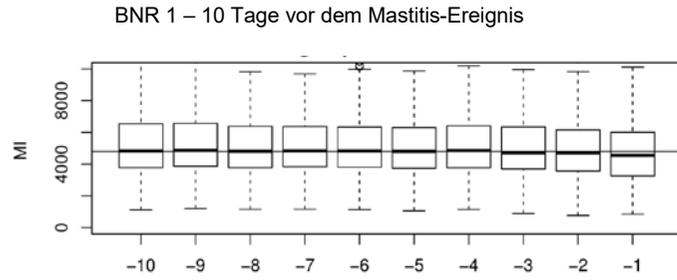


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	64	66	71	114	62	61	66	65	66	64
3rd Q	43	43	43	42	44	44	43	42	41	36
Mean	36.22	36.15	36.23	36.23	35.68	35.78	35.64	34.89	33.56	28.63
Median	37	36	36	37	36	36	36	36	33	29
1st Q	29	30	30	30	30	28	28	28	27	21
Min	8	8	9	6	4	5	6	6	5	4

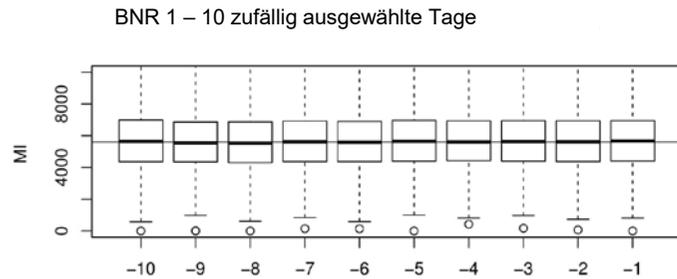


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	85	74	76	72	89	77	75	87	94	80
3rd Q	42	43	42	43	43	42	42	42	42	42
Mean	34.65	34.66	34.47	34.47	34.55	34.33	34.30	34.37	34.27	34.22
Median	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
1st Q	27	27	27	26	27	27	26	26	26	26
Min	7	6	7	6	7	8	7	7	7	3

Abbildung 40. Boxplots und statistische Kennzahlen der Milchmenge (milk yield in l) pro Tag für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=213 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=1863 Tiere) im Betrieb 1

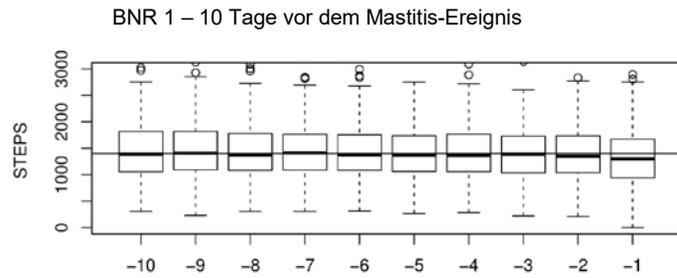


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	101015	92306	128169	91383	116038	1074589	1230972	1231086	1230972	1231086
3rd Q	6541	6556	6384	6368	6321	6306	6414	6342	6155	6006
Mean	5837	5720	5809	5799	5825	7959	8413	8254	10272	10659
Median	4824	4875	4804	4831	4824	4798	4862	4704	4700	4558
1st Q	3775	3874	3767	3836	3806	3738	3765	3700	3560	3256
Min	1116	1201	1154	1160	1134	1062	1146	888	761	844

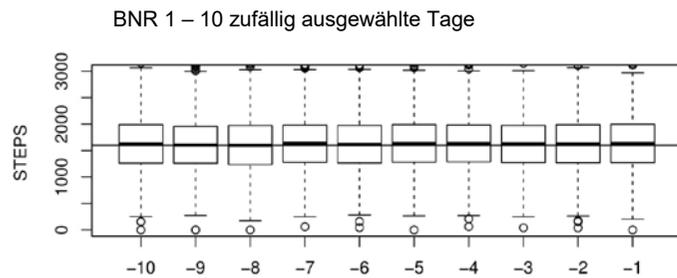


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	1079966	1079834	1079900	1079900	1079866	1079834	1079800	1079866	1079900	1079834
3rd Q	6988	6857	6866	6920	6892	6962	6932	6942	6936	6946
Mean	6451	6361	6424	6511	6508	6489	6516	6427	6476	6555
Median	5634	5551	5530	5609	5587	5642	5601	5623	5609	5673
1st Q	4359	4352	4298	4365	4364	4388	4422	4388	4366	4399
Min	0	0	0	143	135	0	419	171	64	0

Abbildung 41. Boxplots und statistische Kennzahlen des Motion Index (MI) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1

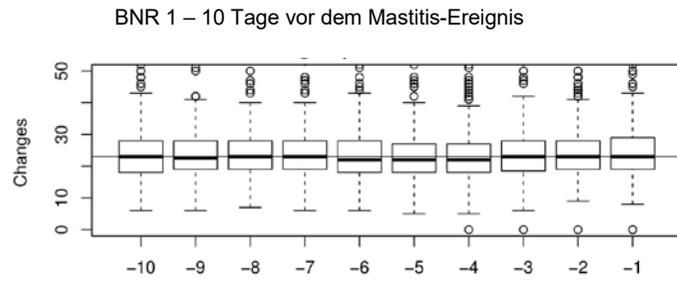


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	88661	87515	97499	82359	87979	95330	97182	97191	107644	97191
3rd Q	1816	1818	1780	1761	1753	1737	1762	1729	1734	1673
Mean	2596.0	2177.0	2317.0	2319.0	2418.0	2486.0	2521.0	2371.0	2401.0	2244.7
Median	1387.0	1407.0	1376.0	1414.0	1378.0	1372.0	1364.0	1387.0	1346.0	1297.5
1st Q	1056.0	1091.0	1082.0	1088.0	1083.0	1060.0	1058.0	1034.0	1037.0	938.8
Min	306	229	305	305	314	266	283	222	210	0

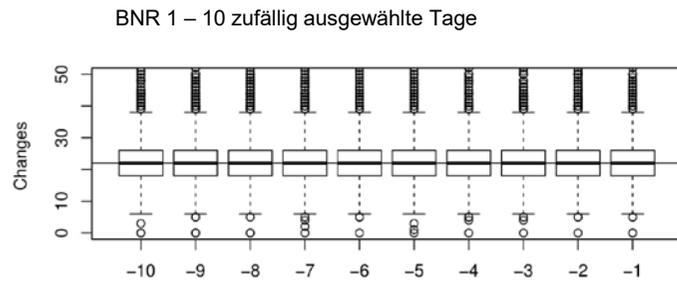


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	135097	135916	123802	125074	136967	127856	133856	129815	116758	118910
3rd Q	1991	1957	1974	1982	1976	1992	1984	1976	1990	1997
Mean	2470	2411	2450	2542	2526	2458	2565	2447	2412	2466
Median	1624	1605	1597	1635	1616	1631	1631	1627	1624	1632
1st Q	1260	1260	1236	1276	1263	1280	1286	1272	1268	1270
Min	0	0	0	61	43	0	63	41	38	0

Abbildung 42. Boxplots und statistische Kennzahlen der Anzahl der Schritte (STEPS) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1

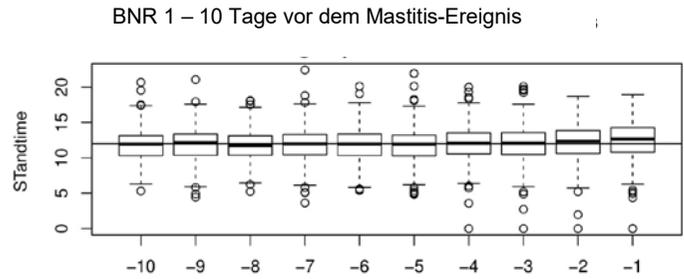


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	66	71	71	56	58	60	66	70	62	60
3rd Q	28	28	28	28	28	27	27	28	28	29
Mean	24.15	23.84	24.09	23.64	23.78	23.64	23.67	23.83	24.04	24.52
Median	23.0	22.5	23.0	23.0	22.0	22.0	22.0	23.0	23.0	23.0
1st Q	18.00	19.00	19.00	19.00	18.00	18.00	18.00	18.75	19.00	19.00
Min	6	6	7	6	6	5	0	0	0	0

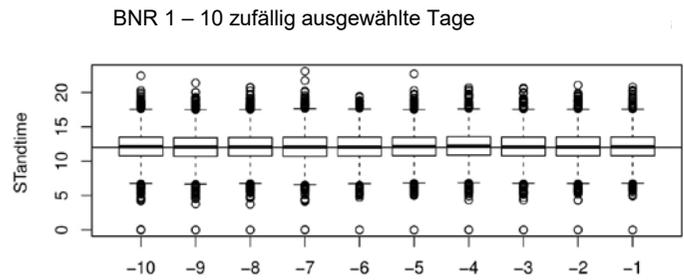


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	66	61	62	61	62	67	71	76	60	60
3rd Q	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Mean	22.52	22.70	22.51	22.60	22.55	22.42	22.37	22.49	22.47	22.41
Median	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
1st Q	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 43. Boxplots und statistische Kennzahlen der Anzahl der Wechsel (Changes) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1

