

AUTOMATISCHE AKTIVITÄTSMESSUNG BEI MILCHKÜHEN ZUR FESTLEGUNG DES OPTIMALEN BESAMUNGSZEITRAUMS

IRIS SCHRÖTER



INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades eines Doctor agriculturae (Dr. agr.)
durch den Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und
Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei den Autoren dieses Werkes.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung der Autoren oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2016

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Authors or the Publisher.

1st Edition 2016

© 2016 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

**Aus dem Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
Professur für Tierhaltung und Haltungsbiologie
der Justus-Liebig-Universität Gießen**

AUTOMATISCHE AKTIVITÄTSMESSUNG BEI MILCHKÜHEN ZUR FESTLEGUNG DES OPTIMALEN BESAMUNGSZEITRAUMS

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)
im Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökötrophologie und
Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Iris Schröter

aus Chemnitz

Gießen, 2016

Mit Genehmigung des Fachbereichs Agrarwissenschaften,
Ökotrophologie und Umweltmanagement der
Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Klaus Eder

1. Gutachter: Prof. Dr. Steffen Hoy

2. Gutachter: Prof. Dr. Axel Wehrend

Datum der Disputation: 15.04.2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	XI
1. Einleitung	1
2. Literatur	3
2.1 Fruchtbarkeit beim Milchrind	3
2.1.1 Beurteilung der Herdenfruchtbarkeit	3
2.1.2 Züchterische Aspekte der Fruchtbarkeit	5
2.1.3 Umweltbedingte Aspekte der Fruchtbarkeit	6
2.2 Brunsterkennung beim Rind	7
2.2.1 Brunstzyklus	7
2.2.1.1 Zyklusphasen	7
2.2.1.2 Charakteristik der Phasen des äußeren Sexualzyklus	8
2.2.2 Einflüsse auf die Ausprägung der Brunstsymptome	12
2.2.3 Methoden der Brunsterkennung	13
2.2.3.1 Visuelle Brunstbeobachtung	14
2.2.3.2 Suchtiere	16
2.2.3.3 Nachweis des Duldungsreflexes	16
2.2.3.4 Pedometrie	18
2.2.3.5 Respaktortechnik	19
2.2.3.6 Weitere Ansätze	21
2.3 Besamungsmanagement	22
2.3.1 Festlegung des Besamungszeitpunktes nach der Geburt	23
2.3.2 Festlegung des Besamungszeitpunktes in der Brunst	25
2.3.2.1 Optimaler Besamungszeitpunkt bei visueller Brunstkontrolle	32
2.3.2.2 Optimaler Besamungszeitpunkt bei automatischer Brunsterkennung	36

2.3.2.3	Weitere Faktoren mit Einfluss auf den optimalen Besamungszeitpunkt	39
2.4	Besonderheiten automatischer Melksysteme unter Aspekten des Tierverhaltens und des Herdenmanagements	43
2.4.1	Aspekte des Tierverhaltens in automatischen Melksystemen	43
2.4.2	Aspekte des Managements in automatischen Melksystemen	47
3.	Material und Methoden	49
3.1	Datenerhebung	49
3.1.1	Betriebsdaten	49
3.1.2	Tierindividuelle Daten	52
3.2	Respektortechnik zur Erfassung der Bewegungsaktivität	54
3.2.1	DeLaval-Aktivitätsmesssystem	54
3.2.2	Aktivitätsmesssystem Qwes HR (Lely)	55
3.3	Statistische Auswertung	56
3.3.1	Vorgehen zur weiteren Datenanalyse innerhalb der DeLaval-Betriebe	58
3.3.2	Vorgehen zur weiteren Datenanalyse innerhalb der Lely-Betriebe	60
3.3.3	Betriebsspezifische Auswertung	68
3.3.4	Roboterbesuchsverhalten	69
4.	Ergebnisse	71
4.1	DeLaval-Betriebe	71
4.1.1	Aktivitätsverhalten im Diöstrus	71
4.1.2	Aktivitätsverhalten im brunstnahen Zeitraum	75
4.1.2.1	Charakterisierung des Aktivitätsverhaltens im zeitlichen Ablauf	75
4.1.2.2	Einflüsse auf die Höhe des Aktivitätspeaks	78
4.1.3	Beziehung zwischen Besamungserfolg und zeitlichem Abstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak	82
4.2	Lely-Betriebe	84
4.2.1	Aktivitätsverhalten im Diöstrus	84
4.2.2	Aktivitätsverhalten im brunstnahen Zeitraum	88

4.2.2.1	Charakterisierung des Aktivitätsverhaltens im zeitlichen Ablauf	88
4.2.2.2	Einflüsse auf die Höhe des Aktivitätspeaks	96
4.2.3	Beziehung zwischen Besamungserfolg und zeitlichem Abstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak	100
4.2.4	Beziehung zwischen Besamungserfolg und zeitlichem Abstand der künstlichen Besamung vom Brunstbeginn	103
4.2.5	Einfluss der Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak auf das optimale Zeitintervall zur Durchführung der künstlichen Besamung	105
4.3	Betriebsspezifische Auswertung	108
4.4	Roboterbesuchsverhalten	111
4.4.1	Besuchparameter im Zyklusverlauf	111
4.4.2	Besuchshäufigkeiten im engeren zeitlichen Bezug zur Brunst	112
5.	Diskussion	118
5.1	Datenerhebung und Datenaufbereitung	118
5.2	Aktivität im Diöstrus	119
5.3	Aktivität im brunstnahen Zeitraum	121
5.4	Einflüsse auf den Besamungserfolg	129
5.5	Betriebsspezifische Auswertung	135
5.6	Roboterbesuchsverhalten	137
6.	Schlussfolgerungen	141
7.	Zusammenfassung	143
8.	Summary	146
9.	Literaturverzeichnis	148

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Häufigkeitsverteilung des Beginns der lutealen Aktivität <i>post partum</i> anhand von 2.165 Laktationen (Darwash et al. 1997)	23
Abb. 2:	Schematische Darstellung der einzelnen Komponenten des DeLaval-Aktivitätsmesssystems nach DeLaval (2007)	54
Abb. 3:	Mit dem Aktivitätssensor Qwes HR (SCR) ausgestattete Kühe	55
Abb. 4:	Definition der Parameter Brunstbeginn, Brunstende, Aktivitätspeak und Periode erhöhter Aktivität	62
Abb. 5:	Veranschaulichung der Zeitklassenbildung in Relation zur Stunde der künstlichen Besamung (KB) zur Darstellung der Melkparameter	70
Abb. 6:	Tagesrhythmik der Aktivität (Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte) im Referenzzeitraum (Diöstrus) in Abhängigkeit vom Betrieb	71
Abb. 7:	Wurzeltransformierte Referenzaktivität in Abhängigkeit von der Tagesstunde	73
Abb. 8:	Gegenüberstellung der Tagesrhythmik der Referenzaktivität und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum	76
Abb. 9:	Gegenüberstellung der Referenzaktivität und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum im zeitlichen Bezug zum Besamungszeitpunkt (Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte)	77
Abb. 10:	Tag (in Bezug zur künstlichen Besamung) und Uhrzeit des Aktivitätspeaks	78
Abb. 11:	Abstand des Aktivitätspeaks in h in Relation zum Zeitpunkt der künstlichen Besamung	82
Abb. 12:	Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak	83
Abb. 13:	Tagesrhythmik der Aktivität (Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte) im Referenzzeitraum (Diöstrus) in Abhängigkeit vom Betrieb	84
Abb. 14:	Wurzeltransformierte Referenzaktivität in Abhängigkeit von der Tagesstunde	85

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 15:	Gegenüberstellung der Tagesrhythmik der Referenzaktivität und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum	89
Abb. 16:	Gegenüberstellung der Referenzaktivität und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum im zeitlichen Bezug zum Besamungszeitpunkt	90
Abb. 17:	Häufigkeitsverteilung der Brunstdauer innerhalb der Zyklen mit einer Periode erhöhter Aktivität	91
Abb. 18:	Häufigkeitsverteilung der Brunstdauer innerhalb der Zyklen mit mehr als einer Periode erhöhter Aktivität	92
Abb. 19:	Tag (in Bezug zur KB) und Uhrzeit des Brunstbeginns	93
Abb. 20:	Häufigkeitsverteilung des zeitlichen Abstandes zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak	94
Abb. 21:	Tag (in Bezug zur KB) und Uhrzeit des Aktivitätspeaks	95
Abb. 22:	Streudiagramm (klassiert) der Beziehung zwischen Brunstdauer in h (2h-Blöcke) und zeitlichem Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn in h (2h-Blöcke)	96
Abb. 23:	Abstand des Aktivitätspeaks (in 2h-Klassen) in Relation zum Zeitpunkt der künstlichen Besamung	100
Abb. 24:	Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak	102
Abb. 25:	Abstand des Brunstbeginns (in 2h-Klassen) in Relation zum Zeitpunkt der künstlichen Besamung	103
Abb. 26:	Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Brunstbeginn	105
Abb. 27:	Mittlere Konzeptionsrate in Prozent für das kategorisierte Merkmal Zeitabstand der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak in Abhängigkeit von der kategorisierten Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak	107
Abb. 28:	Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Brunstbeginn	109

Abb. 29:	Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom Tag (in Relation zur künstlichen Besamung) und der Tageszeit des Aktivitätspeaks	110
Abb. 30:	Mittlere Anzahl an Melkroboterbesuchen (Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte) für alle ausgewerteten Zyklen (n = 1.708)	111
Abb. 31:	Relative Häufigkeiten des klassierten Parameters Melkroboterbesuche gesamt pro Tier und Tag (als 24h-Zeitraum) für die Zeitspanne von 10 Tagen vor bis 4 Tage nach dem Tag der KB	114
Abb. 32:	Relative Häufigkeiten des klassierten Parameters Melkungen (ohne fehlgeschlagene Melkversuche) pro Tier und Tag (als 24h-Zeitraum) für die Zeitspanne von 10 Tagen vor bis 4 Tage nach dem Tag der KB	115
Abb. 33:	Relative Häufigkeiten des klassierten Parameters Verweigerungen pro Tier und Tag (als 24h-Zeitraum) für die Zeitspanne von 10 Tagen vor bis 4 Tage nach dem Tag der KB	117

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersicht über häufig verwendete Fruchtbarkeitskennzahlen modifiziert nach Hoedemaker et al. (2014)	4
Tab. 2:	Östrusdauer beim Rind in Stunden (h) nach verschiedenen Autoren	11
Tab. 3:	Scoringskala für das Brunstverhalten nach van Eerdenburg et al. (1996)	15
Tab. 4:	Eigenschaften auf Respektortechnik basierender Brunsterkennungssysteme modifiziert nach Stevenson (2013a)	20
Tab. 5:	Effekt der Rastzeit auf die Konzeptionsrate nach Reimers et al. (1985)	24
Tab. 6:	Literaturangaben zu dem zeitlichen Verhältnis zwischen kennzeichnenden Zeitabschnitten der Brunst und der Ovulation	28
Tab. 7:	Literaturangaben zum Besamungserfolg in Abhängigkeit vom Zeitabstand zwischen Brunstfeststellung und Besamung bei visueller Brunsterkennung	35
Tab. 8:	Literaturangaben zum optimalen Besamungszeitraum bei maschineller Brunstüberwachung	39
Tab. 9:	Eckdaten der untersuchten Betriebe (BLS = Boxenlaufstall; LK = Landkreis)	50
Tab. 10:	Eckdaten zum Reproduktionsmanagement der untersuchten Betriebe (k.A. = keine Angaben, p.i. = <i>post insemination</i> , ZKZ = Zwischenkalbezeit)	51
Tab. 11:	Übersicht über die registrierten Besamungen im Untersuchungszeitraum	53
Tab. 12:	melksystemunabhängige Klasseneinteilung der Merkmale	57
Tab. 13:	Anzahl der berücksichtigten Brunstzyklen in den einzelnen Subzellen der Rasterkombination aus Abstand der KB (künstliche Besamung) vom Aktivitätspeak (AP) und Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn	67
Tab. 14:	Anzahl der berücksichtigten Brunstzyklen in den einzelnen Subzellen der Rasterkombination aus Abstand der KB (künstliche Besamung) vom Brunstbeginn und Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn	67
Tab. 15:	Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Referenzaktivität (wurzeltransformiert)	72

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 16:	Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit vom Betrieb	74
Tab. 17:	Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit von der Parität	74
Tab. 18:	Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit von der Jahreszeit	75
Tab. 19:	Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Aktivitätspeak als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität (wurzeltransformiert)	79
Tab. 20:	Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit vom Betrieb	79
Tab. 21:	Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit von der Parität	80
Tab. 22:	Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit von der mittleren Tagesmilchmenge der Tage neun bis fünf vor der künstlichen Besamung in kg/d	81
Tab. 23:	Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Bezug zum Ergebnis der künstlichen Besamung (KB)	81
Tab. 24:	Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung des zeitlichen Abstandes der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak	83
Tab. 25:	Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Referenzaktivität (wurzeltransformiert)	85
Tab. 26:	Mittleres Aktivitätsniveau in Einheiten/2h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit vom Betrieb	86

Tab. 27:	Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/2h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit von der Parität	87
Tab. 28:	Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/2h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit von der Jahreszeit	87
Tab. 29:	Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Aktivitätspeak (wurzeltransformiert)	97
Tab. 30:	Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/2h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit vom Betrieb	97
Tab. 31:	Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/2h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit von der Jahreszeit	98
Tab. 32:	Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/2h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit von der mittleren Milchmenge der Tage neun bis fünf vor der künstlichen Besamung in kg/Tag	99
Tab. 33:	Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/2h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Bezug zum Ergebnis der künstlichen Besamung (KB)	99
Tab. 34:	Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung des zeitlichen Abstandes der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak	101
Tab. 35:	Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit von der Parität	101
Tab. 36:	Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung des zeitlichen Abstandes der künstlichen Besamung (KB) vom Brunstbeginn	104
Tab. 37:	Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen dem zeitlichen Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn und dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak	106

Tab. 38:	Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen dem zeitlichen Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn und dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Brunstbeginn	108
----------	---	-----

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AMS	Automatisches Melksystem
AN	Aktivitätsniveau
AP	Aktivitätspeak
BLS	Boxenlaufstall
bzw.	beziehungsweise
d	Tag
d.h.	das heißt
et al.	et alii
FSH	follikelstimulierendes Hormon
GnRH	Gonadotropin-Releasing-Hormon
h	Stunde
k.A.	keine Angabe
KB	künstliche Besamung
kg	Kilogramm
LH	luteinisierendes Hormon
LK	Landkreis
μ	Mittelwert
min	Minuten
Mrd.	Milliarden
n.s.	nicht signifikant
PAG	pregnancy-associated glycoprotein
PGF _{2α}	Prostaglandin F _{2α}
p.i.	<i>post insemination</i>
SE	Standardfehler des Mittelwertes
Tab.	Tabelle
TH	Tageshälfte
vs.	versus

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ZGD3	zentrierter gleitender Mittelwert (über drei Werte)
ZGD5	zentrierter gleitender Mittelwert (über fünf Werte)
ZKZ	Zwischenkalbezeit

1. Einleitung

Im Jahr 2014 leistete die Milchproduktion einen Beitrag von rund 11,9 Mrd. Euro zum insgesamt 54,5 Mrd. Euro umfassenden Produktionswert des gesamten landwirtschaftlichen Wirtschaftsbereiches (Hemmerling et al. 2014). Der damit bedeutendste Sektor der tierischen Produktion unterliegt seit geraumer Zeit einem fortschreitenden Prozess der Intensivierung. Steigende Milchleistungen und zunehmende Betriebsgrößen, verbunden mit einer wachsenden Arbeitsbelastung der Herdenmanager, haben im Verlauf dieser Entwicklung zu einem stetigen Rückgang der Reproduktionsleistungen geführt (Lucy 2001). Precision Dairy Farming, der Elektronikeinsatz in der Milchviehhaltung, trägt den veränderten Bedingungen Rechnung. Die Technologien zur Erfassung tierindividueller Parameter sollen Managemententscheidungen unterstützen und so die wirtschaftliche, die soziale und die umweltbezogene Gesamtleistung eines Betriebes verbessern. Zu den in der landwirtschaftlichen Praxis besonders häufig eingesetzten Technologien des Precision Dairy Farming gehören die automatische Erfassung der verschiedenen Milchleistungsparameter sowie die automatische Brunsterkennung (Bewley 2010). Die in Deutschland verbreiteten elektronischen Systeme zur Brunsterkennung basieren in der Regel auf der Erfassung der Bewegungsaktivität. Die Sensoren zur Erfassung der Aktivität werden entweder als Pedometer zur Anbringung am Fuß oder als Respaktor zur Anbringung am Halsband der Tiere angeboten. In beiden Formen eignen sie sich gleichermaßen (Wangler et al. 2005; Stevenson 2013a) und erhöhen die Effizienz der Brunsterkennung (Rorie et al. 2002). Neben einer effizienten Brunsterkennung ist die Wahl des Besamungszeitpunktes für den Erfolg einer künstlichen Besamung von entscheidender Bedeutung. In der Literatur sind dazu zahlreiche Empfehlungen zu finden, die in Abhängigkeit von den zur Bestimmung herangezogenen Brunstsymptomen und der Methode der Brunstüberwachung variieren. Trotz dieser Vielzahl an Studien, die zur Terminierung der Besamung in der Vergangenheit durchgeführt wurden, haben sich bisher nur wenige Autoren diesbezüglich mit der Respaktortechnik beschäftigt. Ziel dieser Untersuchung war es daher, das mittels Respaktoren erfasste Aktivitätsverhalten östrischer Kühe näher zu beschreiben und in Abhängigkeit von charakteristischen Zeitpunkten einer mit Hilfe von Respaktortechnik definierten Brunst (Respaktorbrunst) das optimale Zeitintervall für die künstliche Besamung zu bestimmen. Um dabei den Einfluss der Betriebsroutine auf das Aktivitätsverhalten der Kühe zu minimieren, wurden die

Untersuchungen ausschließlich auf Melkroboterbetrieben durchgeführt. Diese Besonderheit führte zu einer weiteren Fragestellung. Da das Aufsuchen des Melkroboters in der Regel freiwillig erfolgt, wurde vermutet, dass es auch in diesem Bereich zu brunstbedingten Veränderungen kommt. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde das Besuchsverhalten, gekennzeichnet durch Melkungen und Verweigerungen, im zeitlichen Bezug zur Brunst näher analysiert.

2. Literatur

2.1 Fruchtbarkeit beim Milchrind

Unter Fruchtbarkeit wird die Fähigkeit verstanden, Nachkommen zu erzeugen und zur Erhaltung der Art beizutragen. In der Rinderzucht bedeutet das auf männlicher Seite eine ausreichende Produktion lebender Spermien und die Fähigkeit zur Bedeckung. Im Zeitalter der künstlichen Besamung spielt zusätzlich die Akzeptanz der Form der Ejakulatgewinnung auf Besamungsstationen eine wichtige Rolle (Fürst und Gredler 2006). Auf weiblicher Seite kann auf Ebene des einzelnen Tieres eine gute Fruchtbarkeit dann unterstellt werden, wenn eine laktierende Kuh regelmäßig eine deutliche Brunst ausbildet und nach der ersten Besamung trächtig wird (de Jong 1998).

2.1.1 Beurteilung der Herdenfruchtbarkeit

Zur Beurteilung der Fruchtbarkeit auf Herdenebene können verschiedene Kennzahlen herangezogen werden. Die Ermittlung dieser Kennzahlen basiert auf zwei Arten von Fruchtbarkeitsmerkmalen: Merkmale, die auf Zeitintervallen beruhen und erfolgsabhängige Merkmale. Intervallmerkmale haben dabei den Vorzug, dass sie in einem direkten Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit in der Rinderzucht stehen und eine kontinuierliche Verteilung aufweisen. Als nachteilig ist der hohe Einfluss an Managemententscheidungen auf diese Merkmale zu bewerten. Der Vorteil bei Erfolgsmerkmalen liegt in der relativ schnellen Verfügbarkeit der Daten. Allerdings erfordert die diskontinuierliche Verteilung der Werte erweiterte Analysemethoden. Probleme bei der Interpretation der Daten ergeben sich auch durch den Einsatz von Natursprungtieren und durch vorzeitige Abgänge (Fürst und Gredler 2006). Einen Überblick über häufig verwendete intervall- und erfolgsbezogene Fruchtbarkeitskennzahlen und die dabei angestrebten Zielgrößen gibt Tab. 1.

Wird die in einer Herde zu erwartende Fruchtbarkeitsleistung nicht erreicht, kann von Fruchtbarkeitsproblemen ausgegangen werden. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die zu erwartende Herdenfruchtbarkeit nicht der maximal für Kühe erreichbaren Reproduktionsleistung entsprechen muss, sondern immer vor dem Hintergrund des Haltungssystems, der Futtergrundlage, der Genetik sowie der fachlichen und charakterlichen Eigenart des Herdenmanagers gesehen werden muss (Wehrend 2014).

Tab. 1: Übersicht über häufig verwendete Fruchtbarkeitskennzahlen modifiziert nach Hoedemaker et al. (2014)

Kennzahl		Definition	Zielgröße
Intervallmerkmal	Rastzeit	Intervall Kalbung bis zur ersten Belegung	$\leq 85 - 90$ Tage
	Güstzeit	Intervall Kalbung bis zum ersten Trächtigkeitstag	≤ 115 Tage
	Zwischenkalbezeit	Intervall zwischen zwei aufeinander folgenden Abkalbungen	≤ 400 Tage
Erfolgsmerkmal	Besamungsindex	Anzahl aller Besamungen / Anzahl tragender Kühe	$\leq 2,2$
	Non-Return-Rate	Anteil der Kühe, für die innerhalb einer bestimmten Zeit (meist 56 bzw. 90 Tage) nach der Erstbesamung keine weitere Belegung gemeldet wird	$> 65 \%$
	Konzeptionsrate	Anzahl tragender Kühe / Anzahl aller Besamungen in einem bestimmten Zeitintervall	$\geq 45 - 50 \%$

Die Bewertung der ökonomischen Verluste aufgrund einer suboptimalen Fertilität erfolgt häufig anhand der Zwischenkalbezeit. Um die Auswirkungen einer verlängerten Zwischenkalbezeit zu beziffern, müssen als Faktoren die geringere Milchproduktion, die reduzierte Zahl an Abkalbungen, aber auch der geringere Aufwand für das Abkalbemanagement berücksichtigt werden. Die Kosten werden je nach Studiendesign und kalkulierten Marktbedingungen mit 0,06 € bis 2,95 € pro Tier und Tag angegeben (Inchaisri et al. 2010). Dabei ist jedoch zu bedenken, dass eine Verlängerung der Zwischenkalbezeit nicht zwangsläufig mit einer geringen Wirtschaftlichkeit einhergeht. Eine längere Zwischenkalbezeit führt zu einer verlängerten Nutzungsdauer der Tiere und damit zu einer höheren Lebensstagsleistung. Um die Wirtschaftlichkeit der Milchviehhaltung zu optimieren, sollten daher leistungsangepasste Zwischenkalbezeiten berücksichtigt werden. Zu frühe Belegungen (ZKZ < 340 Tage) sowie die zu späte Konzeptionen (ZKZ > 460 Tage) sind jedoch unabhängig von der Leistungsfähigkeit eines Bestandes mit finanziellen Einbußen verbunden (Römer 2013).

2.1.2 Züchterische Aspekte der Fruchtbarkeit

Fruchtbarkeit ist ein komplexes Merkmal, welches sowohl genetischen als auch umweltbedingten Einflüssen unterliegt (Jamrozik et al. 2005). Die Heritabilitäten für Fruchtbarkeitsmerkmale liegen im Allgemeinen in einem niedrigen Bereich, wobei Intervallmerkmale etwas stärker als Erfolgsmerkmale heritabel sind (Thaller 1998). Nach Literaturrecherchen von Berry et al. (2014) beträgt für Kühe der Rasse Holstein-Frisian die Heritabilität für die Rastzeit im Mittel 0,052 und für die Zwischenkalbezeit 0,034. Für die Non-Return-Rate 56 wird eine durchschnittliche Erblichkeit von 0,027 und für die Anzahl der Besamungen pro Trächtigkeit von 0,021 aufgeführt. Die Heritabilität für die Konzeptionsrate bezogen auf die Erstbesamung geben die Autoren mit durchschnittlich 0,023 an.

Neben der geringen Erblichkeit stellt nach Seeland und Henze (2003) der Antagonismus zwischen den Merkmalen der Fruchtbarkeit und den Produktionsmerkmalen Milchmenge, Milchfettmenge und Eiweißmenge eine zusätzliche Herausforderung für die züchterische Bearbeitung dar. Die Autoren geben für die genetische Beziehung der Milchmenge zur Zwischenkalbezeit eine hohe positive, und damit züchterisch nachteilige Korrelation von 0,635 an. Mit einem Korrelationskoeffizient von 0,25 ist die Milchmenge ebenfalls positiv mit der Anzahl an Besamungen bis zur Konzeption korreliert (Kadarmideen et al. 2003). Eine züchterische Verbesserung der Reproduktionsleistung ist trotz niedriger Heritabilitäten der meisten Fruchtbarkeitsmerkmale und der Konkurrenzsituation zwischen Fruchtbarkeits- und Milchleistungsparametern möglich. Insbesondere die genomische Selektion kann hierzu einen entscheidenden Beitrag leisten (Berry et al. 2014).

Neben der weiblichen Seite ist auch die Fruchtbarkeit der Bullen von Bedeutung. Im Rahmen der Zuchtwertschätzung wird zur Darstellung der paternalen Fruchtbarkeit die Non-Return-Rate am 56. Tag nach der Besamung herangezogen. Sie wird auf genetische und nicht genetische Effekte korrigiert und als Befruchtungsvermögen für jeden Bullen veröffentlicht (Pausch et al. 2013). In der jüngeren Vergangenheit wurde bekannt, dass vereinzelt Besamungsbullen auftreten, deren eingeschränkte Fruchtbarkeitsleistung auf monogene, durch einzelne Mutationen verursachte, genetische Defekte zurückzuführen ist. So verursacht beispielsweise beim Fleckvieh eine Mutation auf Chromosom 19 in homozygoter Form eine idiopathische Subfertilität der betroffenen Bullen (Pausch et al. 2014). Bei der gleichen Rinderrasse steht eine Mutation auf Chromosom 12 bei Homozygotie mit dem

embryonalen Frühtod im Zusammenhang (Pausch et al. 2015). In der Holstein-Population wurden ähnliche genetische Defekte identifiziert. Die reinerbig fehlenden Haplotypen HH1 bis HH5 führen bei der Anpaarung von heterozygoten Trägartieren zu unspezifisch reduzierter Fruchtbarkeit (Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. 2015).

2.1.3 Umweltbedingte Aspekte der Fruchtbarkeit

Die Analyse von Milchproduktionsbetrieben zeigt immer wieder, dass in gut betreuten Herden neben einer hohen Milchleistung auch eine gute Fruchtbarkeit erlangt werden kann (Seeland und Henze 2003). Das weist darauf hin, dass das Erscheinungsbild der Fertilität zu einem großen Anteil von Umweltfaktoren beeinflusst wird. Da sich diese Faktoren in der Regel auf die gesamte Herde auswirken, sind sie die hauptsächlichen Ursachen für bestandsweise auftretende Fortpflanzungsstörungen (Lotthammer 1999).

Nur in begrenztem Umfang beeinflussbar sind Umweltbedingungen, die mit klimatischen und saisonalen Gegebenheiten im Zusammenhang stehen. Untersuchungen von Miah et al. (2004) in Bangladesch zeigen einen signifikanten Einfluss der Saison. Die Autoren schreiben diesen Effekt verschiedenen, saisonal variierenden Parametern zu, wie Futterbeschaffenheit, Tageslänge und Temperatur. De Rensis und Scaramuzzi (2003) beschreiben für hohe Temperaturen in Verbindung mit hoher Luftfeuchtigkeit eine herabgesetzte Fruchtbarkeit. Collier et al. (2006) empfehlen bei Weidegang an heißen, sonnigen Tagen die Verfügbarkeit von schattigen Plätzen zur Minimierung von Fruchtbarkeitsproblemen. In Offenställen können eine gute Lüftung und Kühlsysteme, wie z.B. Sprinkleranlagen, zur Reduktion von Hitzestress beitragen. Unabhängig von klimatischen Bedingungen beeinflusst die geographische Lage die Fruchtbarkeit, was auf Faktoren wie Bodenbeschaffenheit, Landschaftsbild und Höhenlage zurückzuführen ist (Windig et al. 2005). Auch für die Tageslichtlänge sind Auswirkungen auf die Fertilität belegt (Mercier und Salisbury 1947; Collier et al. 2006).

Von entscheidender Bedeutung für die Fruchtbarkeitsleistung einer Herde sind Umweltfaktoren, die durch das Management bestimmt werden (Lotthammer 1999). Dabei hat eine steigende Intensität der Produktion teilweise gegenläufige Auswirkungen auf Kennzahlen der Fruchtbarkeit. Kenngrößen mit Bezug zum Besamungserfolg stellen sich in Betrieben mit niedriger Produktionsintensität besser dar, während Betriebe mit hoher Produktionsintensität bessere Werte bei Intervallmerkmalen, wie Rastzeit und

Zwischenkalbezeit, aufweisen (Windig et al. 2005). Leblanc (2010) vermutet, dass inadäquates Management einer Hochleistungsherde einen größeren Effekt auf die Fertilität ausübt als eine hohe Milchleistung. Als Managementfaktoren spielen neben einer leistungsangepassten Fütterung (Roche 2006; Boldt 2013; Carvalho et al. 2014) und einem guten Gesundheitsstatus (Wehrend und Gröger 2008) eine sichere Brunsterkennung und eine zeitgerechte Besamung mit qualitativ hochwertigem Sperma die Hauptrolle (Walsh et al. 2011).

2.2 Brunsterkennung beim Rind

2.2.1 Brunstzyklus

Domestizierte Rinder europäischer Nutztierassen sind ganzjährig polyöstrische Tiere. Dabei zeigen geschlechtsreife, nicht tragende Rinder mit weitgehend konstanter Periodizität das ganze Jahr über einen Wechsel zwischen Paarungsbereitschaft und Ablehnung des Sexualpartners. Diese mit überwiegend übereinstimmender Symptomatik ablaufenden Sexualperioden werden als Sexual- oder Brunstzyklen bezeichnet (Grunert 1999b), wobei die mittlere Zykluslänge mit 21 Tagen angegeben wird (Sartori et al. 2004). Neuere Studien zeigen allerdings für hochleistende Kühe eine Verlängerung des Sexualzyklus auf durchschnittlich 23 Tage (Sartori et al. 2004; Groeger 2008).

Die Steuerung des zyklischen Geschehens erfolgt im Wesentlichen über das Nervensystem und das endokrine System. Dabei fungiert der Hypothalamus als zentrale Schaltstelle, wo nervale Reize in hormonelle Signale umgesetzt werden (Busch und Waberski 2007). Neben dem Hypothalamus sind an der hormonellen Regulation des Sexualzyklus die Hypophyse und Strukturen des Genitaltraktes beteiligt (Busch et al. 1991).

2.2.1.1 Zyklusphasen

Der ovarielle Zyklus ist gekennzeichnet durch hormonell bedingte zyklische Veränderungen in Morphologie und Funktion der Ovarien. Es kann eine Unterscheidung zwischen Lutealphase und Follikelphase getroffen werden. Die Lutealphase umfasst den Zeitraum der Entwicklung und Erhaltung des *Corpus luteum*, die Follikelphase beginnt mit der Luteolyse und endet mit der Ovulation des dominanten Follikels (Rathbone et al. 2001).

Der äußere Sexualzyklus wird anhand der sichtbaren Veränderungen am Tier in die vier aufeinander folgenden Phasen Diöstrus (Phase der sexuellen Ruhe), Proöstrus (Vorbrunst), Östrus (Hauptbrunst) und Metöstrus (Nachbrunst) untergliedert (Rathbone et al. 2001). Die Übergänge zwischen den Zyklusphasen sind dabei fließend, nur der Östrus ist durch die bestehende Paarungsbereitschaft streng abgrenzbar (Grunert 1999b).

2.2.1.2 Charakteristik der Phasen des äußeren Sexualzyklus

Diöstrus

Die Zeitspanne der sexuellen Ruhe zwischen Metöstrus und Proöstrus ist mit etwa 16 Tagen die längste Phase im Brunstzyklus. Symptome, die als Annäherungsbereitschaft an den Sexualpartner gedeutet werden können, fehlen in der Regel. Dabei entspricht der Diöstrus weitgehend der Lutealphase des ovariellen Zyklus und endet mit der Luteolyse, die durch vom Uterus gebildetes Prostaglandin $F_{2\alpha}$ eingeleitet wird (Grunert 1999b). Während eines Zyklus kommt es zu zwei bis drei Follikelwellen (Savio et al. 1988; Ahmad et al. 1997), wobei diese Wellen stets in Folge einer erhöhten FSH-Konzentration auftreten (Adams et al. 2008). Im Diöstrus sind dabei neben einem Gelbkörper auch dominante Tertiärfollikel palpierbar (Grunert 1999b), die jedoch aufgrund des vom *Corpus luteum* sezernierten Progesterons nicht ovulieren (Ireland et al. 2000). Die Folge der Entwicklung dominanter Tertiärfollikel ist eine vermehrte Östrogenbildung. Diese kann in Einzelfällen zu brunstähnlichen Symptomen auch in der Zeit des Diöstrus führen (Grunert 1999d).

Proöstrus

Der Proöstrus umfasst den Zeitraum ab der Luteolyse bis zum Beginn der Hauptbrunst und dauert beim Rind etwa drei bis vier Tage (Binelli et al. 2014). In dieser Zeit wird vom Hypothalamus verstärkt GnRH produziert, wodurch im Hypophysenvorderlappen die Sekretion von FSH und LH stimuliert wird. Die Progesteronkonzentration sinkt in Folge des fehlenden Gelbkörpers auf ein Basalniveau ab (Grunert 1999b). Die vermehrte Östrogenproduktion des präovulatorischen Follikels führt im Proöstrus zu beginnenden Brunstanzeichen (Busch und Waberski 2007).

Östrus

Der Tag des Östrus wird als Zyklusbeginn, das heißt als Tag 0, gewertet. An diesem Tag duldet das weibliche Tier die Kopulation. Der Östrus ist eng an die Menge des im Blut zirkulierenden

Östradiols gebunden. Erreicht diese einen Schwellenwert, so setzt ein positives Feedback auf bestimmte Gehirnbereiche zwei eng miteinander verbundene Vorgänge in Gang. Einerseits erfolgt eine verstärkte Ausschüttung der Gonadotropine FSH und LH. Zum anderen wird das typische Brunstverhalten ausgelöst (Roelofs et al. 2010). Lyimo et al. (2000) ermittelten dabei eine hohe Korrelation von 0,7 zwischen dem mittels Scoring-System nach van Eerdenburg et al. (1996) bewerteten Brunstverhalten und der Konzentration von 17 β -Östradiol im Blut. Lopez et al. (2002) stellten die höchsten Östradiolwerte im Blutplasma im Mittel $1,6 \pm 4,2$ Stunden nach dem Beginn der Duldung fest, nach Mondal et al. (2006b) wird die maximale Östradiolkonzentration bereits $3,9 \pm 2,27$ Stunden vor Brunstbeginn erreicht. Die Freisetzung der präovulatorischen LH-Welle erfolgt im Zusammenhang mit dem beginnenden Abfall der Östradiolwerte (Grunert 1999b) und steht ebenfalls in enger zeitlicher Verbindung mit dem Duldungsbeginn (Walton et al. 1987). Der LH-Peak wird etwa drei Stunden nach dem Start der LH-Welle erreicht (Walton et al. 1987). Die Ovulation erfolgt im Mittel etwa 30 Stunden nach der maximalen LH-Freisetzung (Bergfelt et al. 1997) und fällt bereits in den Zeitraum des Metöstrus (Grunert 1999b).

Die in der Brunst erhöhte Östrogenkonzentration löst neben dem typischen Verhalten die charakteristischen Veränderungen an den Genitalorganen aus (Beach 1976). Bei den lokalen Veränderungen fällt zuerst die Schwellung der Vulva auf. Mit zunehmender Ausprägung der Brunst wird auch die Schleimhaut des inneren Genitals stärker durchblutet. Sie ist in der Hochbrunst rosarot, glänzend und ödematös. Die Zervix ist gleichmäßig rosettenartig und der äußere Muttermund ist geöffnet (Busch und Waberski 2007). Bei rektaler Untersuchung kann die hohe Kontraktionsbereitschaft des Uterus überprüft werden. Auf dem Ovar ist ein deutlich abgesetzter, fluktuierender Follikel fühlbar (Busch et al. 1991). Die Beschaffenheit des Vaginalschleims ist ein weiteres, deutliches Brunsterkennungsmerkmal. Der Brunstschleim fließt auf Grund seiner hohen Viskosität zusammenhängend aus der Scheide ab. Er ist glasklar und fadenziehend (Busch und Waberski 2007).

Die brunstbedingten Verhaltensänderungen sind vielfältig. Sie lassen sich in Imponiergehabe, das bereits in der Vorbrunst beginnt, und Aufsprungverhalten als Endhandlung des Brunstablaufes unterteilen (Busch und Waberski 2007). Die Duldung gilt dabei als sicherstes Kennzeichen für eine bestehende Brunst (van Eerdenburg et al. 1996; Roelofs et al. 2005b). Esslemont et al. (1980) beschreiben 11 Merkmale, die in der präovulatorischen „Periode intensivierte Verhaltens“ verstärkt auftreten:

- Aufsprung mit Duldung
- Aufsprung ohne Duldung
- Aufstellen hinter einem anderen Tier zum Aufreiten, ohne dieses Vorhaben auszuführen
- Aufsprung von vorn oder von der Seite
- Kinnauflegen
- Beriechen der Anogenitalregion von Herdengenossen
- Belecken anderer Tiere
- Reiben des Kopfes an anderen Tieren
- Anstoßen von Herdengenossen mit dem Kopf
- Flehmen
- Gegenseitiges Umkreisen zweier Tiere mit gesenktem Kopf.

Nach Beobachtungen von Hurnik et al. (1975) kommt es während der Brunst annähernd zu einer Verdoppelung der Anzahl der agonistischen Interaktionen. Die Kühe reduzieren die Menge des aufgenommenen Futters (Hurnik et al. 1975; Maltz et al. 1997; Reith et al. 2014b; Halli et al. 2015) und Wassers (Reith et al. 2014b) sowie die Dauer der Futteraufnahme (Hurnik et al. 1975; Halli et al. 2015). Gleichzeitig ist die Wiederkaudauer verkürzt (Reith und Hoy 2012; Hoy 2015). Die Ruhezeit sinkt merklich, während sich die Zeit, die die Kühe mit Fortbewegung verbringen, deutlich erhöht (Hurnik et al. 1975; Kerbrat und Disenhaus 2004). Eine Verminderung der Milchleistung beschreiben unter anderem Akdag et al. (2010) und Schofield et al. (1991). Nach Untersuchungen von Maltz et al. (1997) sowie Reith et al. (2014b) kann während des Östrus auch eine Abnahme des Körpergewichtes beobachtet werden.

Über die Brunstdauer sind in der Literatur in Abhängigkeit von der Brunstbeobachtungsmethode und der Definition von Brunstbeginn und Brunstende unterschiedliche Angaben zu finden (Tab. 2).

Tab. 2: Östrusdauer beim Rind in Stunden (h) nach verschiedenen Autoren
 Angegeben sind Mittelwert und Standardabweichung bzw. Minimum und Maximum.

Östrusdauer (h)	Besonderheit	Autoren
17,1		Aschbacher et al. (1956)
11,9 ± 6,1 (2 – 46)		Hall et al. (1959)
7,5 ± 2,37 10,1 ± 2,36	ein Tier in Brunst drei Tiere in Brunst	Hurnik et al. (1975)
13,7 ± 6,7		van Vliet und van Eerdenburg (1996)
7,1 ± 5,4		Dransfield et al. (1998)
20,3 ± 10,4		Lyimo et al. (2000)
11,4 ± 5,1		Dalton et al. (2001)
3,6 ± 0,8 (0,2 – 12)		Lopez et al. (2002)
10,9 (0,4 - 25,7) 6,2 (0,4 - 26,5)	Niedrigleistende Tiere Hochleistende Tiere	Lopez et al. (2004)
11,8 ± 4,4		Roelofs et al. (2005b)
16,1 ± 7,0		Hockey et al. (2010a)
16,1 ± 4,7 (4 – 28)		Valenza et al. (2012)
7,1 ± 0,9 11,4 ± 0,8 13,0 ± 0,8	Aufsprungdetektor Respaktor (n = 44) Respaktor (n = 98)	Stevenson et al. (2014)
13,8 ± 3,8 (4 – 26)		Silper et al. (2015)

Metöstrus:

Der Metöstrus umfasst die Zeitspanne von etwa drei bis vier Tagen vom Ende der Duldungsbereitschaft bis zum vollständigen Abklingen der Brunstsymptome (Grunert 1999b). Etwa 10 bis 12 Stunden nach Brunstende kommt es zur Ovulation des reifen Follikels (Rathbone et al. 2001). In der verbleibenden Follikelhöhle beginnt unter LH-Einfluss die Anbildung des *Corpus luteum*. Als Indikator für die bereits erfolgte Ovulation kann in der

Nachbrunst das sogenannte „Abbluten“ beobachtet werden (Diskin und Sreenan 2000). Dabei ist dem aus der Vagina austretendem Schleim Blut beigemischt. Dieses Blut ist infolge der östrogenbedingten Hyperämie der Gebärmutterschleimhaut durch kapilläre Blutungen in das Uteruslumen gelangt (Ohtani et al. 1993). Bluthaltiger Schleim ist kein Hinweis auf eine bestehende Trächtigkeit. Er besagt lediglich, dass die Kuh vor etwa zwei bis drei Tagen brünstig war (Busch und Waberski 2007).

2.2.2 Einflüsse auf die Ausprägung der Brunstsymptome

Die Ausprägung der Brunstsymptome wird von technologischen, klimatischen und biologischen Faktoren maßgeblich beeinflusst.

Als technologische Faktoren kommen unter anderem Haltungsform, Platzangebot, Bodenbeschaffenheit und Belegungsdichte in Betracht (Becker et al. 2005). Bei Laufstall- oder Weidehaltung können sich die Tiere frei bewegen und so das gesamte Spektrum der sexuellen Verhaltensmuster zeigen. In der Anbindehaltung sind die brunstbedingten Verhaltensweisen dagegen nur bedingt auslebbbar (Busch und Waberski 2007). Ein rutschfester Untergrund erhöht die Bereitschaft aufzuspringen und verlängert die Brunstdauer im Vergleich zu Betonboden (Britt et al. 1986). Die Herdengröße scheint für das Ausmaß der Brunst eine besondere Rolle zu spielen. Je größer die Herde ist, umso eher besteht die Möglichkeit, dass sich sexuell aktive Gruppen bilden. Dabei verstärkt sich die Intensität der Brunstsymptome, wenn mehrere Kühe gleichzeitig brünstig sind (Roelofs et al. 2010).

Bei den klimatischen Faktoren wirken sich insbesondere hohe Luftfeuchtigkeit in Verbindung mit hohen Temperaturen reduzierend auf die Brunstaktivität aus (Gwazdauskas 1985; De Rensis und Scaramuzzi 2003). Sehr kaltes Wetter, starker Regen oder Sturm können ebenfalls das Sexualverhalten der Kühe beeinträchtigen (Orihuela 2000).

Bei den biologischen Faktoren sind Auswirkungen auf das Brunstverhalten unter anderem für die Parität, das Laktationsstadium, die Milchleistung, die Nährstoffversorgung und den Gesundheitsstatus beschrieben. Nach Beobachtungen von Walker et al. (1996) ist die Dauer der Aufsprungaktivitäten bei erstlaktierenden Kühen im Vergleich zu Tieren mit höherer Laktationsnummer verkürzt. Nach Roelofs et al. (2010) zeigen erstlaktierende Kühe jedoch insgesamt ein intensiveres Brunstverhalten und eine längere Brunstdauer als Kühe höherer Parität. Ein deutlicher Einfluss des Laktationsstadiums auf die Brunstsymptomatik ist

insbesondere in den ersten Brunsten *post partum* zu erkennen. So verläuft innerhalb der ersten 90 Laktationstage etwa ein Drittel der Ovulationen still, d.h. ohne erfassbare brunstbedingte Verhaltensäußerungen. Die Inzidenz liegt dabei im ersten Zyklus *post partum* mit 55 % am höchsten. Im vierten Zyklus verlaufen nur noch rund 10 % der Ovulationen still (Ranasinghe et al. 2010). Die Aufsprungaktivitäten der in Brunst befindlichen Tiere nehmen mit fortschreitender Laktationsdauer zu, während für die Duldung keine Verhaltensintensivierung zu beobachten ist (Britt et al. 1986). Deutliche Auswirkungen auf die Ausprägung der Brunstsymptome sind auch für die Milchleistung beschrieben. Bei hochleistenden Tieren verläuft die Brunst signifikant häufiger still als bei Kühen mit geringerer Milchleistung (Ranasinghe et al. 2010). Die Brunstdauer ist nach Untersuchungen von Lopez et al. (2004) negativ ($r = -0,51$) mit der Milchleistung korreliert. Gleiche Autoren beschreiben für hochleistende Tiere ein weniger intensives Duldungsverhalten, was sich sowohl in einer geringeren Anzahl als auch in einer kürzeren Dauer der Duldungsereignisse äußert. Auch eine mangelhafte Futterversorgung kann sich nachteilig auf die Intensität der Brunst auswirken (Orihuela 2000). Eine negative Nährstoffbilanz beeinträchtigt das Follikelwachstum. Die in der Folge verringerte Östradiolkonzentration führt zu einer geringeren Ausprägung der Brunstsymptome (Walsh et al. 2011). Ebenso wirken Krankheiten als Stressoren auf die hormonellen Regelkreise und beeinflussen das Brunstgeschehen negativ (Dobson et al. 2007). Insbesondere Lahmheiten sind klassischerweise mit einer Verringerung der Brunstaktivität verbunden, da lahme Tiere vermehrt liegen und weniger umherlaufen oder stehen (Roelofs et al. 2010).

2.2.3 Methoden der Brunsterkennung

Nach Senger (1994) soll ein optimales Brunsterkennungssystem folgende Anforderungen erfüllen:

- kontinuierliche Überwachung (24h/Tag) der Kuh
- akkurate und automatische Identifikation der brünstigen Kuh
- Funktionsfähigkeit über die gesamte produktive Lebensspanne des Tieres
- minimaler Arbeitsaufwand
- Genauigkeit bei der Erkennung physiologischer oder ethologischer Ereignisse, die eng mit dem Ovulationszeitpunkt verknüpft sind

Eine gleichzeitige und vollständige Umsetzung der genannten Kriterien ist in der Praxis jedoch nicht möglich und es muss ein für die jeweilige Betriebssituation angemessener Kompromiss gefunden werden (Becker et al. 2005).

Nach Firk et al. (2003) kann die Leistungsfähigkeit verschiedener Methoden der Brunsterkennung anhand der Kennzahlen Sensitivität, Spezifität und Fehlerrate beurteilt werden. Die Sensitivität beschreibt dabei den Anteil korrekt als brünstig erkannter Tiere an der Gesamtzahl der brünstigen Tiere. Sie wird auch als Brunsterkennungsrate oder als Trefferrate bezeichnet (Klindtworth et al. 2002).

$$\text{Sensitivität} = \frac{\text{richtig Positive}}{\text{richtig Positive} + \text{falsch Negative}} \cdot 100$$

Die Spezifität ergibt sich aus der Anzahl der zutreffend als nicht brünstig erkannten Tiere in Relation zu den gesamten nicht brünstigen Tieren.

$$\text{Spezifität} = \frac{\text{richtig Negative}}{\text{richtig Negative} + \text{falsch Positive}} \cdot 100$$

Die Fehlerrate kennzeichnet den Anteil der falschen Brunstmeldungen an den gesamten Brunstmeldungen.

$$\text{Fehlerrate} = \frac{\text{falsch Positive}}{\text{falsch Positive} + \text{richtig Positive}} \cdot 100$$

2.2.3.1 Visuelle Brunstbeobachtung

In der Regel erfolgt die Brunsterkennung anhand äußerlich sichtbarer Zeichen, die das Sexualverhalten sowie die brunstbedingten Veränderungen am Tier umfassen. Die traditionelle Form der visuellen Brunstüberwachung ist allerdings zeitintensiv und mit hohem Personalaufwand verbunden (At-Taras und Spahr 2001). Die Qualität dieser Form der Brunsterkennung wird dabei durch verschiedene Faktoren geprägt. Dazu zählen die Erfahrung des Herdenmanagers, die Tageszeit der Brunstbeobachtung, die Beobachtungsdauer und die Anzahl der Beobachtungsphasen pro Tag (van Vliet und van Eerdenburg 1996). Nach Zieger (2004) ermöglicht nur eine permanente Tierbeobachtung Brunsterkennungsraten von 89 bis 100 %. Erfolgt sechsmal täglich eine visuelle Brunstbeobachtung für jeweils 10 min, werden noch fast 64 % der Östren erkannt (Holman

et al. 2011). At-Taras und Spahr (2001) identifizierten bei zwei Beobachtungseinheiten am Tag (morgens/abends) von jeweils 30 min 54,4 % bzw. 54,7 % der brünstigen Tiere. Problematisch ist im Zusammenhang mit der visuellen Brunsterkennung auch, dass das wichtigste Kriterium, die Duldungsbereitschaft, bei immer weniger Tieren zu beobachten ist (Dobson et al. 2008). Van Vliet und van Eerdenburg (1996) konnten mit ausschließlich visueller Überwachung bei 12 Beobachtungsperioden zu je 30 Minuten pro Tag nur in 37 % der Östren Duldungsverhalten feststellen. Bei Weidehaltung ist die Duldungsbereitschaft gegenüber der Stallhaltung deutlich erhöht. In Untersuchungen von Palmer et al. (2010) duldeten 91 % der Tiere in Weidehaltung, aber nur 52 % der Kühe in Stallhaltung den Aufsprung. Angesichts dieser Problematik entwickelten van Eerdenburg et al. (1996) ein Scoringssystem (Tab. 3), das verschiedene Brunstsymptome nach ihrer Häufigkeit und Verteilung im Diöstrus und Östrus mit Punkten bewertet. Erreicht eine Kuh innerhalb von 24 Stunden einen von der Beobachtungshäufigkeit abhängigen Schwellenwert, gilt sie als brünstig. Wird die Brunstbeobachtung zwei- bis dreimal täglich für jeweils 30 Minuten durchgeführt, so sollte ein Scoringwert von mindestens 50 Punkten erreicht werden. Wird häufiger beobachtet, liegt der Schwellenwert höher.

Tab. 3: Scoringkala für das Brunstverhalten nach van Eerdenburg et al. (1996)

Verhalten	Punkte
Abgang von Brunstschleim	3
Flehmen	3
Ruhelosigkeit	5
Besprungen werden ohne Duldung	10
Beriechen der Vagina anderer Kühe	10
Auflegen des Kinns auf andere Kühe	15
Aufreiten oder Versuch des Aufreitens auf andere Kühe	35
Aufreiten von vorn	45
Duldung	100

2.2.3.2 Suchtiere

Zur Verbesserung der oft unbefriedigenden Brunsterkennungsraten bei ausschließlich visueller Beobachtung der Kühe stehen verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung. Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Effizienz der Brunsterkennung ist der Einsatz von Suchtieren. Fulkerson et al. (1983) erzielten durch den Einsatz von Ochsen, deren männliches Sexualverhalten hormonell induziert wurde, deutlich höhere Brunsterkennungsraten als bei ausschließlich visueller Beobachtung. Auch Suchbullen, die durch operative Maßnahmen (Pensiverlagerung oder Vasektomie) deck- oder befruchtungsunfähig gemacht worden sind, lassen durch wiederholtes Aufreiten brünstige Kühe erkennen (Grunert 1999c). Das Verhältnis zwischen Suchbullen und potentiell östrischen Kühen sollte dabei 1 : 30 nicht überschreiten, da sonst die Effizienz der Brunsterkennung sinkt (Foote 1975). Hormonell stimulierte weibliche Tiere können ebenfalls zur Brunsterkennung eingesetzt werden (Busch und Waberski 2007). Die Nutzung von Suchtieren ist jedoch vorwiegend auf den nordamerikanischen Raum beschränkt (Becker et al. 2005). In Deutschland sind bei dem Einsatz von deck- bzw. befruchtungsunfähigen Suchbullen in landwirtschaftlichen Betrieben arbeitsschutz- und tierschutzrechtliche Aspekte zu beachten. Der routinemäßige Einsatz dieser Bullen widerspricht zudem den Zielsetzungen des deutschen Tierschutzgesetzes (Becker et al. 2005; Hoedemaker et al. 2014). Die Verwendung hormonell behandelte weiblicher Suchtiere ist arzneimittelrechtlich problematisch (Becker et al. 2005).

Von Fischer-Tenhagen et al. (2011) wird der Einsatz speziell trainierter Hunde zur Detektion brünstiger Kühe empfohlen. Hunde sind in der Lage, östrusspezifische Gerüche in Vaginalsekret, Urin und Milch zu erkennen. In der Studie der vorgenannten Autoren erkannten die trainierten Hunde 80 % der Vaginalsekretproben östrischer Kühe zutreffend als positiv.

2.2.3.3 Nachweis des Duldungsreflexes

Der Duldungsreflex gilt als sicherstes visuell erfassbares Anzeichen für eine Brunst (Becker et al. 2005). Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kuh trotz Duldung nicht brünstig ist, liegt nur bei 2 %. Allerdings umfasst der Zeitanteil, in dem Duldungsverhalten zu beobachten ist, lediglich 1 % des gesamten Brunstzeitraums (Rorie et al. 2002). Zur besseren Feststellung der Duldung können verschiedene Farbmarkierungstechniken eingesetzt werden. Als einfache Varianten kommen Farb- oder Kreideanstriche (tail-painting) sowie selbstklebende Pflaster (Estrus-

Alert-System) in Frage. Dabei soll der Abrieb bzw. das Verschmieren der Farbe eine Brunst anzeigen. Eine weitere Möglichkeit sind Farbpatronen, die zwischen Sitzbeinhöcker und Kreuzbein mit einem Spezialkleber aufgebracht werden (z.B. KaMaR™ Heat Mount Detector). Springt ein anderes Tier der Herde auf ein so markiertes Tier auf, führt das je nach System zum Umfärben oder zum Zerplatzen der Farbpatrone und kennzeichnet so das duldende Tier (Becker et al. 2005). Die Sensitivität wird für das KaMaR™-System von Holman et al. (2011) mit 56,7 % angegeben. Alle Farbmarkierungssysteme zeichnen sich durch einfache Handhabung und verhältnismäßig geringe Kosten aus. Allerdings können falsche Ergebnisse durch die Nutzung von Kuhbürsten oder durch den Abrieb der Markierungen an anderen Tieren entstehen. Gleiches gilt für nicht brünstige Tiere, die sich dem Aufsprung nicht schnell genug entziehen können (Becker et al. 2005). Diese Problematik verdeutlicht auch die hohe Anzahl an falsch-positiven Ergebnissen bei alleiniger Nutzung des KaMaR™-Systems (Pennington und Callahan 1986; Holman et al. 2011).

Bereits seit längerer Zeit werden auch elektronische Systeme zur Detektion der Brunst kommerziell angeboten. Das in den USA verbreitete HeatWatch™-System arbeitet mit am Schwanzansatz der Tiere befestigten Drucksensoren, welche den Aufsprung eines anderen Herdenmitgliedes registrieren. Die auslösenden Impulse werden tierindividuell in genauer zeitlicher Zuordnung (Datum, Uhrzeit) telemetrisch an eine zentrale Auswertungseinheit weitergeleitet und dort in Bezug auf die Brunstwahrscheinlichkeit ausgewertet (Dransfield et al. 1998). Daneben sind am Markt verschiedene elektronische Aufsprungdetektoren verfügbar, welche den Östrus durch Lichtsignale direkt am Tier anzeigen (MountCount™, Tattle Tale™, DEC™). Diese Systeme sind sehr anwenderfreundlich, da sich sowohl Sensor als auch Anzeigeeinheit komplett an der Kuh befinden (Becker et al. 2005). Die Brunsterkennungsraten für die verschiedenen Systeme variieren je nach Studie. In einer Untersuchung von Saumande (2002) in einer Herde mit Fertilitätsproblemen wurden mit Hilfe des DEC™-Systems 35,4 % der brünstigen Tiere identifiziert. Unter sommerlichen Bedingungen in den USA wurden mit dem HeatWatch™-System 48 % der potentiell brünstigen Tiere erkannt (Peralta et al. 2005). Brunsterkennungsraten von 92 % erreichten Xu et al. (1998) mit HeatWatch™ und VanEtten et al. (2006) mit Tattle Tale™.

2.2.3.4 Pedometrie

Ein Pedometersystem besteht üblicherweise aus folgenden Komponenten (Galon 2010): eine am Fuß angebrachte Sensoreinheit (Pedometer) zur Identifikation und Aufzeichnung der Schrittzahl des jeweiligen Tieres; eine Antenne zum Auslesen der Pedometerdaten sowie eine Schnittstelle zwischen der Antenne und dem Computer, der die empfangenen Daten anschließend mit einer speziellen Software bearbeitet.

Die Laufaktivität von Kühen unterliegt einem diurnalen Rhythmus (Roelofs et al. 2005a) und reflektiert tagsüber die Arbeitsroutine des Betriebes. Bei fester Melkroutine sind jeweils zu den Melkzeiten Aktivitätspeaks zu finden (Liu und Spahr 1993). Außerhalb der Melkzeiten ist die Lokomotion in den Morgenstunden generell niedrig und am Nachmittag am höchsten (Liu und Spahr 1993; Arney et al. 1994; Roelofs et al. 2005a). Zur Detektion der Brunst nutzt die Pedometrie die während dieser Zeit auftretende verstärkte Ruhelosigkeit und die daraus resultierende erhöhte Lokomotion der Kühe (Wangler et al. 2005). Das Muster der Laufaktivität, gemessen als Schritte pro Stunde, beschreiben Arney et al. (1994) für den brunstnahen Zeitraum wie folgt: 72 bis 16 Stunden vor Brunstbeginn steigt die Aktivität langsam linear an. Innerhalb der nächsten 16 Stunden steigt die Aktivität ebenfalls linear, aber deutlich schneller, bis zum Höhepunkt. Anschließend sinkt die Lokomotion exponentiell ab. Die Steigerung der Laufaktivität in der Brunst wird dabei von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Höhere Paritäten und steigende Milchleistungen sind mit einem geringeren Aktivitätsanstieg assoziiert. Ebenso reduziert eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit die Steigerung der Laufaktivität in der Brunst signifikant. Eine stärkere Zunahme der Lokomotion kann dagegen beobachtet werden, wenn mehrere Tiere gleichzeitig brünstig sind (Yániz et al. 2006). Die brunstbedingte Aktivitätserhöhung ist auch vom Haltungssystem abhängig. Silper et al. (2015) geben für Färsen in Laufstallhaltung eine mittlere Erhöhung der Laufaktivität im Brunstzeitraum um 290 % bei einem Minimum von 30 % und einem Maximum von 1.190 % an. Kiddy (1977) beschreibt für Kühe in Laufstallhaltung einen durchschnittlichen Anstieg der Laufaktivität auf das 4-fache. Der gleiche Autor gibt für Kühe in Anbindehaltung, die sich zu den Melkzeiten jeweils etwa eine Stunde außerhalb der Anbindung in einem Wartebereich befanden, einen Aktivitätsanstieg auf das 2,75-fache an. Felton et al. (2012) konnten für Kühe, die sich 24 Stunden am Tag in Anbindehaltung befanden, keine signifikante Zunahme der Schrittzahl im Brunstzeitraum feststellen. Sie schließen daraus, dass die

Pedometer-technik zur Detektion des Östrus bei permanenter Anbindung der Kühe ungeeignet ist. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Schlüsen et al. (1987). Sie konnten für brünstige Kühe in Anbindehaltung lediglich eine Zunahme der Schrittzahl um 10 bis 14 % beobachten, während östrische Kühe in Laufstallhaltung eine Verdoppelung der Schrittzahl zeigten.

Für die Brunsterkennung ist es unerheblich, ob das Pedometer am Vorder- oder Hinterbein der Tiere befestigt wird (Liu und Spahr 1993). Von großer Bedeutung für die Brunsterkennungsrate ist dagegen die Methode, die zur Definition des Grenzwertes für die Östrusdiagnose angewandt wird (Liu und Spahr 1993; Roelofs et al. 2005a; Løvendahl und Chagunda 2010). Durch eine sehr niedrige Grenzwerteinstellung kann eine hohe Sensitivität erreicht werden, die Fehlerrate kann dabei jedoch überproportional steigen (Klindtworth et al. 2002). Firk et al. (2003) geben für unterschiedliche Grenzwerte Sensitivitäten zwischen 71 % und 94,2 % an, die korrespondierenden Fehlerraten liegen zwischen 21,5 % und 53,2 %. Wird als zusätzlicher Parameter für die Brunstdiagnose die verstrichene Zeit seit dem letzten Östrus berücksichtigt, sinkt die Fehlerrate deutlich (Firk et al. 2003; Krieter et al. 2006). Eine Weiterentwicklung der Pedometer-technik stellen Messgeräte dar, die neben der Schrittzahl zusätzliche Parameter erfassen. ALT-Pedometer erfassen Lokomotion, Liegeverhalten und Temperatur (Brehme et al. 2008), IceTag™-Sensoren kalkulieren neben der Schrittzahl das Verhältnis von Liege-, Steh- und Aktivitätszeit.

