

Untersuchungen der Nutzung von Aktivitätsdaten zur
Brunsterkennung bei Jungrindern

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor agriculturarum (Dr. agr.)

der

Naturwissenschaftlichen Fakultät III
Agrar- und Ernährungswissenschaften,
Geowissenschaften und Informatik
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Diplomingenieur (FH) Simon Harnisch
geb. am 17.02.1985 in Annaberg-Buchholz

Gutachter:

Prof. Dr. Joachim Spilke

Prof. Dr. Wolfgang Büscher

Prof. Dr. Michael Klunker

Tag der Verteidigung: 24.06.2013

Halle (Saale) 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielstellung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Bedeutung der Brunsterkennung	3
2.2	Entwicklung des Brunstzyklus beim Jungrind	4
2.3	Der Brunstzyklus beim weiblichen Rind.....	5
2.4	Brunstsymptome	7
2.5	Einflussfaktoren auf die Ausprägung der Brunst	8
2.6	Methoden der Brunsterkennung	9
2.7	Methoden der Nutzung von Aktivitätsdaten zur Brunsterkennung.....	11
2.8	Effizienz der aktivitätsbasierten Brunsterkennung.....	16
2.9	Schlussfolgerungen aus der Literaturübersicht.....	19
3	Material	20
4	Beschreibung der Aktivitätsdynamik von Jungrindern	21
4.2	Methoden	21
4.2.1	Nutzung der Aktivitätswerte.....	21
4.2.2	Lineares gemischtes Modell	23
4.2.2.1	Grundlagen	23
4.2.2.2	Vorgehensweise zur Modellwahl	24
4.3	Ergebnisse.....	28
4.3.1	Wiederholungsgenauigkeit der Aktivitätsmessung	28
4.3.2	Einflussgrößen auf die Aktivität.....	29
4.3.3	Modellentwicklung der Erwartungswertstruktur.....	29
4.3.4	Modellentwicklung der Kovarianzstruktur.....	32
4.3.5	Überprüfung der Modellvoraussetzungen für das Vorzugsmodell.....	39
4.3.6	Ergebnisse des Vorzugsmodells	42
4.3.7	Ansatz zur Beschreibung der Aktivitätsdynamik mittels einer Regressionsfunktion.....	47

5	Nutzung der Aktivitätswerte zur Brunsterkennung	49
5.1	Methodische Vorgehensweise	49
5.1.1	Bewertung des Entscheidungsalgorithmus mittels einer Referenzmethode.....	49
5.1.2	Kombination der Ergebnisse aus der Wahl des Bezugs- und Vergleichszeitraumes.....	52
5.1.3	Effizienzkriterien zur Bewertung des Entscheidungsalgorithmus.....	54
5.2	Ergebnisse.....	56
5.2.1	Fall 1	56
5.2.1.1	Wahl des Bezugszeitraumes	56
5.2.1.2	Wahl des Vergleichszeitraumes.....	60
5.2.1.3	Schlussfolgerungen der Untersuchungen für Fall 1	63
5.2.2	Fall 2	69
5.2.2.1	Modifikation der zeitlichen Einteilung der Brunstzustände	69
5.2.2.2	Wahl des Bezugszeitraumes	73
5.2.2.3	Wahl des Vergleichszeitraumes.....	76
5.2.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Wahl des Bezugs- und Vergleichszeitraumes.....	79
5.2.2.5	Schlussfolgerungen der Untersuchungen für Fall 2	84
5.3	Weitere Maßzahlen zur Beurteilung der Effizienz der Brunsterkennung.....	88
5.4	Vergleichende Untersuchungen zur Brunsterkennung mit dem ALPRO-System	92
5.4.1	Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse zur Berechnung der Effizienz der Brunsterkennung mit dem ALPRO-System	92
5.4.2	Vergleich zwischen den Ergebnissen der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus und dem ALPRO-System.....	95
5.5	Nutzung positiver Trächtigkeitsergebnisse als Referenz für die Brunsterkennung	96
5.5.1	Allgemeines	96

5.5.2	Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse für den Vergleich zwischen der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus und positiver Trächtigkeitsergebnisse	96
5.5.3	Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse für den Vergleich zwischen dem ALPRO-System und positiver Trächtigkeitsergebnisse	101
5.5.4	Zusammenfassung der Ergebnisse für die Nutzung positiver Trächtigkeitsergebnisse als Referenz für die Brunsterkennung	102
6	Diskussion und Schlussfolgerungen.....	103
7	Zusammenfassung	118
8	Summary	120
9	Literaturverzeichnis	122
10	Anhang.....	135

Abkürzungsverzeichnis

AICC	-	korrigiertes Akaike-Kriterium
BIC	-	Schwarz-Bayes-Kriterium
BW	-	Bezugswert
BZ	-	Bezugszeitraum
ER	-	Erkennungsrate
EWMA	-	Exponentially-Weighted-Moving-Average
E2	-	Estradiol-17 β
FN	-	false negative
FP	-	false positive
FR	-	Fehlerrate
GE	-	Genauigkeit
GW	-	Grenzwert
ML	-	Maximum-Likelihood
OLS	-	ordinary-least-square
P4	-	Progesteron
r_s	-	Rangkorrelationskoeffizient (Spearman)
rAN	-	relatives Aktivitätsniveau
REML	-	Restricted-Maximum-Likelihood
SP	-	Spezifität
TN	-	true negative
TP	-	true positive
TU+	-	positive Trächtigkeit
VW	-	Vergleichswert
VZ	-	Vergleichszeitraum

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lokal angepasste Regression (Glättungsparameter = 0.5) und OLS-Residuen	39
Abbildung 2: Standardabweichung als Wurzel der beobachteten Varianzfunktion (OLS_resid) und der geschätzten Varianzfunktion (Model) für den brünstigen und nicht brünstigen Zustand	40
Abbildung 3: Histogramm der zufälligen Tiereffekte	41
Abbildung 4: Histogramm der OLS-Residuen für Tagesstunde 9 im nicht brünstigen Zustand	41
Abbildung 5: Bestandsmittel der Tagesdynamik der Aktivität im Mai 2010 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)	43
Abbildung 6: Bestandsmittel der Tagesdynamik der Aktivität im Januar 2011 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)	43
Abbildung 7: Verlauf der Tagesdynamik der Aktivität für Tier A im Monat Mai 2010 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)	45
Abbildung 8: Verlauf der Tagesdynamik der Aktivität für Tier B im Monat Mai 2010 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)	46
Abbildung 9: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für ein Beispieletier	50
Abbildung 10: ER und FR (in %) bei einem BZ = 24, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 1.4.....	64
Abbildung 11: ER, FR und modifizierte Fehlerrate (FR_1) (in %) bei einem BZ = 24, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 1.4	67
Abbildung 12: Verlauf der Aktivität von Tier Nr. 265 in Form des rAN bei einem BZ = 4 und einem VZ = 7 für die Zyklustage -1 bis 1	70
Abbildung 13: Verlauf der Aktivität von Tier Nr. 303 in Form des rAN bei einem BZ = 4 und einem VZ = 7 für die Zyklustage -1 bis 1	70
Abbildung 14: Verlauf der Aktivität von Tier Nr. 89 in Form des rAN bei einem BZ = 4 und einem VZ = 7 für die Zyklustage -1 bis 1	70
Abbildung 15: Verlauf der Aktivität von Tier Nr. 74 in Form des rAN bei einem BZ = 4 und einem VZ = 7 für die Zyklustage -1 bis 1	70
Abbildung 16: Bestandsmittel der Tagesdynamik der Aktivität im März 2011 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)	72

Abbildung 17: ER und FR bei einem BZ = 6 und einem VZ = 7 für die Kombination der Stunden 6 und 16 in Abhängigkeit des Grenzwertes.....	84
Abbildung 18: Youden-Index, Sensitivität und Spezifität für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit des Grenzwertes	88
Abbildung 19: ROC-Kurve für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus.....	90
Abbildung 20: Index (ER, FR), Erkennungs- und Fehlerrate für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit des Grenzwertes	91
Abbildung 21: Index (ER, FR), Erkennungs- und Fehlerrate für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit des Grenzwertes (Referenz: TU+)	98
Abbildung 22: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für Tier A	135
Abbildung 23: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für Tier B	135
Abbildung 24: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für Tier C	136
Abbildung 25: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für Tier D	136
Abbildung 26: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für Tier E	137
Abbildung 27: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für Tier F.....	137

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgewählte Literaturergebnisse zur mittleren Länge sowie Abweichung der Brunst	6
Tabelle 2: Ausgewählte Ergebnisse zur aktivitätsbasierten Brunsterkennung mittels der Kriterien Erkennungsrate (ER), Genauigkeit (GE), Fehlerrate (FR) und Spezifität (SP).....	17
Tabelle 3: Bereinigung des Ausgangsdatensatzes in Abfolge der aufgeführten Einschränkungen	22
Tabelle 4: Statistische Maßzahlen und Rangkorrelation (Spearman) für die Aktivitätsmessung (Anschläge pro Stunde) mit Hilfe paarweiser Messgeräte pro Tier	28
Tabelle 5: Modellentwicklung der Erwartungswertstruktur mit Angabe der festen Effekte, des Funktionswertes der Log Likelihood der ML-Methode und der Informationskriterien AICC und BIC.....	30
Tabelle 6: Modellentwicklung der Kovarianzstruktur mit Angabe der Effekte je Tier, der Kovarianzen sowie der Umsetzung in SAS.....	33
Tabelle 7: Modellentwicklung der Kovarianzstruktur mit Angabe der Modellvariante, des Funktionswertes der Log Likelihood der REML-Methode und der Informationskriterien AICC und BIC.....	36
Tabelle 8: Überprüfung der Likelihood für ASReml und SAS anhand von Modellvariante C1	37
Tabelle 9: Umrechnung der Likelihood für die Modellvarianten C8 und C9 von ASReml in SAS.....	38
Tabelle 10: Beispieldaten zur Berechnung des relativen Aktivitätsniveaus.....	53
Tabelle 11: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung.....	54
Tabelle 12: ER und FR (in %) für die Wahl des BZ in Abhängigkeit der Tagesstunden (h) 1 bis 12 und des Grenzwertes (GW) bei einem VZ = 7	57
Tabelle 13: ER und FR (in %) für die Wahl des BZ in Abhängigkeit der Tagesstunden (h) 13 bis 24 und des Grenzwertes (GW) bei einem VZ = 7	58
Tabelle 14: ER und FR (in %) für die Wahl des VZ in Abhängigkeit der Tagesstunden (h) 1 bis 12 und des Grenzwertes (GW) bei einem BZ = 24.....	61
Tabelle 15: ER und FR (in %) für die Wahl des VZ in Abhängigkeit der Tagesstunden (h) 13 bis 24 und des Grenzwertes (GW) bei einem BZ = 24.....	62
Tabelle 16: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung bei einem BZ = 24, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 1.4 zur Tagesstunde 24	64

Tabelle 17: Falsch positive Entscheidungen bei einem BZ = 24, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 1.4 zur Tagesstunde 24	65
Tabelle 18: ER und FR (in %) für die Wahl des BZ in Abhängigkeit des Grenzwertes (GW) bei einem VZ = 7	74
Tabelle 19: ER und FR (in %) für die Wahl des VZ in Abhängigkeit des Grenzwertes (GW) bei einem BZ = 7	78
Tabelle 20: ER und FR (in %) für die Kombination des BZ und VZ bei einem Grenzwert von 2.5.....	80
Tabelle 21: ER und FR (in %) bei einem BZ = 6 und 7 sowie einem VZ = 7 bis 9 bei verschiedenen Grenzwerten (GW) zur Stunde 6	82
Tabelle 22: ER und FR (in %) bei einem BZ = 6, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 2.45 für die als Tag definierten Stunden.....	83
Tabelle 23: ER und FR (in %) bei einem BZ = 6, einem VZ = 7 für die Kombination der Stunden 6 und 16 im Grenzwertbereich [2.15; 2.85]	85
Tabelle 24: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus	86
Tabelle 25: Falsch positive Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus	86
Tabelle 26: Falsch negative Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus	87
Tabelle 27: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung auf Grundlage des ALPRO-Systems für Fall 1	93
Tabelle 28: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung auf Grundlage des ALPRO-Systems für Fall 2	94
Tabelle 29: ER und FR (in %) auf Grundlage der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus und den Alarmmeldungen des ALPRO-Systems jeweils für Fall 1 und Fall 2.....	95
Tabelle 30: ER und FR (in %) für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus im Grenzwertintervall [2.35; 3.35] (Referenz: TU+)	99
Tabelle 31: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung auf Grundlage der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus (Referenz TU+).....	99
Tabelle 32: Falsch positive Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit der Kategorie der Tiere	99

Tabelle 33: Falsch positive Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit des Zyklustages.....	100
Tabelle 34: Falsch negative Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit der Kategorie.....	100
Tabelle 35: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung auf Grundlage des ALPRO-Systems (Referenz TU+)	102
Tabelle 36: ER und FR (in %) auf Grundlage der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus und den Alarmmeldungen des ALPRO-Systems (Referenz TU+)	102

1 Einleitung und Zielstellung

Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion in den letzten Jahrzehnten geht im Bereich der tierischen Erzeugung mit gestiegenen Bestandsgrößen, einem abnehmenden Besatz an Arbeitskräften bzw. einem allgemein steigenden Wettbewerbsdruck einher. Dieser Prozess wird begleitet von der rasanten Entwicklung auf dem Gebiet der Hard- und Softwaretechnologie sowie dem stetigen Fortschritt fachspezifischer Kenntnisse zur besseren Unterstützung des Managements in der landwirtschaftlichen Produktion. Der beschriebene Trend ist in besonderer Weise für den Bereich der Milchproduktion zu beobachten. Hierbei haben aufgrund der Bedeutung des Milchrindes einerseits und eines hohen Entwicklungsstandes der Prozesstechnik andererseits, Managementprogramme einen hohen Reifegrad erreicht. Im Einzelnen betrifft dies sowohl die Unterstützung in der Milchgewinnung als auch die Steuerung und Kontrolle von Fütterung, Gesundheit und Reproduktion. Damit verbunden ist eine zunehmende Komplexität des Herdenmanagements mit der Herausforderung, richtige Entscheidungen zu treffen (HOGVEEN et al. 1991). Es stellt sich die Frage nach der optimalen Nutzung verfügbarer Daten (DAY et al. 2008).

In Zusammenhang mit dieser kurz skizzierten Entwicklung sind im Laufe der Zeit immer komplexere Entscheidungsprozesse entstanden. Eine Voraussetzung ihrer Beherrschung ist die Verfügbarkeit von Daten über bestimmte Merkmale des Einzeltieres (FROST et al. 1997; SPAHR 1993). Dabei sind die durch steigende Herdengrößen höhere Anforderungen vom Personal zu bewältigen, wobei in den arbeitsintensiven Bereichen der Reproduktion die zeitlichen Kapazitäten zunehmend an ihre Grenzen stoßen (FOOTE 1975; RAUSSI 2003). Dies gilt in besonderer Weise für die Brunstbeobachtung (MAATJE et al. 1997). Zu beachten ist, dass eine hohe Brunsterkennungsrate als wesentliche Voraussetzung für gute Fruchtbarkeitsergebnisse anzusehen ist (MOORE und SPAHR 1991; PENNINGTON et al. 1986; ROUNSAVILLE et al. 1979; VAN VLIET und VAN EERDENBURG 1996). Bei Nutzung der Bewegungsaktivität zur Brunsterkennung wird der Sachverhalt genutzt, wonach die Phase der Brunst mit einem Anstieg des Aktivitätsniveaus einhergeht. Beispielsweise zeigen Versuche aus den 80er Jahren eine brunstbedingte Steigerung der Bewegungsaktivität von 393 % (KIDDY 1977). In Zusammenhang mit der Brunsterkennung ist dieses mit dem Begriff der „allgemeinen Unruhe“ bezeichnete Tierverhalten Gegenstand vielfältiger älterer und neuerer Untersuchungen (GALON 2010; LØVENDAHL und CHAGUNDA 2010; MOORE und SPAHR 1991; PENNINGTON et al. 1986; ROUNSAVILLE et al. 1979; WANGLER et al. 2005).

Verglichen mit dem Entwicklungsstand von Managementsystemen beim Milchrind ist der Ausbaustand beim Jungrind deutlich geringer. In Bezug auf die Brunsterkennung fällt auf, dass Untersuchungsergebnisse auf Grundlage der Bewegungsaktivität zwar vorliegen, aber in einem wesentlich geringeren Umfang als beim Milchrind vorzufinden sind (LØVENDAHL und CHAGUNDA 2009; SAKAGUCHI et al. 2007; WILLIAMS et al. 1981). Insbesondere fehlen Ergebnisse über die Einordnung von Bewegungsdaten in betriebliche Managementprogramme zur Unterstützung der Entscheidungsfindung. In diesem Sinne lässt die bereits angesprochene Entwicklung gesteigener Bestandsgrößen in Zusammenhang mit einem abnehmenden Besatz an Arbeitskräften weiteren Forschungsbedarf zur Effizienzsteigerung der Brunstbeobachtung und der eingesetzten Produktionsfaktoren erkennen. Mit den vorliegenden Untersuchungen soll ein Beitrag geleistet werden diese Lücke zu schließen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in:

- (1) der Beschreibung der Aktivitätsdynamik in Abhängigkeit des Brunstzustandes sowohl unter Beachtung saisonaler Einflüsse als auch der Tierindividualität,
- (2) der Ableitung der sich aus der Beschreibung der Aktivitätsdynamik ergebenden Schlussfolgerungen sowie
- (3) der Überprüfung von unter Produktionsbedingungen erfassten Aktivitätsdaten für die Brunsterkennung.

Weiterhin sollen die zu erwartenden Untersuchungsergebnisse eine Grundlage für die Entwicklung von Managementprogrammen zur aktivitätsbasierten Brunsterkennung beim Jungrind darstellen.

2 Literaturübersicht

2.1 Bedeutung der Brunsterkennung

Da jede Milchkuh die Abschnitte der Kälber- und Jungrinderaufzucht durchläuft, stellt die Reproduktion für die Milchviehhaltung eine existenzielle Voraussetzung dar. Aus ökonomischer Sicht betragen deren Kosten etwa 33 % an den Gesamtkosten der Milchproduktion (BECKER et al. 2005). Somit spielt die Effizienz der Reproduktion für die Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion eine entscheidende Rolle (HEERSCHE und NEBEL 1994; DISKIN und SREENAN 2000). Eine erfolgreiche Konzeption ist neben dem Besamungszeitpunkt v. a. von der physiologischen Entwicklung sowie der Fruchtbarkeit des Einzeltieres abhängig. Dabei nimmt die Brunst, welche als Paarungs- bzw. Konzeptionsbereitschaft zu verstehen ist, eine Schlüsselrolle ein. Abgeleitet daraus sind mit einer effektiven Brunsterkennung positive Effekte auf deren Erkennungsrate, die Brunstnutzungsrate, die Konzeptionsrate sowie die Trächtigkeitsrate zu erwarten (FOOTE 1975; HURNIK et al. 1975; STUMPENHAUSEN 2001; WANGLER et al. 2005). Andererseits führen Misserfolge bei der Brunsterkennung zu einer ineffizienten Reproduktion und verursachen wirtschaftliche Verluste (BARR 1975; BRITT 1985; LAUDERDALE 1974; ROUNSAVILLE et al. 1979). Die damit verbundene Bedeutung einer möglichst genauen Brunsterkennung wird in zahlreichen älteren und neueren Quellen beschrieben (AT-TARAS und SPAHR 2001; CUTULLIC et al. 2009; GALINA und ORIHUELA 2007; GWAZDAUSKAS et al. 1983; HEERSCHE und NEBEL 1994; HURNIK et al. 1975; ROELOFS et al. 2010).

Um eine Einführung in die zu bearbeitende Thematik zu geben, soll im Folgenden der Sexualzyklus mit dem Schwerpunkt der Brunst bzw. Brunstbeobachtung beschrieben werden. Es ist festzustellen, dass in der Literatur zum Milchrind vielfältige Untersuchungsergebnisse vorliegen. Beim Jungrind sind jedoch deutlich weniger Angaben verfügbar. Aus diesem Grund soll in der Literaturübersicht vorerst auf die Entwicklung des Brunstzyklus beim pubertären Jungrind eingegangen werden. Ebenfalls können anhand verschiedener Literaturquellen sowohl Unterschiede als auch Gemeinsamkeiten zwischen Jung- und Milchrind aufgezeigt werden. Ein weiterer Abschnitt beschäftigt sich mit den Einflussfaktoren auf den Brunstzyklus. Abgeleitet von der Charakteristik der Ausprägung einer Brunst werden die Anforderungen an deren Erkennung sowie dafür verfügbare Methoden genannt. Dabei sollen auf Aktivitätsdaten basierende Methoden aufgeführt und mit Ergebnissen deren Effizienz hinterlegt werden.

2.2 Entwicklung des Brunstzyklus beim Jungrind

Die Phase, in der die Gonaden in ausreichenden Mengen Hormone zum Wachstum der primären und sekundären Geschlechtsmerkmale produzieren, wird als Geschlechtsreife bzw. Pubertät bezeichnet. Hierbei ist deren Beginn als ein allmählicher, rhythmischer Prozess, der letztlich in der sexuellen Reife mündet, zu verstehen (MORROW 1976). Für den Pubertätseintritt ist neben dem Lebensalter besonders die Körpermasse als ein wichtiger Faktor zu nennen (FAHR 1974; VAN AMBURGH et al. 1998). Dieser wird in Untersuchungen von MOURITS et al. (1999) mit einem mittleren Wert von 275 kg angegeben, wobei der Variationskoeffizient mit 10 % und die Spannweite mit 220 kg bis 332 kg beziffert werden. Ergebnisse von MORROW (1969) zeigen das Eintreten der ersten Ovulation im Mittel bei etwa 296 Tagen und 277 kg. Diese ist in 74 % der Fälle als stille Brunst ausgeprägt. Bis zur dritten Ovulation reduziert sich der Anteil stillbrünstiger Jungrinder auf 21 % (MORROW 1969). Andere Untersuchungen von MORROW et al. (1976) kommen zu einem durchschnittlichen Alter zu Pubertätsbeginn von 279 Tagen. Nach BRADE und FLACHOWSKY (2005) liegt der Orientierungswert zum Pubertätseintritt zwischen 320 und 400 Lebenstagen bzw. einer Körpermasse von 240 bis 300 kg. Zu beachten ist, dass ein geringes Fütterungsniveau zu einem verzögerten Pubertätseintritt und somit zu einer verspäteten ersten Brunst führt (SHORT und BELLOWS 1971).