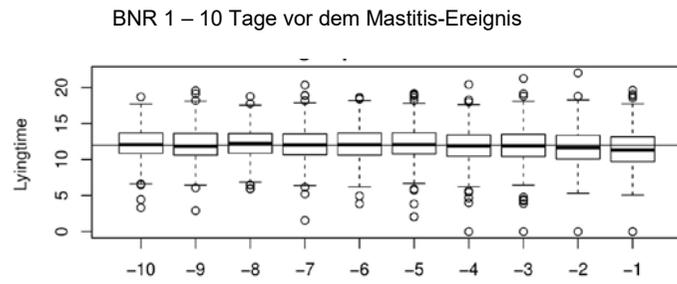


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	20.68	21.08	18.09	22.44	20.13	21.95	19.99	20.10	18.69	18.95
3rd Q	13.13	13.37	13.12	13.32	13.37	13.21	13.53	13.56	13.86	14.28
Mean	11.84	11.96	11.82	11.89	11.90	11.88	12.01	12.04	12.27	12.55
Median	11.94	12.14	11.76	11.98	11.95	11.93	12.09	12.09	12.36	12.65
1st Q	10.32	10.38	10.40	10.44	10.34	10.29	10.55	10.47	10.62	10.81
Min	5.31	4.45	5.24	3.65	5.37	4.83	0.00	0.00	0.00	0.00

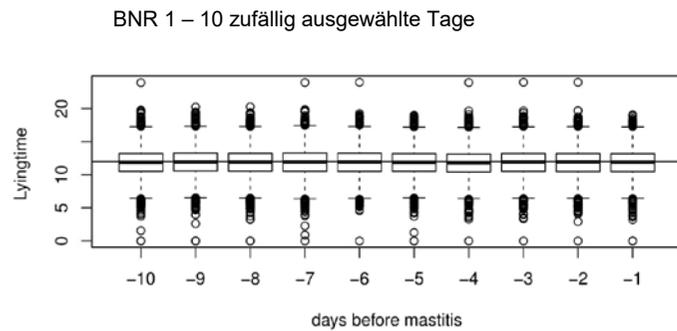


	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	22.45	21.39	20.77	23.10	19.43	22.73	20.72	20.67	21.08	20.79
3rd Q	13.50	13.43	13.46	13.49	13.50	13.49	13.57	13.50	13.52	13.52
Mean	12.15	12.08	12.11	12.11	12.11	12.16	12.21	12.12	12.11	12.13
Median	12.13	12.09	12.09	12.09	12.08	12.14	12.19	12.09	12.08	12.11
1st Q	10.79	10.72	10.77	10.71	10.75	10.80	10.87	10.79	10.79	10.80
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 44. Boxplots und statistische Kennzahlen der Stehzeit (Standtime) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1



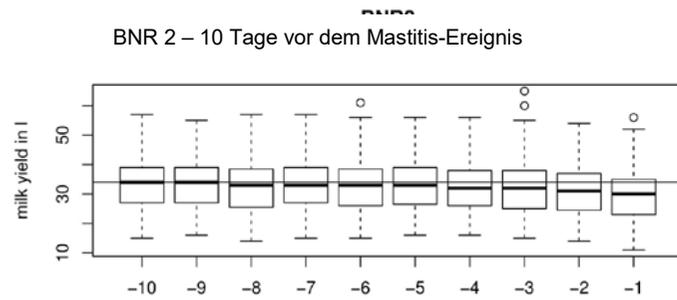
	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	18.69	19.55	18.76	20.35	18.63	19.17	20.42	21.26	22.03	19.62
3rd Q	13.680	13.620	13.600	13.560	13.660	13.710	13.420	13.510	13.370	13.165
Mean	12.160	12.040	12.180	12.110	12.100	12.120	11.930	11.910	11.670	11.339
Median	12.06	11.86	12.24	12.02	12.05	12.07	11.90	11.91	11.63	11.31
1st Q	10.870	10.630	10.880	10.680	10.630	10.790	10.460	10.430	10.090	9.707
Min	3.32	2.92	5.91	1.56	3.87	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00



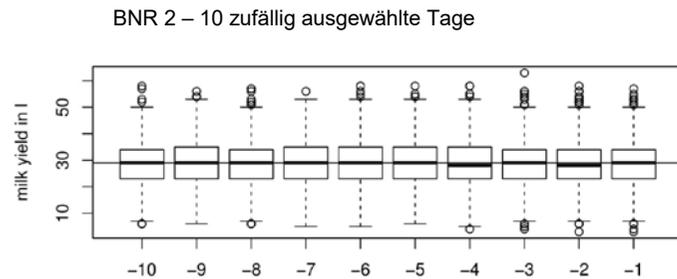
	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	23.93	20.22	20.26	23.95	23.99	19.00	23.96	23.99	23.99	19.06
3rd Q	13.21	13.27	13.23	13.28	13.25	13.20	13.13	13.21	13.20	13.19
Mean	11.84	11.90	11.88	11.88	11.88	11.83	11.79	11.87	11.88	11.85
Median	11.87	11.91	11.90	11.91	11.91	11.86	11.81	11.91	11.92	11.89
1st Q	10.50	10.56	10.53	10.51	10.50	10.51	10.42	10.50	10.47	10.47
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 45. Boxplots und statistische Kennzahlen der Liegezeit (Lyingtime) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=424 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1

13.1.2 Betrieb 2 (BNR2)



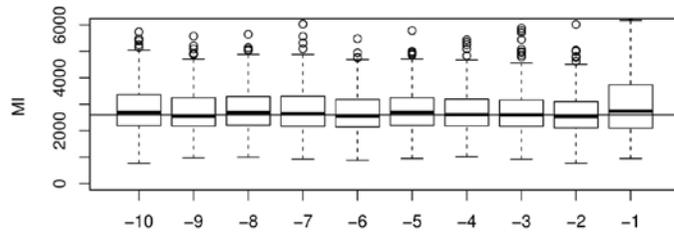
	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
mAX	57	55	57	57	61	56	56	65	54	56
3rd Q	39.0	39.0	38.5	39.0	38.5	39.0	38.0	38.0	37.0	35.0
Mean	33.71	33.54	32.63	33.30	33.15	33.42	32.48	32.21	31.53	29.79
Median	34	34	33	33	33	33	32	32	31	30
1st Q	27.0	27.0	25.5	27.0	26.0	26.5	26.0	25.0	24.5	23.0
Min	15	16	14	15	15	16	16	15	14	11



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	58	56	57	56	58	58	58	63	58	57
3rd Q	34	35	34	35	35	35	35	34	34	34
Mean	28.82	28.93	28.83	28.94	29.00	29.13	28.86	28.65	28.69	28.56
Median	29	29	29	29	29	29	28	29	28	29
1st Q	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Min	6	6	6	5	5	6	4	4	3	3

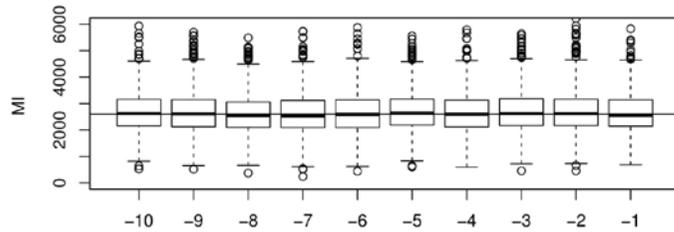
Abbildung 46. Boxplots und statistische Kennzahlen der Milchmenge (milk yield in l) pro Tag für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=99 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=703 Tiere) im Betrieb 2

BNR 2 – 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	13833	9589	16161	16232	13048	12377	13393	12370	11257	15232
3rd Q	3365	3246	3294	3303	3184	3248	3195	3161	3101	3738
Mean	2899	2794	2950	2887	2807	2817	2888	2828	2737	3216
Median	2686	2550	2682	2647	2555	2690	2604	2595	2531	2742
1st Q	2188	2175	2205	2165	2141	2200	2180	2163	2106	2094
Min	768	973	999	926	882	947	1017	922	770	945

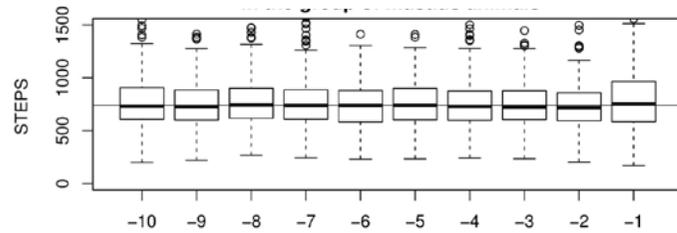
BNR 2 – 10 zufällig ausgewählte Tage



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	6959	7120	8686	5733	7363	7174	5789	5640	8614	7497
3rd Q	3160	3150	3059	3117	3141	3170	3129	3185	3165	3143
Mean	2691	2684	2633	2629	2662	2726	2660	2709	2728	2685
Median	2626	2607	2552	2526	2585	2640	2595	2622	2619	2560
1st Q	2155	2124	2099	2092	2090	2185	2116	2168	2167	2141
Min	528	519	376	243	444	603	599	455	457	684