2.2.3.5 Respektortechnik

Wie auch die Pedometrie, nutzt die Respektortechnik die im brunstnahen Zeitraum verstärkte Ruhelosigkeit der Kühe zur Brunsterkennung. Die Messgeräte zur Erfassung der Aktivität werden bei dieser Technik im Gegensatz zum Pedometer nicht am Fuß, sondern an einem Halsband befestigt. Die Aktivitätsdaten werden mit Hilfe von Sensoren aus Bewegungen des Kopf- und Halsbereiches der Kuh generiert (Løvendahl und Chagunda 2010). Die zur Aktivitätsmessung eingesetzten Beschleunigungssensoren wurden ursprünglich für den Einsatz im militärischen Bereich, der Luftfahrt und der Automobilindustrie entwickelt. Sie sind klein, zuverlässig und langlebig (Stevenson 2013a) und erfassen Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung auf zwei oder drei Achsen (Elischer et al. 2013). Die zurzeit kommerziell angebotenen Respektorsysteme zur Erfassung der Bewegungsaktivität im Milchviehbereich weisen sowohl wesentliche technische

Unterschiede (Tab. 4) als auch Differenzen bezüglich der verwendeten Algorithmen zur Aufbereitung der Aktivitätsdaten auf (Løvendahl und Chagunda 2010).

Tab. 4: Eigenschaften auf Respektortechnik basierender Brunsterkennungssysteme modifiziert nach Stevenson (2013a)

System	Anbieter	Datentransfer	Datenerfassung	Datenschnittstelle
ALPRO	DeLaval Genex/CRI	Funkfrequenz	3 D	PC
Heatime	SCR Micro Dairy Logic Lely Select Sires	Infrarot Funkfrequenz	2 D	PC oder Terminal
Ai24	Semex	Funkfrequenz	2 D	PC oder Terminal
Heat Seeker II +	Boumatic	Funkfrequenz	2 D	PC
Select Detect	Select Sires	Funkfrequenz	3 D	PC

Die Sensitivität der Respektortechnik wird je nach Studiendesign zwischen 35,6 % und 76,9 % angegeben, die Fehlerrate liegt zwischen 23,4 % und 6,5 %. Eine deutliche Steigerung der Brunsterkennungsrate wird erzielt, wenn ergänzend eine visuelle Brunstbeobachtung erfolgt (Holman et al. 2011; Kamphuis et al. 2012; Michaelis et al. 2014).

Nach Untersuchungen von Elischer et al. (2013) korreliert die mit Hilfe eines Respektorsystems ermittelte Aktivität positiv mit der visuell erfassten Lokomotion von Kühen ($r = 0,6$) und der mittels Pedometer erfassten Schrittzahl ($r = 0,75$) und negativ mit dem Liegeverhalten ($r = -0,57$). Sie kommen zu dem Schluss, dass diese Technik eine genaue Wiedergabe der Bewegungsaktivität ermöglicht. Die von Respektoren gemessene Aktivität im Diöstrus unterliegt wie die Laufaktivität einem diuralen Rhythmus. Sie verläuft wellenförmig und weist die niedrigsten Werte in den frühen Morgenstunden auf. Dabei beeinflusst die Parität das Aktivitätsniveau. Mit zunehmender Laktationsnummer nimmt die Aktivität der Tiere ab (Løvendahl und Chagunda 2010; Reith et al. 2014a).

Für den brunstnahen Zeitraum beschreiben Løvendahl und Chagunda (2010) im Mittel einen 2,8-fachen Anstieg der mit Hilfe von Respektoren gemessenen Aktivität. Wangler et al. (2005) ermittelten einen sprunghaften Anstieg der Aktivität in der Brunst von durchschnittlich etwa

150 %, wobei die Aktivitätssteigerung nachts wesentlich deutlicher als tagsüber ausfiel. Auch Reith et al. (2014a) fanden die deutlichste Erhöhung der Aktivität im Brunstzeitraum in den Nacht- und frühen Morgenstunden. Nach Peralta et al. (2005) setzt die mittels Respektoren bestimmte Brunst am häufigsten (42,5 %) in der Zeit zwischen Mitternacht und sechs Uhr morgens ein, während der Beginn der Duldung (erfasst mit HeatWatch™) gleichmäßig über den Tag verteilt ist. Allerdings reagiert nicht jede Kuh auf die zyklischen Veränderungen während der Brunst mit gesteigerter Unruhe. Wangler et al. (2005) konnten bei 4 % der erfolgreich besamten Kühe keine Aktivitätserhöhung feststellen, nach Untersuchungen von Reith et al. (2014a) war die Bewegungsaktivität bei 23,5 % der Kühe am Tag der Brunst gegenüber dem Referenzzeitraum reduziert.

2.2.3.6 Weitere Ansätze

Bisher eher von untergeordneter praktischer Bedeutung ist die Brunsterkennung auf Basis permanenter Videoaufzeichnungen der Tieraktivitäten. Bruyère et al. (2012) konnten mit dieser Technik 80 % der brünstigen Tiere identifizieren und vermuten einen verstärkten Einsatz von Videotechnik zur Brunsterkennung in naher Zukunft.

Ebenfalls auf Kameratechnik basiert die von Dietrich (2012) beschriebene Methode des „maschinellen Sehens“. Dabei werden Bildinhalte elektronisch verarbeitet, um bestimmte Objekte innerhalb der Bilder zu detektieren und ihre Eigenschaften zu erkennen. Auf Basis dieser Ergebnisse können dann Prozesse analysiert und gesteuert werden. Mit Hilfe dieser Technik ist es möglich, die Bewegungen der Kühe automatisiert 24 Stunden am Tag zu überwachen. Dietrich (2012) verwendete zur Brunsterkennung die digitalisierten Informationen über Positionen und Ortsveränderungen der beobachteten Tiere und analysierte Aktivitätszeiten und -intensitäten sowie die sozialen Interaktionen brünstiger Kühe mit anderen Herdenmitgliedern. Die Kombination der beiden Parameter Bewegungsaktivität und Varianz der Sozialkontakte ergab eine Sensitivität von 82 % und eine Spezifität von 87 %, so dass der Autor das maschinelle Sehen als Alternative zu bisher genutzten Brunsterkennungsmethoden sieht.

Auch Veränderungen im Vokalisationsverhalten können auf eine bestehende Brunst hinweisen. Hämel (2010) untersuchte die Vokalisation brünstiger Kühe und konnte für alle untersuchten Tiere einen signifikanten Anstieg der Gesamtvokalisation zum Zeitpunkt der Brunst nachweisen. Die Autorin kommt zu dem Schluss, dass die Lautanalyse beim Rind, bei

Einsatz praxistauglicher Aufnahmetechnik, die Voraussetzungen für ein neues automatisierbares Verfahren zur Brunsterkennung erfüllt. Bei Verwendung der bisher verfügbaren Technik kann in der Gruppenhaltung von Rindern die Lautanalyse in Kombination mit anderen Verfahren, wie beispielsweise der visuellen Brunstbeobachtung, der Pedometrie oder der Erfassung der Progesteronkonzentration, zur Verbesserung der Brunsterkennungsrate eingesetzt werden (Dreschel 2014).

Neben verhaltensbedingten Brunsterscheinungen können auch physiologische Parameter zur Feststellung des Östrus herangezogen werden. Zur Bestätigung einer Brunst kann der Progesteronspiegel in der Milch (Grunert 1999c) oder im Blutserum (Robertson 1972) genutzt werden. Im Zeitraum der Vor-, Haupt- und Nachbrunst treten Progesteronwerte von unter 2,2 ng/ml in der Milch (Grunert 1999c) oder unter 0,5 ng/ml im Blutserum auf (Robertson 1972). Boldt (2013) beschreibt die „on-farm“-Messung der Progesteronkonzentration als ein geeignetes Hilfsmittel, um besamungswürdige Tiere, tragende Tiere und Tiere mit Zyklusstörungen zu identifizieren.

Körper- oder Milchtemperatur können bei kontinuierlicher Erfassung ebenfalls als zusätzliche Faktoren bei der Brunsterkennung berücksichtigt werden. Im brunstnahen Zeitraum steigt die vaginal erfasste Körpertemperatur um 0,3 bis 1,1 °C, die Milchtemperatur erhöht sich um 0,2 bis 0,4 °C (Lehrer et al. 1992), wobei eine enge Korrelation ($r = 0,90$) zwischen beiden Messwerten besteht. Die Messung der Milchtemperatur während des Melkvorgangs kann insbesondere zur Erkennung stillbrünstiger Tiere einen Beitrag leisten (Gil et al. 1997).

2.3 Besamungsmanagement

Die künstliche Besamung darf in Deutschland nur durch besamungsberechtigte Personen durchgeführt werden. Zu diesem Personenkreis zählen Tierärzte sowie Fachagrarwirte für Besamungswesen und Besamungsbeauftragte, die im Auftrag von Besamungsstationen bzw. Samendepots tätig sind. Weiterhin sind Tierhalter bzw. deren Angestellte unter bestimmten Voraussetzungen zu Besamungen im eigenen Bestand berechtigt (Busch und Waberski 2007). Die Festlegung des Besamungszeitpunktes obliegt dabei in der Regel dem Tierhalter, der die Besamung beauftragt bzw. selbst durchführt. Bei der Terminierung der Besamung sind zwei zeitliche Aspekte zu berücksichtigen. Einerseits muss entschieden werden, welche freiwillige Wartezeit bestandsübergreifend oder tierindividuell gewährt wird. Zum anderen muss der Besamungszeitpunkt innerhalb einer Brunst festgelegt werden.

2.3.1 Festlegung des Besamungszeitpunktes nach der Geburt

Die Sexualfunktion eines Rindes beginnt unter physiologischen Bedingungen bald nach der Geburt wieder anzulaufen, wobei die ersten Brunsten auch still sein können (Busch et al. 1991). Eine begrenzte Anzahl von Tieren ovuliert bereits 15 bis 20 Tage *post partum* wieder, wobei etwa die Hälfte dieser Kühe auch äußerliche Brunstsymptome zeigt (Busch und Waberski 2007). Nach Darwash et al. (1997) setzt etwa fünf bis sechs Tage nach der ersten Ovulation die luteale Aktivität wieder ein. Die Autoren haben das Intervall zwischen Abkalbung und dem Beginn der lutealen Aktivität in 2.165 Laktationen untersucht (Abb. 1) und geben für diese Zeitspanne im Mittel $26,5 \pm 11,9$ Tage an.

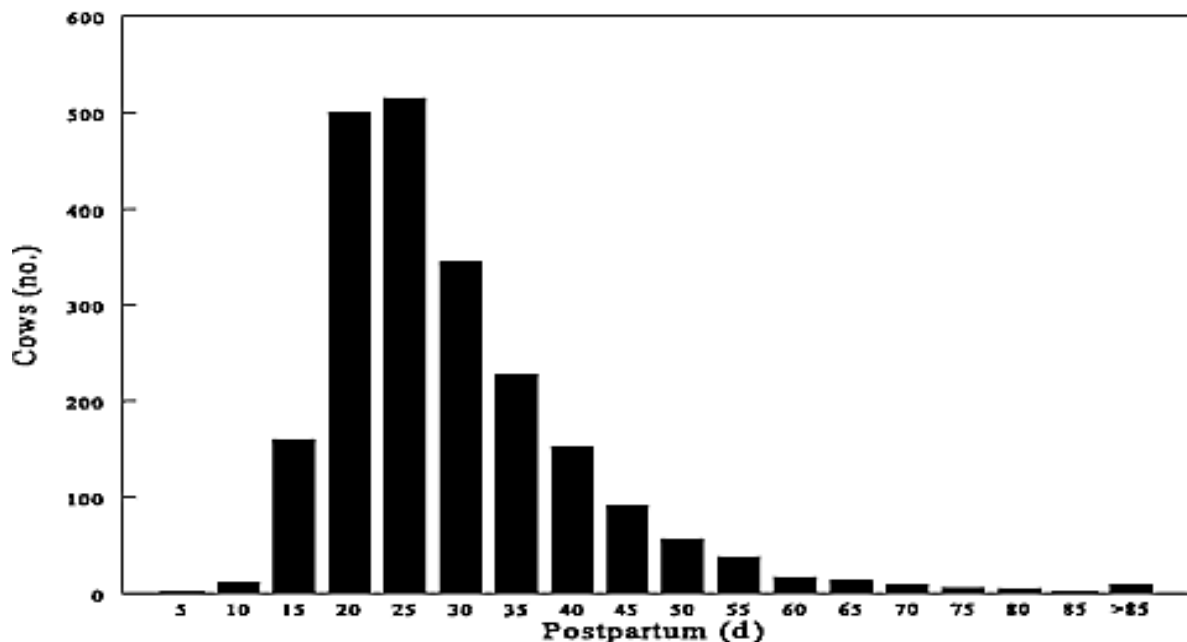


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung des Beginns der lutealen Aktivität *post partum* anhand von 2.165 Laktationen (Darwash et al. 1997)

Allerdings stellt die Zeit nach der Abkalbung aufgrund der negativen Energiebilanz eine besondere Belastung für den Stoffwechsel einer Kuh dar, so dass die Einhaltung einer freiwilligen Wartezeit bis zur ersten Wiederbelegung nach der Geburt empfohlen wird. Bei deren Festlegung sind sowohl physiologische Gegebenheiten (Rückbildungs- und Regenerationsprozesse am Uterus; Milchleistungsniveau) als auch betriebswirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen (Lotthammer 1999). Untersuchungen von Reimers et al. (1985) zeigen, dass sehr frühe Besamungen mit einer geringeren Fertilität assoziiert sind (Tab. 5). Busch et al. (1991) erachten eine Besamung vor dem 40. Tag *post partum* aufgrund des

niedrigen Erstbesamungserfolges als wenig zweckmäßig. Unter Beachtung physiologischer und ökonomischer Gesichtspunkte schlägt Lotthammer (1999) eine Rastzeit von 60 bis 80 Tagen vor, wobei diese Zeitspanne lediglich als Empfehlung zu verstehen ist. Bei Kühen mit hoher Milchleistung und einem geringen Eiweißgehalt zu Beginn der Laktation ist nach Boldt (2013) mit einem späteren Beginn der lutealen Aktivität und damit auch mit einer späteren ersten erkennbaren Brunst zu rechnen. Die Autorin schlägt vor, solchen Tieren eine freiwillige Wartezeit von mehr als 60 Tagen einzuräumen.

Tab. 5: Effekt der Rastzeit auf die Konzeptionsrate nach Reimers et al. (1985)

Intervall Abkalbung bis erste Besamung (Tage)	Anzahl Tiere	Konzeptionsrate basierend auf der Messung des Milchprogesterongehaltes	Konzeptionsrate basierend auf Abkalbung bzw. bekannter Nichtträchtigkeit
bis 30	10	50,0	50,0
31 – 40	45	57,7	51,1
41 – 50	236	55,1	43,6
51 – 60	508	61,8	51,4
61 – 70	630	64,1	54,0
71 – 80	515	65,4	56,7
81 – 90	322	68,0	58,1
91 – 100	226	65,9	57,1
101 – 110	135	65,2	54,8
111 – 120	73	71,2	60,3
>120	185	70,8	60,0

2.3.2 Festlegung des Besamungszeitpunktes in der Brunst

Nach Senger (1994) erfolgen zwischen 5 bis 30 % der Besamungen nicht im Östrus. Daher ist eine sorgfältige Brunstbeobachtung Voraussetzung für die Wahl des korrekten Besamungszeitpunktes (Busch et al. 1991). Die optimale Zeitspanne für die künstliche Besamung wird vorrangig von der Lebensdauer der Gameten bestimmt. Nach Busch und Waberski (2007) beträgt beim Rind die Befruchtungsfähigkeit des Spermias beim natürlichen Deckakt etwa 24 Stunden und beim Einsatz von Tiefgefriersperma etwa 18 bis 20 Stunden. Lawrence et al. (2012) geben für die gleiche Tierart als fertile Lebensdauer der männlichen Gameten im weiblichen Genitaltrakt 30 bis 48 Stunden an. Unter Verwendung von frischem Bullensperma durchgeführte Untersuchungen von Brackett et al. (1980) lassen dagegen auf eine fertile Lebensdauer der Spermien von bis zu 60 Stunden schließen. Für eine erfolgreiche Besamung sollten die Spermien idealerweise im Eileiter auf die Eizelle warten (Busch und Waberski 2007). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Spermien zum Aufbau ihrer Befruchtungsfähigkeit einige Zeit benötigen. Nach Grunert (1999b) dauert dieser Wanderungs- und Reifeprozess (Kapazitation) der Spermien im weiblichen Genitaltrakt etwa fünf bis sechs Stunden. Brackett et al. (1980) schließen aus den Ergebnissen ihrer Studie, dass bereits drei Stunden nach der Besamung befruchtungsfähiges Sperma vorliegt. Wilmut und Hunter (1984) dagegen beschreiben, dass der Prozess der Etablierung einer befruchtungsfähigen Spermienpopulation im Eileiter erst sechs Stunden nach der Besamung beginnt und sich anschließend über mindestens sechs Stunden bis zum vollen Populationsaufbau hinzieht. Die Befruchtungsfähigkeit der Eizelle ist in der Regel kürzer als die der männlichen Gameten. Sie wird mit maximal 20 bis 24 Stunden angegeben (Lawrence et al. 2012). Die optimale Amphimixisbereitschaft vermuten Brackett et al. (1980) allerdings lediglich für einen Zeitraum von sechs bis zehn Stunden nach der Ovulation. Erfolgt die Befruchtung später, ziehen Alterungsvorgänge der Eizellen erhöhte embryonale Verluste nach sich (Busch und Waberski 2007).

Aufgrund der dargestellten zeitlichen Einschränkungen ist die zeitlich korrekte Einordnung der Besamung in Bezug zum Ovulationszeitpunkt für den Besamungserfolg von größter Bedeutung. Bereits 1948 untersuchte Trimberger (zitiert nach Nebel et al. (2000)) die Konzeptionsrate in Abhängigkeit von dem Zeitintervall zwischen künstlicher Besamung und Ovulation. Er stellte die höchsten Konzeptionsraten für Inseminationen fest, die innerhalb

von 6 bis 24 Stunden vor der Ovulation erfolgten. Nach Aschbacher et al. (1956) führen Besamungen innerhalb der Zeitspanne von 34 Stunden vor der Ovulation bis 14 Stunden nach der Ovulation zu einer Trächtigkeit. Roelofs et al. (2006) untersuchten den Einfluss des Intervalls zwischen Insemination und Ovulation auf die Embryoqualität und die Fertilisationsrate. Dabei wurden Kühe in der Zeitspanne zwischen 36 Stunden vor der Ovulation bis 12 Stunden nach der Ovulation besamt. Innerhalb aller Zeitspannenklassen (4h-Klassen) führten Besamungen zur Befruchtung von Eizellen, jedoch mit unterschiedlichem Erfolg. Die höchsten Fertilisationsraten von mehr als 80 % wurden für Inseminationen innerhalb von 36 bis 12 Stunden vor der Ovulation erreicht. Ein hoher Prozentsatz qualitativ guter Embryonen war jedoch nur feststellbar, wenn die künstliche Besamung innerhalb von 24 bis 12 Stunden vor der Ovulation erfolgte. Daraus leiten die Autoren die Empfehlung ab, Kühe idealerweise innerhalb von 24 bis 12 Stunden vor der Ovulation zu besamen. Zu einem anderen Resultat kommen Zoccolaro Oliveira et al. (2011). Nach den Autoren führt eine terminorientierte Besamung bei Färsen 24 bis 32 Stunden vor der Ovulation zu einer etwa 20 % höheren Konzeptionsrate im Vergleich zu Inseminationen innerhalb von 24 Stunden vor der Ovulation.

Sales et al. (2011) analysierten den Besamungserfolg in Abhängigkeit vom Zeitintervall zwischen künstlicher Besamung und Ovulation bei Nelore-Rindern (*Bos indicus*) unter Verwendung von gesextem Sperma. Die Ergebnisse zeigen, dass im Gegensatz zu Besamungen mit nicht sortiertem Sperma eine Trächtigkeit bei einer Insemination innerhalb von 12 Stunden vor der Ovulation am wahrscheinlichsten ist. Als Ursachen für den größeren Erfolg der ovulationsnahen Besamungen vermuten die Autoren die potentiell kürzere Lebensdauer des gesexten Spermias sowie die möglicherweise durch den Sortiervorgang stattgefundenene Pre-Kapazitation, welche die Kapazitationsdauer im weiblichen Genitaltrakt verkürzt.

Da die Ovulation äußerlich nicht erkennbar ist, wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl an Studien zum zeitlichen Zusammenhang zwischen charakteristischen Zeitabschnitten einer Brunst und dem Ovulationszeitpunkt durchgeführt (Tab. 6). Für diese Untersuchungen wurden sowohl visuelle als auch verschiedene maschinelle Techniken zur Brunsterkennung genutzt. Dabei konnten Yoshioka et al. (2010) unter gleichzeitigem Einsatz von zwei maschinellen Techniken nachweisen, dass die Zeitspanne zwischen dem Beginn der mittels Pedometer (Gyuhō™) erfassten erhöhten Laufaktivität und der Ovulation eng mit der

Zeitspanne zwischen dem mittels eines elektronischen Aufsprungdetektors (Hatsujyo-Pitary™) festgestellten Duldungsbeginn und der Ovulation korreliert ($r = 0,89$). Ein ähnliches Ergebnis berichten Stevenson et al. (2014). Die Autoren analysierten den Zeitabstand der Ovulation von dem Beginn der mittels Respektoren (SelectDetect™) festgestellten erhöhten Aktivität sowie von dem mit Hilfe von elektronischen Aufsprungdetektoren (HeatWatch™) identifizierten Duldungsbeginn. Zwischen den beiden Zeitspannen besteht eine enge Korrelation von $r = 0,72$.

Tab. 6: Literaturangaben zu dem zeitlichen Verhältnis zwischen kennzeichnenden Zeitabschnitten der Brunst und der Ovulation
 Angegeben sind Mittelwerte \pm Standardabweichung und/oder Minimum und Maximum.

Intervall Brunstbeginn-Ovulation (h)	Untersuchungsmethode zur Brunstkontrolle	Kontrolle des Ovulationszeitpunktes	Autoren
27,9 – 33,2 ¹	visuell, kontinuierlich Brunstbeginn: erste Duldung	rektale Palpation in 2h-Intervallen bis zur Ovulation, beginnend 24 h nach Brunstfeststellung	Randel et al. (1973)
31,3 \pm 0,6 ¹	kontinuierlich mit Bullen Brunstbeginn: erste Duldung	Laparoskopie, ein- bzw. zweimalig in dem Zeitraum zwischen 26 und 36 h nach Brunstbeginn	Christenson et al. (1975)
24,3 ² /30,0 ³ \pm 3,2	visuell, kontinuierlich Brunstbeginn: erste Duldung	Ultraschall alle 2 h	Rajamahendran et al. (1989)
27,6 \pm 5,4	elektronischer Aufsprungdetektor (HeatWatch™) Brunstbeginn: erste vom System registrierte Duldung	Ultraschall 12 h, 20 h und 24 h nach erstem Aufsprung, anschließend in 2h-Intervallen bis zur Ovulation	Walker et al. (1996)
24,2 \pm 3,9	elektronischer Aufsprungdetektor (HeatWatch™) Brunstbeginn: erste vom System registrierte Duldung	Ultraschall einmal täglich um 12:00 Uhr bis zur Ovulation	Lopez et al. (2002)
31,1 \pm 0,6 (21,5 – 42,8) ¹	elektronischer Aufsprungdetektor (HeatWatch™) Brunstbeginn: Erstes von mindestens zwei vom System registrierten Duldungsereignissen innerhalb einer 4h-Periode	Ultraschall in 4h-Intervallen bis zur Ovulation, beginnend 16 h nach Brunstbeginn	White et al. (2002)
38,5 \pm 3,0 (28 – 61) ⁴	visuelle Brunstkontrolle in 4h-Intervallen Brunstbeginn: erste Duldung	Ultraschall in 4h-Intervallen ab Brunstbeginn	Saumande und Humblot (2005)

LITERATUR

29,3 ± 3,9 (22 – 39)	Pedometer, Messwerte im 2h-Takt Brunstbeginn: Überschreitung der Aktivität des Referenzzeitraums um einen festgelegten Grenzwert	Ultraschall in 3h-Intervallen, beginnend zwischen 8 – 11 h nach Ende der visuell mittels Scoringssystem bestimmten Brunst	Roelofs et al. (2005a)
28,6 ± 0,6 (22 bis > 50)	visuell, kontinuierlich (24 h) durch 2 Personen Brunstbeginn: erste Duldung	Ultraschall in 4h-Intervallen, beginnend 20 h nach Brunstbeginn bis 50 h nach Brunstbeginn	Bloch et al. (2006)
33,4 ± 12,4 (≤ 0 bis > 60)	Respaktor (Rescounter II™), Messwerte im 2h -Takt Brunstbeginn: Überschreitung der Aktivität des Referenzzeitraums um einen festgelegten Grenzwert	Ultraschall in 12h-Intervallen, beginnend mit der Besamung	Hockey et al. (2010a)
28,7 ± 8,1	Respaktor (Heatime™), Messwerte im 2h-Takt Brunstbeginn: erste 2h-Periode eines vom Programm detektierten Brunstereignisses	Ultraschall in 8h-Intervallen, beginnend 48 h nach der zur Auslösung der Luteolyse durchgeführten Injektion von PGF _{2α} bis 96 h nach der Injektion	Valenza et al. (2012)
26,4 ± 0,7	elektronischer Aufsprungdetektor (HeatWatch™) Brunstbeginn: erste vom System registrierte Duldung	Ultraschall in 3h-Intervallen, beginnend 14,5 ± 0,5 h nach dem mittels eines elektronischen Aufsprungdetektors und/oder Respaktors ermittelten Brunstbeginn	Stevenson et al. (2014)
24,6 ± 0,7	Respaktor (Select Detect™) Brunstbeginn: erste, vom System gezeigte Überschreitung eines Aktivitätsschwellenwertes	Ultraschall in 3h-Intervallen, beginnend 14,5 ± 0,5 h nach dem mittels eines elektronischen Aufsprungdetektors und/oder Respaktors ermittelten Brunstbeginn	Stevenson et al. (2014)

Intervall Brunstende- Ovulation

11,1	Ermittlung des Brunstbeginns 3 x täglich mit Teaser-Kühen, anschließend Brunstkontrolle alle 4 h Brunstende: erste 4h-Periode ohne Duldung	rektale Palpation in 4 h-Intervallen, beginnend mit Brunstende, in Einzelfällen auch vor Brunstende	Aschbacher et al. (1956)
12,4	visuelle Brunstüberwachung 4 x täglich; Bestimmung Brunstzeitraum: mittels Punktesystem (Duldung nicht zwingend erforderlich)	Palpation in 6h-Intervallen bis Ovulation, beginnend ab der Besamung	Hall et al. (1959)
-8,3 – 30,1 ¹	Brunstüberwachung mittels eines elektronischen Aufsprungdetektors (HeatWatch™) Brunstende: letztes vom System ermitteltes Duldungsereignis	Ultraschall in 4h-Intervallen bis Ovulation, beginnend 16 h nach Brunstbeginn	White et al. (2002)
19,4 ± 4,4 (12 – 35)	Brunstüberwachung mittels Pedometer im 2h-Takt Brunstende: letzter Zeitabschnitt, in dem die Aktivität des Referenzzeitraums um einen festgelegten Grenzwert überschritten wurde	Ultraschall in 3h-Intervallen, beginnend zwischen 8 – 11 h nach Ende der visuell mittels Scoringssystem bestimmten Brunst	Roelofs et al. (2005a)
17,3 ± 12,8 (≤ 0 bis > 60)	Brunstüberwachung mittels Respaktor (Rescounter II™) im 2h-Takt Brunstende: letzter Zeitabschnitt, in dem die Aktivität des Referenzzeitraums um einen festgelegten Grenzwert überschritten wurde	Ultraschall in 12h-Intervallen, beginnend mit der Besamung	Hockey et al. (2010a)

LITERATUR

21,0 ± 0,9	Brunstüberwachung mittels eines elektronischen Aufsprungdetektors (HeatWatch™) Brunstende: letzte vom System registrierte Duldung	Ultraschall in 3h-Intervallen, beginnend 14,5 ± 0,5 h nach dem mittels eines elektronischen Aufsprungdetektors und/oder Respektors ermittelten Brunstbeginn	Stevenson et al. (2014)
13,2 ± 0,9	Brunstüberwachung mittels Respektor (Select Detect™) Brunstende: vom System ermitteltes Ende der Überschreitung eines Aktivitätsschwellenwertes	Ultraschall in 3h-Intervallen, beginnend 14,5 ± 0,5 h nach dem mittels eines elektronischen Aufsprungdetektors und/oder Respektors ermittelten Brunstbeginn	Stevenson et al. (2014)
Intervall Aktivitätspeak – Ovulation			
20,4 ± 7,8 ⁵	Brunstüberwachung mittels Respektor (Heatime™)	Ultraschall in 8h-Intervallen, beginnend 48 h nach der	Valenza et al. (2012)
16,4 ± 7,4 ⁶	Aktivitätspeak: vom System ermittelter Maximalwert der Rohaktivität bzw. der gewichteten Aktivität	zur Auslösung der Luteolyse durchgeführten Injektion von PGF2α bis 96 h nach der Injektion	
19,8 ± 0,7	Brunstüberwachung mittels Respektor (Select Detect™) Aktivitätspeak: vom System ermittelter Maximalwert der über einem Schwellenwert liegenden Aktivität	Ultraschall in 3h-Intervallen, beginnend 14,5 ± 0,5 h nach dem mittels eines elektronischen Aufsprungdetektors und/oder Respektors ermittelten Brunstbeginn	Stevenson et al. (2014)

¹ Fleischrinder

² bipare Kühe

³ pluripare Kühe

⁴ Färsen

⁵ Aktivitätspeak ermittelt aus Rohaktivität

⁶ Aktivitätspeak ermittelt aus gewichteter Aktivität

2.3.2.1 Optimaler Besamungszeitpunkt bei visueller Brunstkontrolle

Wissenschaftliche Untersuchungen zum optimalen Besamungszeitpunkt in Relation zu verschiedenen Stadien der Brunst werden seit etwa 100 Jahren durchgeführt. Bereits 1918 wurde empfohlen, die Besamung 10 bis 24 Stunden nach Brunstbeginn durchzuführen (Nebel 1998). Im Jahr 1943 führten Trimberger und Davis (zitiert nach Nebel et al. (2000)) Untersuchungen zur Konzeptionsrate in Abhängigkeit vom Besamungszeitpunkt in der Brunst bei Milchkühen durch. Dazu wurden die Tiere dreimal täglich auf Brunstsymptome überprüft und nach Brunstfeststellung im 2h-Takt beobachtet, um das Brunstende zu bestimmen. Die Besamungen wurden mit frischem Sperma, welches in der Cervix abgelegt wurde, durchgeführt. Die höchsten Konzeptionsraten wurden bei Besamungen erzielt, die in der Mitte bzw. am Ende der Duldungsphase (stehende Brunst) stattfanden. Im Zusammenhang mit einer zweiten Studie zur Brunstdauer und zum Besamungserfolg in Abhängigkeit vom Ovulationszeitpunkt (s. Kap. 2.3.2) schlug Trimberger bereits im Jahr 1948 eine noch heute in der Praxis weit verbreitete Vorgehensweise zur Terminierung der künstlichen Besamung vor. Die auch als „Morgens-Abends-Regel“ bekannte Methode besagt, dass Kühe, die morgens Brunstsymptome zeigen, am Nachmittag des gleichen Tages besamt werden sollen. Kühe, die nachmittags als brünstig erkannt werden, stehen am nächsten Morgen zur Besamung an (Nebel et al. 2000). Foote (1979), Nebel et al. (1994) und Graves et al. (1997) plädieren dagegen aus Effizienzgründen für lediglich eine fixe Besamungszeit am Tag. Sie konnten keine signifikanten Unterschiede in den ausgewerteten Fruchtbarkeitskennzahlen (Nonreturn-Rate bzw. Trächtigkeitsrate) zwischen den Tieren, die nach der Morgens-Abends-Regel besamt wurden, und den Tieren mit lediglich einem fixen täglichen Besamungszeitpunkt feststellen. Dabei empfehlen die vorgenannten Autoren übereinstimmend, die tägliche Besamungsroutine in den Vormittagsstunden durchzuführen. Allerdings merken Nebel et al. (1994) an, dass bei kontinuierlicher Brunstüberwachung in Zeitabständen von maximal vier Stunden eine Besamung innerhalb der ersten Stunden nach Brunstfeststellung vermieden werden sollte. Diese Empfehlung wird unterstützt durch Beobachtungen von Graves et al. (1997). Danach weisen Kühe, die morgens erstmalig als brünstig erkannt und am gleichen Morgen besamt werden, geringere Konzeptionsraten auf als später besamte Tiere.

Neben Studien zur Evaluierung der Morgens-Abends-Regel wurden in der Vergangenheit auch zahlreiche Untersuchungen zur engeren zeitlichen Eingrenzung des optimalen Besamungszeitpunktes durchgeführt. Die Ergebnisse variieren teilweise deutlich.

Nach Barrett und Casida (1946) werden mit 53,5 % bis 55,8 % die höchsten Konzeptionsraten erreicht, wenn zwischen Brunstbeginn und Besamung mindestens 3 Stunden, aber weniger als 20 Stunden liegen.

Nach Hall et al. (1959) ist die Konzeptionsrate für Besamungen, die 7 bis 12 Stunden nach Brunstfeststellung erfolgen, am höchsten. Bei dieser Untersuchung wurden die Tiere viermal täglich im Abstand von jeweils sechs Stunden auf Brunstsymptome überprüft.

Robbins et al. (1978) führten eine Studie zum optimalen Besamungszeitpunkt bei Fleischrindern durch. Die Brunstbeobachtung zur Feststellung des Duldungsbeginns erfolgte vom Morgenrauen bis zum Mittag und vom Nachmittag bis zum Einbruch der Dunkelheit. Anhand von 2.091 Besamungen entwickelten die Autoren ein mathematisches Modell zur Vorhersage des Besamungsergebnisses. Nach diesem Modell wird die höchste Abkalberate erreicht, wenn die künstliche Besamung 20 bis 21 Stunden nach Brunstbeginn erfolgt. Unter Praxisbedingungen empfehlen die Autoren, die Besamung in der Zeitspanne zwischen 16 bis 25 Stunden nach Brunstbeginn durchzuführen.

Sachsenröder (1984) untersuchte bei Milchkühen die Trächtigkeitsrate in Abhängigkeit vom Zeitintervall zwischen Brunstbeginn und Besamung anhand von 1.146 Inseminationen. Die Brunstbeobachtung erfolgte durchgängig in der Zeit von 07:00 bis 15:00 Uhr und von 19:00 bis 3:00 Uhr. In diesem Zeitraum wurde die erstmalige Beobachtung von Brunstsymptomen notiert. Zur Brunstfeststellung wurden sowohl verhaltensbedingte als auch physiologische Brunstmerkmale (Farbe und Feuchtigkeit der Scheidenschleimhaut, Öffnungsgrad der Cervix) herangezogen. Der Autor hält aufgrund der Ergebnisse eine Besamung innerhalb von 4 bis 20 Stunden nach Brunstbeginn als vertretbar.

Gwazdauskas et al. (1986) können im Gegensatz zu den vorgenannten Ergebnissen bei der Besamung von Milchkühen innerhalb von 0 bis 24 Stunden nach Brunstfeststellung keinen signifikanten Einfluss des Intervalls zwischen Brunstbeginn und Besamung auf das Konzeptionsergebnis feststellen.

Rankin et al. (1992) führten bei Färsen eine Studie zum Einfluss der Zeitspanne zwischen erstmaliger Brunstfeststellung und Besamung durch. Die Brunstbeobachtung wurde zu 90 % täglich zwischen 7:00 Uhr und 16:00 Uhr durchgeführt. In diesem Zeitraum wurde das

erstmalige Auftreten von Brunstsymptomen notiert. Dabei wurden Duldung, verstärkte Vokalisation und Aufsprungversuche als Brunstanzeichen gewertet. Nach den Autoren liegt der Erfolg von Erstbesamungen innerhalb von 13,5 Stunden nach Brunstfeststellung signifikant höher im Vergleich zu Besamungen innerhalb von 13,5 bis 33 Stunden nach Brunstbeginn.

Nebel et al. (1994) analysierten 7.240 Besamungen in 166 Holstein-Herden. Der Zeitpunkt der erstmaligen Brunstfeststellung und die verhaltensbedingten oder physiologischen Brunstsymptome wurden von dem jeweiligen Milchproduzenten erfasst. Nach Angaben der Autoren werden die höchsten 75-d-Nonreturn-Raten für Besamungen innerhalb der ersten 12 Stunden nach Brunstfeststellung erzielt.

Miah et al. (2004) untersuchten den Einfluss des Besamungszeitpunktes bei Erstbesamungen auf die Konzeptionsrate anhand von 983 Tieren lokaler Rinderrassen (*Bos indicus*) und Kreuzungstieren (*Bos indicus* x *Bos taurus*). Die Entscheidung über die Besamungswürdigkeit wurde von erfahrenen Besamungstechnikern anhand verschiedener Brunstsymptome gefällt. Die Tiere wurden innerhalb eines Zeitraums von 8 bis 24 Stunden nach Brunstfeststellung besamt. Auf Basis der Ergebnisse empfehlen die Autoren, die künstliche Besamung innerhalb von 11 bis 14 Stunden nach Brunstbeginn durchzuführen.

Für eine Auswahl der vorstehend aufgeführten Arbeiten gibt Tab. 7 eine detaillierte Übersicht über die untersuchten Zeitintervalle und die dazu publizierten Fruchtbarkeitskennzahlen.

Tab. 7: Literaturangaben zum Besamungserfolg in Abhängigkeit vom Zeitabstand zwischen Brunstfeststellung und Besamung bei visueller Brunsterkennung

Zeitabstand (h) Brunstfeststellung – Besamung	Fruchtbarkeitskennzahl		Anzahl der Besamungen	Autoren
0 – 6	Konzeptionsrate	20	10	Hall et al. (1959)
7 – 12	in %	55	118	
13 – 18		46	176	
19 – 24		38	113	
0 – 4	Konzeptionsrate	50,5	374	Gwazdauskas et al.
4 – 8	in %	51,4	1.186	(1986)
8 – 12		48,4	527	
12 – 16		42,7	75	
16 – 20		57,3	267	
20 – 24		42,9	28	
0 – 4	Konzeptionsrate	46,6	131	Sachsenröder (1984)
> 4 – 8	in %	72,5	142	
> 8 – 12		69,4	147	
> 12 – 16		75,6	356	
> 16 – 20		81,4	102	
> 20 – 24		64,8	108	
> 24		49,4	160	
0 – 6	Nonreturn-Rate 75	59,9	1.126	Nebel et al. (1994)
6 – 12	in %	60,7	2.352	
12 – 18		55,5	2.455	
18 – 24		53,4	962	
24 – 30		49,6	99	

Als problematisch bei der Festlegung des optimalen Besamungszeitpunktes bei ausschließlich visueller Brunsterkennung erweist sich einerseits die genaue zeitliche Bestimmung des Brunstbeginns. Brunstbeginn und Zeitpunkt der erstmaligen Brunstfeststellung werden als identisch betrachtet. Da bei der ausschließlich visuellen Brunstüberwachung in der Regel jedoch keine kontinuierliche Überprüfung des Tierbestandes auf Brunstsymptome gewährleistet ist, stimmen der Zeitpunkt des tatsächlichen Östrusbeginns und der Zeitpunkt

der erstmaligen Brunstfeststellung häufig nicht überein (Busch et al. 1991). So lässt eine lediglich zweimal täglich durchgeführte Brunstkontrolle theoretisch Schwankungen zwischen dem tatsächlichen Brunstbeginn und der Brunstfeststellung von etwa 12 Stunden zu (Sachsenröder 1984). Zusätzlich wird die exakte Bestimmung des Brunstbeginns dadurch erschwert, dass die Brunstsymptome häufig in den Nachtstunden (Hall et al. 1959) und zu Zeiten, in denen die Stallarbeit ruht (Rao et al. 2013), einsetzen. Andererseits können auch kurze Brunstperioden, schwache Brunstanzeichen, ungünstige Bedingungen für die Tierbeobachtung und Mängel in der Motivation und Qualifikation des Beobachtungspersonals zur Wahl eines falschen Besamungszeitpunktes führen (Holtz und Meinhardt 1993).

2.3.2.2 Optimaler Besamungszeitpunkt bei automatischer Brunsterkennung

Im Gegensatz zur visuellen Brunstüberwachung gewährleisten automatische Systeme zur Brunsterkennung eine kontinuierliche Überprüfung der Tiere auf verhaltensbedingte Brunstsymptome. Die Erfassung der Brunstanzeichen erfolgt dabei systemindividuell, wobei Unterschiede einerseits in der Art der registrierten Brunstsymptome und andererseits in den verwendeten Algorithmen zur Ermittlung der Brunstaktivität bestehen. Eine Empfehlung zur Terminierung der Besamung muss daher immer im Zusammenhang mit der eingesetzten Technik und der Methode zur Auswertung der Messwerte gesehen werden (Nebel 2014).

Maatje et al. (1997) untersuchten mit Hilfe von Pedometertechnik anhand von 171 Besamungen den optimalen Besamungszeitpunkt. In die Analyse wurden ausschließlich Kühe einbezogen, die auch visuelle Brunstsymptome zeigten. Die Erfassung der Pedometeraktivität erfolgte im 2h-Takt. Als Östrusbeginn definierten die Autoren das 2h-Intervall, in dem der Mittelwert der Aktivität des aktuellen 12h-Zeitintervalls mindestens doppelt so hoch war wie die mittlere Aktivität für den vergleichbaren Zeitabschnitt der letzten zwei Tage. Aus dem anhand der erhobenen Daten entwickelten mathematischen Modell zur Kalkulation der Konzeptionsrate leiten Maatje et al. (1997) eine Empfehlung für den idealen Besamungszeitraum ab. Danach sollte die Besamung in der Zeitspanne zwischen 6 und 17 Stunden nach Brunstbeginn erfolgen. Das vom Modell ermittelte Optimum für den Zeitpunkt der Sameneinführung liegt bei 11,8 Stunden nach Brunstbeginn.

Dransfield et al. (1998) werteten 2.661 Besamungen in 17 Milchviehherden aus. Die Brunstüberwachung erfolgte kontinuierlich mit Hilfe von elektronischen Aufsprung-

detektoren (HeatWatch™), welche die Häufigkeit und die Dauer von Duldungsereignissen registrieren. Nach Angaben der Autoren werden mit diesem System die höchsten Konzeptionsraten für Besamungen in der Zeitspanne zwischen vier und zwölf Stunden nach der ersten Duldung erzielt. Xu et al. (1998) kommen bei Nutzung der gleichen Technik zu anderen Ergebnissen. Die Autoren untersuchten den Zeitabstand zwischen Duldungsbeginn und Insemination in 107 Zyklen. Aufgrund der ermittelten Konzeptionsraten empfehlen sie, die Besamung innerhalb von 12 bis 18 Stunden nach der ersten Duldung durchzuführen.

Elektronische Aufsprungdetektoren (HeatWatch™) wurden ebenfalls von Dalton et al. (2001) genutzt. Sie analysierten Fertilisationsrate und Embryoqualität anhand von 154 Besamungen, aus welchen 117 Embryos bzw. Eizellen gewonnen werden konnten. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass mit zunehmendem zeitlichen Abstand zwischen Duldungsbeginn und Besamung (0 h, 12 h, 24 h) zwar höhere Fertilisationsraten (66 %, 74 %, 82 %) erreicht werden, jedoch die Embryoqualität abnimmt. Nach Ansicht der Autoren stellt eine künstliche Besamung zwölf Stunden nach der ersten Duldung den besten Kompromiss zwischen Fertilisationsrate und Embryoqualität dar.

Wangler et al. (2005) werteten in einer Milchkuhherde 178 Besamungen hinsichtlich des Besamungserfolges in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand der Besamung vom Aktivitätspeak aus. Die Bewegungsaktivität der Tiere wurde in dieser Untersuchung anhand eines Respektorsystems der Firma DeLaval im Stundentakt erfasst. Erfolgreiche Besamungen fanden in der Zeitspanne von 2.000 Minuten vor dem Peak bis 1.900 Minuten nach dem Peak statt, wobei tendenziell die besten Trächtigkeitsergebnisse erzielt wurden, wenn die Insemination sechs bis acht Stunden nach dem Aktivitätspeak erfolgte. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse leiten die Autoren ab, dass der Zeitpunkt der höchsten Aktivität zur Brunst tierindividuell sehr unterschiedlich ist. Eine Besamung vor dem Aktivitätspeak wird jedoch aufgrund des signifikant niedrigeren Konzeptionsergebnisses nicht empfohlen.

Bar (2010) nutzte Respektoren der Firma SCR (Heatime™) zur Ermittlung des optimalen Besamungszeitpunktes. Er untersuchte anhand der Daten von drei israelischen Milchviehbetrieben (400 bis 800 Kühe pro Betrieb) und einem im Bundesstaat Texas (USA) gelegenen Betrieb (> 8.000 Kühe) die Konzeptionsrate in Abhängigkeit vom Zeitabstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak. Für die Auswertung nutzte der Autor den von der Software ermittelten, gewichteten Aktivitätspeak, welcher die Abweichung der aktuellen Aktivität von der durchschnittlichen Aktivität der letzten sieben Tage angibt. Die Ergebnisse

zeigen, dass innerhalb einer Zeitspanne von 8 Stunden vor dem Peak bis 36 Stunden nach dem Peak Kühe trächtig werden, wobei Besamungen in den ersten 16 Stunden nach dem Peak am erfolgreichsten sind. Von einer Besamung vor dem Aktivitätspeak wird aufgrund der deutlich niedrigeren Konzeptionsraten abgeraten. Der Autor weist jedoch auch darauf hin, dass der optimale Besamungszeitraum betrieblichen Einflüssen unterliegt.

Hockey et al. (2010b) setzten zur Evaluierung des günstigsten Besamungszeitpunktes die Respektortechnik Rescounter II™ (Westfalia-Surge) ein. Als Brunstbeginn legten sie die Überschreitung eines definierten Grenzwertes, ermittelt aus der tierindividuellen Aktivität der vergangenen zehn Tage, fest. Auf Basis des festgestellten Konzeptionserfolges schließen die Autoren, dass die Besamung idealerweise innerhalb von 24 bis 40 Stunden nach dem Beginn der Aktivitätserhöhung erfolgen sollte.

Stevenson et al. (2014) analysierten in einer großen Feldstudie 4.019 Besamungen in insgesamt 19 Herden in acht Bundesstaaten der USA. Die Brunsterkennung erfolgte mit dem SelectDetect™-System (Respektortechnik). Als Brunstbeginn wurde die Überschreitung eines vom Programm ermittelten Grenzwertes für die erhöhte Aktivität festgelegt. Die mittels logistischer Regression berechnete Konzeptionswahrscheinlichkeit unterscheidet sich für primipare und multipare Kühe. Primipare Kühe haben danach die besten Konzeptionschancen bei einer Besamung innerhalb von 13 bis 16 Stunden nach Brunstbeginn. Für multipare Kühe sind die Konzeptionsaussichten am größten, wenn die Besamung innerhalb der ersten 12 Stunden nach Brunstbeginn erfolgt.

Bei gesextem Sperma verschiebt sich nach Sa Filho et al. (2010) der optimale Besamungszeitraum. Die Autoren analysierten 638 Besamungen mit gesextem Sperma bei Jersey-Färsen. Die Brunstfeststellung erfolgte dabei mittels eines elektronischen Aufsprungdetektors (HeatWatch™). Die Besamungen wurden innerhalb einer Zeitspanne von 12 bis 30 Stunden nach Brunstbeginn durchgeführt. Nach dieser Studie bestehen für Besamungen innerhalb von 16 bis 24 Stunden nach Brunstbeginn signifikant höhere Konzeptionschancen im Vergleich zu Besamungen innerhalb von 12 bis 16 Stunden nach Brunstbeginn. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Bombardelli et al. (2014). Als optimale Zeitspanne für die Durchführung der künstlichen Besamung mit gesextem Sperma geben die Autoren die Zeitspanne von 20 bis 28 Stunden nach Brunstbeginn an, wenn die Brunstfeststellung anhand eines automatischen Aktivitätsmesssystems erfolgt.

Die Empfehlungen der im Text vorgestellten Studien zum optimalen Besamungszeitraum bei maschineller Brunstüberwachung sind in Tab. 8 zusammengefasst.

Tab. 8: Literaturangaben zum optimalen Besamungszeitraum bei maschineller Brunstüberwachung

Technik zur Brunstfeststellung	Bezugszeitpunkt	optimaler Besamungszeitraum nach dem Bezugszeitpunkt in h	Autoren
Pedometer	Beginn Aktivitätserhöhung	6 – 17	Maatje et al. (1997)
Aufsprungdetektor	Duldungsbeginn	4 – 12	Dransfield et al. (1998)
Aufsprungdetektor	Duldungsbeginn	12 – 18	Xu et al. (1998)
Aufsprungdetektor	Duldungsbeginn	12	Dalton et al. (2001)
Aufsprungdetektor	Duldungsbeginn	16 – 24 ¹	Sa Filho et al. (2010)
Respaktor	Aktivitätspeak	6 – 8	Wangler et al. (2005)
Respaktor	Aktivitätspeak	0 – 16	Bar (2010)
Respaktor	Beginn Aktivitätserhöhung	24 – 40	Hockey et al. (2010b)
Respaktor	Beginn Aktivitätserhöhung	13 – 16 ² 0 – 12 ³	Stevenson et al. (2014)
Respaktor	Beginn Aktivitätserhöhung	20 – 28 ¹	Bombardelli et al. (2014)

¹gesextes Sperma

²primipare Kühe

³multipare Kühe

2.3.2.3 Weitere Faktoren mit Einfluss auf den optimalen Besamungszeitpunkt

Neben der Methode der Brunstfeststellung beeinflussen weitere Faktoren den optimalen Besamungszeitpunkt. In verschiedenen Arbeiten konnte ein Zusammenhang zwischen der Brunstdauer und dem zeitlichen Abstand der Ovulation vom Brunstbeginn nachgewiesen werden. Je länger die Brunstsymptome anhalten, umso größer wird die Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Ovulation (Walker et al. 1996; Mondal et al. 2006a; Valenza et al. 2012). Walker et al. (1996) vermuten hinter dieser Beobachtung einen zu niedrigen Östradiolwert in einem frühen Stadium der Brunst, welcher zwar Brunstverhalten auslöst, aber die Stimulation des LH-Peaks beeinträchtigt. Diese Vermutung wird unterstützt durch Untersuchungen von Bloch et al. (2006). Die Autoren beschreiben für Kühe mit niedrigen

Östradiolwerten einen größeren Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und LH-Peak in Verbindung mit einem größeren Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Ovulation.

Erschwerend für die Wahl des Besamungszeitpunktes wirken sich auch verzögerte Ovulationen aus. Nach Grunert (1999a) liegt eine verzögerte Ovulation dann vor, wenn diese mindestens einen Tag nach Ende der Deckbereitschaft stattfindet. Als Ursachen zählt der Autor Fütterungsfehler und damit verbundene Nährstoffmängel, besonders niedrige Wintertemperaturen, photoperiodische Einflüsse sowie chronische Krankheiten und ein hohes Alter der Tiere auf. Die Angaben für die Inzidenz von verzögerten Ovulationen sind in der Literatur breit gefächert und reichen von 16,3 % (Sachsenröder 1984) bis zu 46,1 % (Sarmiento 2004). Als Definition für eine verzögerte Ovulation diente in den zitierten Studien jeweils die Persistenz eines anlässlich der Insemination festgestellten Follikels über die folgenden 24 Stunden. Allerdings wird bei dieser Definition die Häufigkeit dieses Phänomens möglicherweise überschätzt. Das gilt insbesondere für Besamungen, die in einem sehr frühen Stadium der Brunst durchgeführt werden (Sarmiento 2004).

Einen Einfluss klimatischer Bedingungen auf den günstigsten Zeitpunkt für die künstliche Besamung vermuten Fenton und Martinez (1980) aufgrund von Untersuchungen in zwei Klimazonen in Venezuela. Bei zweimal täglich durchgeführter Brunstkontrolle fanden die Autoren unter tropischen Klimabedingungen keinen signifikanten Unterschied in der Konzeptionsrate, wenn die Besamungen entweder direkt nach Brunstfeststellung oder zwölf Stunden später erfolgten. Dagegen erreichten unter gemäßigten Klimabedingungen Besamungen, die zwölf Stunden nach Brunstfeststellung durchgeführt wurden, signifikant höhere Konzeptionsraten im Vergleich zu Besamungen zum Zeitpunkt der erstmaligen Feststellung von Brunstsymptomen.

Broadway et al. (1975) beschreiben einen Einfluss der Jahreszeit auf den idealen Besamungszeitpunkt. Nach den Autoren unterscheidet sich die Embryomortalität in Abhängigkeit vom Besamungszeitpunkt zwischen der kalten und der warmen Jahreszeit. Die in Texas durchgeführten Untersuchungen führten in der warmen Jahreszeit zu einer signifikant niedrigeren Embryomortalität für Besamungen direkt nach Brunstfeststellung gegenüber Besamungen, die nach der Morgens-Abends-Regel durchgeführt wurden. In der kalten Jahreszeit waren diese Unterschiede deutlich geringer.

Auch die Tageszeit der Besamung beeinflusst das Konzeptionsergebnis. Nach Nebel et al. (1994) werden tendenziell die höchsten Nonreturn-Raten erzielt, wenn die Insemination

zwischen 08:00 Uhr und 11:00 Uhr vormittags durchgeführt wird. Gwazdauskas et al. (1986) stellten die höchsten Konzeptionsraten bei Besamungen zwischen 12:00 und 14:00 Uhr fest, ohne dieses Ergebnis statistisch absichern zu können. Fenton und Martinez (1980) beschreiben eine signifikante Wechselwirkung zwischen der Tageszeit der Besamung und dem zeitlichen Abstand der Besamung vom Brunstbeginn. Danach erreichen sofort nach Brunstfeststellung besamte Tiere eine signifikant höhere Konzeptionsrate bei einer Besamung am Vormittag, während Kühe, die zwölf Stunden nach Brunstbeginn besamt werden, bei einer Besamung am Nachmittag eine signifikant höhere Konzeptionsrate erzielen. Nach Gwazdauskas et al. (1981) bestehen dagegen für Kühe, die am Vormittag besamt werden, keinen signifikanten Unterschiede zu am Nachmittag besamten Tieren. Nach Busch et al. (1991) sind erhebliche Schwankungen des Konzeptionsergebnisses im Tagesverlauf zum Teil auf die Arbeitsroutine zurückzuführen. So ist ein deutlicher Abfall der Besamungsergebnisse zu beobachten, wenn die Inseminationen während der allgemeinen Stallarbeitszeit durchgeführt werden.

Eine nicht zu unterschätzende Rolle mit Einfluss auf den günstigsten Besamungszeitpunkt spielt auch die Fruchtbarkeit der Besamungsbullen. Diese unterliegt zu einem großen Teil umweltbedingten Einflüssen, wobei sich insbesondere Stallklima und Fütterung auf die Spermio-genese auswirken. Zu hohe Temperaturen, ungenügende Futterqualitäten und plötzliche Futterwechsel führen zu einer deutlichen Qualitätsminderung des Ejakulates (Busch et al. 1991). Zum anderen ist die Fertilität der Bullen genetisch bedingt, wobei die Heritabilitäten für Fruchtbarkeitsmerkmale im allgemeinen eher gering sind und nur bei ausreichend großen Nachkommengruppen mit hinreichender Sicherheit bestimmt werden können (Brem und Kräusslich 1999; Fürst-Waltl und Gredler 2006). Die Bedeutung der Bullenfruchtbarkeit für die Wahl des Besamungszeitpunktes verdeutlicht eine Studie von MacMillan und Watson (1975). Die Autoren untersuchten die Konzeptionsraten für Bullen mit unterschiedlichem Fertilitätsstatus in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Insemination. Wurden die Besamungen nach dem Abklingen der Brunstsymptome (*post oestrus*), und damit näher am Ovulationszeitpunkt durchgeführt, waren lediglich marginale Unterschiede in den Konzeptionsraten festzustellen. Die Konzeptionsrate lag für Bullen mit überdurchschnittlicher Fruchtbarkeit bei 73,3 %, für Bullen mit durchschnittlicher Fruchtbarkeit bei 71,1 % und mit Tiere mit unterdurchschnittlicher Fruchtbarkeit bei 73,8 %. Deutliche Unterschiede zwischen den drei Gruppen ergaben sich bei Besamungen im frühen

Brunststadium. Die überdurchschnittlich fruchtbaren Bullen erreichten hier eine Konzeptionsrate von 74,3 %, während für die anderen beiden Gruppen lediglich Konzeptionsraten von 62,7 % (durchschnittliche Fruchtbarkeit) bzw. 58,4 % (Fruchtbarkeit unter Durchschnitt) festgestellt wurden. Diese Beobachtungen lassen darauf schließen, dass die fertile Lebensdauer der Spermien zwischen Bullen mit unterschiedlichem Fruchtbarkeitsstatus differiert.

Unabhängig von dem Vermögen des Bullen, ein qualitativ hochwertiges Ejakulat bereitzustellen, wird die Samenqualität von den weiteren Bearbeitungsschritten beeinflusst. Sowohl der Vorgang der Gewinnung als auch die Art der Aufbereitung des Ejakulates können sich diesbezüglich auswirken (Busch et al. 1991; Holt 2000; Rath et al. 2011). Im weiteren Verlauf sind insbesondere der korrekte Umgang in Bezug auf Aufbewahrung und Auftauvorgang des konfektionierten Spermas sowie die Handhabung der aufgetauten Besamungsportion bis zum Einbringen in die Kuh von großer Bedeutung. Fehler beim Handling führen zu Schäden, welche die fertile Lebensdauer der Spermien verkürzen (Stevenson 2013b).

2.4 Besonderheiten automatischer Melksysteme unter Aspekten des Tierverhaltens und des Herdenmanagements

In nennenswerten Stückzahlen werden automatische Melksysteme erst seit Mitte der 90-er Jahre eingesetzt (Wendl et al. 2001). Die ersten Systeme wurden im Jahr 1992 in kommerziell geführten Milchviehställen in den Niederlanden in Betrieb genommen. Seitdem hat die Verbreitung dieser Melktechnik weltweit stetig zugenommen. Ende des Jahres 2009 wurde die Robotertechnik bereits auf mehr als 8.000 Betrieben in über 25 verschiedenen Ländern verwendet (de Koning 2010). Nach Herstellerangaben werden in Deutschland zur Zeit bei Neuinvestitionen in etwa der Hälfte der Betriebe automatische Melksysteme mit durchschnittlich ca. 1,5 Melkboxen verkauft. Hauptanwender sind in vorrangig "klassische" Familienbetriebe, insbesondere im Süden und Westen Deutschlands. In anderen Regionen dominiert bei Neuinvestitionen eher das konventionelle Melken. Großbetriebe mit mehreren Hundert Milchkühen setzen bisher nur vereinzelt Robotertechnik ein (Wendl 2014).

Allerdings ersetzt ein automatisches Melksystem nicht nur die konventionelle Melkanlage und macht damit einen großen Teil der Handarbeit überflüssig. Die Technik hat umfangreiche Auswirkungen auf die gesamten, mit der Milchviehhaltung im Zusammenhang stehenden Arbeitsabläufe, die Arbeitsorganisation sowie das Herdenmanagement. Daneben wird das Tierverhalten deutlich beeinflusst (Wendl et al. 2001).

2.4.1 Aspekte des Tierverhaltens in automatischen Melksystemen

Das wichtigste Merkmal des Melkroboters mit Einfluss auf das Tierverhalten ist es, dass die Tiere laut Idealkonzept über 24 Stunden freien Zugang zum Melken haben. Sie müssen daher ihren Melkrhythmus nicht mehr den vom Betriebsablauf vorgegebenen Melkzeiten anpassen, sondern können diesen im Optimalfall selbst bestimmen (Römer et al. 2005). Dieser freie Zugang der Kuh zum Melksystem kann jedoch durch eine Steuerung der tierindividuellen Melkzeiten beschränkt sein. In der Regel ist der limitierende Faktor die Zwischenmelkzeit, die eine gewisse Mindestanforderung erfüllen muss, bevor ein Tier erneut zum Melken zugelassen wird. Softwarebedingt können zur Ermittlung eines tierindividuellen Melkanrechtes weitere Parameter berücksichtigt werden (Umstätter 2002).