Unterschieden werden muss zwischen Geschlechts- und Zuchtreife. Erstere ist mit dem Pubertätseintritt gleichzusetzen, wohingegen die Zuchtreife den Zeitpunkt der erstmaligen Nutzung des Tieres zur Zucht angibt. Das bedeutet, dass eine entsprechende körperliche Entwicklung gegeben sein muss. Dabei sollten ausgehend vom Pubertätseintritt drei Brunstzyklen bis zur ersten Besamung abgewartet werden (VAN AMBURGH et al. 1998). LØVENDAHL und CHAGUNDA (2010) sprechen von einem Erstbesamungsalter von 15 Monaten. Bei einer Tragezeit von etwa 281 Tagen liegt das Erstkalbealter folglich bei etwa 24 Monaten. Diese Empfehlung entspricht nicht nur aus Sicht der körperlichen Entwicklung der biologischen Veranlagung, sie lässt sich ebenso ökonomisch begründen (LOSAND et al. 2007). PLATEN et al. (1999) nennen aufgrund verschiedener Haltungsbedingungen und somit unterschiedlicher Wachstumsverläufe ein Erstbelegungsalter zwischen 13 und 21 Monaten. Dies unterstreicht die Beachtung der körperlichen Entwicklung in Abhängigkeit der Aufzuchtintensität, deren Richtwert in Form der Lebendmasse zum Zeitpunkt der ersten Besamung bei etwa 340 kg liegen sollte (VAN AMBURGH et al. 1998).

2.3 Der Brunstzyklus beim weiblichen Rind

Beim weiblichen Rind ist die Ausprägung der Brunst ein Symptom bzw. eine Strategie zur Sicherstellung der Begattung in zeitlicher Nähe zum Einsprung und damit einer Befruchtung der Eizelle (ROELOFS et al. 2010). Demzufolge ist die Brunst sowohl ein äußeres, sichtbares Zeichen der Ovulation als auch ein innerer, unsichtbarer Vorgang. Die hormonelle Steuerung dieses Zyklus beruht auf positiven und negativen Rückkopplungsmechanismen des Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Systems. Dieses beinhaltet die Follikel- und Eizellenreifung, die Ovulation, die Gelbkörperaus- und -rückbildung, die Produktion der beteiligten Hormone sowie Veränderungen der Geschlechtsorgane und des Tierverhaltens (BECKER et al. 2005; SCHNURRBUSCH und VOGLER 2005). In diesem Zusammenhang wird in der Literatur von einem ovariellen und einem uterinen Zyklus gesprochen, in denen sich hormonelle und morphologische Veränderungen an den Geschlechtsorganen vollziehen (GRUNERT und BERCHTOLD 1999). Nach GRUNERT und BERCHTOLD (1999) wird der Brunstzyklus beim Rind in vier Phasen unterteilt:

- Präöstrus (Vorbrunst),
- Östrus (Hauptbrunst),
- Postöstrus (Nachbrunst),
- Interöstrus (Zwischenbrunst).

In der Einteilung nach BOSTEDT (2003) umfasst die Vorbrunst etwa die Zyklustage 18 bis 20, die Hauptbrunst etwa die Tage 21 bis 1.5, die Nachbrunst etwa den 2. und 3. Zyklustag und die Zwischenbrunst etwa die Tage 4 bis 17.

Ein vollständiger Zyklus wird bei Milchkühen üblicherweise mit 21 Tagen und bei Jungrindern mit 20 Tagen angegeben (ALLRICH 1994; DISKIN und SREENAN 2000; GRUNERT und BERCHTOLD 1999; SAMBRAUS 1978;). SCHÖN et al. (2006) nennen bei Jungrindern einen 2 bis 3 Tagen kürzeren Brunstzyklus als bei Kühen. Weitere mittlere Werte sind mit etwa 19.5 Tagen und Schwankungsbreiten zwischen etwa 18 und 26 Tagen erwähnt (DISKIN und SREENAN 2000; WERNER et al. 1938). SAMBRAUS (1978) und SCHÖN et al. (2006) hingegen sprechen von 18 bis 23 Tagen. Vergleichende Untersuchungen zu Jungrindern zeigen Werte zwischen 18 und 22 Tagen (ALBA 1945 zit. nach OLDS und SEATH 1951). Aufgrund der unterschiedlichen Angaben kann von einer tierindividuellen Zykluslänge sowie einer Variation im physiologischen Bereich gesprochen werden (GRUNERT und BERCHTOLD 1999; OLDS und SEATH 1951).

Ein weiteres Merkmal des Brunstzyklus ist die unterschiedliche Länge der Brunst. Dazu gibt Tabelle 1, in der sich die Untersuchungsergebnisse hauptsächlich auf Kühe beziehen, einen Überblick.

Tabelle 1: Ausgewählte Literaturergebnisse zur mittleren Länge sowie Abweichung der Brunst

Autor	mittlere Länge in Stunden	mittlere Abweichung in Stunden
MARION et al. 1950	21.1 (ohne Begattung) 18.2 (mit Begattung)	-
HALL et al. 1959	11.9	-
HURNIK et al. 1975	7.5 – 10.1	-
SAMBRAUS 1978	12-16	von 2 bis 30
WILLIAMS et al. 1981	21.3	2.1
SCHOFIELD et al. 1991	13.5	2.3
NEBEL et al. 1992	12.1	-
TRIMBERGER und DAVIS 1943 zit. nach RANKIN et al. 1992	15.3 (Jungrind) 17.8 (Kuh)	-
ALLRICH 1994	12 – 16	von 3 bis 28
WALKER et al. 1996	9.5	-
VAN VLIET und VAN EERDENBURG 1996	11.6 (1 Tier in Brunst) 16.1 (> 1 Tier in Brunst)	4.9 8.2
DRANSFIELD et al. 1998	7.5 (1 Tier in Brunst) 10.1 (3 Tiere in Brunst)	-
ROELOFS et al. 2005	12.3	4.1
LØVENDAHL und CHAGUNDA 2010	9.24 (Jungrind) 8.12 (Kuh)	-

ROTTENSTEN und TOUCHBERRY (1957) schätzen die Heritabilität für die Ausprägung der Brunst mit 0.21. Aktuellere Untersuchungsergebnisse bestätigen diese geringe Erblichkeit (ROXSTRÖM et al. 2001). Für Jungrinder wird im Vergleich zu Kühen eine etwas kürzere Brunstdauer angegeben (DE SILVA et al. 1981). Andere Angaben zeigen hingegen eine vergleichbare Dauer der Brunst (ESSLEMONT und BRYANT 1976).

Schlussfolgernd ist festzustellen, dass sowohl die Länge als auch die Intensität der Hauptbrunst als sehr variabel anzusehen ist (ESSLEMONT und BRYANT 1976; HALL et al. 1959; HURNIK et al. 1975; WALKER et al. 1996). Dabei wird insbesondere die tierspezifische Variabilität betont (ORIHUELA 2000; VAN VLIET et al. 1996; WALKER et al. 2008).

2.4 Brunstsymptome

Die inneren Brunstsymptome können als hormonell gesteuerter Prozess beschrieben werden. Dieser ist gekennzeichnet durch eine ansteigende Östrogenkonzentration bei einer gleichzeitig niedrigen Konzentration von Progesteron (BECKER et al. 2005; DAY et al. 1987; PURSLEY et al. 1997). Gesteuert über das Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-System stehen damit weitere Prozesse wie die Follikelreifung oder Veränderungen der inneren Geschlechtsorgane in Verbindung. Neben diesen Symptomen ist eine Vielzahl äußerer Brunstsymptome bekannt. Diese werden mit lautem Brüllen, Ruhelosigkeit, einem intensiven Kontakt bzw. dem Anstoßen anderer Tiere, einer geschwollenen Scham mit fadenziehendem, klarem Schleim beschrieben (ALLRICH 1994; DISKIN und SREENAN 2000; FOOTE 1975). DISKIN und SREENAN (2000) erwähnen haarlose Stellen und Kratzspuren sowie eine verminderte Fresszeit und Futteraufnahme. Weiterhin sind insbesondere ein verstärkter Bewegungsdrang und eine damit einhergehende erhöhte Aktivität als markante Zeichen einer Brunst anzusehen (FARRIS 1954; VAN EERDENBURG et al. 1996). In diesem Sinne sprechen ESSLEMONT et al. (1980) von "period of intensified behaviour". Hierbei ist zu beachten, dass z. T. nicht brünstige Tiere die genannten Verhaltensmuster ebenfalls zeigen (HURNIK et al. 1975). Aus diesem Grund wird beispielsweise ein Bespringen anderer Tiere als kein geeigneter Indikator für eine Brunst bezeichnet (ESSLEMONT et al. 1980; HURNIK et al. 1975; WILLIAMSON et al. 1972).

Der Duldungsreflex wird im Vergleich zu den bereits genannten äußeren Brunstsymptomen, wie beispielsweise Ruhelosigkeit, Brüllen oder der Aufsprungaktivität, als sichereres Zeichen betrachtet (DISKIN und SREENAN 2000; DRANSFIELD et al. 1998; ESSLEMONT et al. 1980; HURNIK et al. 1975). Jedoch gibt es Hinweise, dass nicht alle Tiere einen Duldungsreflex zeigen (HALL et al. 1959; PENNINGTON et al. 1986; WILLIAMSON et al. 1972). Andererseits ist für nicht brünstige Tiere bei stark eingeschränkten Ausweichmöglichkeiten dieses Symptom ebenfalls zu beobachten, was auf die umweltbedingte Beeinflussung dieses Merkmals hinweist (BRITT et al. 1986; HELMER und BRITT 1985; WILLIAMSON et al. 1972).

Mit den zur Brunst einhergehenden Veränderungen sind viele der beschriebenen Symptome als sehr variabel zu bezeichnen und erschweren somit eine Einstufung in den Brunstzustand (FOOTE 1975; FROST et al. 1997). Des Weiteren sind bei stillbrünstigen Tieren äußere Brunstsymptome nicht oder nur geringfügig erkennbar (GANGWAR et al. 1965; HALL et al. 1959; MENGE et al. 1962). Ein wichtiger Aspekt für die vorliegende Thematik ist der Unterschied der Ausprägung der Brunstsymptome zwischen Milchkühen und Jungrindern. Hierbei zeigen Ergebnisse von UNAL et al. (1986) im Vergleich zu Jungrindern bei

Milchkühen einen signifikant ausgeprägteren Duldungsreflex. Im Gegensatz dazu sprechen SAKAGUCHI et al. (2007) bei Jungrindern von klareren und intensiveren Brunstsymptomen als bei Milchkühen.

2.5 Einflussfaktoren auf die Ausprägung der Brunst

Wie beschrieben unterliegt die Intensität und Dauer der Brunst einer erheblichen Variabilität. Dies kommt in den stetig wechselnden Verhaltensänderungen der Tiere zum Ausdruck (ESSLEMONT und BRYANT 1976; FROST et al. 1997). Ursächlich dafür sind verschiedene Faktoren, die u. a. den Duldungsreflex nachweislich beeinflussen (BRITT et al. 1986; GWAZDAUSKAS et al. 1983; HELMER et al. 1985).

Der klimatische Einfluss wird von verschiedenen Autoren erwähnt (GANGWAR et al. 1965; GWAZDAUKUS 1985; HURNIK et al. 1975; REDDEN et al. 1993). Beispielsweise ist im Zusammenhang mit einer erhöhten Temperatur und Luftfeuchte von einer verkürzten Brunst auszugehen (GANGWAR et al. 1965). In der Untersuchung von BRITT et al. (1986) wird eine Temperatur zwischen 3.9 °C und 21.6 °C hingegen als nicht signifikanter Einflussfaktor bezeichnet. Weiterhin ist unter extremen Umweltbedingungen das gehäufte Auftreten einer stillen Brunst zu beobachten (GANGWAR et al. 1965; GWAZDAUKUS 1985). Für die Beziehungen zwischen dem Tierverhalten und der Physiologie unter Beeinflussung umweltbedingter Faktoren liegen weiterführende, deutliche Zusammenhänge aufzeigende Untersuchungen vor (ARMSTRONG 1994; COLLIER et al. 2006; MITLÖHNER et al. 2002). Dabei wirkt sich Stress grundsätzlich negativ auf die Dauer sowie die Intensität einer Brunst aus (GWAZDAUKUS 1985; ORIHUELA 2000).

Mit der Jahreszeit (GALINA und ARTHUR 1990) und der damit verbundenen Tageslänge (HANSEN und HAUSER 1984; PHILLIPS und SCHOFIELD 1990) beeinflussen weitere umweltbedingte Faktoren die Ausprägung der sexuellen Aktivität. Ebenfalls wird die Art des Haltungssystems genannt (KIDDY 1977; ORIHUELA 2000). Dabei ist besonders die Rutschfestigkeit und Trittfestigkeit der Laufflächen sowie genügend Fläche je Tier als positiver Faktor für die Ausprägung einer Brunst hervorzuheben (BRITT et al. 1986; DISKIN und SREENAN 2000). Ebenso wird der Einfluss der Fütterung von verschiedenen Autoren diskutiert (HURLEY et al. 1982; ORIHUELA 2000; WALKER et al., 2008). PENNINGTON et al. (1986) verweisen allgemein auf managementbedingte Einflüsse für die Ausprägung der sexuellen Aktivität. GWAZDAUKUS et al. (1983) nennen bei Milchkühen mit dem in der Herde mitlaufenden Bullen, dem Niveau der Milchleistung, der Laktationsnummer, dem

Haltungssystem, der Tageszeit, der Umgebungstemperatur sowie dem genetischen Einfluss gleich mehrere die Brunst beeinflussende Faktoren.

Weitere Einflussgrößen sind das Tier selbst sowie von der Gruppenstruktur ausgehende soziale Interaktionen (HALL et al. 1959; ORIHUELA 2000). Hierbei steigt mit der Anzahl brünstiger Tiere innerhalb einer Gruppe die Anzahl und Dauer der Aufsprünge pro Tier (ESSLEMONT et al. 1980; HURNIK et al. 1975; ROELOFS et al. 2005; VAN VLIET und VAN EERDENBURG 1996). Hingewiesen wird besonders auf die Wechselwirkung zwischen dem Haltungssystem und der sozialen Struktur innerhalb der Tiergruppe (DE SILVA et al. 1981; HURNIK et al. 1975). In diesem Zusammenhang spielen wiederum das Alter sowie der physiologische Entwicklungsstand des Tieres eine Rolle (ORIHUELA 2000).

2.6 Methoden der Brunsterkennung

Wie in den vorangegangenen Abschnitten erläutert, unterliegt die Ausprägung der Brunst einer Vielzahl von Einflussgrößen. Diese bewirken hormonelle, physiologische und verhaltensbedingte Veränderungen des Tieres (NEBEL et al. 2000). Viele der damit einhergehenden Brunstsymptome sind als sehr variabel und somit routinemäßig schwer erfassbar einzustufen (ALLRICH 1994). Unter Berücksichtigung dieser sowie ökonomischer Aspekte sind die idealen Voraussetzungen für die Brunsterkennung folgendermaßen definiert (SENGER 1994):

- eine permanente Überwachung der Tiere,
- eine sichere Tiererkennung,
- ein geringer Arbeitszeitaufwand,
- geringe Kosten,
- eine hohe Erkennungsrate bei gleichzeitig geringer Fehlerrate.

Als herkömmliche Methode gilt die visuelle Brunstbeobachtung (FIRK et al. 2002a; REIMERS et al. 1985; VAN VLIET und VAN EERDENBURG 1996). Bei deren Anwendung haben die Dauer, die Frequenz sowie der Zeitpunkt einen entscheidenden Einfluss auf deren Ergebnis (FOOTE 1975; VAN VLIET und VAN EERDENBURG 1996). Ein weiterer Erfolgsfaktor ist die Erfahrung und das Wissen des Tierhalters (VAN VLIET und VAN EERDENBURG 1996). Zwar lässt sich mit einer Intensivierung der visuellen Brunstbeobachtung von qualifiziertem Personal die Brunsterkennungsrate verbessern, jedoch ist eine durchgehende Beobachtung in der Praxis nicht umsetzbar (HOOGEVEEN et al. 1994). Diese zeitintensive Methode führt

besonders bei einer steigenden Herdengröße zu arbeitswirtschaftlichen Problemen (ERADUS et al. 1992). In diesem Zusammenhang bewerten DAY et al. (2008) die visuelle Brunstbeobachtung sogar als unzuverlässig. Aus diesen Gründen erklärt sich die Motivation für weitere Ansätze der Brunsterkennung (SENGER 1994).

Abgeleitet vom Brunstsymptom der Ruhelosigkeit bzw. einer erhöhten Bewegungsaktivität im Vergleich zur Zwischenbrunst gilt dieser Ansatz als aussichtsreiche Möglichkeit der Brunsterkennung (KIDDY 1977; LØVENDAHL und CHAGUNDA 2009; MAATJE et al. 1997). Weiterhin bezeichnen SPILKE et al. (2003) das Aktivitätsverhalten als Spiegelbild physiologischer Zustände sowie von der Umwelt auf das Tier wirkender äußerer Reize. Erste Untersuchungen zur Bewegungsaktivität bei Rindern sind von FARRIS (1954) beschrieben. Für Sauen wurde dieser Gedanke bereits zu einem früheren Zeitpunkt aufgegriffen (ALTMANN 1941). KIDDY (1977) spricht bei Kühen von einer um 393 % erhöhten Aktivität zur Brunst im Vergleich zur Zwischenbrunst. Zahlreiche weitere Studien belegen diesen Anstieg der Bewegungsaktivität (FROST et al. 1997; GALON 2010; KOELSCH et al. 1994; LEWIS und NEWMAN 1984; MAATJE et al. 1997; MOORE und SPAHR 1991; ROELOFS et al. 2005; RORIE et al. 2002; SCHOFIELD et al. 1991; WILLIAMS et al. 1981). Die Umsetzung der Aktivitätsmessung erfolgt dabei mittels unterschiedlicher Messsysteme.

Neben der visuellen und aktivitätsbasierten Brunsterkennung wird von weiteren Ansätzen berichtet. Diese dienen entweder der Unterstützung der visuellen Brunstbeobachtung oder sind als eigenständige Methoden zu betrachten. Ein Beispiel für eine, die visuelle Brunstbeobachtung unterstützende Methode ist die gezielte Nutzung eines Brunstkalenders. Weitere Hilfestellungen sind z. B. Farbpatronen oder -bälle auf dem Rücken der Tiere, die beim Bespringen durch Gruppenmitglieder eine Markierung hinterlassen (DINSMORE und CATTELL 1993). Ebenso ist eine Vielzahl an Untersuchungen zu verschiedenen Detektoren, die Informationen zum Aufsprungverhalten liefern, dokumentiert (DRANSFIELD et al. 1998; NEBEL et al. 1995; PIGGOTT et al. 1996; STEVENSON et al. 1996).

Methoden, die anhand physiologisch bedingter Änderungen zur Brunst getestet wurden, sind beispielsweise die Messung der Körpertemperatur (LEWIS und NEWMAN 1984; SCHLÜNSEN et al. 1987; WRENN et al. 1958;) bzw. bei laktierenden Kühen der Milchtemperatur (DE MOL et al. 1997; SCHLÜNSEN et al. 1987). PEDERSEN und PEDERSEN (1995) verwenden die Infrarotmessung bestimmter Körperstellen als Hilfsmerkmal für die Brunsterkennung. Mit Hilfe der rektalen Palpation der Eierstöcke lassen sich ebenfalls Rückschlüsse auf den Zyklusstand ziehen (BREWSTER und COLE 1941). Als nicht invasive Methode können

Ultraschallbilder der Eierstöcke vergleichbare Ergebnisse liefern (ROELOFS et al. 2005). Anhand des Vaginalsehleimes erfolgten Messungen des elektrischen Widerstandes (FOOTE et al. 1979; HECKMAN et al. 1979), des pH-Wertes (SCHILLING und ZUST 1968) bzw. kann dessen Zusammensetzung (ALLISTON et al. 1958) Aufschluss über den Brunstzustand geben. Außerdem wurden Versuche mit sterilisierten Bullen als Suchtiere durchgeführt (DONALDSON 1968 zit. nach SAWYER et al. 1986). Hormonbehandlungen kastrierter männlicher oder weiblicher Suchtiere sind ebenfalls dokumentiert (FOOTE 1975; MCDONALD et al. 1976). KIDDY et al. (1978) berichten von trainierten Hunden, die anhand des Geruchs brünstige Tiere erkennen und somit die visuelle Brunstbeobachtung erleichtern. Ebenso wurde die automatische Erfassung der Wiederkauaktivität untersucht (REITH et al. 2012). Eine weitere Möglichkeit der Brunsterkennung ist die Progesteronbestimmung (HECKMAN et al. 1979). Diese Methode wird von LØVENDAHL und CHAGUNDA (2010) als Goldstandard bezeichnet. Hierfür wird die in der Milch oder im Blutplasma erhöhte Progesteronkonzentration zur Brunst im Vergleich mit der Zwischenbrunst genutzt (MAATJE et al. 1997; NORUP et al. 2001; STEVENSON und BRITT 1977).

Es ist festzustellen, dass für die Brunsterkennung verschiedene Möglichkeiten existieren. Dabei gilt die Messung der Aktivität als weit verbreitete Methode und nimmt im Vergleich zu anderen Ansätzen eine besondere Stellung ein (STEINHÖFEL 2007). Ebenso rücken mit den daraus verfügbaren Informationen weitere Fragestellungen zur Fruchtbarkeit und Tiergesundheit in den Fokus (LØVENDAHL und CHAGUNDA 2006).

2.7 Methoden der Nutzung von Aktivitätsdaten zur Brunsterkennung

Die Erfassung der Aktivität mittels automatischer Messgeräte ist mit einem kontinuierlichen Anfall von Daten in Form einer Zeitreihe verbunden. Daraus ergibt sich die Herausforderung nach einer optimalen Nutzung dieser Informationen (DAY et al. 2008). Zielstellung der aktivitätsbasierten Brunsterkennung ist eine möglichst genaue, einzeltierspezifische Entscheidung für die Bewertung des Brunstzustandes in Abhängigkeit eines bestimmten Zeitintervalls. Hierbei ist zwischen Messwerten und durch Anwendung bestimmter Verfahren bereits modifizierter Werte zu unterscheiden. Weiterhin können die aktivitätsbasierten Daten für die Brunsterkennung mit weiteren Merkmalen kombiniert werden. Dies erfordert multivariate Auswertungsmethoden. Die wichtigsten Methoden sind im Folgenden aufgeführt.

Zeitreihenanalyse

Das Prinzip einer Zeitreihenanalyse zur Auswertung von Aktivitätswerten beruht auf einem Vergleich zwischen Daten zweier Abschnitte einer Zeitreihe. Deren Angabe erfolgt für einen Zeitraum A und einen zurückliegenden Zeitraum B. Überschreitet die Differenz dieser zeitraumabhängigen Werte einen unteren bzw. oberen festen oder dynamischen Grenzwert, wird eine Alarmmeldung generiert. Für die Bildung der auf Aktivitätsmessung basierenden Werte zweier zu vergleichender Zeiträume sind verschiedene Ansätze bekannt.