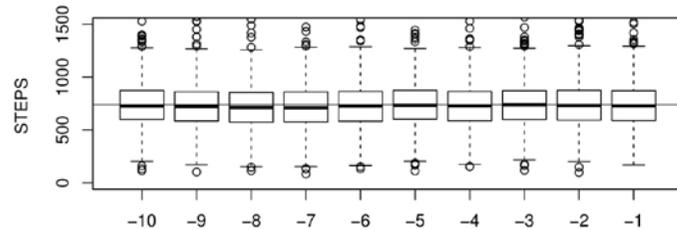
Abbildung 47. Boxplots und statistische Kennzahlen des Motion Index (MI) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2

BNR 2 – 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	4049	2777	4007	4564	3568	3284	3666	3358	3563	3405
3rd Q	907	885	901	887	880	900	875	877	858	966
Mean	792.6	767.5	798.1	792.9	774.3	770.5	791.1	773.5	751.6	857.1
Median	732	725	743	739	739	740	729	721	717	755
1st Q	607	601	618	608	582	603	599	605	594	584
Min	200	220	268	244	231	234	242	235	203	170

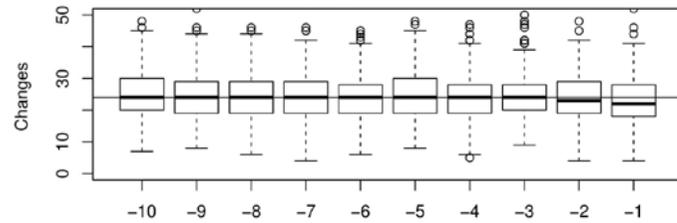
BNR 2 – 10 zufällig ausgewählte Tage



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	1733	2106	2075	1627	1764	1444	1530	1568	2482	1758
3rd Q	874	862	855	861	865	875	865	872	875	872
Mean	738.1	735.0	724.6	722.3	730.6	742.9	731.8	745.8	748.9	737.0
Median	725	721	713	711	725	734	727	739	732	727
1st Q	600	584	574	576	582	603	586	599	593	588
Min	115	103	115	84	134	113	154	119	98	169

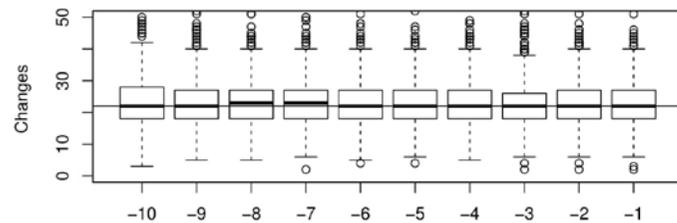
Abbildung 48. Boxplots und statistische Kennzahlen der Anzahl der Schritte (STEPS) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2

BNR 2 – 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	48	52	46	87	45	68	54	50	58	52
3rd Q	30	29	29	29	28	30	28	28	29	28
Mean	24.77	24.73	24.41	24.36	24.06	24.59	24.32	24.36	23.98	23.05
Median	24	24	24	24	24	24	24	24	23	22
1st Q	20	19	19	19	19	19	19	20	19	18
Min	7	8	6	4	6	8	5	9	4	4

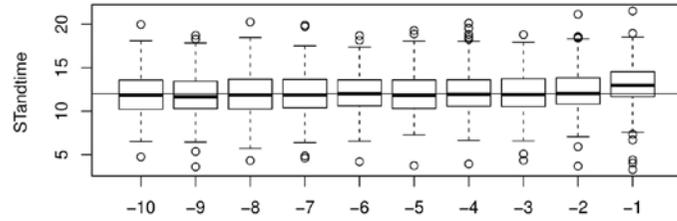
BNR 2 – 10 zufällig ausgewählte Tage



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	62	52	55	50	64	66	56	72	55	67
3rd Q	28	27	27	27	27	27	27	26	27	27
Mean	23.01	22.86	23.07	22.70	22.84	22.58	22.67	22.83	22.74	22.58
Median	22	22	23	23	22	22	22	22	22	22
1st Q	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Min	3	5	5	2	4	4	5	2	2	2

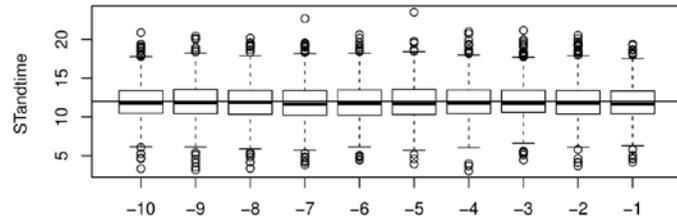
Abbildung 49. Boxplots und statistische Kennzahlen der Anzahl der Wechsel (Changes) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2

BNR 2 – 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	19.96	18.71	20.25	19.89	18.68	19.27	20.11	18.79	21.13	21.52
3rd Q	13.58	13.44	13.67	13.65	13.60	13.59	13.61	13.73	13.84	14.53
Mean	12.03	11.90	12.09	12.03	12.14	12.07	12.13	12.16	12.30	12.99
Median	11.81	11.66	11.84	11.84	12.00	11.79	11.94	11.91	12.02	12.96
1st Q	10.21	10.30	10.25	10.38	10.61	10.31	10.57	10.53	10.82	11.66
Min	4.75	3.61	4.33	4.61	4.21	3.74	3.94	4.35	3.69	3.29

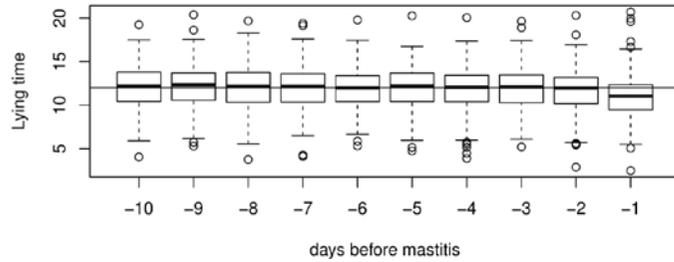
BNR 2 – 10 zufällig ausgewählte Tage



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	20.87	20.42	20.17	22.68	20.60	23.50	20.99	21.16	20.52	19.38
3rd Q	13.39	13.55	13.42	13.41	13.49	13.56	13.48	13.44	13.40	13.35
Mean	12.05	12.02	11.95	11.94	11.96	12.01	12.06	12.09	12.02	11.92
Median	11.79	11.84	11.88	11.63	11.74	11.71	11.79	11.77	11.78	11.67
1st Q	10.47	10.42	10.33	10.21	10.21	10.31	10.43	10.60	10.37	10.40
Min	3.35	3.17	3.38	3.83	4.44	3.93	3.05	4.46	3.70	4.17

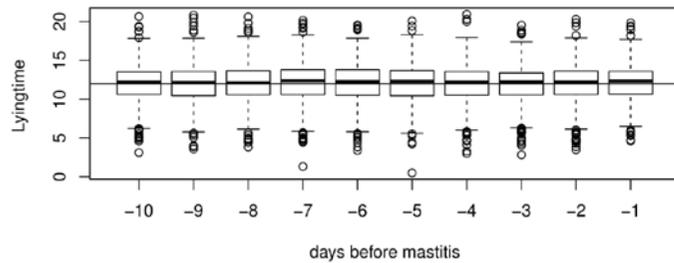
Abbildung 50. Boxplots und statistische Kennzahlen der Stehzeit (Standtime) für 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2

BNR 2 – 10 Tage vor dem Mastitis-Ereignis



	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	19.25	20.39	19.67	19.39	19.79	20.26	20.06	19.65	20.31	20.71
3rd Q	13.79	13.70	13.75	13.62	13.39	13.69	13.43	13.47	13.18	12.34
Mean	11.97	12.10	11.91	11.97	11.86	11.93	11.87	11.84	11.70	11.01
Median	12.19	12.34	12.16	12.16	12.00	12.21	12.06	12.09	11.98	11.04
1st Q	10.42	10.56	10.33	10.35	10.40	10.41	10.39	10.27	10.16	9.47
Min	4.04	5.29	3.75	4.11	5.32	4.74	3.89	5.21	2.87	2.48

BNR 2 – 10 zufällig ausgewählte Tage



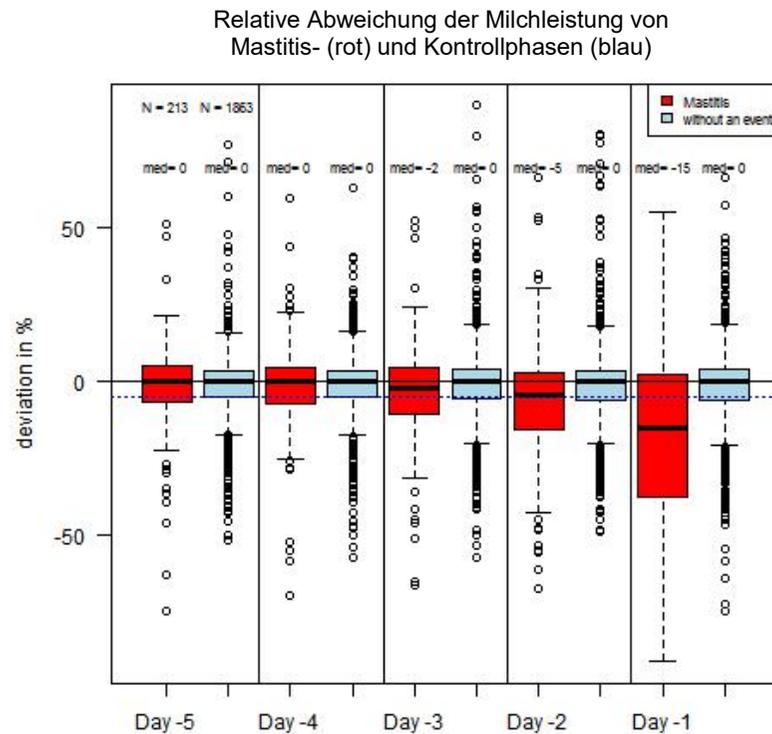
	Tag_10	Tag_9	Tag_8	Tag_7	Tag_6	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	20.65	20.83	20.62	20.17	19.56	20.07	20.95	19.54	20.30	19.83
3rd Q	13.53	13.58	13.67	13.79	13.79	13.69	13.57	13.40	13.63	13.60
Mean	11.95	11.98	12.05	12.06	12.04	11.99	11.94	11.91	11.98	12.08
Median	12.21	12.16	12.12	12.37	12.26	12.29	12.21	12.23	12.22	12.33
1st Q	10.61	10.45	10.58	10.59	10.51	10.44	10.52	10.56	10.60	10.65
Min	3.13	3.58	3.83	1.32	3.40	0.50	3.01	2.84	3.48	4.62