Der Melkvorgang läuft bei den unterschiedlichen Robotersystemen in ähnlicher Weise ab. Betritt eine Kuh die Melkanlage, wird sie über einen Transponder am Halsband identifiziert und das Melkanrecht der Kuh wird überprüft. Dieses Melkanrecht kann vom Landwirt über

die Mindestzwischenmelkzeit oder die zu erwartende Mindestgemelkmenge kuhindividuell gesteuert werden. Liegt kein Melkanrecht vor oder ist das Melken beendet, öffnet sich die Melkbox und die Kuh verlässt die Box. Verlässt sie den Roboter nicht freiwillig, wird sie nach einer frei einstellbaren Zeit zum Verlassen der Box animiert. Bei Lely geschieht dieses durch sich über 60 Sekunden ständig verstärkende Stromimpulse. Beim VMS von DeLaval geht neben dem Ausgangs- auch das Eingangstor auf, so dass die nächste melkwillige Kuh die Box betreten und ihre Vorgängerin hinausdrängen kann. Besteht ein Melkanrecht, erfolgt der Melkprozess automatisch. Dazu wird beim Lely A3 die individuelle Position der Kuh mit Hilfe von im Wiegeboden integrierten Sensoren ermittelt, so dass die Kuh vollkommen frei steht. Der Melkarm passt sich durch laufende Positionsmessung den Kuhbewegungen an. Beim VMS von DeLaval wird die Bewegungsfreiheit der Kuh mittels beweglicher Futterschale und einer Kotplatte begrenzt. Anschließend wird das Euter gereinigt und die Vorgemelke werden entnommen und geprüft. Die Reinigungsdauer kann dabei kuhindividuell festgelegt werden. Beim VMS von DeLaval erfolgt sowohl die Reinigung der Euterviertel als auch die Gewinnung der Vorgemelke mit Hilfe eines zusätzlichen Melkbechers. Im Anschluss daran ergreift der hydraulisch gesteuerte Multifunktionsarm jeden einzelnen Melkbecher, setzt ihn an und fährt nach Fertigstellung des Ansetzvorgangs aus dem Melkbereich der Kuh heraus. Beim A3 von Lely werden zur Vorbereitung der Melkung zunächst jeweils zwei Euterviertel mit gegenläufig rotierenden Bürsten gereinigt. Anschließend werden alle vier im Ansetzarm integrierten Melkbecher lasergesteuert angesetzt und der Melkvorgang beginnt, wobei die erste Milch auf Abweichungen überprüft wird. Der Ansetzarm verbleibt während des gesamten Melkvorgangs unter der Kuh. Sowohl bei DeLaval als auch bei Lely stehen die während des Melkvorgangs viertelindividuell erfassten Daten wie Milchmenge, Melkdauer und elektrische Leitfähigkeit direkt am Roboter über einen Berührungsbildschirm und/oder über die Herdenmanagementsoftware zur Verfügung. Nach dem Melkenden und einem eventuellen Dippen/Besprühen der Zitzen kann jeder Melkroboter betriebsindividuelle Reinigungsvarianten durchführen, wobei mindestens eine Spülung des Melkzeuges mit Wasser notwendig ist (Harsch 2009).

Die Milchleistung in einem Roboter melk System wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Nach Voříšková et al. (2010) ist sie von der Rasse, der Betriebsstruktur (Eigentumsverhältnisse, Anzahl der Roboter im Betrieb), der Zahl der Kühe pro Roboter und der Melkhäufigkeit pro Tier und Tag abhängig. Die angestrebte Melkfrequenz von drei

Melkungen pro Tag (Köhn et al. 2007) kann bei einem Melkintervall von etwa acht Stunden im Vergleich zu zwei Melkungen am Tag mit einem Melkintervall von etwa zwölf Stunden zu einer Leistungssteigerung von circa 15 % führen (Lyons et al. 2014). Allerdings wird dieses Ziel im Herdendurchschnitt oft nicht erreicht (Köhn et al. 2007). So stellten Hogeveen et al. (2001) bei den meisten Kühen lediglich eine Melkfrequenz von 2 bis 2,5 Melkungen am Tag fest. Das durchschnittliche Melkintervall lag in dieser Untersuchung bei 9,2 Stunden. Römer et al. (2005) ermittelten eine Melkfrequenz von 2,4 bis 2,6 pro Kuh, was nicht zu einer Leistungssteigerung führte. Köhn et al. (2007) berechneten aus den Datensätzen von insgesamt zehn Praxisbetrieben eine mittlere Besuchsfrequenz von 2,85. Untersuchungen von Voříšková et al. (2010) auf sieben Betrieben mit gleichem Melkroboterfabrikat (Astronaut A3, Lely) ergaben mit 1,97 Melkungen als Minimum und 2,67 Melkungen als Maximum deutliche Betriebsunterschiede in der durchschnittlichen Melkhäufigkeit pro Tier und Tag. Trilk (2006) beschreibt, dass höhere Melkfrequenzen von 2,7 je Kuh und Tag, die in der Regel für eine Leistungssteigerung erforderlich sind, erst bei weniger als 55 Tieren je Melkeinheit erreichbar sind. Die häufig von Herstellern und Beratern genannten 60 Tiere pro Melkbox sind nach Ansicht des Autors daher nur dann zu empfehlen, wenn eine Melkfrequenz mit einem Wert von 2 bis 2,5 akzeptiert wird. Nach Untersuchungen von Sitkowska et al. (2015) ist eine Melkfrequenz von 2,6 bis 2,8 pro Tier und Tag optimal.

Neben der Melkfrequenz ist die Anzahl an Verweigerungen (Melkboxbesuche ohne Melkanrecht) ein Indiz für die Aktivität einer Herde. Hier ist ein Wert in Höhe von 50 % der Melkungen akzeptabel und erwünscht (Natrop et al. 2009). Untersuchungen von Stefanowska et al. (1999b) ergaben bei freiem Kuhverkehr eine mittlere Besuchshäufigkeit von $7,3 \pm 3,6$ pro Tier und Tag. In durchschnittlich $3,0 \pm 0,4$ Fällen erfolgte eine Melkung, durchschnittlich $3,0 \pm 2,4$ der Besuche waren ohne Melkanrecht. In den restlichen Fällen wurde keine Melkung aufgrund fehlerhafter Ansatzversuche oder technischer Störungen durchgeführt. In einer weiteren Studie ermittelten Stefanowska et al. (1999a) bei freiem Zugang zum AMS über 24 Stunden eine mittlere Besuchshäufigkeit von $6,0 \pm 2,8$ pro Tier und Tag. Die Zahl der Besuche, bei denen eine Melkung erfolgte, betrug $2,8 \pm 0,4$, die Zahl der Verweigerungen lag bei $2,5 \pm 2,0$ und die Anzahl misslungener Melkungen betrug $0,7 \pm 1,7$ pro Kuh und Tag. Wendl et al. (2001) ermittelten bei freiem Kuhverkehr im Durchschnitt 0,6 zusätzliche Besuche der Melkbox bei 2,3 Melkungen am Tag. Nach Untersuchungen von Schön et al. (1997) ist die Anzahl der Roboterbesuche ohne Melkanrecht tierindividuell sehr

unterschiedlich und schwankt zwischen null und über zehn. Nach Voříšková et al. (2010) bestehen auch zwischen einzelnen Betrieben signifikante Unterschiede in der durchschnittlichen Anzahl der Verweigerungen pro Tier und Tag. Sie geben diese mit 0,72 im Minimum und 3,66 im Maximum an. Auch das Verhältnis von Melkungen zu Verweigerungen gestaltet sich nach Feststellung der Autoren betriebsindividuell. Bei zwei Betrieben beobachteten sie durchschnittlich mehr Verweigerungen als Melkungen pro Tier und Tag, bei den restlichen fünf Betrieben lag der Anteil der abgelehnten Melkroboterbesuche in dem Bereich von 28 % bis 79 % der Melkungen.

Wie häufig eine Kuh den Melkroboter aufsucht, wird auch von tierindividuellen Faktoren bestimmt. Nach Köhn et al. (2007) ist die Bereitschaft zum freiwilligen Besuch des Melkroboters in moderatem Maße erblich bedingt und damit züchterisch gut zu bearbeiten. Der wachsenden Arbeitsbelastung in Milchviehbetrieben könnte daher durch gezielte Selektion von Kühen mit hoher freiwilliger Besuchsbereitschaft entgegengewirkt werden. Dabei suchen erstlaktierende Tiere den Roboter häufiger auf als Tiere höherer Parität (Bach et al. 2009). Auch im Verlauf der Laktation verändert sich das Besuchsverhalten der Tiere. Nach Köhn et al. (2007) nimmt die Besuchsfrequenz bis zum 200. Laktationstag nur geringfügig ab, ist danach aber von einem deutlicheren Rückgang gekennzeichnet. Eine Ursache für diesen von der Laktationskurve abweichenden Verlauf vermuten die Autoren in der intensiveren Beobachtung der Kühe und der Forcierung des Melkverhaltens durch den Tierhalter in der ersten Hälfte der Laktation. Ein Einfluss der Rangordnung auf die Besuchshäufigkeit besteht dagegen nicht (Ketelaar-de Lauwere et al. 1996). Zur Erhöhung der Besuchshäufigkeit wird von den Melkroboterherstellern häufig empfohlen, diese durch hohe Gaben von Kraftfutter zu forcieren (Bach et al. 2009), da die Milchabgabe und die damit einhergehende Verringerung des Euterinnendrucks für die Kuh lediglich eine sekundäre Motivation für den Besuch des automatischen Melksystems darstellt (Natrop et al. 2009). Dabei besteht jedoch die Gefahr einer Überversorgung der Tiere mit energiereichem Futter, was zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen (subklinische Pansenacidosen, Ketosen in Folgelaktationen) führen kann (Natrop et al. 2009). Als Alternative kann durch gelenkten Kuhverkehr die Anzahl der freiwilligen Roboterbesuche erhöht werden (Wendl et al. 2001; Bach et al. 2009).

Die Verteilung der Melkungen im Tagesverlauf reflektiert die biologischen Ruhephasen der Kühe. Dabei ist die geringste Anzahl an Roboterbesuchen in den frühen Morgenstunden zu

beobachten (Hogeveen et al. 2001; Spolders 2002; Harms 2004). Harms (2004) beschreibt den Tagesgang so, dass unabhängig von dem Verfahren des Tierumtriebs die wenigsten Melkungen zwischen 04:00 und 05:00 Uhr erfolgen, gefolgt von einem raschen Anstieg. Bis etwa 20:00 Uhr bleibt die Anzahl der Melkungen pro Stunde bis auf die Reinigungszeiten relativ konstant. Im Anschluss ist zunächst ein leichter Abfall und ab 24:00 Uhr ein stärkerer Rückgang der Melkungen pro Stunde zu verzeichnen. Schön et al. (1997) beschreiben eine gewisse Häufung der Melkungen im Tagesablauf zu den üblichen Melkzeiten. Bei restriktiven Öffnungszeiten des Melkroboters von 06:00 bis 24:00 Uhr beobachteten Winter und Hillerton (1995) eine hohe Besuchshäufigkeit direkt nach Öffnung des Melkroboters. Innerhalb von zwei Stunden nach Inbetriebnahme des Systems suchten alle Tiere (n = 9) den Melkroboter auf. Zusätzlich können Faktoren des Herdenmanagements (Uhrzeit der Futtervorlage, Nachtreiben von Kühen, Anlernen neuer Kühe, Reinigung der Melktechnik) das Besuchsverhalten der Tiere beeinflussen (Artmann 2001; Spolders 2002; Harms 2004). Daneben spielt der soziale Status der Tiere bei der zeitlichen Verteilung der Melkroboterbesuche eine Rolle. Ranghohe Kühe suchen den Roboter häufiger tagsüber zwischen 12:00 und 18:00 Uhr auf, während rangniedere Tiere eher auf die frühen Morgenstunden zwischen 0:00 und 6:00 Uhr ausweichen. Zudem verbringen rangniedrige Kühe mehr Zeit im Vorwartebereich und verlassen diesen im Vergleich zu dominanten Kühen häufiger ohne Roboterbesuch (Ketelaar-de Lauwere et al. 1996).

2.4.2 Aspekte des Managements in automatischen Melksystemen

Insgesamt gesehen führen automatische Melksysteme zu einer Arbeitsentlastung von durchschnittlich 20 bis 30 % pro Jahr, wobei jedoch große Unterschiede zwischen den einzelnen Betrieben festzustellen sind (Harms und Wendl 2009; de Koning 2010). Ein weiterer Vorteil im Vergleich zu konventionellen Melksystemen besteht in der flexibleren Gestaltung der Arbeitszeit, da die Bindung an fixe Melkzeiten entfällt. Dabei erfordert der Einsatz eines Melkroboters allerdings vermehrt Überwachungs- und Kontrollarbeiten (de Koning 2010) sowie regelmäßige Wartungsarbeiten (Römer et al. 2005). Im Hinblick auf mögliche technisch bedingte Probleme ist es zudem erforderlich, dass permanent eine Person auf Abruf zur Verfügung steht, um bei einem Ausfall des Melkroboters so schnell wie möglich die Reparaturarbeiten zu veranlassen. Ebenfalls muss bei der Planung einer Investition in ein automatisches Melksystem bedacht werden, dass nicht alle Kühe für die

Roboter melktechnik geeignet sind. Sowohl eine erheblich von der Norm abweichende Form des Euters als auch eine ungeeignete Stellung der Zitzen kann die Robotertauglichkeit einer Kuh beeinträchtigen. Auch gibt es einige Tiere, welche selbst nach einer angemessenen Eingewöhnungsphase den Roboter nicht freiwillig aufsuchen (de Koning 2010).

Die beim Einsatz eines Melkroboters notwendig werdende, verstärkte Fokussierung auf Managementtätigkeiten erfordert von dem Landwirt auch eine umfassende Kenntnis der eingesetzten Software des Robotersystems. Durch die Zusammenführung verschiedener sensorgestützt erfasster Daten und Parameter können zahlreiche Anhaltspunkte für das Management des Milchviehbestandes gewonnen werden (Bronsema et al. 2012). Dabei liegt die Herausforderung für den Herdenmanager in einer effektiven Nutzung und Interpretation dieser bereitgestellten Daten (Natrop et al. 2009). Von den Landwirten werden die vorhandenen Möglichkeiten zur sensorischen Überwachung physiologischer Parameter in unterschiedlichem Ausmaß genutzt. Nach einer Studie von Bronsema et al. (2012) verfügen alle automatischen Melksysteme neben der Milchmengenerfassung über eine Messung der Leitfähigkeit. Weniger verbreitet sind die Messung der Wiederkauaktivität, die genaue Erfassung der somatischen Zellzahl und der Milchhaltsstoffe sowie die Möglichkeit zum Wiegen der Tiere. Als hilfreiche Managementunterstützung sehen die Landwirte Systeme zur Erfassung der Brunstaktivität. Nach Angaben der Autoren werden in fast 65 % der Anlagen diese Aktivitätsmesssysteme eingesetzt, was die Bedeutung der automatischen Brunsterkennung insbesondere in Roboterbetrieben unterstreicht.

3. Material und Methoden

3.1 Datenerhebung

3.1.1 Betriebsdaten

Grundlage der Untersuchungen bildeten Datenerhebungen der Jahre 2012 bis 2014 auf insgesamt zehn Milchviehbetrieben in Hessen, Thüringen und Nordrhein-Westfalen. Alle Betriebe setzten im Untersuchungszeitraum zur Milchproduktion vorrangig Tiere der Rasse Deutsche Holstein Schwarzbunt und Deutsche Holstein Rotbunt ein. Zum Milchentzug nutzten die Betriebe automatische Melksysteme. Vier Betriebe waren mit dem Melkroboter „VMS“ der Firma DeLaval und sechs Betriebe mit dem Melkroboter „Astronaut A3“ der Firma Lely ausgestattet. Alle Betriebe verwendeten das jeweils herstellereigene, im Zusammenhang mit der Melktechnik angebotene Herdenmanagementprogramm (DeLaval: VMS-Managementsoftware; Lely: T4C). Weitere Angaben zu den betriebsspezifischen Rahmenbedingungen der Milchproduktion können Tab. 9 entnommen werden.

Einen Überblick über das betriebliche Reproduktionsmanagement gibt Tab. 10. Neben der auf Betriebsebene unterschiedlich durchgeführten visuellen Brunstkontrolle setzten im Untersuchungszeitraum alle Betriebe die automatische Aktivitätsmessung in Form von Respektortechnik zur Brunsterkennung ein. Alle laktierenden Tiere der DeLaval-Betriebe trugen Respektoren des DeLaval-Aktivitätsmesssystems. Die laktierenden Tiere der Lely-Betriebe waren mit den von Lely vertriebenen Respektoren Qwes HR (SCR, Israel) ausgestattet. Eine ausführliche Beschreibung der verwendeten Respektortechnik findet sich in Kapitel 3.2.

Tab. 9: Eckdaten der untersuchten Betriebe (BLS = Boxenlaufstall; LK = Landkreis)

Melktechnik	Betrieb	geographische Lage	Rahmenbedingungen Produktion	Rahmenbedingungen Haltung	mittlere Anzahl Milchkühe	Anzahl Melkroboter	Milchleistung (kg/Jahr)
DeLaval VMS	D1	Hessen Schwalm-Eder-Kreis	Familienbetrieb biologisch	BLS, Spaltenboden Weidegang im Sommer	75	1	8.000
	D2	Hessen Schwalm-Eder-Kreis	Familienbetrieb, konventionell	BLS, planbefestigt kein Weidegang	69	1	8.091
	D3	Hessen LK Hersfeld-Rotenburg	Familienbetrieb konventionell	BLS, Spaltenboden kein Weidegang	90	1	8.000
	D4	Hessen LK Fulda	Familienbetrieb konventionell	BLS, keine weiteren Angaben	60	1	keine Angaben
Lely Astronaut A3	L1	Hessen LK Waldeck-Frankenberg	Familienbetrieb, konventionell	BLS, Spaltenboden kein Weidegang	149	2	8.403
	L2	Hessen LK Waldeck-Frankenberg	Familienbetrieb konventionell	BLS, Spaltenboden kein Weidegang	83	1	9.400
	L3	Nordrhein-Westfalen Hochsauerlandkreis	Familienbetrieb konventionell	BLS, planbefestigt Weidegang im Sommer	139	2	9.369
Lely Astronaut A3	L4	Hessen Wetteraukreis	Familienbetrieb konventionell	BLS, Spaltenboden kein Weidegang	110	2	8.700
	L5	Hessen Vogelsbergkreis	Familienbetrieb konventionell	BLS, Spaltenboden kein Weidegang	72	1	10.261
	L6	Thüringen LK Gotha	Agrargenossenschaft konventionell	BLS, planbefestigt kein Weidegang	270	4	10.200

Tab. 10: Eckdaten zum Reproduktionsmanagement der untersuchten Betriebe (k.A. = keine Angaben, p.i. = *post insemination*, ZKZ = Zwischenkalbezeit)

Betrieb	Organisation der visuellen Brunstkontrolle	Besamer	Organisation der künstlichen Besamung	Organisation der Trächtigkeitsuntersuchung	Besamungsindex	ZKZ (Tage)
D1	mehrfach täglich während der Stallarbeit	Eigenbestandsbesamer	5 – 6 Stunden nach Duldung	35 – 60 Tage p.i. rektal	k.A.	387
D2	2 – 3 mal täglich während der Stallarbeit	Tierarzt	Morgens-Abends-Regel	ab 56. Tag p.i. rektal	2,5	414
D3	2 mal täglich jeweils 10 min während der Stallarbeit	Eigenbestandsbesamer	vorwiegend nachmittags	90 Tage p.i. rektal	k.A.	420
D4	k.A.	Eigenbestandsbesamer	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
L1	4 mal täglich 5 – 10 min abschließliche Tierbeobachtung	Eigenbestandsbesamer	etwa 70 % Morgens-Abends-Regel, etwa 30 % nach Empfehlung Herdenmanagementprogramms	40 Tage p.i. rektal	1,9	396
L2	4 mal täglich während der Stallarbeit	Eigenbestandsbesamer	vorwiegend nach der Morgens-Abends-Regel	30 Tage p.i. rektal	2,1	400
L3	2 mal täglich während der Stallarbeit	Besamungstechniker	Morgens-Abends-Regel	42 Tage p.i. rektal	1,8	380
L4	mehrfach täglich während der Stallarbeit	Eigenbestandsbesamer	vorwiegend nach der Morgens-Abends-Regel	40 Tage p.i. PAG	2,0	409
L5	3 mal täglich jeweils 15 min während der Stallarbeit und abschließliche Tierbeobachtung	Eigenbestandsbesamer	vorwiegend nach der Empfehlung des Herdenmanagementprogramms	45 Tage p.i. rektal	1,6	392
L6	3 mal täglich jeweils 5 min abschließliche Tierbeobachtung	Besamungstechniker	nur morgens zwischen 7:00 und 8:00 Uhr	42 Tage p.i. rektal	3,0	421

3.1.2 Tierindividuelle Daten

Zur Feststellung des Besamungszeitpunktes wurden von den Betriebsleitern alle kuhindividuellen Besamungsdaten aufgezeichnet. Erfasst wurden dabei die Tieridentifikation, das Datum der künstlichen Besamung und die Uhrzeit der künstlichen Besamung. Besonderheiten, wie hormonelle Behandlungen zur Durchführung einer terminorientierten Besamung (Ovulationssynchronisation), Doppelbesamungen oder Nachbesamungen innerhalb von 14 Tagen, wurden vermerkt. Ebenfalls wurde zu jeder Insemination der Besamungserfolg protokolliert. Als erfolgreich wurden Besamungen mit einem positiven Ergebnis der Trächtigkeitsuntersuchung gekennzeichnet. Als nicht erfolgreich wurden Besamungen mit einem negativen Ergebnis der Trächtigkeitsuntersuchung sowie Besamungen mit einer anschließend erneut auftretenden Brunst (umrindernde Tiere) definiert. Eine Übersicht über die registrierten Besamungen gibt Tab. 11.

Für alle weiteren tierindividuellen Daten konnte auf die Datenbanken des jeweiligen Herdenmanagementprogramms zurückgegriffen werden. Zur Gewinnung dieser Daten wurden in regelmäßigen Abständen Betriebsbesuche zum Auslesen folgender Parameter durchgeführt:

- tierbezogene Rahmenbedingungen: Ohrmarkennummer; Laktationsnummer; Datum der letzten Kalbung; Nummer der Besamung innerhalb einer Laktation (nur bei Lely-Betrieben)
- Aktivitätsmesswerte je Zeiteinheit (Rohdaten)
- Datum, Uhrzeit und Melkparameter (Milchmenge in kg, Melkberechtigung) der Melkroboterbesuche.

Die Aktivitätsmesswerte der DeLaval-Betriebe wurden im Textformat exportiert, alle weiteren Daten im Excel-Format. Nach Aufbereitung wurden sämtliche Daten in Access-Datenbanken importiert. Die von den Betriebsleitern aufgezeichneten Besamungsdaten wurden zur weiteren Bearbeitung ebenfalls in Access-Datenbanken erfasst.

Tab. 11: Übersicht über die registrierten Besamungen im Untersuchungszeitraum

Melk- technik	Betrieb	Zeitraum der Datenerhebung	gesamt erfasste Besamungen	davon Besamungen ohne Besonderheiten
DeLaval	D1	10/2012 – 02/2014	161	153
	D2	09/2012 – 07/2014	220	176
	D3	11/2012 – 12/2013	101	101
	D4	11/2012 – 10/2013	59	49
	Summe Besamungen			541
Lely	L1	12/2012 – 07/2014	358	268
	L2	10/2012 – 07/2014	163	155
	L3	09/2012 – 08/2014	319	277
	L4	08/2012 – 08/2014	417	416
	L5	08/2012 – 08/2014	215	210
	L6	07/2013 – 05/2014	699	395
Summe Besamungen			2.171	1.721

3.2 Respektortechnik zur Erfassung der Bewegungsaktivität

3.2.1 DeLaval-Aktivitätsmesssystem

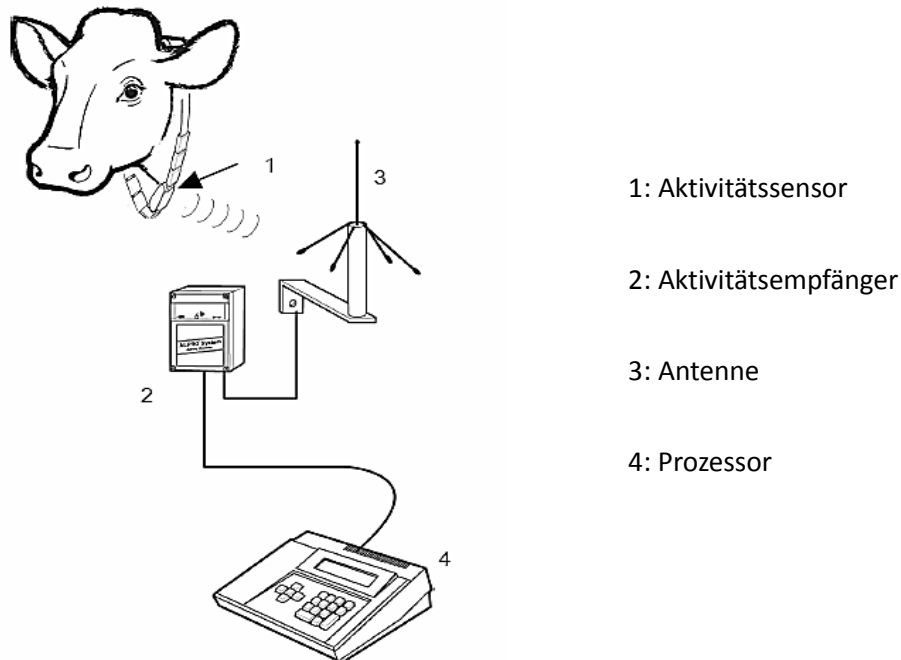


Abb. 2: Schematische Darstellung der einzelnen Komponenten des DeLaval-Aktivitätsmesssystems nach DeLaval (2007)

Die Hauptkomponenten des DeLaval-Aktivitätsmesssystems sind in Abb. 2 dargestellt. Sie beinhalten einen Aktivitätssensor, der am Halsband der Kuh getragen wird, einen Aktivitätsempfänger mit Antenne und einen Prozessor, der an einen Computer angeschlossen werden kann. Der Aktivitätssensor zur Registrierung der Bewegungsaktivität arbeitet elektromagnetisch. Er erfasst Bewegungen der Kuh in alle Richtungen, d.h. dreidimensional. Maximal wird ein Bewegungsanschlag alle 14,1 Sekunden registriert, woraus eine maximale Anzahl von 255 Bewegungsanschlägen in der Stunde resultiert. Die Bewegungsdaten werden stündlich an den Empfänger gesendet. Jede Übertragung enthält dabei die Daten der letzten 24-Stunden-Periode. Der Alpro™-Systemprozessor sammelt und speichert alle eingehenden Daten. Eine Weiterleitung der Daten an einen Computer, welcher über das VMS-Managementprogramm verfügt, ist möglich. In dieser Software sind die Aktivitätswerte, d.h. die aufsummierte Anzahl der Bewegungsanschläge je Stunde, tierindividuell als Rohdaten verfügbar (DeLaval 2007).

3.2.2 Aktivitätsmesssystem Qwes HR (Lely)

Das Aktivitätsmesssystem der Firma Lely, Qwes-HR, wird von der Firma SCR (Israel), hergestellt. Der Kuhidentifikations- und Aktivitätssensor wird wie beim vorstehend beschriebenen DeLaval-Aktivitätsmesssystem am Halsband der Tiere angebracht (Abb. 3). Im Gegensatz dazu arbeitet nach Angaben des Herstellers SCR der von Lely eingesetzte Aktivitätssensor jedoch mit Infrarottechnik (H. Bischoff, SCR, persönliche Mitteilung vom 12.11.2014). Der Beschleunigungssensor misst die Dauer und die Intensität der Bewegungen. Es werden alle Kuhbewegungen, wie Laufen, Liegen, Aufstehen und Kopfbewegungen, erfasst und daraus ein Aktivitätsindex erstellt. Nach Elischer et al. (2013) werden zur Berechnung des Indexes nur Beschleunigungen genutzt, die im Zusammenhang mit Aufwärtsbewegungen des Kopfes stehen. Abwärtsbewegungen, wie Senken des Kopfes zur Futteraufnahme oder ausschließlich horizontale Bewegungen, werden nicht registriert. Eine weitere Funktion des Qwes-HR-Systems ist, dass es auch die Wiederkauaktivität der Kuh erfasst. Die Aktivitäten der Kuh werden dabei in 2-Stunden-Blöcken überwacht. Der Respektor speichert die Daten der letzten 24 Stunden, die bei einem Besuch der Kuh im Melkroboter via Infrarottechnik ausgelesen und an das Herdenmanagementprogramm T4C übertragen werden (Lely Holding S.à.r.l.). In diesem Programm sind die Rohdaten, d.h. der im Sensor generierte Aktivitätsindex, im 2h-Takt verfügbar.



Abb. 3: Mit dem Aktivitätssensor Qwes HR (SCR) ausgestattete Kühe

3.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Programm SPSS Version 20.0 durchgeführt. Aufgrund der unterschiedlichen Funktionsweise der eingesetzten Respektortechnik und der damit einhergehenden abweichenden Datengrundlage erfolgte die Datenanalyse getrennt nach Melktechniksystem. Als Basis für alle Berechnungen wurden jeweils die Aktivitäts-Rohdaten genutzt. Vom dem betreffenden Herdenmanagementprogramm bereits aufbereitete Daten (Lely: Brunstwahrscheinlichkeit; DeLaval: gleitende Mittelwerte) wurden nicht berücksichtigt.

Systemübergreifend wurden in alle Berechnungen nur Besamungen einbezogen, die keine Besonderheiten aufwiesen. Besamungen bei Tieren unterrepräsentierter Rassen (Braunvieh, Fleckvieh, Kreuzungstiere) wurden von allen Analysen ausgeschlossen. Ebenfalls melksystemunabhängig erfolgte die Klassifizierung der in Tab. 12 aufgeführten Merkmale, sofern diese im jeweiligen Modell berücksichtigt wurden. Die Art der Klasseneinteilung wurde unter Berücksichtigung biologischer Aspekte sowie im Hinblick auf eine ausreichende Besetzung der einzelnen Merkmalsklassen gewählt.

Für die deskriptive Darstellung der Aktivitätsdynamik standen innerhalb der DeLaval-Betriebe 445 Besamungen bei 224 Kühen zur Verfügung. Aufgrund fehlender Datensätze bezüglich der Melkparameter konnte die Darstellung von Zusammenhängen zwischen Aktivitätsdynamik und Tagesmilchmenge lediglich anhand von 409 Zyklen bei 205 Kühen vorgenommen werden. Innerhalb der Lely-Betriebe konnten für die deskriptive Darstellung 1.714 Brunstzyklen bei 815 Kühen einbezogen werden. Wie bei den DeLaval-Betrieben standen auch innerhalb der Lely-Betriebe nicht für alle Tiere die Milchleistungsparameter zur Verfügung. Daher konnten Auswertungen mit Berücksichtigung der Milchleistung nur anhand von 1.704 Zyklen bei 810 Kühen vorgenommen werden.

Um die Auslenkung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum darzustellen, wurden zunächst tierindividuelle Referenzwerte für die Bewegungsaktivität im Diöstrus ermittelt. Dazu wurden für jede Besamung einer Kuh tagesstundenbezogene Mittelwerte aus den Aktivitätsdaten von 240 bis 49 Stunden vor der Besamung gebildet. Für die DeLaval-Betriebe waren diese Werte im Stundentakt (d.h. für 1:00 Uhr, 2:00 Uhr, 3:00 Uhr ... usw.), für die Lely-Betriebe systembedingt im 2-Stunden-Takt (d.h. für 2:00 Uhr, 4:00 Uhr, 6:00 Uhr ...usw.) verfügbar. Diese Mittelwerte wurden den tierindividuellen Aktivitätsdaten im brunstnahen Zeitraum,

der mit 48 Stunden vor der Besamung bis 24 Stunden nach der Besamung definiert wurde, gegenübergestellt.

Soweit nicht anders aufgeführt, gilt für alle tageszeitbezogenen Darstellungen für die DeLaval-Betriebe, dass 0:00 Uhr den Zeitraum zwischen 23:01 Uhr des Vortages und 0:00 Uhr des aktuellen Tages, 1:00 Uhr den Zeitraum zwischen 0:01 Uhr und 1:00 Uhr des aktuellen Tages....23:00 Uhr den Zeitraum zwischen 22:01 Uhr und 23:00 Uhr des aktuellen Tages umfasst. Für die Lely-Betriebe gilt, dass 0:00 Uhr den Zeitraum zwischen 22:01 Uhr des Vortages und 0:00 Uhr des aktuellen Tages, 2:00 Uhr den Zeitraum zwischen 0:01 Uhr und 2:00 Uhr des aktuellen Tages....22:00 Uhr den Zeitraum zwischen 20:01 Uhr und 22:00 Uhr des aktuellen Tages umfasst.

Werden Darstellungen in Relation zum Tag der künstlichen Besamung vorgenommen, so wird der Besamungstag mit Tag 0 definiert. Erfolgen Darstellungen in Relation zur Stunde der künstlichen Besamung, so wird die Stunde der Besamung mit Stunde 0 definiert.

Tab. 12: melksystemunabhängige Klasseneinteilung der Merkmale

Merkmal	Anzahl Klassen	Charakterisierung der Klassen
Parität	4	1. Laktation 2. Laktation 3. Laktation ≥ 4. Laktation
Laktationsstadium	4	≤ 60. Laktationstag 61. – 90. Laktationstag 91. – 120 Laktationstag > 120. Laktationstag
Jahreszeit der KB	4	Frühjahr: März – Mai Sommer: Juni – August Herbst: September – November Winter: Dezember – Februar
Tageszeit der KB	2	1. Tageshälfte: > 0 – 12 Uhr 2. Tageshälfte: >12 – 24 Uhr

Die Beschreibung der weiteren Vorgehensweise zur Datenanalyse erfolgt getrennt nach Melktechniksystem, da der deutlich größere Stichprobenumfang innerhalb der Lely-Betriebe umfangreichere statistische Auswertungen ermöglichte.

3.3.1 Vorgehen zur weiteren Datenanalyse innerhalb der DeLaval-Betriebe

Um die Einflüsse auf die Aktivitätsdynamik im Diöstrus (Referenzaktivität) näher zu analysieren, wurde ein gemischtes lineares Modell gewählt. Vorher wurden die berechneten, tagesstundenbezogenen Referenzwerte der Aktivität zur Herstellung einer Normalverteilung wurzeltransformiert. Die Auswahl der in das Modell einbezogenen Faktoren (Klasseneinteilung der fixen Effekte nach Tab. 12) erfolgte vorrangig unter biologischen Gesichtspunkten sowie unter Berücksichtigung des vorliegenden Datenmaterials. Die Analyse erfolgte anhand von insgesamt 445 Zyklen bei 224 Kühen wie folgt:

$$y_{ijklmn} = \mu + b_i + p_j + t_k + j_l + k_m + e_{ijklmn}$$

mit:

y_{ijklmn} = Beobachtungswert des Merkmals Referenzaktivität (wurzeltransformiert)

μ = konstanter Mittelwert

b_i = fixer Effekt des Betriebes (D1 – D4)

p_j = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

t_k = fixer Effekt der Tagesstunde (0:00 – 23:00 Uhr; 1h-Takt)

j_l = fixer Effekt der Jahreszeit (1 – 4)

k_m = zufälliger Effekt der Kuh

e_{ijklmn} = zufälliger Restfehler

Zur Beantwortung der Fragestellung, in welchem zeitlichen Abstand die künstliche Besamung zu einem mit dem Brunstgeschehen im Zusammenhang stehenden Peak der Bewegungsaktivität erfolgen sollte, wurde zunächst zyklusindividuell für jede 1h-Periode die prozentuale Abweichung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität berechnet. Zur Relativierung einzelner, nicht ursächlich auf das Brunstgeschehen zurückzuführender Abweichungen, wurde aus den berechneten Werten ein zentrierter gleitender Durchschnitt über jeweils fünf Werte (ZGD5), das heißt über jeweils einen Zeitraum von fünf Stunden, gebildet. Als Aktivitätspeak im brunstnahen Zeitraum wurde der maximale positive Wert des ZGD5 definiert.

Die Unterschiede in der Höhe des brunstbedingten Aktivitätspeaks wurden untersucht. Dazu wurde dieser zunächst zur Herstellung einer annähernden Normalverteilung wurzeltransformiert. Die Analyse erfolgte anschließend anhand von 409 Zyklen von 205 Tieren mit Hilfe des folgenden, gemischten linearen Modells (Klasseneinteilung der fixen Effekte nach Tab. 12):

$$Y_{ijklmno} = \mu + b_i + p_j + j_k + m_l + t_m + k_n + e_{ijklmno}$$

mit:

$Y_{ijklmno}$ = Beobachtungswert des Merkmals Aktivitätspeak im brunstnahen Zeitraum (wurzeltransformiert)

μ = konstanter Mittelwert

b_i = fixer Effekt des Betriebes (D1 – D4)

p_j = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

j_k = fixer Effekt der Jahreszeit (1 – 4)

m_l = fixer Effekt der mittleren Milchmenge in kg/Tag, ermittelt aus den Einzelmelken der Tage neun bis fünf vor der KB (< 25,00; 25,00 – 34,99; \geq 35,00)

t_m = fixer Effekt des Besamungserfolges (trächtig, nicht trächtig)

k_n = zufälliger Effekt der Kuh

$e_{ijklmno}$ = zufälliger Restfehler

Der Zusammenhang zwischen dem binomial verteilten Merkmal Besamungserfolg innerhalb einer Brunst und dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak konnte anhand von insgesamt 443 Zyklen bei 224 Tieren analysiert werden. Die Differenz von zwei Zyklen im Vergleich zu dem Datenumfang der Referenzperiode resultiert daraus, dass in beiden Fällen die Tiere innerhalb eines Brunstzyklus jeweils zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten gleich hohe Aktivitätspeaks aufwiesen. Diese Zyklen wurden daher komplett aus der Berechnung ausgeschlossen. Die Analyse wurde mittels des folgenden GEE-Modells (generalized estimating equations; verallgemeinerte Schätzgleichungen) durchgeführt (Klasseneinteilung der fixen Effekte nach Tab. 12):

$$y_{ijklmn} = \mu + b_i + p_j + l_k + a_l + k_m + e_{ijklmn}$$

mit:

y_{ijklmn} = Beobachtungswert des Merkmals Besamungserfolg (1 = trächtig/0 = nicht trächtig)

μ = konstanter Mittelwert

b_i = fixer Effekt des Betriebes (D1 – D4)

p_j = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

l_k = fixer Effekt des Laktationsstadiums (1 – 4)

a_l = fixer Effekt des Abstandes der KB vom Aktivitätspeak in h (-24 bis 0, 1 bis 8, 9 bis 16, 17 bis 24, 25 bis 48)

k_m = zufälliger Effekt der Kuh

e_{ijklmn} = zufälliger Restfehler

3.3.2 Vorgehen zur weiteren Datenanalyse innerhalb der Lely-Betriebe

Entsprechend dem Vorgehen bei den DeLaval-Betrieben wurden auch innerhalb der Lely-Betriebe Einflüsse auf die Aktivitätsdynamik im Diöstrus (Referenzaktivität) mittels eines gemischten linearen Modells analysiert. Vorher wurden die berechneten, tagesstundenbezogenen (2h-Takt) Referenzwerte der Aktivität zur Herstellung einer Normalverteilung wurzeltransformiert. In die Berechnung konnten 1.714 Zyklen von 815 Kühen einbezogen werden. Im Modell wurden die gleichen Faktoren wie zur Analyse des diöstrischen Verhaltens der Tiere innerhalb der DeLaval-Betriebe berücksichtigt. Unterschiede bestehen bezüglich der Klasseneinteilung der Tageszeit (2h-Takt):

$$y_{ijklmn} = \mu + b_i + p_j + t_k + j_l + k_m + e_{ijklmn}$$

mit:

y_{ijklmn} = Beobachtungswert des Merkmals Referenzaktivität (wurzeltransformiert)

μ = konstanter Mittelwert

b_i = fixer Effekt des Betriebes (L1 – L6)

p_j = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

t_k = fixer Effekt der Tagesstunde (0:00 – 22:00 Uhr; 2h-Takt)

j_l = fixer Effekt der Jahreszeit (1 – 4)

k_m = zufälliger Effekt der Kuh

e_{ijklmn} = zufälliger Restfehler

Um die mit dem Brunstverhalten im Zusammenhang stehenden Besonderheiten der Bewegungsaktivität innerhalb der Lely-Betriebe näher zu charakterisieren, wurde zunächst individuell für jeden auswertbaren Zyklus für jede 2h-Periode die prozentuale Abweichung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität berechnet. Zur Relativierung einzelner, nicht ursächlich auf das Brunstgeschehen zurückzuführender Abweichungen, wurde aus den berechneten Werten ein zentrierter gleitender Durchschnitt über jeweils drei Werte (ZGD3), das heißt über jeweils einen Zeitraum von sechs Stunden, ermittelt. Der ZGD3 wurde zur Bestimmung von Brunstbeginn und Brunstende (Respaktorbrunst), der Perioden erhöhter Aktivität innerhalb einer Brunst sowie zur Ermittlung des Aktivitätspeaks herangezogen. Diese Parameter wurden wie folgt definiert:

- Brunstbeginn: Ist der ZGD3 bei drei aufeinander folgenden Werten $\geq 25\%$, so gilt der Zeitpunkt des erstmaligen Erreichens/Überschreitens dieses Grenzwertes als Brunstbeginn.
- Periode erhöhter Aktivität innerhalb einer Brunst: Zusammenhängender Zeitraum nach Brunstbeginn, innerhalb dessen der ZGD3 für die einzelnen Werte $\geq 25\%$ ist; einmaliges Unterschreiten der 25 %-Grenze wird nicht als Unterbrechung einer Periode erhöhter Aktivität gewertet. Für den Beginn einer Periode erhöhter Aktivität gelten die gleichen Voraussetzungen wie für den Brunstbeginn.
- Brunstende: das Ende der letzten Periode erhöhter Aktivität innerhalb eines brunstnahen Zeitraums (48 h vor der KB bis 24 h nach der KB)
- Aktivitätspeak: maximaler positiver Wert des ZGD3 im brunstnahen Zeitraum

- Resfaktorbrunst: Zeitspanne zwischen den auf Basis der Aktivitätsmessung definierten Parametern Brunstbeginn und Brunstende

Abb. 4 verdeutlicht das Vorgehen zur Bestimmung der vorstehend definierten Parameter.

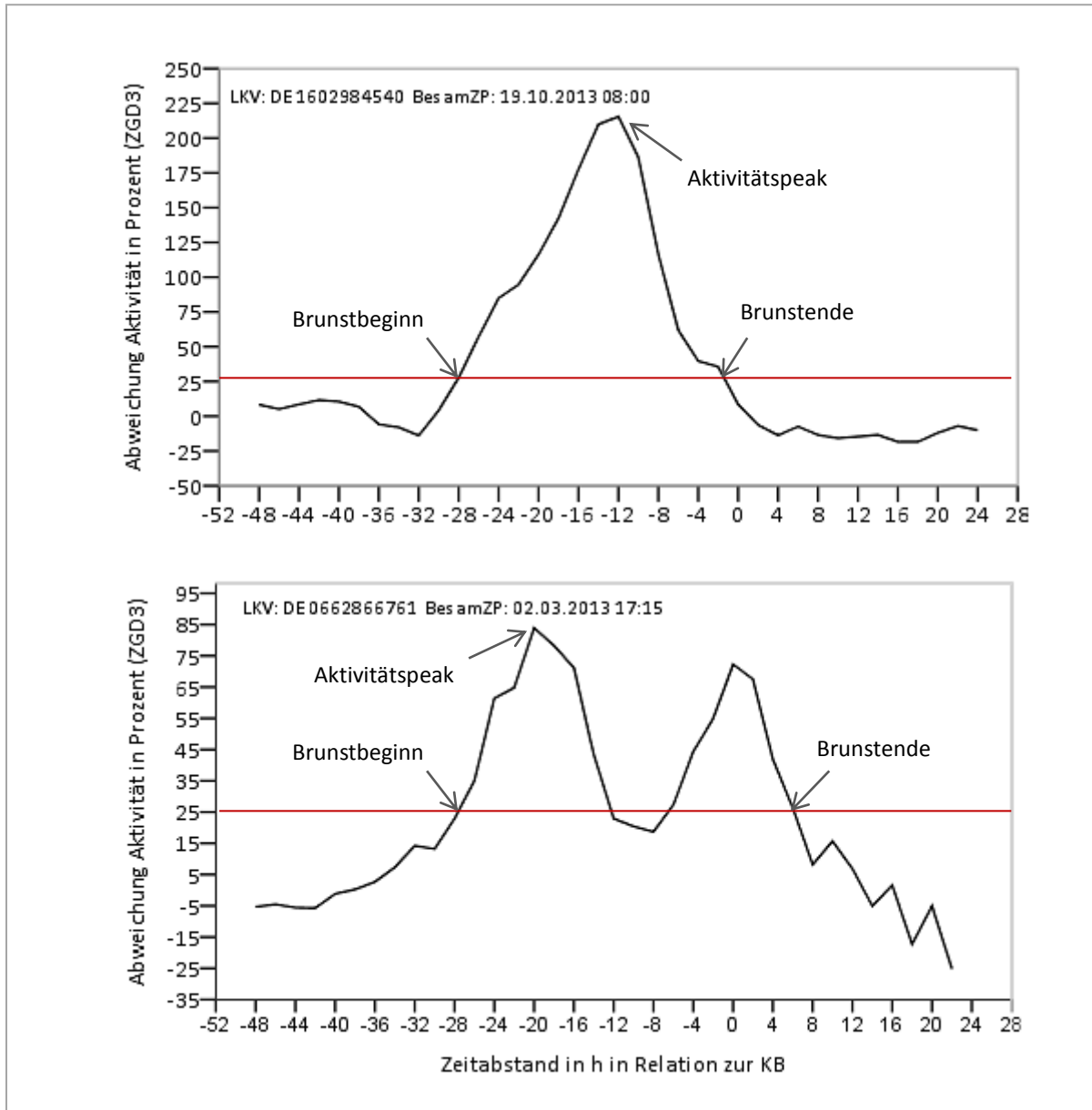


Abb. 4: Definition der Parameter Brunstbeginn, Brunstende, Aktivitätsspeak und Periode erhöhter Aktivität
 Die obere Darstellung zeigt eine Periode erhöhter Aktivität, die untere Darstellung zeigt zwei Perioden erhöhter Aktivität im brunstnahen Zeitraum. Die Stunde 0 ist die Stunde der künstlichen Besamung (KB). Die schwarze Linie stellt die prozentuale Abweichung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität als gleitenden zentrierten Mittelwert über jeweils drei Werte (ZGD3) dar. Die Grenze für die erhöhte Aktivität liegt bei +25% (rote Linie).

Der Zusammenhang zwischen der Brunstdauer und dem zeitlichen Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn wurde überprüft. Da beide Größen keine Normalverteilung aufwiesen, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman genutzt. Einflüsse auf die Höhe des brunstbedingten Aktivitätspeaks wurden entsprechend dem Vorgehen bei den DeLaval-Betrieben ebenfalls untersucht. In die Analyse wurden aufgrund des größeren Datenumfangs innerhalb der Lely-Betriebe zusätzliche Effekte im Modell berücksichtigt. Zur Herstellung einer Normalverteilung wurden die Werte zunächst wurzeltransformiert. Anschließend wurde die Analyse mittels des nachstehenden gemischten linearen Modells durchgeführt (Klasseneinteilung der fixen Effekte nach Tab. 12):

$$Y_{ijklmnopq} = \mu + b_i + p_j + j_k + m_l + t_m + l_n + n_o + k_p + e_{ijklmnopq}$$

mit:

$Y_{ijklmnopq}$ = Beobachtungswert des Merkmals Aktivitätspeak (wurzeltransformiert) im brunstnahen Zeitraum

μ = konstanter Mittelwert

b_i = fixer Effekt des Betriebes (L1 – L6)

p_j = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

j_k = fixer Effekt der Jahreszeit (1 – 4)

m_l = fixer Effekt der durchschnittlichen Milchmenge/Tag ermittelt aus den Einzelgemelken der Tage neun bis fünf vor der KB (< 30,00; 30,00 – 39,99; \geq 40,00)

t_m = fixer Effekt des Besamungserfolges (trächtig, nicht trächtig)

l_n = fixer Effekt des Laktationsstadiums (1 – 4)

n_o = fixer Effekt der Nummer der Besamung innerhalb einer Laktation (1. KB, \geq 2. KB)

k_p = zufälliger Effekt der Kuh

$e_{ijklmnopq}$ = zufälliger Restfehler

In dieser Auswertung sind 1.704 Zyklen von 810 Tieren berücksichtigt.

Die Beziehung zwischen dem binomial verteilten Merkmal Besamungserfolg innerhalb einer Brunst und dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak wurde mittels des folgenden GEE-Modells (generalized estimating equations; verallgemeinerte Schätzgleichungen) analysiert (Klasseneinteilung der fixen Effekte nach Tab. 12):

$$Y_{ijklmnopqr} = \mu + b_i + p_j + j_k + t_l + l_m + n_n + m_o + a_p + k_q + e_{ijklmnopqr}$$

mit:

$Y_{ijklmnopqr}$ = Beobachtungswert des Merkmals Besamungserfolg (1 = trächtig/0 = nicht trächtig)

μ = konstanter Mittelwert

b_i = fixer Effekt des Betriebes (L1 – L6)

p_j = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

j_k = fixer Effekt der Jahreszeit der KB (1 – 4)

t_l = fixer Effekt der Tageszeit der KB (1 – 2)

l_m = fixer Effekt des Laktationsstadiums (1 – 4)

n_n = fixer Effekt der Nummer der KB innerhalb einer Laktation (1. KB, \geq 2. KB)

m_o = fixer Effekt der durchschnittlichen Milchmenge/Tag ermittelt aus den Einzelgemelken der Tage neun bis fünf vor der KB (< 30,00; 30,00 – 39,99; \geq 40,00)

a_p = fixer Effekt des Abstandes der KB vom Aktivitätspeak in h (-24 bis 0, 1 bis 6, 7 bis 12, 13 bis 18, 19 bis 24, 25 bis 48)

k_q = zufälliger Effekt der Kuh

$e_{ijklmnopqr}$ = zufälliger Restfehler

Weiterhin wurde untersucht, inwiefern der Zeitabstand zwischen dem Beginn der Respaktorbrunst und der Durchführung der künstlichen Besamung einen Einfluss auf das Ergebnis der Besamung hat. Dazu wurde die Beziehung zwischen dem binomial verteilten Merkmal Besamungserfolg innerhalb einer Brunst und dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung vom Brunstbeginn mittels des folgenden GEE-Modells (generalized estimating equations; verallgemeinerte Schätzgleichungen) analysiert (Klasseneinteilung der fixen Effekte nach Tab. 12):

$$Y_{ijklmnopqr} = \mu + b_i + p_j + j_k + t_l + l_m + n_n + m_o + a_p + k_q + e_{ijklmnopqr}$$

mit:

$Y_{ijklmnopqr}$ = Beobachtungswert des Merkmals Besamungserfolg (1 = trächtig/0 = nicht trächtig)

μ = konstanter Mittelwert

b_i = fixer Effekt des Betriebes (L1 – L6)

p_j = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

j_k = fixer Effekt der Jahreszeit der KB (1 – 4)

t_l = fixer Effekt der Tageszeit der KB (1 – 2)

l_m = fixer Effekt des Laktationsstadiums (1 – 4)

n_n = fixer Effekt der Nummer der KB innerhalb einer Laktation (1. KB, \geq 2. KB)

m_o = fixer Effekt der durchschnittlichen Milchmenge/Tag ermittelt aus den Einzelgemelken der Tage neun bis fünf vor der KB (< 30,00; 30,00 – 39,99; \geq 40,00)

a_p = fixer Effekt des Abstandes der KB vom Brunstbeginn in h (-24 bis 7, 8 bis 11, 12 bis 15, 16 bis 19, 20 bis 23, 24 bis 27, 28 bis 31, 32 bis 48)

k_q = zufälliger Effekt der Kuh

$e_{ijklmnopqr}$ = zufälliger Restfehler

In dieser Auswertung konnten 1.621 Besamungen bei 790 Tieren berücksichtigt werden. Die zahlenmäßige Differenz zu den Brunstzyklen, die für die Auswertung des Aktivitätspeaks zur Verfügung standen, ergab sich aus der festgelegten Definition des Brunstbeginns. Nicht für alle Zyklen waren die definierten Voraussetzungen für den Brunstbeginn erfüllt.

Um landwirtschaftlichen Betrieben eine umfassende Beratungsempfehlung bezüglich der Terminierung einer künstlichen Besamung in Abhängigkeit von der Aktivitätsmessung geben zu können, wurde im Rahmen dieser Studie auch überprüft, ob der zeitliche Abstand zwischen dem Beginn der Resfaktorbrunst und dem Aktivitätspeak einen Einfluss auf die optimale Zeitspanne für die Durchführung der Besamung hat. Einerseits sollte eine Antwort auf die Fragestellung gefunden werden, ob einer der beiden Parameter – Aktivitätspeak oder Brunstbeginn – der geeignetere Orientierungspunkt zur Terminierung der künstlichen Besamung ist. Zum anderen sollte geklärt werden, ob ausgehend von dem markanten Punkt „Aktivitätspeak“ im Verlauf einer Brunst unter Berücksichtigung des Zeitabstandes zwischen

dem Beginn der Resfaktorbrunst und dem Peak eine differenziertere Aussage für den günstigsten Besamungszeitraum möglich ist. Wird als zeitlicher Orientierungspunkt für die Insemination der Aktivitätspeak genutzt, und es besteht eine Wechselwirkung zwischen den Faktoren „Zeitabstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn“ und „Zeitabstand der Besamung vom Aktivitätspeak“ im Hinblick auf die Zielgröße Besamungserfolg, so kann die Insemination bei gleichzeitiger Berücksichtigung dieser beiden Einflussgrößen individueller auf den Aktivitätsverlauf des jeweiligen Brunstzyklus abstimmt werden. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde folgendes GEE-Modell (generalized estimating equations; verallgemeinerte Schätzgleichungen) angewandt (Klasseneinteilung der fixen Effekte nach Tab. 12):

$$Y_{ijklmno} = \mu + b_i + p_j + l_k + z_l + a_m + (z * a)_{lm} + k_n + e_{ijklmno}$$

mit:

$Y_{ijklmno}$ = Beobachtungswert des Merkmals Besamungserfolg (1 = trächtig/0 = nicht trächtig)

μ = konstanter Mittelwert

b_i = fixer Effekt des Betriebes (L1 – L6)

p_j = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

l_k = fixer Effekt des Laktationsstadiums (1 – 4)

z_l = fixer Effekt des Zeitabstandes des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn (≤ 4 h; 6 bis 10 h; ≤ 12 h)

a_m = fixer Effekt des Abstandes der KB vom Aktivitätspeak (-24 bis 6 h; 7 bis 12 h; 13 bis 20 h; 21 bis 48 h)

k_n = zufälliger Effekt der Kuh

$e_{ijklmno}$ = zufälliger Restfehler

In der Auswertung wurden nur Zyklen berücksichtigt, in denen der Aktivitätspeak nach Brunstbeginn stattfand. Zyklen, in denen der Aktivitätspeak bereits zu Brunstbeginn zu beobachten war, wurden aus der Berechnung ausgeschlossen. Unter dieser Bedingung konnten 1.611 Zyklen bei 795 Tieren ausgewertet werden. Die Einteilung der Zeitspannenklassen sowohl für den fixen Effekt des Zeitabstandes des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn als auch des fixen Effektes des Zeitabstandes der künstlichen Besamung vom

Aktivitätspeak berücksichtigt die Subzellenbesetzung der Rasterkombination beider Effekte (Tab. 13). Eine weitere Differenzierung der Zeitspannenklassen würde zu einer unzureichenden Besetzung einzelner Subzellen führen.

Tab. 13: Anzahl der berücksichtigten Brunstzyklen in den einzelnen Subzellen der Rasterkombination aus Abstand der KB (künstliche Besamung) vom Aktivitätspeak (AP) und Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn

Abstand der KB vom AP (Zeitspannenklassen in h)	Abstand des AP vom Brunstbeginn (Zeitspannenklassen in h)			Gesamt
	≤ 4	6 bis 10	≥ 12	
21 bis 48	96	84	12	192
13 bis 20	182	266	55	503
7 bis 12	124	254	97	475
- 24 bis 6	94	189	158	441
Gesamt	496	793	322	1611

Ebenfalls wurde geprüft, ob eine Wechselwirkung zwischen den Faktoren „Zeitabstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn“ und „Zeitabstand der Besamung vom Brunstbeginn“ hinsichtlich der Zielgröße Besamungserfolg besteht. Die Besetzung der Subzellen der Rasterkombination der auf ihre Wechselwirkung untersuchten Einflussfaktoren geht aus Tab. 14 hervor.

Tab. 14: Anzahl der berücksichtigten Brunstzyklen in den einzelnen Subzellen der Rasterkombination aus Abstand der KB (künstliche Besamung) vom Brunstbeginn und Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn

Abstand der KB vom Brunstbeginn (Zeitspannenklassen in h)	Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn (Zeitspannenklassen in h)			Gesamt
	≤ 4	6 bis 10	≥ 12	
28 bis 48	56	126	137	319
20 bis 27	163	300	118	581
8 bis 19	222	334	59	615
- 24 bis 7	55	33	8	96
Gesamt	496	793	322	1611

Entsprechend dem vorstehend aufgeführten Vorgehen wurde die Wechselwirkung anhand des gleichen Stichprobenumfangs mit Hilfe des folgenden GEE-Modells geprüft (Klasseneinteilung der fixen Effekte nach Tab. 12):

$$Y_{ijklmno} = \mu + b_i + p_j + l_k + z_l + a_m + (z * a)_{lm} + k_n + e_{ijklmno}$$

mit:

$Y_{ijklmno}$ = Beobachtungswert des Merkmals Besamungserfolg (1 = trächtig/0 = nicht trächtig)

μ = konstanter Mittelwert

b_i = fixer Effekt des Betriebes (L1 – L6)

p_j = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

l_k = fixer Effekt des Laktationsstadiums (1 – 4)

z_l = fixer Effekt des Zeitabstandes des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn (≤ 4 h; 6 bis 10 h; ≤ 12 h)

a_m = fixer Effekt des Abstandes der KB vom Brunstbeginn (-24 bis 7 h; 8 bis 19 h; 20 bis 27 h; 28 bis 48 h)

k_n = zufälliger Effekt der Kuh

$e_{ijklmno}$ = zufälliger Restfehler

3.3.3 Betriebsspezifische Auswertung

Für Betrieb L6 erfolgte zusätzlich eine Auswertung auf einzelbetrieblicher Ebene. Hintergrund dafür war einerseits das umfangreiche Datenmaterial. Zum anderen sollte unter Berücksichtigung betriebsspezifischer Besonderheiten im Besamungsmanagement eine Beratungsempfehlung für diesen Betrieb erstellt werden. Der Betrieb arbeitete im Untersuchungszeitraum mit einer fixen Besamungszeit, wobei die künstliche Besamung von zwei im Wochenrhythmus wechselnden Besamungstechnikern durchgeführt wurde. Die Besamungen fanden einmal täglich, morgens zwischen 7:00 und 8:00 Uhr, statt. Daraus ergab sich die Fragestellung, ob möglicherweise durch einen zusätzlichen täglichen Besamungstermin am Nachmittag die Herdenfruchtbarkeit gesteigert werden könnte. Zur Beantwortung dieser Frage wurde das nachfolgend dargestellte GEE-Modell genutzt. Die Klasseneinteilung für den fixen Effekt „Zeitabstand der künstlichen Besamung vom

Brunstbeginn“ wurde unter Berücksichtigung des zugrunde liegenden Datenmaterials sowie der zum Analysezeitpunkt bereits vorliegenden überbetrieblichen Ergebnisse gewählt.

$$y_{ijkl} = \mu + p_i + a_j + k_k + e_{ijkl}$$

mit:

y_{ijkl} = Beobachtungswert des Merkmals Besamungserfolg (1 = trächtig/0 = nicht trächtig)

μ = konstanter Mittelwert

p_i = fixer Effekt der Parität (1 – 4)

a_j = fixer Effekt des Abstandes der KB vom Brunstbeginn (-24 bis 19 h; 20 bis 27 h; 28 bis 48 h)

k_k = zufälliger Effekt der Kuh

e_{ijkl} = zufälliger Restfehler

Zusätzlich erfolgte eine deskriptive Auswertung der Konzeptionsrate in Abhängigkeit vom Tag (in Relation zur Besamung) und Uhrzeit des Aktivitätspeaks. Dabei wurden die Zeitspannenklassen in Anlehnung an die Morgens-Abends-Regel gefasst. Eine weitere Unterteilung der Zeitspannenklassen kam für die betriebsspezifische Erarbeitung einer Empfehlung bezüglich der Besamungszeiten aus praktischen Gründen (an fixe Uhrzeiten gebundene Besamung durch Besamungstechniker) nicht in Betracht.