Gleitende Mittelwerte: Hierbei wird das arithmetische Mittel der berücksichtigten Werte wiedergegeben. In Abhängigkeit der Länge des betrachteten Zeitraumes bewirkt dieses Verfahren eine Glättung der zugrundeliegenden Aktivitätswerte. Vorteil ist die beliebige Variierung des Betrachtungszeitraumes.

Die Methode der gleitenden Mittelwerte findet in verschiedenen Untersuchungen zur Brunsterkennung Anwendung (AT-TARAS und SPAHR 2001; DELUYKER et al. 1990; MOTTRAM 1997; ROELOFS et al. 2005).

Exponentially-Weighted-Moving-Average (EWMA): Das zugrundeliegende Verfahren dieser Methode ist die exponentielle Glättung der Ausgangsdaten, die zur Berechnung gleitender Mittelwerte genutzt werden. Dabei nimmt das Gewicht der vorangegangenen Beobachtungen exponentiell ab. In diesem Zusammenhang wird der Begriff des "Gedächtnisses" einer Zeitreihe gebraucht.

Eine exponentielle Glättung gleitender Mittelwerte verwenden FIRK et al. (2003a) in Untersuchungen zur Brunsterkennung. Mit einer Glättung der Varianz zwischen täglicher und nächtlicher Aktivität sowie der Einführung eines Vergesslichkeitsfaktors nutzt PHILLIPS (1990) eine abgeänderte Variante.

Ein Vergleich aktivitätsbasierter Werte zweier Abschnitte einer Zeitreihe wird in weiteren Untersuchungen zur Brunsterkennung in unterschiedlichen Formen genutzt. Beispielsweise verwenden MOORE und SPAHR (1991) die Aktivitätsdaten zurückliegender Stunden und vergleichen diese mit dem Mittelwert der Aktivität zur gleichen Tageszeit in den letzten 3 Tagen. Mit einem Vergleich des aktuellen Aktivitätswertes und dem dazugehörigen mittleren Wert der vorangegangenen zwei bzw. drei Tage greifen RORIE et al. (2002) einen ähnlichen Ansatz auf. SAKAGUCHI et al. (2007) berichten in ihren Versuchen von einer 24-stündigen Vergleichsperiode, die einer Referenzperiode von drei bis sieben Tagen gegenübergestellt wird. ROELOFS et al. (2005) berechnen das Verhältnis der Aktivität von

zwei Stunden im Vergleich der zehn vorangegangenen Tage. SCHOFIELD et al. (1991) berücksichtigen in ihrem Algorithmus zur Brunsterkennung die Differenz zwischen der Tag- und Nachtaktivität der Tiere. Im Gegensatz dazu finden bei REDDEN et al. (1993) in einer Bewertung der Aktivität zur Brunst und der vorangegangenen Zwischenbrunst lediglich die Stunden des Tages Berücksichtigung. Ebenfalls beschreiben ARNEY et al. (1994) den Tagesvergleich von Aktivitätsdaten als Möglichkeit der Brunsterkennung. Unter Beachtung unterschiedlicher Längen von Abschnitten erhöhter Aktivitätswerte wenden LIU und SPAHR (1993) einen weiteren Ansatz an. KOELSCH et al. (1994) vergleichen in ihren Untersuchungen die mittleren Aktivitätswerte des Testtages mit dem eines Basisniveaus. AT-TARAS und SPAHR (2001) beziehen sich für die Brunsterkennung ebenfalls auf das Verhältnis der Aktivität zwischen zwei Zeitabschnitten.

Kalman-Filter

Benannt nach seinem Entdecker R. E. KÁLMÁN basiert diese 1960 veröffentlichte Theorie auf einer Folge mathematischer Gleichungen mit dem Ziel der Entfernung von durch Messgeräten verursachten Störungen. Es ist eine Methode zur Schätzung einer zeitvariablen Zustandsgröße und deren Kovarianzmatrix. Diese kann als Algorithmus verstanden werden, der die Grundsätze der Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate auf dynamische Systeme erweitert. Voraussetzung für eine Anwendung ist die Bekanntheit der mathematischen Struktur des zugrundeliegenden Systems sowie der Messfehler. Der Aufbau lässt sich in die Phasen der Initialisierung, der Aufdatierung neuer Beobachtungen (Korrektur-Algorithmus) sowie der Aufdatierung über ein Zeitintervall (Prädiktor-Algorithmus) gliedern. MAYBECK (1979) beschreibt das Kalman-Filter als eine Methode des "optimalen, rekursiven Algorithmus zur Datenverarbeitung". Zusammenfassend lässt sich die Filtertätigkeit dieser Methode mit dem Herausarbeiten von relevanten Trends oder Frequenzen, die von Fehlern überlagert sind, eines vorgegebenen Zeitabschnittes beschreiben.

DE MOL et al. (1997; 1999) nutzen in ihren Versuchen zur Brunsterkennung bei Milchkühen neben der Zeitreihenanalyse die beschriebene Methode des Kalman-Filters. Als Einflussgrößen werden neben der Bewegungsaktivität die Milchmenge, die Milchttemperatur, die viertelbezogene, elektrische Leitfähigkeit der Milch sowie die Kraffutteraufnahme getestet. In Bezug auf das Aktivitätsniveau in Ruhephasen kommt das Kalman-Filter in Untersuchungen von NADIMI et al. (2007) ebenfalls zum Einsatz. Weitere Forschungsergebnisse zur Anwendung des Kalman-Filters in Kombination mit anderen

Methoden zeigen nicht nur für die Brunsterkennung die Möglichkeit einer erfolgreichen Anwendung (DE MOL et al. 1997; DE MOL et al. 1999; VAN BEBBER et al. 1999).

Fuzzy Logic

Als Begründer der Fuzzy Logic Theorie gilt der amerikanische Systemtheoretiker und Professor für Elektrotechnik der Universität Berkeley L. A. ZADEH. Ursprüngliches Anliegen der Fuzzy-Systeme (engl. fuzzy: unscharf, vage, verschwommen) ist die Nachempfindung menschlicher Strategien (BORGELT et al. 2003, S. 151) bzw. die Übersetzung eines verbalen, von Menschen gebrauchten Denkschemas in ein formales Modell (ZIMMERMANN 1993). Zum Beispiel wird ein Autofahrer, der sich mit *hoher* Geschwindigkeit einer *scharfen* Linkskurve nähert, *etwas fester* auf die Bremse treten und das Lenkrad *stark nach links* einschlagen (AMMON 2008). Weitere Beispiele Aussagen wie "*schönes* Wetter", "ein *attraktives* Angebot" oder "eine *große* Zahl von Menschen" lassen darauf schließen, dass im täglichen Leben viele Begriffe nicht scharf abzugrenzen sind (BÖHME 1993).

In der klassischen binären Mengenlehre ist ein Element entweder einer Menge zugehörig oder nicht. BÖHME (1993) spricht hierbei vom Zweiwertigkeitsprinzip. Bei Fuzzy Logic erfolgt eine gleitende Zuordnung über eine zwischen 0 und 1 liegende Zugehörigkeitsfunktion. Diese äußert sich im Zugehörigkeitsgrad. Ebenso muss die Summe aller Einzelwahrscheinlichkeiten im Gegensatz zur Wahrscheinlichkeitsrechnung nicht 1 ergeben. Somit beinhaltet die Theorie der Fuzzy Sets (unscharfe Mengen) die klassische Mengenlehre, erweitert jedoch ihre Prinzipien (LACROIX et al. 1998). Der Aufbau eines Fuzzy Logic-Systems lässt sich in die Bereiche Fuzzifizierung, Fuzzy-Inferenz und Defuzzifizierung einteilen. Die Vorteile gegenüber dem binären System sind (ALMOND 1995; Fuzzy Logic Toolbox User's Guide 2000):

- Aufbau auf natürlicher Sprache,
- Flexibilität,
- Toleranz gegenüber ungenauen Daten,
- Möglichkeit der nachträglichen Modifizierung (Rekalibrierung),
- Modellierung nichtlinearer Funktionen beliebiger Komplexität,
- Einbeziehung von nicht gemessenem bzw. messbarem Hintergrundwissen,
- Möglichkeit der Verknüpfung mit herkömmlichen Kontrolltechniken.

Als Schwerpunkte der Anwendung von Fuzzy Logic in der Milchviehhaltung sind neben der Brunsterkennung Untersuchungen zu Eutergesundheitsstörungen oder Lahmheiten bekannt. Für diese Forschungsgebiete werden die Bewegungsaktivität, die tägliche Milchleistung, die Milchttemperatur, die Milchflussrate, sowie die elektrische Leitfähigkeit und Färbung der Milch als Einflussgrößen genutzt (AMMON 2008; CAVERO et al. 2006; DE MOL und WOLDT 2001; FIRK et al. 2003a; HOGEVEEN et al. 2009; KÖHLER 2002; LIBERATI 2003; SALEHI et al. 2000; YANG 1998).

Weitere Methoden

Künstliche neuronale Netze (KNN) sind datenverarbeitende Strukturen, bei denen Input- und Outputvariablen über netzartige Strukturen miteinander verknüpft sind (BORGELT et al. 2003, S. 3). Die entscheidende Eigenschaft ist, dass dieses Black-Box System durch entsprechendes Training selbstlernend ist und sich selbst optimiert. Das Funktionsprinzip folgt immer dem Schema Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe.

KRIETER et al. (2005) nutzen ein KNN zur Brunsterkennung. Als Input werden die Merkmale der Bewegungsaktivität sowie die Tage zur letzten Brunst verwendet. Weitere Anwendungen beziehen sich auf ein spezielles Entscheidungssystem für die Milchproduktion (HOGEVEEN et al. 1994), die Mastitiserkennung (HEALD et al. 2000; CAVERO et al. 2008) oder der Vorhersage der Milchleistung (AMMON 2008; SALEHI et al. 2000).

Entscheidungsbäume bieten die Möglichkeit Merkmale in einer vorgegebenen Abfolge miteinander zu verknüpfen. Dabei können die Anzahl der Stufen sowie die Merkmale innerhalb einer Stufe variieren. Die einzelnen Merkmale können gewichtet und mit bestimmten Regeln hinterlegt werden. Oft ist ein solcher Entscheidungsbaum auf Grundlage eines maschinellen Lernalgorithmus entstanden.

CARAVIELLO et al. (2006) stellen einen siebenstufigen alternierenden Entscheidungsbaum für das Reproduktionsmanagement in großen Milchviehbetrieben vor. In weiteren Arbeiten von GALLIGAN et al. (1991) und VAARST et al. (2002) sind vergleichbare Ansätze zu finden.

In der Literatur sind weitere Methoden zur Auswertung von Aktivitätsdaten bzw. Mehrmerkmalsansätzen beschrieben. Zum einen sind es theoretische Untersuchungen, zum anderen praktische, in Versuchen eingebundene Anwendungen. Zusammengefasst handelt es sich um verschiedenste Arten der Datentransformation, spezielle Algorithmen oder statistische Modelle (DE MOL und OUWELTJES 2000; DE VRIES und CONLIN 2003; FIRK et al.

2002b; LIBERATI und ZAPAVIGNA 2009; LÓPEZ-GATIUS et al. 2005; LØVENDAHL und CHAGUNDA 2010; NORUP et al. 2001; RANKIN et al. 1992).

2.8 Effizienz der aktivitätsbasierten Brunsterkennung

Für die Bewertung der aktivitätsbasierten Brunsterkennung sind mit der visuellen Brunstbeobachtung, der Progesteronuntersuchung, des Ultraschalls der Ovarien, der rektalen Palpation oder einer positiven Trächtigkeitsuntersuchung unterschiedliche Referenzen bekannt. Ausgehend vom Ereignis „Brunst“ können die Ergebnisse einer zu bewertenden Methode und der genutzten Referenz miteinander verglichen und mit Hilfe eines Grenzwertes in die Kategorien wahr positiv, falsch positiv, wahr negativ und falsch negativ eingeteilt werden. Die Verhältnisse dieser Kategorien werden in der Literatur durch folgende Kriterien beschrieben:

$$\text{Sensitivität / Erkennungsrate} = \frac{TP}{(TP + FN)} \cdot 100 \quad (1)$$

$$\text{Genauigkeit / Accuracy} = \frac{TP}{(TP + FP)} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\text{Fehlerrate} = \frac{FP}{(FP + TP)} \cdot 100 \quad (3)$$

$$\text{Spezifität} = \frac{TN}{(FP + TN)} \cdot 100 \quad (4)$$

Tabelle 2 gibt einen Überblick zu aktivitätsbasierten Untersuchungen der Brunsterkennung. Zu beachten ist, dass diese zum Großteil an Milchkühen durchgeführt wurden. Versuche mit Jungrindern sind gesondert gekennzeichnet (*). Angegeben werden die Kriterien der Erkennungsrate (ER), der Genauigkeit (GE), der Fehlerrate (FR) sowie der Spezifität (SP). Die aufgeführten Ergebnisse beziehen sich auf eine unterschiedliche Anzahl von Tieren sowie Daten der Brunstbeobachtung unter Anwendung unterschiedlicher Mess- und Auswertungsmethoden. Hierbei ist zwischen Untersuchungen, in denen lediglich die Aktivitätsmessung als Grundlage der Brunsterkennung dient, und multivariaten Ansätzen zu unterscheiden. Für Erstere werden zur Auswertung verschiedene Varianten der

Zeitreihenanalyse genutzt, wobei eine Kombination der Aktivität mit weiteren Merkmalen multivariate Analysemethoden erfordert.

Tabelle 2: Ausgewählte Ergebnisse zur aktivitätsbasierten Brunsterkennung mittels der Kriterien Erkennungsrate (ER), Genauigkeit (GE), Fehlerrate (FR) und Spezifität (SP)

Autor	Merkmale	Auswertungsmethode	ER (%)	GE (%)	FR (%)	SP (%)
Kiddy 1977	Aktivität	Zeitreihenanalyse	98	-	-	-
Williams et al. 1981 *	Aktivität	Zeitreihenanalyse	74 68	- -	42 17	- -
Moore und Spahr 1991	Aktivität	Zeitreihenanalyse	55	21	79	-
Schofield et al. 1991	Aktivität	Zeitreihenanalyse	100	-	33	-
Liu und Spahr 1993	Aktivität	Zeitreihenanalyse	86 74 61	46 67 83	54 33 17	- - -
Redden et al. 1993	Aktivität	Zeitreihenanalyse	80	-	17	-
Koelsch et al. 1994	Aktivität	Zeitreihenanalyse	72	98	-	-
De Mol et al. 1997	Aktivität, Tagesmilchmenge, Milchtemperatur	Kalman Filter	83-94	-	-	95-98
Maatje et al. 1997	Aktivität, Tagesmilchmenge, Milchtemperatur	Kalman Filter	86.5	-	-	96.9
Yang 1998	Aktivität	Zeitreihenanalyse	97.1 87.3 66.7	- - -	70.5 16.9 6.9	- - -
	Aktivität, Tagesmilchmenge	Fuzzy Logik	90.2	-	17.9	-
De Mol et al. 1999	Aktivität, Tagesmilchmenge, Milchtemperatur, Futteraufnahme	Kalman Filter	94.2 86.5 82.5	- - -	- - -	94.5 96.9 98.1

Autor	Merkmale	Auswertungsmethode	ER (%)	GE (%)	FR (%)	SP (%)
Eradus und Jansen 1999	Aktivität	Zeitreihenanalyse	90	-	75	-
			55	-	30	-
	Aktivität, Laktationstag	KNN	75	-	30	-
	Aktivität, Laktationstag, letzte Brunst	KNN	90	-	10	-
De Mol und Woldt 2001	Aktivität, Tagesmilchmenge,	Fuzzy Logik	79	-	-	98.1
	Milchtemperatur,		78	-	-	98.4
	Reproduktionsstatus, Laktationstag		73	-	-	98.8
Firk et al. 2003b	Aktivität	Zeitreihenanalyse	91.7	-	34.6	98.2
	Aktivität, letzte Brunst	Fuzzy Logik	87.9	-	12.5	99.5
Wangler et al. 2005	Aktivität	Zeitreihenanalyse	73-95	-	54-80	-
Sakaguchi et al. 2007 *	Aktivität (Halsband, Weide)	Zeitreihenanalyse	100	32	-	-
	Aktivität (Halsband, Stall)	Zeitreihenanalyse	92	34	-	-
	Aktivität (Gliedermaßen, Weide)	Zeitreihenanalyse	100	83	-	-
	Aktivität (Gliedermaßen, Stall)	Zeitreihenanalyse	78	83	-	-
Løvendahl und Chagunda 2010	Aktivität	Zeitreihenanalyse	74.6	-	1.3	-

* Untersuchungen bei Jungrindern

Es wird deutlich, dass für die in Tabelle 2 dargestellten Untersuchungsergebnisse die genutzten Kriterien jeweils nicht vollständig verfügbar sind. Diese gehen aus anderen Versuchsergebnissen ebenfalls nicht eindeutig hervor bzw. werden neben der Erkennungsrate keine weiteren Kriterien ausgewiesen (AT-TARAS und SPAHR 2001; KIDDY 1977; ROELOFS et al. 2005). Ebenfalls ist eine nachvollziehbare Beschreibung der Auswertungsmethodik nicht immer gegeben. Beispielsweise wird in Ausführungen von SCHLÜNSEN et al. (1987) lediglich von einem computergestützten System, das Daten miteinander verknüpft und hinsichtlich der Brunsterkennung optimiert, gesprochen.

Es ist festzustellen, dass die aktivitätsbasierte Brunsterkennung ein geeigneter Ansatz für die Brunsterkennung zu sein scheint. Hierbei wird deren Praxisrelevanz durch vergleichende Studien, in denen gegenüber der visuellen Brunstbeobachtung eine verbesserte Brunsterkennung nachgewiesen ist, belegt (AT-TARAS und SPAHR 2001; LEHRER et al. 1992; LIU und SPAHR 1993; RORIE et al. 2002; XU et al. 1998). Weiterhin wird für die Kombination

geeigneter Methoden, insbesondere der visuellen Brunstbeobachtung mit der Aktivitätsmessung, von einer verbesserten Brunsterkennung berichtet (Maatje et al. 1997; PENNINGTON et al. 1986; VAN ASSELDONK et al. 1998; VAN VLIET und VAN EERDENBURG 1996; WILLIAMS et al. 1981). Hierbei sehen SCHLÜNSEN et al. (1987) den Vorteil in einer Reduzierung falsch erkannter Brünste und betonen die Wichtigkeit einer kontinuierlichen Erfassung genutzter Hilfsmerkmale.

2.9 Schlussfolgerungen aus der Literaturübersicht

Schlussfolgernd ist festzustellen, dass der Brunstzyklus sowie damit einhergehende Themen aufgrund der wirtschaftlichen Relevanz der Brunsterkennung Gegenstand vielfältiger Untersuchungen sind. Besonders hervorzuheben ist die Variabilität der Ausprägung einer Brunst und zugehöriger Symptome in Abhängigkeit verschiedener Faktoren. Für die automatische Brunsterkennung gilt die Erfassung der Aktivität als besonders aussichtsreicher Ansatz. Dabei stehen zur Nutzung entsprechender Daten unterschiedliche Methoden bereit. Ein Vergleich bekannter Untersuchungsergebnisse anhand der Effizienzkriterien ist aufgrund der spezifischen Versuchsbedingungen sowie Auswertungsmethoden jedoch nur eingeschränkt möglich.

In Hinblick auf die Brunsterkennung in der landwirtschaftlichen Praxis spiegeln sich die zugehörigen Versuchsergebnisse nur bedingt wider. Besonders die Entwicklung gesteigerter Herdengrößen in Verbindung mit einem abnehmenden Besatz an Arbeitskräften führen speziell im Bereich der Brunstbeobachtung zu einer Reduzierung der einzeltierspezifischen Betreuung (FOOTE 1975; HACKETT et al. 1984; MAATJE et al. 1997; RAUSSI 2003). Die Folge ist eine sich in den letzten Jahren tendenziell verschlechternde Trächtigkeitsrate und ein sich erhöhender Besamungsaufwand beim Jungrind (STEINHÖFEL 2007). In Bezug auf die nach SENGER (1994, vgl. S. 9) genannten optimalen Voraussetzungen der Brunsterkennung wird diese Thematik, insbesondere in der landwirtschaftlichen Produktion, sowohl in älterer und neuerer Literatur als problematisch bezeichnet und mit der Forderung nach weiterem Forschungsbedarf erörtert (DE MOL et al. 1997; CARAVIELLO et al. 2006; LØVENDAHL und CHAGUNDA 2010; NEBEL et al. 2000; NORUP et al. 2001; PENNINGTON et al. 1986; ROELOFS et al. 2010; ROUNSAVILLE et al. 1979; STEVENSON und BRITT 1977; VAN VLIET und VAN EERDENBURG 1996).

3 Material

Für die Beschreibung der Aktivitätsdynamik stehen Daten eines Produktionsbetriebes mit Jungrinderaufzucht von Tieren der Population Deutsche Holstein-Friesian in Thüringen zur Verfügung. Die Jungrinderaufzucht ist in drei Gebäudekomplexe unterteilt. Für die Aufzucht der Kälber steht ein Außenklimastall mit Strohhaltung zur Verfügung. Zur Jungrinderhaltung wird ein Warmstall mit Vollspaltenboden und abgrenzendem Auslauf auf Stroh genutzt. Der dritte Komplex, ein Warmstall mit Vollspaltenboden und Außenliegeboxen, dient der Haltung der tragenden Jungrinder. Die mittlere Bestandsgröße beträgt etwa 250 Tiere, wobei sich die zur Aufzucht vorgesehenen Tiere ab etwa zwei Wochen nach der Geburt bis etwa zwei Wochen vor der Kalbung im Betrieb befinden. Innerhalb der genannten Gebäudekomplexe werden die Tiere in Gruppen von etwa 20 bis 60 Tieren gehalten, wobei die Umstellung in Abhängigkeit von Widerristhöhe und Gewicht erfolgt. Die verfügbaren Daten stammen aus dem Zeitraum von Februar 2010 bis März 2012. Eine Zuordnung aller anfallenden Daten zum entsprechenden Tier erfolgt über eine eindeutige Tierkennzeichnung und deren Abgleich mit den jeweiligen Daten des Herdenmanagementprogrammes bzw. des Systems zur Aktivitätsmessung. Der daraus hervorgehende Originaldatensatz wird von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Form einer Microsoft Access-Datenbank zur Verfügung gestellt.