Abbildung 51. Boxplots und statistische Kennzahlen der Liegezeit (Lyingtime) für 10 Tage vor dem Mastitis Ereignis (n=241 Tiere) und 10 zufällig ausgewählten Tagen (n=789 Tiere) im Betrieb 2

13.2 Relative Werte der Tage 5 bis 1 vor der Mastitis im Vergleich mit relativen Werten ohne die Entwicklung einer Mastitis

Im Folgenden sind Boxplots und statistische Kennzahlen der beurteilten Variablen als relative Werte zum Vergleichszeitraum zwischen Tag -10 bis -6 für 5 Tage vor dem Mastitis-Ereignis dargestellt.

13.2.1 Betrieb 1 (BNR1)



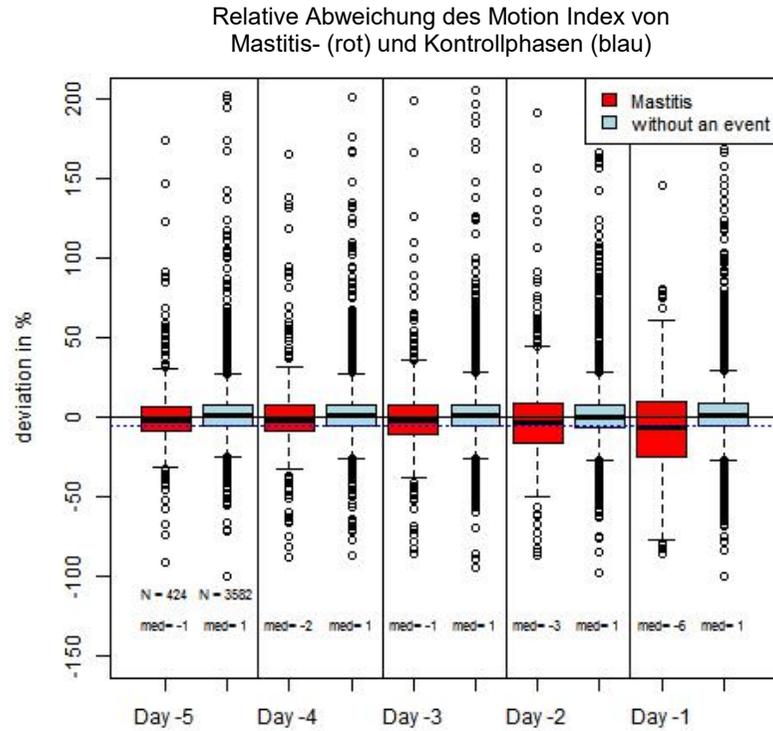
Mastitisphasen - Milchmenge in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	51.52	60.00	52.63	66.67	55.56
3rd Q	5.00	4.65	4.35	3.12	2.33
Mean	-0.93	-1.70	-3.48	-6.89	-18.13
Median	0.00	0.00	-2.44	-4.54	-15.38
1st Q	-6.67	-7.41	-10.71	-15.79	-37.93
Min	-75.00	-70.00	-66.67	-67.39	-91.30

Kontrollphasen - Milchmenge in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	77.42	63.04	90.00	80.77	89.19
3rd Q	3.57	3.57	4.00	3.70	3.85
Mean	-0.95	-1.21	-1.15	-1.52	-1.74
Median	0	0	0	0	0
1st Q	-4.88	-5.00	-5.77	-6.00	-6.06
Min	-52.00	-57.58	-57.58	-48.89	-75.00

Abbildung 52. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Milchmenge in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=213 Tiere) und die relativen Abweichungen der Milchmenge in Kontrollphasen (n=1863 Tiere) im Betrieb 1



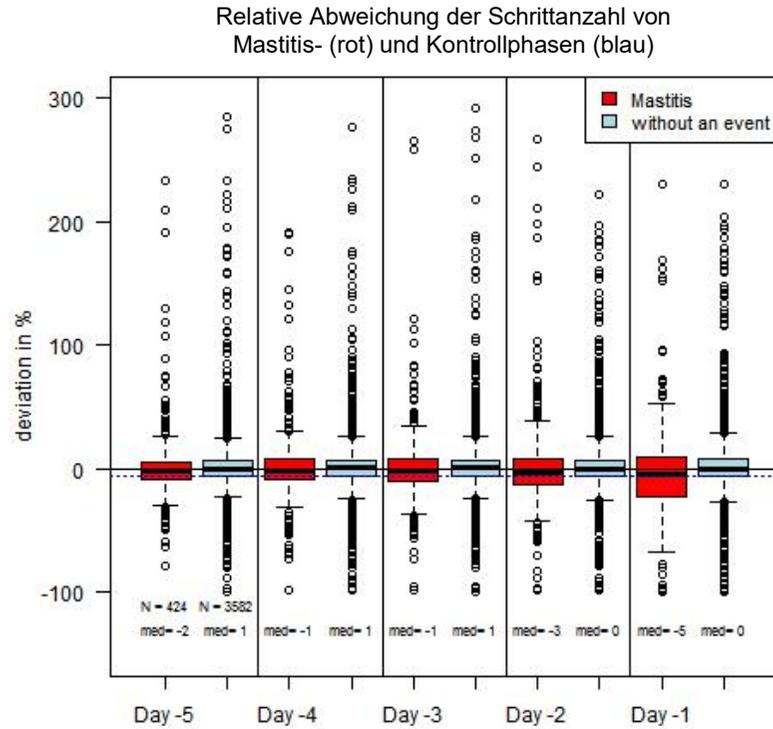
Mastitisphasen - Motion Index in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	24643.01	28243.81	28246.44	28243.81	28246.44
3rd Q	7.30	7.93	7.98	8.46	10.12
Mean	59.04	68.58	67.69	72.97	72.10
Median	-1.49	-1.53	-1.48	-3.18	-6.46
1st Q	-8.35	-8.53	-10.64	-15.40	-24.67
Min	-90.77	-87.45	-85.35	-87.06	-85.59

Kontrollphasen - Motion Index in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	771.78	478.06	417.46	437.57	3632.45
3rd Q	7.66	7.98	8.28	7.66	8.65
Mean	3.23	3.23	2.90	3.33	4.68
Median	0.90	1.01	1.00	0.62	0.98
1st Q	-5.27	-5.42	-5.44	-6.11	-5.55
Min	-100.00	-86.19	-94.36	-97.89	-100.00

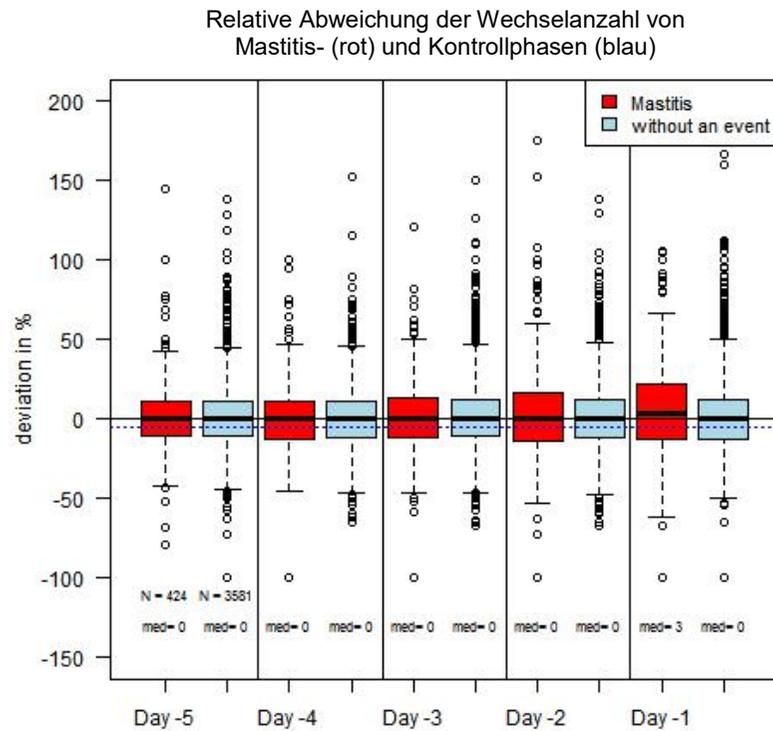
Abbildung 53. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung des Motion Index in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen des Motion Indexes in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1