3.3.4 Roboterbesuchsverhalten

Die Daten zum Roboterbesuchsverhalten im Verlauf eines Zyklus wurden für die Lely-Betriebe ausgewertet. Grundlage bildeten die den Datenbanken der Herdenmanagementsoftware entnommenen Werte. Analysiert wurden die Gesamtzahl der Roboterbesuche, die Anzahl der Melkungen sowie die Anzahl der Verweigerungen (Melkroboterbesuche ohne Melkanrecht). Dazu wurde der Zeitraum von 840 Stunden vor der Besamung bis 119 Stunden nach der Besamung in 24h-Klassen eingeteilt. Der jeweilige 24h-Zeitraum wurde dabei ausgehend von der Stunde der Besamung bestimmt (Abb. 5). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die 24h-Klassen als Tage in Relation zur Besamung dargestellt. Dabei ist „Tag“ nicht als Kalendertag, sondern als Zeitspanne zu verstehen. Als Tag 0 wurde der 24h-Zeitraum ab der Stunde der künstlichen Besamung definiert.

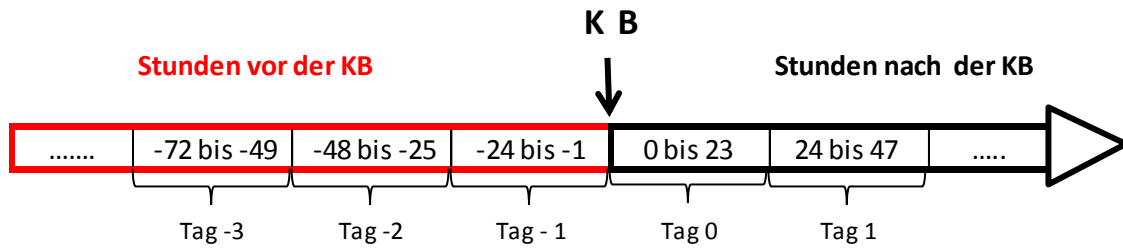


Abb. 5: Veranschaulichung der Zeitklassenbildung in Relation zur Stunde der künstlichen Besamung (KB) zur Darstellung der Melkparameter

Für jeden Zyklus wurden die einzelnen Melkroboterbesuche pro Kuh innerhalb des jeweiligen 24h-Zeitraums summiert. Dabei wurde unterschieden in Verweigerungen, erfolgreiche Melkungen und fehlgeschlagene Melkversuche. Die Gesamtzahl der Roboterbesuche wurde als Summe aus diesen drei Parametern ermittelt. In die Auswertungen konnten 1.708 Zyklen von 813 Tieren einbezogen werden.

Neben der deskriptiven Darstellung der Mittelwerte der vorgenannten Parameter über den gesamten Zeitraum wurde die Zeitspanne von 240 Stunden vor der Besamung bis 119 Stunden nach der Besamung näher analysiert. Dazu wurde die Häufigkeit der gesamten Roboterbesuche, der erfolgreichen Melkungen sowie der Verweigerungen innerhalb der jeweiligen 24h-Klassen mittels Chi-Quadrat-Test ausgewertet. Für diese Auswertungen wurden die beobachteten Häufigkeiten pro Kuh und 24h-Zeitraum wie folgt klassiert:

- Besuche gesamt: ≤ 2 ; 3 – 4; ≥ 5
- Melkungen: ≤ 2 ; 3; ≥ 4
- Verweigerungen: 0; 1 – 2; ≥ 3

4. Ergebnisse

4.1 DeLaval-Betriebe

4.1.1 Aktivitätsverhalten im Diöstrus

Die Beschreibung des Aktivitätsverhaltens im Diöstrus erfolgt auf Basis der Referenzaktivität, d.h. der Aktivität des Zeitraums von 240 Stunden bis 49 Stunden vor der künstlichen Besamung.

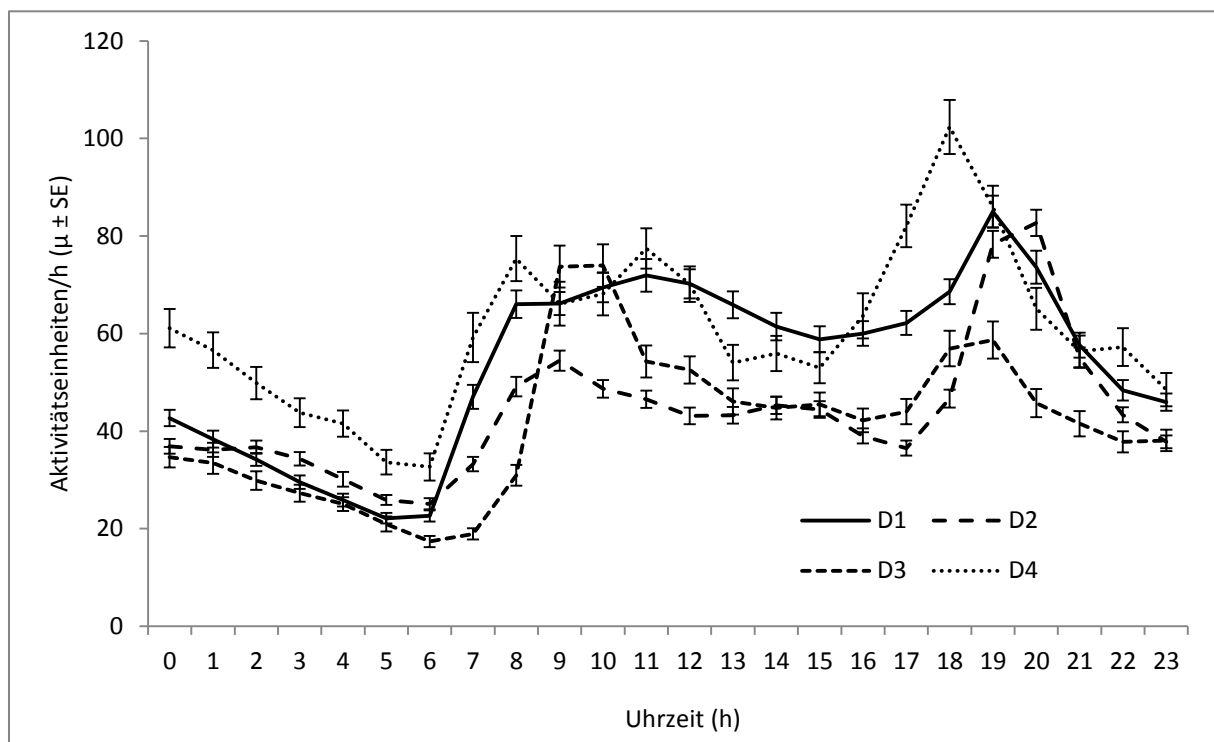


Abb. 6: Tagesrhythmik der Aktivität (Mittelwerte ± Standardfehler der Mittelwerte) im Referenzzeitraum (Diöstrus) in Abhängigkeit vom Betrieb

Einbezogen wurden alle ausgewerteten Zyklen (D1: n = 153, D2: n = 158, D3: n = 85, D4: n = 49).

In Abb. 6 ist die mittlere Aktivität des Referenzzeitraums für jede Tagesstunde auf Betriebsebene dargestellt. Das Aktivitätsverhalten unterlag betriebsübergreifend einer bimodalen Tagesrhythmik. In allen Betrieben zeigte sich ein Aktivitätsverlauf mit Aktivitätshöhepunkten am Vormittag und am Abend und niedrigem Aktivitätsniveau in den Nachtstunden. Dabei war für die Betriebe D1, D2 und D4 der Aktivitätsgipfel in den Abendstunden deutlicher als in den Morgenstunden ausgeprägt. Bei Betrieb D3 zeigte sich ein anderes Bild. In diesem Betrieb war in den Vormittagsstunden die höchste Aktivität im

Tagesverlauf zu verzeichnen. Die geringsten Aktivitätswerte waren bei den Betrieben D1, D2 und D4 um 5:00 und um 6:00 Uhr erkennbar, bei Betrieb D3 lag das Aktivitätsniveau um 6:00 Uhr und um 7:00 Uhr am niedrigsten.

Zur Analyse des Aktivitätsniveaus in der Referenzperiode wurden die in Tab. 15 aufgeführten Faktoren zusammen in einem gemischten linearen Modell berücksichtigt. Dabei hatten Tagesstunde, Betrieb, Parität und Jahreszeit einen signifikanten Einfluss auf das Aktivitätsniveau.

Tab. 15: Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Referenzaktivität (wurzeltransformiert)

Einflussfaktor	p-Wert	Signifikanz
Tagesstunde	< 0,001	***
Betrieb	< 0,001	***
Parität	< 0,001	***
Jahreszeit	< 0,001	***

Wie bereits der deskriptiven Darstellung (Abb. 6) zu entnehmen ist, kann der Tagesverlauf der Aktivität in der Referenzperiode, der in Abb. 7 als wurzeltransformierter Wert dargestellt ist, mit Nacht und Tag in zwei Bereiche eingeteilt werden. Das Aktivitätsniveau in der Nacht lag dabei auf einem deutlich geringerem Niveau als tagsüber. Im Mittel wurden die geringsten Werte morgens 5:00 Uhr (wurzeltransformiert $\mu = 4,88$; Aktivitätseinheiten/h = 23,80) und 6:00 Uhr (wurzeltransformiert $\mu = 4,77$; Aktivitätseinheiten/h = 22,77) erreicht. Danach erfolgte ein steiler Anstieg der Aktivität. Zu einem ersten Aktivitätsgipfel kam es zwischen 9:00 Uhr (wurzeltransformiert $\mu = 7,85$; Aktivitätseinheiten/h = 61,67) und 10:00 Uhr (wurzeltransformiert $\mu = 7,77$; Aktivitätseinheiten/h = 60,36). Im Anschluss fiel das Aktivitätsniveau leicht ab, um gegen Abend erneut anzusteigen. Ein zweiter Aktivitätsgipfel wurde zwischen 19:00 Uhr (wurzeltransformiert $\mu = 8,67$; Aktivitätseinheiten/h = 75,24) und 20:00 Uhr (wurzeltransformiert $\mu = 8,23$; Aktivitätseinheiten/h = 67,77) beobachtet. Anschließend erfolgte ein recht kontinuierlicher Abfall des Aktivitätsniveaus bis zum Erreichen des Minimums in den frühen Morgenstunden.

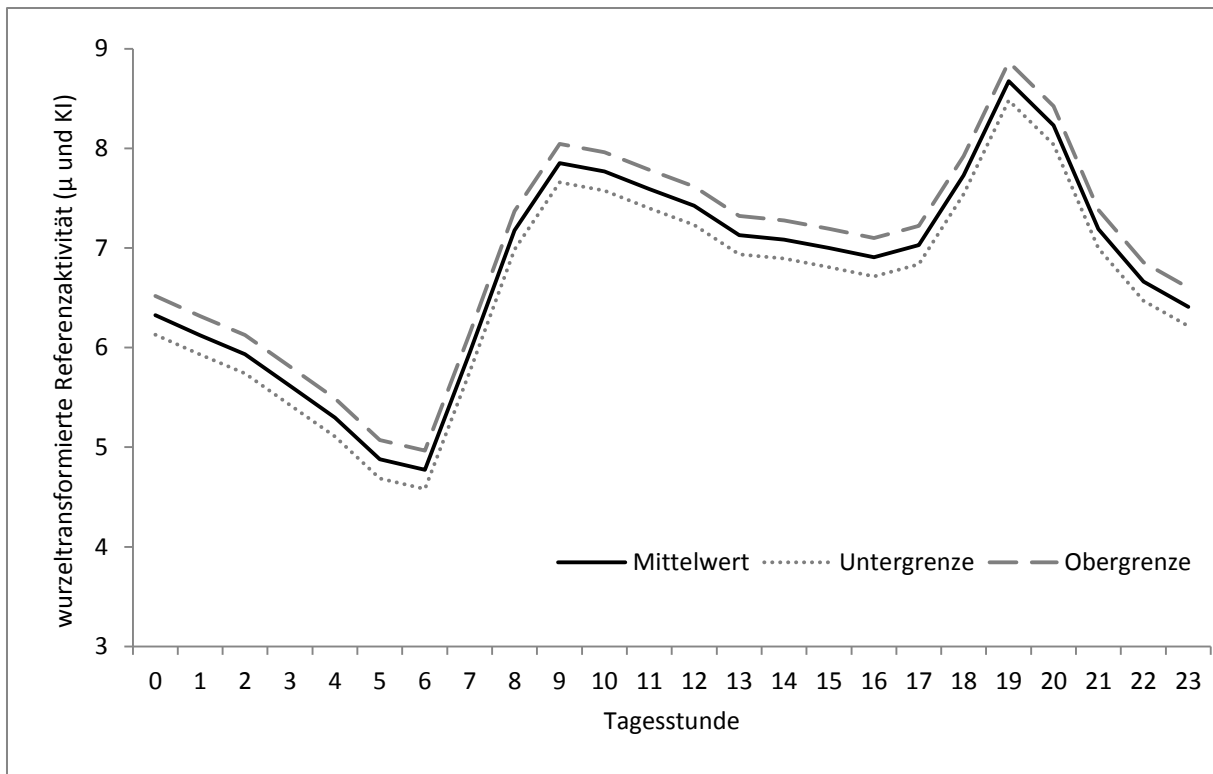


Abb. 7: Wurzeltransformierte Referenzaktivität in Abhängigkeit von der Tagesstunde

Angegeben sind Mittelwerte und zweiseitiges 95 %-Konfidenzintervall ($p < 0,001$) für alle ausgewerteten Zyklen ($n = 445$). Als Ursprung der y-Achse wurde zur deutlicheren Darstellung der Ober- und Untergrenzen des Konfidenzintervalls ein Wert > 0 gewählt.

Die Unterschiede im mittleren Aktivitätsniveau zwischen den einzelnen Betrieben gehen aus Tab. 16 hervor. Betrieb D4 wies mit durchschnittlich 55,38 Aktivitätseinheiten/h das höchste Aktivitätsniveau auf. Der Unterschied zu Betrieb D1 mit 50,69 Einheiten/h konnte statistisch nicht gesichert werden. Beide Betriebe unterschieden sich jedoch signifikant von den Betrieben D2 und D3, die beide ein deutlich niedriges Aktivitätsniveau von 40,92 bzw. 38,04 Aktivitätseinheiten/h zeigten.

Tab. 16: Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit vom Betrieb
 Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die
 aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des tatsächlichen
 Aktivitätsniveaus. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Betrieb	Anzahl Zyklen (n)	AN (wurzeltransformiert) im Referenzzeitraum ($\mu \pm SE$)	AN im Referenzzeitraum (μ)
D1	153	7,120 \pm 0,1154 ^a	50,69
D2	158	6,397 \pm 0,1238 ^b	40,92
D3	85	6,168 \pm 0,1423 ^b	38,04
D4	49	7,442 \pm 0,1652 ^a	55,38

Tab. 17 stellt die Unterschiede im Aktivitätsniveau in Abhängigkeit von der Parität dar. Das
 mittlere Aktivitätsniveau nahm mit zunehmender Parität von 51,51 Einheiten/h in Parität 1
 auf 40,69 Einheiten/h in Parität 4 ab. Dabei konnten lediglich die Unterschiede zwischen
 Parität 3 und 4 statistisch nicht gesichert werden. Zwischen allen anderen Merkmalsklassen
 bestanden signifikante Unterschiede.

Tab. 17: Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit von der Parität
 Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die
 aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des tatsächlichen
 Aktivitätsniveaus. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Parität	Anzahl Zyklen (n)	AN (wurzeltransformiert) im Referenzzeitraum ($\mu \pm SE$)	AN im Referenzzeitraum (μ)
1	124	7,177 \pm 0,0951 ^a	51,51
2	110	6,929 \pm 0,0878 ^b	48,01
3	100	6,642 \pm 0,0976 ^c	44,12
4	111	6,379 \pm 0,1212 ^c	40,69

Tab. 18 zeigt die Unterschiede im Aktivitätsniveau zwischen den einzelnen Jahreszeiten.
 Sowohl das Aktivitätsniveau der Sommermonate als auch das der Wintermonate unterschied
 sich signifikant von den jeweils anderen Jahreszeiten. Dabei konnte im Sommer die höchste

Aktivität und im Winter die niedrigste Aktivität beobachtet werden. Das Aktivitätsniveau von Frühjahr und Herbst unterschied sich nicht und lag zwischen den Werten von Winter und Sommer.

Tab. 18: Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Werten berechneten Mittelwerte des tatsächlichen Aktivitätsniveaus. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Jahreszeit	Anzahl Zyklen (n)	AN (wurzeltransformiert) im Referenzzeitraum ($\mu \pm SE$)	AN im Referenzzeitraum (μ)
Frühjahr	119	6,789 \pm 0,0778 ^a	46,09
Sommer	53	7,043 \pm 0,0899 ^b	49,60
Herbst	123	6,753 \pm 0,0788 ^a	45,60
Winter	150	6,542 \pm 0,0759 ^c	42,80

4.1.2 Aktivitätsverhalten im brunstnahen Zeitraum

4.1.2.1 Charakterisierung des Aktivitätsverhaltens im zeitlichen Ablauf

Abb. 8 stellt die Tagesrhythmik der Referenzaktivität der Tagesrhythmik der Aktivität im brunstnahen Zeitraum gegenüber. Die Darstellung erfolgte für den Tag vor der Besamung (Tag -1) und den Tag der Besamung (Tag 0) für alle besamten Tiere unabhängig vom Erfolg der Insemination. Auch innerhalb des brunstnahen Zeitraums folgte das Aktivitätsverhalten dem Tag-Nacht-Rhythmus und war wie in der Referenzperiode von einem zweigipfligen Tagesverlauf geprägt. Dabei lag das Aktivitätsniveau im brunstnahen Zeitraum jedoch deutlich über dem Niveau der Referenzaktivität. Bereits ab den Vormittagsstunden am Vortag der künstlichen Besamung begann die Aktivität im brunstnahen Zeitraum sichtbar von der Referenzaktivität abzuweichen. Ab den Nachmittagsstunden des gleichen Tages wurde die Abweichung größer. Die höchste Auslenkung war in der Zeitspanne zwischen 21:00 Uhr am Vortag der Besamung und 9:00 Uhr am Besamungstag zu erkennen. Das Aktivitätsniveau lag in dieser Zeit mehr als 30 % über dem Niveau der Referenzaktivität. In den Abendstunden

des Besamungstages erreichte das Aktivitätsniveau des brunstnahen Zeitraums wieder das Niveau der Referenzaktivität.

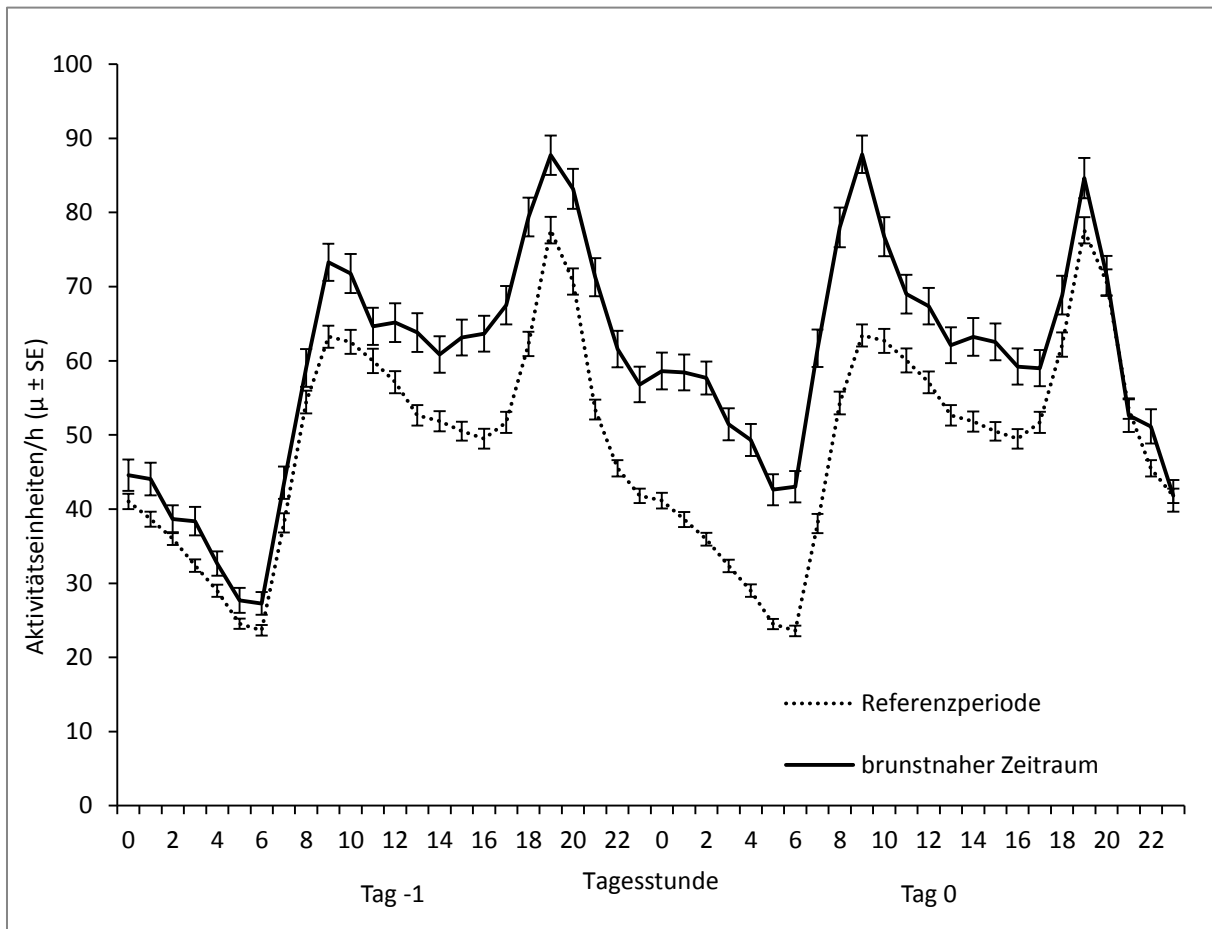


Abb. 8: Gegenüberstellung der Tagesrhythmik der Referenzaktivität und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum

Dargestellt sind die stundenbezogenen Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte für die Referenzaktivität (unterbrochene Linie) und für die Aktivität des Tages vor der künstlichen Besamung (Tag -1) und des Tages der künstlichen Besamung (Tag 0) (durchgezogene Linie) für alle ausgewerteten Brunstzyklen ($n = 445$).

Abb. 9 stellt die Aktivität im brunstnahen Zeitraum der Referenzaktivität in Relation zur Stunde der künstlichen Besamung (Stunde 0) gegenüber. Für diese Darstellung wurden ausschließlich Zyklen gewählt, in denen die Besamung zu einer Trächtigkeit geführt hat. Daher kann davon ausgegangen werden, dass in diesen Zyklen die Besamung im korrekten Zeitfenster erfolgte. Ein deutlicher Anstieg des Aktivitätsniveaus im brunstnahen Zeitraum gegenüber der Referenzaktivität war im Mittel über alle Tiere ab 25 Stunden vor der

Besamung zu erkennen. In der Zeitspanne zwischen 21 Stunden bis 3 Stunden vor der Besamung lag das Aktivitätsniveau durchweg mehr als 30 % über dem Niveau der Referenzaktivität. Die maximale Auslenkung (77,5 %) wurde im Mittel über alle Zyklen 12 Stunden vor der Insemination erzielt. Kurz nach der Besamung fiel das Aktivitätsniveau wieder auf das Niveau der Referenzaktivität ab.

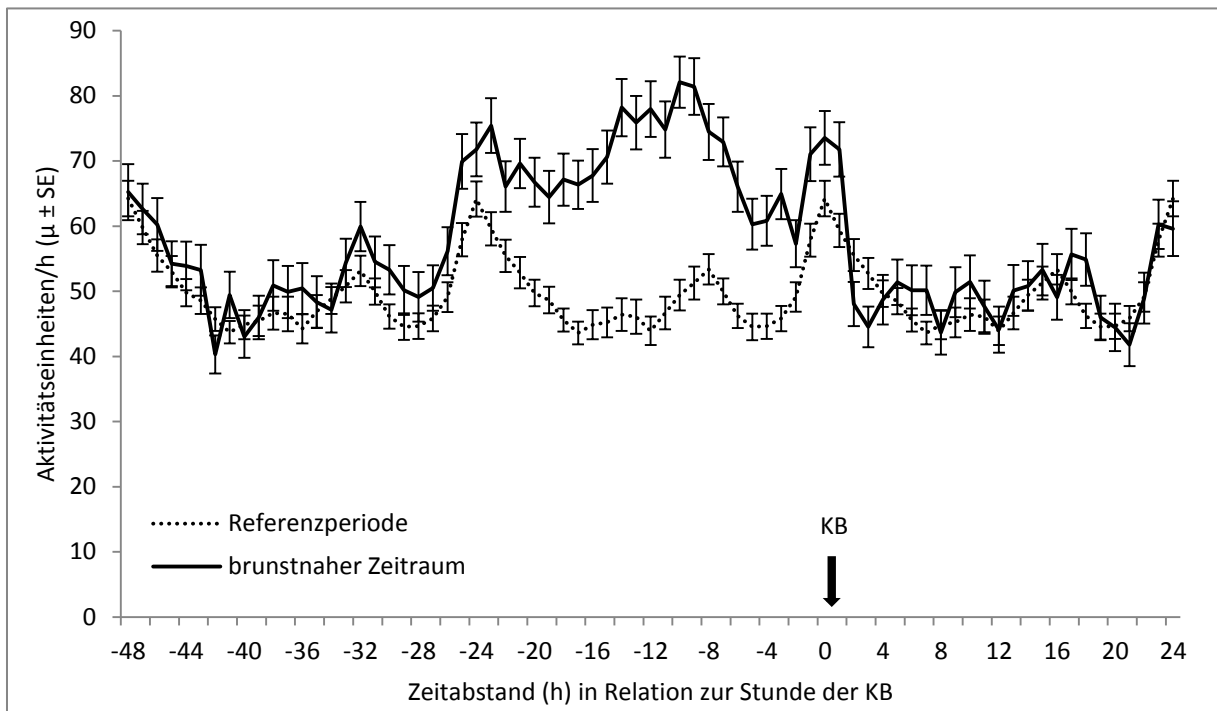


Abb. 9: Gegenüberstellung der Referenzaktivität und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum im zeitlichen Bezug zum Besamungszeitpunkt (Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte)

Die Darstellung der Referenzaktivität (unterbrochene Linie) und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum (48 h vor der KB bis 24 h nach der KB; durchgezogene Linie) erfolgte für alle ausgewerteten Zyklen mit erfolgreicher KB ($n = 181$). Die Stunde 0 kennzeichnet den Zeitpunkt der künstlichen Besamung (KB).

Bei Betrachtung auf Einzeltierebene ist zu erkennen, dass es am häufigsten in den Nacht- bzw. frühen Morgenstunden zwischen 0:00 Uhr bis 8:00 (Zeitspanne 22:01 – 8:00 Uhr) zur maximalen Auslenkung der Aktivität (Aktivitätspeak, basierend auf ZGD5) kam. 41,3 % aller Tiere zeigten ihren Aktivitätspeak innerhalb dieses Zeitraums am Tag der Besamung. Am Nachmittag um 16:00 Uhr (Zeitspanne 14:01 – 16:00 Uhr) war ebenfalls ein vermehrtes Auftreten des Peaks zu beobachten. 5 % der Tiere zeigten ihren Aktivitätshöhepunkt am Tag der Besamung zu dieser Zeit (Abb. 10).

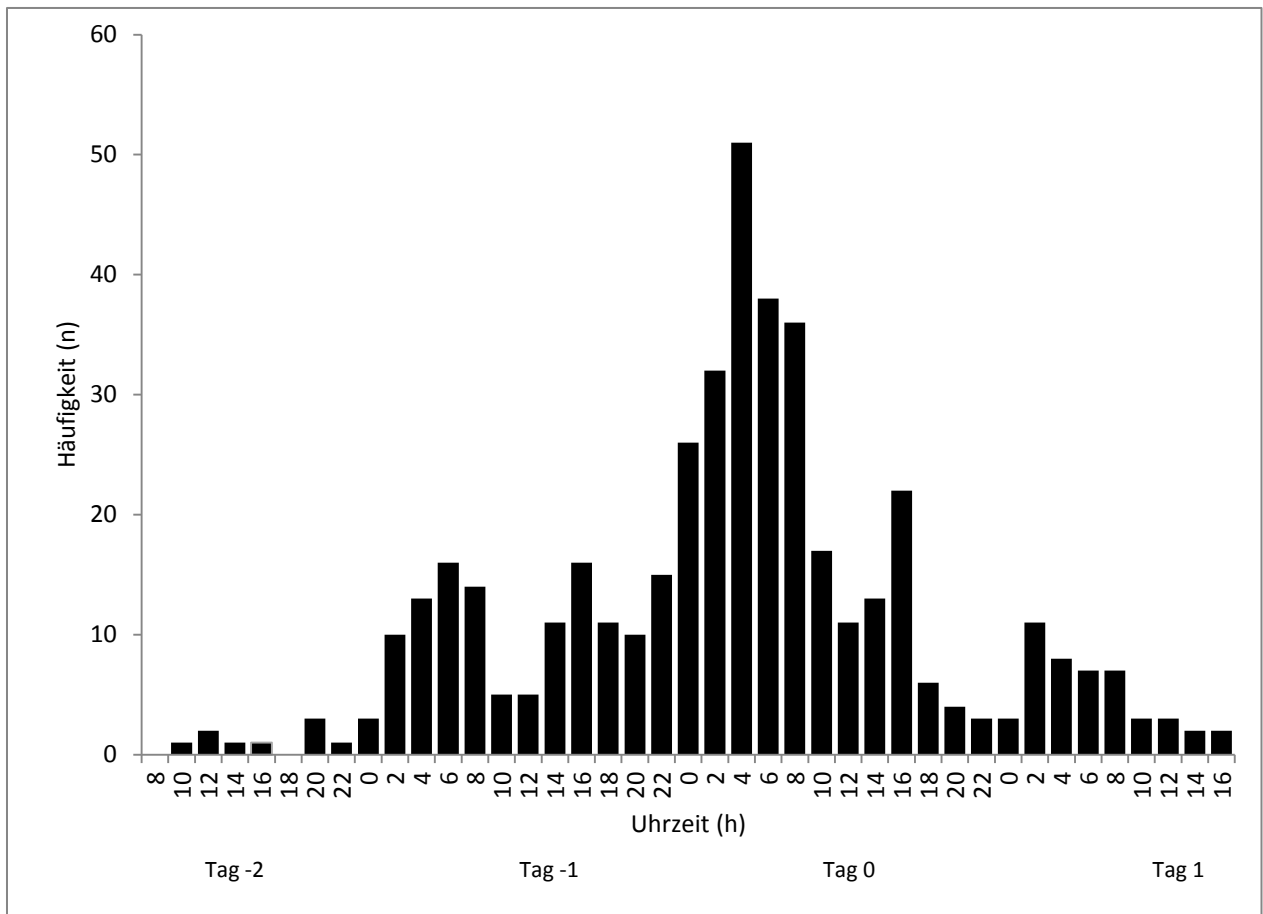


Abb. 10: Tag (in Bezug zur künstlichen Besamung) und Uhrzeit des Aktivitätspeaks

0:00 Uhr umfasst die Zeitspanne von 22:01 – 0:00 Uhr, 2:00 umfasst die Zeitspanne von 0:01 – 2:00 Uhr... 22:00 Uhr umfasst die Zeitspanne von 20:01 bis 22:00. Der Tag der künstlichen Besamung ist mit Tag 0 gekennzeichnet. Die Häufigkeitsverteilung umfasst alle ausgewerteten Brunstzyklen (n = 443).

4.1.2.2 Einflüsse auf die Höhe des Aktivitätspeaks

Unterschiede in der Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale brunstbedingte Aktivitätsauslenkung (basierend auf ZGD5) konnten für die Faktoren Betrieb, Parität, Tagesmilchmenge und Besamungserfolg statistisch gesichert werden. Bezüglich der Jahreszeit war kein Einfluss auf die Höhe des Peaks zu erkennen (Tab. 19). Innerhalb der in diese Analyse einbezogenen 409 Zyklen betrug der Aktivitätspeak im Mittel $271,8 \pm 166,5$ %. Das Minimum lag bei 47,8 %, im Maximum wurden 1.108,1 % erreicht.

Tab. 19: Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Aktivitätspeak als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität (wurzeltransformiert)

Einflussfaktor	p-Wert	Signifikanz
Betrieb	0,042	*
Parität	0,001	**
Jahreszeit	0,539	n.s.
Milchmenge (kg/d)	< 0,001	***
Besamungserfolg	0,011	*

Tab. 20 verdeutlicht, dass die maximale Auslenkung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum für die Betriebe D1 und D2 nahezu gleich war. Tiere des Betriebes D4 zeigten demgegenüber einen deutlicheren Aktivitätspeak, die höchste brunstbedingte Auslenkung der Aktivität war bei Betrieb D3 zu verzeichnen. Obwohl im Modell ein signifikanter Einfluss des Betriebes zu erkennen war, zeigten sich beim paarweisen Vergleich der Mittelwerte keine signifikanten Unterschiede. Das abweichende Ergebnis resultierte aus der Korrektur des Konfidenzintervalles nach Bonferroni für die paarweisen Vergleiche.

Tab. 20: Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit vom Betrieb
 Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des Aktivitätspeaks (AP) in Prozent.

Betrieb	Anzahl Zyklen (n)	AP wurzeltransformiert ($\mu \pm SE$)	AP in Prozent (μ)
D1	149	15,442 \pm 0,4090	238,46
D2	141	15,440 \pm 0,4241	238,39
D3	76	17,175 \pm 0,5523	294,98
D4	43	16,170 \pm 0,7196	261,47

Tab. 21 zeigt den Zusammenhang zwischen Parität und maximaler Auslenkung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum. Bis zur dritten Laktation nahm die Höhe des Aktivitätspeaks stetig zu. Für Tiere höherer Laktationsnummern war wieder ein leichter Rückgang in der Ausprägung des Aktivitätsgipfels zu beobachten.

Tab. 21: Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit von der Parität
 Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des Aktivitätspeaks (AP) in Prozent. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Parität	Anzahl Zyklen (n)	AP wurzeltransformiert ($\mu \pm SE$)	AP in Prozent (μ)
1	114	14,625 \pm 0,4673 ^a	213,89
2	100	15,610 \pm 0,4651 ^{ab}	243,67
3	91	17,300 \pm 0,5106 ^b	299,29
4	104	16,691 \pm 0,5076 ^b	278,59

Tab. 22 kann die maximale Abweichung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum vom Referenzwert in Abhängigkeit von der mittleren Tagesmilchleistung der Tage neun bis fünf vor der Besamung entnommen werden. Mit zunehmender Milchleistung nahm die Ausprägung des Aktivitätspeaks ab. Dabei ließen sich die Unterschiede zwischen den Tieren mit einer mittleren Tagesmilchmenge von weniger als 25 kg und den Tieren mit höherer Leistung statistisch sichern.

Tab. 22: Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit von der mittleren Tagesmilchmenge der Tage neun bis fünf vor der künstlichen Besamung in kg/d
Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des Aktivitätspeaks (AP) in Prozent. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Milchmenge (kg/d)	Anzahl Zyklen (n)	AP wurzeltransformiert ($\mu \pm SE$)	AP in Prozent (μ)
< 25	124	18,548 \pm 0,4712 ^a	344,02
25 – 34,99	183	15,347 \pm 0,3687 ^b	235,53
\geq 35	102	14,275 \pm 0,4687 ^b	203,78

Signifikante Unterschiede konnten auch zwischen erfolgreich besamten Kühen und Kühen, bei denen die künstliche Besamung nicht zu einer Trächtigkeit geführt hat, nachgewiesen werden. Tiere, die in dem betreffenden Zyklus trächtig wurden, hatten im Mittel einen signifikant höheren Aktivitätspeak gezeigt als Tiere, die nicht trächtig wurden (Tab. 23).

Tab. 23: Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Bezug zum Ergebnis der künstlichen Besamung (KB)
Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des Aktivitätspeaks in Prozent. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Ergebnis KB	Anzahl Zyklen (n)	AP wurzeltransformiert ($\mu \pm SE$)	AP in Prozent (μ)
nicht trächtig	242	15,525 \pm 0,3273 ^a	241,03
trächtig	167	16,588 \pm 0,3627 ^b	275,16

4.1.3 Beziehung zwischen Besamungserfolg und zeitlichem Abstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak

Im Mittel aller ausgewerteten Zyklen der DeLaval-Betriebe erfolgte die Besamung $11,5 \pm 13,9$ Stunden nach dem Aktivitätspeak. 50 % der Besamungen wurden in der Zeitspanne zwischen 5 Stunden und 18 Stunden nach dem Peak vorgenommen (Abb. 11).

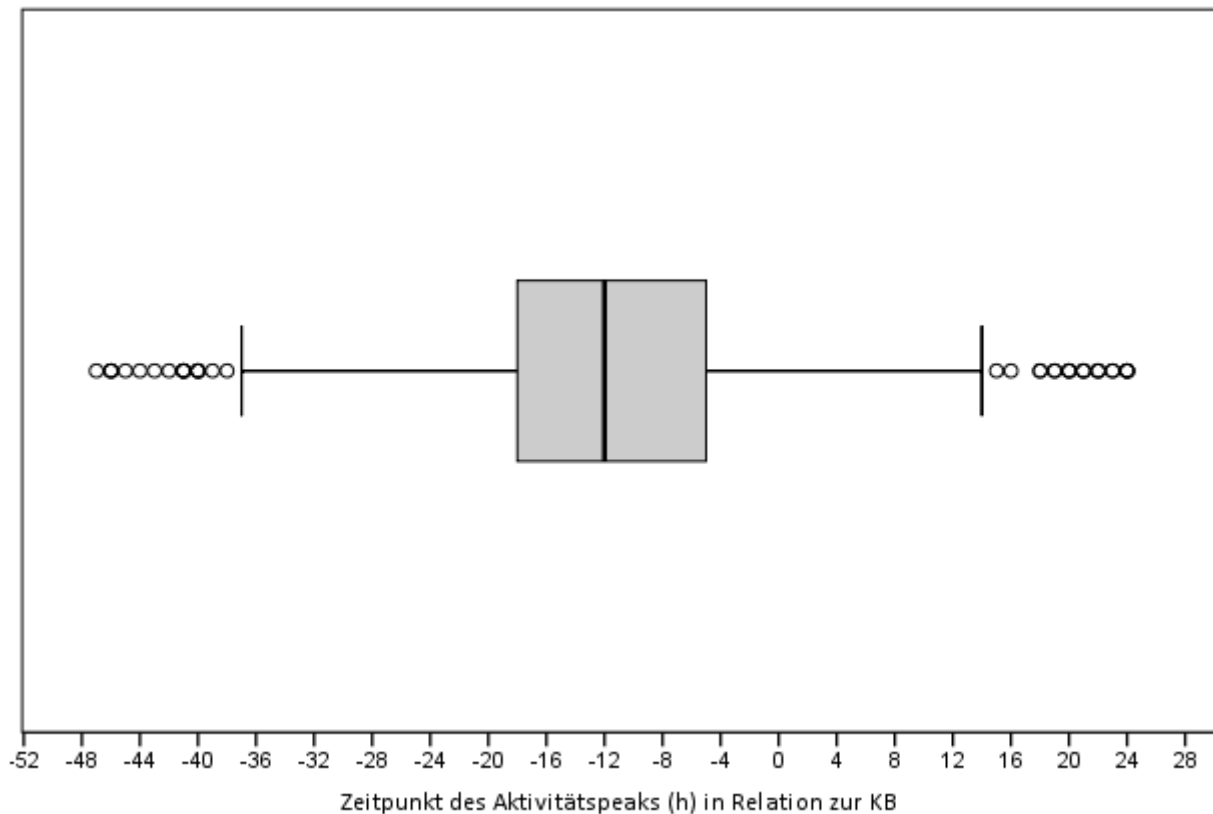


Abb. 11: Abstand des Aktivitätspeaks in h in Relation zum Zeitpunkt der künstlichen Besamung
Der Zeitpunkt der künstlichen Besamung (KB) ist durch die Stunde 0 gekennzeichnet.

Innerhalb der DeLaval-Betriebe konnte der Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak und dem Besamungserfolg statistisch nicht abgesichert werden. Alle im Modell befindlichen Variablen hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Besamungserfolg. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 8,5 % lässt die Analyse jedoch einen Trend dahingehend erkennen, dass sich die Zeitspanne zwischen dem Aktivitätspeak und der Besamung auf das Besamungsergebnis ausgewirkt hat (Tab. 24).

Tab. 24: Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung des zeitlichen Abstandes der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak

Einflussfaktor	p-Wert	Signifikanz
Betrieb	0,979	n.s.
Parität	0,222	n.s.
Laktationsstadium	0,157	n.s.
zeitlicher Abstand der KB vom Aktivitätspeak	0,085	n.s.

Abb. 12 zeigt, dass der Besamungserfolg, dargestellt anhand der mittleren Konzeptionsrate, tendenziell dann am höchsten war, wenn die Besamung in der Zeitspanne zwischen 9 und 24 Stunden nach dem Aktivitätspeak erfolgte. Die mittlere Konzeptionsrate erreichte für Besamungen innerhalb von 9 bis 16 Stunden nach dem Peak 46,2 % und für Besamungen innerhalb von 17 bis 24 Stunden nach dem Peak 45,5 %. Wurden die Kühe vor oder innerhalb von 8 Stunden nach dem Aktivitätspeak besamt, lag die Konzeptionsrate nur bei 31,4 % bzw. 31,7 %. Eine ähnliche Situation ergab sich für sehr spät, d. h. 25 bis 48 Stunden nach dem Peak, durchgeführte Besamungen. In dieser Zeitspanne betrug die Konzeptionsrate 33,0 %.

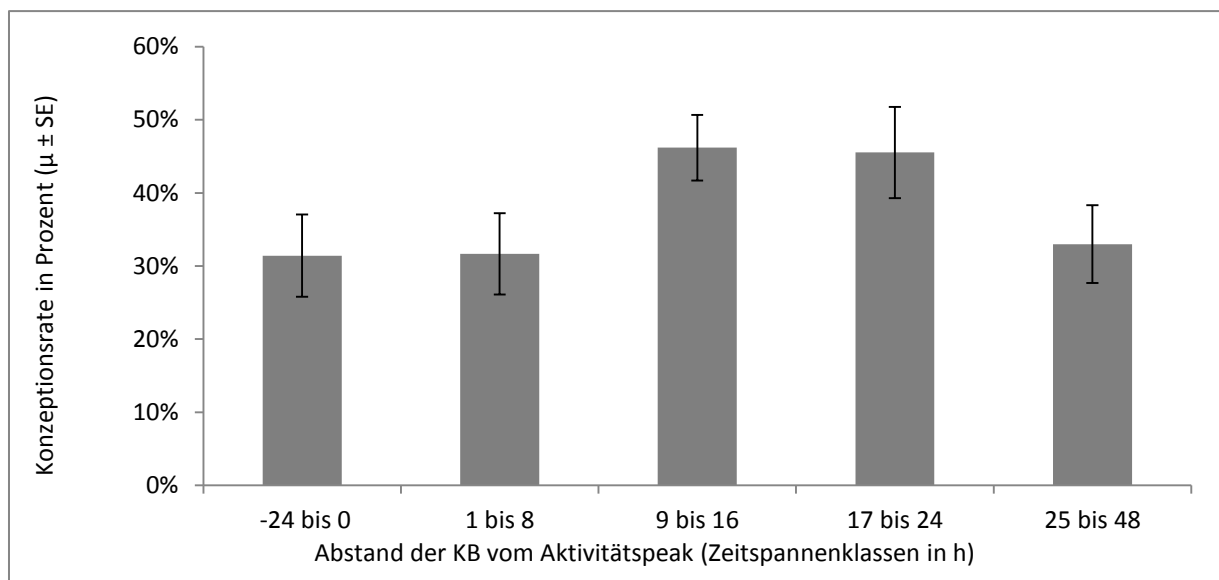


Abb. 12: Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak

Dargestellt sind Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte. Ausgewertet wurden 443 Zyklen ($p = 0,085$), die wie folgt auf die einzelnen Zeitspannenklassen verteilt waren: -24 bis 0 h: $n = 70$; 1 bis 8 h: $n = 87$; 9 bis 16 h: $n = 154$; 17 bis 24 h: $n = 56$; 25 bis 48 h: $n = 76$.

4.2 Lely-Betriebe

4.2.1 Aktivitätsverhalten im Diöstrus

Das Aktivitätsverhalten im Diöstrus wurde entsprechend dem Vorgehen bei den DeLaval-Betrieben auch für die Tiere der Lely-Betriebe anhand der berechneten Referenzaktivität dargestellt.

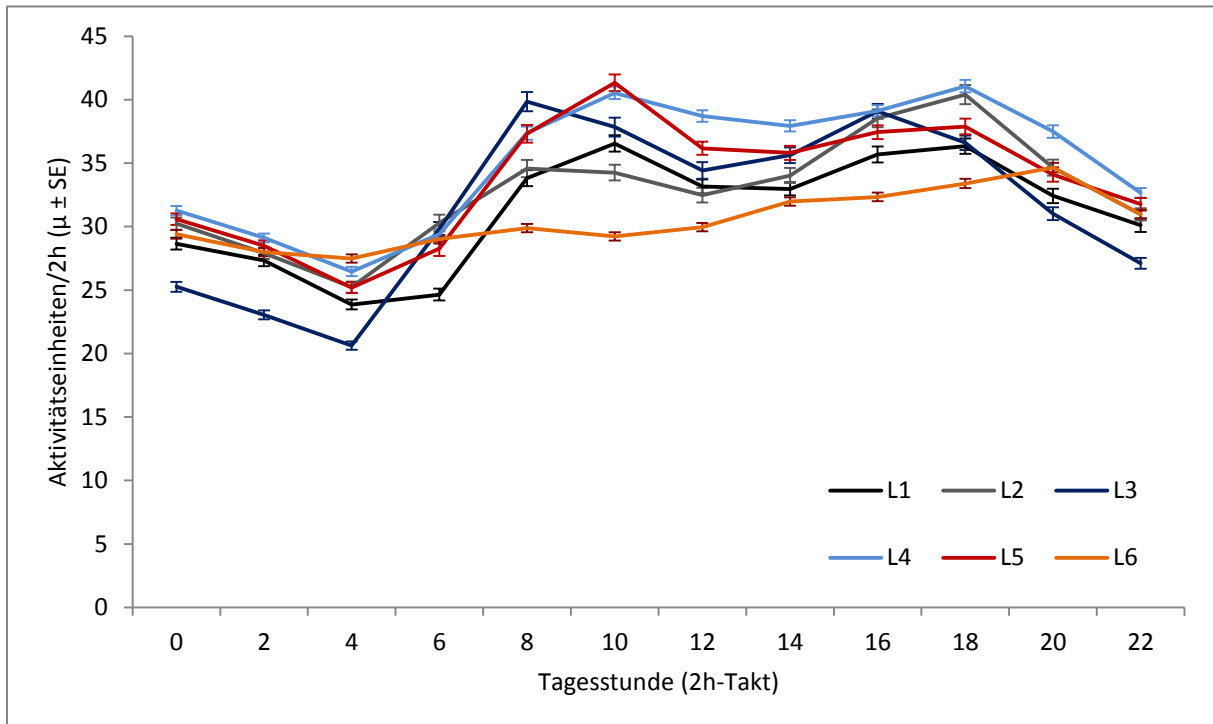


Abb. 13: Tagesrhythmik der Aktivität (Mittelwerte ± Standardfehler der Mittelwerte) im Referenzzeitraum (Diöstrus) in Abhängigkeit vom Betrieb

Einbezogen wurden alle ausgewerteten Zyklen (L1: n = 264, L2: n = 155, L3: n = 277, L4: n = 416, L5: n = 210, L6: n = 392)

Abb. 13 stellt den Tagesverlauf der Referenzaktivität in Abhängigkeit vom Betrieb dar. Für die Betriebe L1 bis L5 ist ein bimodaler Tagesverlauf der Aktivität mit einem deutlich niedrigeren Aktivitätsniveau in den Nachtstunden erkennbar. Der Aktivitätsgipfel in den Vormittagsstunden wurde 8:00 Uhr (L2, L3) bzw. 10:00 Uhr (L1, L4, L5) erreicht, in den Abendstunden war die höchste Aktivität 16:00 Uhr (L4) bzw. 18:00 (L1, L2, L3, L5) zu verzeichnen. Betrieb L6 zeigte ein von den anderen Betrieben abweichendes Aktivitätsmuster. Der Aktivitätsrückgang in den Nachtstunden fiel weniger stark aus. Im Tagesverlauf stieg das Aktivitätsniveau fast kontinuierlich bis zum höchsten Niveau in den

Abendstunden um 20:00 Uhr an. Ein Aktivitätsgipfel am Vormittag war nur sehr undeutlich ausgeprägt. Übergreifend wurden in allen Betrieben die niedrigsten Aktivitäten morgens um 4:00 Uhr gemessen.

Das Aktivitätsniveau im Diöstrus wurde von den Faktoren Tagesstunde, Betrieb, Parität und Jahreszeit signifikant beeinflusst (Tab. 25).

Tab. 25: Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Referenzaktivität (wurzeltransformiert)

Einflussfaktor	p-Wert	Signifikanz
Tagesstunde	< 0,001	***
Betrieb	< 0,001	***
Parität	< 0,001	***
Jahreszeit	< 0,001	***

Betriebsübergreifend unterlag die Aktivität der Kühe im Diöstrus einem deutlich erkennbaren Tag-Nacht-Rhythmus. Die Werte sind in Abb. 14 in wurzeltransformierter Form dargestellt.

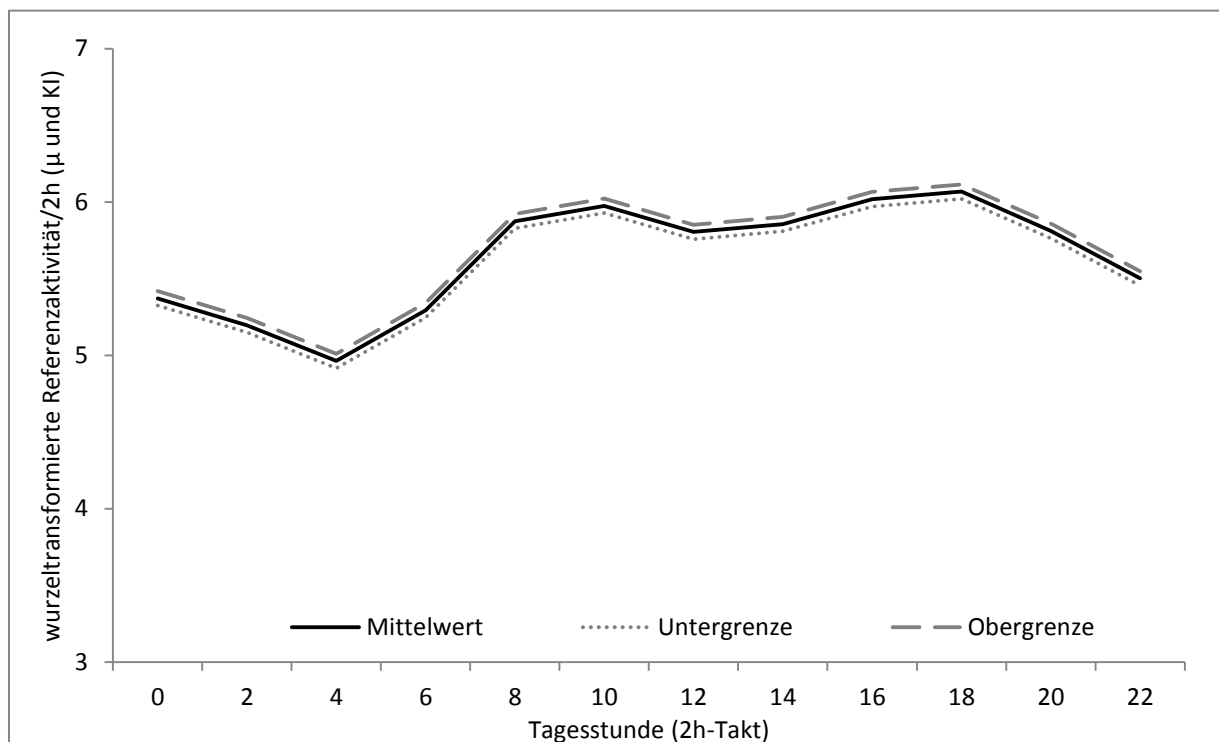


Abb. 14: Wurzeltransformierte Referenzaktivität in Abhängigkeit von der Tagesstunde

Dargestellt sind Mittelwerte und zweiseitiges 95 %-Konfidenzintervall ($p < 0,001$) für alle ausgewerteten Zyklen ($n = 1.714$). Als Ursprung der y-Achse wurde zur deutlicheren Darstellung der Ober- und Untergrenzen des Konfidenzintervalls ein Wert > 0 gewählt.

In den Nachstunden lag das Aktivitätsniveau erkennbar niedriger als am Tag. Die niedrigsten Werte wurden im Mittel morgens um 4:00 Uhr gemessen (wurzeltransformiert 4,96; Aktivitätswert 24,64). Danach stieg das Aktivitätsniveau deutlich und fast linear an. Der erste Aktivitätsgipfel im Tagesverlauf wurde 10:00 Uhr erreicht (wurzeltransformiert 5,97; Aktivitätswert 35,70). Danach fiel das Aktivitätsniveau leicht ab, um im Anschluss erneut anzusteigen. Der zweite Aktivitätshöhepunkt lag in den Abendstunden um 18:00 Uhr (wurzeltransformiert 6,07; Aktivitätswert 36,82). Nach 18:00 Uhr sank das Aktivitätsniveau kontinuierlich bis zum Erreichen des Minimums morgens um 4:00 Uhr ab.

Tab. 26 zeigt das mittlere Aktivitätsniveau auf Betriebsebene. Im Referenzzeitraum waren die Tiere des Betriebes L4 mit 34,29 Aktivitätseinheiten/2h am aktivsten. Die niedrigsten Werte wiesen mit 30,05 Einheiten/2h die Kühe des Betriebes L6 auf.

Tab. 26: Mittleres Aktivitätsniveau in Einheiten/2h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit vom Betrieb
 Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Werten berechneten Mittelwerte des tatsächlichen Aktivitätsniveaus (AN). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Betrieb	Anzahl Zyklen (n)	AN (wurzeltransformiert) im Referenzzeitraum ($\mu \pm SE$)	AN im Referenzzeitraum (μ)
L1	264	5,544 \pm 0,0485 ^{ac}	30,73
L2	155	5,681 \pm 0,0663 ^{abc}	32,27
L3	277	5,578 \pm 0,0505 ^{ac}	31,11
L4	416	5,856 \pm 0,0467 ^b	34,29
L5	210	5,729 \pm 0,0626 ^{ab}	32,82
L6	392	5,482 \pm 0,0384 ^c	30,05

Tab. 27 zeigt das Aktivitätsniveau in Abhängigkeit von der Parität. Das Aktivitätsniveau nahm bis zur dritten Laktation ab. In Parität 4 (Laktationsnummer 4 – 10) wurden dann wieder ähnliche Werte wie in Parität 2 erreicht.

Tab. 27: Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/2h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit von der Parität
 Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die
 aus den wurzeltransformierten Werten berechneten Mittelwerte des tatsächlichen Aktivitätsniveaus.
 Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Parität	Anzahl Zyklen (n)	AN (wurzeltransformiert) im Referenzzeitraum ($\mu \pm SE$)	AN im Referenzzeitraum (μ)
1	555	5,756 \pm 0,0253 ^a	33,13
2	445	5,623 \pm 0,0242 ^b	31,62
3	328	5,556 \pm 0,0255 ^c	30,87
4	386	5,643 \pm 0,0298 ^b	31,84

Tab. 28 verdeutlicht die Unterschiede im Aktivitätsniveau zwischen den einzelnen Jahreszeiten. Im Mittel wurden in den Wintermonaten die niedrigsten Werte erzielt. Im Frühjahr lag das Aktivitätsniveau nur geringfügig über dem der Wintermonate. Am aktivsten waren die Kühe im Sommer. Das Aktivitätsniveau lag in diesem Zeitraum etwa zwei Messeinheiten/2h über dem Niveau der Wintermonate. Im Herbst war ein Rückgang des Aktivitätsniveaus um etwa eine Einheit/2h gegenüber den Sommermonaten erkennbar.

Tab. 28: Mittleres Aktivitätsniveau (AN) in Einheiten/2h im Referenzzeitraum in Abhängigkeit von der Jahreszeit
 Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die
 aus den wurzeltransformierten Werten berechneten Mittelwerte des tatsächlichen Aktivitätsniveaus.
 Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Jahreszeit	Anzahl Zyklen (n)	AN (wurzeltransformiert) im Referenzzeitraum ($\mu \pm SE$)	AN im Referenzzeitraum (μ)
Frühjahr	377	5,602 \pm 0,0238 ^a	31,38
Sommer	407	5,752 \pm 0,0236 ^b	33,08
Herbst	486	5,655 \pm 0,0236 ^c	31,98
Winter	444	5,570 \pm 0,0234 ^a	31,02

4.2.2 Aktivitätsverhalten im brunstnahen Zeitraum

4.2.2.1 Charakterisierung des Aktivitätsverhaltens im zeitlichen Ablauf

Der Tagesrhythmus der Aktivität am Tag vor der künstlichen Besamung (Tag -1) und am Besamungstag (Tag 0) im Vergleich zur Referenzaktivität kann Abb. 15 entnommen werden. Die Darstellung beinhaltet alle ausgewerteten Zyklen, unabhängig vom Ergebnis der Besamung. Das Aktivitätsmuster im brunstnahen Zeitraum folgte wie auch im Diöstrus einem Tag-Nacht-Rhythmus. Das Aktivitätsniveau lag dabei jedoch deutlich über dem des Referenzzeitraums. Bereits in den Vormittagsstunden des Tages -1 kam es zu einem deutlichen Anstieg des Aktivitätsniveaus gegenüber dem Referenzzeitraum. Das Maximum der Aktivität im brunstnahen Zeitraum wurde im Mittel über alle Tiere am Vortag der Besamung in den Abendstunden erzielt. Im Gegensatz zum Referenzzeitraum lag der Aktivitätsgipfel in den Abendstunden am Tag -1 deutlich über dem Gipfel der Vormittagsstunden desselben Tages, welcher nur undeutlich ausgeprägt war. In den Nachtstunden von Tag -1 auf Tag 0 sank das Aktivitätsniveau ab, wobei auch hier die Messwerte sichtbar über dem Referenzniveau lagen. Am Tag der künstlichen Besamung kam es wie auch in der Referenzperiode in den Vormittagsstunden zu einem Aktivitätsgipfel. Dieser fiel im Gegensatz zum Referenzzeitraum jedoch wesentlich höher als das abendliche Aktivitätsmaximum desselben Tages aus. In den späten Abendstunden des Tages 0 näherten sich das Aktivitätsniveau des brunstnahen Zeitraums und des Referenzzeitraums wieder weitestgehend aneinander an. Im Mittel über alle Zyklen war die höchste Abweichung des Aktivitätsniveaus im brunstnahen Zeitraum von dem Niveau des Referenzzeitraums in der Zeitspanne von 14:00 Uhr am Vortag der Besamung bis 8:00 Uhr am Tag der Besamung zu beobachten. In dieser Zeit lagen im brunstnahen Zeitraum die Messwerte zwischen 11 und 16 Einheiten/2h höher, die prozentuale Abweichung der Aktivität betrug durchweg mehr als 30 %. Eine Abweichung von mehr als 40 % von der Referenzaktivität konnte im Mittel über alle Zyklen für die Zeitspanne von 20:00 Uhr am Vortag der künstlichen Besamung bis 06:00 Uhr am Besamungstag festgestellt werden.