Die relevanten Daten zur Beschreibung der Aktivität werden über das ALPRO-System (Version 6.63) der Firma DeLaval erfasst. Der Aktivitätssensor, genannt Respaktor, ist dabei am Halsband der Tiere angebracht. Die im Betrieb aufgezogenen Tiere werden nach dem Absetzen im Alter von etwa drei Monaten mit einem solchen Messgerät ausgestattet. Das zugrunde liegende Funktionsprinzip beruht auf einer Metallkugel, die sich zwischen zwei Kupferspulen befindet. Beim Anschlagen der Kugel, hervorgerufen durch die Aktivität des Tieres, wird dieser Impuls gespeichert. Durch das im Respaktor integrierte 8-Bit System wird die Zeiteinheit einer Stunde in 256 Abschnitte eingeteilt. Für jeden der sich daraus ergebenden Zeitabschnitte von jeweils etwa 14 Sekunden wird erfasst, ob ein Impuls vorliegt oder nicht. Ein Aktivitätswert ist somit als die Summe der einzelnen Zeitabschnitte mit einem Impuls innerhalb der zugehörigen Stunde zu verstehen. Die im Respaktor gespeicherten Daten werden regelmäßig per Funk ausgelesen und in einer Datenbank gespeichert. Als Ergebnis der Aktivitätsmessung liegen für jedes Tier zu jeder Stunde Zählraten im Wertebereich zwischen 0 und 256 vor. Zusätzlich werden mit Hilfe eines internen Berechnungsalgorithmus des ALPRO-Systems Alarmmeldungen für eine Brunst ausgegeben.

Die visuelle Brunstbeobachtung wird routinemäßig vier mal täglich vom Stallpersonal in der Zeit zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr für jeweils etwa 30 min durchgeführt. Diese erfolgt unabhängig von Informationen des ALPRO-Systems. Die Kriterien einer positiven Brunstbeobachtung sind der Duldungsreflex sowie weitere äußere Brunstsymptome. Für jede Brunst wird innerhalb der Erfassungszeiten die Tagesstunde der ersten und letzten Beobachtung erfasst. Weiterhin sind Daten zur Besamung sowie der Trächtigkeitsuntersuchung verfügbar.

4 Beschreibung der Aktivitätsdynamik von Jungrindern

4.2 Methoden

4.2.1 Nutzung der Aktivitätswerte

Zur Beschreibung der Aktivitätsdynamik werden die stündlichen Aktivitätswerte im Zeitraum von Februar 2010 bis März 2011 betrachtet. Mit Hilfe der Aufzeichnungen des stundenspezifischen Start- und Endpunktes der visuell beobachteten Brunst ist es möglich, für jeden der stündlich vorliegenden Aktivitätswerte eine Klassifizierung in "brünstig" oder "nicht brünstig" vorzunehmen. Jedoch sind für die Nutzung der Aktivitätswerte Einschränkungen sowohl auf der Ebene des Jungrinderbestandes als auch des Einzeltieres notwendig. Einschränkungen auf Ebene des Bestandes sind:

- Tage der monatlichen Mess- und Wiegetermine,
- Zeiträume des Klauenschneidens,
- Zeiträume von Systemausfällen des ALPRO-Systems.

Einschränkungen auf Ebene des Einzeltieres sind:

- Daten von Tieren mit krankheitsbedingten Abgängen,
- Altersabschnitte mit einer positiven Trächtigkeit bzw. außerhalb der Lebenstage 340 bis 550,
- Daten von Tieren mit <2 visuellen Brunstbeobachtungen,
- Zeiträume, in denen sich der Respaktor nicht am Tier befindet.

Der zuletzt genannte Grund einer einzeltierspezifischen Einschränkung bezieht sich darauf, dass Tiere ihr Halsband verlieren. Diese Zeiträume, vorausgesetzt das Halsband unterliegt keinen mechanischen Einflüssen, sind für das zugehörigen Tier in Form von stündlichen Aktivitätsdaten mit Nullwerten abgespeichert. In Zusammenhang mit dem Auftreten vereinzelter, v. a in den Nachtstunden, plausibler Nullwerte ergibt sich die Problematik, dass der Ausgangsdatensatz nicht um alle Nullwerte bereinigt werden sollte. Weiterhin ist zu beachten, dass für ein nachweislich nicht am Tier befindliches Halsband aufgrund umweltbedingter Einflüsse, wie beispielsweise Tritt oder Stoß, dennoch Aktivitätswerte >0 auftreten können. Um lediglich plausible Aktivitätswerte zu berücksichtigen, erfolgt eine Bereinigung nach folgenden Kriterien:

- ≥ 3 aufeinanderfolgende Nullwerte je Stunde: Zeitraum von erster bis letzter Null,
- ≥ 6 stündliche Nullwerte pro Tag: gesamter Tag.

Die Auswirkungen der getroffenen Einschränkungen auf die Anzahl der stündlichen Beobachtungswerte bzw. die Tieranzahl sind in Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 3: Bereinigung des Ausgangsdatensatzes in Abfolge der aufgeführten Einschränkungen

	betroffene Tiere	betroffene Beobachtungswerte	verbleibende Tiere	verbleibende Beobachtungswerte
Ausgangsdatensatz			399	2626128
krankheitsbedingter Abgang	9	33288	390	2592840
Messtermine	-	6348	390	2586492
Klauenschneider	-	878	390	2585614
Systemausfälle	-	5740	390	2579874
unplausible Bereiche aufgrund von Nullwerten	-	57615	390	2522259
Lebensstage: < 340 und $> 550 / TU+$	112	1586139	278	936120
< 2 visuelle Brunstbeobachtungen	48	364007	230	572113
verfügbarer Datensatz			230	572113

In Abhängigkeit der in Tabelle 3 durchgeführten Bereinigungs-schritte werden mit etwa 1.6 Mio. Datensätze die meisten Beobachtungswerte durch die Einschränkung des zu betrachtenden Lebensalters verworfen. Die weiteren in Tabelle 3 genannten Kriterien führen zu einem Anteil an zu verwerfenden Beobachtungswerten des Ausgangsdatensatzes von etwa 18 %.

Die erläuterten Schritte zur Datenaufbereitung erfolgen mittels geeigneter Abfragen innerhalb von Microsoft Access (Version 2003). Aufgrund der Bereinigung des Ausgangsdatensatzes mit 399 Tieren stehen für die Analyse 230 Tiere mit insgesamt 572113 stündlichen Aktivitätswerten zur Verfügung.

4.2.2 Lineares gemischtes Modell

4.2.2.1 Grundlagen

Ziel der Anwendung eines linearen gemischten Modells ist im vorliegenden Sachzusammenhang die Beschreibung der Aktivitätsdynamik in Abhängigkeit verschiedener Einflussgrößen. Damit sollen beispielsweise Aussagen darüber getroffen werden, zu welchen Zeitpunkten ausgeprägte Unterschiede zwischen brünstigen und nicht brünstigen Zuständen zu erwarten und somit in besonderer Weise zur Brunsterkennung geeignet sind. Die Anforderungen einer zweckmäßigen Auswertung des verfügbaren Datenmaterials sprechen für den gewählten Ansatz eines linearen gemischten Modells.

Die einbezogenen Effekte können sowohl fest als auch zufällig sein sowie in qualitativer und quantitativer Form vorliegen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Berücksichtigung wiederholter Beobachtungen je Tier. Die beobachteten Aktivitätswerte werden in einem Vektor \underline{y} gesammelt und als Realisation eines Zufallsvektors \underline{y} angesehen. Für diesen gilt das folgende in Matrixdarstellung aufgeführte Modell:

$$\underline{y} = X\beta + Zu + e \quad (5)$$

Hierbei sind:

- X: Versuchsplanmatrix (Designmatrix) der festen Modelleffekte,
- β : Vektor der unbekanntesten festen Effekte,
- Z: Versuchsplanmatrix der zufälligen Effekte,
- \underline{u} : Vektor der unbekanntesten zufälligen Effekte,
- \underline{e} : Vektor der unbekanntesten zufälligen Resteffekte.

Weiterhin gilt:

$$\begin{aligned} E(\underline{y}) &= X \beta, & \text{Var}(\underline{y}) &= ZGZ' + R = V, \\ \underline{u} &\sim N(0; G), & \underline{e} &\sim N(0; R), \\ \underline{e} &\sim N(0; R), & \text{Cov}(\underline{u}, \underline{e}') &= 0. \end{aligned}$$

Zusammenfassend ergibt sich für die Varianzen und Kovarianzen:

$$\text{Var} \begin{pmatrix} \underline{y} \\ \underline{u} \\ \underline{e} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & R \\ GZ' & G & 0 \\ R & 0 & R \end{bmatrix}$$

(HENDERSON 1990, S. 1 ff).

4.2.2.2 Vorgehensweise zur Modellwahl

Entsprechend der fachlichen Fragestellung für die Beschreibung der Aktivitätsdynamik besteht die Aufgabe in der Bestimmung eines geeigneten Auswertungsmodells. Dabei wird auf die bei MIELENZ et al. (2006) und SPILKE et al. (2009) beschriebene zweistufige Vorgehensweise zurückgegriffen:

1. Stufe: - Optimierung der Erwartungswertstruktur, d. h. Bestimmung der einzubeziehenden festen Effekte.
2. Stufe: - Optimierung der Kovarianzstruktur, d. h. Bestimmung der einzubeziehenden zufälligen Effekte und deren Varianz-Kovarianz-Matrix.

Eine Überprüfung der gewählten Erwartungswertstruktur in Stufe 1 erfolgt durch eine Residuenanalyse. Die Überprüfung der gewählten Kovarianzstruktur aus Stufe 2 ist durch den Vergleich der beobachteten Varianzfunktion der Residuen und der geschätzten Varianzfunktion vorzunehmen. Als Beurteilungskriterium der Güte verschiedener Modelle wird das, auf dem Akaike-Kriterium (AKAIKE 1969) basierende, Informationskriterium AICC (HURVICH UND TSAI 1989) sowie das Schwarzsche Bayes-Kriterium (SCHWARZ 1978) BIC genutzt. Bei Nutzung der Informationskriterien in der im Folgenden angeführten Form, ist das Modell mit dem geringsten Wert zu bevorzugen.

Die Berechnung der Informationskriterien zur Wahl der Erwartungswertstruktur erfolgt unter Verwendung der *Maximum-Likelihood-Methode* (ML) nach folgender Vorschrift (vgl. SAS 2009; SPILKE et al. 2009):

$$AICC_{ML} = -2\log L + \frac{2n(p_x + q)}{n - (p_x + q) - 1} \quad (6)$$

und

$$BIC_{ML} = -2\log L + (p_x + q)\log(n) \quad (7)$$

Dabei gibt p_x den Rang der Designmatrix X der festen Effekte und q die Anzahl der zu schätzenden Varianzkomponenten an. Die Anzahl der Beobachtungswerte wird mit n bezeichnet.

Eine auf dem besten Erwartungswertmodell basierende Wahl der Kovarianzstruktur erfolgt wiederum mit Hilfe der Informationskriterien AICC und BIC. Sie beruht jedoch auf der mit der *Restricted-Maximum-Likelihood-Methode* (REML) optimierten Likelihood. Als Berechnungsgrundlage dienen die folgenden Formeln:

$$AICC_{REML} = -2\log_R L + \frac{2nq}{n - q - 1} \quad (8)$$

und

$$BIC_{REML} = -2\log_R L + q\log(n^*) \quad (9)$$

Die Kennzeichnung n^* beim BIC bezieht sich auf die Beachtung der Anzahl an Effektstufen des ersten zufälligen Effektes.

Die Modellwahl erfolgt unter Verwendung der Prozedur MIXED aus dem Programmpaket SAS (SAS 2009). In den vorliegenden Untersuchungen erweisen sich Modelle mit einer hohen Komplexität der Kovarianzstruktur als erforderlich. Diese sind jedoch beim gegenwärtigen Entwicklungsstand der Prozedur MIXED rechentechnisch nicht durchgehend umsetzbar. Daher wird mit ASReml (GILMOUR et al. 2006) ein weiteres Programm genutzt.

Bei der Anwendung zweier unterschiedlicher Programme zur Optimierung der Kovarianzstruktur ist eine Vergleichbarkeit der Werte für die Güte der Modellanpassung sicherzustellen. Hierbei ist zu beachten, dass der ASReml-Output keine Angaben zu den genutzten Informationskriterien AICC und BIC enthält. Diese lassen sich jedoch mit Hilfe des Wertes der Likelihoodfunktion, der sowohl durch SAS als auch ASReml ausgegeben wird, berechnen. Dabei führt die Bereitstellung von Schätzwerten der Kovarianzen im linearen gemischten Modell nach der REML-Methode (PATTERSON und THOMPSON 1971) zu einer Likelihoodfunktion, die unter Verwendung von V^{-1} in folgender Weise dargestellt werden kann (vgl. SEARLE et al. 1992, S. 323 ff. und 452 ff.):

$$l(V | y) = -\frac{1}{2} \{ \text{const} + \log |V| + \log |(X_f)'V^{-1}(X_f)| + y'Py \}$$

$$P = V^{-1} - V^{-1}X_f[(X_f)'V^{-1}(X_f)]^{-1}(X_f)'V^{-1} \quad (10)$$

In dieser Darstellung besitzt die Matrix X_f vollen Spaltenrang. Somit gilt:

$$\text{Rang}(X) = \text{Rang}(X_f) = p_f \leq p \quad (11)$$

In der SAS-Prozedur Mixed wird zur Angabe des Log Likelihood-Funktionswertes aus der REML-Methode die folgende Beziehung ausgenutzt:

$$y'Py = r'V^{-1}r \quad \text{mit} \quad r = y - X_f[(X_f)'V^{-1}(X_f)]^{-1}(X_f)'V^{-1}y \quad (12)$$

Zusätzlich wird gesetzt:

$$\text{const} = (n - p_f) \log(2\pi) \quad (13)$$

Der Vergleich der Formulierung der Log Likelihood der REML-Methode zwischen der SAS-Prozedur Mixed und ASReml ergibt für identische Modelle der festen Effekte eine konstante Differenz, die in der Nichtbeachtung von $(n - p_f) \log(2\pi)$ in ASReml begründet ist. Damit lassen sich die Ergebnisse der Log Likelihood zwischen SAS und ASReml ineinander umrechnen.

Wie bei der Modellwahl beschrieben, wird mit Hilfe von Informationskriterien zwischen verschiedenen Varianten das Modell mit der besten Anpassung ausgewählt. Außerdem müssen für die Gültigkeit des Vorzugsmodells bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Hierfür steht mit der Residuenanalyse ein geeignetes Instrument zur Verfügung (BELSLEY et al. 1980; COOK und WEISBERG 1982; NOBRE und SINGER 2007). Mit dieser Methode werden die Residuen, die sich aus der ordinary-least-square (OLS) Analyse ableiten, sowohl für die Überprüfung der Erwartungswert- als auch der Kovarianzstruktur genutzt.

Im idealen Fall einer Berücksichtigung aller systematischen Effekte durch das gewählte Modell in Stufe 1 sollte das Mittel der OLS-Residuen annähernd Null betragen. Weiterhin sollte in Abhängigkeit zur betrachteten Zeiteinheit kein systematischer Trend der Residuen erkennbar sein. Dies wird mit Hilfe der lokal angepassten Regression überprüft (CLEVELAND et al. 1988; CLEVELAND und GROSSE 1991) und mit der Prozedur LOESS (SAS 2009) umgesetzt. Die Überprüfung der in Stufe 2 gewählten zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur erfolgt durch den Vergleich der Varianzfunktion der OLS-Residuen und der geschätzten Varianzfunktion. Als weitere zu erfüllende Voraussetzung sollte die Verteilung aller zufälligen Effekte hinsichtlich der Residuen des Vorzugsmodells annähernd einer Normalverteilung entsprechen.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Wiederholungsgenauigkeit der Aktivitätsmessung

In diesem Abschnitt soll die Wiederholungsgenauigkeit der Aktivitätsmessung überprüft werden. Da die Erfassung der stündlichen Aktivität in Abhängigkeit der Tagesstunde erfolgt, ist eine Wiederholbarkeitsmessung anhand ein und desselben Gerätes nicht möglich. Aus diesem Grund sind für die durchzuführende Überprüfung die stündlichen Aktivitätswerte zweier Messgeräte auszuwerten, die sich zur selben Zeit am selben Tier befinden.

Im vorliegenden Versuch sind sechs zufällig ausgewählte Tiere mit jeweils zwei Aktivitätssensoren ausgestattet worden. Um die zeitliche Vergleichbarkeit der stündlichen Messwerte sicherzustellen, wurden die beiden Messgeräte eines entsprechenden Paares im Abstand von etwa 15 Sekunden neu gestartet. Für die Auswertung stehen die stündlichen Aktivitätswerte von sechs Tieren mit jeweils zwei zeitgleichen Zeitreihen eines einwöchigen Versuchszeitraumes zur Verfügung. Dabei werden für jedes Messgerätepaar die dazugehörigen Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben. Weiterhin wird der Zusammenhang der beiden zeitgleichen Zeitreihen eines Paares in Form der Rangkorrelation berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Statistische Maßzahlen und Rangkorrelation (Spearman) für die Aktivitätsmessung (Anschläge pro Stunde) mit Hilfe paarweiser Messgeräte pro Tier

Paar	A	B	C	D	E	F
Mittelwert (Gerät 1: Gerät 2)	41.2 : 40.2	47.5 : 56.0	81.7 : 89.6	69.6 : 69.5	47.5 : 52.9	64.0 : 71.7
Standardabweichung (Gerät 1: Gerät 2)	38.7 : 36.9	47.4 : 36.5	67.4 : 70.5	48.3 : 50.7	45.8 : 48.4	45.9 : 49.6
r_s	0.58	0.57	0.78	0.99	0.95	0.94

Ein Vergleich der statistischen Maßzahlen zwischen den beiden Geräten eines Paares zeigt für alle betrachteten Fälle geringe bis größere Unterschiede. Für den Zusammenhang der Aktivitätsmessung lässt sich für drei Gerätepaare (D, E, F) eine sehr hohe Korrelation nachweisen. Bei weiteren drei Paaren (A, B, C) wird eine mittlere Korrelation geschätzt.

Schlussfolgernd ist für die Hälfte der Geräte von einer hohen Zuverlässigkeit der Aktivitätsmessung auszugehen. Aufgrund der mittleren Korrelationen der restlichen Paare lässt sich ein unbefriedigender Zusammenhang nachweisen.

4.3.2 Einflussgrößen auf die Aktivität

Datengrundlage der durch ein geeignetes Auswertungsmodell zu beschreibenden Aktivitätsdynamik sind 572113 stündlichen Aktivitätswerte (vgl. Tabelle 3). Diese weisen mit einem Mittelwert von 62.62 und einer Standardabweichung von 54.52 eine hohe Variabilität auf. Die Einbeziehung der betrachteten Einflussgrößen bzw. deren Kombination zur Beschreibung der Aktivitätsdynamik erfolgt aus sachlogischen Gründen. Dies sind:

- fixe qualitative Effekte: Testtag, Monat, Tagesstunde, Brunstzustand,
- zufälliger qualitativer Effekt: Tier.

Die verfügbaren Daten wurden an 397 Testtagen in 14 Monaten mit jeweils maximal 24 Tagesstunden von insgesamt 230 Tieren erhoben. Weiterhin wird für den Brunstzustand zwischen "brünstig" und "nicht brünstig" unterschieden. Zu beachten ist, dass die Einflussgröße des Monats das Mittel der Testtage im dazugehörigen Monat widerspiegelt und somit für eine Modellierung der Aktivitätsdynamik in Abhängigkeit des saisonalen Jahresverlaufes der Einflussfaktor des Monats erforderlich ist. Weiterhin wird der Effekt des Testtages in der Modellentwicklung als fester Einflussfaktor geprüft.

4.3.3 Modellentwicklung der Erwartungswertstruktur

Für die Optimierung der Erwartungswertstruktur sind auf Grundlage einer sachlogischen Kombination der fixen qualitativen Effekte verschiedene Modellvarianten unter Verwendung der ML-Methode zusammenfassend darzustellen. Im Einzelnen sind dies die Effekte des Testtages l ($l = 1, 2, \dots, 397$), der Monatsklasse i ($i = 1, 2, \dots, 14$), des Brunstzustandes j ($j = 0, 1$) sowie der Uhrzeit t ($t = 1, 2, \dots, 24$). Die Beobachtung y_{ijt} ist in Abhängigkeit der einzubeziehenden festen Effekte als Realisation einer Zufallsvariablen y_{ijt} zu verstehen.

Hierzu sind in Tabelle 5 verschiedene Varianten zur Entwicklung der Erwartungswertstruktur dargestellt, wobei neben der Spalte der festen Effekte bzw. deren Kombinationen der mit -2 multiplizierte Log Likelihood-Funktionswert sowie die Informationskriterien AICC und BIC angegeben werden. Weiterhin enthält jede Modellvariante einen zufälligen Resteffekt, der in Tabelle 5 nicht gesondert aufgeführt wird.

Tabelle 5: Modellentwicklung der Erwartungswertstruktur mit Angabe der festen Effekte, des Funktionswertes der Log Likelihood der ML-Methode und der Informationskriterien AICC und BIC

Variante	feste Effekte	-2 Log Likelihood	AICC _{ML}	BIC _{ML}
E1	Testtag	6191995	6192792	6197271
E2	Monat	6195111	6195141	6195310
E3	Uhrzeit	6006718	6006768	6007050
E4	Brunstzustand	6176636	6176642	6176676
E5	Monat; Uhrzeit	6001161	6001237	6001664
E6	Monat*Uhrzeit	5942447	5943121	5946914
E7	Uhrzeit; Brunstzustand	5979455	5979507	5979799
E8	Uhrzeit*Brunstzustand	5977453	5977551	5978103
E9	Monat; Uhrzeit; Brunstzustand	5973361	5973439	5973878
E10	Monat*Uhrzeit; Brunstzustand	5912737	5913414	5917218
E11	Monat; Uhrzeit*Brunstzustand	5971287	5971411	5972109
E12	Monat*Uhrzeit*Brunstzustand	5909481	5910829	5918403

Zunächst werden in den Varianten E1 bis E4 die relevanten Effekte jeweils einzeln getestet. Innerhalb dieser Varianten ist zu erkennen, dass der Funktionswert der Log Likelihood sowie der beiden Informationskriterien für den Effekt der Uhrzeit (Variante E3) am besten abschneidet. Dies lässt bereits die gewichtige Bedeutung dieses Einflussfaktors auf die Beschreibung der Aktivitätsdynamik erkennen. Als ebenfalls bedeutsamer Einzeleffekt ist der Brunstzustand zu nennen. In der weiteren Rangfolge kommt es zwischen dem Testtag sowie dem Monat zu Rangverschiebungen, die sich in einem für den Testtag geringeren AICC-Wert bzw. in einem für den Monat besseren BIC-Wert äußern. Da die Aktivität unter Berücksichtigung des jahreszeitlichen Verlaufes zu modellieren ist, erscheint bei Beachtung des Informationskriteriums BIC eine Nutzung des Einflussfaktors des Monats anstelle des Testtages gerechtfertigt.

In den Varianten E5 bis E8 erfolgt eine Kombination der betrachteten Einzeleffekte. Dabei werden die Effekte des Monats und des Brunstzustandes jeweils mit dem Effekt der Uhrzeit dargestellt und kombiniert (Varianten E5 bis E8). Als Ergebnis liefert der Effekt

Uhrzeit*Brunstzustand (Variante E8) für alle drei Kriterien den kleinsten Wert. Außerdem ist Variante E8 mit einer Kombination aus Uhrzeit*Brunstzustand einer Modellierung durch Addition dieser beiden Einzeleffekte (Variante E7) überlegen.