Mastitisphasen - Schritte in % Abweichung					
	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	6308.60	7234.49	7235.17	7234.49	7235.17
3rd Q	6.02	7.62	8.31	8.84	9.05
Mean	16.62	19.83	26.35	20.97	29.84
Median	-1.75	-1.11	-1.46	-2.65	-4.54
1st Q	-8.14	-8.04	-10.16	-12.01	-22.72
Min	-78.29	-98.46	-98.44	-98.41	-100.00

Kontrollphasen - Schritte in % Abweichung					
	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	8001.74	4911.55	7340.63	17911.81	16479.68
3rd Q	7.18	7.44	7.36	7.16	8.25
Mean	8.65	7.63	6.44	10.17	11.08
Median	0.60	0.81	0.61	0.32	0.47
1st Q	-5.10	-5.31	-5.35	-5.84	-5.72
Min	-100.00	-97.85	-98.80	-98.49	-100.00

Abbildung 54. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Schritte in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen der Schritte in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1



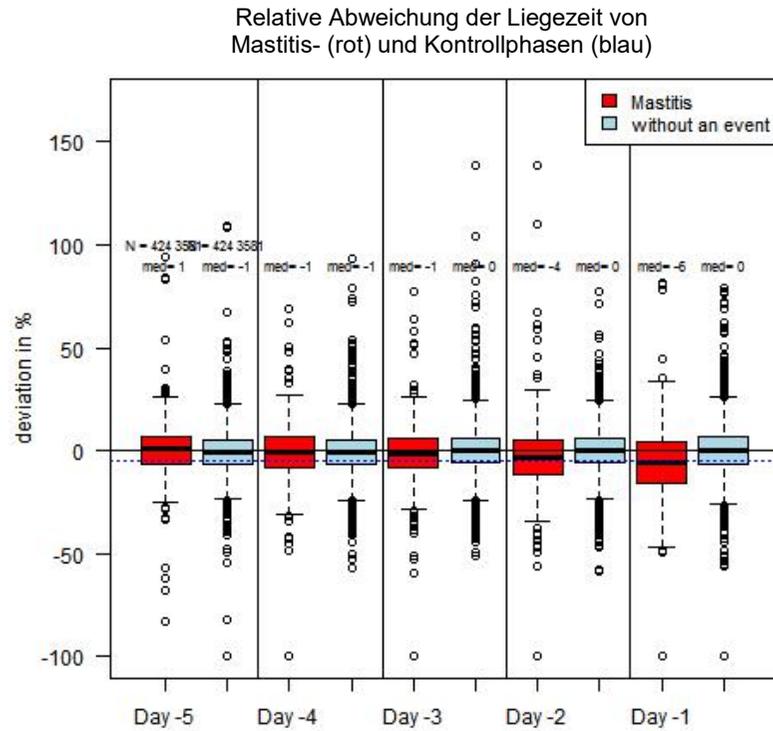
Mastitisphasen - Wechsel in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	145.46	100.00	121.05	175.00	318.18
3rd Q	11.11	11.51	13.54	16.67	21.63
Mean	1.02	0.88	2.23	3.98	6.80
Median	0.00	0.00	0.00	0.00	3.45
1st Q	-10.09	-12.60	-11.54	-13.41	-12.50
Min	-79.17	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00

Kontrollphasen - Wechsel in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	219.05	238.10	216.67	188.89	242.86
3rd Q	11.11	11.11	12.50	12.50	12.50
Mean	1.00	0.81	1.37	1.36	1.14
Median	0	0	0	0	0
1st Q	-11.11	-12.00	-11.11	-12.00	-12.50
Min	-100.00	-64.71	-66.67	-66.67	-100.00

Abbildung 55. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Wechsel in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen der Wechsel in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1



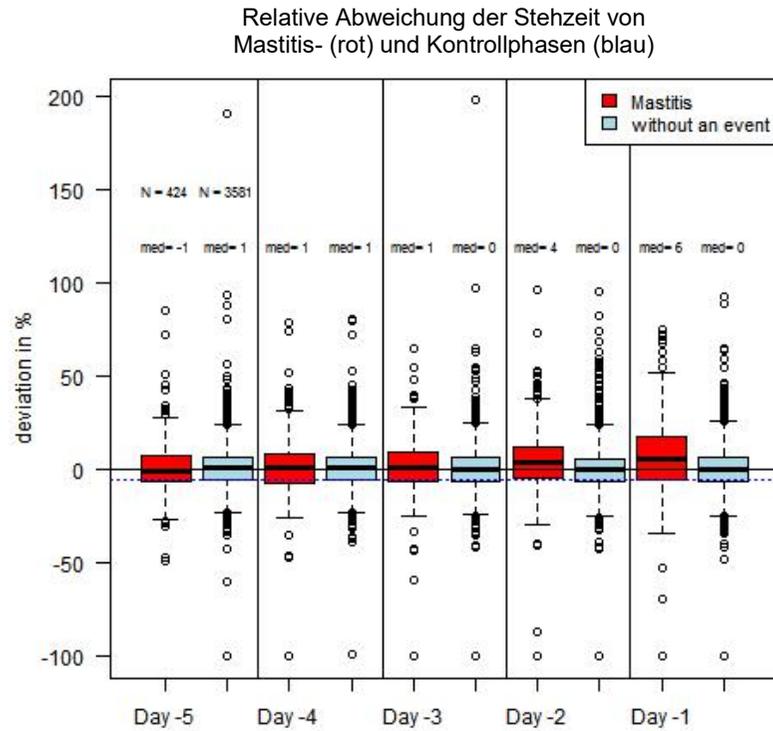
Mastitisphasen - Liegezeit in % Abweichungen

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	93.80	69.21	77.13	138.42	170.16
3rd Q	6.73	6.45	5.75	4.97	4.36
Mean	0.52	-1.19	-1.40	-2.98	-5.71
Median	0.69	-0.93	-1.33	-3.63	-5.52
1st Q	-6.62	-8.46	-8.13	-11.66	-16.28
Min	-83	-100	-100	-100	-100

Kontrollphasen - Liegezeit in % Abweichungen

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	109.15	92.87	138.99	77.00	78.78
3rd Q	5.40	5.22	6.23	6.32	6.43
Mean	-0.20	-0.56	0.26	0.31	0.13
Median	-0.61	-0.78	0.08	0.16	0.00
1st Q	-6.29	-6.62	-6.02	-5.77	-6.67
Min	-100.00	-56.88	-51.44	-59.01	-100.00

Abbildung 56. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Liegezeit in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen der Liegezeit in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1



Mastitisphasen- Stehzeit in % Abweichungen

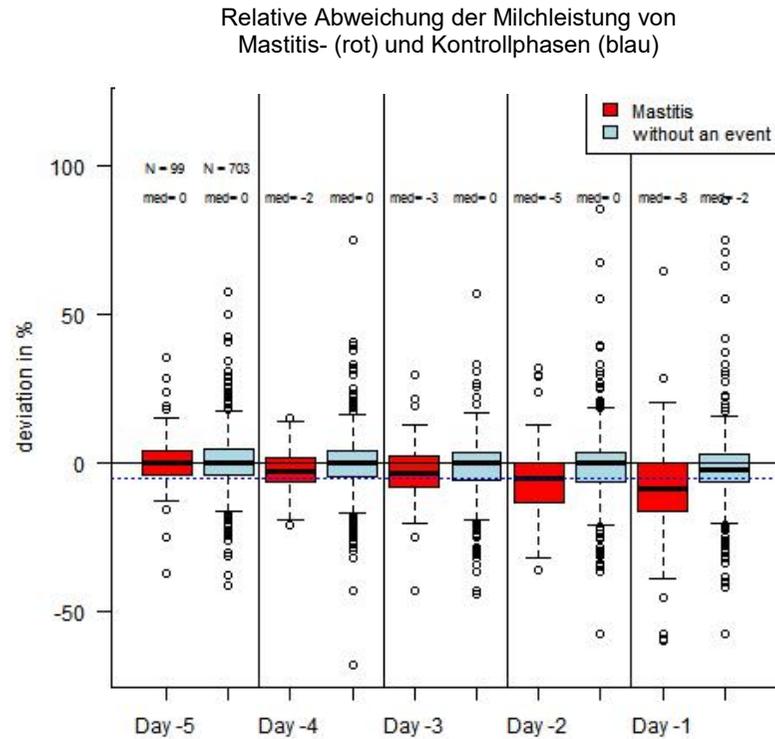
	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	85.53	78.66	65.33	96.71	75.14
3rd Q	7.01	8.88	9.62	12.37	17.92
Mean	0.64	1.88	1.92	4.39	6.95
Median	-0.79	0.96	1.33	3.81	6.00
1st Q	-6.62	-6.78	-6.16	-4.82	-4.98
Min	-48.86	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00