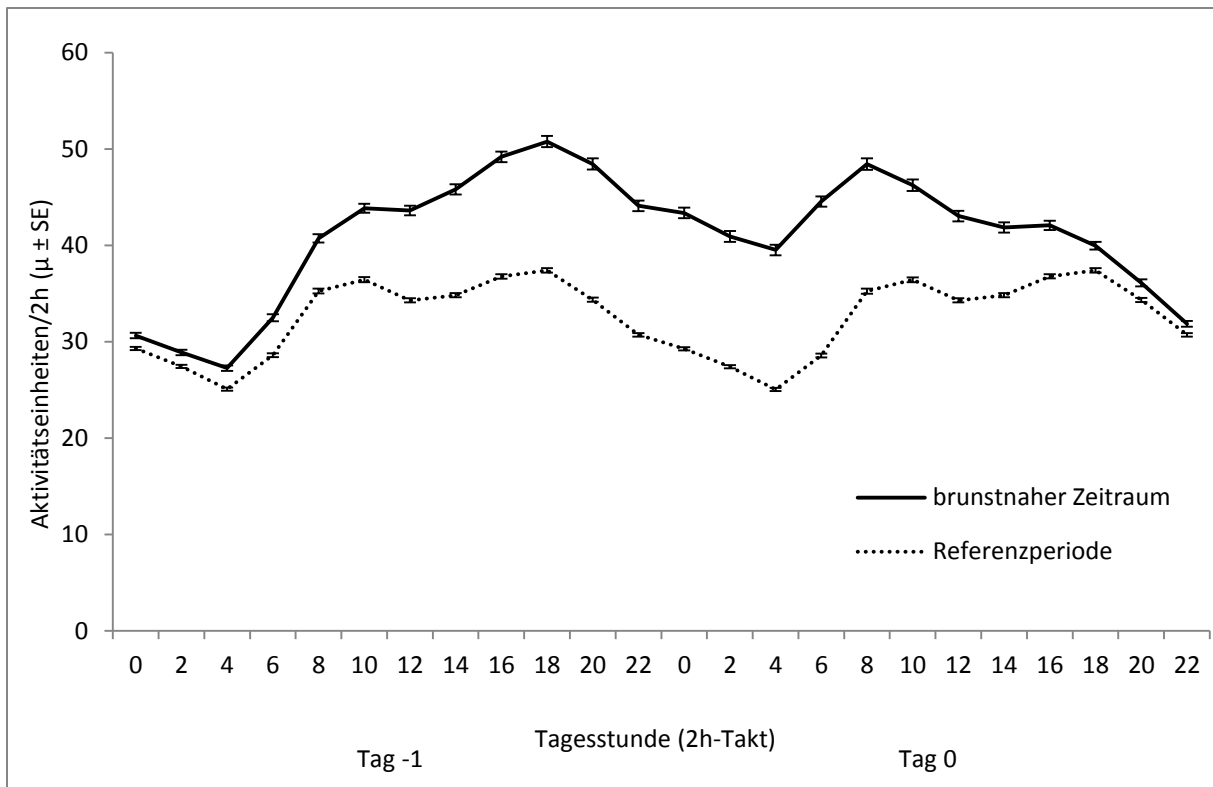


Abb. 15: Gegenüberstellung der Tagesrhythmik der Referenzaktivität und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum

Dargestellt sind die stundenbezogenen Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte für die Referenzaktivität (unterbrochene Linie) und für die Aktivität des Tages vor der künstlichen Besamung (Tag -1) und des Tages der künstlichen Besamung (Tag 0) (durchgezogene Linie) für alle ausgewerteten Brunstzyklen ($n = 1.714$).

Abb. 16 zeigt die Aktivität im brunstnahen Zeitraum im Vergleich zur Referenzaktivität in Relation zur Stunde der künstlichen Besamung (Stunde 0). Dargestellt sind die Mittelwerte für alle Zyklen, in denen die Tiere erfolgreich besamt wurden. Eine leichte Auslenkung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum von etwa einer Einheit/2h gegenüber der Referenzaktivität begann bereits 36 Stunden vor der Besamung. Ab 30 Stunden vor der Besamung wurde die Abweichung deutlicher. In der Zeitspanne zwischen 22 bis 2 Stunden vor der Insemination lag die Aktivität im brunstnahen Zeitraum im Durchschnitt aller Tiere mehr als 10 Einheiten/2h über der Referenzaktivität. Die prozentuale Abweichung der Aktivität von der Referenzaktivität betrug innerhalb dieser Zeitspanne durchweg mehr als 30 %. Die maximale Differenz von rund 22 Einheiten/2h (entspricht einer Aktivitätserhöhung von 70,7 %) wurde 12 Stunden vor der künstlichen Besamung erreicht. Im Anschluss an die Besamung (Stunde 0) näherten sich die beiden Aktivitätsniveaus wieder sichtbar an. Acht

Stunden nach der Besamung war zwischen der mittleren Aktivität im brunstnahen Zeitraum und der durchschnittlichen Aktivität im Referenzzeitraum kein Unterschied mehr zu erkennen.

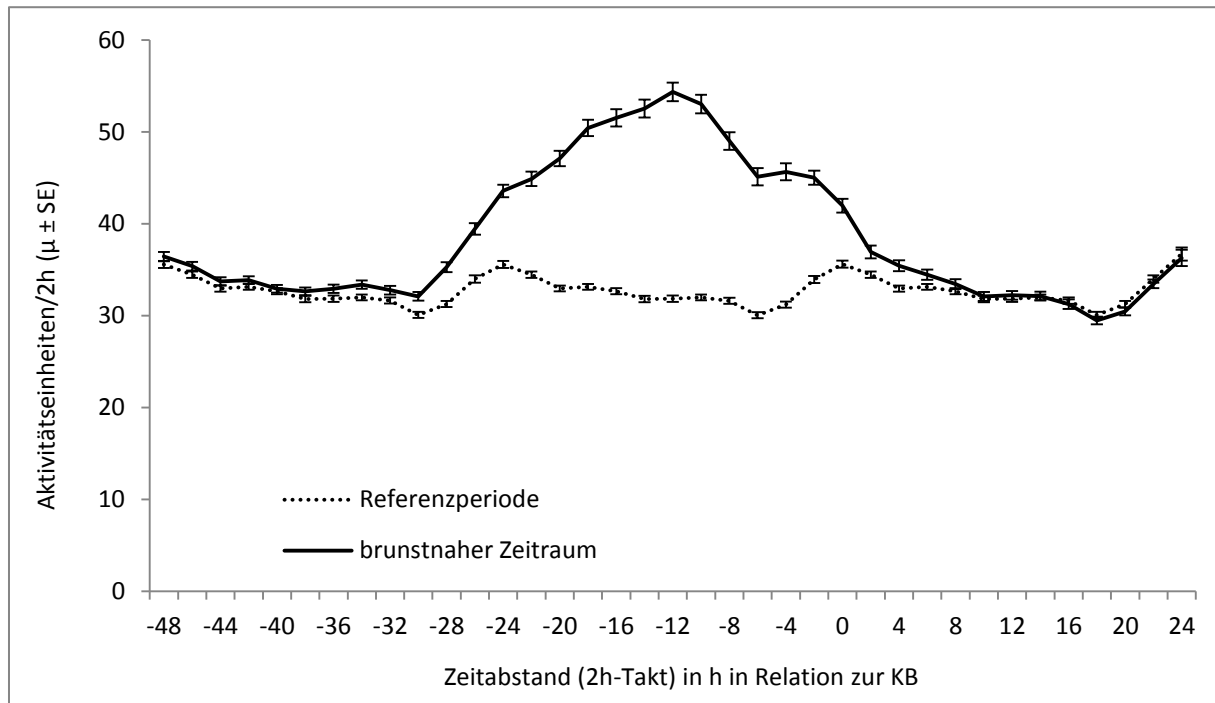


Abb. 16: Gegenüberstellung der Referenzaktivität und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum im zeitlichen Bezug zum Besamungszeitpunkt

Dargestellt sind Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte der Referenzaktivität (unterbrochene Linie) und der Aktivität im brunstnahen Zeitraum (48 h vor der KB bis 24 h nach der KB; durchgezogene Linie) für alle ausgewerteten Zyklen mit erfolgreicher KB ($n = 762$). Die Stunde 0 kennzeichnet den Zeitpunkt der künstlichen Besamung (KB).

Der auf Basis der Aktivitätsmessung definierte Brunstbeginn sowie die zyklusindividuelle Brunstdauer konnten anhand von 1.629 Brunstzyklen dargestellt werden. Für 84 Zyklen waren die Anforderungen an die Definition des Brunstbeginns nicht erfüllt. Entweder überschritt der ZGD3 in dem betreffenden Zyklus zu keinem Zeitpunkt die 25 %-Grenze oder die 25 %-Grenze wurde zwar überschritten, aber lediglich bei maximal zwei aufeinander folgenden Werten. Innerhalb dieser 84 Zyklen führten 17 Besamungen zu einer Trächtigkeit, 67 Besamungen blieben erfolglos. Die Resfaktorbrunst dauerte im Mittel über alle Zyklen $19,1 \pm 10,8$ Stunden.

Innerhalb von 84 % der Zyklen (n = 1.368) war eine zusammenhängende Periode erhöhter Aktivität zu erkennen, wobei in 620 Fällen die künstliche Besamung zum Erfolg führte, 748 Besamungen endeten nicht mit einer Trächtigkeit. In diesen Zyklen lag die Brunstdauer am häufigsten zwischen 12 und 18 Stunden. Eine Resfaktorbrunst von dieser Länge konnte in 60 % der Zyklen mit erfolgreicher Besamung (n = 372) und 52,8 % der Zyklen mit erfolgloser Besamung (n = 395) festgestellt werden. In weniger als 10 % der Zyklen mit einer Periode erhöhter Aktivität dauerte die Resfaktorbrunst mehr als 22 Stunden (Abb. 17). Der Anteil an Zyklen mit erfolgreicher Besamung betrug dabei 8,5 % (n = 53) und mit erfolgloser Besamung 8,7 % (n = 65). Für Zyklen mit einer zusammenhängenden Periode erhöhter Aktivität dauerte die auf Basis der Aktivitätsmessung definierte Brunst im Durchschnitt $15,5 \pm 5,8$ Stunden.

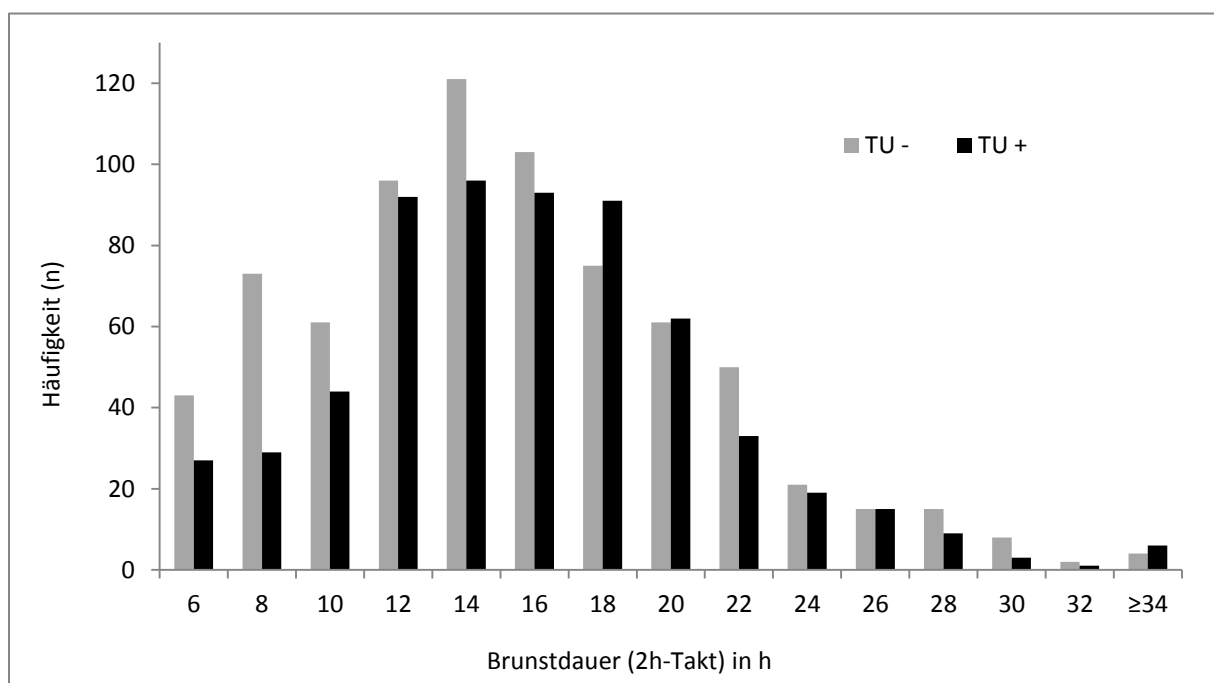


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der Brunstdauer innerhalb der Zyklen mit einer Periode erhöhter Aktivität
 Zyklen gesamt: n = 1.368; davon Zyklen mit erfolgreicher Besamung (TU +): n = 620; davon Zyklen mit erfolgloser Besamung (TU -): n = 748.

Mehr als eine Periode erhöhter Aktivität konnte in 16 % der Zyklen (n = 261) festgestellt werden. Dabei traten bei 228 Zyklen zwei, bei 29 Zyklen drei und bei vier Zyklen vier Perioden erhöhter Aktivität auf. Innerhalb dieser Zyklen wurden 125 Tiere trächtig, 136 Tiere wurden nicht trächtig. Abb. 18 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Brunstdauer dieser Zyklen. Eine Brunstdauer von weniger als 16 Stunden konnte dabei nicht beobachtet werden. In

mehr als der Hälfte der Zyklen lag die Brunstdauer zwischen 28 und 44 Stunden. Eine Resfaktorbrunst von dieser Länge wurde in 52,8 % (n = 66) der Zyklen mit erfolgreicher Besamung und 58,8 % (n = 80) der Zyklen mit erfolgloser Besamung beobachtet. In etwas mehr als 10 % der Fälle umfasste die Brunstdauer mindestens 52 Stunden. Der Anteil an Brunsten von dieser Dauer lag innerhalb der Zyklen mit erfolgreicher Besamung bei 13,6 % (n = 17) und innerhalb der Zyklen mit erfolgloser Besamung bei 11,8 % (n = 16). Die Resfaktorbrunst dauerte bei Zyklen mit mehr als einer Periode erhöhter Aktivität im Mittel $38,1 \pm 11,2$ Stunden. Damit zeigten Tiere mit mehreren Perioden erhöhter Aktivität innerhalb einer Brunst eine signifikant längere Brunstdauer als Kühe, die nur eine zusammenhängende Periode erhöhter Aktivität aufwiesen (Mann-Whitney-U-Test; $p < 0,001$).

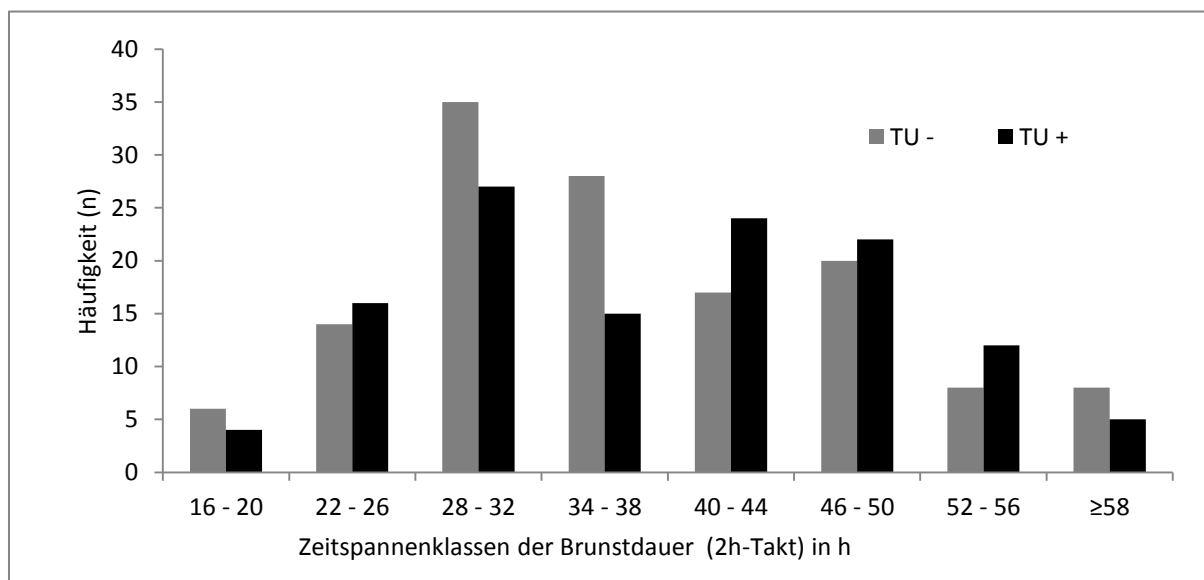


Abb. 18: Häufigkeitsverteilung der Brunstdauer innerhalb der Zyklen mit mehr als einer Periode erhöhter Aktivität

Zyklen gesamt: n = 261; davon Zyklen mit erfolgreicher Besamung (TU +): n = 125; davon Zyklen mit erfolgloser Besamung (TU -): n = 136.

Die Brunst setzte in 80,1 % der ausgewerteten Zyklen zwischen 04:00 Uhr am Vortag der künstlichen Besamung und 06:00 Uhr am Besamungstag ein. Der Beginn der Resfaktorbrunst war in dieser Zeitspanne nicht mit der gleichen Häufigkeit auf die einzelnen 2h-Klassen verteilt (Chi-Quadrat 31,92; $p = 0,002$). Die prozentualen Anteile für den Brunstbeginn je 2h-Klasse lagen innerhalb dieses Zeitraums zwischen 4,1 % und 7,6 %. Am häufigsten war der

Brunstbeginn zwischen 10:00 Uhr und 14:00 Uhr am Vortag der Besamung sowie um 04:00 Uhr am Tag der Besamung zu beobachten (Abb. 19).

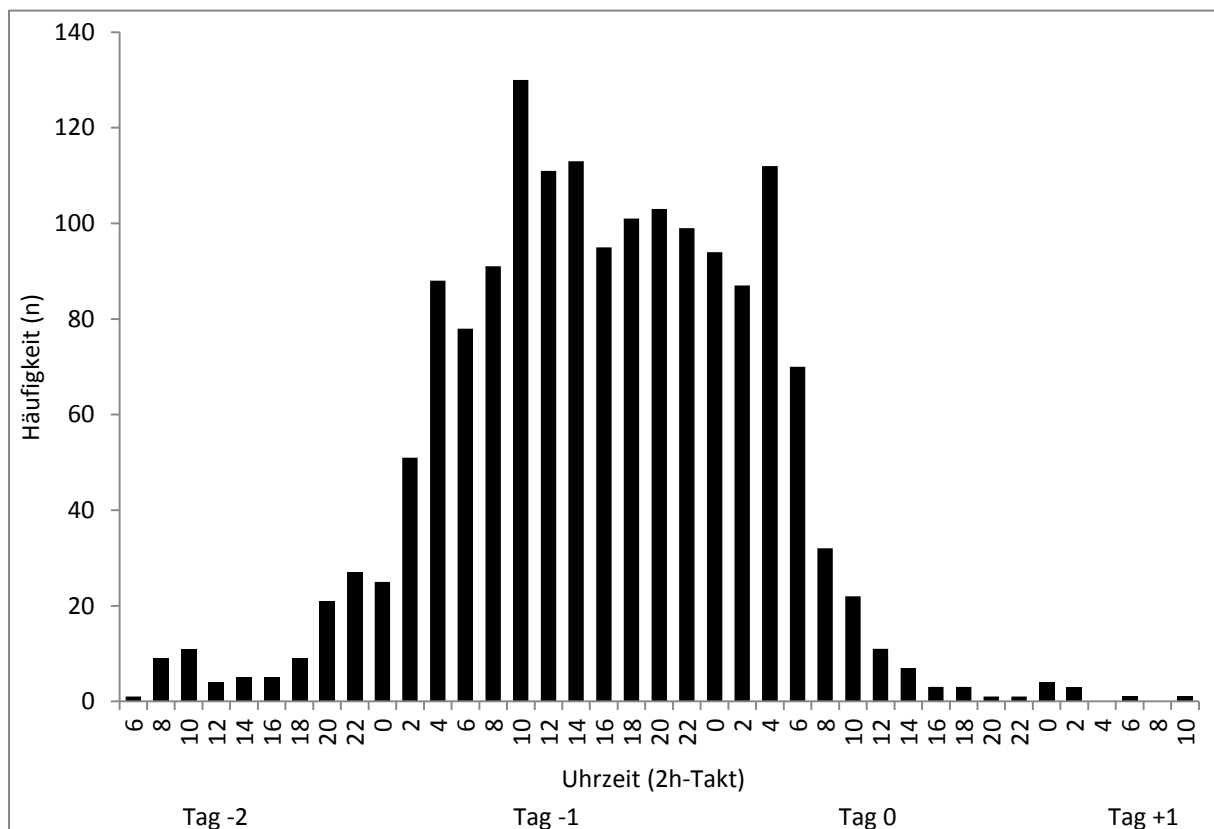


Abb. 19: Tag (in Bezug zur KB) und Uhrzeit des Brunstbeginns

Die Häufigkeitsverteilung umfasst alle ausgewerteten Brunstzyklen (n = 1.629). Der Tag der künstlichen Besamung (KB) ist mit Tag 0 gekennzeichnet.

Die tierindividuell maximale Auslenkung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum (Aktivitätspeak, basierend auf ZGD3) fand in der Regel einige Stunden nach dem auf Basis der Aktivitätsmessung definierten Brunstbeginn statt (Abb. 20). Lediglich in zwei Brunstzyklen lag der Aktivitätspeak vor dem definierten Brunstbeginn, daher wurden diese beiden Werte in der Darstellung nicht berücksichtigt. Ein Aktivitätspeak vor dem Beginn oder nach dem Ende der Respaktorbrunst konnte aufgrund der voneinander unabhängigen Definitionen dieser beiden Parameter auftreten. Der Aktivitätspeak wurde auf Basis des zentrierten gleitenden Mittelwertes (ZGD3) als zyklusindividuell maximale positive Auslenkung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum definiert. Dabei wurde nicht vorausgesetzt, dass vorher ein auf Basis der Aktivitätsmessung definierter Brunstbeginn festgestellt wurde bzw. dass der Aktivitätspeak innerhalb der auf Basis der Aktivitätsmessung als Respaktorbrunst (s.

Kap. 3.3.2) definierten Zeitspanne stattfand. Bei einer geringen Anzahl von Zyklen fielen Brunstbeginn und Aktivitätshöhepunkt zusammen (Zyklen mit erfolgreicher Besamung: n = 3; Zyklen mit erfolgloser Besamung: n = 13). Am häufigsten kam es vier bis acht Stunden nach Brunstbeginn zum Aktivitätspeak (in 60,8 % (n = 453) der Zyklen mit erfolgreicher Besamung; in 61,6 % (n = 543) der Zyklen mit erfolgloser Besamung). In weniger als 10 % der Zyklen betrug der Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Peak mehr als 16 Stunden (in 9,3 % (n = 69) der Zyklen mit erfolgreicher Besamung; in 8,5 % (n = 75) der Zyklen mit erfolgloser Besamung). Im Mittel wurde der Aktivitätspeak $8,8 \pm 7,6$ Stunden nach dem Beginn der Respaktorbrunst erreicht.

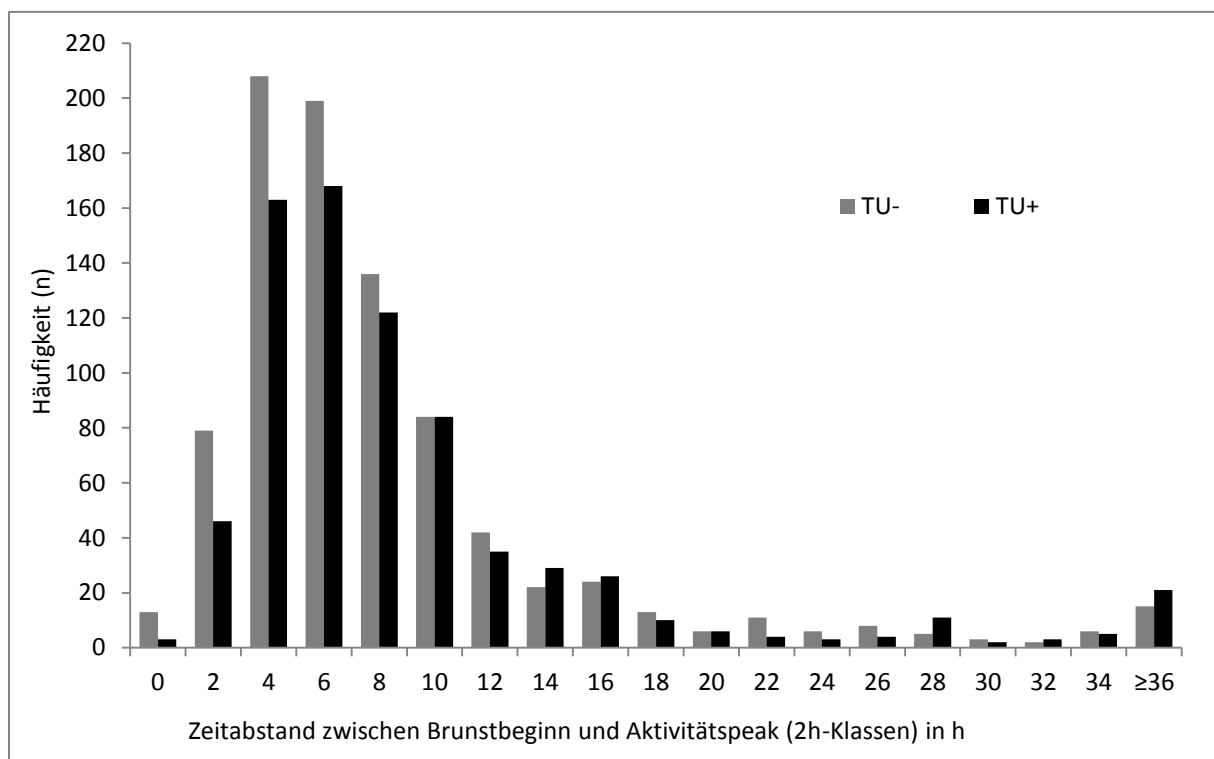


Abb. 20: Häufigkeitsverteilung des zeitlichen Abstandes zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak

Die Häufigkeitsverteilung umfasst alle Zyklen mit Aktivitätspeak nach Brunstbeginn (n = 1.627); davon Zyklen mit erfolgreicher Besamung (TU +): n = 745; davon Zyklen mit erfolgloser Besamung (TU -): n = 882.

Das zeitliche Auftreten des Aktivitätspeaks fiel am häufigsten in die späten Abendstunden des Vortages der künstlichen Besamung bzw. in die frühen Morgenstunden des Besamungstages. Zwischen 20:00 Uhr am Tag -1 und 8:00 Uhr am Tag 0 (umfasst die Aktivität

der Zeitspanne von 18:01 Uhr bis 8:00 Uhr) kam es in 51,1 % aller Zyklen zum Aktivitätshöhepunkt (Abb. 21).

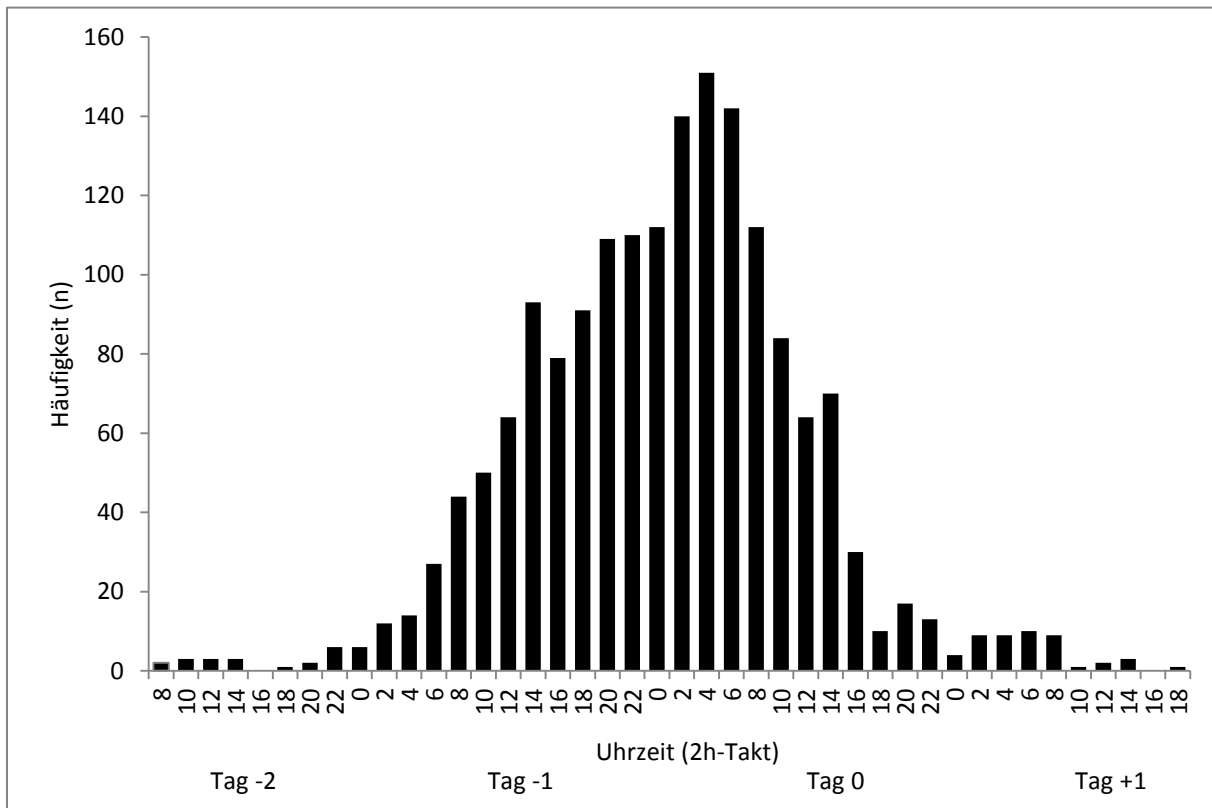


Abb. 21: Tag (in Bezug zur KB) und Uhrzeit des Aktivitätspeaks

Die Häufigkeitsverteilung umfasst alle ausgewerteten Brunstzyklen ($n = 1.712$). Der Tag der künstlichen Besamung (KB) ist mit Tag 0 gekennzeichnet.

Zwischen der auf Basis der Aktivitätsmessung definierten Brunstdauer und dem zeitlichen Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn bestand ein enger positiver Zusammenhang (Abb. 22). Je länger die Zeitspanne vom Brunstbeginn bis zum Aktivitätspeak war, umso länger wurde Brunstverhalten im Sinne einer erhöhten Aktivität gezeigt. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman wurde mit $r_s = 0,662$ ($p < 0,001$) ermittelt. Dabei konnten am häufigsten folgende Kombinationen von Brunstdauer (2h-Klassen) und dem zeitlichen Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn (2h-Klassen) beobachtet werden: 10 h Brunstdauer und Aktivitätspeak 4 h nach Brunstbeginn ($n = 75$); 12 h Brunstdauer und Aktivitätspeak 6 h nach Brunstbeginn ($n = 100$); 14 h Brunstdauer und Aktivitätspeak 8 h nach Brunstbeginn ($n = 84$). In diesen Zyklen erfolgte der Aktivitätspeak damit etwa in der

Mitte der Resfaktorbrunst. Aus Abb. 22 geht aber auch hervor, dass der Zeitpunkt des Aktivitätspeaks innerhalb einer Brunst stark variieren kann.

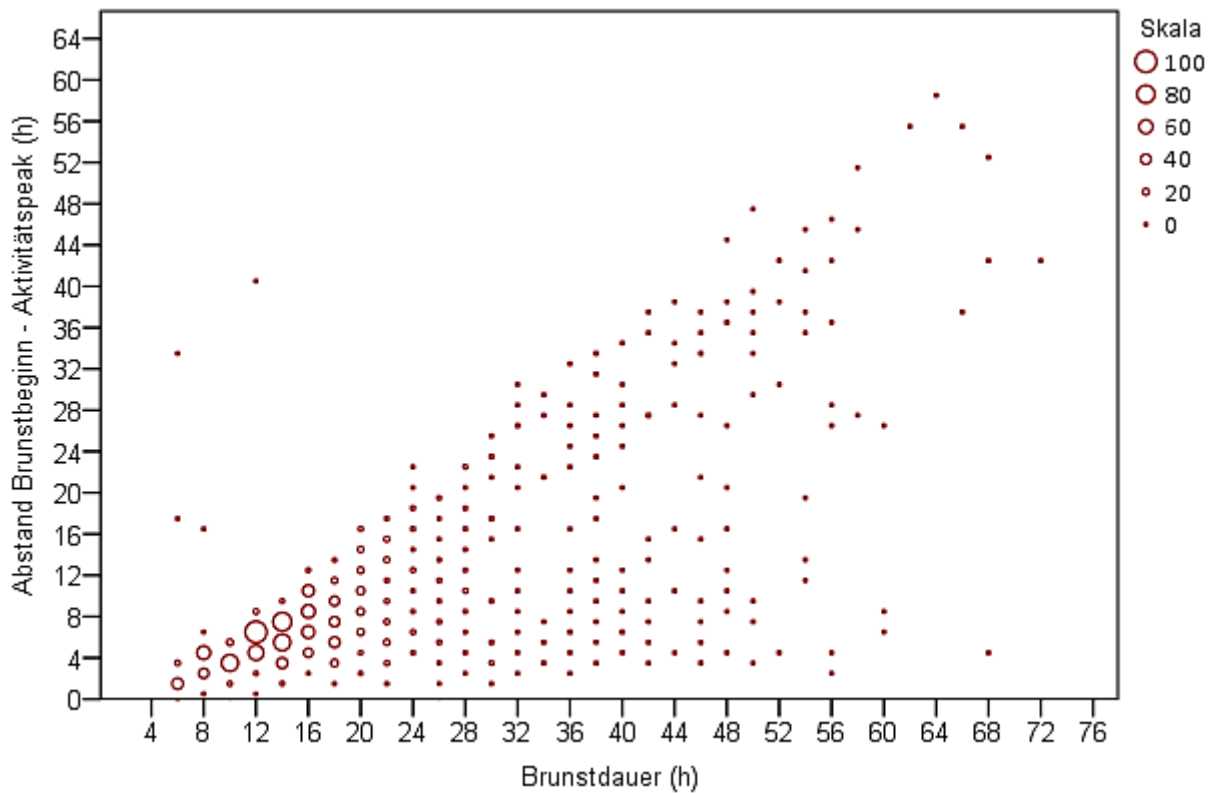


Abb. 22: Streudiagramm (klassiert) der Beziehung zwischen Brunstdauer in h (2h-Blöcke) und zeitlichem Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn in h (2h-Blöcke)

4.2.2.2 Einflüsse auf die Höhe des Aktivitätspeaks

Innerhalb der Lely-Betriebe zeigten sich signifikante Unterschiede in der Höhe des Aktivitätspeaks für die Faktoren Betrieb, Jahreszeit, mittlere Tagesmilchmenge und Besamungserfolg (Tab. 29). Im Mittel lag der Aktivitätspeak bei $130,7 \pm 70,5$ %, bei einem Minimum von 11,7 % und einem Maximum von 875,2 %.

Tab. 29: Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Aktivitätspeak (wurzeltransformiert)

Einflussfaktor	p-Wert	Signifikanz
Betrieb	< 0,001	***
Parität	0,704	n.s.
Laktationsstadium	0,093	n.s.
Jahreszeit	< 0,001	***
Nr. der KB innerhalb einer Laktation	0,089	n.s.
Milchmenge	0,029	*
Besamungserfolg	< 0,001	***

Mit 135,37 % hatten die Tiere des Betriebes L3 im Mittel den höchsten Aktivitätspeak. Betrieb L1 und L6 lagen auf einem ähnlichen Niveau. Den niedrigsten Aktivitätspeak wiesen die Tiere des Betriebes L2 mit durchschnittlich 102,96 % auf. In einem ähnlichen Bereich bewegte sich Betrieb L5. Betrieb L4 befand sich mit einem durchschnittlichen Aktivitätspeak von 116,10 % im Mittelfeld (Tab. 30).

Tab. 30: Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/2h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit vom Betrieb
 Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des Aktivitätspeaks (AP) in Prozent. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Betrieb	Anzahl Zyklen (n)	AP wurzeltransformiert ($\mu \pm SE$)	AP in Prozent (μ)
L1	262	11,400 \pm 0,209 ^{ac}	129,96
L2	153	10,147 \pm 0,286 ^{bd}	102,96
L3	276	11,635 \pm 0,212 ^c	135,37
L4	415	10,775 \pm 0,186 ^{abd}	116,10
L5	208	10,219 \pm 0,252 ^d	104,43
L6	390	11,444 \pm 0,183 ^{ac}	130,96

Tab. 31 stellt die mittlere Höhe des Aktivitätspeaks in Abhängigkeit von der Jahreszeit dar. Im Frühjahr erreichten die Tiere den höchsten Aktivitätspeak. Allerdings konnten die Unterschiede in der Höhe des Peaks zwischen Frühjahr, Herbst und Winter statistisch nicht gesichert werden. In den Sommermonaten fiel der Aktivitätspeak signifikant niedriger als in den anderen Jahreszeiten aus.

Tab. 31: Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/2h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit von der Jahreszeit
 Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des Aktivitätspeaks (AP) in Prozent. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Jahreszeit	Anzahl Zyklen (n)	AP wurzeltransformiert ($\mu \pm SE$)	AP in Prozent (μ)
Frühjahr	375	11,308 \pm 0,167 ^a	127,87
Sommer	403	10,292 \pm 0,160 ^b	105,93
Herbst	482	11,199 \pm 0,152 ^a	125,42
Winter	444	10,948 \pm 0,152 ^a	119,86

Die Höhe des Aktivitätspeaks in Abhängigkeit von der Tagesmilchleistung kann Tab. 32 entnommen werden. Mit zunehmender Leistungsklasse fiel der Aktivitätspeak niedriger aus. Dabei ließen sich die Unterschiede zwischen der niedrigsten und der höchsten Leistungsklasse statistisch absichern.

Tab. 32: Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/2h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Abhängigkeit von der mittleren Milchmenge der Tage neun bis fünf vor der künstlichen Besamung in kg/Tag
Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des Aktivitätspeaks (AP) in Prozent. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Milchmenge (kg/d)	Anzahl Zyklen (n)	AP wurzeltransformiert ($\mu \pm SE$)	AP in Prozent (μ)
< 30,00	473	11,237 \pm 0,178 ^a	126,27
30,00 – 39,99	709	10,989 \pm 0,126 ^{ab}	120,76
\geq 40	522	10,585 \pm 0,156 ^b	112,04

Signifikante Unterschiede in der Höhe des Aktivitätspeaks bestanden auch zwischen den Tieren, die im entsprechenden Zyklus erfolgreich besamt wurden und Kühen, bei denen die künstliche Besamung nicht zu einer Trächtigkeit geführt hat. Tab. 33 zeigt, dass die erfolgreich besamten Tiere im Mittel einen um rund 17 Einheiten/2h höheren Aktivitätspeak aufwiesen.

Tab. 33: Höhe des Aktivitätspeaks als tierindividuell maximale prozentuale Abweichung der Aktivität/2h im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität in Bezug zum Ergebnis der künstlichen Besamung (KB)
Angegeben sind die wurzeltransformierten Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte sowie die aus den wurzeltransformierten Mittelwerten berechneten Mittelwerte des Aktivitätspeaks (AP) in Prozent. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Erfolg der KB	Anzahl Zyklen (n)	AP wurzeltransformiert ($\mu \pm SE$)	AP in Prozent (μ)
nicht tragend	948	10,543 \pm 0,117 ^a	111,15
tragend	756	11,330 \pm 0,118 ^b	128,37

4.2.3 Beziehung zwischen Besamungserfolg und zeitlichem Abstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak

Die Besamung erfolgte im Mittel über alle ausgewerteten Zyklen $11,5 \pm 9,7$ Stunden nach dem Aktivitätspeak. Dabei wurden 50 % aller Besamungen innerhalb von 8 bis 16 Stunden nach dem Aktivitätspeak vorgenommen. Wie Abb. 23 zu entnehmen ist, wurde zudem ein nicht unerheblicher Teil der Besamungen sehr spät nach dem Peak oder vor dem Erreichen der maximalen Aktivität durchgeführt.

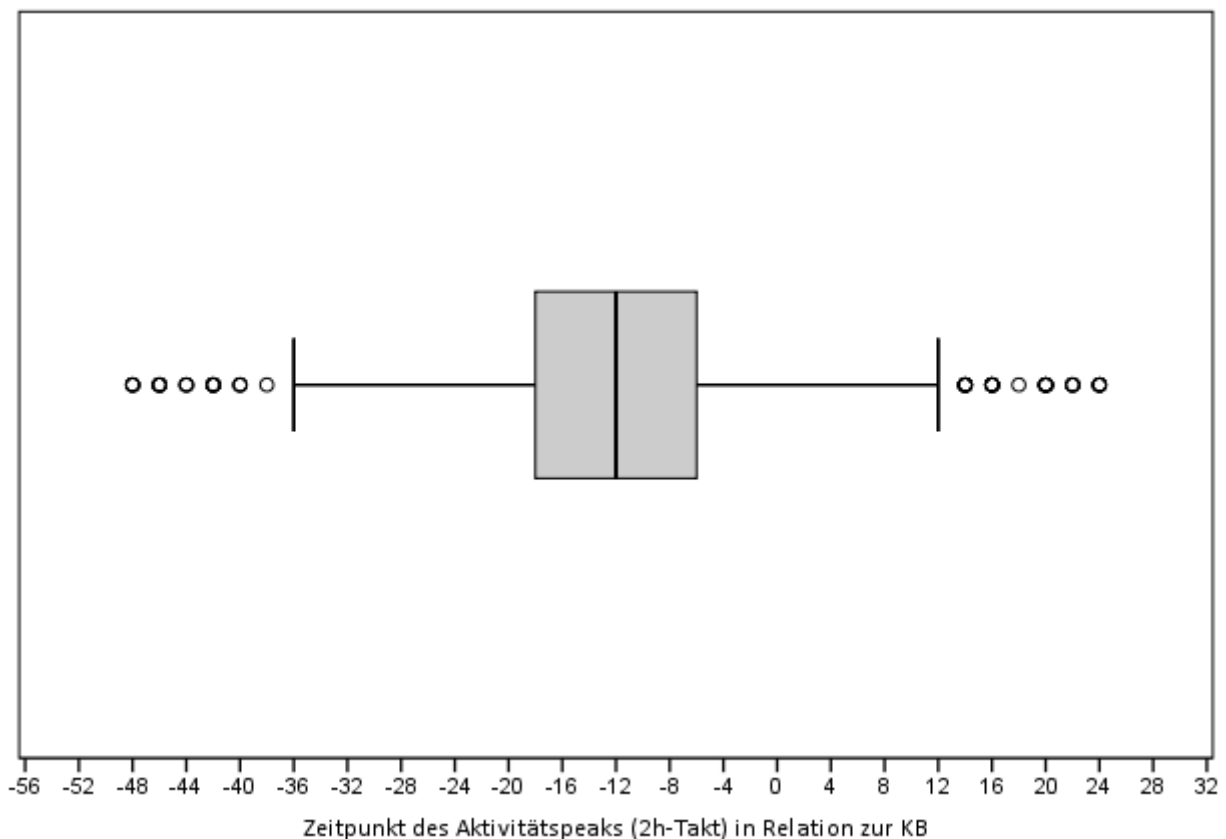


Abb. 23: Abstand des Aktivitätspeaks (in 2h-Klassen) in Relation zum Zeitpunkt der künstlichen Besamung
Der Zeitpunkt der künstlichen Besamung (KB) ist durch die Stunde 0 gekennzeichnet.

Innerhalb der Lely-Betriebe konnte ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak und dem Besamungserfolg festgestellt werden (Tab. 34). Signifikante Unterschiede in Bezug zum Besamungserfolg ergaben sich auch zwischen den einzelnen Paritäten. Alle weiteren im Modell berücksichtigten Faktoren wirkten sich nicht auf das Besamungsergebnis aus.

Tab. 34: Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung des zeitlichen Abstandes der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak

Einflussfaktor	p-Wert	Signifikanz
Betrieb	0,143	n.s.
Parität	0,024	*
Laktationsstadium	0,118	n.s.
Jahreszeit	0,914	n.s.
Tageszeit der KB	0,154	n.s.
Nr. der KB innerhalb einer Laktation	0,694	n.s.
Milchmenge (kg/d)	0,601	n.s.
zeitlicher Abstand der KB vom Aktivitätspeak	0,020	*

Den Einfluss der Parität auf den Erfolg einer Besamung zeigt Tab. 35. Mit rund 49 % erreichten die Tiere der dritten Laktation die höchste Konzeptionsrate. Die niedrigste Konzeptionsrate wurde in Parität 4 beobachtet, in welcher Tiere der vierten bis zehnten Laktation zusammengefasst sind.

Tab. 35: Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit von der Parität
Dargestellt sind Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p = 0,024$).

Parität	Anzahl Zyklen (n)	Konzeptionsrate in % ($\mu \pm SE$)
1	552	42,67 \pm 2,63 ^{ab}
2	443	41,85 \pm 2,54 ^a
3	326	49,08 \pm 3,06 ^b
4	383	37,61 \pm 2,68 ^a

Der Besamungserfolg in Abhängigkeit von dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak kann Abb. 24 entnommen werden. Mit 49,6 % wurde die höchste Konzeptionsrate erzielt, wenn die Besamung in der Zeitspanne von 7 bis 12 Stunden nach dem Aktivitätspeak erfolgte. Mit 48,1 % geringfügig niedriger lag die mittlere Konzeptionsrate, wenn die Kühe zwischen 13 und 18 Stunden nach dem Aktivitätspeak besamt wurden. Bei einer Insemination in dem Zeitfenster von 1 bis 6 Stunden nach dem

Peak wurden im Mittel 42,2 % der Tiere trächtig. Wurde die Besamung in der Zeitspanne von 19 bis 24 Stunden nach dem Aktivitätsmaximum durchgeführt, betrug die mittlere Konzeptionsrate 44,6 %. Für Besamungen vor oder sehr spät nach dem Peak (25 bis 48 Stunden später) sank die mittlere Konzeptionsrate deutlich unter 40 %. Sie lag für Besamungen vor dem Peak lediglich bei 36,5 %. Bei Besamungen innerhalb von 25 bis 48 Stunden nach dem Peak konzipierten im Mittel nur noch 36,0 % der Tiere.

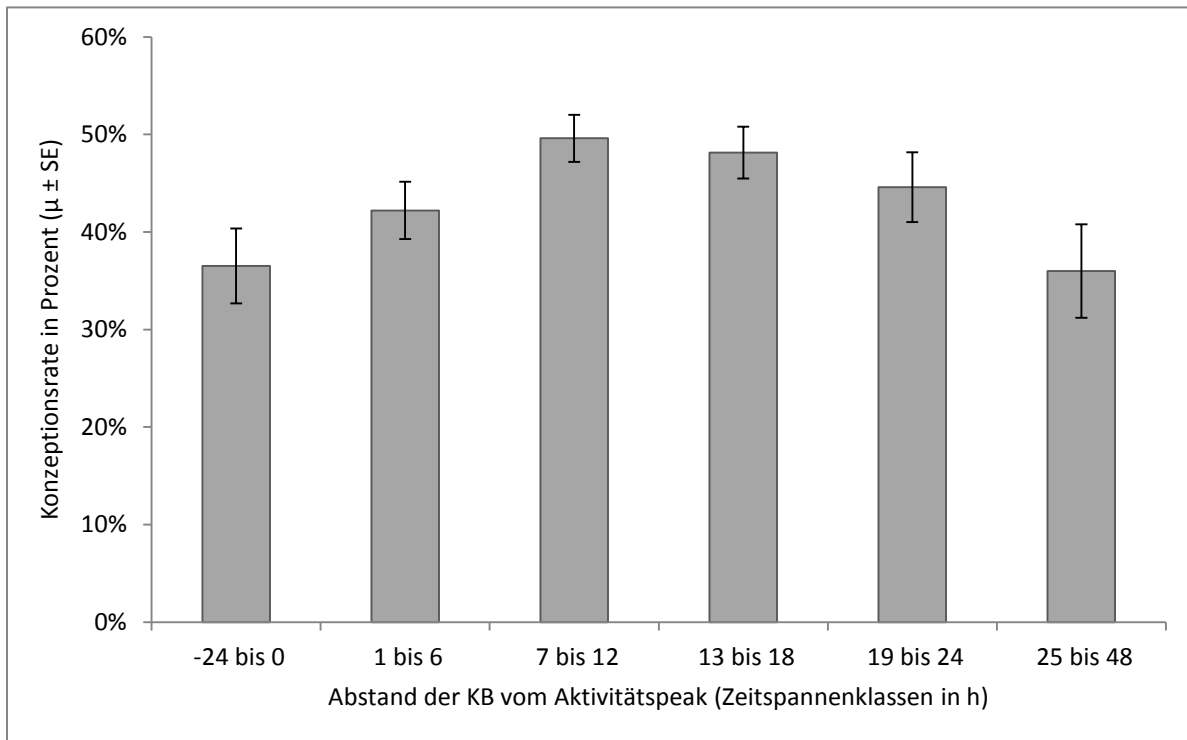


Abb. 24: Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak

Dargestellt sind Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte. Ausgewertet wurden 1.704 Zyklen ($p = 0,020$), die sich wie folgt auf die einzelnen Zeitspannenklassen verteilten: -24 bis 0 h: $n = 167$; 1 bis 6 h: $n = 322$; 7 bis 12 h: $n = 481$; 13 bis 18 h: $n = 407$; 19 bis 24 h: $n = 231$; 25 bis 48 h: $n = 96$.

4.2.4 Beziehung zwischen Besamungserfolg und zeitlichem Abstand der künstlichen Besamung vom Brunstbeginn

Die künstliche Besamung wurde im Mittel über alle ausgewerteten Zyklen $20,5 \pm 9,5$ Stunden nach dem auf Basis der Aktivitätsmessung definierten Brunstbeginn vorgenommen. 50 % der Besamungen erfolgten innerhalb der Zeitspanne von 14 bis 26 Stunden nach Brunstbeginn (Abb. 25).

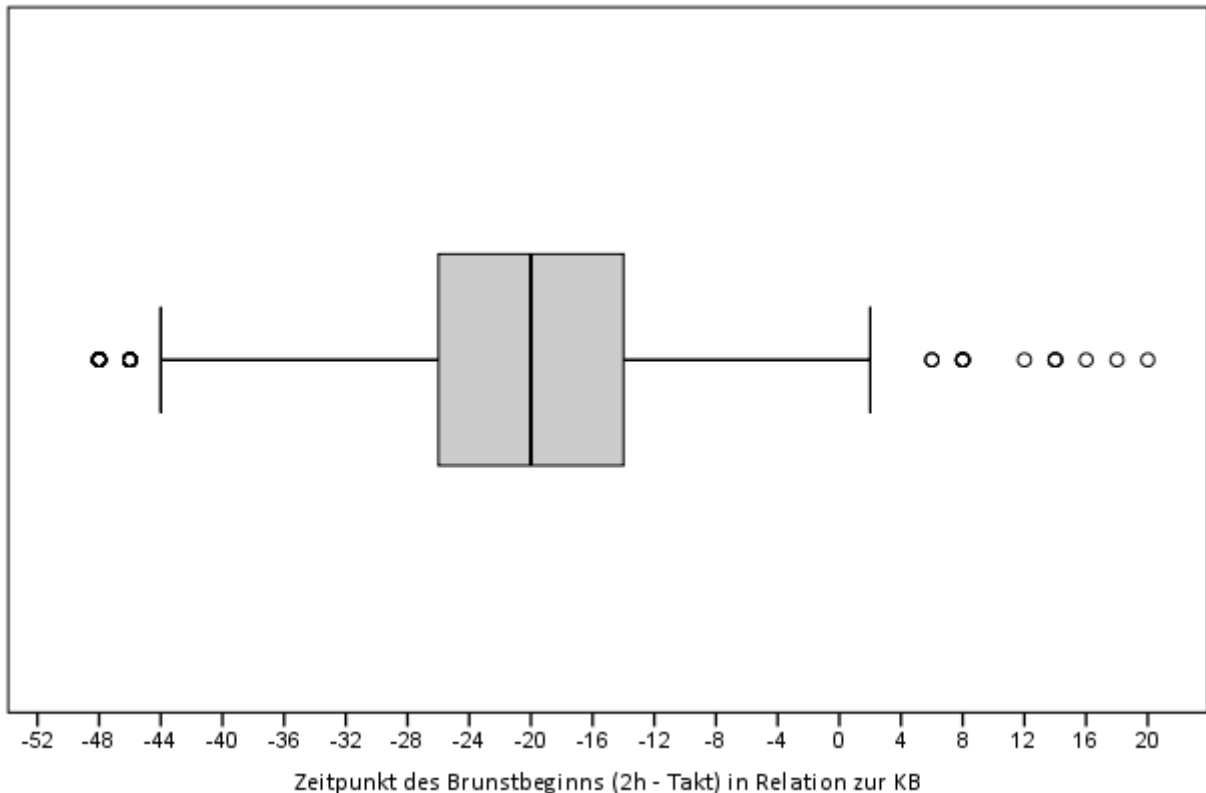


Abb. 25: Abstand des Brunstbeginns (in 2h-Klassen) in Relation zum Zeitpunkt der künstlichen Besamung
Der Zeitpunkt der künstlichen Besamung (KB) ist durch die Stunde 0 gekennzeichnet.

Tab. 36 zeigt, dass das Ergebnis einer künstlichen Besamung vom Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Besamung beeinflusst wurde. Zwischen den einzelnen Zeitspannenklassen bestanden signifikante Unterschiede in Bezug auf den Besamungserfolg.

Tab. 36: Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung des zeitlichen Abstandes der künstlichen Besamung (KB) vom Brunstbeginn

Einflussfaktor	p-Wert	Signifikanz
Betrieb	0,201	n.s.
Parität	0,044	*
Laktationsstadium	0,271	n.s.
Jahreszeit	0,941	n.s.
Tageszeit der KB	0,196	n.s.
Nr. der KB innerhalb einer Laktation	0,398	n.s.
Milchmenge	0,698	n.s.
zeitlicher Abstand der KB vom Brunstbeginn	0,046	*

Abb. 26 stellt den Besamungserfolg als mittlere Konzeptionsrate für die einzelnen Zeitspannenklassen dar. Die besten Konzeptionsraten von über 50 % wurden für Besamungen erzielt, die zwischen 20 und 27 Stunden nach dem auf Basis der Aktivitätsmessung definierten Brunstbeginn erfolgten. Besamungen im Zeitfenster von 20 bis 23 Stunden nach Brunstbeginn erreichten mit 51,8 % die höchste mittlere Konzeptionsrate. Für Besamungen in der Zeitspanne zwischen 24 bis 27 Stunden nach dem Beginn der Resfaktorbrunst erreichte die Konzeptionsrate 50,4 %. Später durchgeführte Besamungen (28 bis 48 Stunden nach Brunstbeginn) führten zu niedrigeren durchschnittlichen Konzeptionsraten von etwa 46 %. Wurde die Besamung sehr früh, das heißt vor oder bis zu sieben Stunden nach Brunstbeginn durchgeführt, lag die mittlere Konzeptionsrate auf dem niedrigsten Niveau innerhalb des ausgewerteten Zeitraums. Sie betrug für diese Zeitspanne lediglich 31,9 %. Bei einer Besamung innerhalb von 8 bis 19 Stunden nach Brunstbeginn konzipierten zwischen 41,8 % und 45,0 % der Kühe.

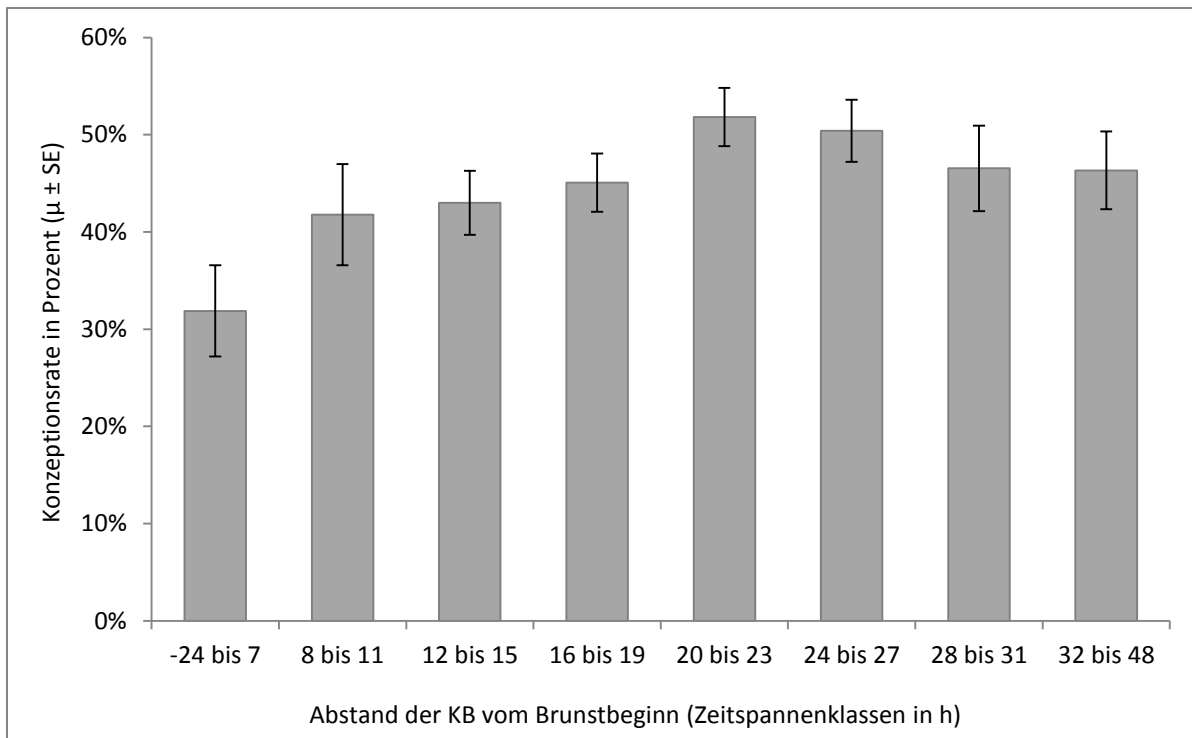


Abb. 26: Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Brunstbeginn
 Dargestellt sind Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte. Ausgewertet wurden 1.621 Zyklen ($p = 0,046$). Diese verteilen sich auf die einzelnen Zeitspannenklassen wie folgt: -24 bis 7 h: $n = 102$; 8 bis 11 h: $n = 96$; 12 bis 15 h: $n = 225$; 16 bis 19 h: $n = 293$; 20 bis 23 h: $n = 327$; 24 bis 27 h: $n = 257$; 28 bis 31 h: $n = 159$; 32 bis 48 h: $n = 162$).

4.2.5 Einfluss der Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak auf das optimale Zeitintervall zur Durchführung der künstlichen Besamung

Wie aus den Kapiteln 4.2.3 und 4.2.4 hervorgeht, führten sowohl ausgehend vom Aktivitätspeak als auch ausgehend vom Brunstbeginn Besamungen innerhalb eines relativ breiten zeitlichen Spektrums zum Erfolg. Um zu klären, ob der günstigste Zeitraum zur Durchführung der künstlichen Besamung von dem Aktivitätsverlauf des jeweiligen Brunstzyklus abhängig ist, wurde auch der Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak mit in die Betrachtungen einbezogen. Dazu wurde die Interaktion zwischen dem zeitlichen Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn und der Zeitspanne zwischen Aktivitätspeak und künstlicher Besamung berücksichtigt. Wie Tab. 37 verdeutlicht, ergab sich für die Wechselwirkung dieser beiden Merkmale ein signifikanter Einfluss auf die Zielgröße Besamungserfolg. Das heißt, der in drei Zeitspannenklassen eingeteilte Abstand des

Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn beeinflusste die Konzeptionsrate innerhalb der einzelnen Klassen des Merkmals Zeitabstand der Besamung vom Aktivitätspeak.

Tab. 37: Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen dem zeitlichen Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn und dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak

Einflussfaktor	p-Wert	Signifikanz
Betrieb	0,128	n.s.
Parität	0,063	n.s.
Laktationsstadium	0,316	n.s.
Zeitabstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn	0,277	n.s.
Zeitabstand der KB vom Aktivitätspeak	0,091	n.s.
Zeitabstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn *	0,035	*
Zeitabstand der KB vom Aktivitätspeak		

Wie Abb. 27 zeigt, war bei Nutzung des Aktivitätspeaks als Orientierungspunkt für die Terminierung der künstlichen Besamung eine präzisere Bestimmung des optimalen Zeitintervalls für die Besamung möglich, wenn der Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak mit in die Betrachtungen einbezogen wurde. Lagen zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak maximal vier Stunden, so wurde mit 46,71 % die höchste Konzeptionsrate erzielt, wenn die Insemination innerhalb der Zeitspanne von 21 bis 48 Stunden nach dem Peak erfolgte. Kam es innerhalb von sechs bis zehn Stunden nach Brunstbeginn zum Aktivitätspeak, so wurde mit einer Konzeptionsrate von 56,31 % der größte Besamungserfolg erreicht, wenn die Besamung innerhalb von 13 bis 20 Stunden nach dem Aktivitätspeak erfolgte. Umfasste die Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Peak mindestens zwölf Stunden, war die höchste Konzeptionsrate von 61,50 % zu verzeichnen, wenn die Besamung innerhalb von 7 bis 12 Stunden nach dem Peak durchgeführt wurde. Für diese Kategorie war auch eine relativ hohe Konzeptionsrate (49,35 %) für Besamungen innerhalb von 21 bis 48 Stunden nach dem Peak erkennbar. Dazu ist anzumerken, dass diesem Wert nur relativ wenige Daten (12 Zyklen) zugrunde lagen. Dies wird auch anhand des dargestellten Standardfehlers sichtbar.