Weiterhin soll der biologische Hintergrund eines möglichen Zusammenwirkens zwischen den Effekten des Monats, der Uhrzeit sowie des Brunstzustandes getestet werden. Mit der Zielstellung einer verbesserten Modellanpassung motiviert dies eine Kombination der betrachteten Effekte. Die zugehörigen Modelle sind in den Varianten E9 bis E12 dargestellt. Ein Hinweis für eine entsprechende Kombination durch Multiplikation der betrachteten Effekte ist, dass das Modell der Variante E9 mit einer reinen Aneinanderreihung von Monat, Uhrzeit und Brunstzustand zu einer schlechteren Modellanpassung führt als beispielsweise Variante E6 mit dem kombinierten Effekt Monat*Uhrzeit. Im Vergleich dazu sind ebenfalls die Modelle der Varianten E10 bis E12 als besser einzustufen. Bei Betrachtung der Effektkombinationen in Variante E6 (Monat*Uhrzeit) bzw. E8 (Uhrzeit*Brunstzustand) fällt auf, dass sich mit Hinzunahme des jeweils noch nicht berücksichtigten Einzeleffektes des Brunstzustandes bzw. des Monats eine weitere Modellverbesserung realisieren lässt. Hierbei sind jeweils die Modelle mit dem Effekt Monat*Uhrzeit (Variante E6 und E10) den Modellen mit dem Effekt Uhrzeit*Brunstzustand (Variante E8 und E11) überlegen. Ein weiterer Schritt führt zum Modell der Variante E12. Hierbei ist die Zusammensetzung der Einzeleffekte in Form von Monat*Uhrzeit*Brunstzustand allen Modellen der vorangegangenen Varianten aufgrund des Grades der Anpassung überlegen und zeigt die Notwendigkeit einer Berücksichtigung aller genannten Effekte in der aufgezeigten Kombination. Da diese darüberhinaus dem biologischen Aspekt einer Beschreibung der Aktivität in Abhängigkeit des Monats, der Tagesstunde sowie des Brunstzustandes in entsprechender Form Rechnung trägt, wird das Modell der Variante E12 als Auswertungsmodell für die Erwartungswertstruktur angesehen.

Die Aktivität y_{ijt} wird somit als eine Kombination der festen Effekte der Monatsklasse i , des Brunstzustandes j sowie der Uhrzeit t beschrieben. Die sich daraus ergebenden 672 Kombinationsmöglichkeiten werden im Auswertungsmodell folgendermaßen berücksichtigt:

$$\underline{y}_{ijt} = \beta_{ijt} + \underline{e}_{ijt} \quad (14)$$

4.3.4 Modellentwicklung der Kovarianzstruktur

Ausgangspunkt für die Anpassung einer geeigneten Kovarianzstruktur ist das für die Erwartungswertstruktur gewählte Modell der Variante E12 aus Tabelle 5. Aufbauend darauf werden die zufälligen Einflussfaktoren und deren Kovarianzstruktur in das erläuterte Auswertungsmodell der Erwartungswertstruktur eingeführt. Dazu sind der zufällige Tiereffekt k ($k = 1, 2, \dots, 230$) sowie entsprechende Kombinationen mit den bereits in der Erwartungswertstruktur betrachteten Effekten des Brunstzustandes j ($j = 0, 1$) und der Uhrzeit t ($t = 1, 2, \dots, 24$) zu überprüfen. Wie bei der Modellentwicklung für die Erwartungswertstruktur ist die Beobachtung y_{ijkt} als Realisation einer Zufallsvariablen \underline{y}_{ijkt} aufzufassen, wobei zusätzlich der Effekt von Tier k berücksichtigt wird.

Tabelle 6 gibt einen Überblick zur Modellentwicklung der Kovarianzstruktur. Hierbei wird neben der Modellierung des Tier- und Resteffektes, jeweils mit den entsprechenden Verteilungsannahmen, die Anzahl der Effekte je Tier sowie der dazugehörigen Kovarianzen angegeben. Es ist zu beachten, dass der im Spaltenkopf genannte Begriff der "Kovarianzkomponenten" alle Varianzen, eingeschlossen der Restvarianz, und die eigentlichen Kovarianzen beinhaltet. Die letzte Spalte gibt den Code für eine Umsetzung in SAS an.

Variante C1 zeigt die Einführung des zufälligen Tiereffektes k als einfachen Effekt mit der Varianz σ_a^2 in die Kovarianzstruktur. Dabei ist die dem Resteffekt \underline{e}_{ijkt} zugehörige Varianz σ_e^2 unabhängig von der Monatsklasse i , dem Brunstzustand j , der Uhrzeit t sowie dem Tier k . Mit Ausnahme von Variante C14 gilt Gleiches für die Varianz der Resteffekte aller aufgeführten Varianten. Variante C2 führt mit der Varianz σ_{ab}^2 für den kombinierten Effekt des Tieres k mit dem Brunstzustand j sowie dem Resteffekt \underline{e}_{ijkt} zu zwei Kovarianzkomponenten. Dieser Ansatz bietet die Möglichkeit, den Tiereffekt in Abhängigkeit des Brunstzustandes zu modellieren. In der weiteren Abfolge stellt die Variante C3 eine Kombination der Varianten C1 und C2 dar mit dem Ergebnis dreier Effekte je Tier sowie dreier Kovarianzkomponenten.

Tabelle 6: Modellentwicklung der Kovarianzstruktur mit Angabe der Effekte je Tier, der Kovarianzen sowie der Umsetzung in SAS

Variante	Modellierung des Tiereffektes und unterstellte Kovarianzstruktur	Modellierung des Resteffektes	Anzahl Effekte je Tier	Anzahl Kovarianz- komponenten	Umsetzung in SAS
C1	a_k $Var(a_k) = \sigma_a^2$	e_{ijkt} $Var(e_{ijkt}) = \sigma_e^2$	1	2	intercept / sub = Tier
C2	a_{kj} $Var(a_{kj}) = \sigma_{ab}^2$	e_{ijkt} $Var(e_{ijkt}) = \sigma_e^2$	2	2	Brunstzustand / sub = Tier
C3	$a_k + b_{kj}$ $Var(a_k) = \sigma_a^2$ $Var(b_{kj}) = \sigma_{ab}^2$	e_{ijkt} $Var(e_{ijkt}) = \sigma_e^2$	3	3	intercept / sub = Tier Brunstzustand / sub = Tier
C4	a_{kt} $Var(a_{kt}) = \sigma_{au}^2$	e_{ijkt} $Var(e_{ijkt}) = \sigma_e^2$	24	2	Uhrzeit / sub = Tier
C5	$a_k + u_{kt}$ $Var(a_k) = \sigma_a^2$ $Var(u_{kt}) = \sigma_u^2$	e_{ijkt} $Var(e_{ijkt}) = \sigma_e^2$	25	3	intercept / sub = Tier Uhrzeit / sub = Tier
C6	$b_{kj} + u_{kt}$ $Var(b_{kj}) = \sigma_b^2$ $Var(u_{kt}) = \sigma_u^2$	e_{ijkt} $Var(e_{ijkt}) = \sigma_e^2$	26	3	Brunstzustand / sub = Tier Uhrzeit / sub = Tier

Variante	Modellierung des Tiereffektes und unterstellte Kovarianzstruktur	Modellierung des Resteffektes	Anzahl Effekte je Tier	Anzahl Kovarianzkomponenten	Umsetzung in SAS
C7	a_{kjt} $Var(a_{ktj}) = \sigma_{bu}^2$	e_{ijkt} $Var(e_{ijkt}) = \sigma_e^2$	48	2	Brunstzustand x Uhrzeit / sub = Tier
C8	$a_{kj} = (a_{k1j}, \dots, a_{k24j})'$ $(j = 0,1)$ $Var \begin{pmatrix} a_{k,0} \\ a_{k,1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_0 & G_{01} \\ sym. & G_1 \end{pmatrix}$ $Var(a_{k,j}) = G_j$ $Cov(a_{k0}, a'_{k1}) = G_{01}$	e_{ijkt} $Var(e_{ijkt}) = \sigma_e^2$	48	1177	Brunstzustand x Uhrzeit / sub = Tier type = un
C9	$a_{kj} = (a_{k1j}, \dots, a_{k24j})'$ $(j = 0,1)$ $Var \begin{pmatrix} a_{k,0} \\ a_{k,1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_0 & G_{01} \\ sym. & G_1 \end{pmatrix}$ $Var(a_{k,j}) = G_j$ $Cov(a_{k0}, a'_{k1}) = G_{01}$	$Var(e_{ijkt}) = \sigma_{e_{jt}}^2$ $(j = 0,1; t = 1, \dots, 24)$ (sämtliche Kovarianzen zwischen Resteffekten verschiedener Beobachtungen sind Null)	48	1224	Brunstzustand x Uhrzeit / sub = Tier type = un repeated / group = Brunstzustand x Uhrzeit

Parallel zu den beschriebenen Kombinationen des Tiereffektes k mit dem Brunstzustand j der Varianten C2 und C3 soll in den nachfolgenden Modellvarianten Gleiches mit dem Effekt der Uhrzeit t erfolgen. Dies führt in Variante C4 zum Ansatz einer Modellierung des Tiereffektes k in Abhängigkeit der Uhrzeit t , so dass je Tier 24 Schätzwerte vorliegen. Durch die Annahme, dass die Varianz σ_{au}^2 der Tiereffekte unabhängig von der Uhrzeit t ist, liegt neben dem Resteffekt e_{ijkt} nur eine weitere Kovarianzkomponente vor. Die darauffolgende Variante C5 stellt eine Kombination der Varianten C1 und C4 dar und liefert 25 tierspezifische Effekte. Diese lassen sich in einen Tiereffekt und 24 stundenspezifische Effekte unterteilen. Die Anzahl der Kovarianzkomponenten beträgt drei.

In den Modellen der Varianten C6 bis C9 erfolgt schließlich eine Kombination des Tiereffektes k sowohl mit dem Brunstzustand j als auch der Uhrzeit t . Dabei ist die Variante C6 als eine Kombination der Varianten C2 und C4 zu verstehen und liefert 26 Effekte je Tier, aufgeteilt in die Effekte der beiden Brunstzustände sowie der entsprechenden Uhrzeit. Die Anzahl der dazugehörigen Kovarianzkomponenten beträgt drei. In einer weiteren Variante mit der Bezeichnung C7 wird die Kombination der Effekte des Brunstzustandes j mit der Uhrzeit t innerhalb Tier betrachtet. Resultat sind 48 tierindividuelle Schätzwerte sowie neben dem Resteffekt eine weitere Kovarianzkomponente. Unter Berücksichtigung der vollständigen Varianz-Kovarianz-Matrix in Variante C8 ergeben sich für diese Konstellation 1177 Kovarianzkomponenten. Die Anzahl der Effekte je Tier bleibt mit 48 gleich. Dieser Ansatz einer tierindividuellen Ausprägung der Aktivität in Abhängigkeit des Brunstzustandes zu verschiedenen Tageszeiten erscheint aus biologischer Sicht nachvollziehbar. Aufbauend auf das Modell der Variante C8 soll weiterhin der zufällige Resteffekt in Abhängigkeit des Brunstzustandes j und der Uhrzeit t modelliert werden. Hierzu erfolgt in Variante C9 die Einführung heterogener Restvarianzen, die sich auf die Kombination der beiden genannten Effekte bezieht. Weiterhin wird für diese Modellvariante unterstellt, dass die Kovarianzen zwischen den 48 Resteffekten Null betragen.

Anhand der tierindividuellen Modellierung der Aktivität in Abhängigkeit des Brunstzustandes zu unterschiedlichen Tageszeitpunkten mit Berücksichtigung der Kovarianzstruktur in den Varianten C8 und C9 wird die Hypothese aufgestellt, dass dieser Ansatz mit dem biologischen Hintergrund der beobachteten Aktivität am besten übereinstimmt. Diese Annahme soll durch die Angabe der modellabhängigen Werte der Informationskriterien AICC

und BIC überprüft werden. Da beide Kriterien die Strafterme unterschiedlich berücksichtigen und somit zu unterschiedlichen Aussagen führen können, erfolgt weiterhin die Angabe der mit -2 multiplizierten RLog Likelihood-Funktionswerte. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Als Bezugspunkt für eine Bewertung der aufgeführten Varianten dient der in der ersten Zeile aufgeführte, mit der REML-Methode berechnete Funktionswert der Likelihood sowie die daraus abgeleiteten Werte der Informationskriterien AICC und BIC des gewählten Auswertungsmodells aus der Erwartungwertstruktur (Variante E12).

Tabelle 7: Modellentwicklung der Kovarianzstruktur mit Angabe der Modellvariante, des Funktionswertes der Log Likelihood der REML-Methode und der Informationskriterien AICC und BIC

Variante	-2 RLog Likelihood	AICC_{REML}	BIC_{REML}
Bezugspunkt	5907055	5907057	5907069
C1	5864978	5864982	5864989
C2	5864346	5864350	5864357
C3	5864255	5864261	5864271
C4	5842462	5842466	5842473
C5	5838919	5838925	5838936
C6	5838138	5838144	5838154
C7	5843198	5843202	5843208
C8*	5830101	5832459	5836877
C9*	5753905	5756358	5760952

* berechnet bei Nutzung des Programmes ASReml

Die Notwendigkeit einer Berechnung der Modellvarianten C8 und C9 mit ASReml folgt aus einer programmtechnischen Begrenzung innerhalb der Prozedur MIXED. Für die aktuelle SAS-Version (SAS 9.3) ist diese Prozedur nicht in der Lage den verfügbaren RAM (64 GB) auszunutzen. Dies gilt für die Betriebssysteme Windows und Linux. Aufgrund dieser Problematik soll die Berechnung der Likelihood bei Nutzung des Programmes ASReml im Folgenden erläutert werden.

Wie in Abschnitt 4.2.2.2 beschrieben, ist der Funktionswert der Likelihood in der Prozedur MIXED und in ASReml für ein und das gleiche Modell nicht identisch. Grund ist der in ASReml fehlende Term $(n - p_f) \log(2\pi)$. Daraus ergeben sich keine Konsequenzen für die Parameterschätzung, jedoch für die Vergleichbarkeit der Likelihood zwischen SAS und ASReml. Tabelle 8 stellt eine Überprüfung der unter SAS und ASReml ausgegebenen Werte der Likelihood anhand von Modellvariante C1 dar.

Tabelle 8: Überprüfung der Likelihood für ASReml und SAS anhand von Modellvariante C1

ASReml	SAS
Basis: -2400000 Log Likelihood: -7369.99 -2 Log Likelihood: = $(-2(-2400000)) + (-2(-7369.99))$ = $4800000 + 14739.98$ = 4814739.98	-2 RLog Likelihood: 5864978

Es wird deutlich, dass der mit -2 multiplizierte Log Likelihood-Funktionswert aus dem Output des Programmes ASReml nicht als solcher vorliegt, sondern mit Hilfe eines ausgegebenen Wertes für die Basis sowie der Log Likelihood berechnet werden muss (Tabelle 8). Dieser, mit dem Funktionswert der Likelihood aus SAS vergleichbare Wert, lässt eine Differenz von etwa 1050238 erkennen. Eine Berechnung der in ASReml unberücksichtigten konstanten Differenz von $(n - p_f) \log(2\pi)$ ergibt:

$$\text{const} = (572113 - 672) \cdot \log(2\pi) = 1050238.309 \quad (15)$$

Aufgrund der vergleichbaren Werte zwischen der aus Tabelle 8 abgeleiteten Differenz der Likelihood und der in Formel 15 berechneten Differenz ist eine Vergleichbarkeit zwischen den beiden genutzten Programmen nachgewiesen.

Da sich die Erwartungswertstruktur zwischen der für den Vergleich von ASReml und SAS genutzten Variante C1 und der zu betrachtenden Modellvarianten C8 und C9 nicht ändert, behält die in Formel 15 berechnete konstante Differenz von 1050238.309 ihre Gültigkeit. In Tabelle 9 sind in der linken Spalte die Ergebnisse der -2 Log Likelihood auf Grundlage des ASReml-Outputs dargestellt. Dieser basiert auf Berechnungen von WENSCH und ROSNER (2012).

Tabelle 9: Umrechnung der Likelihood für die Modellvarianten C8 und C9 von ASReml in SAS

Variante	ASReml	SAS (umgerechnet)
C8	Basis: -2400000 Log Likelihood: 10068.7 -2 Log Likelihood: = $(-2(-2400000)) + (-2(10068.7))$ = $4800000 - 20137.4$ = 4779862.6	$\text{const} + (-2 \text{ Log Likelihood (ASReml)})$ $= 1050238.309 + 4779862.6$ $= 5830100.909$
C9	Basis: -2350000 Log Likelihood: -1833.5 -2 Log Likelihood: = $(-2(-2350000)) + (-2(-1833.5))$ = $4700000 + 3667$ = 4703667	$\text{const} + -2 \text{ Log Likelihood (ASReml)}$ $= 1050238.309 + 4703667$ $= 5753905.309$

Unter Beachtung der konstanten Differenz ergeben sich für die Varianten C8 und C9 in SAS umgerechnete Werte von etwa 5830101 und 5753905. Die in SAS umgerechneten Funktionswerte der Likelihood für die Modellvarianten C8 und C9 dienen als Berechnungsgrundlage der in Tabelle 7 dargestellten Informationskriterien AICC und BIC.

Bei Betrachtung von Tabelle 7 wird deutlich, dass die Berücksichtigung des zufälligen Tiereffektes k in Variante C1 im Vergleich zum Bezugspunkt eine verbesserte Modellanpassung nach sich zieht. Tendenziell kommt es in der beschriebenen Abfolge der Modellvarianten von C1 bis C9 zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Güte der Modellanpassung (Tabelle 7).

Schlussfolgerung ist, dass das Modell der Variante C8 im Vergleich zu den vorherigen Modellansätzen die beste Anpassung liefert, wobei sich diese mit Hinzunahme einer heterogenen Restvarianz in Abhängigkeit des Brunstzustandes zur Tagesstunde in Variante C9 noch einmal deutlich verbessert. Somit kann die aufgestellte Hypothese, dass der Ansatz einer tierindividuellen Modellierung der Aktivität in Abhängigkeit des Brunstzustandes zu unterschiedlichen Tageszeitpunkten unter Berücksichtigung der vollständigen Kovarianzstruktur in Form der Variante C9 die Beobachtungswerte am besten beschreibt, bestätigt werden. Ein weiteres Ergebnis dieser Modellwahl ist die Notwendigkeit der Einführung einer heterogenen Restvarianz in Abhängigkeit des Brunstzustandes und der Tagesstunde.

Als Resultat der erläuterten Modellwahl wird die Variante C9 als Vorzugmodell angenommen. Dieses Auswertungsmodell beschreibt die Aktivität y_{ijkt} als Kombination der Effekte der Monatsklasse i , des Brunstzustandes j , der Uhrzeit t sowie des Tieres k . Die sich daraus ergebenden 672 Kombinationsmöglichkeiten für die festen Effekte sowie weitere 48 zufällige Effekte für jedes Einzeltier werden in Formel 16 modelliert. Dabei gilt für die zufälligen Effekte die in Variante C9 (Tabelle 6) definierte Kovarianzstruktur.

$$\underline{y}_{ijkt} = \beta_{ijt} + \underline{u}_{jkt} + \underline{e}_{ijkt} \quad (16)$$

4.3.5 Überprüfung der Modellvoraussetzungen für das Vorzugmodell

Die Ergebnisse der Modellwahl bei Nutzung der Informationskriterien sind durch die Residuenanalyse zu überprüfen (vgl. Abschnitt 4.2.2.2). Diese bezieht sich auf die Überprüfung der Erwartungswert- und Kovarianzstruktur des Vorzugmodells. Für die Erwartungswertstruktur ist zu zeigen, dass die OLS-Residuen keine systematischen Veränderungen aufweisen. Die Nutzung der lokal angepassten Regression (Prozedur LOESS) führt zu den in Abbildung 1 dargestellten Ergebnissen.

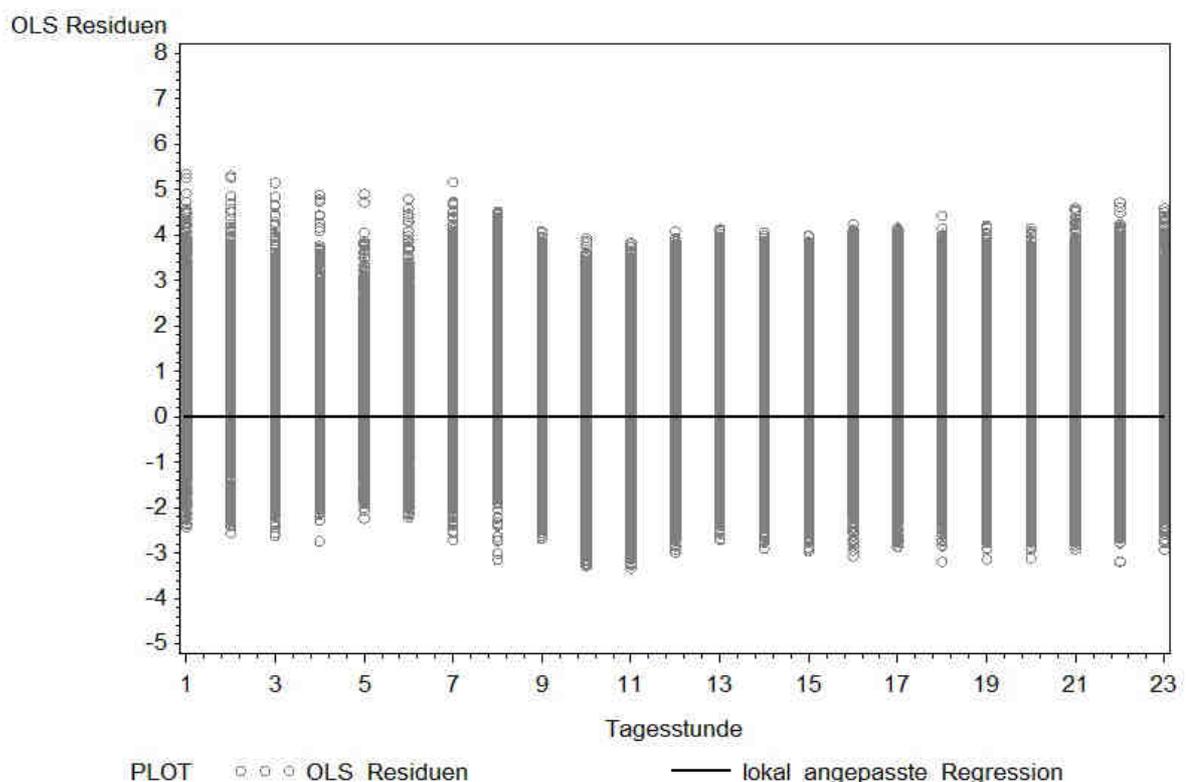


Abbildung 1: Lokal angepasste Regression (Glättungsparameter = 0.5) und OLS-Residuen

Die Überprüfung der Residuen in Abbildung 1 zeigt die OLS-Residuen in Abhängigkeit der Tagesstunde. Es wird deutlich, dass zu allen Tageszeitpunkten die Spannweite der Residuen im positiven Wertebereich größer ist als im negativen Bereich. Dennoch ergibt die Aufsummierung aller Residuen bzw. OLS-Residuen etwa die Summe von Null. Da in Abbildung 1 kein Trend zu erkennen ist, können alle systematischen Effekte im gewählten Modell als berücksichtigt angesehen werden.