Kontrollphasen - Stehzeit in % Abweichungen

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	190.71	80.96	197.98	95.26	186.46
3rd Q	6.49	6.89	6.37	6.20	6.89
Mean	0.81	1.26	0.56	0.53	0.72
Median	0.68	0.88	-0.07	-0.17	0.00
1st Q	-5.32	-4.98	-6.05	-6.14	-5.93
Min	-100.00	-99.26	-99.81	-99.81	-100.00

Abbildung 57. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Stehzeit in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=424 Tiere) und die relativen Abweichungen der Stehzeit in Kontrollphasen (n=3583 Tiere) im Betrieb 1

13.2.2 Betrieb 2 (BNR2)



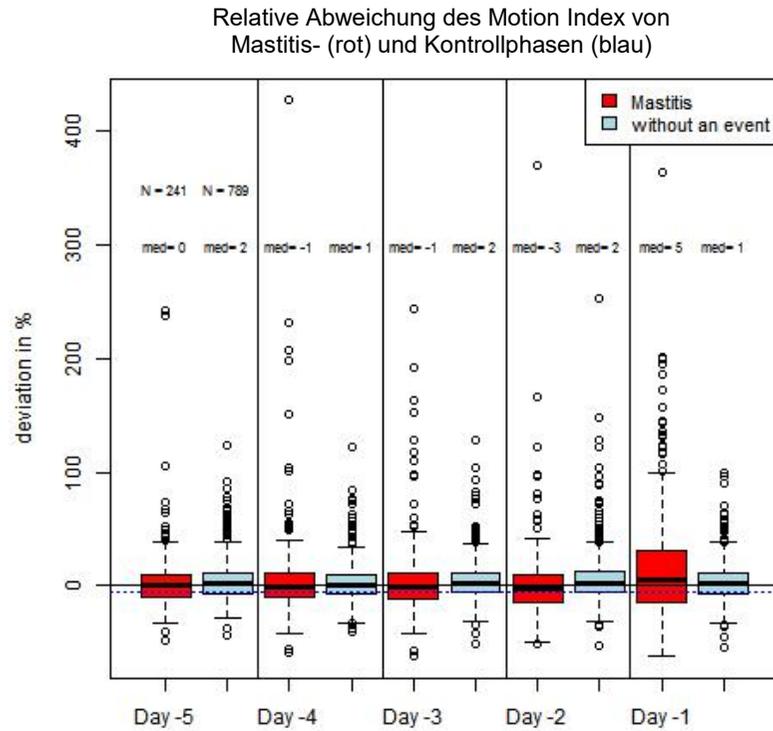
Mastitisphasen - Milchmenge in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	35.48	15.38	30.00	32.14	64.71
3rd Q	4.17	2.22	2.67	0.00	0.00
Mean	0.44	-2.34	-3.42	-5.19	-9.94
Median	0.00	-2.50	-3.23	-5.00	-8.33
1st Q	-3.64	-6.48	-8.25	-13.15	-16.20
Min	-37.04	-20.75	-42.86	-36.00	-59.46

Kontrollphasen - Milchmenge in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	57.89	75.00	57.50	85.71	119.23
3rd Q	4.76	4.00	3.85	3.70	3.08
Mean	0.52	-0.21	-1.23	-1.13	-1.72
Median	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.38
1st Q	-3.85	-4.55	-5.56	-6.25	-6.35
Min	-41.03	-68.00	-44.00	-57.14	-57.14

Abbildung 58. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Milchmenge in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=99 Tiere) und die relativen Abweichungen der Milchmenge in Kontrollphasen (n=703 Tiere) im Betrieb 2



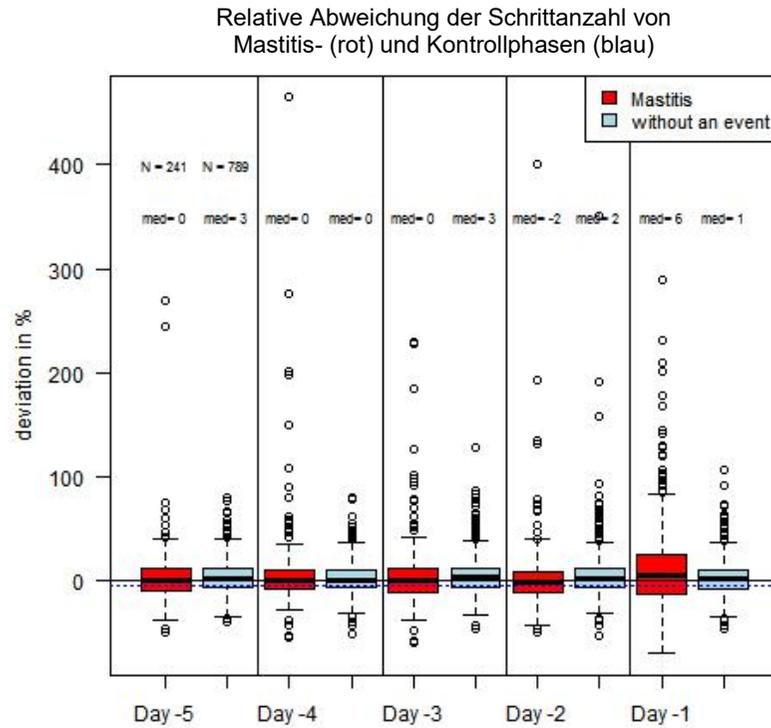
Mastitisphasen - Motion Index in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	242.28	427.37	243.84	370.81	364.25
3rd Q	9.61	11.37	11.91	10.04	31.49
Mean	3.89	6.77	5.15	1.29	17.96
Median	0.19	-0.92	-0.77	-2.98	4.79
1st Q	-10.15	-9.98	-12.33	-14.58	-14.74
Min	-48.89	-58.72	-62.13	-51.92	-61.19

Kontrollphasen - Motion Index in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	124.11	122.30	128.88	252.50	98.65
3rd Q	11.77	10.08	11.69	12.04	11.40
Mean	5.06	2.43	4.55	5.03	3.33
Median	2.22	0.70	2.27	1.74	1.38
1st Q	-6.32	-7.25	-5.75	-5.51	-6.71
Min	-43.45	-41.06	-51.22	-53.12	-54.10

Abbildung 59. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung des Motion Indexes in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen des Motion Indexes in Kontrollphasen (n=789 Tiere) im Betrieb 2



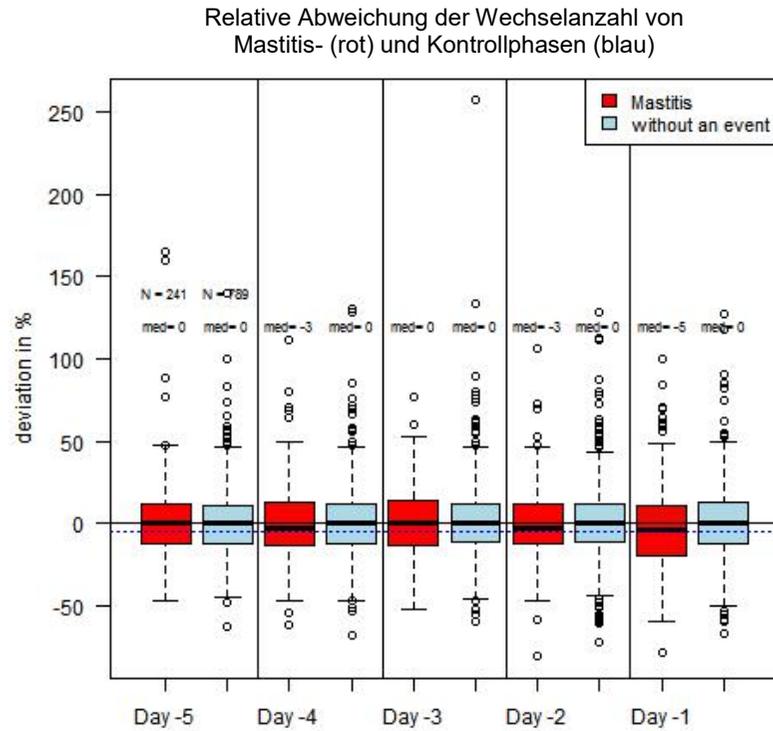
Mastitisphasen - Schritte in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	268.99	464.87	230.14	400.42	289.14
3rd Q	11.11	10.18	12.56	8.82	25.90
Mean	4.09	7.39	5.49	2.39	16.11
Median	0.13	0.28	-0.33	-1.71	5.88
1st Q	-8.95	-7.62	-11.37	-11.95	-13.41
Min	-48.91	-54.42	-58.89	-50.20	-69.91

Kontrollphasen - Schritte in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	79.48	80.58	127.93	351.27	107.38
3rd Q	12.06	10.60	12.12	11.53	10.38
Mean	3.88	2.14	4.50	4.90	2.92
Median	2.58	0.25	2.81	2.01	1.35
1st Q	-6.90	-7.19	-5.87	-5.99	-7.63
Min	-39.26	-50.79	-47.13	-52.31	-45.84

Abbildung 60. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Schritte in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen des Motion Indexes in Kontrollphasen (n=789 Tiere) im Betrieb 2