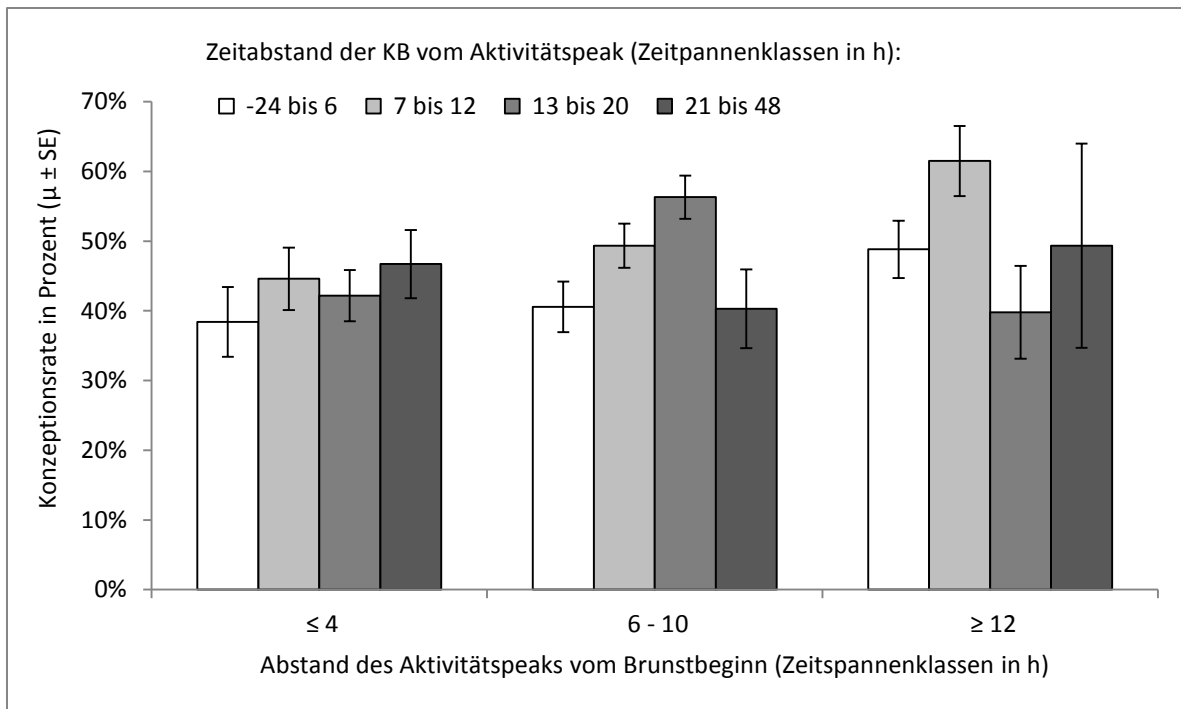


Abb. 27: Mittlere Konzeptionsrate in Prozent für das kategorisierte Merkmal Zeitabstand der künstlichen Besamung (KB) vom Aktivitätspeak in Abhängigkeit von der kategorisierten Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak
Dargestellt sind Mittelwerte ± Standardfehler der Mittelwerte anhand von 1.611 Zyklen ($p < 0,05$).

Wurde zur Beantwortung der Fragestellung, ob die optimale Zeitspanne für die Durchführung der künstlichen Besamung vom Aktivitätsverlauf abhängig ist, der Brunstbeginn statt des Aktivitätspeaks als Orientierungspunkt zur Terminierung der Besamung in der Analyse berücksichtigt, ergab sich ein anderes Bild. Hier zeigte sich, wie bereits in Kapitel 4.2.4, dass die Parität und der zeitliche Abstand der Besamung vom Brunstbeginn den Besamungserfolg signifikant beeinflussen (Tab. 38). Eine Wechselwirkung zwischen dem zeitlichen Abstand des Peaks vom Brunstbeginn und dem zeitlichen Abstand der Besamung vom Brunstbeginn konnte bei einem p-Wert von 0,528 nicht nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass bei Nutzung des Brunstbeginns als Orientierung der günstigste Zeitraum für die Terminierung der künstlichen Besamung unabhängig vom Aktivitätsverlauf (im Sinne der Zeitspanne, die vom Brunstbeginn bis zum Aktivitätspeak verstreicht) war. Wie bereits in Kapitel 4.2.4. beschrieben wurde, war auch bei dieser Analyse die höchste Konzeptionsrate zu verzeichnen, wenn die künstliche Besamung innerhalb von 20 bis 27 Stunden nach Brunstbeginn erfolgte.

Tab. 38: Tests der Modelleffekte auf den Beobachtungswert Besamungserfolg bei Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen dem zeitlichen Abstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn und dem zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Brunstbeginn

Einflussfaktor	p-Wert	Signifikanz
Betrieb	0,116	n.s.
Parität	0,049	*
Laktationsstadium	0,302	n.s.
Zeitabstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn	0,613	n.s.
Zeitabstand der KB vom Brunstbeginn	0,047	*
Zeitabstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn *	0,528	n.s.
Zeitabstand der KB vom Brunstbeginn		

4.3 Betriebsspezifische Auswertung

Für Betrieb L6 wurde unter Berücksichtigung organisationsbedingter Gegebenheiten eine betriebsspezifische Auswertung erstellt, um eine Beratungsempfehlung bezüglich des Besamungsmanagements geben zu können. Innerhalb des Betriebes konnte ein Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Abstand der Besamung vom Brunstbeginn (definiert auf Basis der automatischen Aktivitätsmessung) und der Konzeptionsrate nicht abgesichert werden. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5,5 % ist jedoch eine deutliche Tendenz zu erkennen. Wie Abb. 28 zeigt, wurde die höchste mittlere Konzeptionsrate von 47,97 % für Besamungen innerhalb der Zeitspanne von 20 bis 27 Stunden nach dem Beginn der Respaktorbrunst erreicht. Fast auf gleichem Niveau lag mit 47,38 % die mittlere Konzeptionsrate bei einer Insemination innerhalb der Zeitspannenklasse von 24 bis 48 Stunden nach Brunstbeginn. Wurde die Besamung früh, das heißt im Zeitraum vor dem anhand der Aktivitätsmessung ermittelten Brunstbeginn bis zu 19 Stunden nach dem Beginn der Respaktorbrunst durchgeführt, so sanken die Konzeptionsaussichten deutlich. Die mittlere Konzeptionsrate erreichte in dieser Zeitspanne lediglich 34,69 %.

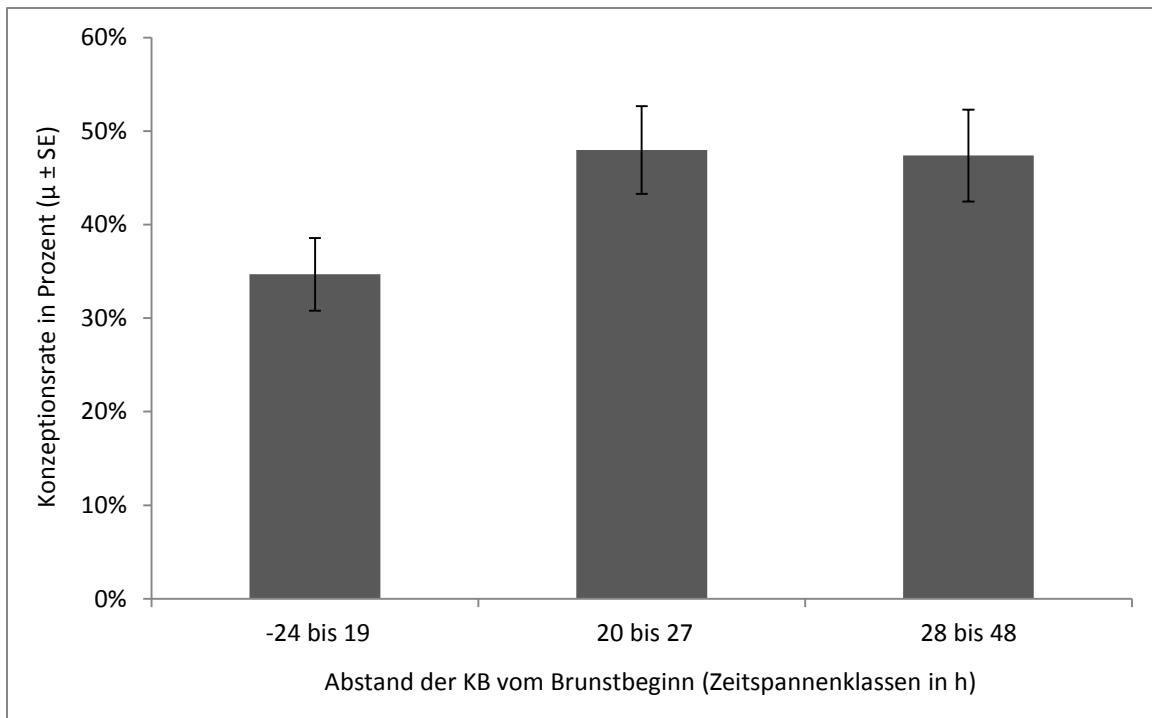


Abb. 28: Mittlere Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand der künstlichen Besamung (KB) vom Brunstbeginn

Dargestellt sind Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte. Die Auswertung erfolgte für 366 Zyklen ($p = 0,055$), die sich auf die einzelnen Zeitspannenklassen wie folgt verteilen: -24 bis 19 h: $n = 148$; 20 bis 27 h: $n = 109$; 28 bis 48 h: $n = 109$)

Abb. 29 stellt die Konzeptionsrate in Abhängigkeit vom Tag (in Relation zur künstlichen Besamung) und von der Uhrzeit des Aktivitätspeaks dar. Eine Auswertung in dieser Form kam nur für Betrieb L6 in Frage, da dort im Untersuchungszeitraum mit einer fixen Besamungszeit, morgens zwischen 7:00 und 8:00 Uhr, gearbeitet wurde. Damit ließ sich der zeitliche Abstand zwischen dem Peak und der Besamung aus der Uhrzeit des Aktivitätspeaks ableiten. Für Zyklen, in denen der Aktivitätspeak in der ersten Tageshälfte des Vortages der künstlichen Besamung und damit etwa zwischen 19 bis 30 Stunden vor dem Besamungszeitpunkt auftrat, betrug die Konzeptionsrate 44,3 %. Fast auf gleicher Höhe lag mit 43,5 % die Konzeptionsrate für Zyklen, in denen es in der zweiten Tageshälfte des Vortages der Besamung zum Peak kam. In diesen Zyklen wurde die Besamung in der Zeitspanne von 7 bis 18 Stunden nach dem Peak durchgeführt. Wurde erst in der ersten Tageshälfte des Besamungstages der Peak erreicht, das heißt die Besamung wurde sehr zeitnah am Aktivitätspeak durchgeführt, sank der Besamungserfolg ab. Die Konzeptionsrate lag in diesem Fall nur noch bei 38,0 %. Für deutlich vor dem Peak durchgeführte Besamungen (Peak in der zweiten Tageshälfte des

Besamungstages) oder sehr spät durchgeführte Besamungen (Peak am Tag -2 in Relation zum Tag der künstlichen Besamung) wurden nur noch Konzeptionsraten von 23,5 % bzw. 30,0 % erzielt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Stichprobenumfang innerhalb dieser beiden Zeitspannenklassen mit 17 bzw. 10 Tieren sehr gering war.

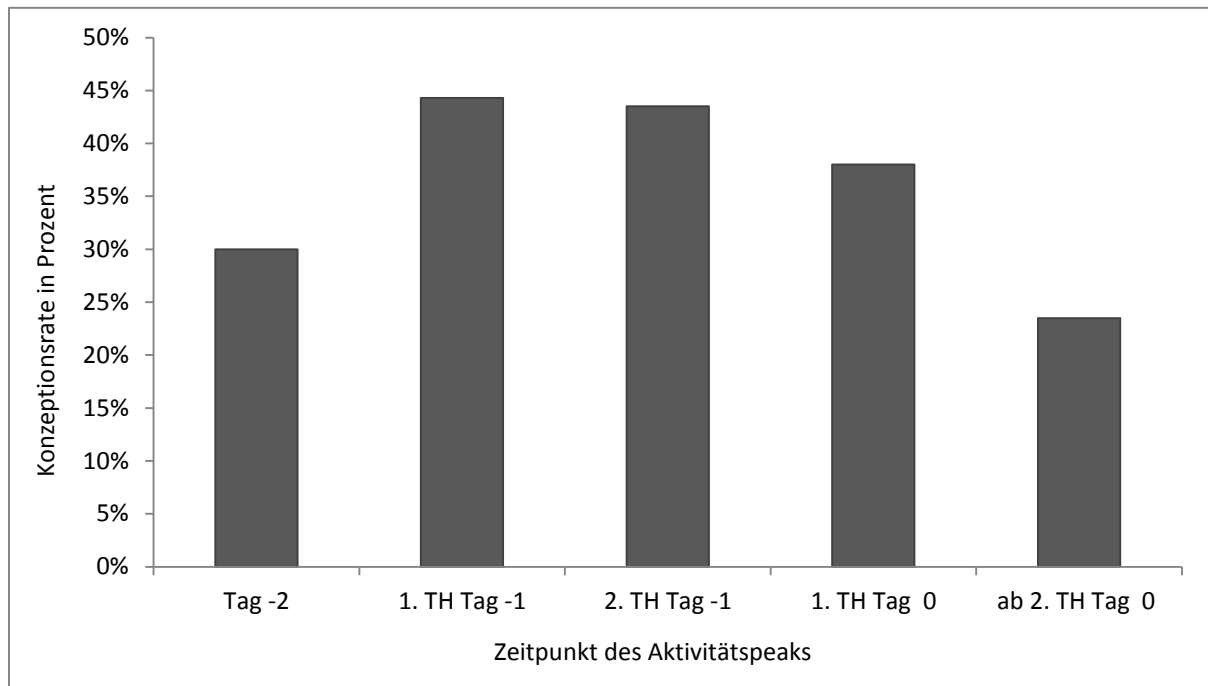


Abb. 29: Konzeptionsrate in Prozent in Abhängigkeit vom Tag (in Relation zur künstlichen Besamung) und der Tageszeit des Aktivitätspeaks

Die Zyklen verteilen sich auf die einzelnen Zeitspannenklassen wie folgt: Tag -2: n = 10; 1. Tageshälfte (TH) des Tages -1 (Vortag der künstlichen Besamung): n = 106; 2. TH des Tages -1: n = 138; 1. TH des Tages 0 (Tag der künstlichen Besamung): n = 121; ab 2. TH des Tages 0: n = 17.

4.4 Roboterbesuchverhalten

4.4.1 Besuchparameter im Zyklusverlauf

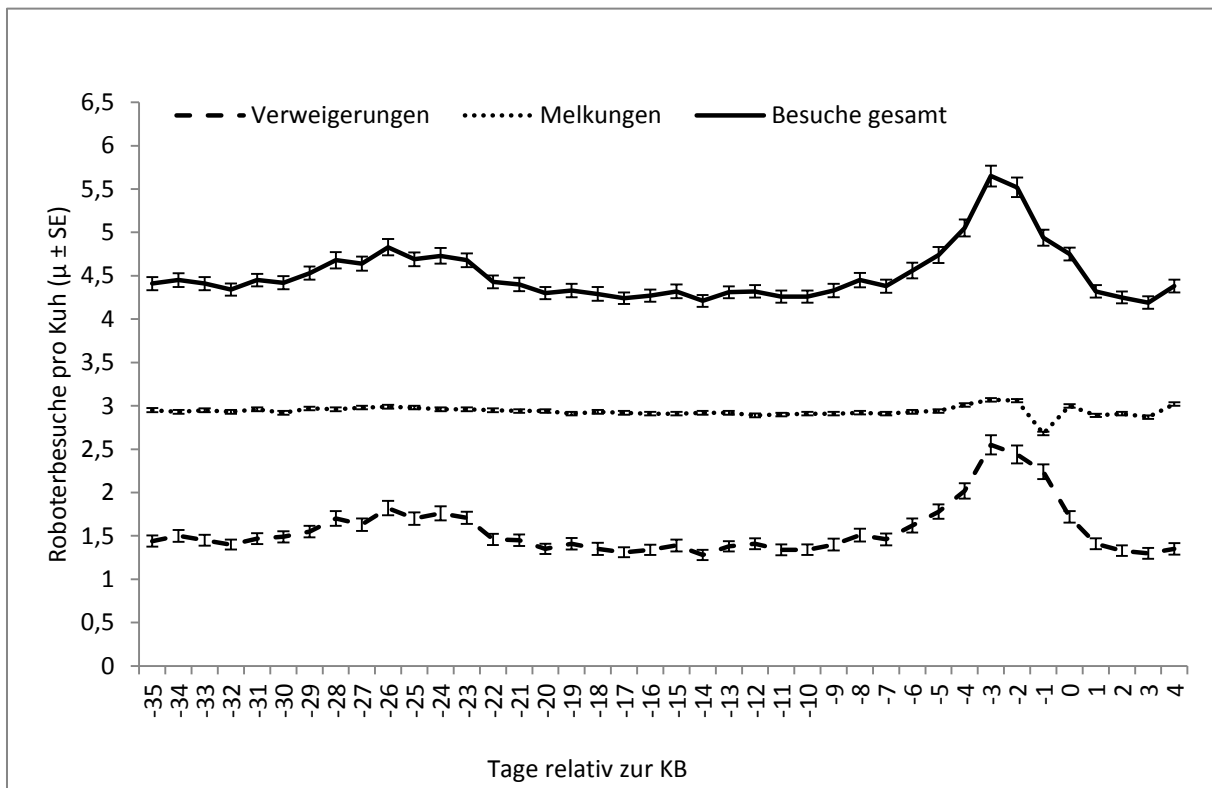


Abb. 30: Mittlere Anzahl an Melkroboterbesuchen (Mittelwerte \pm Standardfehler der Mittelwerte) für alle ausgewerteten Zyklen ($n = 1.708$)

Einzeln dargestellt sind Verweigerungen (Besuche ohne Melkanrecht), erfolgreiche Melkungen sowie die gesamten Roboterbesuche (Summe aus erfolgreichen Melkungen, fehlgeschlagenen Melkversuchen und Verweigerungen) pro Tier und Tag (als 24h-Zeitraum). -35 umfasst die Zeitspanne von 840 h bis 817 h vor der künstlichen Besamung (KB) ... 0 umfasst die Zeitspanne ab der Stunde der KB bis 23 h nach der KB ... 4 umfasst die Zeitspanne von 96 h bis 119 h nach der KB.

Abb. 30 stellt die mittlere Anzahl an Verweigerungen, an erfolgreichen Melkungen sowie der gesamten Roboterbesuche pro Kuh und 24h-Klasse für den Zeitraum von 35 Tagen vor bis 4 Tagen nach dem Besamungstag dar. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Angabe „Tag“ als Zeiteinheit von 24 Stunden zu verstehen ist. Die 24h-Klassen wurden dabei ausgehend von der Stunde der Besamung gebildet. Das heißt, ein 24h-Zeitraum umfasst nicht die Uhrzeiten eines Kalendertages von 0:00 Uhr bis 24:00 Uhr, sondern in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der künstlichen Besamung z.B. die Zeitspanne von 07:00 Uhr des einen Tages bis 7:00 Uhr am Folgetag. Mit Tag 0 wurde die 24h-Zeitspanne ab

der Besamung erfasst, die Stunde der künstlichen Besamung wurde dem Tag 0 als erste Stunde zugeordnet. In die Auswertung wurden unabhängig vom Besamungserfolg alle auswertbaren Zyklen einbezogen.

Für den gesamten betrachteten Zeitraum betrug die mittlere Anzahl an Verweigerungen 1,56, die mittlere Anzahl an erfolgreichen Melkungen 2,94 und die mittlere Anzahl der gesamten Roboterbesuche 4,52 pro Tier und Tag. Aus Abb. 30 wird ersichtlich, dass die Zahl der Verweigerungen sowie die Gesamtzahl an Roboterbesuchen pro Kuh und Tag in der Zeitspanne von 35 bis 30 Tagen und 22 bis 7 Tagen vor der Besamung relativ konstant war. 29 bis 23 Tage vor dem Besamungstag war eine leichte Auslenkung beider Parameter erkennbar. Eine deutliche Erhöhung der Gesamtzahl an Besuchen sowie der Anzahl an Verweigerungen begann im Mittel über alle Kühe sechs Tage vor der Besamung. Beide Parameter erreichten ihr Maximum drei Tage (72 h bis 49 h) vor der Besamung. Anschließend fielen die Werte wieder ab und erreichten am Tag 1 (24 h bis 47 h) nach der künstlichen Besamung wieder das Ausgangsniveau. Die Melkhäufigkeit pro Kuh und Tag zeigte einen abweichenden Verlauf. Sie war nahezu über den gesamten Zeitraum relativ konstant. Lediglich von Tag -4 bis Tag -2 war ein leichter Anstieg zu erkennen. Auffallend war jedoch der recht deutliche Rückgang der mittleren Anzahl an Melkungen pro Tier am Tag -1, das heißt in den 24 Stunden vor der Besamung. Wurden an den Tagen -3 und -2 noch im Mittel jeweils rund 3,1 Melkungen pro Tier erzielt, fiel der Wert am Tag -1 auf rund 2,7 Melkungen. Am Tag 0 wurden wieder circa drei Melkungen pro Kuh erreicht.

4.4.2 Besuchshäufigkeiten im engeren zeitlichen Bezug zur Brunst

In dem Zeitraum von 240 Stunden vor der Besamung bis 119 Stunden nach der Besamung wurden innerhalb der ausgewerteten 24h-Klassen im Minimum ein Melkroboterbesuch und im Maximum 75 Melkroboterbesuche pro Tier und Tag beobachtet. Dabei lagen 62,4 % der Werte in dem Bereich zwischen zwei bis vier Roboterbesuchen und 95 % der Werte in dem Bereich zwischen einem und zehn Roboterbesuchen pro Tier und Tag. Am häufigsten (25,8 %) suchten die Tiere das automatische Melksystem dreimal am Tag auf.

Die Anzahl der erfolgreichen Melkungen pro Tier und Tag betrug im Minimum null (ein Fall) und im Maximum acht. Dabei lagen 95 % der Werte in dem Bereich zwischen zwei bis vier Melkungen pro Tier und Tag. Am häufigsten (45,8 %) wurden die Tiere dreimal täglich gemolken.

Die Anzahl der Verweigerungen bewegte sich im Auswertungszeitraum zwischen null und 71 pro Tier und Tag. In 79,3 % der Fälle kamen null bis zwei Verweigerungen pro Tier und Tag vor, in 90 % der Fälle lag die Anzahl der Verweigerungen zwischen null und vier. Am häufigsten (46,2 %) erfolgte kein Roboterbesuch ohne Melkanrecht.

Abb. 31 visualisiert die relativen Häufigkeiten der einzelnen Klassen des Parameters Melkroboterbesuche gesamt. Der Anteil der Tiere, die den Melkroboter maximal zweimal pro Tag aufsuchten, lag bis zum Tag -5 knapp über 20 %. Ab Tag -4 sank der Anteil dieser Tiere unter 20 % und erreichte sein Minimum am Tag -3 (alle Zyklen: 15,3 %; nur Zyklen mit erfolgreicher KB: 13,6 %). Am Tag -2 verblieb der Anteil dieser Tiere noch auf einem ähnlich niedrigen Niveau wie am Vortag, und stieg am Vortag der Besamung wieder auf über 20 % an. Am Tag der Besamung war erneut ein Absinken des relativen Anteils dieser Klasse auf 16,5 % (alle Tiere) bzw. 17,2 % (erfolgreich besamte Tiere) zu verzeichnen. Im Anschluss daran erfolgte wieder ein Anstieg auf über 20 %. Bis zum vierten auf den Tag der Besamung folgenden Tag verblieben die Werte dann in etwa auf diesem Niveau. Der Anteil der Tiere, die den Roboter drei- bis viermal pro Tag aufsuchten, lag bis zum Tag -5 deutlich über 40 %. Danach verringerte sich der Anteil dieser Besuchsklasse und erreichte sein Minimum mit 37,6 % am Tag -2 (alle Tiere) bzw. mit 38,4 % am Tag -3 (nur erfolgreich besamte Tiere). Anschließend erfolgte wieder ein Anstieg der Werte, wobei bereits am Tag der Besamung wieder Werte von über 40 % erreicht wurden. Der Anteil der Tiere mit mindestens fünf Roboterbesuchen pro Tag begann vier Tage vor der Besamung deutlich anzusteigen und verhielt sich damit gegenläufig zu den beiden vorstehend beschriebenen Klassen. Das Maximum wurde in dieser Klasse mit 46,5 % zwei Tage vor der Besamung (alle Tiere) bzw. mit 48,0 % drei Tage vor der Besamung (nur erfolgreich besamte Tiere) erreicht. Im Anschluss daran war der Anteil der Tiere mit mindestens fünf Roboterbesuchen pro Tag wieder deutlich rückläufig.

ERGEBNISSE

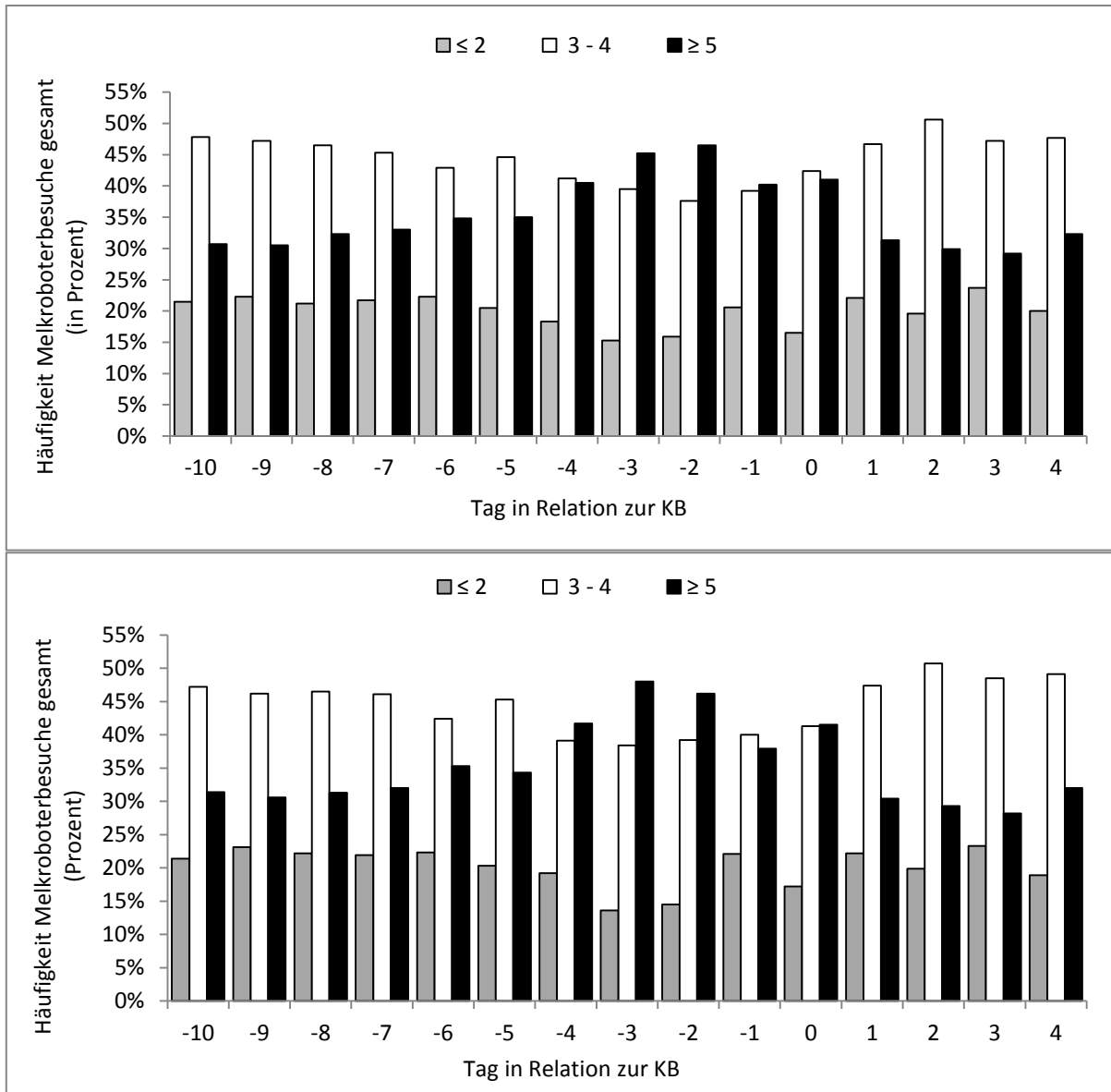


Abb. 31: Relative Häufigkeiten des klassierten Parameters Melkroboterbesuche gesamt pro Tier und Tag (als 24h-Zeitraum) für die Zeitspanne von 10 Tagen vor bis 4 Tage nach dem Tag der KB -10 umfasst die Zeitspanne von 240 h bis 217 h vor der künstlichen Besamung (KB) ... 0 umfasst die Zeitspanne ab der Stunde der KB bis 23 h nach der KB ... 4 umfasst die Zeitspanne von 96 h bis 119 h nach der KB. Die Melkroboterbesuche gesamt wurden errechnet als Summe der erfolgreichen Melkungen, der fehlgeschlagenen Melkungen und der Verweigerungen pro Tier und Tag. Obere Abbildung: alle ausgewerteten Zyklen (n = 1.708, p < 0,001); untere Abbildung: nur Zyklen mit erfolgreicher KB (n = 757, p < 0,001).

ERGEBNISSE

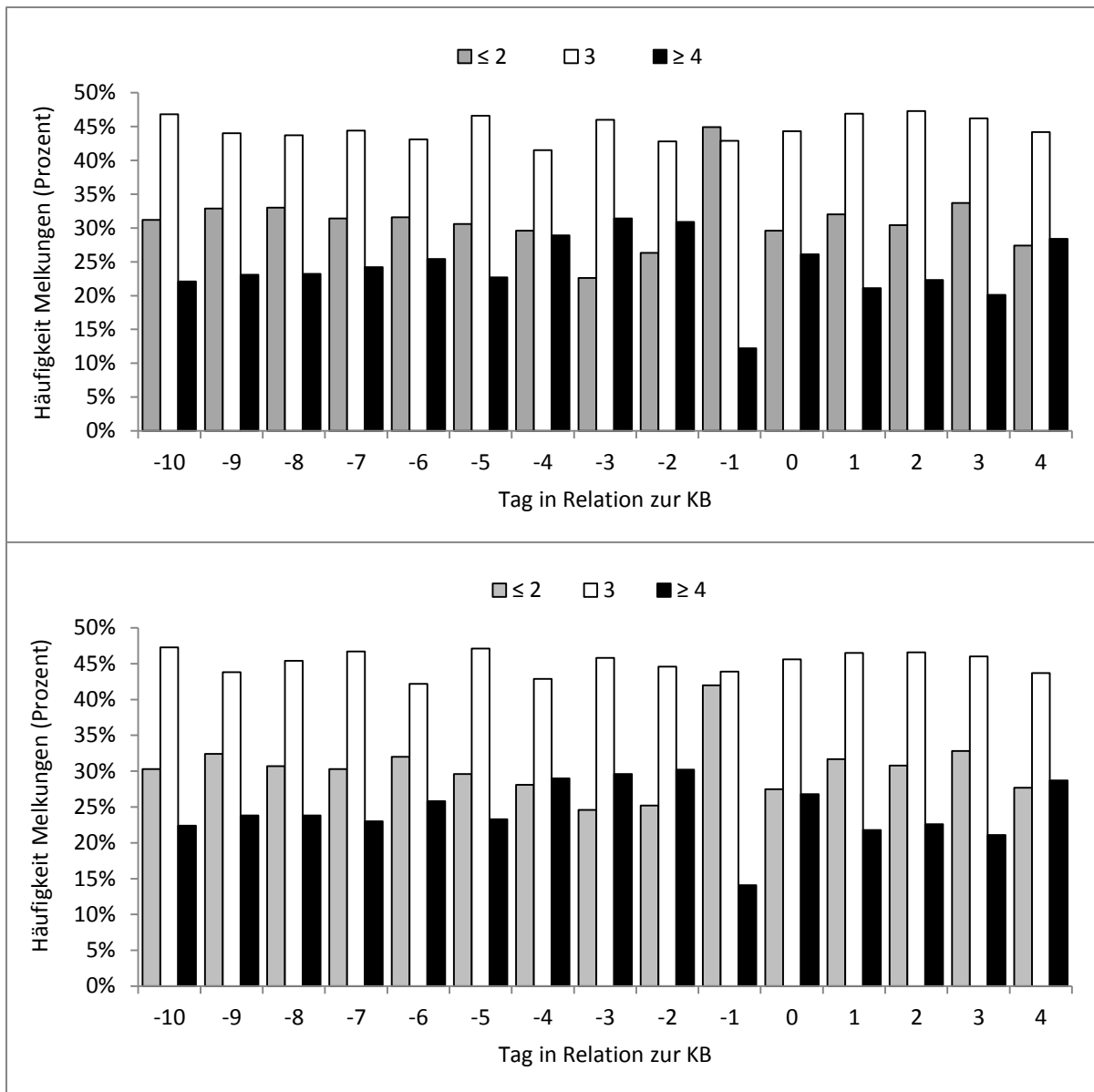


Abb. 32: Relative Häufigkeiten des klassierten Parameters Melkungen (ohne fehlgeschlagene Melkversuche) pro Tier und Tag (als 24h-Zeitraum) für die Zeitspanne von 10 Tagen vor bis 4 Tage nach dem Tag der KB

- 10 umfasst die Zeitspanne von 240 h bis 217 h vor der künstlichen Besamung (KB) ... 0 umfasst die Zeitspanne ab der Stunde der KB bis 23 h nach der KB ... 4 umfasst die Zeitspanne von 96 h bis 119 h nach der KB. Obere Abbildung: alle ausgewerteten Zyklen (n = 1.708, p < 0,001); untere Abbildung: nur Zyklen mit erfolgreicher KB (n = 757, p < 0,001).

Aus Abb. 32 kann die Verteilung des klassierten Parameters „erfolgreiche Melkungen“ innerhalb des Zeitraums von 240 h vor bis 119 h nach der künstlichen Besamung entnommen werden. Während der Anteil der Tiere mit drei Melkungen pro Tag keinen Zusammenhang mit dem Brunstgeschehen erkennen ließ, war insbesondere für den Tag vor der Besamung

eine deutliche Veränderung für die zwei verbleibenden Klassen zu erkennen. Zunächst stieg ab Tag -4 der Anteil der Tiere mit mehr als vier Melkungen pro Tag leicht über das Niveau des vorangegangenen Zeitraums. Gleichzeitig waren weniger Tiere mit lediglich zwei Melkungen pro Tag zu verzeichnen. Am Tag -1, d.h. innerhalb der 24 Stunden vor der künstlichen Besamung, war dieses Verhältnis deutlich verändert. Es zeigte sich ein starker Anstieg der Tiere, die maximal zweimal den Melkroboter aufsuchten. Im Vergleich zum Vortag erhöhte sich der Anteil um 16,8 % (alle Tiere) bzw. 18,6 % (nur erfolgreich besamte Tiere). Der Anteil der Tiere mit mindestens vier Melkungen ging dagegen um 16,1 % (alle Tiere) bzw. 18,7 % (nur erfolgreich besamte Tiere) gegenüber dem Vortag zurück. Bereits am Tag der Besamung waren dann wieder ähnliche Verhältnisse wie in dem vom Brunstgeschehen unbeeinflussten Zeitraum (Tag -10 bis Tag -5) zu beobachten.

Abb. 33 stellt den Anteil der Verweigerungen innerhalb des Auswertungszeitraums dar. Es wird deutlich, dass die Häufigkeit von ein bis zwei Verweigerungen pro Tier und Tag während der gesamten Zeitspanne relativ konstant blieb. Lediglich im brunstnahen Zeitraum war ein leichter Anstieg zu verzeichnen, wobei das Maximum innerhalb der 24h-Klasse vor der Besamung (Tag -1) erreicht wurde. Eine deutliche Reaktion war dagegen für den Anteil der Tiere zu erkennen, die keine Verweigerung aufwiesen. Dieser fiel bereits ab Tag -6 kontinuierlich bis zum Erreichen des Minimums am Tag -1 ab. Im Anschluss stieg der Anteil dieser Tiere wieder an und erreichte bereits am Folgetag der künstlichen Besamung wieder das Niveau des vom Brunstgeschehen unbeeinflussten Zeitraums. Gegenläufig verhielt sich der Anteil der Tiere mit mindestens drei Verweigerungen pro Tag. Dieser erhöhte sich ab Tag -6 nahezu kontinuierlich bis zum Erreichen des Maximums am Tag -3. An diesem Tag lag der Anteil der Tiere mit mindestens drei Verweigerungen nahezu doppelt so hoch wie vor Tag -6. Im Anschluss daran erfolgte wieder ein kontinuierliches Absinken bis zum Erreichen des Ausgangsniveaus am Tag nach der Besamung.

ERGEBNISSE

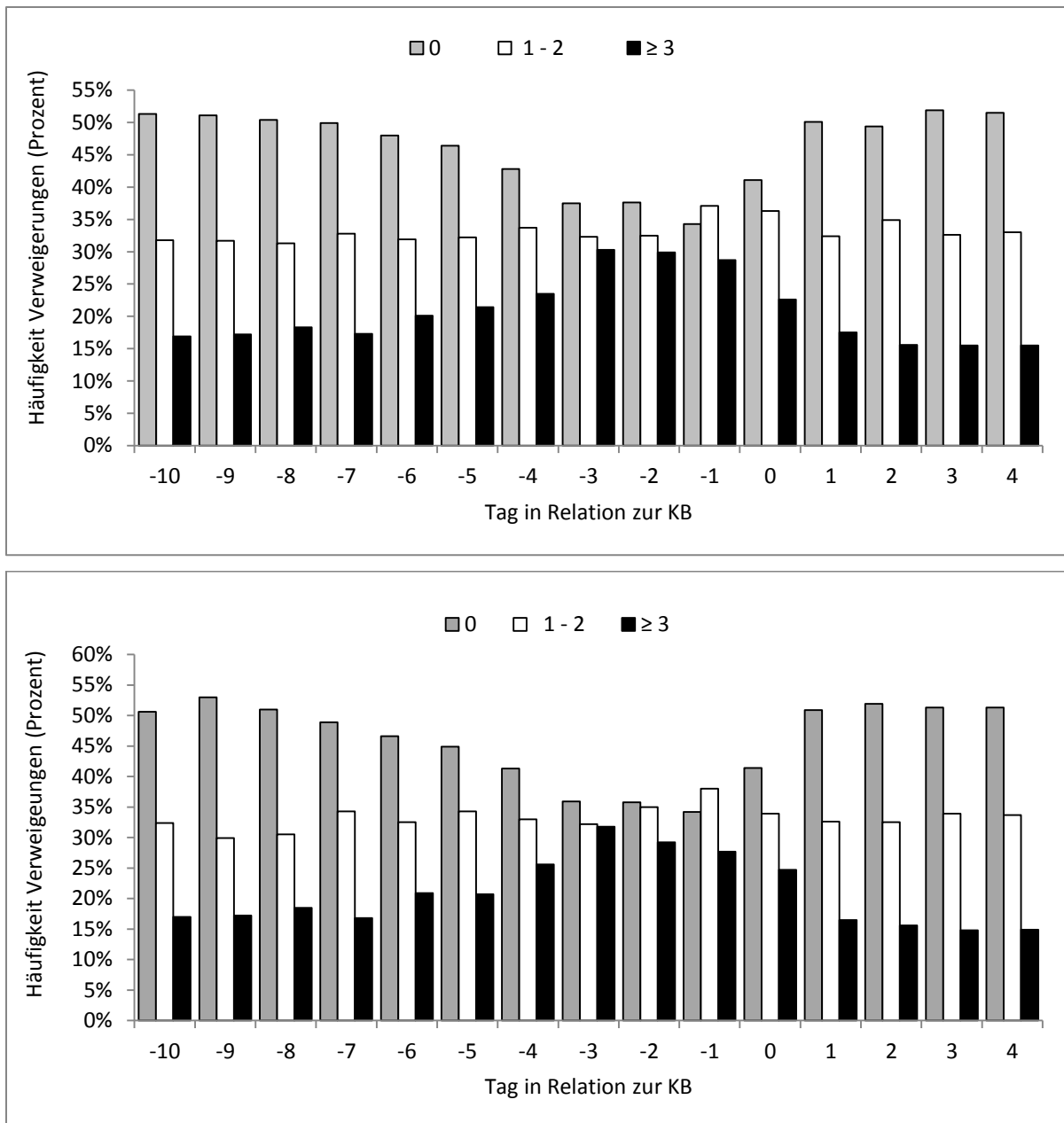


Abb. 33: Relative Häufigkeiten des klassierten Parameters Verweigerungen pro Tier und Tag (als 24h-Zeitraum) für die Zeitspanne von 10 Tagen vor bis 4 Tage nach dem Tag der KB
 -10 umfasst die Zeitspanne von 240 h bis 217 h vor der künstlichen Besamung (KB) ... 0 umfasst die Zeitspanne ab der Stunde der KB bis 23 h nach der KB ... 4 umfasst die Zeitspanne von 96 h bis 119 h nach der KB. Obere Abbildung: alle ausgewerteten Zyklen (n = 1.708, p < 0,001); untere Abbildung: nur Zyklen mit erfolgreicher KB (n = 757, p < 0,001).

5. Diskussion

5.1 Datenerhebung und Datenaufbereitung

Die Datenerhebung erfolgte auf insgesamt zehn Milchviehbetrieben mit unterschiedlicher Struktur und unterschiedlichem Management. Eine Vereinheitlichung der das Tierverhalten beeinflussenden Betriebsabläufe (insbesondere Fütterungs- und anderweitige Stallarbeitszeiten) zwischen den einzelnen Betrieben war nicht möglich, da es sich bei allen Betrieben um Praxisbetriebe handelte. Die Aufzeichnung der Besamungsdaten lag in der Verantwortung des jeweiligen Herdenmanagers. Die Sorgfalt, mit der diese Daten dokumentiert wurden, konnte retrospektiv nicht beurteilt werden. Aufgrund der großen Anzahl an erfassten Besamungen kann jedoch angenommen werden, dass vereinzelte Fehler bei der Datenaufzeichnung keine entscheidende Auswirkung auf das Ergebnis der statistischen Auswertungen hatten.

Zur Analyse der Bewegungsaktivität wurden die Daten der von den Betrieben eingesetzten Respektorsysteme genutzt. Derartige Systeme erfassen präzise die lokomotorische Aktivität von Kühen (Elischer et al. 2013) und eignen sich vor allem in Kombination mit visueller Brunstüberwachung zur Brunsterkennung (Holman et al. 2011; Chanvallon et al. 2014; Michaelis et al. 2014; Talukder et al. 2015). Die Algorithmen, die einer durch die Managementsoftware generierten Brunstmeldung zugrunde liegen, sind in der Regel Firmengeheimnis der Hersteller (Løvendahl und Chagunda 2010; Ismael et al. 2015). Die Effizienz der Brunsterkennung der unterschiedlichen Aktivitätsmesssysteme hängt neben der Definition der Referenzperiode vor allem von der Grenzwerteinstellung ab (Roelofs et al. 2005a; Løvendahl und Chagunda 2010; Kamphuis et al. 2012; Chanvallon et al. 2014). Sowohl in der VMS-Managementsoftware (DeLaval) als auch im Programm T4C (Lely) ist es dem Anwender möglich, die Grenzwerteinstellung in einem gewissen Rahmen zu verändern. Um hier eine einheitliche Datengrundlage innerhalb des jeweiligen Aktivitätsmesssystems zu schaffen, wurde in der vorliegenden Untersuchung zur Definition kennzeichnender Abschnitte einer Brunst (Aktivitätspeak, Brunstbeginn, Brunstende) nicht auf die von dem jeweiligen Herdenmanagementprogramm generierten Hinweise zurückgegriffen. Die vorgenannten Parameter wurden auf Basis der vom Sensor bereitgestellten Aktivitätsrohdaten ermittelt. Dabei wurden tierindividuell die tagesstundenbezogenen

Referenzwerte den Werten im brunstnahen Zeitraum gegenübergestellt und aus den prozentualen Abweichungen gleitende Mittelwerte über einen Zeitraum von fünf bzw. sechs Stunden berechnet. Die Verwendung prozentualer Abweichungen zur Definition der kennzeichnenden Brunstabschnitte anstelle der absoluten Aktivitätsmesswerte relativiert mögliche Einflüsse betriebsindividuell unterschiedlicher Stallarbeitszeiten auf die Parameter Aktivitätspeak, Brunstbeginn und Brunstende. Nach Løvendahl und Chagunda (2010) reduziert sich bei Anwendung gleitender Mittelwerte zudem die Gefahr, dass atypische und sehr kurze Perioden gesteigerter Aktivität als normales Brunstverhalten berücksichtigt werden.

5.2 Aktivität im Diöstrus

Das Aktivitätsverhalten im Diöstrus wies sowohl bei den DeLaval-Betrieben als auch bei den Lely-Betrieben einen bimodalen Verlauf auf. Die niedrigsten Aktivitätswerte wurden jeweils in den frühen Morgenstunden beobachtet. Im Tagesverlauf kam es zu zwei Aktivitätsgipfeln, einem ersten Gipfel in den Vormittagsstunden und einem zweiten am späten Nachmittag bzw. Abend. Ähnliche Aktivitätsmuster im Tagesverlauf wurden bereits in mehreren Arbeiten nachgewiesen (Liu und Spahr 1993; Roelofs et al. 2005a; Løvendahl und Chagunda 2010; Reith et al. 2014a). Nach DeVries et al. (2003) zeigt das Futteraufnahmeverhalten der Kühe einen korrespondierenden Tagesverlauf. Während der frühen Morgenstunden nehmen nur wenige Tiere Nahrung auf. Nach dem morgendlichen Melken und der darauf erfolgenden Futtervorlage kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Futteraufnahmeaktivität. Ein weiterer, höherer Gipfel in der Nahrungsaufnahme ist am Nachmittag bzw. frühen Abend nach erneuter Futtervorlage und dem zweiten Melken zu beobachten. Das Nachschieben des Futters animiert die Tiere im Vergleich zur Vorlage von frischem Futter dagegen nur wenig (DeVries et al. 2003). Einen zur Bewegungsaktivität und zur Nahrungsaufnahme gegenläufigen Tagesrhythmus zeigt die Wiederkautätigkeit mit den höchsten Werten in den Nacht- bzw. frühen Morgenstunden sowie in der Mittagszeit und den niedrigsten Werten am Vormittag sowie am späten Nachmittag bzw. frühen Abend (Reith et al. 2014a; Hoy 2015). In der vorliegenden Arbeit wurden betriebsindividuelle Unterschiede in der Uhrzeit sowie der Ausprägung der Aktivitätsmaxima im Diöstrus festgestellt. Diese Beobachtung ist vermutlich auf eine zeitlich abweichende Organisation der Stallarbeit zurückzuführen, da nach Liu und Spahr (1993) das Aktivitätsmuster im Verlauf eines Tages die Arbeitsroutine

eines Betriebes reflektiert. Dabei beeinflussen insbesondere Zeitpunkt und Häufigkeit der Futtervorlage das Aktivitätsverhalten der Tiere deutlich (DeVries et al. 2005).

Sowohl innerhalb der DeLaval- als auch innerhalb der Lely-Betriebe konnten signifikante Unterschiede im mittleren Aktivitätsniveau zwischen den einzelnen Betrieben festgestellt werden. Dieses Ergebnis ist wahrscheinlich auf mehrere Faktoren zurückzuführen. So können vor allem stallbauliche Gegebenheiten, wie die Beschaffenheit der Laufgänge, die zurückzulegenden Wege zum Roboter, zum Futtertisch und zur Tränke sowie die Attraktivität der Liegeflächen das Aktivitätsniveau der Tiere beeinflussen. Zudem können der Gesundheitsstatus der Tiere, stallindividuelle Licht- und Temperaturverhältnisse sowie das Fütterungsmanagement eine Rolle spielen (Büscher et al. 2010). Die Möglichkeit zur Weidenutzung im Sommer (Betriebe D1 und L3) führte in der vorliegenden Studie jedoch nicht zu einer signifikant höheren Aktivität. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu verschiedenen Studien, die für die ausschließliche Laufstallhaltung ein deutlich eingeschränktes Ausmaß an Bewegungsaktivität in Form von Gehen, Fressen und sozialen Interaktionen (Bartussek 1999) und eine signifikant verlängerte Liegezeit gegenüber der Weidehaltung beschreiben (Legrand et al. 2009; Roca-Fernández et al. 2013). Allerdings gibt es auch Hinweise darauf, dass andere Faktoren die Bewegungsaktivität mehr beeinflussen als die Möglichkeit zur Weidenutzung. Bartussek (1999) führt an, dass die Anordnung und die Entfernung der Einrichtungen zur Befriedigung der essentiellen Bedürfnisse (Wasser, Futter, Melkeinrichtung, Liegebereich) die täglich zurückgelegten Wegstrecken beeinflussen. Zudem führt eine Zufütterung von Kraftfutter (wie bei einem automatischen Melksystemen üblich) auch bei Weidehaltung zu einer signifikant geringeren Bewegungsaktivität sowie zu einer signifikant verlängerten Liegezeit (Schori et al. 2014). Eine ältere Studie von O'Connell et al. (1989) bestätigt die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung. Nach Beobachtung der Autoren sind Kühe bei Stallhaltung deutlich unruhiger und zeigen häufiger agonistische Interaktionen als auf der Weide. Auch der Melktechnikhersteller und Anbieter eines Präzisionspedometers (FULLEXPERT) Lemmer-Fullwood behauptet, dass Kühe bei frischem Gras und gutem Futterangebot auf der Weide deutlich weniger als im Stall laufen (Lemmer-Fullwood GmbH 2014).

Signifikante Unterschiede im Aktivitätsniveau konnten auch zwischen den einzelnen Paritäten ermittelt werden. Sowohl bei den DeLaval- als auch bei den Lely-Betrieben zeigten Tiere in

der ersten Laktation das signifikant höchste Aktivitätsniveau im Diöstrus. Bis zur dritten Laktation sank das Aktivitätsniveau stetig ab. Tiere höherer Parität zeigten bei den Lely-Betrieben wieder erhöhte Aktivitätswerte, bei den DeLaval-Betrieben war das nicht der Fall. Das Ergebnis deckt sich mit Beobachtungen von Firk et al. (2002), welche ein abnehmendes Aktivitätsniveau bis zur dritten Laktation beschreiben. Ebenso berichten Løvendahl und Chagunda (2010) über ein abnehmendes Aktivitätsniveau mit zunehmender Laktationsnummer.

Die Jahreszeit beeinflusste das Aktivitätsniveau ebenfalls signifikant. Die geringste Aktivität wurde in den Wintermonaten beobachtet, die höchste in den Sommermonaten. Auch Plesch und Wittmann (2013) beschreiben eine höhere Aktivität an wärmeren Tagen, sofern die Witterung im Toleranzbereich der Kühe liegt. Allerdings muss angemerkt werden, dass in der vorliegenden Studie die Unterschiede insbesondere innerhalb der Lely-Betriebe mit einem Minimum von 31,02 und einem Maximum von 33,08 Aktivitätseinheiten nicht sehr groß waren. Auf Grund des sehr großen Stichprobenumfangs konnten die Ergebnisse zwar statistisch gesichert werden, biologisch können die Differenzen aber vermutlich vernachlässigt werden. Zudem sind die Daten der Lely-Betriebe in ihrer Dynamik nicht völlig mit den Daten der DeLaval-Betriebe kongruent.

5.3 Aktivität im brunstnahen Zeitraum

Auch im brunstnahen Zeitraum folgte das Aktivitätsmuster sowohl innerhalb der DeLaval-Betriebe als auch innerhalb der Lely-Betriebe einem Tag-Nacht-Rhythmus. Dabei lag das Aktivitätsniveau jedoch deutlich über dem Niveau im Diöstrus. Im Mittel über alle ausgewerteten Zyklen begann bereits ab den Vormittagsstunden am Vortag der künstlichen Besamung eine sichtbare Auslenkung der Aktivität. Zur höchsten Abweichung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum von der Referenzaktivität kam es ab den Abendstunden des Vortages der Besamung bis zu den Morgenstunden am Tag der Besamung. In den Abendstunden des Besamungstages erreichte die Aktivität wieder das Niveau der Referenzaktivität. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommen Reith et al. (2014a). Nach den Autoren weicht die mittels Respektortechnik (Qwes HR, SCR) erfasste Aktivität ab den Nachtstunden des Vortages der Besamung bis in die frühen Morgenstunden des Besamungstages um mehr als 50 % von der Referenzaktivität ab.

Bezogen auf die Stunde der Insemination war in der vorliegenden Untersuchung innerhalb der DeLaval-Betriebe ab 25 Stunden vor der Besamung und innerhalb der Lely-Betriebe ab 30 Stunden vor der Besamung eine deutliche Auslenkung der Aktivität zu erkennen. Eine Erhöhung um mehr als 30 % gegenüber der Referenzaktivität wurde in der Zeitspanne von 21 bis 3 Stunden vor der Besamung (DeLaval) bzw. von 22 Stunden bis 2 Stunden vor der Besamung (Lely) festgestellt. Die maximale brunstbedingte Aktivitätserhöhung wurde unabhängig vom Melktechniksystem im Mittel 12 Stunden vor der Besamung erreicht. Die relativ lange Zeitspanne, innerhalb der im Mittel über alle ausgewerteten Zyklen eine gesteigerte Aktivität als sekundäres Brunstanzeichen zu beobachten war, wurde bereits in der Vergangenheit von verschiedenen Autoren beschrieben. Nach Stevenson (1997) können sekundäre Brunstsymptome ab 40 Stunden vor Brunstbeginn auftreten und bis zu 20 Stunden nach Brunstbeginn andauern. Yoshida und Nakao (2005) geben als Dauer der primären und sekundären Brunstsymptome im Mittel $33,2 \pm 22,7$ Stunden an. Nach Arney et al. (1994) beginnt bereits ab 72 Stunden vor Brunstbeginn (definiert als mindestens 80 %ige Aktivitätszunahme im Zusammenhang mit Duldungsverhalten) ein leichter Anstieg der Lokomotion, der sich ab 16 Stunden vor Brunstbeginn deutlich verstärkt. Nach Ausführungen von Walker et al. (2010) und Sveberg et al. (2011) erreicht die Intensität der sekundären Brunstsymptome ihr Maximum im Zusammenhang mit der ersten Duldung. Die Beobachtungen der vorgenannten Autoren lassen vermuten, dass der Duldungsbeginn auch in einem engen zeitlichen Zusammenhang mit der maximalen Bewegungsaktivität (erfasst mittels Respektortechnik) als sekundäres Brunstsymptom steht. Wird von dieser Vermutung ausgegangen, war eine sichtbare Auslenkung der Aktivität in der vorliegenden Studie etwa 13 Stunden (DeLaval) bzw. 18 Stunden (Lely) vor dem vermuteten Duldungsbeginn zu beobachten. 9 bzw. 10 Stunden vor dem vermuteten Duldungsbeginn verstärkte sich die Aktivitätsauslenkung noch einmal. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stimmen unter der vorgenannten Annahme (maximale Bewegungsaktivität bei Duldungsbeginn) mit den Ergebnissen von Sveberg et al. (2011) überein, wonach sekundäre Brunstsymptome in Form von Kinnauflegen und Aufsprungverhalten ab 24 Stunden vor der ersten Duldung auftreten und sich ab 9 Stunden vor Duldungsbeginn verstärken. Auch nach Ausführungen von Walker et al. (2010) wird das Brunstverhalten ab 9 Stunden vor der ersten Duldung intensiviert und ist nach Duldungsbeginn in abnehmender Intensität noch bis zu 15 Stunden zu beobachten.

Die auf Basis der Aktivitätsmessung definierte Brunst (Respaktorbrunst) äußerte sich in rund 84 % der Zyklen als eine zusammenhängende Periode erhöhter Aktivität. In rund 16 % der Zyklen wurden innerhalb einer Brunst mehrere Perioden erhöhter Aktivität gezeigt. Eine geteilte Brunst („split estrus“) wird von Gray und Varner (1986) als ein Phänomen beschrieben, das gelegentlich auftritt. Danach wird die Periode, in welcher der Aufsprung anderer Herdengenossen akzeptiert wird, von einer Periode ohne Duldung unterbrochen. Bei Untersuchungen an Fleischrindern fanden Stevenson et al. (1996) in 67 % der Zyklen eine geteilte Brunst vor. Nach Yoshida und Nakao (2005) kann die Zeitspanne zwischen den einzelnen Duldungsperioden sehr lang sein. Die Autoren beobachteten Duldungsverhalten innerhalb einer Brunst nach einer Pause von 72 Stunden erneut für mehrere Stunden, wobei während des gesamten Zeitraums sekundäre Brunstsymptome bestanden. Derartige Perioden verstärkter Brunstaktivität sind darauf zurückzuführen, dass die Intensität der Brunstäußerungen wellenförmig verläuft (Grunert 1999c). Dieser wellenförmige Verlauf könnte in der eigenen Untersuchung in einem Teil der Zyklen zu einem zwischenzeitlichen Absinken unter die definierte 25 %-Grenze geführt haben. Allerdings können auch brunstunabhängige Einflüsse auf die Aktivität nicht ausgeschlossen werden. Möglicherweise haben außergewöhnliche Aktivitäten im Stall in einigen Fällen zu einem weiteren Aktivitätsanstieg geführt. In der Regel ist jedoch eine brunstunabhängig erhöhte Bewegungsaktivität lediglich über einen kurzen Zeitraum von bis zu sechs Stunden zu beobachten (Aungier et al. 2012). Da in der eigenen Studie als Voraussetzung für die Definition des Brunstbeginns und für die Definition des Beginns einer Periode erhöhter Aktivität der ZGD3 bei mindestens drei aufeinander folgenden Werten (entspricht sechs Stunden) $\geq 25\%$ sein musste, dürfte der größte Teil der nicht brunstbedingten Aktivitätserhöhungen ausgeschlossen worden sein.

Im Mittel über alle ausgewerteten Zyklen dauerte die Respaktorbrunst $19,1 \pm 10,8$ Stunden. Damit ist die auf der Basis der Aktivitätsmessung definierte Brunstdauer deutlich länger im Vergleich zu Literaturangaben, in denen die Duldung zur Bestimmung der Brunstdauer herangezogen wurde (Hurnik et al. 1975; Dransfield et al. 1998; Lopez et al. 2002; Lopez et al. 2004). Duldungsverhalten wird allerdings nur von einem Teil der Kühe (Lyimo et al. 2000) und im Vergleich zu sekundären Brunstsymptomen über einen kürzeren Zeitraum gezeigt (Yoshida und Nakao 2005; Stevenson et al. 2014; Silper et al. 2015). Bei der Bewertung des

brunstbedingten Verhaltens mittels eines Scoringsystems (van Eerdenburg et al. 1996) ermittelten Lyimo et al. (2000) eine mit der vorliegenden Untersuchung vergleichbare Brunstdauer von $20,3 \pm 10,4$ Stunden. Hockey et al. (2010a) und Valenza et al. (2012) beschreiben die Dauer der brunstbedingten Aktivitätserhöhung (Respaktortechnik) einheitlich mit $16,1 \pm 7,0$ Stunden bzw. $16,1 \pm 4,7$ Stunden. Stevenson et al. (2014) geben für die ebenfalls mittels Respektoren bestimmte Brunstdauer $11,4 \pm 0,8$ Stunden bzw. $13,0 \pm 0,8$ Stunden an. Die zeitlichen Differenzen sowohl innerhalb der Literaturquellen als auch im Vergleich zu dieser Studie könnten sowohl auf herstellerbedingte Unterschiede in der Erfassung und Aufbereitung der Aktivitätsdaten als auch auf eine unterschiedliche mathematische Definition von Brunstbeginn und Brunstende (Silper et al. 2015) zurückzuführen sein. Die individuelle Variabilität in der Länge der Respaktorbrunst war beträchtlich, was die Beobachtungen von Silper et al. (2015) bestätigt. Auch Hall et al. (1959) geben unter Berücksichtigung bestimmter sekundärer Brunstsymptome Östruslängen zwischen 2 und 46 Stunden an. Die Zeitspanne, in der Duldungsverhalten gezeigt wird, variiert ebenfalls erheblich – zwischen 33 Minuten und 35,8 Stunden (Dransfield et al. 1998). Nach Grunert (1999d) beträgt die physiologische Brunstdauer 12 bis 24 Stunden. Abweichungen davon sind nach Angaben des Autors bei verkürzter Brunst meistens auf Fütterungs- und Haltungsmängel zurückzuführen, während ein verlängerter Östrus häufig im Zusammenhang mit Doppelovulationen, verzögerten Ovulationen sowie Follikel-Thekazyten gesehen wird. Dabei spielt vermutlich die Estradiolkonzentration eine entscheidende Rolle. So konnten Britt et al. (1986) nachweisen, dass experimentell verabreichtes Estradiolbenzoat in höheren Dosen zu einem deutlich verlängerten Östrus führt. Die Verabreichung östrogenhaltiger Futtermittel kann daher ebenfalls eine Brunstverlängerung verursachen (Grunert 1999d). Derartige Einflussfaktoren konnten aufgrund des Versuchsdesigns in der vorliegenden Studie nicht untersucht werden. Insbesondere die klinische Feststellung möglicher Zyklusanomalien war bei der Anzahl an ausgewerteten Besamungen sowie der räumlichen Entfernung der datenliefernden Betriebe nicht möglich. Am häufigsten setzte die Respaktorbrunst zwischen den um 10:00 Uhr bis um 14:00 Uhr endenden 2h-Zeiträumen am Vortag der Besamung sowie zu dem um 04:00 Uhr endenden 2h-Zeitraum am Tag der künstlichen Besamung ein. Auch Silper et al. (2015) beschreiben signifikante Unterschiede in der Häufigkeit des mittels Pedometer bestimmten Brunstbeginns

im Tagesverlauf. Nach den Autoren beginnt die Brunst am häufigsten in den Morgenstunden zwischen 06:00 und 10:00 Uhr. Im Gegensatz dazu sind nach Aungier et al. (2012) bei mit dem Respektorsystem H-Tag (SCR, Israel) ausgestatteten Kühen keine signifikanten tageszeitlichen Unterschiede im Brunstbeginn festzustellen. Nach Stevenson et al. (2014) beginnt bei 59,1 % der Tiere die Aktivitätserhöhung im Zusammenhang mit einer Brunst zwischen 18:00 Uhr abends und 06:00 Uhr morgens.