In Abbildung 2 wird die Überprüfung der Kovarianzstruktur anhand der Varianzfunktion dargestellt. Entsprechend des gewählten Modells der Variante C9 ist diese in Abhängigkeit beider Brunstzustände dargestellt. Dabei ist erkennbar, dass die beobachtete bzw. die geschätzte Funktion, die in Abbildung 2 mit den Abkürzungen *OLS* bzw. *Model* beginnen, sowohl im brünstigen (*bruenstig*) als auch im nicht brünstigen (*nicht_bruenstig*) Zustand einen ähnlichen Verlauf in Abhängigkeit der Uhrzeit aufweisen. Auffallend ist, dass für den Verlauf der Varianzfunktion im nicht brünstigen Zustand eine deutlich ausgeprägtere Dynamik als im brünstigen Zustand zu erkennen ist.

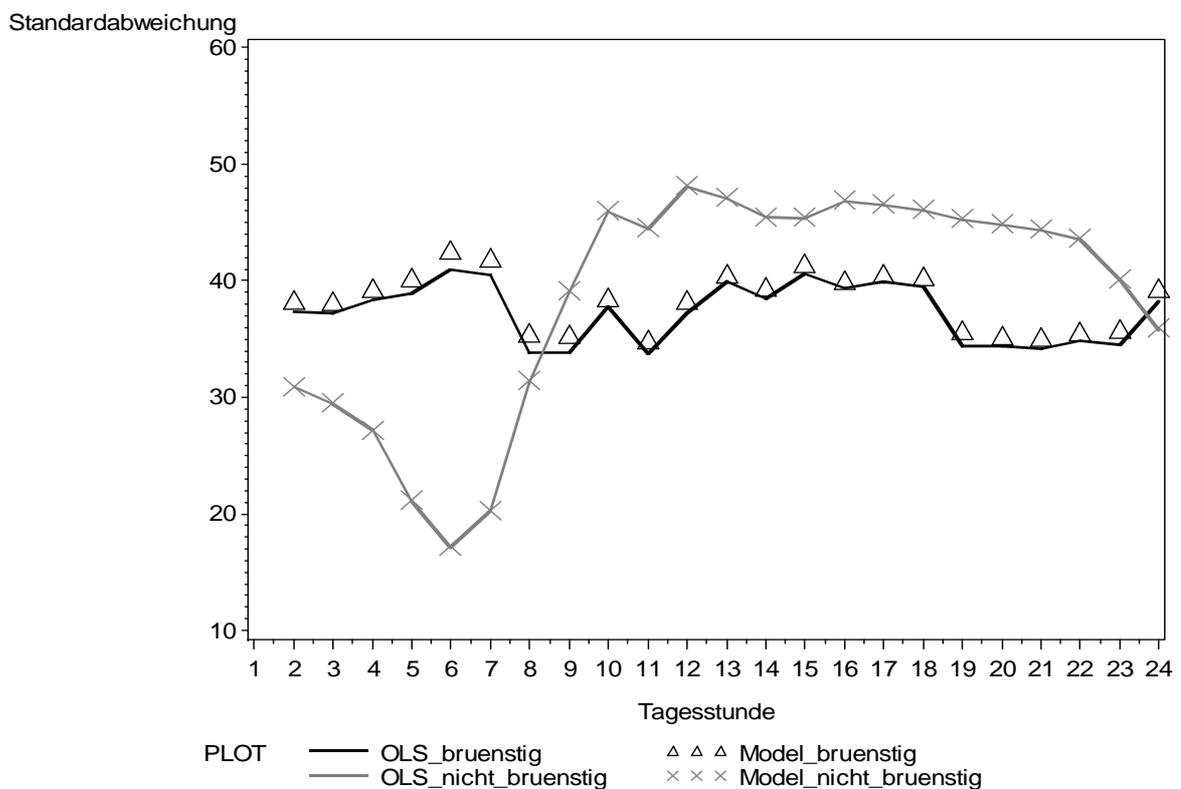


Abbildung 2: Standardabweichung als Wurzel der beobachteten Varianzfunktion (OLS_resid) und der geschätzten Varianzfunktion (Model) für den brünstigen und nicht brünstigen Zustand

Weiterhin ist für die Anwendbarkeit des Vorzugsmodells die Anforderung einer annähernden Normalverteilung der zufälligen Effekte zu überprüfen. Hierzu wird die Verteilung der mit Hilfe des Vorzugsmodells geschätzten Tiereffekte in Abbildung 3 dargestellt.

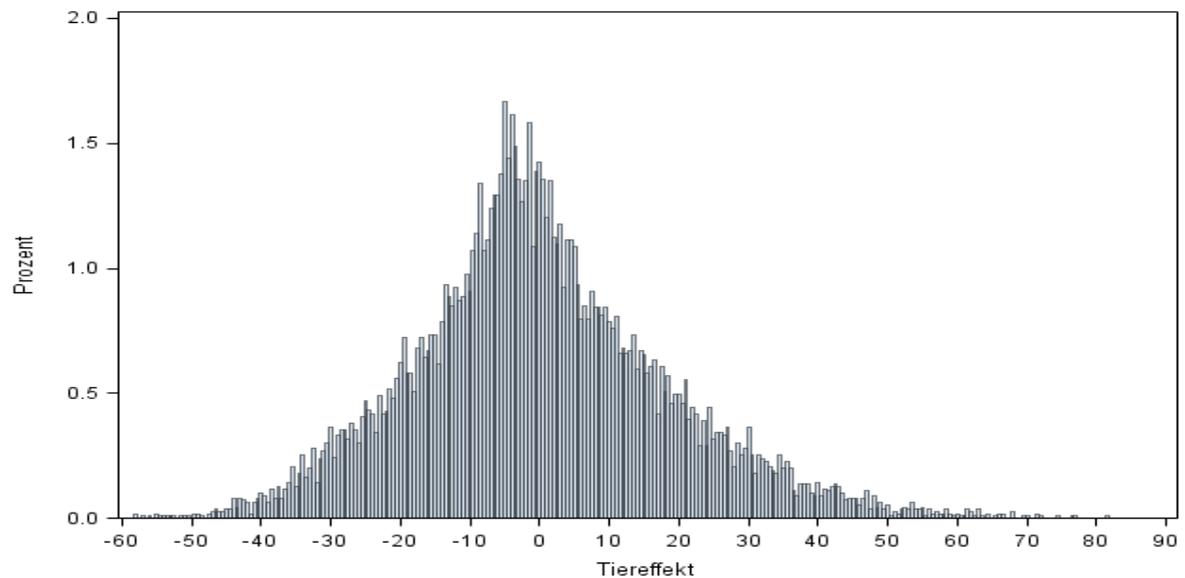


Abbildung 3: Histogramm der zufälligen Tiereffekte

Weiterhin ist der zufällige Resteffekt zu überprüfen. Hierbei ist die heterogene Restvarianz, die mit 48 Komponenten in Abhängigkeit der Tagesstunde sowie des Brunstzustandes modelliert wird, zu beachten. Abbildung 4 stellt die Verteilung der OLS-Residuen exemplarisch für eine Kombination der Tagesstunde 9 im nicht brünstigen Zustand, dar.

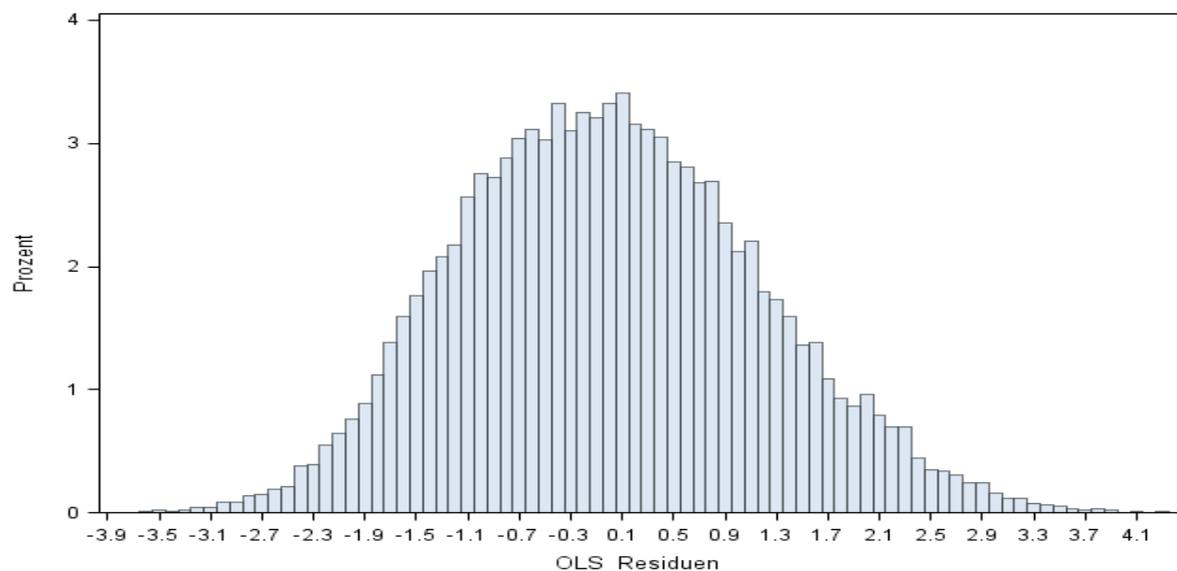


Abbildung 4: Histogramm der OLS-Residuen für Tagesstunde 9 im nicht brünstigen Zustand

Bei Betrachtung von Abbildung 3 und Abbildung 4 wird deutlich, dass sowohl die Verteilung der zufälligen Tiereffekte als auch der Resteffekte annähernd einer Normalverteilung entspricht.

Schlussfolgernd ergibt die Überprüfung für die Anwendbarkeit eines gemischten linearen Modells in Form des gewählten Vorzugsmodells die vollständige Erfüllung aller notwendigen Voraussetzungen.

4.3.6 Ergebnisse des Vorzugsmodells

Die bei Anwendung des Vorzugsmodells resultierenden stündlichen Schätzwerte werden in den folgenden Abbildungen aus Darstellungsgründen verbunden und geglättet. Dabei ist zu beachten, dass entsprechend des gewählten Modells die Aktivität in Abhängigkeit der Tagesstunde beschrieben wird. Aus sachlogischer Sicht erfordert dies die Darstellung der Schätzwerte in der Zeiteinheit von Tagesstunden auf der x-Achse. Aus diesem Grund wird im Folgenden von der Tagesdynamik der Aktivität bzw. einer täglichen Aktivitätsdynamik gesprochen. Weiterhin ist in den nachfolgenden Abbildungen neben den stundenspezifischen Schätzwerten das zweiseitige Konfidenzintervall zu einem Niveau von 95 % zu erkennen. Gekennzeichnet wird dies durch die Anfangsbezeichnungen *Akt* sowie *unten* bzw. *oben*. Entsprechend des gewählten Modells erfolgt eine differenzierte Betrachtung der Brunstzustände *bruenstig* und *nicht_bruenstig*. Dies wird durch eine graue bzw. schwarze Linie symbolisiert. Für die Erwartungwertstruktur, die das Mittel des betrachteten Bestandes widerspiegelt, werden 14 monatspezifische tägliche Aktivitätsverläufe für den brünstigen und nicht brünstigen Zustand geschätzt. Zur Erläuterung sollen die Abbildungen 5 und 6 für die Monate Mai 2010 sowie Januar 2011 als Beispiele dienen.

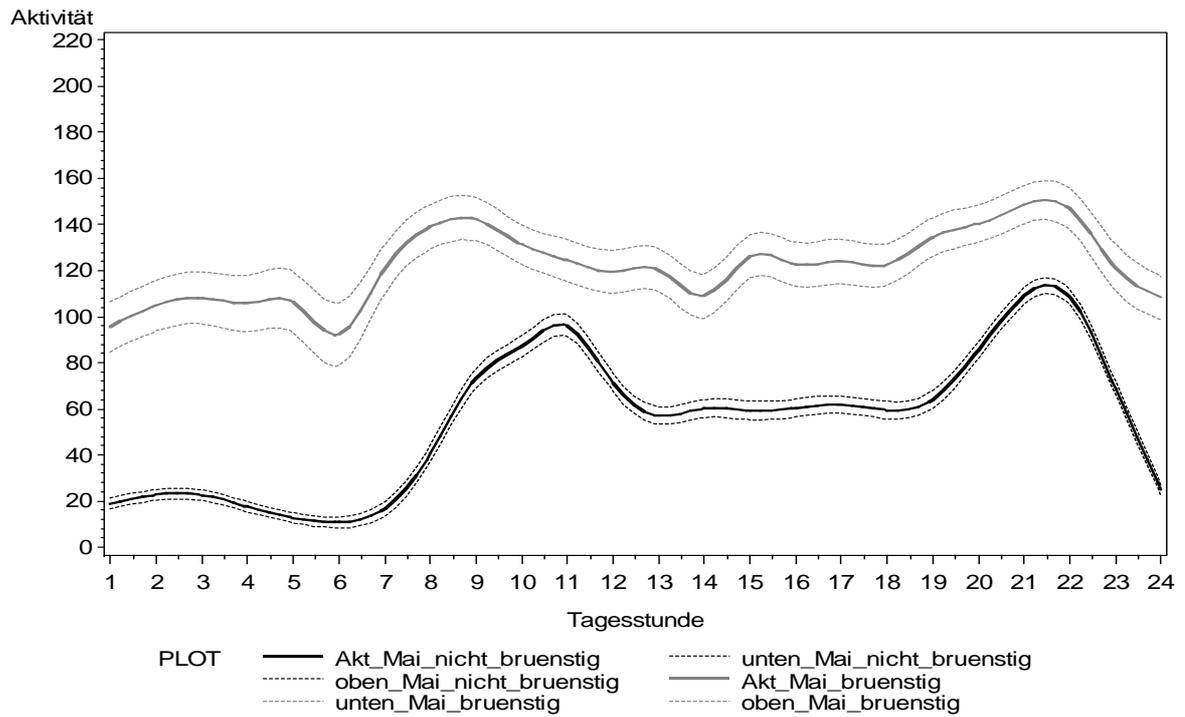


Abbildung 5: Bestandmittel der Tagesdynamik der Aktivität im Mai 2010 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)

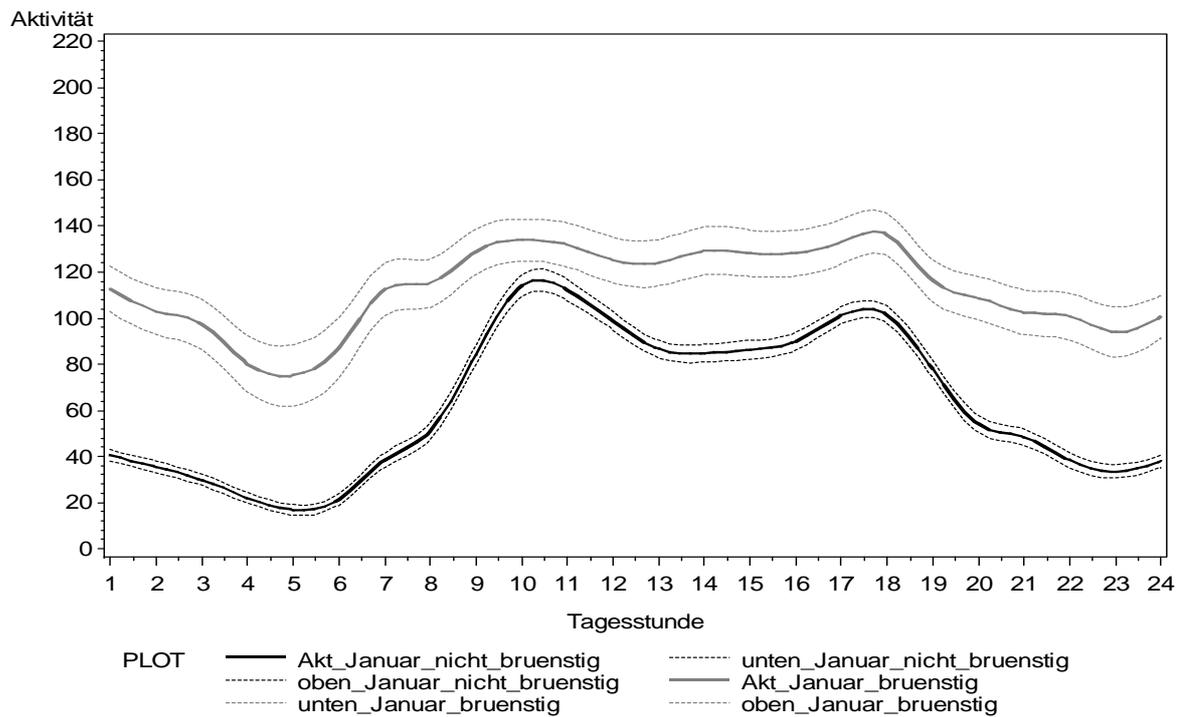


Abbildung 6: Bestandmittel der Tagesdynamik der Aktivität im Januar 2011 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)

Im Verlauf der täglichen Aktivitätsdynamik der Monate Mai 2010 und Januar 2011 kommt es zu keinem Zeitpunkt zu Überschneidungen zwischen den Konfidenzintervallen beider Brunstzustände. Charakteristisch kann der Tagesverlauf der Aktivität im nicht brünstigen Zustand mit Nacht und Tag in zwei Bereiche eingeteilt werden. Hierbei befindet sich das Aktivitätsniveau in der Nacht auf einem relativ konstanten und niedrigen Niveau. Für den Tag kommt es etwa ab der sechsten Tagesstunde zu einem relativ steilen Anstieg, der etwa zur elften Stunde sein Maximum erreicht und vor einem zweiten Peak in eine Plateauphase mündet. Danach folgt ein relativ steiler Abfall auf das Niveau der Nacht. Der Verlauf der täglichen Aktivitätsdynamik für den Zustand Brunst ähnelt dem des nicht brünstigen Zustandes. Ersterer ist jedoch schwächer ausgeprägt und befindet sich auf einem höheren Aktivitätsniveau. Als durchschnittliche Aktivität aller Tagesstunden sind im Mai 2010 für den brünstigen Zustand 123.26 Anschläge/h und für den nicht brünstigen Zustand 54.60 Anschläge/h zu verzeichnen (Abbildung 5). Im Januar 2011 liegen diese Werte bei 111.09 bzw. 62.57 Anschlägen/h (Abbildung 6). Der geringste Abstand zwischen dem unteren Konfidenzintervall der grauen Aktivitätskurve (brünstig) und der oberen Konfidenzgrenze der schwarzen Kurve (nicht brünstig) im Mai 2010 ist mit einer Differenz der Aktivitätswerte von 14.35 Anschlägen in der Tagesstunde 11 festzustellen, wobei die mittlere Differenz dieser Konfidenzintervallgrenzen 55.48 Anschläge/h beträgt (Abbildung 5). Für den Monat Januar im Jahr 2011 liegt diese minimale Differenz mit 8.83 Anschlägen ebenfalls in der elften Tagesstunde und die mittlere Differenz der genannten Konfidenzintervallgrenzen bei 34.94 Anschlägen/h (Abbildung 6).

Weiterhin ist auffällig, dass die Differenz zwischen dem brünstigen und nicht brünstigen Zustand im Mai 2010 in den Nachtstunden deutlich größer ist als in den folgenden Tagesstunden. Für die Tagesstunden 1 bis 6 beträgt sie im Mittel 75.97 gegenüber 46.09 Anschlägen in den Stunden 7 bis 24 (Abbildung 5). Im Januar 2011 ist dieser Unterschied mit 45.00 und 31.58 Anschlägen/h etwas geringer ausgeprägt (Abbildung 6). Grund hierfür ist die bereits erwähnte stark ausgeprägte Aktivitätsdynamik für den nicht brünstigen Zustand, wobei der Verlauf der Aktivität im brünstigen Zustand auf einem höheren Niveau nur geringfügige Schwankungen aufweist.

Es wird deutlich, dass die Aktivitätsverläufe der Monate Mai 2010 und Januar 2011 in Abhängigkeit des Brunstzustandes einen ähnlichen Verlauf aufweisen. Dennoch lassen sich sowohl in der Höhe der Aktivitätswerte als auch deren Verlauf Unterschiede feststellen. Gleiches gilt für die weiteren Monate mit dem Resultat 14 monatspezifischer Verläufe. Hierbei ist festzustellen, dass sich benachbarte Monate tendenziell ähnlicher sind als weiter auseinander liegende. Zur Beschreibung des Aktivitätsverlaufes auf Bestandsebene sei noch einmal auf die im nicht brünstigen Zustand starke Dynamik der Aktivität über den Tagesverlauf sowie die in den Nachtstunden größte Differenz zwischen beiden Brunstzuständen hingewiesen.

Anhand des Vorzugsmodells lässt sich entsprechend für jedes der 230 Tiere eine monatspezifische Tagesdynamik der Aktivität für beide Brunstzustände darstellen. Als Beispiele sollen Abbildung 7 und Abbildung 8 dienen. Sie beziehen sich auf Tier A und Tier B im Monat Mai 2010.