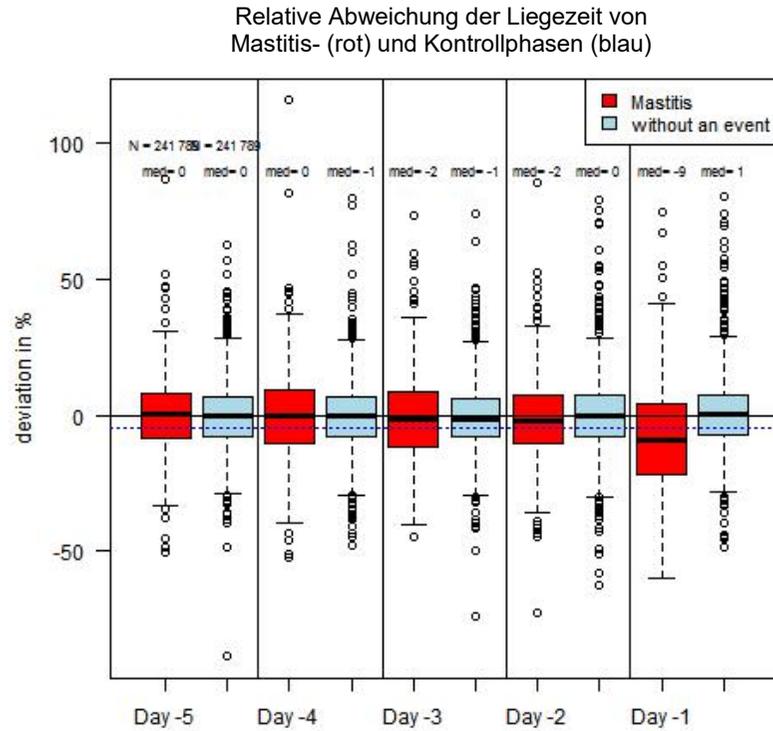
Mastitisphasen - Wechsel in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	164.71	111.77	76.92	105.88	100.00
3rd Q	11.77	12.50	13.79	11.54	10.35
Mean	1.72	1.19	1.53	-0.22	-3.60
Median	0.00	-3.03	0.00	-3.23	-4.54
1st Q	-12.12	-13.04	-13.04	-12.50	-20.00
Min	-47.06	-61.54	-52.63	-80.95	-78.95

Kontrollphasen - Wechsel in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	140.00	130.00	257.14	128.57	127.78
3rd Q	11.11	11.54	12.00	12.00	12.50
Mean	0.17	0.66	1.59	1.22	0.56
Median	0	0	0	0	0
1st Q	-12.50	-12.00	-11.54	-11.11	-12.90
Min	-63.16	-68.42	-60.00	-72.00	-66.67

Abbildung 61. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Wechsel in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen der Wechsel in Kontrollphasen (n=789 Tiere) im Betrieb 2



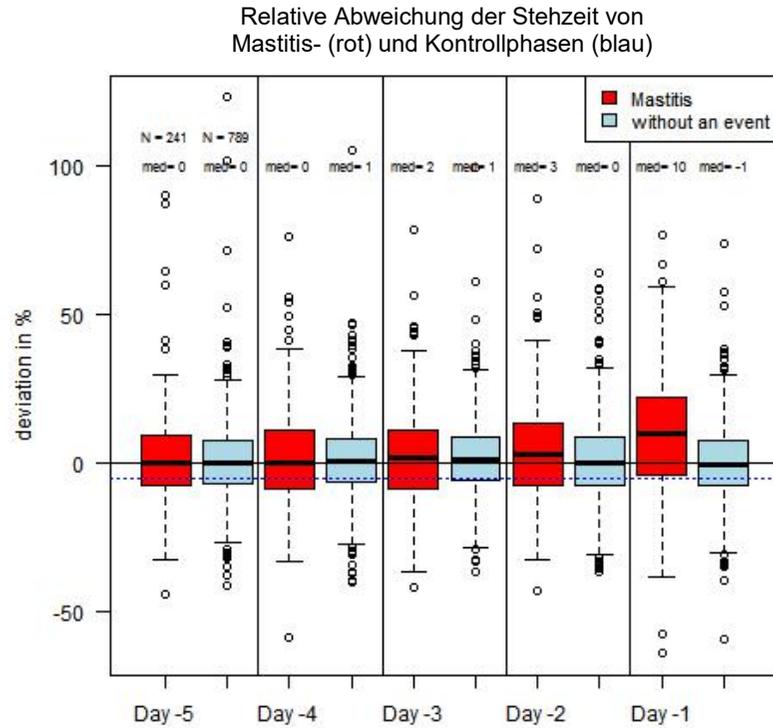
Mastitisphasen - Liegezeit in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	86.94	115.80	73.19	85.45	74.63
3rd Q	7.86	9.03	8.38	7.42	3.94
Mean	-0.08	-0.35	-0.35	-1.65	-7.21
Median	0.07	0.00	-1.84	-2.31	-9.12
1st Q	-8.66	-10.73	-11.63	-10.62	-21.87
Min	-50.69	-52.27	-44.82	-72.51	-60.19

Kontrollphasen - Liegezeit in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	62.66	80.03	73.83	79.42	80.14
3rd Q	6.82	6.48	6.27	7.36	7.38
Mean	0.13	-0.29	-0.27	0.33	1.29
Median	0.00	-0.59	-1.40	-0.28	0.50
1st Q	-7.63	-7.86	-8.05	-7.61	-7.28
Min	-88.79	-47.84	-73.87	-62.70	-48.43

Abbildung 62. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Liegezeit in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen der Liegezeit in Kontrollphasen (n=789 Tiere) im Betrieb 2



Mastitisphasen - Stehzeit in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	89.92	76.42	78.30	88.84	76.73
3rd Q	9.20	11.19	11.33	13.21	21.92
Mean	1.62	2.34	2.64	3.73	10.10
Median	-0.09	0.00	2.06	2.77	10.12
1st Q	-7.68	-8.80	-8.59	-7.29	-4.24
Min	-43.80	-58.33	-41.71	-43.05	-63.89

Kontrollphasen - Stehzeit in % Abweichung

	Tag_5	Tag_4	Tag_3	Tag_2	Tag_1
Max	122.93	105.22	99.22	63.73	73.63
3rd Q	7.46	8.16	9.03	8.69	7.75
Mean	0.86	1.22	1.69	0.99	0.27
Median	0.00	0.73	1.40	0.30	-0.57
1st Q	-6.69	-6.15	-5.97	-7.34	-7.57
Min	-41.22	-39.85	-36.30	-36.43	-59.02

Abbildung 63. Boxplots und statistische Kennzahlen der relativen Abweichung der Stehzeit in den 5 Tagen der Mastitisphasen (n=241 Tiere) und die relativen Abweichungen der Stehzeit in Kontrollphasen (n=789 Tiere) im Betrieb 2

13.3 Logistisches Regressionsmodell unter Berücksichtigung der Laktationsnummer

Mit den Daten aus beiden Betrieben wurde je ein logistisches Regressionsmodell für die Variablen „Milkdec“, „Mldec“ und „LyTdec“ sowie für die Laktationen 2 und 3 (LACT2, LACT3) mit der Laktation 1 verglichen.

13.3.1 Betrieb 1

Die Laktation 3 ist signifikant unterschiedlich zur Laktation 1 (p-Wert <0,0001) hinsichtlich der Entwicklung einer Mastitis. Laktation 2 hingegen ist nicht signifikant unterschiedlich zu Laktation 1 (p-Wert=0,1249). In Laktation 1 und 2 ist das OR, eine Mastitis zu entwickeln, ähnlich groß. In der Laktation 3 ist dagegen das OR, an einer Mastitis zu erkranken, erhöht.

Tabelle 27. Logistisches Regressionsmodell des Betriebs 1, bei dem die Laktationen 2 und 3 zur Laktation 1 verglichen wurden (n(Mastitis)=220; n(Vergleich)=1986; AIC=1357).

	Estimate	p-value	Odds Ratio	CI 2,5 %	CI 97,5 %
(Intercept)	-2,8970	<0,0001	0,0552	0,0390	0,0758
Milkdec	0,0356	<0,0001	1,0363	1,0249	1,0478
LyTdec	0,0152	0,0081	1,0153	1,0040	1,0269
Mldec	-0,0018	0,0276	0,9982	0,9960	0,9998
LACT2	0,3353	0,1249	1,3983	0,9142	2,1583
LACT3	0,9094	<0,0001	2,4829	1,7128	3,6723

13.3.2 Betrieb 2

In Betrieb 2 ist die Laktation 3 ebenfalls signifikant unterschiedlich zur Laktation 1 (p-Wert=0,0014). Laktation 2 ist, wie auch in Betrieb 1, nicht signifikant unterschiedlich zu Laktation 1 (p-Wert=0,639). In der Laktation 3 ist das OR, eine Mastitis zu entwickeln, erhöht.

Tabelle 28. Logistisches Regressionsmodell des Betriebs 2, bei dem die Laktationen 2 und 3 zur Laktation 1 verglichen wurden (n(Mastitisphasen)=157; n(Kontrollphasen)=659; AIC=756).