Der Aktivitätspeak, definiert auf Basis gleitender Mittelwerte als zyklusindividuell höchste relative Aktivitätsauslenkung je 1 h-/2 h-Block, wurde im Mittel $8,8 \pm 7,6$ Stunden (Lely-Betriebe) nach dem Beginn der Respektorbunst erreicht und damit gegen Ende der ersten Brunsthälfte. Eine vergleichbare Zeitspanne von etwa 8,5 Stunden kann den Angaben von Valenza et al. (2012) entnommen werden, die für eine hormonell induzierte Brunst als Zeitabstand zwischen Luteolyse und Brunstbeginn $62,7 \pm 18,0$ Stunden und zwischen Luteolyse und Aktivitätspeak $71,2 \pm 17,2$ Stunden angeben. Die Autoren verwendeten zur Definition der Parameter Brunstbeginn und Aktivitätspeak die werksseitigen Voreinstellungen der eingesetzten Respektortechnik (Heatime™, SCR). Stevenson et al. (2014) kommen ebenfalls mit Respektoren (SDet, Select Sires Inc.) bei Nutzung des vom Hersteller vorgegebenen Grenzwertes von 290 (dimensionslose Angabe) zur Definition des Brunstbeginns zu einem kürzeren mittleren Zeitabstand zwischen dem Beginn der brunstbedingten Aktivitätserhöhung und dem Aktivitätspeak. Nach den Ergebnissen der Autoren findet der Aktivitätspeak bei einer durchschnittlichen Brunstdauer von $13,0 \pm 0,8$ Stunden $5,9 \pm 0,6$ Stunden nach dem Beginn der Respektorbunst statt. Der Peak ist damit ähnlich wie in der eigenen Studie im Mittel gegen Ende der ersten Brunsthälfte positioniert. Obwohl der Aktivitätspeak häufig etwa in der Brunstmitte stattfand, konnte zyklusindividuell wie bei Aungier et al. (2012) das Aktivitätsmaximum innerhalb einer Respektorbunst zu jeder Zeit auftreten. Mit zunehmender Brunstdauer vergrößerte sich der Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak, was an der engen positiven Korrelation zwischen beiden Parametern deutlich wurde. Dieses Ergebnis korrespondiert ebenfalls mit den Untersuchungen von Aungier et al. (2012), wonach die Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Aktivitätsmaximum und die Brunstdauer positiv korrelieren.

Innerhalb des brunstnahen Zeitraums kam es am häufigsten in den Nacht- und frühen Morgenstunden zum tierindividuellen Aktivitätspeak. Diese Beobachtung ist konform mit

Literaturangaben, wonach die höchste Aktivität im Verlauf einer Brunst nachts und am frühen Morgen gezeigt wird (Hurnik et al. 1975; Hackett und McAllister 1984; Diskin und Sreenan 2000; Reith et al. 2014a). Die Höhe des Aktivitätspeaks variierte dabei zyklusindividuell stark (DeLaval 47,8 % – 1.108,1 %; Lely 11,7 % – 875,2 %). Vergleichbare Werte geben Silper et al. (2015) mit einem relativen Aktivitätsanstieg in der Brunst zwischen 30 % im Minimum und 1.190 % im Maximum an.

Unabhängig von der eingesetzten Respektortechnik konnte ein signifikanter Einfluss auf die Höhe des Aktivitätspeaks für die Faktoren Betrieb, Milchmenge und Besamungserfolg nachgewiesen werden. Die festgestellten Unterschiede in der Höhe des Aktivitätspeaks zwischen den einzelnen Betrieben korrespondieren mit Ausführungen von Stevenson et al. (2014), welche ebenfalls signifikante Betriebsunterschiede in der brunstbedingten maximalen Aktivitätsauslenkung feststellen konnten. Auch nach Dransfield et al. (1998) differiert die Intensität des Brunstverhaltens zwischen verschiedenen Betrieben. Interessanterweise war auf Betriebsebene eine hohe Basisaktivität im Diöstrus nicht zwingend mit einem hohen Aktivitätspeak verbunden. Innerhalb der Lely-Betriebe zeigten die Kühe der Betriebe mit nur einem Melkroboter (L2, L5) im Durchschnitt den niedrigsten Aktivitätspeak im Östrus, während die Aktivität im Diöstrus im mittleren Bereich lag. Da diese beiden Betriebe die geringste Anzahl an Kühen hatten, könnte dieses Ergebnis darauf zurückzuführen sein, dass im Vergleich zu den anderen Lely-Betrieben seltener mehrere Tiere gleichzeitig brünstig waren. Befinden sich mehrere Tiere zum gleichen Zeitpunkt im Östrus, findet eine Intensivierung des Brunstverhaltens statt (Hurnik et al. 1975; Roelofs et al. 2005b), was einen deutlicheren Aktivitätspeak bei den Betrieben mit einer größeren Tierzahl erklärt. Auch innerhalb der DeLaval-Betriebe zeigte sich bei dem Betrieb mit der größten Anzahl an Kühen (D3) trotz der niedrigsten Basisaktivität im Diöstrus die höchste Aktivitätsauslenkung im Östrus. Der beobachtete Einfluss der Milchleistung auf die maximale Brunstaktivität ist konform mit bereits in der Vergangenheit durchgeführten Untersuchungen. Valenza et al. (2012) ermittelten einen negativen linearen Zusammenhang zwischen der Milchleistung und der Höhe eines gewichteten Aktivitätspeaks (Respektortechnik). Auch Lopez-Gatius et al. (2005) und Homer (2013) beschreiben bei zunehmender Milchleistung eine geringere Aktivitätserhöhung in der Brunst. Sowohl Lopez et al. (2004) als auch Valenza et al. (2012) vermuten als Ursache für die geringere

Ausprägung von Brunstsymptomen bei hochleistenden Kühen eine niedrigere Östradiolkonzentration im Östrus im Vergleich zu Tieren mit niedrigerer Milchleistung. Unterschiedliche Konzentrationen von 17β -Östradiol im Blut könnten möglicherweise auch eine Ursache dafür sein, dass in Zyklen mit erfolgreicher Besamung der Aktivitätspeak signifikant höher war im Vergleich zu Zyklen, in welchen die künstliche Besamung nicht zu einer Trächtigkeit geführt hat. Eine niedrige Östrogenkonzentration im Östrus wird mit einer geringeren Ausprägung der Brunstsymptome (De Silva et al. 1981; Lyimo et al. 2000) und mit einer geringeren Fruchtbarkeit in Verbindung gebracht (Vasconcelos et al. 2013). Verschiedene Studien belegen den Zusammenhang zwischen Brunstintensität und Fertilität. Nach Lopez-Gatius et al. (2005) und Berka et al. (2004) ist eine höhere Laufaktivität (Pedometer) im Östrus mit größeren Konzeptionschancen assoziiert. Auch ausgeprägtes Brunstverhalten in Form von Duldung verbessert die Konzeptionsaussichten deutlich (Dransfield et al. 1998; Bijker et al. 2015). Madureira et al. (2015) analysierten wie auch in der vorliegenden Studie den Zusammenhang zwischen der Höhe des Aktivitätspeaks und dem Besamungserfolg. Die Autoren kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass Kühe mit einem höheren Aktivitätspeak eine signifikant höhere Konzeptionsrate aufweisen. Unabhängig von den Zusammenhängen zwischen Estradiolkonzentration, Follikelfunktionalität und Fertilität (Lopes et al. 2007) könnte der größere Besamungserfolg bei Kühen mit höherem Peak auch mit einer besseren Brunsterkennung durch das jeweilige Respektorsystem zusammenhängen. Nach Untersuchungen von Roelofs et al. (2005a) werden brünstige Kühe durch ein automatisches Aktivitätsmesssystem besser erkannt, wenn die brunstbedingten Verhaltensweisen stärker ausgeprägt sind. Sowohl die VMS-Managementsoftware (DeLaval) als auch T4C (Lely) generieren bei als brünstig erkannten Tieren entsprechende Besamungshinweise, die mit einer zeitlichen Empfehlung verbunden sind. Diese Hinweise könnten bei Kühen mit einem höheren Aktivitätspeak zu besser terminierten Besamungen und damit zu einer höheren Konzeptionsrate geführt haben. Innerhalb der DeLaval-Betriebe war zusätzlich ein signifikanter Einfluss der Parität zu erkennen, wobei erstlaktierende Kühe im Mittel den niedrigsten Aktivitätspeak aufwiesen. Dieses Ergebnis ist konträr zu den meisten Literaturangaben, wonach brünstige Kühe in der ersten Laktation eine höhere Bewegungsaktivität (Roelofs et al. 2005a; Lopez-Gatius et al. 2005; Homer 2013; Reith et al. 2014a; Stevenson et al. 2014) und einen signifikant höheren

Aktivitätspeak (Stevenson et al. 2014) im Vergleich zu Kühen höherer Parität zeigen. Im Gegensatz dazu beschreiben Gwazdauskas et al. (1983) und Arney et al. (1994) eine geringere Brunstaktivität bei primiparen Kühen im Vergleich zu multiparen Tieren. Arney et al. (1994) führen das darauf zurück, dass Kühe mit einer geringen Brunstaktivität schwieriger erkannt und aus diesem Grund eher gemerzt werden. Innerhalb der Lely-Betriebe konnte ein Einfluss der Laktationsnummer auf die Höhe des Peaks statistisch nicht abgesichert werden. Die abweichenden Ergebnisse zwischen den beiden Melktechniksystemen sind möglicherweise auf die unterschiedliche Sensortechnik zurückzuführen. Das von der Firma Lely eingesetzte Aktivitätsmesssystem (HR-Tag, SCR) filtert gewisse Bewegungen (Elischer et al. 2013), während die Messtechnik von DeLaval dreidimensional arbeitet und alle Kuhbewegungen als Aktivitätseinheiten erfasst (DeLaval 2007). Eventuell ändern Kühe mit zunehmender Parität ihr Aktivitätsverhalten während der Brunst in einer Weise, welche nur von einer Sensortechnik deutlich registriert wird. So wird zwar mit zunehmender Laktationsnummer eine geringere Laufaktivität (Lopez-Gatius et al. 2005; Roelofs et al. 2005a), aber eine höhere Aufsprungaktivität gezeigt (De Silva et al. 1981). Nach van Vliet und van Eerdenburg (1996) korrelieren verschiedene sexuelle Verhaltensweisen, wie Duldung oder Aufsprungversuche, nicht mit der Laufaktivität. Abweichende Ergebnisse für das jeweilige Aktivitätsmesssystem ergaben sich in der vorliegenden Untersuchung auch bezüglich des Einflusses der Jahreszeit. Innerhalb der DeLaval-Betriebe konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden, innerhalb der Lely-Betriebe war der Aktivitätspeak im Mittel über alle Zyklen im Sommer signifikant niedriger als zu den anderen Jahreszeiten. Vermutlich konnten die saisonalen Differenzen innerhalb der Lely-Betriebe aufgrund des deutlich größeren Stichprobenumfangs statistisch gesichert werden. Eine geringere Aktivitätserhöhung brünstiger Kühe in der warmen Periode im Vergleich zu den kühleren Monaten ist auch in der Literatur mehrfach beschrieben (Lopez-Gatius et al. 2005; Sakatani et al. 2012). Nach De Rensis und Scaramuzzi (2003) verringern hohe Temperaturen die Futteraufnahme und führen über eine Beeinträchtigung der brunstinduzierenden Hormonproduktion zu einer geringeren Ausprägung der Brunstsymptome. Gwazdauskas et al. (1983) berichten, dass die Östrusaktivität mit zunehmender Tagesmaximaltemperatur zunächst ansteigt, wobei die höchste Aktivität bei Tagesmaxima von 25 °C erreicht wird. Höhere Werte führen zu einem Rückgang der Brunstintensität. Diese kurvenförmige

Beziehung zwischen Tagesmaximaltemperatur und Brunstintensität könnte auch eine Erklärung dafür sein, dass der Aktivitätspeak im Mittel in den Wintermonaten zwar höher als im Sommer, aber ebenfalls niedriger als im Frühjahr und im Herbst war.

5.4 Einflüsse auf den Besamungserfolg

Neben einer effizienten Brunsterkennung ist die Wahl des Besamungszeitpunktes für den Erfolg einer künstlichen Besamung von entscheidender Bedeutung (Rao et al. 2013). Bei visueller Brunsterkennung wird die Besamung in der Regel in Abhängigkeit von dem Brunstbeginn, der durch den Duldungsreflex charakterisiert ist, terminiert (Hoedemaker et al. 2014). Da die eigenen Auswertungen ergaben, dass vor allem in den späten Abend- und frühen Morgenstunden die maximale brunstbedingte Aktivitätsauslenkung stattfand, ist es naheliegend, dass der Beginn der Brunst nicht sicher durch ausschließliche Beobachtung der Kühe erkannt werden kann. Elektronische Brunsterkennungssysteme, die auf eine gesteigerte Aktivität brünstiger Kühe zurückgreifen, stellen hier eine geeignete Alternative zur Brunstfeststellung dar (Wangler et al. 2005; Stevenson 2013a). Der Brunstbeginn im Sinne einer mathematisch definierten Aktivitätserhöhung kann mit diesen Systemen exakt bestimmt werden und eine Vorhersage über den voraussichtlichen Ovulationszeitpunkt getroffen werden (Roelofs et al. 2005a; Stevenson et al. 2014). In Abhängigkeit von dem prognostizierten Ovulationszeitpunkt kann eine Empfehlung zum günstigsten Besamungszeitpunkt gegeben werden (Roelofs et al. 2005a; Roelofs et al. 2006; Sales et al. 2011). Eine Bestimmung des Ovulationszeitpunktes war in der vorliegenden Studie aufgrund der praktischen Gegebenheiten (mehr als 2.000 Besamungen verteilt auf zehn räumlich weit voneinander entfernte Praxisbetriebe; personelle Voraussetzungen) nicht möglich. Auch in der landwirtschaftlichen Praxis ist der Ovulationszeitpunkt in der Regel nicht bekannt. Die mit der Besamung der Tiere beauftragten Personen müssen ihre Entscheidung über den Inseminationszeitpunkt auf Basis geeigneter, deutlich erkennbarer Parameter treffen. Daher wurde in dieser Untersuchung das Ziel verfolgt, in Abhängigkeit von charakteristischen Zeitabschnitten einer Resfaktorbrunst das optimale Zeitintervall für die Durchführung der künstlichen Besamung zu finden. Dazu wurde zunächst der Besamungserfolg in Relation zum Zeitabstand der künstlichen Besamung vom Aktivitätspeak betrachtet. Im Mittel erfolgte die Insemination innerhalb der DeLaval-Betriebe $11,5 \pm 13,9$ Stunden und innerhalb der Lely-Betriebe $11,5 \pm 9,7$ Stunden nach dem Aktivitätspeak. Innerhalb der der DeLaval-Betriebe

wurden die höchsten Konzeptionsraten von mehr als 45 % bei Besamungen innerhalb von 9 bis 16 Stunden bzw. 17 bis 24 Stunden nach dem Peak erzielt. Bei Besamungen außerhalb dieses Zeitraums konzipierten lediglich etwas mehr als 30 % der Tiere ($p = 0,085$). Innerhalb der Lely-Betriebe stellte sich der ideale Besamungszeitraum in Abhängigkeit vom Aktivitätspeak ähnlich dar, wobei hier die Unterschiede statistisch gesichert werden konnten. Aufgrund des im Vergleich zu den DeLaval-Betrieben deutlich größeren Stichprobenumfangs konnte zudem eine detailliertere Einteilung der Zeitspannenklassen vorgenommen werden. Mit Konzeptionsraten von fast 50 % waren Besamungen, die innerhalb von 7 bis 12 Stunden bzw. 13 bis 18 Stunden nach dem Peak vorgenommen wurden, am erfolgreichsten. Besamungen innerhalb von 19 bis 24 Stunden erreichten ebenfalls noch eine akzeptable Konzeptionsrate von etwa 45 %. Besamungen vor dem Peak oder sehr spät (25 bis 48 Stunden) nach dem Peak waren mit Konzeptionsraten von deutlich unter 40 % verbunden. Auf Basis dieser Feststellungen kann systemübergreifend eine Besamung innerhalb von 9 bis maximal 24 Stunden nach dem Aktivitätspeak empfohlen werden, ideal erscheint der Zeitraum von 9 bis 18 Stunden nach dem Peak. Dieses Ergebnis korrespondiert weitgehend mit den Ausführungen von Bar (2010), wonach die höchsten Konzeptionsaussichten bei Besamungen innerhalb von 16 Stunden nach einem gewichteten Aktivitätspeak (Respaktortechnik; Heatime™, SCR) bestehen. Eine Besamung vor dem Aktivitätspeak kann nach Ausführungen des Autors aufgrund der niedrigen Konzeptionsraten nicht empfohlen werden. Die mittlere Zeitspanne zwischen Aktivitätspeak und Ovulation wird von Valenza et al. (2012) und Stevenson et al. (2014) übereinstimmend mit 20 Stunden angegeben. Eine Besamung innerhalb des empfohlenen Zeitraums wäre unter dieser Voraussetzung bei Berücksichtigung der Ergebnisse von Roelofs et al. (2006) mit einer niedrigen Fertilisationsrate und einer eingeschränkten Embryoqualität verbunden. Allerdings basieren die Angaben zum zeitlichen Abstand zwischen Peak und Ovulation von Valenza et al. (2012) und Stevenson et al. (2014) auf Zyklen mit hormoneller Brunstsynchronisation, was möglicherweise den Zeitabstand zwischen den beiden Parametern beeinflusst hat. Nach Kaim et al. (2003) weisen Tiere, die bei Brunstbeginn mit GnRH behandelt werden, ein kürzeres Zeitintervall zwischen LH-Peak und Ovulation sowie eine kürzere Zeitspanne zwischen dem Duldungsbeginn und der Ovulation im Vergleich zu Kontrolltieren auf. Der mittlere Zeitabstand zwischen LH-Peak und Ovulation liegt in Zyklen ohne hormonelle

Behandlung zwischen 25 bis 30 Stunden (Bergfelt et al. 1997; Kaim et al. 2003; Busch und Waberski 2007), während Kanitz und Becker (2005) für brunstsynchronisierte Tiere eine Zeitspanne von lediglich 21,5 bis 23,5 Stunden angeben. Nach Walton et al. (1987) steht die erhöhte LH-Ausschüttung in einem engen zeitlichen Zusammenhang mit dem Beginn der Duldung, welche nach Sveberg et al. (2011) auch eng mit der höchsten Brunstaktivität verknüpft ist. Da in die vorliegende Untersuchung ausschließlich Zyklen ohne hormonelle Brunststeuerung einbezogen wurden, wird unter Berücksichtigung der vorstehend zitierten Studien der Ovulationszeitpunkt ähnlich wie von Bar (2010) auf etwa 25 bis 30 Stunden nach dem Erreichen des Aktivitätspeaks geschätzt. Besamungen innerhalb von 9 bis 24 Stunden nach dem Peak sind unter dieser Annahme innerhalb von 16 Stunden vor der Ovulation erfolgt. Dieser Zeitraum ist nach Hockey et al. (2010b) mit den höchsten Trächtigkeitsraten verknüpft. Aufgrund der Tatsache, dass der Aktivitätspeak in der eigenen Untersuchung vorwiegend nachts und in den frühen Morgenstunden auftrat, wird zu einer zeitnahen Überprüfung der von der Herdenmanagementsoftware generierten Auswertung zu Beginn der morgendlichen Stallroutine geraten. Erfolgt die Kontrolle der Hinweislisten erst zu einem späteren Zeitpunkt, kommt die Besamung für einige Kühe möglicherweise zu spät.

Innerhalb der Lely-Betriebe wurde zusätzlich der Zeitabstand zwischen dem mathematisch definierten Brunstbeginn und der Besamung ausgewertet. Im Mittel erfolgte die Besamung $20,5 \pm 9,5$ Stunden nach dem definierten Beginn der Respaktorbrunst. Die höchsten Konzeptionsraten von mehr als 50 % wurden erreicht, wenn die Besamungen innerhalb von 20 bis 27 Stunden nach Brunstbeginn durchgeführt wurden. Besamungen vor bzw. bis zu sieben Stunden nach Brunstbeginn erreichten nur eine rund 20 % niedrigere Konzeptionsrate. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit Literaturangaben ist nur eingeschränkt möglich. Angaben zum optimalen Besamungszeitpunkt bei visueller Brunsterkennung beinhalten in Abhängigkeit von der Häufigkeit der Beobachtungsintervalle zum Teil erhebliche Unsicherheiten über den tatsächlichen Zeitpunkt des Brunstbeginns (Sachsenröder 1984). Zudem wird als „Brunst“ in den meisten Studien der Zeitraum definiert, in dem Duldungsverhalten gezeigt wird (Roelofs et al. 2005b). Bei durchgehender visueller Brunstbeobachtung empfiehlt Sachsenröder (1984) eine Insemination innerhalb von 4 bis 20 Stunden nach dem erkannten Brunstbeginn. Unter praktischen Bedingungen ist eine permanente visuelle Überwachung der Kühe in der Regel jedoch nicht durchführbar. Im

Gegensatz dazu ist bei dem Einsatz maschineller Brunsterkennungssysteme auch in der Praxis eine kontinuierliche Überwachung des Tierverhaltens gewährleistet (Fricke et al. 2014). Der optimale Zeitabstand zwischen einem maschinell bestimmten Brunstbeginn und der Besamung ist dabei von verschiedenen Faktoren abhängig. Eine bedeutende Rolle spielt in diesem Zusammenhang das zur Brunsterkennung eingesetzte System (Nebel 2014). Für elektronische Aufsprungdetektoren, die das Einsetzen der Duldung als primäres Brunstanzeichen ermitteln, wird eine Besamung innerhalb von vier bis zwölf Stunden nach Brunstbeginn empfohlen (Dransfield et al. 1998). Systeme zur Erfassung der Bewegungsaktivität von Kühen nutzen im Gegensatz zu Aufsprungdetektoren die verstärkte Ruhelosigkeit, und damit sekundäre Brunstsymptome, zur Bestimmung des Brunstbeginns und zur Kalkulation des Besamungszeitpunktes (Fricke et al. 2014). Die Systeme unterscheiden sich dabei herstellerepezifisch in der Art und der Aufbereitung der erfassten Bewegungen (Løvendahl und Chagunda 2010). Da die systemspezifisch registrierten sekundären Brunstsymptome wie erhöhte Schrittzahl, Kinnauflegen, Bespringen anderer Kühe und andere mit dem Brunstverhalten im Zusammenhang stehenden Bewegungen, mit unterschiedlicher Intensität zu verschiedenen Zeitpunkten der Brunst einsetzen (Arney et al. 1994; Roelofs et al. 2005b; Sveberg et al. 2011), können sich bereits durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Aktivitätsmuster Differenzen im Zeitpunkt des Brunstbeginns ergeben. Unabhängig von der eingesetzten Technik ist der maschinell bestimmte Brunstbeginn zusätzlich von der mathematischen Definition dieses Zeitpunktes abhängig (Løvendahl und Chagunda 2010; Silper et al. 2015). Ein höherer Grenzwert (d.h. eine größere notwendige Aktivitätserhöhung in der Brunst im Vergleich zur Referenzperiode) verkürzt den Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Ovulation (Yoshioka et al. 2010) und beeinflusst dadurch den optimalen Besamungszeitpunkt (Sakaguchi et al. 2007). Maatje et al. (1997) geben als idealen Zeitraum für die Insemination 6 bis 17 Stunden nach dem Beginn der brunstbedingten Aktivitätserhöhung an. Neben abweichender Technik zur Aktivitätserfassung (Pedometer) legten die Autoren im Gegensatz zur vorliegenden Studie einen deutlich höheren Grenzwert (Aktivitätserhöhung > 100 % vs. 25 %) zur Bestimmung des Brunstbeginns fest, was vermutlich zu einem deutlich späteren Brunstbeginn und damit zu einer abweichenden Empfehlung des Besamungszeitpunktes geführt hat. Stevenson et al. (2014) raten bei Einsatz der Respektortechnik SDet bei einem nicht näher beschriebenen,

firmenseitig voreingestellten Grenzwert von 290 (dimensionslose Einheit) zur Definition des Brunstbeginns ebenfalls zu einem kürzeren Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Besamung. Danach sollen primipare Kühe innerhalb von 13 bis 16 Stunden und multipare Kühe innerhalb von 9 bis 12 Stunden nach dem Überschreiten des Grenzwertes besamt werden. Ebenfalls mittels Respektortechnik (Rescounter II™, Westfalia-Surge) und einer Definition des Brunstbeginns als eine Erhöhung um mindestens zwei Standardabweichungen von der mittleren Aktivität der vorangegangenen zehn Tage kommen Hockey et al. (2010b) zu vergleichbaren Ergebnissen wie in der eigenen Untersuchung. Nach Angaben der Autoren erzielen Kühe, die innerhalb von 24 bis 40 Stunden nach dem Beginn der erhöhten Aktivität besamt werden, die höchsten Konzeptionsraten. Besamungen bis zu 24 Stunden nach dem Beginn der Aktivitätserhöhung sind mit einem um mehr als 25 % geringeren Besamungserfolg verknüpft.

Da verschiedene Studien einen Zusammenhang zwischen Brunstdauer und dem Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Ovulation belegen (Walker et al. 1996; Valenza et al. 2012), wurde auch untersucht, ob der Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak den optimalen Besamungszeitpunkt sowohl in Relation zum Peak als auch in Relation zum Brunstbeginn beeinflusst. Dieser Ansatz wurde aufgrund der beobachteten engen positiven Korrelation zwischen der Brunstdauer und der Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak gewählt. Im Gegensatz zur Brunstdauer erscheint die Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak als der geeignetere Parameter, da eine Besamung vor dem Peak nach Bar (2010) generell nicht anzuraten ist. Dem Landwirt verbleibt genügend Zeit, ausgehend von Brunstbeginn und der verstrichenen Zeit zwischen Brunstbeginn und Peak, die Besamung zu terminieren. Soll dagegen die Brunstdauer bei der Bestimmung des Besamungszeitpunktes berücksichtigt werden, wäre ein Abwarten des Brunstendes notwendig. Dabei besteht jedoch die Gefahr, dass die Insemination erst nach der Ovulation erfolgt (White et al. 2002; Hockey et al. 2010a) und damit aufgrund einer Überalterung der weiblichen Gameten nicht mehr zum Erfolg führt (Roelofs et al. 2006). Die Ergebnisse der eigenen Studie zeigen, dass eine Festlegung des Besamungszeitpunktes in Relation zum Brunstbeginn unabhängig von dem Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Peak erfolgen kann, obwohl bei einem längeren Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Peak auch auf eine längere Brunstdauer und damit auf eine spätere Ovulation im Relation zum Brunstbeginn

geschlossen werden kann (Walker et al. 1996; Valenza et al. 2012). Im Gegensatz dazu sollte bei einer am Aktivitätspeak ausgerichteten Besamung der Zeitabstand zwischen Brunstbeginn und Peak berücksichtigt werden. Je mehr Zeit nach dem Beginn der Aktivitätserhöhung bis zur maximalen Aktivitätsauslenkung verstreicht, umso kürzer sollte der Zeitabstand zwischen Aktivitätspeak und Besamung sein. Grund für diese scheinbar widersprüchliche Beobachtung könnte die von Walker et al. (1996) beschriebene, lediglich moderate Verschiebung des Ovulationszeitpunktes mit zunehmender Brunstdauer sein. Nach den Autoren führt eine um zehn Stunden längere Brunst zu einem in Relation zum Brunstbeginn 3,7 Stunden späteren Ovulationszeitpunkt. Auswirkungen auf die Konzeptionsrate bei einer Terminierung der Besamung anhand des Beginns der Respaktorbrunst werden daher vermutlich erst bei sehr großen Unterschieden in der Brunstdauer erkennbar. Der Einfluss des Zeitabstandes zwischen Brunstbeginn und Peak auf die Konzeptionsrate bei einer Terminierung der Besamung anhand des Aktivitätspeaks liegt vermutlich an der Variabilität des Peakzeitpunktes innerhalb der Respaktorbrunst. Findet der Peak spät nach Brunstbeginn und damit möglicherweise erst gegen Ende der Respaktorbrunst statt, liegt dieser vor allem bei längeren Brunsten deutlich näher am vermuteten Ovulationszeitpunkt als ein Aktivitätspeak, der nahe am Brunstbeginn erfolgt. Eine lange Zeitspanne zwischen Peak und Insemination birgt dann das Risiko, dass die Besamung erst nach der Ovulation stattfindet und eine Befruchtung aufgrund der kurzen fertilen Lebensdauer der Eizelle (Brackett et al. 1980) ausbleibt.

Allerdings zeigen die vorgestellten Ergebnisse auch, dass Kühe im Einzelfall tragend werden können, wenn die Besamung weit abweichend von den Empfehlungen erfolgt. Diese Beobachtung könnte mit der großen Variabilität des Ovulationszeitpunktes innerhalb einer Brunst zusammenhängen (Saumande und Humblot 2005; Sakaguchi et al. 2007; Hockey et al. 2010a). Diese Variabilität kann sowohl auf die Ovarfunktion (Saumande und Humblot 2005) als auch auf die Methode der Aktivitätsmessung und die Umweltbedingungen (Sakaguchi et al. 2007) zurückzuführen sein. Nach Hockey et al. (2010a) kann bei Nutzung von Respaktortechnik der zeitliche Abstand zwischen dem Beginn der Aktivitätserhöhung und der Ovulation individuelle Unterschiede von mehr als 60 Stunden aufweisen. In Einzelfällen kann die Ovulation bereits vor bzw. mit dem Einsetzen der Respaktorbrunst stattfinden (Sakaguchi et al. 2007; Hockey et al. 2010a). Besamungen vor dem Beginn der Respaktorbrunst wurden

daher vermutlich aufgrund deutlicher sekundärer Brunstsymptome vorgenommen, welche nicht mittels Aktivitätsmessung erfasst werden. Da im Untersuchungszeitraum alle Betriebe neben der maschinellen Brunsterkennung auch eine visuelle Brunstkontrolle durchführten, ist hier vor allem an die brunstbedingten Veränderungen am äußeren Genitale zu denken. Nach Busch und Waberski (2007) sind Vulvaschwellung und Vulvarötung in der Hochbrunst am deutlichsten. Der Brunstschleim ist zu diesem Zeitpunkt klar und fadenziehend und gilt als eindeutiges Brunstanzeichen (Grunert 1999c). Da es auch Kühe gibt, die neben diesen Symptomen keine weiteren Brunstanzeichen in Form von sexueller Aktivität oder Duldungsverhalten zeigen (Yoshida und Nakao 2005), liegt bei deutlicher Ausprägung dieser Brunstsymptome eine Besamung unabhängig von den Daten des Aktivitätsmesssystems nahe.

Eine um bis zu 20 % höhere Konzeptionsrate bei einer Besamung im empfohlenen Zeitraum bietet jedoch einen Ansatz zur Verbesserung der Fruchtbarkeitsergebnisse durch Berücksichtigung der Hinweise aus der automatischen Aktivitätsmessung. Dabei ist der in dieser Studie definierte Brunstbeginn ein geeigneter Parameter zu Bestimmung des Besamungszeitpunktes. Erfolgt eine Orientierung am Aktivitätsmaximum, sollte die Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Peak zusätzlich berücksichtigt werden. Für Kühe, die lediglich eine sehr kurze brunstbedingte Aktivitätserhöhung zeigen und damit die Voraussetzungen an die in der eigenen Studie getroffene Definition des Brunstbeginns nicht erfüllen, bietet auch der Aktivitätspeak als alleiniger Parameter eine wertvolle Hilfestellung zur Terminierung der Besamung.

5.5 Betriebsspezifische Auswertung

Für Betrieb L6 wurde aufgrund des fixen täglichen Besamungszeitpunktes (morgens zwischen 7:00 und 8:00 Uhr) eine betriebsspezifische Auswertung vorgenommen. Auf Grundlage der Ergebnisse sollte geklärt werden, ob die Einführung eines zweiten täglichen Besamungstermins am Nachmittag anzuraten ist. Die Auswertung zeigte, dass Besamungen bis zu 19 Stunden nach Brunstbeginn im Vergleich zu später durchgeführten Besamungen zu deutlich niedrigeren Konzeptionsraten führten. Eine Besamung vor dem Beginn der Resfaktorbrunst bzw. bis 19 Stunden nach Brunstbeginn sollte daher nur nach eingehender Prüfung aller weiteren erkennbaren Brunstanzeichen erfolgen. Wie bereits betriebsübergreifend festgestellt wurde, waren auch in Betrieb L6 die Konzeptionschancen

am größten, wenn die Insemination in der Zeitspanne zwischen 20 bis 27 Stunden nach dem Beginn der Resfaktorbrunst stattfand. Später vorgenommene Besamungen wiesen nur einen geringfügig niedrigeren Konzeptionserfolg auf. Ebenfalls lediglich marginale Unterschiede in der Konzeptionsrate ergaben sich für Besamungen, die am Folgetag des Aktivitätspeaks stattfanden, unabhängig davon, ob der Peak in der ersten oder zweiten Tageshälfte erfolgte. Besamungen am Tag des Peaks und Besamungen am zweiten Tag nach dem Aktivitätspeak führten dagegen zu einem geringeren Besamungserfolg. Die Ergebnisse konnten statistisch nicht gesichert werden, vermutlich reichte dafür der Stichprobenumfang nicht aus. Trotzdem deuten die Zahlen darauf hin, dass ein zweiter fixer Besamungszeitpunkt am Nachmittag wahrscheinlich nicht zu einer deutlich verbesserten Herdenfruchtbarkeit führt. Auch unter Berücksichtigung des zusätzlichen organisatorischen und finanziellen Aufwands, mit dem ein weiterer Termin verbunden wäre, wird zur Beibehaltung der bisherigen Besamungsroutine geraten. Diese Empfehlung ist im Einklang mit Untersuchungen von Nebel et al. (1994) und Graves et al. (1997). Nach den Autoren wird durch eine Besamung nach der Morgens-Abends-Regel keine signifikante Verbesserung der Konzeptionsrate erreicht. Sie raten unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu einem Besamungstermin täglich, der in den Vormittagsstunden liegen sollte. Bei einem geringen Zeitabstand zwischen den einzelnen Brunstüberwachungsintervallen von zwei bis vier Stunden und der dadurch bedingten frühzeitigen Brunstfeststellung sollte jedoch nach Nebel et al. (1994) die Besamung nicht zu nahe am Zeitpunkt des Brunstbeginns liegen. Die automatische Aktivitätsmessung gewährleistet eine kontinuierliche Brunstüberwachung, so dass davon ausgegangen werden kann, dass es zu einer zeitnahen Brunstfeststellung kommt. Da die maximale brunstbedingte Aktivität in einem engen zeitlichen Zusammenhang mit der Duldung steht (Esslemont et al. 1980; Sveberg et al. 2011), wurden am Morgen des Aktivitätspeaks zur Besamung vorgestellte Tiere vermutlich nahe am Duldungsbeginn, und damit möglicherweise zu früh, besamt. Daher sollten bei Beibehaltung der bisherigen Besamungsroutine die Kühe, die am Morgen ihren Aktivitätspeak zeigen, konsequent erst am folgenden Tag besamt werden. Ausnahmen von dieser Regel sollten nur gemacht werden, wenn Tiere zwar erst am Morgen des Besamungstages ihren Peak aufweisen, aber bereits am Vortag deutliche Brunstsymptome erkennen ließen. Insbesondere Veränderungen am äußeren Genitale sind hier in Betracht zu ziehen, wie Rötung und Schwellung der Vulva sowie Abgang von

Brunstschleim. Diese Symptome treten im Mittel etwa 30 Stunden vor der Ovulation auf (Layek et al. 2011), so dass in diesen Fällen eine Besamung am Folgetag des Aktivitätspeaks möglicherweise zu spät kommt.

5.6 Roboterbesuchsverhalten

Es ist bekannt, dass sich die Milchleistung im Zusammenhang mit der Brunst ändert und als Parameter zur Brunsterkennung genutzt werden kann (Schofield et al. 1991). Da die mit der Milchabgabe einhergehende Verringerung des Euterinnendrucks eine, wenn auch im Verhältnis zum Anreiz durch Kraftfutter untergeordnete Motivation für den Gang der Tiere zum Melkroboter ist (Natrop et al. 2009; Jacobs und Siegford 2012), stellte sich die Frage, ob die Melkhäufigkeit am Roboter ebenfalls durch das Brunstgeschehen beeinflusst wird. Zusätzlich sollte mit der vorliegenden Studie geklärt werden, ob es im Zusammenhang mit dem Brunstgeschehen zu einer Veränderung des gesamten Roboterbesuchsverhaltens kommt. Hintergrund dieser Überlegung war der Gedanke, dass die brunstbedingte Aktivitätserhöhung (Hurnik et al. 1975; Kiddy 1977; Kerbrat und Disenhaus 2004; Reith et al. 2014a) auch zu einer Intensivierung der Roboterbesuche führt. Zur Beantwortung der vorstehenden Fragestellungen wurde das Roboterbesuchsverhalten (Melkungen und Verweigerungen) im Zyklusverlauf betrachtet.

Innerhalb des ausgewerteten Zeitraums von 35 Tagen vor der Besamung bis 4 Tage nach der Besamung wurde eine mittlere Häufigkeit von 4,52 Roboterbesuchen (Summe aus erfolgreichen Melkungen, misslungenen Melkungen und Verweigerungen) pro Tier und Tag beobachtet. Diese war geringer als die von Stefanowska et al. (1999a) und Stefanowska et al. (1999b) beschriebene Besuchshäufigkeit von 6,0 bzw. 7,3. Sie lag jedoch höher als die von Wendl et al. (2001) angegebenen Werte von 2,3 Melkungen und 0,6 zusätzlichen Roboterbesuchen pro Tier und Tag. Die mittlere Anzahl an Verweigerungen lag mit 1,56 innerhalb des von Voříšková et al. (2010) angegebenen Bereiches. Nach den Autoren bestehen in der Anzahl der Verweigerungen große betriebliche Unterschiede, die im Mittel von 0,72 Verweigerungen bis zu 3,66 Verweigerungen pro Tier und Tag reichen. Im Verhältnis zu den erfolgreichen Melkungen lag der Anteil der Verweigerungen durchschnittlich bei 53 % und damit im Durchschnitt über alle Betriebe im akzeptablen Bereich (Natrop et al. 2009). Die tierindividuelle Analyse der Melkroboterbesuche und der Verweigerungen in der Zeitspanne zwischen 10 Tagen vor der Besamung bis 4 Tage nach der Besamung ergab jedoch

eine breite Spannweite in der Anzahl der Roboterbesuche bzw. der Verweigerungen am Tag. Obwohl in den meisten Fällen der Roboter höchstens zehnmal am Tag aufgesucht wurde, lag die maximale Besuchshäufigkeit deutlich über diesem Wert – bei 75 Besuchen. Die Anzahl an Verweigerungen pro Tier und Tag lag im Minimum bei 0 und im Maximum bei 71. Diese großen tierindividuellen Unterschiede werden auch von Schön et al. (1997) beschrieben. Nach Angaben der Autoren kann die Anzahl an Verweigerungen zwischen 0 und mehr als 10 betragen. In der vorliegenden Studie kam es in 10 % der Fälle zu mehr als vier Verweigerungen pro Tier und Tag. Obwohl ein häufigeres Aufsuchen des Melkroboters für eine gute Klauengesundheit der Tiere spricht (Borderas et al. 2008), führt eine zu hohe Anzahl an Roboterbesuchen ohne Melkanrecht zu einer unerwünschten Blockade des Melkroboters. Es wird AMS-Zeit verschwendet und den melkbereiten Kühen wird der Zugang zum Roboter erschwert (Stefanowska et al. 1999a; Jacobs et al. 2012). Jacobs et al. (2012) bezeichnen Verweigerungen unter diesem Aspekt als ineffizient, da vom Melksystem abgewiesene Tiere deutlich häufiger als gemolkene Kühe zu einem erneuten Besuch des Roboters innerhalb kurzer Zeit neigen. Die mittlere Anzahl an Melkungen pro Tier und Tag lag im analysierten Zeitraum bei 2,94 und erreichte damit nahezu die nach Köhn et al. (2007) anzustrebende Melkfrequenz von drei Melkungen täglich. Innerhalb des auf Einzeltierebene ausgewerteten Zeitraums wurden 95 % der Kühe zwei- bis viermal innerhalb von 24 Stunden gemolken. Bei der Interpretation dieser Werte muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Anzahl der Melkungen vom Landwirt tierindividuell beeinflusst werden kann. So erfolgt in der Regel eine obere Begrenzung der Melkfrequenz durch programmierbare Mindestanforderungen an den voraussichtlichen Milchertrag sowie durch die Einstellung der minimalen Zwischenmelkzeit (Umstätter 2002; Harsch 2009). Zum anderen erscheinen Kühe, deren Roboterbesuch zu lange zurück liegt, auf einer Alarmliste und werden vom Landwirt nachgetrieben.

Bei der Analyse der Dynamik im Zyklusverlauf zeigte sich, dass sowohl die mittlere Besuchshäufigkeit als auch die mittlere Häufigkeit der Verweigerungen in der Vorbrunst deutlich erhöht war. Veränderungen der Besuchshäufigkeit sind dabei zu einem großen Teil auf Veränderungen in der Anzahl der Verweigerungen zurückzuführen. Diese können bei ungelenktem Kuhverkehr im Gegensatz zur Melkberechtigung nicht über eine Einstellung des Roboters beeinflusst werden. Im Mittel begann der Anstieg der Besuchsfrequenz bereits

sechs Tage vor der Besamung, und lag damit nach Definition der einzelnen Östrusstadien noch im Diöstrus (Grunert 1999b). Die maximale Anzahl an Roboterbesuchen wurde ebenso wie maximale Anzahl an Verweigerungen in der Zeitspanne zwischen 72 bis 49 Stunden vor der Besamung erreicht, eine Zeit, die mit einem beginnenden brunstbedingten Aktivitätsanstieg einhergeht (Arney et al. 1994). Signifikante Unterschiede konnten bei der Analyse der tierindividuellen Daten festgestellt werden. Ab Tag vier vor der Besamung war ein deutlicher Rückgang der Tiere zu beobachten, die den Roboter lediglich viermal am Tag aufsuchten. Im Gegensatz dazu stieg der Anteil der Tiere mit mindestens fünf Besuchen pro Tag. Dieser erreichte sein Maximum in der Zeitspanne zwischen 72 bis 25 Stunden vor der Besamung und sank anschließend wieder ab. Ein ähnlicher Verlauf war auch für die Verweigerungen zu erkennen. Der Anteil der Tiere, die keine Verweigerung aufwiesen, ging in Proöstrus deutlich zurück und erreichte sein Minimum in den 24 Stunden vor der Besamung. Dagegen stieg der Anteil der Kühe mit mindestens drei Verweigerungen pro Tag deutlich an und erreichte sein Maximum in der Zeitspanne zwischen 72 bis 49 Stunden vor der Besamung. Der Verlauf der Besuchshäufigkeiten bzw. der Anzahl an Verweigerungen pro Tier und Tag im Zyklusverlauf legt nahe, dass beide Parameter eng mit dem Brunstgeschehen zusammenhängen. Die bereits im Proöstrus beginnende Erhöhung der Estradiolkonzentration (Henricks et al. 1971; Binelli et al. 2014) führt zum Einsetzen der ersten Östrussympptome (Busch und Waberski 2007), und könnte auch zu einer Intensivierung des Roboterbesuchsverhaltens beigetragen haben. Die im Zyklusverlauf ebenfalls erkennbare Erhöhung der Roboterbesuche und der Verweigerungen innerhalb von 26 bis 20 Tagen vor dem beobachteten Maximum könnte auf den vorangegangenen Brunstzeitraum hinweisen. Die geringere Ausprägung des Peaks ist vermutlich auf die tierindividuell unterschiedliche Zykluslänge zurückzuführen. Diese kann zwischen 20 und 27 Tagen variieren (Groeger 2008). Die im Zyklusverlauf relativ konstante Melkfrequenz stieg vor der Brunst leicht an und erreichte innerhalb von 72 bis 25 Stunden vor der Besamung rund 3,1 Melkungen pro Tier. In den folgenden 24 Stunden fiel sie dann deutlich ab – auf ein Minimum von durchschnittlich 2,7 Melkungen pro Tier. Innerhalb der 24 Stunden nach der künstlichen Besamung (Stunde 0) erfolgte wieder ein Anstieg auf etwa drei Melkungen pro Tier. Auf Einzeltierebene zeigte sich die Veränderung der Melkfrequenz innerhalb der 24 Stunden vor der Besamung ebenfalls deutlich. Der Anteil an Kühen, welche den Melkroboter maximal zweimal am Tag aufsuchten,

stieg in diesem Zeitraum stark an. Im Gegensatz dazu fiel der Anteil an Tieren mit mindestens vier Roboterbesuchen sichtbar. Dieser beobachtete Rückgang der Melkfrequenz ist vermutlich auf den im Östrus reduzierten Milchertrag (Erb et al. 1952; Miciński et al. 2010) zurückzuführen. Falls die Einstellung des Roboters ein Mindestgemelk erfordert, könnte es sein, dass dieses nicht erreicht wurde – und es so zu einer längeren Zwischenmelkzeit und damit zu einer geringeren Melkfrequenz kam. Das würde auch den scheinbaren Widerspruch zwischen der verringerten Melkhäufigkeit und der in demselben Zeitraum noch erhöhten Anzahl an Verweigerungen erklären. Eine weitere Erklärung dieser Diskrepanz wäre, dass zu Beginn des 24h-Zeitraums die Tiere den Roboter noch häufiger aufsuchten, zu diesem Zeitpunkt aber aufgrund einer erst gegen Ende der vorangegangenen 24h-Periode stattgefundenen Melkung noch keine erneute Melkberechtigung hatten. Mit einsetzender Brunst verringerte sich dann möglicherweise das Interesse der Tiere am Melkroboter, so dass dieser trotz des Erreichens der Melkberechtigung nicht mehr aufgesucht wurde. Ursächlich für die verminderte Attraktivität des Melkroboters sind wahrscheinlich die brunstbedingten hormonellen Veränderungen. Der hohe Östrogenspiegel kurz vor Brunstbeginn (Henricks et al. 1971; Mondal et al. 2006b) vermindert neben der Milchleistung (Mollett et al. 1976; Prasad und Sinha 1985; Athie et al. 1996) auch den Appetit brünstiger Tiere (Grattan und Le Tissier 2015). Damit sind zwei für den Melkroboterbesuch wesentliche Anreizfaktoren – die Futteraufnahme und der Euterinnendruck (Natrop et al. 2009) – in ihrer Wirkung reduziert. Die im Zusammenhang mit der Brunst stehenden Veränderungen im Roboterbesuchsverhalten wurden jedoch nicht von allen Kühen gleichermaßen gezeigt. Obwohl im Proöstrus im Mittel die Anzahl an Verweigerungen anstieg, kam es bei etwa einem Drittel der Tiere in dieser Zeit zu keiner Verweigerung. Auch die brunstbedingte Reaktion hinsichtlich der Melkfrequenz ist tierindividuell. So verminderte sich innerhalb der 24 Stunden vor der Besamung zwar der Anteil der Tiere mit vier Melkungen, während sich fast in demselben Maß der Anteil der Tiere steigerte, welche lediglich zweimal gemolken wurden. Allerdings blieb der Anteil der Tiere mit drei Melkungen am Tag mit mehr als 40 % fast unverändert. Diese stark individuelle Reaktion der Tiere schließt eine alleinige Nutzung der Roboterbesuchsdaten zur Brunsterkennung aus. Veränderungen im Roboterbesuchsverhalten (Melkungen, Verweigerungen) können jedoch zusätzliche wertvolle Hinweise auf eine bevorstehende Brunst geben.

6. Schlussfolgerungen

1. Mit Hilfe der automatischen Aktivitätsmessung kann das Verhalten östrischer Tiere näher charakterisiert werden. Kennzeichnende Zeitpunkte einer Respaktorbrunst (Brunst, definiert durch eine mittels Respaktortechnik erfassbare Aktivitätserhöhung) sind Brunstbeginn und Brunstende als Erreichen eines definierten Referenzwertes und der Aktivitätspeak als die maximale Auslenkung der tierindividuellen Aktivität.
2. Der Aktivitätspeak als deutlichste Ausprägung der Respaktorbrunst weist hinsichtlich seiner Intensität große zyklusindividuelle Unterschiede auf und wird sowohl von tierbezogenen Faktoren als auch von Faktoren der Haltungsumwelt beeinflusst. Er wird am häufigsten nachts und in den frühen Morgenstunden, und damit außerhalb der üblichen Stallarbeitszeiten, erreicht. Eine zeitnahe Kontrolle der von der Herdenmanagementsoftware generierten Hinweise ist daher Voraussetzung für eine korrekte Terminierung der Besamung anhand der Aktivitätsmessung.
3. Ausgehend von den mit Hilfe der automatischen Aktivitätsmessung bestimmten Parametern Brunstbeginn und Aktivitätspeak kann der optimale Zeitraum für die künstliche Besamung festgelegt werden. Die größten Konzeptionschancen bestehen, wenn die Besamung innerhalb von 20 bis 27 Stunden nach dem Beginn der Respaktorbrunst bzw. innerhalb von 9 bis 18 Stunden nach dem Aktivitätspeak erfolgt. Werden Kühe innerhalb des empfohlenen Zeitraums besamt, kann die Konzeptionsrate um bis zu 20 % verbessert werden.
4. Eine Terminierung der Besamung anhand des Aktivitätspeaks sollte unter Berücksichtigung des Zeitabstandes zwischen Brunstbeginn und Peak erfolgen. Je länger diese Zeitspanne ist, umso näher am Peak sollte die künstliche Besamung durchgeführt werden.
5. Auch weit von der zeitlichen Empfehlung abweichende Besamungen können zu einer Trächtigkeit führen. Die Festlegung des Besamungszeitpunktes sollte daher nicht ausschließlich auf Basis der Aktivitätsmessung, sondern immer unter Berücksichtigung aller von der Kuh gezeigten Brunstsymptome erfolgen.

6. Veränderungen im Roboterbesuchsverhalten können auf eine bevorstehende Brunst hinweisen. Dabei ist die brunstbedingte Reaktion der Kühe sehr individuell, so dass eine Brunstfeststellung ausschließlich auf Basis dieser Veränderungen nicht empfohlen werden kann. Als zusätzliche Hilfestellung zur Brunsterkennung kann das Roboterbesuchsverhalten jedoch herangezogen werden.

7. Zusammenfassung

Eine sichere Brunsterkennung und die Wahl des korrekten Besamungszeitraums sind Voraussetzungen für den Erfolg einer künstlichen Besamung. Ziel dieser Studie war es, das mittels Respektortechnik erfasste Aktivitätsverhalten von Milchkühen im Verlauf der Brunst näher zu untersuchen und den optimalen Zeitraum für die künstliche Besamung in Relation zu charakteristischen Zeitpunkten einer Respektorbrunst (Brunst, definiert durch eine mittels Respektortechnik erfassbare Aktivitätserhöhung) zu bestimmen. Dazu wurden Daten auf insgesamt zehn Melkroboterbetrieben mit Kühen der Rasse Deutsche Holstein erhoben. Vier Betriebe nutzten im Untersuchungszeitraum den Melkroboter „VMS“ (DeLaval) und setzten das DeLaval-Aktivitätsmesssystem zur Brunsterkennung ein. Sechs Betriebe waren mit dem Melkroboter „Astronaut A3“ (Lely) und dem Aktivitätsmesssystem Qwes HR (SCR) ausgestattet. Die Aktivitätsmesswerte waren für das DeLaval-Aktivitätsmesssystem im 1h-Takt und für das Aktivitätsmesssystem Qwes HR im 2h-Takt verfügbar. In mehr als 2.100 Brunstzyklen wurde der Besamungszeitpunkt (Datum und Uhrzeit) aufgezeichnet und die kuhindividuelle Aktivität auf Basis der Rohwerte erfasst. Die prozentuale Abweichung der Aktivität im brunstnahen Zeitraum (48 h vor der künstlichen Besamung bis 24 h nach der künstlichen Besamung) von der Aktivität des Referenzzeitraums (240 h bis 49 h vor der künstlichen Besamung) wurde zyklusindividuell für jede 1h/2h-Periode ermittelt. Aus den berechneten Werten wurde ein zentrierter gleitender Mittelwert über jeweils fünf Werte (entspricht einem Zeitraum von fünf Stunden; DeLaval) bzw. über jeweils drei Werte (entspricht einem Zeitraum von sechs Stunden; Lely) gebildet und auf dieser Basis der zyklusindividuelle Aktivitätspeak bestimmt. Für Kühe der Lely-Betriebe wurden zusätzlich zyklusindividuell Beginn und Ende der Respektorbrunst sowie die Anzahl der Perioden erhöhter Aktivität ermittelt. Die Definition dieser Parameter erfolgte ebenfalls auf Basis des vorstehend beschriebenen, zentrierten gleitenden Mittelwertes:

- Brunstbeginn: Beträgt der zentrierte gleitende Mittelwert bei drei aufeinander folgenden Werten mindestens 25 %, so gilt der Zeitpunkt des erstmaligen Erreichens/Überschreitens dieses Grenzwertes als Brunstbeginn.
- Periode erhöhter Aktivität innerhalb einer Brunst: Zusammenhängender Zeitraum nach Brunstbeginn, innerhalb dessen der zentrierte gleitende Mittelwert für die

einzelnen Werte mindestens 25 % beträgt; einmaliges Unterschreiten der 25 %-Grenze wird nicht als Unterbrechung einer Periode erhöhter Aktivität gewertet. Für den Beginn einer Periode erhöhter Aktivität gelten die gleichen Voraussetzungen wie für den Brunstbeginn.

- Brunstende: das Ende der letzten Periode erhöhter Aktivität innerhalb eines brunstnahen Zeitraums
- Respaktorbrunst: Zeitspanne zwischen den auf Basis der Aktivitätsmessung definierten Parametern Brunstbeginn und Brunstende

Die mittlere Dauer der Respaktorbrunst betrug $19,1 \pm 10,8$ h. Dabei äußerte sich die Brunst in 84 % der Zyklen als eine zusammenhängende Periode erhöhter Aktivität, in 16 % der Zyklen traten mehrere Perioden erhöhter Aktivität auf. Der mittlere Abstand zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak lag bei $8,8 \pm 7,6$ h. Der Aktivitätspeak erreichte im Mittel $271,8 \pm 166,5$ % (DeLaval-Aktivitätsmesssystem) bzw. $130,7 \pm 70,5$ % (Qwes HR) und trat am häufigsten in den späten Abendstunden am Vortag der Besamung und in den frühen Morgenstunden des Besamungstages auf. In Zyklen mit erfolgreicher Besamung erreichte der Aktivitätspeak signifikant höhere Werte im Vergleich zu Zyklen, in denen die Besamung nicht zu einer Trächtigkeit führte.

Innerhalb aller analysierten Zeitspannenklassen des brunstnahen Zeitraums gab es Besamungen, die zu einer Trächtigkeit führten. Dabei erreichten Besamungen vor oder kurz nach dem Aktivitätspeak ebenso wie sehr spät nach dem Peak durchgeführte Besamungen deutlich niedrigere Konzeptionsraten im Vergleich zu Besamungen im optimalen Zeitraum. Kühe der DeLaval-Betriebe wiesen mit 46,2 % bzw. 45,5 % tendenziell die höchsten Konzeptionsraten bei Besamungen innerhalb von 9 bis 16 h bzw. 17 bis 24 h nach dem Aktivitätspeak auf ($p = 0,085$). Innerhalb der Lely-Betriebe wurden die höchsten Konzeptionsraten von 49,6 % bzw. 48,1 % erreicht, wenn die Besamungen innerhalb von 7 bis 12 h bzw. von 13 bis 18 h nach dem Peak erfolgten ($p = 0,02$). In Relation zum Brunstbeginn wurden die höchsten Konzeptionsraten von mehr als 50 % erreicht, wenn die Besamungen innerhalb von 20 bis 23 h bzw. 24 bis 27 h nach dem Einsetzen der Respaktorbrunst erfolgten ($p < 0,05$). Zwischen dem Zeitabstand des Aktivitätspeaks vom Brunstbeginn und dem Zeitabstand der Besamung vom Aktivitätspeak konnte eine signifikante Wechselwirkung

hinsichtlich der Zielgröße Besamungserfolg festgestellt werden. Mit zunehmender Zeitspanne zwischen Brunstbeginn und Aktivitätspeak wurden höhere Konzeptionsraten erzielt, wenn die Besamung näher am Aktivitätspeak erfolgte.

Für die Lely-Betriebe wurde zusätzlich das Roboterbesuchsverhalten auf Basis der Daten des Herdenmanagementprogramms T4C analysiert. Die mittlere Anzahl der Verweigerungen pro Kuh sowie die mittlere Anzahl an Roboterbesuchen pro Kuh stiegen bereits einige Tage vor der Besamung an und erreichten das Maximum 72 bis 49 h vor der künstlichen Besamung. Die mittlere Anzahl an Melkungen pro Tier wies ein deutliches Minimum innerhalb des 24h-Zeitraums vor der Besamung auf.

Die Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass mit Hilfe der automatischen Aktivitätsmessung der Besamungserfolg beim Milchrind verbessert werden kann. Ausgehend von dem Beginn der Respaktorbrunst und dem Aktivitätspeak kann der optimale Besamungszeitraum bestimmt werden und dadurch die Konzeptionsrate um bis zu 20 % gesteigert werden. Die nachgewiesenen, im zeitlichen Zusammenhang mit der Brunst stehenden Veränderungen im Roboterbesuchsverhalten können als zusätzliches Hilfsmittel zur Brunsterkennung eingesetzt werden.

8. Summary

Reliable estrus detection and correct timing of artificial insemination (AI) are essential for success of AI. The objectives of the study were to characterize, in detail, estrus behavior of lactating dairy cows measured by neck mounted accelerometer systems and to determine the optimal time interval for AI in relation to certain points of time within the estrus. The investigation was conducted on ten farms using milking robots with Holstein cows. Four farms used the automatic milking system “VMS” (DeLaval) and DeLaval activity meters. Six farms were fitted with the milking robot “Astronaut A3” (Lely) and with the activity meter system Qwes HR (SCR). The DeLaval activity meter system recorded cow activity in 1-h intervals, the system Qwes HR stored cow activity in 2-h intervals. Date and exact time of insemination and raw values of individual activity of each cow were recorded in more than 2,100 estrus cycles. For the peri-estrus interval (48 h before to 24 h after AI) the activity values of each 1h/2h time period were compared with the activity values of the same time period during the reference interval (240 h to 49 h before AI) and the deviation in percent was calculated. Based on a centered moving average (DeLaval: over 5 values = 5 hours; Lely: over 3 values = 6 hours) peak of activity was calculated for each estrus cycle. For cows of the Lely-farms also onset and end of estrus (achieved threshold activity) and periods of high activity were determined. These parameters have been defined also on the basis of the centered moving average as follows:

- onset of estrus: If the centered moving average reached/exceeded the threshold of +25 % for three consecutive values, the first time the threshold was reached/exceeded was considered as onset of estrus.
- period of increased activity: Sustained period after onset of estrus with a centered moving average of at least 25 %; a decrease below the threshold for only one 2-h period was not considered as an interruption of a period of increased activity. For the start of a period of increased activity, requirements were the same as those which apply to the onset of estrus.
- end of estrus: the end of the last period of increased activity within one peri-estrus interval

- accelerometer estrus: time interval between onset of estrus and end of estrus (as defined above)

Mean duration of accelerometer estrus was 19.1 ± 10.8 h. One period of increased activity was observed in 84 % of the estrous cycles. In 16 % of the estrous cycles the cows showed more than one period of increased activity. Average interval from onset of estrus to peak activity was 8.8 ± 7.6 h. Peak activity reached on average 271.8 ± 166.5 % (DeLaval activity meters) or 130.7 ± 70.5 % (Qwes HR), respectively, and occurred most frequently in the late evening of the day before AI and in the early morning hours of the day of AI. In cycles with successful insemination activity peak was significantly higher compared to cycles without conception.