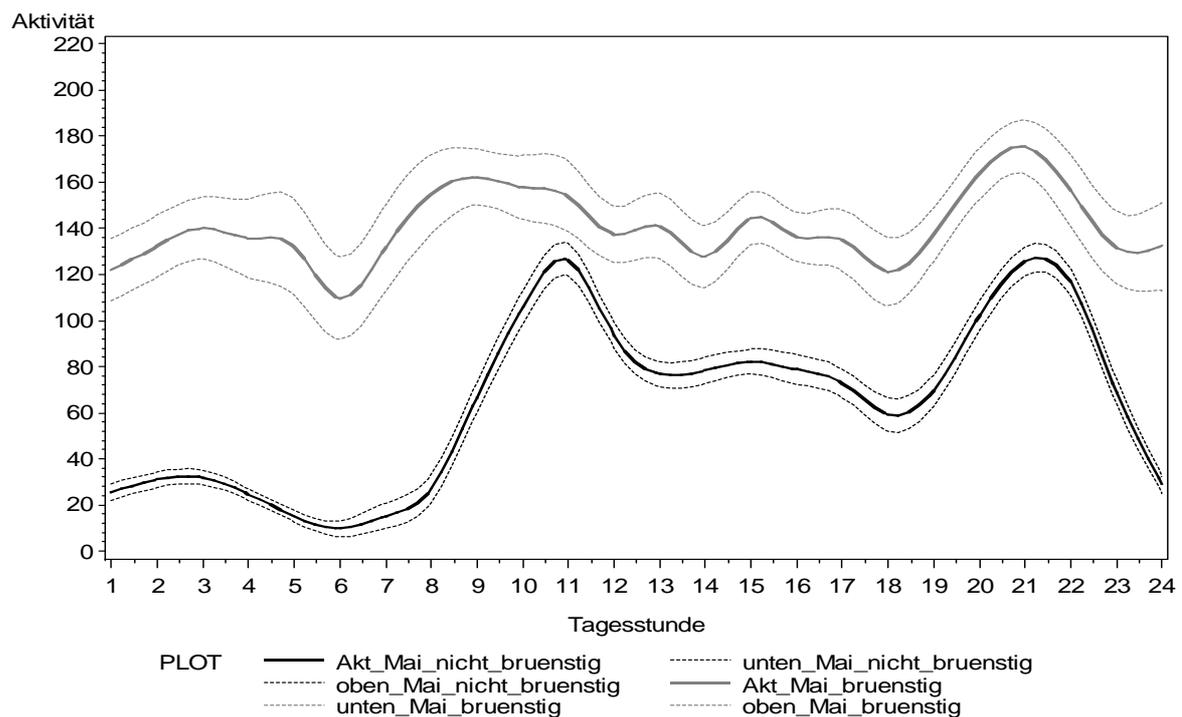


Abbildung 7: Verlauf der Tagesdynamik der Aktivität für Tier A im Monat Mai 2010 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)

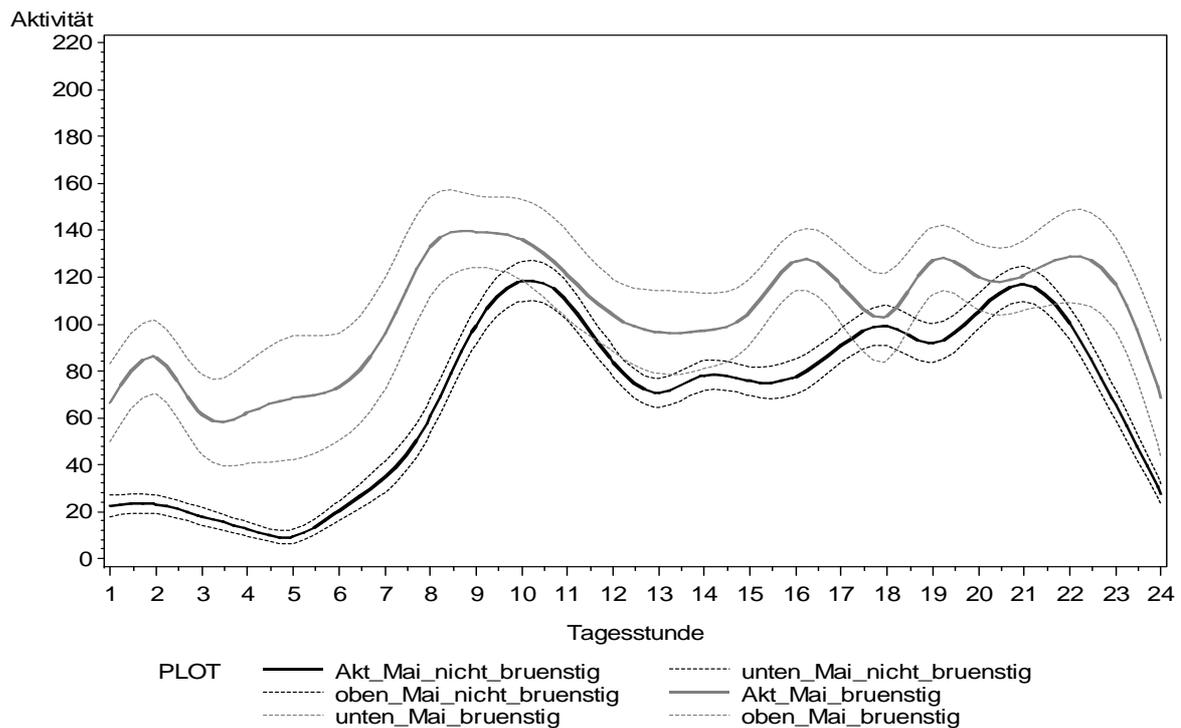


Abbildung 8: Verlauf der Tagesdynamik der Aktivität für Tier B im Monat Mai 2010 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)

Allgemein sind die Aktivitätsverläufe von Einzeltieren (Kovarianzstruktur) als Abweichung vom Bestandsmittel (Erwartungswertstruktur) zu verstehen. Ähnlich wie für Abbildung 5 und Abbildung 6 gilt, dass sich Tier A und Tier B sowohl in der Höhe als auch im Verlauf der Aktivität unterscheiden. Innerhalb eines Monats und Tieres lassen sich jedoch Gemeinsamkeiten feststellen. Ein Vergleich für den Verlauf der Aktivitätsdynamik zwischen Tier A bzw. Tier B mit der dazugehörigen Erwartungswertstruktur aus Abbildung 5 lässt im brünstigen Zustand für das Tier A mehr Gemeinsamkeiten als für Tier B erkennen. Bei Betrachtung der Höhe des Aktivitätsniveaus im brünstigen Zustand lässt sich hingegen für beide Tiere eine Abweichung nach oben bzw. unten nachweisen. Weiterhin ist erkennbar, dass die Konfidenzintervalle im brünstigen Zustand in der einzeltierspezifischen Betrachtung deutlich breiter als in der entsprechenden Erwartungswertstruktur sind. Anhand des Verlaufes der Tagesdynamik der Aktivität von Tier B wird deutlich, dass sich die Konfidenzintervalle zu mehreren Stunden im Bereich des Tages überschneiden (Abbildung 8).

Eine entsprechende Beschreibung des Verlaufes der täglichen Aktivitätsdynamik mit dem Ergebnis einer Variabilität ist bei allen betrachteten Tieren in den jeweiligen Monaten durchführbar.

Schlussfolgerung ist, dass sich für alle Tiere in allen betrachteten Monaten ein individueller Verlauf der täglichen Aktivitätsdynamik nachweisen lässt. Dennoch ist bei Vergleichen zwischen Tieren innerhalb eines Monats bzw. zwischen einem Tier in verschiedenen Monaten ein gemeinsamer Trend deutlich erkennbar. Hierbei ist die Aktivität im nicht brünstigen Zustand v. a. im Tagesbereich von einer starken Dynamik gekennzeichnet, welche sich mit umweltbedingten Einflüssen wie den Fütterungszeiten und dem natürlichen Tagesrhythmus erklären lässt. Da sich die Aktivität im Zustand der Brunst durchweg auf einem höheren Niveau bewegt und im Gegensatz zum nicht brünstigen Zustand eine Dynamik nur in abgeschwächter Form vorliegt, lassen sich in den Nachstunden die Unterschiede im Aktivitätsniveau zwischen den beiden Brunstzuständen am deutlichsten erkennen.

Entsprechend der Aufgabenstellung lässt sich mit Hilfe der Methode des linearen gemischten Modells und des erarbeiteten Vorzugsmodells die tägliche Aktivitätsdynamik für die Brunst und die Zwischenbrunst sowohl unter Beachtung saisonaler Einflüsse als auch der Tierindividualität gut beschreiben. Dabei werden die in Abhängigkeit der Tagesstunde geschätzten qualitativen Effekte für die Abbildung des quantitativen Verlaufs der täglichen Aktivitätsdynamik genutzt. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass der Messwert der stündlichen Aktivität als geordnetes kategoriales Merkmal aufzufassen ist. Dies motiviert zur Beschreibung der Aktivitätsdynamik mittels eines quantitativen Ansatzes bzw. einer Regressionsfunktion. Im folgenden Abschnitt wird ein möglicher Ansatz dargestellt.

4.3.7 Ansatz zur Beschreibung der Aktivitätsdynamik mittels einer Regressionsfunktion

Als methodischer Ansatz zur Schätzung quantitativer Effekte zur Beschreibung der täglichen Aktivitätsdynamik stehen beispielsweise Splinefunktionen zur Verfügung. Dabei sei $y_{ijkp}(t)$ eine Beobachtung von Tier k ($k = 1, 2, \dots, 230$) im Brunstzustand j ($j = 0, 1$) in der Monatsklasse i ($i = 1, 2, \dots, 14$). Weiterhin ist die Periode p , welche von der Uhrzeit t ($t = 1, 2, \dots, 24$) abgeleitet wird, folgendermaßen definiert:

$$p = 0 \text{ (Nacht), falls gilt: } t \geq 23 \text{ und } t \leq 7,$$

$$p = 1 \text{ (Tag), falls gilt: } t > 7 \text{ und } t < 23.$$

Die Beobachtungswerte $y_{ijkp}(t)$ werden als Realisation einer Zufallsvariablen $\underline{y}_{ijkp}(t)$ aufgefasst, für die das folgende Modell gilt:

$$\underline{y}_{ijkp}(t) = \beta_{0,ij} + \sum_{r=1}^R \beta_{r,ij} \cdot t^r + \sum_{s=1}^S \beta_{m,ij}^* \cdot (t - c_s)_+^R + \underline{a}_{kp} + \underline{b}_{kj} + \underline{e}_{ijkp}(t) \quad (17)$$

Hierbei sind:

$\beta_{0,ij}$ = fixer Effekt von Monatsklasse i im Brunstzustand j ,

\underline{a}_{kp} = zufälliger Effekt von Periode p innerhalb Tier k mit $\underline{a}_{kp} \sim N(0, \sigma_{a_p}^2)$,

\underline{b}_{kj} = zufälliger Effekt von Brunst j innerhalb Tier k mit $\underline{b}_{kj} \sim N(0, \sigma_b^2)$,

$\underline{e}_{ijkp}(t)$ = zufälliger Resteffekt mit $\underline{e}_{ijkp}(t) \sim N(0, \sigma_{e_{jt}}^2)$.

Weiterhin werden die fixen Regressionskoeffizienten $\beta_{r,ij}$ ($r = 1, \dots, R$) und $\beta_{m,ij}^*$ ($m = 1, \dots, S$) zur Beschreibung einer Splinefunktion vom Grad R (mit $1 \leq R \leq 3$) mit S Knoten genutzt. Dabei bezieht sich die Selektion der Knoten im dargestellten Modell (17) bei gegebenem Splinegrad R auf die Variable $x_s(t) = (t - c_s)_+^R$, wobei im Fall quadratischer Splines eine quadratische Regressionsfunktion Bestandteil des Auswertungsmodells sein muss. Die Festlegung der Knotenanzahl erfolgt mit Hilfe der Prozedur GLMSELECT in SAS. Innerhalb dieser Prozedur können die Verfahren Forward, Backward und Stepwise genutzt werden, was zu einer optimalen Anzahl an Knoten zwischen 11 und 22 führt.

Ohne die Ergebnisse im Einzelnen aufzuführen, kann geschlussfolgert werden, dass alle quantitativen Ansätze der Beschreibung der täglichen Aktivitätsdynamik mit Hilfe einer Splinefunktion gegenüber der bisherigen Vorgehensweise einer qualitativen Schätzung der Aktivität in Abhängigkeit der Tagesstunde zu einer schlechteren Anpassung führen. Dies drückt sich in einem deutlich größeren Funktionswert der Likelihood sowie der Informationskriterien AICC und BIC aus. Somit wird in Bezug auf die vorliegende Aufgabenstellung einer entsprechenden Beschreibung der Aktivitätsdynamik der hier vorgestellte Ansatz nicht weiter verfolgt.

5 Nutzung der Aktivitätswerte zur Brunsterkennung

5.1 Methodische Vorgehensweise

5.1.1 Bewertung des Entscheidungsalgorithmus mittels einer Referenzmethode

Aus den Ergebnissen des Vorzugsmodells zur Beschreibung der Aktivitätsdynamik werden für die zu bearbeitende Aufgabe der Brunsterkennung folgende Grundsätze abgeleitet:

- Vergleich und Bewertung innerhalb Tier zur Beachtung der Tierspezifität,
- Bildung eines Bezugs- und Vergleichszeitraumes für zeitgleiche Tagesstunden zur Beachtung der täglichen Aktivitätsdynamik.

Bei Berücksichtigung dieser Grundsätze ergibt sich ein weiterer Entscheidungsbedarf in der Bestimmung von Bezugs- und Vergleichszeitraum, des Grenzwertes sowie der zu nutzenden Tagesstunden zur Brunsterkennung. Zur begründeten Auswahl der sich daraus ergebenden Berechnungsvarianten für die Brunsterkennung ist die Verwendung einer Referenz erforderlich.

Die Nutzung dieser Referenz erfolgt mit der Zielstellung, eine zu testende Methode hinsichtlich ihrer Effizienz zu validieren. Voraussetzung ist dabei die Unabhängigkeit der Ergebnisse zwischen Referenz und der getesteten Methode, wobei die Referenzmethode eine möglichst standardisierte und verifizierte Methode sein sollte. Eine solche Methode wird als "Goldstandard" bezeichnet. Dieser Begriff steht für ein Verfahren, womit unübertroffen genaue Ergebnisse erzielt werden und an dem sich Neues messen muss. So wird beispielsweise die Validierung der visuellen Brunstbeobachtung anhand des Milchprogesteron als "Goldstandard" bezeichnet (LØVENDAHL und CHAGUNDA 2010). Eine Validierung der im Folgenden vorgestellten Entscheidungsalgorithmen zur Bewertung der Bewegungsaktivität erfolgt mit Hilfe der Hormonverläufe von Progesteron und Estradiol-17 β . Die dafür benötigten Einzelwerte wurden durch das Veterinär-Physiologisch-Chemische Institut der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig in Form einer Doppelbestimmung im Blutplasma ermittelt.

Für die Erstellung der Referenz und daraus abzuleitender Ergebnisse wurde ein dreiwöchiger Versuchszeitraum genutzt (14. März 2011 bis 3. April 2011). Zur Bestimmung der tierindividuellen Zyklusstände dienten Informationen aus vorangegangenen visuellen Brunstbeobachtungen. Basierend auf diesen Informationen wurde innerhalb des Versuchszeitraumes für 52 Tiere die Brunst möglichst genau vorhergesagt. Um anhand der zu erstellenden Hormonverläufe Informationen über den Zyklusstand abzuleiten, wurde für jedes Tier ein Testzeitraum von fünf Tagen veranschlagt (zwei Tage vor der Hauptbrunst bis zwei Tage nach der Hauptbrunst). Teilweise wurde in Abhängigkeit der visuellen Brunstbeobachtung der Untersuchungszeitraum für das Einzeltier variiert.

Die Tiere befanden sich im Versuchszeitraum in einem Alter zwischen 300 und 500 Lebenstagen und somit in der postpubertären Phase. Zur Probenahme wurden die jeweiligen Tiere im Fressfanggitter fixiert und durch den zuständigen Bestandstierarzt an der Halsvene geblutet. Zeitpunkt der täglichen Probenahme war gegen 8:00 Uhr. Anschließend wurden die Blutproben zentrifugiert und das gewonnene Blutplasma bis zur Laboranalyse bei -80 °C gelagert.

Im Versuchszeitraum wurden von den 52 Tieren insgesamt 252 Proben und somit etwa fünf Proben pro Tier gewonnen und analysiert. Die Spannweite der Probenanzahl pro Tier liegt zwischen drei und zehn. Der begrenzte Untersuchungszeitraum sowie die Tieranzahl ergab sich aus den hohen Aufwendungen für Probenahme und Untersuchungen. Als Ergebnis lassen sich entsprechend der Länge der Probenahme für jedes Tier die Verläufe der Hormone Progesteron und Estradiol-17 β darstellen. Abbildung 9 zeigt ein solches Beispiel.

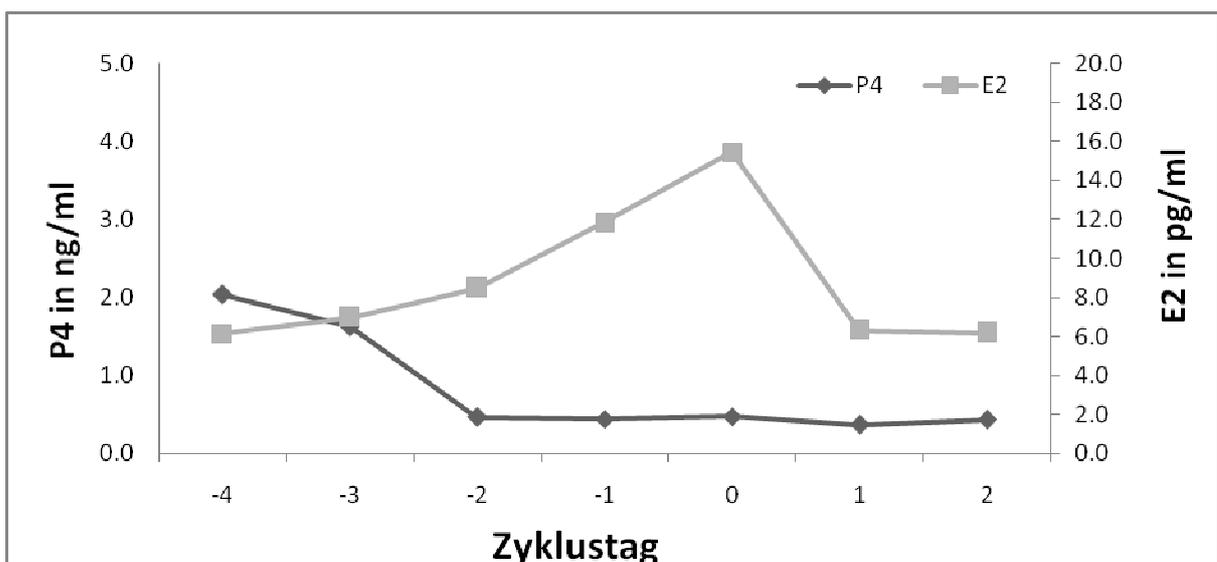


Abbildung 9: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für ein Beispieletier

In Abbildung 9 sind auf der Abszisse die Zyklustage abgetragen. Es ist zu erkennen, dass am Tag 0 ein Peak für Estradiol-17 β bei gleichzeitig niedrigem Progesterongehalt vorliegt. Um retrospektiv die Tage vor der Brunst zu kennzeichnen, werden diese mit negativen Vorzeichen versehen. Der Verlauf für Estradiol-17 β zeigt bis zum Zyklustag 0 einen allmählichen Anstieg, gefolgt von einem steilen Abfall zum Zyklustag 1. Die Konzentration von Progesteron nimmt bis zum Zyklustag -2 stetig ab und liegt bis zum Tag 2 auf einem konstant niedrigen Niveau von etwa 0.4 ng/ml. Mit Hilfe dieser Hormonverläufe kann bei einer tagesweisen Betrachtung der Übergang der Vorbrunst in die Hauptbrunst für den Zyklustag 0 eingegrenzt werden. Die 52 verfügbaren Hormonverläufe zeigen jeweils einen tierindividuellen Verlauf (Anhang: Abbildung 22 bis 27). Dennoch lassen sich drei Kategorien von Hormonprofilen bilden:

- Kategorie 1: Anstieg und/oder Abfall der Estradiol-17 β -Konzentration (n = 38),
- Kategorie 2: Plateauphase ohne Peak der Estradiol-17 β -Konzentration (n = 8),
- Kategorie 3: untypischer Verlauf der Estradiol-17 β -Konzentration (n = 6).

Mit dem Ziel einer möglichst genauen Abgrenzung des Tages mit dem Estradiol-17 β -Peak werden in den folgenden Betrachtungen lediglich Tiere aus Kategorie 1 berücksichtigt. Darin sind 38 Tiere und somit ca. 73 % der untersuchten Stichprobe enthalten. Im Weiteren ist für die Festlegung einer Referenzperiode zur Brunsterkennung deren Länge zu definieren. Da neben der am Zyklustag 0 definierten Brunst auch Zeiträume außerhalb dieses Bereiches richtig erkannt werden sollten, sind für einen repräsentativen Bewertungszeitraum möglichst viele Tage einzubeziehen. In Bezug auf die vorliegenden Ergebnisse der Hormonverläufe lassen sich jedoch keine Aussagen zu weiteren Brünsten machen. Damit sich Start- und Endpunkt des zu betrachtenden Zeitraumes nicht mit einer der zurückliegenden oder nachfolgenden Brünste überschneiden, wird für jedes der 38 Tiere ein Zeitraum von 15 Tagen vor und nach dem Zyklustag 0 als Referenzperiode festgelegt. Dabei weisen die tierindividuellen Zeitreihen, welche jeweils aus 744 stündlichen Aktivitätswerten bestehen, keine Fehlstellen auf. Es ergibt sich ein Datensatz von insgesamt 28272 stündlichen Aktivitätswerten.

Eine weitere Festlegung ist die Abgrenzung der Brunst, welche als Phase der Vorbrunst mit Übergang in die Hauptbrunst zu verstehen ist, zu den restlichen Abschnitten. Diese beiden Zeiträume werden als "brünstig" und "nicht brünstig" bzw. Brunst und Zwischenbrunst definiert. Die Eingrenzung des "brünstigen" Zeitraumes innerhalb der Referenzperiode wird mit Hilfe der Hormonverläufe für den Zyklustag 0 festgelegt.

5.1.2 Kombination der Ergebnisse aus der Wahl des Bezugs- und Vergleichs- zeitraumes

Entsprechend der Aufgabenstellung soll ein Algorithmus zur Brunsterkennung erarbeitet werden, der bei Nutzung der stündlichen Aktivitätsdaten zu einer hohen Erkennungs- und geringen Fehlerrate für das Ereignis "Brunst" führt. Durch einen Vergleich verschiedener Varianten ist die optimale Kombination des Bezugszeitraumes (BZ) und Vergleichszeitraumes (VZ) sowie des Grenzwertes (GW) zu ermitteln, ab dem ein relatives Aktivitätsniveau dem Ereignis "Brunst" zugeordnet wird.