	Estimate	p-value	Odds Ratio	CI 2,5 %	CI 97,5 %
(Intercept)	-2,1403	<0,0001	0,1176	0,0754	0,1761
Milkdec	0,0429	<0,0001	1,0438	1,0267	1,0619
LyTdec	0,0173	0,0037	1,0175	1,0058	1,0296
Mldec	0,0127	0,0197	1,0128	1,0030	1,0243
LACT2	0,5067	0,0639	1,6598	0,9763	2,8623
LACT3	0,7831	0,0014	2,1882	1,3706	3,5881

13.4 Beispielberechnung des Grenzwertes der Variablen aus dem optimalen Punkt nach YOUDEN auf der ROC-Kurve

13.4.1 Betrieb 1

Tabelle 29. AUC der ROC-Kurve, Ir.eta, Sensitivität, Spezifität für den optimalen Grenzwert in der prozentualen Abweichung der Milchmenge, des Motion Index und der Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 1

	AUC in %	Ir.eta	Sensitivität	Spezifität	optimaler Grenzwert (YOUDEN)
Milchmenge	61,1 %	0,119	40,0 %	83,8 %	-9,1 %
Motion Index	55,0 %	0,102	36,8 %	79,0 %	-7,5 %
Liegezeit	57,0 %	0,113	31,4 %	83,3 %	-8,9 %
Milchmenge UND Motion Index	61,3 %	0,116	41,8 %	81,9 %	$Milk = \frac{-0,3471 - 0,001 MI}{0,040}$
					$MI = \frac{-0,3471 - 0,040 Milk}{0,001}$
Milchmenge UND Liegezeit	61,5 %	0,117	40,9 %	82,4 %	$Milk = \frac{-0,3458 - 0,013 LyT}{0,045}$
					$LyT = \frac{-0,3458 - 0,045 Milk}{0,013}$
Motion Index UND Liegezeit	56,4 %	0,113	32,7 %	80,9 %	$MI = \frac{-0,1695 - 0,020 LyT}{0,002}$
					$LyT = \frac{-0,1695 - 0,002 MI}{0,020}$
Milchmenge UND Motion Index UND Liegezeit	62,2 %	0,110	47,3 %	77,5 %	$Milk = \frac{-0,2943 - 0,002 MI - 0,016 LyT}{0,038}$
					$MI = \frac{-0,2943 - 0,038 Milk - 0,016 LyT}{0,002}$
					$LyT = \frac{-0,2943 - 0,002 MI - 0,038 Milk}{0,016}$

13.4.2 Betrieb 2

Tabelle 30. AUC der ROC-Kurve, Ir.eta, Sensitivität, Spezifität für den optimalen Grenzwert in der prozentualen Abweichung der Milchmenge, des Motion Index und der Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 2

	AUC	Ir.eta	Sensitivität	Spezifität	optimaler Grenzwert (YOUDEN)
Milchmenge	63,6 %	0,243	33,8 %	88,8 %	-11,13 %
Motion Index	61,4 %	0,207	47,1 %	73,9 %	-5,20 %
Liegezeit	55,7 %	0,194	58,1 %	54,8 %	-2,10 %
Milchmenge UND Motion Index	66,0 %	0,193	61,8 %	65,3 %	$Milk = \frac{-0,1694 - 0,011 MI}{0,043}$
					$MI = \frac{-0,1694 - 0,043 Milk}{0,011}$
Milchmenge UND Liegezeit	65,0 %	0,178	67,5 %	57,4 %	$Milk = \frac{-0,1161 - 0,014 LyT}{0,045}$
					$LyT = \frac{-0,1161 - 0,045 Milk}{0,014}$
Motion Index UND Liegezeit	62,2 %	0,218	43,3 %	78,3 %	$MI = \frac{-0,1536 - 0,019 LyT}{0,016}$
					$LyT = \frac{-0,1536 - 0,016 MI}{0,019}$
Milchmenge UND Motion Index UND Liegezeit	66,9 %	0,218	51,0 %	78,5 %	$Milk = \frac{-0,339 - 0,013 MI - 0,018 LyT}{0,043}$
					$LyT = \frac{-0,339 - 0,013 MI - 0,043 Milk}{0,018}$
					$MI = \frac{-0,339 - 0,043 Milk - 0,018 LyT}{0,013}$

13.5 Beispielberechnung des Grenzwertes der Variablen aus dem optimalen Punkt nach YOUDEN auf der ROC-Kurve (adjustierte Werte)

13.5.1 Prozentualer Milchmengenabfall am Tag -2 im Betrieb 2

Tabelle 31. AUC der ROC-Kurve, Ir.eta, Sensitivität, Spezifität für den optimalen Grenzwert in der adjustierten prozentualen Abweichung der Milchmenge, des Motion Index und der Liegezeit sowie deren Kombinationen im Betrieb 2

	AUC	Ir.eta	Sensitivität	Spezifität	optimaler Grenzwert (YOUDEN)
Milchmenge	61,0 %	0,175	36,1 %	83,7 %	-6,6 %
Motion Index	57,1 %	0,170	50,4 %	64,2 %	-3,49 %
Liegezeit	57,4 %	0,181	39,7 %	75,1 %	-6,6 %
Milchmenge UND Motion Index	62,2 %	0,171	52,4 %	73,5 %	$Milk = \frac{-0,06 - 0,006 MI}{0,016}$
					$MI = \frac{-0,06 - 0,016 Milk}{0,006}$
Milchmenge UND Liegezeit	62,6 %	0,166	58,3 %	62,5 %	$Milk = \frac{-0,521 - 0,020 LyT}{0,016}$
					$LyT = \frac{-0,521 - 0,016 Milk}{0,020}$
Motion Index UND Liegezeit	59,8 %	0,181	45,6 %	74,7 %	$MI = \frac{-0,133 - 0,023 LyT}{0,009}$
					$LyT = \frac{-0,133 - 0,009 MI}{0,023}$
Milchmenge UND Motion Index UND Liegezeit	62,6 %	0,181	48,4 %	75,9 %	$Milk = \frac{-0,168 - 0,008 MI - 0,022 LyT}{0,015}$
					$MI = \frac{-0,168 - 0,015 Milk - 0,022 LyT}{0,008}$
					$LyT = \frac{-0,168 - 0,008 MI - 0,015 Milk}{0,022}$

14. Publikationsverzeichnis

Vorträge

Tägliche Aktivitäts- und Milchmengenmessung zur Mastitisvorhersage bei Milchkühen

Susann Weise, Timo Homeier-Bachmann, Franz Josef Conraths;

12. Berlin-Brandenburgischer Rindertag, Oktober 2018, Berlin

Poster

A syndromic surveillance tool for the prediction of mastitis in dairy cows based on activity and daily milk yield data

Susann Weise, Timo Homeier-Bachmann, Franz Josef Conraths;

COMPARE General Meeting, März 2018, Kopenhagen

Syndromic surveillance of dairy cows using daily activity and milk yield data

Susann Weise, Timo Homeier-Bachmann, Franz Josef Conraths;

COMPARE General Meeting, März 2017, Rotterdam

Syndromic surveillance of dairy cows using daily activity and milk yield data

Susann Weise, Timo Homeier-Bachmann, Franz Josef Conraths;

Junior Scientist Symposium FLI, September 2016, Jena

15. Danksagung

Vielen Dank an Prof. Dr. Franz J. Conraths für die Überlassung des spannenden Forschungsthemas, seine freundliche Begleitung und Unterstützung während meiner Promotionszeit.

Dr. Timo Homeier-Bachmann danke ich für seine grenzenlose Geduld.

Dr. Carola Sauter-Louis danke ich für die fachliche Begleitung, die aufmunternden Worte und für die Schokolade.

COMPARE danke ich für die Finanzierung meines Promotionsprojektes.

Icerobotics und Alta Genetics danke ich für die technische Unterstützung und die Kooperation.

Ich danke den Milchviehbetrieben für die Bereitstellung ihrer Daten. Jan Kunkel und Arnold Derks danke ich namentlich für ihr Interesse und ihre Unterstützung.

Dr. Susanne Fischer alias „große Schwester im Geiste“ danke ich für ihre Bereitschaft jederzeit gute Tipps zu geben.

Elisa Kasbohm danke ich für Ihre Herzlichkeit während der zwei Jahre, in denen wir uns ein Büro teilten und sie mir eine große Hilfe beim Programmieren mit R war.

Viola Damrau danke ich für ihre Unterstützung bei allen bibliothekarischen Fragen.

Den Kollegen des IfE danke ich für ihre Gemeinschaft, in die ich herzlich aufgenommen wurde. Ronald Schröder danke ich für die Unterstützung bei der Erstellung der Datenbank.

Der Doktorandengruppe des IfE danke ich für ihren Zusammenhalt und für die gemeinsamen Ausflüge außerhalb der Arbeitszeit.

Ich danke meiner Familie, meinen Freunden und Bekannten, die mir immer wieder und bis zum Schluss Mut machten.

Ich danke all jenen, die sich fragten: „Was soll nur aus ihr werden?“

16. Finanzierung

Die Arbeit wurde durch das EU-Forschungsprojekt COMPARE des europäischen Forschungs- und Innovationsprogramms *Horizon 2020* mit der Förderungsnummer 643476 finanziell unterstützt.

Es besteht kein Interessenskonflikt durch die hier angegebene finanzielle Unterstützung der Arbeit.

17. Selbständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 26.02.2021

Susann Weise



9 783967 291049

mbvberlin mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-104-9