Within all analyzed time intervals during the peri-estrus period successful inseminations occurred. But inseminations before the peak, within a short time after the peak or very late after the peak resulted in lower conception rates compared with optimally adjusted inseminations. Within the DeLaval-farms, in tendency highest conception rates were realized for cows inseminated 9 until 16 h (46.2 %) and 17 until 24 h (45.5 %) after peak activity ($P = 0.085$). Within the Lely-farms highest conceptions rates were reached for inseminations conducted 7 until 12 h (49.6 %) and 13 until 18 h (48.1 %) after the peak ($P = 0.02$). In relation to onset of estrus, highest conception rates of more than 50 % were obtained, when AI was performed 20 until 27 h after achieved activity threshold measured by automated activity monitors ($P < 0.05$).

Based on the data of the herd management program T4C, within the Lely-farms also the visiting behavior of the cows at the robot was analysed. The average number of rejections per cow and day and the average number of robot visits per cow and day began to rise a few days prior to AI and reached their maximum level 72 until 49 h before AI. The average number of milkings per cow and day was lowest within the 24 hours before AI.

The outcome of the investigation shows that the use of activity meters can improve the fertility management of dairy cows. Based on onset and peak of estral activity as measured by automated activity monitors the optimal time interval for AI can be defined. Conducting inseminations within the optimal time span can help to boost conception rates by around 20 percent. The changes in the visiting behavior of cows at the robot can be used as an additional tool for heat detection.

9. Literaturverzeichnis

ADAMS, G. P.; JAISWAL, R.; SINGH, J.; MALHI, P. (2008): Progress in understanding ovarian follicular dynamics in cattle. *Theriogenology* 69 (1), S. 72–80.

AHMAD, N.; TOWNSEND, E. C.; DAILEY, R. A.; INSKEEP, E. K. (1997): Relationships of hormonal patterns and fertility to occurrence of two or three waves of ovarian follicles, before and after breeding, in beef cows and heifers. *Animal Reproduction Science* 49 (1), S. 13–28.

AKDAG, F.; CADIRCI, O.; SIRIKEN, B. (2010): Effect of estrus in milk yield and composition in Jersey cows. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 16 (6), S. 783–787.

ARNEY, D. R.; KITWOOD, S. E.; PHILLIPS, C. (1994): The increase in activity during oestrus in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 40 (3-4), S. 211–218.

ARTMANN, R. (2001): Automatic milking with large herds. Effects on facility usage, cow behaviour and milk yield. *Landtechnik* 56 (4), S. 252–253.

ASCHBACHER, P. W.; SMITH, V. R.; STONE, W. H. (1956): Observations on fertility following inseminations at three stages of the same estrus. *Journal of Animal Science* 15, S. 952–958.

ATHIE, F.; BACHMAN, K. C.; HEAD, H. H.; HAYEN, M. J.; WILCOX, C. J. (1996): Estrogen administered at final milk removal accelerates involution of bovine mammary gland. *Journal of Dairy Science* 79 (2), S. 220–226.

AT-TARAS, E. E.; SPAHR, S. L. (2001): Detection and characterization of estrus in dairy cattle with an electronic heatmount detector and an electronic activity tag. *Journal of Dairy Science* 84 (4), S. 792–798.

AUNGIER, S.; ROCHE, J. F.; SHEENY, M.; CROWE, M. A. (2012): Effects of management and health on the use of activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95 (5), S. 2452–2466.

- BACH, A.; DEVANT, M.; IGLEASIAS, C.; FERRER, A. (2009): Forced traffic in automatic milking systems effectively reduces the need to get cows, but alters eating behavior and does not improve milk yield of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 92 (3), S. 1272–1280.
- BAR, D. (2010): Optimal timing of insemination using activity collars. In: *Proceedings of the First North American Conference on Precision Dairy Management*. Toronto, Canada, S. 100–101.
- BARRETT, G. R.; CASIDA, L. E. (1946): Time of insemination and conception rate in artificial breeding (abstract). *Journal of Dairy Science* 29, S. 556–557.
- BARTUSSEK, H. (1999): Die Weidehaltung von Milchkühen aus der Sicht des Tierschutzes. In: *Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (Hg.): 5. Alpenländisches Expertenforum zum Thema Zeitgemässe Weidewirtschaft: 18. und 19. März 1999 an der BAL Gumpenstein. Bericht: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein*, S. 7–14.
- BEACH, F. A. (1976): Sexual attractivity, proceptivity, and receptivity in female mammals. *Hormones and Behavior* 7 (1), S. 105–138.
- BECKER, F.; KANITZ, W.; HEUWIESER, W. (2005): Vor- und Nachteile einzelner Methoden der Brunsterkennung beim Rind. *Züchtungskunde* 77 (2/3), S. 140–150.
- BERGFELT, D. R.; SMITH, C. A.; ADAMS, G. P.; GINTHER, O. J. (1997): Surges of FSH during the follicular and early luteal phases of the estrous cycle in heifers. *Theriogenology* 48 (5), S. 757–768.
- BERKA, T.; ŠTÍPKOVÁ, M.; VOLEK, J.; ŘEHÁK, D.; MATĚJŮ, G.; JÍLEK, F. (2004): Monitoring of physical activity for management of cow reproduction. *Czech Journal of Animal Science* 49, S. 281–288.
- BERRY, D. P.; WALL, E.; PRYCE, J. E. (2014): Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal : an international journal of animal bioscience* 8 Suppl 1, S. 105–121.

BEWLEY, J. (2010): Precision Dairy Farming: Advanced analysis solutions for future profitability. In: Proceedings of the First North American Conference on Precision Dairy Management. Toronto, Canada.

BIJKER, I.; CHRISTLEY, R. M.; SMITH, R. F.; DOBSON, H. (2015): Effect of signs of oestrus, disease stressors and cow activity on pregnancy rate following artificial insemination. *Veterinary Record* 176 (16), S. 411.

BINELLI, M.; PUGLIESI, G.; HOECK, V. V.; RAMOS, R. S.; OLIVEIRA, M. L.; FRANCA, M. R.; D'ALEXANDRI, F. L.; MESQUITA, F. S.; MEMBRIVE, C. M. B. (2014): The role of proestrus on fertility and postovulatory uterine function in the cow. *Animal Reproduction* 11 (3), S. 246–253.

BLOCH, A.; FOLMAN, Y.; KAIM, M.; ROTH, Z.; BRAW-TAL, R.; WOLFENSON, D. (2006): Endocrine alterations associated with extended time interval between estrus and ovulation in high-yield dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89 (12), S. 4694–4702.

BOLDT, A. (2013): Objektive Charakterisierung von reproduktiven Leistungen bei Hochleistungskühen unter Nutzung von dezentraler Hormonanalytik. Dissertation. Universität Rostock.

BOMBARDELLI, G.; SOARES, H.; CHEBEL, R. (2014): Timing of AI using activity monitors and pregnancy per AI. Are there differences between conventional and sex-sorted semen? University of Minnesota. Online verfügbar unter <http://www.extension.umn.edu/agriculture/dairy/reproduction-and-genetics/timing-of-ai/>, zuletzt geprüft am 26.06.2015.

BORDERAS, T. F.; FOURNIER, A.; RUSHEN, J.; DE PASSILLÉ, A. M. B. (2008): Effect of lameness on dairy cows' visits to automatic milking systems. *Canadian Journal of Animal Science* 88 (1), S. 1–8.

BRACKETT, B. G.; OH, Y. K.; EVANS, J. F.; DONAWICK, W. J. (1980): Fertilization and early development of cow ova. *Biology of Reproduction* 23 (1), S. 189–205.

- BREHME, U.; STOLLBERG, U.; HOLZ, R.; SCHLEUSENER, T. (2008): ALT pedometer—New sensor-aided measurement system for improvement in oestrus detection. *Computers and Electronics in Agriculture* 62 (1), S. 73–80.
- BREM, G.; KRÄUSSLICH, H. (1999): Hereditär bedingte Fruchtbarkeitsstörungen. In: Eberhardt Grunert und Aart de Kruif (Hg.): *Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind*. 3. Aufl. Berlin: Parey, S. 301–306.
- BRITT, J. H.; SCOTT, R. G.; ARMSTRONG, J. D.; WHITACRE, M. D. (1986): Determinants of estrous behavior in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 69 (8), S. 2195–2202.
- BROADWAY, J. L.; BEVERLY, J. R.; SORENSON, A. M.; FLEEGER, JR.; FLEEGER, J. L. (1975): Optimum timing for insemination of cattle (abstract). *Journal of Animal Science* 40 (1), S. 188–189.
- BRONSEMA, H.; SIJBESMA, G.; THEUVSEN, L. (2012): Nutzung technischer Unterstützungssysteme im Herdenmanagement beim Einsatz automatischer Melksysteme. In: M. Clasen, G. Fröhlich, H. Bernhardt, K. Hildebrandt und B. Theuvsen (Hg.): *Informationstechnologie für eine nachhaltige Landbewirtschaftung. Fokus: Forstwirtschaft. GIL-Jahrestagung*. Freising, 29.02.-01.03. Gesellschaft für Informatik, S. 55–58.
- BRUYÈRE, P.; HÉTREAU, T.; PONSART, C.; GATIEN, J.; BUFF, S.; DISENHAUS, C.; GIROUD, O.; GUÉRIN, P. (2012): Can video cameras replace visual estrus detection in dairy cows? *Theriogenology* 77 (3), S. 525–530.
- BUSCH, W.; LÖHLE, K.; PETER, W. (1991): *Künstliche Besamung bei Nutztieren*. 2. Aufl. Jena: Fischer.
- BUSCH, W.; WABERSKI, D. (2007): *Künstliche Besamung bei Haus- und Nutztieren*. Stuttgart: Schattauer.
- BÜSCHER, W.; MÜLLER, U.; MÜLLER, P.; STAMER, E. (2010): Informationsmanagement in der Milchviehhaltung - am Beispiel der Milchviehherde "Frankenforst" der Universität Bonn. In: Fähnrich, Klaus-Peter, Franczyk, Bogdan (Hg.): *Informatik 2010. Service Science – Neue Perspektiven für die Informatik. Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings*, Bd. 1.

Informatik 2010 – die 40. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI). Leipzig, 27.09. - 01.10. (1), S. 179–184.

CARVALHO, P. D.; SOUZA, A. H.; AMUNDSON, M. C.; HACKBART, K. S.; FUENZALIDA, M. J.; HERLIHY, M. M.; AYRES, H.; DRESCH, A. R.; VIEIRA, L. M.; GUENTHER, J. N.; GRUMMER, R. R.; FRICKE, P. M.; SHAVER, R. D.; WILTBANK, M. C. (2014): Relationships between fertility and postpartum changes in body condition and body weight in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97 (6), S. 3666–3683.

CHANVALLON, A.; COYRAL-CASTEL, S.; GATIEN, J.; LAMY, J.-M.; RIBAUD, D.; ALLAIN, C.; CLÉMENT, P.; SALVETTI, P. (2014): Comparison of three devices for the automated detection of estrus in dairy cows. *Theriogenology* 82 (5), S. 734–741.

CHRISTENSON, R. K.; ECHTERNKAMP, S. E.; LASTER, D. B. (1975): Oestrus, LH, ovulation and fertility in beef heifers. *Journal of reproduction and fertility* 43 (3), S. 543–546.

COLLIER, R. J.; DAHL, G. E.; VANBAALE, M. J. (2006): Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of dairy science* 89 (4), S. 1244–1253.

DALTON, J. C.; NADIR, S.; BAME, J. H.; NOFTSINGER, M.; NEBEL, R. L.; SAACKE, R. G. (2001): Effect of time of insemination on number of accessory sperm, fertilization rate, and embryo quality in nonlactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 84 (11), S. 2413–2418.

DARWASH, A. O.; LAMMING, G. E.; WOOLLIAMS, J. A. (1997): Estimation of genetic variation in the interval from calving to postpartum ovulation of dairy cows. *Journal of dairy science* 80 (6), S. 1227–1234.

DE JONG, G. (1998): Index for daughters' fertility in the Netherlands. *Interbull bulletin* (18), S. 102–105.

DE KONING, C. (2010): Automatic milking - common practice on dairy farms. In: *Proceedings of the First North American Conference on Precision Dairy Management*. Toronto, Canada.

DE RENSIS, F.; SCARAMUZZI, R. J. (2003): Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. *Theriogenology* 60 (6), S. 1139–1151.

DE SILVA, A. W. M. V.; ANDERSON, G. W.; GWAZDAUSKAS, F. C.; MCGILLIARD, M. L.; LINEWEAVER, J. A. (1981): Interrelationships with estrous behavior and conception in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 64 (12), S. 2409–2418.

DeLaval (Hg.) (2007): Bedienungsanleitung Alpro Ver. 6.60. Aktivitätsmesssystem.

DEVRIES, T. J.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; BEAUCHEMIN, K. A. (2003): Short communication: Diurnal feeding pattern of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86 (12), S. 4079–4082.

DEVRIES, T. J.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; BEAUCHEMIN, K. A. (2005): Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88 (10), S. 3553–3562.

DIETRICH, O. (2012): Etablierung einer neuen Methode zur automatisierten Brunsterkennung beim Rind. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität, München. Tierärztliche Fakultät.

DISKIN, M. G.; SREENAN, J. M. (2000): Expression and detection of oestrus in cattle. *Reproduction Nutrition Development* 40 (5), S. 481–491.

DOBSON, H.; SMITH, R. F.; ROYAL, M. D.; KNIGHT, C. H.; SHELDON, I. M. (2007): The high-producing dairy cow and its reproductive performance. *Reproduction in Domestic Animals* 42 Suppl 2, S. 17–23.

DOBSON, H.; WALKER, S. L.; MORRIS, M. J.; ROUTLY, J. E.; SMITH, R. F. (2008): Why is it getting more difficult to successfully artificially inseminate dairy cows? *Animal* 2 (8), S. 1104–1111.

DRANSFIELD, M.; NEBEL, R. L.; PEARSON, R. E.; WARNICK, L. D. (1998): Timing of insemination for dairy cows identified in estrus by a radiotelemetric estrus detection system. *Journal of Dairy Science* 81 (7), S. 1874–1882.

DRESCHEL, S. (2014): Untersuchungen zur zyklusabhängigen Vokalisation und Charakterisierung von Verhaltensparametern im periöstrischen Zeitraum von Jungrindern. Dissertation. Universität Rostock. Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät.

- ELISCHER, M. F.; ARCEO, M. E.; KARCHER, E. L.; SIEGFORD, J. M. (2013): Validating the accuracy of activity and rumination monitor data from dairy cows housed in a pasture-based automatic milking system. *Journal of Dairy Science* 96 (10), S. 6412–6422.
- ERB, R. E.; GOODWIN, M. M.; MORRISON, R. A.; SHAW, A. O. (1952): Lactation studies. II. Effect of estrus. *Journal of Dairy Science* 35 (3), S. 234–244.
- ESSLEMONT, R. J.; GLENCROSS, R. G.; BRYANT, M. J.; POPE, G. S. (1980): A quantitative study of pre-ovulatory behaviour in cattle (British Friesian heifers). *Applied Animal Ethology* 6 (1), S. 1–17.
- FELTON, C. A.; COLAZO, M. G.; PONCE-BARAJAS, P.; BENCH, C. J.; AMBROSE, D. J. (2012): Dairy cows continuously-housed in tie-stalls failed to manifest activity changes during estrus. *Canadian Journal of Animal Science* 92 (2), S. 189–196.
- FENTON, F. R.; MARTINEZ, N. D. (1980): The optimum time for artificial insemination of cows in two climatic zones of Venezuela. *Tropical Animal Production* 5 (3), S. 257–260.
- FIRK, R.; STAMER, E.; JUNGE, W.; KRIETER, J. (2002): Systematic effects on activity, milk yield, milk flow rate and electrical conductivity. *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 45 (3), S. 213–222.
- FIRK, R.; STAMER, E.; JUNGE, W.; KRIETER, J. (2003): Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. *Livestock Production Science* 82 (1), S. 97–103.
- FISCHER-TENHAGEN, C.; WETTERHOLM, L.; TENHAGEN, B.-A.; HEUWIESER, W. (2011): Training dogs on a scent platform for oestrus detection in cows. *Applied Animal Behaviour Science* 131 (1-2), S. 63–70.
- FOOTE, R. H. (1975): Estrus detection and estrus detection aids. *Journal of Dairy Science* 58 (2), S. 248–256.
- FOOTE, R. H. (1979): Time of artificial insemination and fertility in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 62 (2), S. 355–358.

- FRICKE, P. M.; CARVALHO, P. D.; GIORDANO, J. O.; VALENZA, A.; LOPES, G.; AMUNDSON, M. C. (2014): Expression and detection of estrus in dairy cows: the role of new technologies. *Animal : an international journal of animal bioscience* 8 Suppl 1, S. 134–143.
- FULKERSON, W. J.; SAWYER, G. J.; CROTHERS, I. (1983): The accuracy of several aids in detecting oestrus in dairy cattle. *Applied Animal Ethology* 10 (3), S. 199–208.
- FÜRST, C.; GREDLER, B. (2006): Züchterische Aspekte der Fruchtbarkeit. In: ZAR (Hg.): Fruchtbarkeit und Reproduktion beim Rind, Seminar des Ausschusses für Genetik der ZAR, S. 31–47.
- FÜRST-WATTL, B.; GREDLER, B. (2006): Bedeutung der Samenqualität für die Fruchtbarkeit. In: ZAR (Hg.): Fruchtbarkeit und Reproduktion beim Rind, Seminar des Ausschusses für Genetik der ZAR, S. 49–56.
- GALON, N. (2010): The use of pedometry for estrus detection in dairy cows in israel. *Journal of Reproduction and Development* 56 (S), S. S48.
- GIL, Z.; SZAREK, J.; KURAL, J. (1997): Detection of silent oestrus in dairy cows by milk temperature measurement. *Animal Science* 65 (01), S. 25–29.
- GRATTAN, D. R.; LE TISSIER, P. (2015): Hypothalamic control of prolactin secretion, and the multiple reproductive functions of prolactin. In: T. M. Plant und A. J. Zeleznik (Hg.): *Knobil and Neill's physiology of reproduction*. Fourth edition: Elsevier (1), S. 469–526.
- GRAVES, W. M.; DOWLEN, H. H.; LAMAR, K. C.; JOHNSON, D. L.; SAXTON, A. M.; MONTGOMERY, M. J. (1997): The effect of artificial insemination once versus twice per day. *Journal of Dairy Science* 80 (11), S. 3068–3071.
- GRAY, H. G.; VARNER, M. A. (1986): Signs of estrus and improving detection of estrus in cattle. *Dairy integrated Reproductive Management* 6 (1), S. 1–4.
- GROEGER, S. (2008): Untersuchungen zur Beeinflussung des Ovulationszeitpunktes beim laktierenden Rind durch intravenöse Glukoseinfusionen im Proöstrus. Dissertation. Justus-Liebig-Universität, Giessen.

- GRUNERT, E. (1999a): Ovarielle Dysfunktionen. In: Eberhardt Grunert und Aart de Kruif (Hg.): Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind. 3. Aufl. Berlin: Parey, S. 111–146.
- GRUNERT, E. (1999b): Physiologie der Fortpflanzung. Sexualzyklus. In: Eberhardt Grunert und Aart de Kruif (Hg.): Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind. 3. Aufl. Berlin: Parey, S. 1–12.
- GRUNERT, E. (1999c): Untersuchungsverfahren im Rahmen der Fertilitätskontrolle. Brunsterkennung. In: Eberhardt Grunert und Aart de Kruif (Hg.): Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind. 3. Aufl. Berlin: Parey, S. 68–77.
- GRUNERT, E. (1999d): Zyklus- und Brunststörungen. In: Eberhardt Grunert und Aart de Kruif (Hg.): Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind. 3. Aufl. Berlin: Parey, S. 147–158.
- GWAZDAUSKAS, F. C. (1985): Effects of climate on reproduction in cattle. *Journal of Dairy Science* 68 (6), S. 1568–1578.
- GWAZDAUSKAS, F. C.; LINEWEAVER, J. A.; MCGILLIARD, M. L. (1983): Environmental and management factors affecting estrous activity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 66 (7), S. 1510–1514.
- GWAZDAUSKAS, F. C.; LINEWEAVER, J. A.; VINSON, W. E. (1981): Rates of conception by artificial insemination of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 64 (2), S. 358–362.
- GWAZDAUSKAS, F. C.; WHITTIER, W. D.; VINSON, W. E.; PEARSON, R. E. (1986): Evaluation of reproductive efficiency of dairy cattle with emphasis on timing of breeding. *Journal of Dairy Science* 69 (1), S. 290–297.
- HACKETT, A. J.; MCALLISTER, A. J. (1984): Onset of estrus in dairy cows maintained indoors year-round. *Journal of Dairy Science* 67 (8), S. 1793–1797.
- HALL, J. G.; BRANTON, C.; STONE, E. J. (1959): Estrus, estrous cycles, ovulation time, time of service, and fertility of dairy cattle in Louisiana. *Journal of Dairy Science* 42 (6), S. 1086–1094.
- HALLI, K.; KOCH, C.; ROMBERG, F.-J.; HOY, S. (2015): Investigations on automatically measured feed intake amount in dairy cows during the oestrus period. *Archives Animal Breeding* 58 (1), S. 93–98.

HÄMEL, K. (2010): Analyse von zyklusabhängigen Lauten beim Rind zur Erkennung der Brunst. Dissertation. Freie Universität Berlin.

HARMS, J. (2004): Untersuchungen zum Einsatz verschiedener Varianten des Tierumtriebs bei automatischen Melksystemen (Einboxenanlagen). Dissertation. Technische Universität München.

HARMS, J.; WENDL, G. (2009): Automatisierung in der Milchviehhaltung – Stand der Technik und Entwicklungstendenzen. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hg.): Strategien für zukunftsorientierte Milchviehbetriebe in Bayern. 1. Auflage. Freising-Weihenstephan (14), S. 15–35.

HARSCH, M. (2009): Aktueller Stand der Technik bei Melkrobotern. Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW). Aulendorf. Online verfügbar unter http://www.lazbw.de/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_rh/pdf/a/Aktueller%20Stand%20AMS_09.pdf, zuletzt geprüft am 30.09.2015.

HEMMERLING, U.; PASCHER, P.; NAß, S.; GAEBEL, C.; RUKWIED, J. (2014): Situationsbericht 2014/15. Trends und Fakten zur Landwirtschaft. Berlin: Deutscher Bauernverband e.V.

HENRICKS, D. M.; DICKEY, J. F.; HILL, J. R. (1971): Plasma estrogen and progesterone levels in cows prior to and during estrus. *Endocrinology* 89 (6), S. 1350–1355.

HOCKEY, C. D.; MORTON, J. M.; NORMAN, S. T.; MCGOWAN, M. R. (2010a): Evaluation of a neck mounted 2-hourly activity meter system for detecting cows about to ovulate in two paddock-based Australian dairy herds. *Reproduction in Domestic Animals* 45 (5), S. e107-e117.

HOCKEY, C. D.; MORTON, J. M.; NORMAN, S. T.; MCGOWAN, M. R. (2010b): Improved prediction of ovulation time may increase pregnancy rates to artificial insemination in lactating dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals* 45 (6), S. e239-48.

HOEDEMAKER, M.; MANSFELD, R.; DE KRUIF, A.; HEUWIESER, W. (2014): Ergebnisinterpretation und Strategien - Betrachtung einzelner Kontrollbereiche. In: Aart de

Kruif, Maren Feldmann und Wolfgang Heuwieser (Hg.): Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind. 3. Aufl. Stuttgart: Enke, S. 46–90.

HOGVEEN, H.; OUWELTJES, W.; DE KONING, C.; STELWAGEN, K. (2001): Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. *Livestock Production Science* 72 (1–2), S. 157–167.

HOLMAN, A.; THOMPSON, J.; ROUTLY, J. E.; CAMERON, J.; JONES, D. N.; GROVE-WHITE, D.; SMITH, R. F.; DOBSON, H. (2011): Comparison of oestrus detection methods in dairy cattle. *The Veterinary record* 169 (2), S. 47.

HOLT, W. V. (2000): Basic aspects of frozen storage of semen. *Animal Reproduction Science* 62 (1), S. 3–22.

HOLTZ, W.; MEINHARDT, H. (1993): Die Brunstdiagnose beim Rind. *Reproduction in Domestic Animals* 28 (5), S. 315–341.

HOMER, E. (2013): Novel approaches to expression and detection of oestrus in dairy cows. Dissertation. University of Nottingham, Loughborough.

HOY, S. (2015): Nutzung der automatisch gemessenen Wiederkaudauer für Brunsterkennung, Gesundheitsmonitoring und Abkalbeproggnose. *Tierärztliche Umschau* 70 (1-2), S. 3–13.

HURNIK, J. F.; KING, G. J.; ROBERTSON, H. A. (1975): Estrous and related behaviour in postpartum Holstein cows. *Applied Animal Ethology* 2 (1), S. 55–68.

INCHASRI, C.; JORRITSMA, R.; VOS, P.; VAN DER WEIJDEN, G. C.; HOGVEEN, H. (2010): Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology* 74 (5), S. 835–846.

IRELAND, J. J.; MIHM, M.; AUSTIN, E.; DISKIN, M. G.; ROCHE, J. F. (2000): Historical perspective of turnover of dominant follicles during the bovine estrous cycle: Key concepts, studies, advancements, and terms. *Journal of Dairy Science* 83 (7), S. 1648–1658.

- ISMAEL, A.; STRANDBERG, E.; KARGO, M.; FOGH, A.; LOVENDAHL, P. (2015): Estrus traits derived from activity measurements are heritable and closely related to the time from calving to first insemination. *Journal of Dairy Science* 98 (5), S. 3470–3477.
- JACOBS, J. A.; ANANYEVA, K.; SIEGFORD, J. M. (2012): Dairy cow behavior affects the availability of an automatic milking system. *Journal of Dairy Science* 95 (4), S. 2186–2194.
- JACOBS, J. A.; SIEGFORD, J. M. (2012): Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science* 95 (5), S. 2227–2247.
- JAMROZIK, J.; FATEHI, J.; KISTEMAKER, G. J.; SCHAEFFER, L. R. (2005): Estimates of genetic parameters for Canadian Holstein female reproduction traits. *Journal of Dairy Science* 88 (6), S. 2199–2208.
- KADARMIDEEN, H. N.; THOMPSON, R.; COFFEY, M. P.; KOSSAIBATI, M. A. (2003): Genetic parameters and evaluations from single- and multiple-trait analysis of dairy cow fertility and milk production. *Livestock Production Science* 81 (2-3), S. 183–195.
- KAIM, M.; BLOCH, A.; WOLFENSON, D.; BRAW-TAL, R.; ROSENBERG, M.; VOET, H.; FOLMAN, Y. (2003): Effects of GnRH administered to cows at the onset of estrus on timing of ovulation, endocrine responses, and conception. *Journal of Dairy Science* 86 (6), S. 2012–2021.
- KAMPHUIS, C.; DELARUE, B.; BURKE, C. R.; JAGO, J. (2012): Field evaluation of 2 collar-mounted activity meters for detecting cows in estrus on a large pasture-grazed dairy farm. *Journal of Dairy Science* 95 (6), S. 3045–3056.
- KANITZ, W.; BECKER, F. (2005): Sind Verfahren der Brunst- und Ovulationssteuerung praktikable und erfolgreiche Alternativen zur konventionellen Brunstfeststellung und Besamung? *Züchtungskunde* 77, S. 128–139.
- KERBRAT, S.; DISENHAUS, C. (2004): A proposition for an updated behavioural characterisation of the oestrus period in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 87 (3-4), S. 223–238.

KETELAAR-DE LAUWERE, C. C.; DEVIR, S.; METZ, J. (1996): The influence of social hierarchy on the time budget of cows and their visits to an automatic milking system. *Applied Animal Behaviour Science* 49 (2), S. 199–211.

KIDDY, C. A. (1977): Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 60 (2), S. 235–243.

KLINDTWORTH, K.; TRINKL, S.; WENDL, G. (2002): Effizienz verschiedener Aktivitätssensoren zur Brunstüberwachung bei Milchkühen. *Landtechnik* 57 (2), S. 86–87.

KÖHN, F.; KÖNIG, S.; GAULY, M. (2007): Genetische und leistungsbedingte Einflussfaktoren auf die Besuchshäufigkeit im automatischen Melksystem. *Züchtungskunde* 79 (4), S. 287–297.

KRIETER, J.; STAMER, E.; JUNGE, W. (2006): Control charts and neural networks for oestrus detection in dairy cows. In: K-O. Wenkel, Wagner P., M. Morgenstern, K. Luzi und P. Eisermann (Hg.): *Land- und Ernährungswirtschaft im Wandel: Aufgaben und Herausforderungen für die Agrar- und Umweltinformatik. Referate der 26. GIL Jahrestagung. Potsdam, Deutschland*, S. 133–136.

LAWRENCE, T.; FOWLER, V. R.; NOVAKOFSKI, J. E. (2012): *Growth of farm animals*. 3rd ed. Wallingford, Oxfordshire, UK, Cambridge, MA: CABI.

LAYEK, S. S.; MOHANTY, T. K.; KUMARESAN, A.; BEHERA, K.; CHAND, S. (2011): Behavioural signs of estrus and their relationship to time of ovulation in Zebu (Sahiwal) cattle. *Animal Reproduction Science* 129 (3-4), S. 140–145.

LEBLANC, S. (2010): Assessing the association of the level of milk production with reproductive performance in dairy cattle. *Journal of Reproduction and Development* 56 (S), S. S1–S7.

LEGRAND, A. L.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; WEARY, D. M. (2009): Preference and usage of pasture versus free-stall housing by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 92 (8), S. 3651–3658.

LEHRER, A. R.; LEWIS, G. S.; AIZINBUD, E. (1992): Oestrus detection in cattle: recent developments. *Clinical Trends and Basic Research in Animal Reproduction* 28 (1–4), S. 355–362.

Lely Holding S.à.r.l. (Hg.): QWES-H; ausgezeichnetes Werkzeug zur Brunsterkennung. Online verfügbar unter <http://www.lely.com/de/tipps-fur-ihren-hof/qwes-h-ausgezeichnetes-werkzeug-zur-brunsterkennung>, zuletzt geprüft am 23.10.2015.

Lemmer-Fullwood GmbH (Hg.) (2014): Wie aktiv sind meine Kühe? 02.04.2014 - Wochentipp. Online verfügbar unter <http://www.lemmer-fullwood.info/einzelansicht/artikel/wie-aktiv-sind-meine-kuehe/>, zuletzt geprüft am 12.08.2015.

LIU, X.; SPAHR, S. L. (1993): Automated electronic activity measurement for detection of estrus in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 76 (10), S. 2906–2912.

LOPES, A. S.; BUTLER, S. T.; GILBERT, R. O.; BUTLER, W. R. (2007): Relationship of pre-ovulatory follicle size, estradiol concentrations and season to pregnancy outcome in dairy cows. *Animal Reproduction Science* 99 (1-2), S. 34–43.

LOPEZ, H.; BUNCH, T. D.; SHIPKA, M. P. (2002): Estrogen concentrations in milk at estrus and ovulation in dairy cows. *Animal reproduction science* 72 (1-2), S. 37–46.

LOPEZ, H.; SATTER, L. D.; WILTBANK, M. C. (2004): Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science* 81 (3-4), S. 209–223.

LOPEZ-GATIUS, F.; SANTOLARIA, P.; MUNDET, I.; YANIZ, J. L. (2005): Walking activity at estrus and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology* 63 (5), S. 1419–1429.

LOTTHAMMER, K.-H. (1999): Umweltbedingte Fruchtbarkeitsstörungen. In: Eberhardt Grunert und Aart de Kruif (Hg.): *Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind*. 3. Aufl. Berlin: Parey, S. 307–335.

LØVENDAHL, P.; CHAGUNDA, M. (2010): On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93 (1), S. 249–259.

LUCY, M. C. (2001): Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *Journal of Dairy Science* 84 (6), S. 1277–1293.

LYIMO, Z. C.; NIELEN, M.; OUWELTJES, W.; KRUIP, T.; VAN EERDENBURG, F. (2000): Relationship among estradiol, cortisol and intensity of estrous behavior in dairy cattle. *Theriogenology* 53 (9), S. 1783–1795.

LYONS, N. A.; KERRISK, K. L.; GARCIA, S. C. (2014): Milking frequency management in pasture-based automatic milking systems: A review. *Livestock Science* 159, S. 102–116.

MAATJE, K.; LOEFFLER, S. H.; ENGEL, B. (1997): Predicting optimal time of insemination in cows that show visual signs of estrus by estimating onset of estrus with pedometers. *Journal of Dairy Science* 80 (6), S. 1098–1105.

MACMILLAN, K. L.; WATSON, J. D. (1975): Fertility differences between groups of sires relative to the stage of oestrus at the time of insemination. *Animal Science* 21 (03), S. 243–249.

MADUREIRA, A.; SILPER, B. F.; BURNETT, T. A.; POLSKY, L.; CRUPPE, L. H.; VEIRA, D. M.; VASCONCELOS, J.; CERRI, R. (2015): Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98 (10), S. 7003–7014.

MALTZ, E.; DEVIR, S.; METZ, J.; HOGEVEEN, H. (1997): The body weight of the dairy cow I. Introductory study into body weight changes in dairy cows as a management aid. *Livestock Production Science* 48 (3), S. 175–186.

MERCIER, E.; SALISBURY, G. W. (1947): Fertility level in artificial breeding associated with season, hours of daylight, and the age of cattle. *Journal of Dairy Science* 30 (11), S. 817–826.

MIAH, A. GAFFAR; SALMA, U.; HOSSAIN, M. M. (2004): Factors influencing conception rate of local and crossbred cows in Bangladesh. *International Journal of Agriculture & Biology* 6 (5), S. 797–801.

MICHAELIS, I.; BURFEIND, O.; HEUWIESER, W. (2014): Evaluation of oestrous detection in dairy cattle comparing an automated activity monitoring system to visual observation. *Reproduction in Domestic Animals* 49 (4), S. 621–628.

MICIŃSKI, J.; ZWIERZCHOWSKI, G.; BARAŃSKI, W.; GOŁĘBIEWSKA, M.; MARŠÁLEK, M. (2010): Locomotor activity and daily milk yield of dairy cows during the perioestrous period in successive lactations. *Journal of Agrobiology* 27 (2).

MOLLETT, T. A.; ERB, R. E.; Monk, E. L.; MALVEN, P. V. (1976): Changes in estrogen, progesterone, prolactin and lactation traits associated with injection of estradiol-17 β and progesterone into lactating cows. *Journal of Animal Science* 42 (3), S. 655–663.

MONDAL, M.; RAJKHOWA, C.; PRAKASH, B. S. (2006a): Behavioral estrous signs can predict the time of ovulation in mithun (*Bos frontalis*). *Theriogenology* 66 (5), S. 1391–1396.

MONDAL, M.; RAJKHOWA, C.; PRAKASH, B. S. (2006b): Relationship of plasma estradiol-17 β , total estrogen, and progesterone to estrus behavior in mithun (*Bos frontalis*) cows. *Hormones and Behavior* 49 (5), S. 626–633.

NATROP, C.; HOLSTEG, M.; PRIES, M. (2009): Der Melkroboter: Ein Buch mit sieben Siegeln. *LZ Rheinland* (42), S. 27–31.

NEBEL, R. (2014): Timing of insemination depends on method of heat detection. *Progressive Dairyman*. Online verfügbar unter <http://www.progressivedairy.com/dairy-basics/ai-and-breeding/12265-timing-of-insemination-depends-on-method-of-heat-detection>, zuletzt geprüft am 30.06.2015.

NEBEL, R. L. (1998): Another look at timing of AI. In: *Proceedings of the 35th Florida Dairy Production Conference*. Gainesville, 05.05.1998, S. 60–64.

NEBEL, R. L.; DRANSFIELD, B. G.; DALTON, J. C.; BAME, J. H.; SAAKE, R. G. (2000): Timing of AI - Have we been wrong all these years? *Advances in Dairy Technology* 12, S. 195–209.

- NEBEL, R. L.; WALKER, W. L.; MCGILLIARD, M. L.; ALLEN, C. H.; HECKMAN, G. S. (1994): Timing of artificial insemination of dairy cows: Fixed time once daily versus morning and afternoon. *Journal of Dairy Science* 77 (10), S. 3185–3191.
- O'CONNELL, J.; GILLER, P. S.; MEANEY, W. (1989): A comparison of dairy cattle behavioural patterns at pasture and during confinement. *Irish Journal of Agricultural Research* 28 (1), S. 65–72.
- OHTANI, S.; OKUDA, K.; NISHIMURA, K.; MOHRI, S. (1993): Histological changes in bovine endometrium during the estrous cycle. *Theriogenology* 39 (5), S. 1033–1042.
- ORIHUELA, A. (2000): Some factors affecting the behavioural manifestation of oestrus in cattle: a review. *Applied Animal Behaviour Science* 70 (1), S. 1–16.
- PALMER, M. A.; OLMOS, G.; BOYLE, L. A.; MEE, J. F. (2010): Estrus detection and estrus characteristics in housed and pastured Holstein-Friesian cows. *Theriogenology* 74 (2), S. 255–264.
- PAUSCH, H.; KÖLLE, S.; EMMERLING, R.; FRIES, R. (2013): Kurzinformation zur bovinen männlichen Subfertilität (BMS). Freising. Online verfügbar unter www.asr-rind.de/media_pdf/Kurzinfo_BMS%20neu.pdf, zuletzt geprüft am 27.09.2015.
- PAUSCH, H.; KÖLLE, S.; WURMSER, C.; SCHWARZENBACHER, H.; EMMERLING, R.; JANSEN, S.; TROTTMANN, M.; FUERST, C.; GÖTZ, K.-U.; FRIES, R. (2014): A nonsense mutation in TMEM95 encoding a nondescript transmembrane protein causes idiopathic male subfertility in cattle. *PLoS genetics* 10 (1), S. e1004044.
- PAUSCH, H.; SCHWARZENBACHER, H.; BURGSTALLER, J.; FLISIKOWSKI, K.; WURMSER, C.; JANSEN, S.; JUNG, S.; SCHNIEKE, A.; WITTEK, T.; FRIES, R. (2015): Homozygous haplotype deficiency reveals deleterious mutations compromising reproductive and rearing success in cattle. *BMC genomics* 16, S. 312.
- PENNINGTON, J. A.; CALLAHAN, C. J. (1986): Use of mount detectors plus chalk as an estrous detection aid for dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 69 (1), S. 248–252.

PERALTA, O. A.; PEARSON, R. E.; NEBEL, R. L. (2005): Comparison of three estrus detection systems during summer in a large commercial dairy herd. *Animal Reproduction Science* 87 (1-2), S. 59–72.

PLESCH, G.; WITTMANN, M. (2013): Einfluss der Witterung auf das Aktivitätsverhalten von Milchkühen in 24-Stunden Außenhaltung auf Kurzrasenweide mit transportablem Melkroboter. In: Fachtagung für biologische Landwirtschaft. Gemäß Fortbildungsplan des Bundes : Grünlandbasierte BIO-Rinderhaltung, Ergebnisse aus Forschung und Umsetzung : 07. November 2013 am LFZ Raumberg-Gumpenstein. Irdning: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (Bericht / Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein), S. 101–102.

PRASAD, A.; SINHA, A. K. (1985): *Essentials of endocrinology and reproductive physiology. (for Veterinary Curriculum)*. Neu-Dehli, Indien: Allied Publishers Private Ltd.

RAJAMAHENDRAN, R.; ROBINSON, J.; DESBOTTES, S.; WALTON, J. S. (1989): Temporal relationships among estrus, body temperature, milk yield, progesterone and luteinizing hormone levels, and ovulation in dairy cows. *Theriogenology* 31 (6), S. 1173–1182.

RANASINGHE, R.; NAKAO, T.; YAMADA, K.; KOIKE, K. (2010): Silent ovulation, based on walking activity and milk progesterone concentrations, in Holstein cows housed in a free-stall barn. *Theriogenology* 73 (7), S. 942–949.

RANDEL, R. D.; SHORT, R. E.; CHRISTENSEN, D. S.; BELLOWS, R. A. (1973): Effects of various mating stimuli on the LH surge and ovulation time following synchronization of estrus in the bovine. *Journal of Animal Science* 37 (1), S. 128–130.

RANKIN, T. A.; SMITH, W. R.; SHANKS, R. D.; LODGE, J. R. (1992): Timing of insemination in dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 75 (10), S. 2840–2845.

RAO, T.; KUMAR, N.; KUMAR, P.; CHAURASIA, S.; PATEL, N. B. (2013): Heat detection techniques in cattle and buffalo. *Veterinary World* 6 (7), S. 363.

RATH, D.; TAYLOR, U.; KUES, W.; KLEIN, S.; SIEG, B.; FRENZEL, A.; BACKERT, L.; FRESE, D.; OSMERS, H.; STRUCKMANN, C.; OBERDÖRFER, L.; TILS, C. VON; MITTAG, A.; KNORR, C.;

MÖNCH-TEGEDER, G.; BERGMANN, A.; BARCIKOWSKI, S.; PETERSEN, S.; BARANSKI, A.; HEISTERKAMP, A.; MEYER, H.; LORBEER, R.; SAITI, C. L. (2011): Sortnetz Mariensee: Alternative Ansätze zur geschlechtsspezifischen Selektion von Bullenspermien. In: Friedrich-Loeffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit (Hg.): Jahresbericht 2010. Greifswald - Insel Riems, S. 66–69.

RATHBONE, M. J.; KINDER, J. E.; FIKE, K.; KOJIMA, F.; CLOPTON, D.; OGLE, C. R.; BUNT, C. (2001): Recent advances in bovine reproductive endocrinology and physiology and their impact on drug delivery system design for the control of the estrous cycle in cattle. *Advanced Drug Delivery Reviews* 50 (3), S. 277–320.

REIMERS, T. J.; SMITH, R. D.; NEWMAN, S. K. (1985): Management factors affecting reproductive performance of dairy cows in the Northeastern United States. *Journal of Dairy Science* 68 (4), S. 963–972.

REITH, S.; BRANDT, H.; HOY, S. (2014a): Simultaneous analysis of activity and rumination time, based on collar-mounted sensor technology, of dairy cows over the peri-estrus period. *Livestock Science* 170, S. 219–227.

REITH, S.; HOY, S. (2012): Relationship between daily rumination time and estrus of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95 (11), S. 6416–6420.

REITH, S.; PRIES, M.; VERHÜLSDONK, C.; BRANDT, H.; HOY, S. (2014b): Influence of estrus on dry matter intake, water intake and BW of dairy cows. *Animal* 8 (5), S. 748–753.

ROBBINS, R. K.; SULLIVAN, J. J.; PACE, M. M.; ELLIOTT, F. I.; BARTLETT, D. E.; PRESS, P. J. (1978): Timing the insemination of beef cattle. *Theriogenology* 10 (2–3), S. 247–255.

ROBERTSON, H. A. (1972): Sequential changes in plasma progesterone in the sow during the estrous cycle, pregnancy, at parturition, and post-partum. *Canadian Journal of Animal Science* 52 (4), S. 645–658.

ROCA-FERNÁNDEZ, A. I.; FERRIS, C. P.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A. (2013): Short communication. Behavioural activities of two dairy cow genotypes (Holstein-Friesian vs.

Jersey x Holstein-Friesian) in two milk production systems (grazing vs. confinement). Spanish Journal of Agricultural Research 11 (1), S. 120.

ROCHE, J. F. (2006): The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. Animal reproduction science 96 (3-4), S. 282–296.

ROELOFS, J.; LÓPEZ-GATIUS, F.; HUNTER, R. H. F.; VAN EERDENBURG, F. J. C. M.; HANZEN, C. (2010): When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. Theriogenology 74 (3), S. 327–344.

ROELOFS, J. B.; GRAAT, E. A. M.; MULLAART, E.; SOEDE, N. M.; VOSKAMP-HARKEMA, W.; KEMP, B. (2006): Effects of insemination-ovulation interval on fertilization rates and embryo characteristics in dairy cattle. Theriogenology 66 (9), S. 2173–2181.

ROELOFS, J. B.; VAN EERDENBURG, F. J. C. M.; SOEDE, N. M.; KEMP, B. (2005a): Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. Theriogenology 64 (8), S. 1690–1703.

ROELOFS, J. B.; VAN EERDENBURG, F. J. C. M.; SOEDE, N. M.; KEMP, B. (2005b): Various behavioral signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. Theriogenology 63 (5), S. 1366–1377.

RÖMER, A. (2013): Verbesserung der Fruchtbarkeitssituation in hochleistenden Milchviehherden. Abschlussbericht. Forschungs-Nr.: 2/51. Unter Mitarbeit von J. Harms, N. Volkmann, A. Boldt, E. Blum, J. Flor, S. Dettmann et al. Hg. v. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.

RÖMER, A.; LEXER, D.; TROXLER, J.; WAIBLINGER, S. (2005): Auswirkungen eines automatischen Melksystems auf Management, Tiergesundheit und Tierverhalten von Kühen. In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein (Hg.). 32. Viehwirtschaftliche Fachtagung. Irdning, 13.-14.04., S. 1–8.

RORIE, R. W.; BILBY, T. R.; LESTER, T. D. (2002): Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. Theriogenology 57 (1), S. 137–148.

SA FILHO, M. F.; AYRES, H.; FERREIRA, R. M.; NICH, M.; FOSADO, M.; CAMPOS FILHO, E. P.; BARUSELLI, P. S. (2010): Strategies to improve pregnancy per insemination using sex-sorted semen in dairy heifers detected in estrus. *Theriogenology* 74 (9), S. 1636–1642.

SACHSENROEDER, H. (1984): Untersuchungen zum optimalen Besamungszeitpunkt in der Brunst des Rindes und Versuche zur Beeinflussung der Ovulation durch Gonadotropin - Releasinghormon. Dissertation. Humboldt-Universität Berlin.

SAKAGUCHI, M.; FUJIKI, R.; YABUUCHI, K.; TAKAHASHI, Y.; AOKI, M. (2007): Reliability of estrous detection in Holstein heifers using a radiotelemetric pedometer located on the neck or legs under different rearing conditions. *Journal of Reproduction and Development* 53 (4), S. 819–828.

SAKATANI, M.; BALBOULA, A. Z.; YAMANAKA, K.; TAKAHASHI, M. (2012): Effect of summer heat environment on body temperature, estrous cycles and blood antioxidant levels in Japanese Black cow. *Animal science journal* 83 (5), S. 394–402.

SALES, J.; NEVES, K.; SOUZA, A. H.; CREPALDI, G. A.; SALA, R. V.; FOSADO, M.; CAMPOS FILHO, E. P.; DE FARIA, M.; SÁ FILHO, M. F.; BARUSELLI, P. S. (2011): Timing of insemination and fertility in dairy and beef cattle receiving timed artificial insemination using sex-sorted sperm. *Theriogenology* 76 (3), S. 427–435.

SARMENTO, S. SANTAMARIA (2004): Untersuchungen zur verzögerten Ovulation beim Rind. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München.

SARTORI, R.; HAUGHIAN, J. M.; SHAVER, R. D.; ROSA, G.; WILTBANK, M. C. (2004): Comparison of ovarian function and circulating steroids in estrous cycles of Holstein heifers and lactating cows. *Journal of Dairy Science* 87 (4), S. 905–920.

SAUMANDE, J. (2002): Electronic detection of oestrus in postpartum dairy cows: efficiency and accuracy of the DEC® (showheat) system. *Livestock Production Science* 77 (2-3), S. 265–271.

SAUMANDE, J.; HUMBLOT, P. (2005): The variability in the interval between estrus and ovulation in cattle and its determinants. *Animal Reproduction Science* 85 (3–4), S. 171–182.

SAVIO, J. D.; KEENAN, L.; BOLAND, M. P.; ROCHE, J. F. (1988): Pattern of growth of dominant follicles during the oestrous cycle of heifers. *Reproduction* 83 (2), S. 663–671.

SCHLÜNSEN, D.; ROTH, H.; SCHÖN, H.; PAUL, W.; SPECKMANN, H. (1987): Automatic health and oestrus control in dairy husbandry through computer aided systems. *Journal of Agricultural Engineering Research* 38, S. 263–279.

SCHOFIELD, S. A.; PHILLIPS, C.; OWENS, A. R. (1991): Variation in the milk production, activity rate and electrical impedance of cervical mucus over the oestrous period of dairy cows. *Animal Reproduction Science* 24 (3-4), S. 231–248.

SCHÖN, H.; WENDL, G.; LIEBLER, J. (1997): Einsatz automatischer Melksysteme in der Milchviehhaltung. *Landtechnik* 52 (6), S. 322–323.

SCHORI, F.; HEUBLEIN, C.; SÜDEKUM, K.-H.; DOHME-MEIER, F. (2014): Die Auswirkungen von Kraftfutter bei weidenden schweizerischen und neuseeländischen Holsteinkühen auf die Milchleistung, Futteraufnahme, Aktivität und das Verzehrverhalten. In: B. Reidy und Gregis, B., Thomet, P. (Hg.): *Grasland- und weidebasierte Milchproduktion. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau. Internationale Weidetagung. Zollikofen, Schweiz, 21.-22.08.* (16), S. 77–79.

SEELAND, G.; HENZE, C. (2003): Beziehungen zwischen Milchleistung und Fruchtbarkeit in einer Schwarzbuntpopulation nach intensiver Steigerung der Milchleistung. *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 46 (2), S. 103–112.

SENGER, P. L. (1994): The estrus detection problem: New concepts, technologies, and possibilities. *Journal of Dairy Science* 77 (9), S. 2745–2753.

SILPER, B. F.; ROBLES, I.; MADUREIRA, A. M. L.; BURNETT, T. A.; REIS, M. M.; DE PASSILLÉ, A. M.; RUSHEN, J.; CERRI, R. L. A. (2015): Automated and visual measurements of estrous behavior and their sources of variation in Holstein heifers. I: Walking activity and behavior frequency. *Theriogenology* 84 (2), S. 312–320.

SITKOWSKA, B.; PIWCZYŃSKI, D.; AERTS, J.; WAŚKOWICZ, M. (2015): Changes in milking parameters with robotic milking. *Archives Animal Breeding* 58 (1), S. 137–143.

- SPOLDERS, M. (2002): Effekte eines automatischen Systems des Milchentzugs („Melkroboter“) auf Futteraufnahmemenge, -rhythmik, Kau- und Wiederkauaktivität sowie stoffwechsel- und leistungsbiologische Zusammenhänge bei Hochleistungskühen im Vergleich zum herkömmlichen Melksystem. Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- STEFANOWSKA, J.; IPEMA, A. H.; HENDRIKS, M. M. W. B. (1999a): The behaviour of dairy cows in an automatic milking system where selection for milking takes place in the milking stalls. *Applied Animal Behaviour Science* 62 (2–3), S. 99–114.
- STEFANOWSKA, J.; TILIOPOULOS, N. S.; IPEMA, A. H.; HENDRIKS, M. M. W. B. (1999b): Dairy cow interactions with an automatic milking system starting with ‘walk-through’ selection. *Applied Animal Behaviour Science* 63 (3), S. 177–193.
- STEVENSON, J. S. (1997): Techniques to maximize conception rates. In: *Western Canadian Dairy Seminar*. USA.
- STEVENSON, J. S. (2013a): Activity monitoring in combined timed AI and heat detection programs. In: Jeffrey S. Stevenson (Hg.): *2013 Dairy Cattle Reproduction Council Conference*. 2013 Dairy Cattle Reproduction Council Conference. Indianapolis, 07.-08.11.2013, S. 78–88.
- STEVENSON, J. S. (2013b): Automated activity monitoring of estrus and time of ovulation. Kansas State University. Online verfügbar unter <http://krex.k-state.edu/dspace/handle/2097/17270>, zuletzt geprüft am 12.12.2014.
- STEVENSON, J. S.; HILL, S. L.; NEBEL, R. L.; DEJARNETTE, J. M. (2014): Ovulation timing and conception risk after automated activity monitoring in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97 (7), S. 4296–4308.
- STEVENSON, J. S.; SMITH, M. W.; JAEGER, J. R.; CORAH, L. R.; LEFEVER, D. G. (1996): Detection of estrus by visual observation and radiotelemetry in peripubertal, estrus-synchronized beef heifers. *Journal of Animal Science* 74 (4), S. 729–735.
- SVEBERG, G.; REFSDAL, A. O.; ERHARD, H. W.; KOMMISRUUD, E.; ALDRIN, M.; TVETE, I. F.; BUCKLEY, F.; WALDMANN, A.; ROPSTAD, E. (2011): Behavior of lactating Holstein-Friesian cows during spontaneous cycles of estrus. *Journal of Dairy Science* 94 (3), S. 1289–1301.

- TALUKDER, S.; THOMSON, P. C.; KERRISK, K. L.; CLARK, C. E. F.; CELI, P. (2015): Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system. *Theriogenology* 83 (4), S. 739–748.
- THALLER, G. (1998): Genetics and breeding for fertility. *Interbull bulletin* 18, S. 55–61.
- TRILK, J. (2006): Stand der Anwendung und internationale Forschung zu Automatischen Melksystemen. In: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (Hg.): *Bewertung der Anwendung Automatischer Melksysteme - Basis für qualitäts-, leistungs- und tiergerechte Managementempfehlungen*. Abschlussbericht. Frankfurt (Oder), S. 14–21.
- UMSTÄTTER, C. (2002): *Tier-Technik-Beziehung bei der automatischen Milchgewinnung*. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät.
- VALENZA, A.; GIORDANO, J. O.; LOPES, G. JR.; VINCENTI, L.; AMUNDSON, M. C.; FRICKE, P. M. (2012): Assessment of an accelerometer system for detection of estrus and treatment with gonadotropin-releasing hormone at the time of insemination in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95 (12), S. 7115–7127.
- VAN EERDENBURG, F.; LOEFFLER, H.; VAN VLIET, J. H. (1996): Detection of oestrus in dairy cows: A new approach to an old problem. *Veterinary Quarterly* 18 (2), S. 52–54.
- VAN VLIET, J. H.; VAN EERDENBURG, F. (1996): Sexual activities and oestrus detection in lactating Holstein cows. *Applied Animal Behaviour Science* 50 (1), S. 57–69.
- VANETTEN, T.; IRELAND, F.; VANDEVER, D.; KESLER, D.; WHEELER, M. (2006): Evaluation of a novel electronic estrus detection device in recipients synchronized for embryo transfer. *Reproduction, Fertility and Development* 18 (2), S. 204.
- VASCONCELOS, J.; PEREIRA, M.; MENEGHETTI, M.; DIAS, C. C.; SÁ FILHO, O. G.; PERES, R.; RODRIGUES, A.; WILTBANK, M. C. (2013): Relationships between growth of the preovulatory follicle and gestation success in lactating dairy cows. *Animal Reproduction* 10 (3), S. 206–214.

Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. (2015): Genetische Ursachen für verminderte Fruchtbarkeit. Online verfügbar unter <http://www.vit.de/?id=milchrinder-zws-online>, zuletzt geprüft am 15.10.2015.

VOŘÍŠKOVÁ, J.; MARŠÁLEK, M.; REICHOVÁ, S.; ZEDNÍKOVÁ, J.; MACHÁLEK, A. (2010): Results of robotic milking on selected farms in the Czech Republic. *Journal of Agrobiology* 27 (2).

WALKER, S. L.; SMITH, R. F.; JONES, D. N.; ROUTLY, J. E.; MORRIS, M. J.; DOBSON, H. (2010): The effect of a chronic stressor, lameness, on detailed sexual behaviour and hormonal profiles in milk and plasma of dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals* 45 (1), S. 109–117.

WALKER, W. L.; NEBEL, R. L.; MCGILLIARD, M. L. (1996): Time of ovulation relative to mounting activity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 79 (9), S. 1555–1561.

WALSH, S. W.; WILLIAMS, E. J.; EVANS, A. C. O. (2011): A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal reproduction science* 123 (3-4), S. 127–138.

WALTON, J. S.; VEENHUIZEN, L. P.; KING, G. J. (1987): Relationships between time of day, estrous behavior, and the preovulatory luteinizing hormone surge in Holstein cows after treatment with cloprostenol. *Journal of Dairy Science* 70 (8), S. 1652–1663.

WANGLER, A.; MEYER, A.; REHBOCK, F.; SANFTLEBEN, P. (2005): Wie effizient ist die Aktivitätsmessung als ein Hilfsmittel in der Brunsterkennung bei Milchrindern? *Züchtungskunde* 77 (2/3), S. 110–127.

WEHREND, A. (2014): Gezielte Lösung von Fruchtbarkeitsproblemen. In: 6. Tierärztetagung Raumberg-Gumpenstein. Tierärztliche Bestandsbetreuung - Fokus Fruchtbarkeit, 23. - 24. Mai 2014. Irdning: LFZ, S. 35–38.

WEHREND, A.; GRÖGER, S. (2008): Verfahren der tierärztlichen Puerperalkontrolle und deren Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit. *Tierärztliche Praxis* 36 (Suppl. 1), S. 20–24.

WENDL, G. (2014): Jahrbuch Agrartechnik 2013. Braunschweig.

- WENDL, G.; KLINDTWORTH, K.; HARMS, J.; KLINDTWORTH, M. (2001): Entwicklungen in der Prozesstechnik in den Bereichen Identifizierung, Brunstüberwachung und automatisches Melken. In: G. Wendl (Hg.): Milchviehhaltung - tiergerecht und zukunftsorientiert -. Landtechnik-Schrift. Landtechnisch-Bauliche Jahrestagung. Marktoberdorf, 08.11. Landtechnik Weihenstephan (13), S. 65–84.
- WHITE, F. J.; WETTEMANN, R. P.; LOOPER, M. L.; PRADO, T. M.; MORGAN, G. L. (2002): Seasonal effects on estrous behavior and time of ovulation in nonlactating beef cows. *Journal of animal science* 80 (12), S. 3053–3059.
- WILMUT, I.; HUNTER, R. (1984): Sperm transport into the oviducts of heifers mated early in oestrus. *Reproduction Nutrition Development* 24 (4), S. 461–468.
- WINDIG, J. J.; CALUS, M. P. L.; VEERKAMP, R. F. (2005): Influence of herd environment on health and fertility and their relationship with milk production. *Journal of dairy science* 88 (1), S. 335–347.
- WINTER, A.; HILLERTON, J. E. (1995): Behaviour associated with feeding and milking of early lactation cows housed in an experimental automatic milking system. *Applied Animal Behaviour Science* 46 (1–2), S. 1–15.
- XU, Z. Z.; MCKNIGHT, D. J.; VISHWANATH, R.; PITT, C. J.; BURTON, L. J. (1998): Estrus detection using radiotelemetry or visual observation and tail painting for dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science* 81 (11), S. 2890–2896.
- YÁNIZ, J. L.; SANTOLARIA, P.; GIRIBET, A.; LÓPEZ-GATIUS, F. (2006): Factors affecting walking activity at estrus during postpartum period and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology* 66 (8), S. 1943–1950.
- YOSHIDA, C.; NAKAO, T. (2005): Some characteristics of primary and secondary oestrous signs in high-producing dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals* 40 (2), S. 150–155.
- YOSHIOKA, H.; ITO, M.; TANIMOTO, Y. (2010): Effectiveness of a real-time radiotelemetric pedometer for estrus detection and insemination in Japanese Black Cows. *Journal of Reproduction and Development* 56 (3), S. 351–355.

ZIEGER, P. (2004): Brunsterkennung optimieren. *Milchrind* 2, S. 48–50.

ZOCCOLARO OLIVEIRA, L.; HOSSEPIAN DE LIMA, V. F.M.; SLADE OLIVEIRA, C.; BENNER, G. A.; BORGES GRAFF, H.; DOS SANTOS, R. M. (2011): Fertility rates following fixed-time artificial insemination in dairy heifers in a practical progesterone-based protocol. *Acta Scientiae Veterinariae* 39 (2), S. 1–6.

Eidesstattliche Erklärung:

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe.

Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6438-9



9 783835 196438 9