Der BZ umfasst die Anzahl der zurückliegenden Stunden, die zusammen mit der zu bewertenden Stunde in die Berechnung eingehen. Der VZ gibt die Anzahl der zu berücksichtigenden Tage vor dem BZ an. Hierbei werden die zeitgleichen Tagesstunden wie beim BZ betrachtet. Die Berechnung des Bezugswertes (BW) für den BZ sowie des Vergleichswertes (VW) für den VZ erfolgt jeweils durch Mittelwertbildung der dazugehörigen stündlichen Aktivitätswerte. Somit gibt der Quotient aus BW und VW die relative Änderung der Aktivität eines zu bewertenden Zeitraumes zu einem vorherigen Zeitraum an. Dieser Quotient wird als relatives Aktivitätsniveau (rAN) bezeichnet und stellt den Ausgabewert für den Vergleich mit der Referenz dar. Ein rAN von 1 ist folglich als unveränderter Aktivitätszustand einer zu bewertenden Zeiteinheit im Verhältnis zum betrachteten Vergleichszeitraum zu verstehen. Ist der Quotient größer als 1, liegt ein erhöhtes Aktivitätsniveau vor. Ein Wert kleiner als 1 steht für eine reduzierte Aktivität. Die Berechnung des rAN erfolgt stets innerhalb Tier, wodurch eine tierindividuelle Bewertung gewährleistet ist. Mit dieser Vorgehensweise kann der zeitliche Verlauf des rAN zu jeder Stunde quantifiziert werden.

Sei a_{ij} die Aktivität in Stunde j ($1 \leq j \leq 24$) am Tag i des Beobachtungszeitraumes eines Tieres T . Diese Aktivitätswerte werden innerhalb T fortlaufend für den verfügbaren Beobachtungszeitraum aufsteigend nummeriert, wobei a_{ij} zu $b_{24(i-1)+j}$ führt. Die Aktivität der fortlaufenden Stunden innerhalb der Tage seit Beginn des Beobachtungszeitraumes wird nachfolgend mit dem Index k beschrieben und damit durch b_k gekennzeichnet. Weiterhin kennzeichnet $BW(x)_{ij}$ den Bezugswert von Stunde j am Tag i bei Nutzung von $x-1$ zurückliegenden Stunden.

Für die Berechnung des BW bei einem BZ von x ($x \leq 24$) Stunden gilt:

$$BW(x)_{ij} = \frac{1}{x} \sum_{l=1}^x b_{k-(l-1)} \quad (18)$$

Der Vergleichswert $VW(x, y)_{ij}$, gebildet aus x ($x \leq 24$) Stunden und y Tagen, berechnet sich aus:

$$VW(x, y)_{ij} = \frac{1}{x \cdot y} \sum_{m=1}^y \sum_{l=1}^x b_{k-(l-1)-24m} \quad (19)$$

Die Berechnung des relativen Aktivitätsniveaus ergibt:

$$rAN(x, y)_{ij} = \frac{BW(x)_{ij}}{VW(x, y)_{ij}} \quad (20)$$

Anhand der Beispieldaten in Tabelle 10 soll die Berechnungsmethode des rAN erläutert werden. Dabei wird der BZ mit 3 Stunden und der VZ mit 2 Tagen angenommen.

Tabelle 10: Beispieldaten zur Berechnung des relativen Aktivitätsniveaus

Tag	1			2			3		
Tagesstunde	... 3	4	5 3	4	5 3	4	5 ...
k	3	4	5	27	28	29	51	52	53
Aktivität	70	14	36	48	7	35	68	82	60

Für den BW und VW zur Berechnung des rAN am Tag 3 zur fünften Tagesstunde ergibt sich:

$$BW(3)_{35} = \frac{1}{3} (b_{53-0} + b_{53-1} + b_{53-2}) = \frac{1}{3} (60 + 82 + 68)$$

$$VW(3, 2)_{35} = \frac{1}{3 \cdot 2} (b_{[53-0]-24} + b_{[53-1]-24} + \dots + b_{[53-2]-48}) = \frac{1}{6} (35 + 7 + 48 + 36 + 14 + 70)$$

Im vorliegenden Beispiel beträgt der $BW = 70$ und der $VW = 35$. Daraus resultiert ein rAN von $70/35 = 2$. Somit liegt bei Festlegung eines BZ von 3 Stunden zur Tagesstunde 5 am Tag 3 ein doppelt so hohes Aktivitätsniveau wie gegenüber dem VZ von 2 Tagen vor.

Die dargestellte Vorgehensweise zur Berechnung des rAN ermöglicht eine beliebige Variierung der Länge von BZ und VZ . Ein weiterer Vorteil der genutzten Methode ist die Betrachtung des rAN zu jeder beliebigen Tagesstunde.

Es ergibt sich die Aufgabe zu untersuchen, wie sich die Effizienz der Brunsterkennung in Abhängigkeit folgender Einflussgrößen verhält:

- Länge des Bezugszeitraumes (x Vergleichsstunden),
- Länge des Vergleichszeitraumes (y Vergleichstage),
- genutzte Tagesstunde(n) zur Brunsterkennung,
- Grenzwert des $rAN(x, y)_{ij}$ bei dessen Überschreitung eine Brunst angenommen wird.

Zielstellung ist eine Optimierung der bereits in Abschnitt 2.8. genannten Effizienzkriterien in Abhängigkeit der genannten Einflussgrößen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit werden diese systematisch variiert.

5.1.3 Effizienzkriterien zur Bewertung des Entscheidungsalgorithmus

Um die Effizienz der Brunsterkennung auf Grundlage der stündlichen Aktivitätswerte zu analysieren, erfolgt eine gezielte Auswahl der in den Formeln 1 bis 4 beschriebenen Kriterien. Hierfür werden die Entscheidungen bei Nutzung der Aktivitätswerte in Form des rAN mit der Referenz verglichen. Somit ist jeder Stunde ein durch die Referenz definierter Brunstzustand (wahrer Wert) und ein ermittelter Wert des rAN zuzuordnen. Deren Zusammenhang lässt sich in Form einer $2 * 2$ Tafel (Tabelle 11) darstellen. Die vier möglichen Kategorien werden mit TP (true positiv), FP (false positive), TN (true negative) und FN (false negative) gekennzeichnet.

Tabelle 11: $2 * 2$ - Tafel der Brunsterkennung

Brunst	liegt vor	liegt nicht vor
wird erkannt	TP	FP
wird nicht erkannt	FN	TN

Bezogen auf den vorliegenden Anwendungsfall liegt der Schwerpunkt auf der Betrachtung von Erkennungsrate (Formel 1), die den Anteil der bei Nutzung der Aktivitätswerte erkannten Brünste an allen Brünsten beschreibt, und der Fehlerrate (Formel 3), die den Anteil der falsch erkannten Brünste an allen erkannten Brünsten wiedergibt. Im Optimalfall liefert die Einteilung der Ausgabewerte in die vier Kategorien eine Erkennungsrate und Spezifität von 100 % und gleichzeitig eine Fehlerrate von 0 %.

In den folgenden Berechnungsvarianten können die genutzten Effizienzkriterien mit Hilfe verschiedener Grenzwerte je nach Zielstellung variiert werden. Dabei ist zu beachten, dass sich die Effizienzkriterien der Erkennungs- und Fehlerrate bei geänderten Grenzwerten tendenziell in die gleiche Richtung verschieben. Ebenfalls bedeutsam erscheint die Spezifität (Formel 4), die für das Verhältnis der wahr negativen Brünste an allen nicht vorliegenden Brünsten steht. Jedoch führt der im Verhältnis zu allen betrachteten Stunden relativ geringe Anteil der als "brünstig" definierten Stunden für relevante Berechnungsvarianten immer zu einer Spezifität nahe 100 %. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird deshalb die Spezifität in den folgenden Abbildungen und Tabellen zunächst nicht dargestellt. Auf Grundlage der Vierfeldertafel einer ausgewählten Kombination aller zu berücksichtigenden Einflussgrößen (BZ, VZ, Tagesstunde und Grenzwert) soll eine Ableitung weiterer Maßzahlen zur Beurteilung der Effizienz der Brunsterkennung erfolgen.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Fall 1

Der brünstige Zeitraum wird für den gesamten Zyklustag 0 definiert.

5.2.1.1 Wahl des Bezugszeitraumes

Infolge der verfügbaren Informationen aus der Referenz wird der "brünstige" Zeitraum am Zyklustag 0 für die Tagesstunden 1 bis 24 definiert. Der BZ soll in den folgenden Tabellen für 1, 8 und 24 Stunden betrachtet werden. Diese Stunden sind aus pragmatischen Gründen gewählt. Innerhalb eines BZ erfolgt jeweils eine Variierung des Grenzwertes zwischen 1.25 und 2 in vier Stufen. Der VZ wird vorerst mit 7 Tagen betrachtet. Für die Bestimmung des optimalen Zeitpunktes zur Brunsterkennung erfolgt die Darstellung für alle 24 Tagesstunden. Durch den erforderlichen Aufbau von BZ und VZ (Formel 18 und 19) bis zur vorgegebenen Zielgröße ergibt sich für die Auswertung einer bestimmten Variante am Anfang der Referenzperiode eine Reduzierung des auswertbaren Datensatzes in Abhängigkeit der Länge des VZ. Eine weitere mögliche Einschränkung beruht auf der Berechnung des rAN durch Division von BW durch VW (Formel 20). Das ist der Fall, wenn der Nenner dem Wert Null entspricht. In Tabelle 12 und Tabelle 13 werden die Effizienzkriterien Erkennungs- und Fehlerrate (ER; FR) in Abhängigkeit der beschriebenen Varianten dargestellt.

Tabelle 12: ER und FR (in %) für die Wahl des BZ in Abhängigkeit der Tagesstunden (h) 1 bis 12 und des Grenzwertes (GW) bei einem VZ = 7

BZ h GW	1				8				24			
	1.25	1.5	1.75	2	1.25	1.5	1.75	2	1.25	1.5	1.75	2
1 ER	63.15	63.15	57.89	44.73	47.36	23.68	10.52	2.63	21.05	0	0	0
FR	91.45	89.83	88.77	89.63	86.86	78.57	80.95	90.90	89.33	100	100	100
2 ER	71.05	71.05	63.15	63.15	55.26	28.94	15.78	10.52	26.31	0	0	0
FR	90.84	88.93	87.81	85.18	86.45	79.62	77.77	77.77	86.30	100	100	100
3 ER	63.15	63.15	55.26	55.26	71.05	50.00	36.84	23.68	31.57	0	0	0
FR	91.30	89.83	89.23	87.42	86.63	75.94	71.42	72.72	83.56	100	100	100
4 ER	66.66	61.11	55.55	52.77	71.05	57.89	42.10	36.84	31.57	7.89	0	0
FR	91.14	90.09	88.70	87.24	88.60	81.66	78.66	71.42	84.21	90.32	100	100
5 ER	52.63	50.00	50.00	39.47	78.94	57.89	47.36	42.10	31.57	15.78	0	0
FR	92.50	91.16	89.50	90.06	86.23	83.58	76.92	68.00	83.09	82.85	100	100
6 ER	65.78	65.78	60.52	55.26	73.68	63.15	57.89	50.00	34.21	21.05	0	0
FR	90.19	88.47	86.47	82.92	87.21	82.60	72.83	67.24	81.15	77.77	100	100
7 ER	78.37	75.67	70.27	64.86	76.31	68.42	63.15	52.63	44.73	23.68	5.26	0
FR	88.71	85.49	82.89	79.66	86.75	80.15	69.23	62.26	76.71	73.52	88.23	100
8 ER	63.15	44.73	36.84	28.94	81.57	71.05	55.26	52.63	47.36	23.68	10.52	0
FR	90.12	88.11	85.41	81.35	84.18	75.22	61.81	50.00	76.92	71.87	77.77	100
9 ER	31.57	15.78	13.15	10.52	73.68	65.78	52.63	44.73	44.73	26.68	15.78	0
FR	95.43	96.17	93.75	89.74	84.78	71.26	55.55	51.42	76.71	71.87	71.42	100
10 ER	39.47	21.05	15.78	7.89	65.78	55.26	36.84	31.57	50.00	21.05	15.78	0
FR	93.21	91.91	87.75	86.36	81.06	66.66	53.33	33.33	74.66	73.33	68.42	100
11 ER	52.63	47.36	31.57	18.42	63.15	52.63	39.47	28.94	52.63	28.94	13.15	0
FR	92.83	87.67	80.00	80.00	77.77	47.36	21.05	15.38	69.69	65.62	72.22	100
12 ER	65.78	57.89	39.47	34.21	60.52	57.89	36.84	26.31	55.26	36.84	18.42	7.89
FR	92.49	89.16	86.72	80.88	77.66	42.10	6.66	9.09	67.69	57.57	56.25	50.00

Tabelle 13: ER und FR (in %) für die Wahl des BZ in Abhängigkeit der Tagesstunden (h) 13 bis 24 und des Grenzwertes (GW) bei einem VZ = 7

BZ h GW	1				8				24			
	1.25	1.5	1.75	2	1.25	1.5	1.75	2	1.25	1.5	1.75	2
13 ER	73.68	55.26	44.73	28.94	71.05	52.63	31.57	18.42	63.15	39.47	18.42	2.63
FR	91.08	88.52	85.21	81.96	72.44	35.50	7.69	12.50	66.19	51.61	50.00	75.00
14 ER	68.42	63.15	47.36	34.21	73.68	52.63	28.94	7.89	63.15	42.10	18.42	7.89
FR	92.00	87.87	85.48	82.19	68.18	28.57	8.33	0	60.65	46.66	50.00	40.00
15 ER	76.31	65.78	52.63	50.00	71.05	47.36	18.42	5.26	71.05	44.73	21.05	7.89
FR	90.67	88.20	83.87	73.61	68.23	25.00	12.50	0	54.23	43.33	33.33	40.00
16 ER	86.84	78.94	63.15	47.36	73.68	47.36	26.31	13.15	73.68	52.63	28.94	10.52
FR	89.81	86.48	82.48	80.85	63.15	25.00	16.66	0	50.87	37.50	21.42	20.00
17 ER	75.67	70.27	59.45	40.54	78.94	52.63	36.84	18.42	76.31	57.89	36.84	13.15
FR	90.54	86.59	82.40	80.00	64.70	23.07	12.50	12.50	49.12	35.29	12.50	16.66
18 ER	60.52	23.68	13.15	13.15	84.21	57.89	39.47	21.05	76.31	57.89	36.84	15.78
FR	90.61	90.72	88.88	73.68	60.97	24.13	6.25	11.11	52.45	29.03	12.50	14.28
19 ER	52.63	28.94	7.89	5.26	81.57	50.00	36.84	18.42	81.57	63.15	34.21	15.78
FR	88.57	78.43	88.00	84.61	62.65	24.00	6.66	12.50	49.18	25.00	13.33	14.28
20 ER	65.78	36.84	18.42	7.89	76.31	47.36	26.31	15.78	86.84	63.15	34.21	18.42
FR	90.15	87.03	82.05	86.36	59.72	18.18	9.09	0	45.90	25.00	7.14	12.50
21 ER	63.15	57.89	52.63	47.36	73.68	55.26	31.57	18.42	86.84	65.78	31.57	18.42
FR	93.51	91.53	89.89	88.31	65.00	16.00	7.69	0	45.00	19.35	7.69	12.50
22 ER	57.89	55.26	55.26	44.73	76.31	55.26	36.84	21.05	92.10	68.42	39.47	13.15
FR	93.76	92.78	90.58	90.44	68.13	16.00	0	0	40.67	16.12	6.25	16.66
23 ER	54.05	45.94	37.83	35.13	73.68	55.26	36.84	18.42	94.73	68.42	39.47	10.52
FR	93.03	92.60	92.30	91.03	71.13	27.58	0	0	37.93	13.33	6.25	20.00
24 ER	68.42	65.78	57.89	50.00	68.42	55.26	36.84	21.05	97.36	71.05	44.73	7.89
FR	90.33	88.93	88.04	86.80	75.00	34.37	6.66	11.11	39.34	6.89	5.55	25.00

In den betrachteten Tabellen ist zu erkennen, dass sich bei einem BZ von 1 Stunde und einem Grenzwert von 1.25 die Fehlerrate zu allen Tagesstunden auf konstant hohem Niveau von etwa 90 % bewegt. Die Erkennungsrate unterliegt innerhalb des Tages deutlichen Schwankungen, wobei die Ergebnisse in den Nachstunden von 24 bis 8 und am Nachmittag von 13 bis 17 gegenüber den restlichen Tagesstunden etwas besser sind. Innerhalb einer Tagesstunde ist eine Erhöhung des Grenzwertes sowohl mit einer Reduzierung der Erkennungs- als auch der Fehlerrate verbunden. Im Gegensatz zur Variante mit einem BZ von 1 Stunde ist bei einem BZ von 8 Stunden eine andere Entwicklung zu erkennen. Hier liegt die Fehlerrate mit abnehmendem Grenzwert in den ersten 6 bis 9 Tagesstunden auf konstant hohem Niveau, gefolgt von einem Abfall, einer weiteren Plateauphase sowie einem Anstieg am Ende des Tages. Die beschriebenen Schwankungen der Erkennungsrate bei einem BZ von 1 Stunde werden bei der Variante mit 8 Stunden in abgeschwächter Form ebenfalls deutlich. Dabei kommt es tendenziell bis zur Tagesstunde 7 bzw. 8 zu einem Anstieg der Erkennungsrate. Im weiteren Tagesverlauf sind geringe Schwankungen der Erkennungsrate mit einer leicht abfallenden Tendenz zu erkennen. Auffällig ist das Auftreten der Fehlerraten von 0 % für den Grenzwert von 1.75 in den Tagesstunden 22 und 23. Bei einem Grenzwert von 2 ist dies bereits zu einem früheren Tageszeitpunkt festzustellen. Ein BZ von 24 Stunden zeigt im Verlauf des Tages für die Erkennungsrate einen stetigen Anstieg und für die Fehlerrate einen stetigen Abfall. Diese Tendenz ist bei einem Grenzwert von 1.25 am deutlichsten ausgeprägt und relativiert sich mit zunehmendem Grenzwert. Auffallend ist weiterhin eine in den ersten Tagesstunden vorliegende Erkennungsrate von 0 % in Verbindung mit einer Fehlerrate von 100 % bei einem Grenzwert von 1.5. Hiervon ist mit ansteigendem Grenzwert eine zunehmende Anzahl von Tagesstunden betroffen.

Wie erwartet, kommt es in den meisten Varianten bei einer Erhöhung des Grenzwertes innerhalb einer Tagesstunde bei gleichem BZ sowohl zu einer Reduzierung der Erkennungs- als auch der Fehlerrate. Da diese Reduzierung für beide Effizienzkriterien nicht linear und in der Spannweite zwischen 0 % und 100 % verläuft, lässt sich über den Grenzwert das Verhältnis zwischen Erkennungs- und Fehlerrate je nach Zielstellung optimieren. Dabei ist zu beachten, dass Varianten mit hohen Erkennungsraten bei gleichzeitig hoher Fehlerrate nicht anwendbar sind. Dies gilt ebenso für eine geringe Fehlerrate in Verbindung mit einer niedrigen Erkennungsrate. Aus der gezeigten Entwicklung der Effizienzkriterien in Abhängigkeit des BZ und des Grenzwertes ist abzuleiten, dass für ein optimiertes Verhältnis

von Erkennungs- und Fehlerrate mit zunehmendem BZ ein geringerer Grenzwert zu wählen ist.

Weiterhin ist erkennbar, dass mit zunehmender Länge des BZ die Schwankungen der Erkennungsrate innerhalb des Tagesverlaufes geringer werden bzw. sich diese bei einem BZ von 24 Stunden größtenteils in einem kontinuierlichen Anstieg zeigen. Die Fehlerrate wird mit zunehmendem BZ in Abhängigkeit des Tagesverlaufes ebenfalls geringer. Ab einer bestimmten Länge des BZ ist diese steigende Erkennungs- bei gleichzeitig sinkender Fehlerrate mit zunehmendem Tagesverlauf deutlich erkennbar. Diese Verschiebung der Erkennungs- und Fehlerrate in entgegengesetzte Richtungen wird durch die differenzierte Darstellung von Erkennungs- und Fehlerrate in Abhängigkeit der 24 Tagesstunden ermöglicht. Bei einem größeren BZ als 24 Stunden ist keine weitere Verbesserung zu verzeichnen bzw. verschlechtert sich das Verhältnis zwischen Erkennungs- und Fehlerrate. Aus den dargestellten Varianten geht hervor, dass ein BZ von 24 Stunden mit einem Grenzwert von 1.25 bzw. 1.5 zu bevorzugen ist.

5.2.1.2 Wahl des Vergleichszeitraumes

Die Bestimmung eines geeigneten VZ wird anhand der folgenden Tabellen erläutert. Wie bei der Wahl des BZ wird der Zeitraum der Brunst für alle Tagesstunden am Zyklustag 0 definiert. Weiterhin erfolgt innerhalb verschiedener VZ die Variierung von Grenzwert sowie die tagesstundenspezifische Darstellung von Erkennungs- und Fehlerrate. Aufgrund der im vorherigen Abschnitt gewonnenen Erkenntnisse wird der BZ mit einer Länge von 24 Stunden konstant gehalten. Dies führt zu einer Variierung des Grenzwertes in einem relativ niedrigen Bereich zwischen 1.2 und 1.6. Wie bereits bei der Wahl des BZ erläutert, kommt es auch bei der Bestimmung des VZ aus den gleichen Gründen zu einer Reduzierung des auswertbaren Datensatzes. Dies hat in Abhängigkeit des VZ eine jeweils unterschiedliche Länge des Datensatzes mit einem auswertbaren rAN zur Folge. Weil sich diese Unterschiede auf den Anfang des Datensatzes beziehen, bleibt in allen Varianten die Anzahl der als "brünstig" definierten Stunden mit 24 identisch.

Tabelle 14: ER und FR (in %) für die Wahl des VZ in Abhängigkeit der Tagesstunden (h) 1 bis 12 und des Grenzwertes (GW) bei einem BZ = 24

VZ h GW	1			3			7			9		
	1.2	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6
1 ER	34.21	13.15	2.63	31.57	5.26	0	26.31	0	0	26.31	0	0
FR	92.77	93.58	98.07	90.83	96.07	100	89.01	100	100	87.80	100	100
2 ER	42.10	13.15	5.26	39.47	7.89	0	34.21	2.63	0	31.57	5.26	0
FR	91.48	93.58	96.29	88.00	93.75	100	86.02	97.29	100	86.36	94.44	100
3 ER	44.73	15.78	5.26	42.10	15.78	0	34.21	15.78	0	34.21	13.15	0
FR	90.65	92.40	96.36	86.55	88.46	100	85.55	86.36	100	84.88	86.84	100
4 ER	44.73	26.31	5.26	42.10	23.68	0	34.21	21.05	0	34.21	21.05	0
FR	90.39	88.09	96.22	86.66	82.69	100	85.22	81.81	100	85.05	80.48	100
5 ER	47.36	31.57	7.89	47.36	23.68	10.52	34.21	23.68	2.63	34.21	26.31	2.63
FR	89.71	86.66	94.64	85.24	82.69	86.66	85.71	79.54	95.83	84.14	76.19	95.23
6 ER	50.00	36.84	18.42	50.00	23.68	21.05	44.73	26.31	10.52	36.84	26.31	10.52
FR	89.44	84.26	88.88	84.42	82.00	75.00	81.72	76.19	84.00	82.92	75.60	82.60
7 ER	52.63	36.84	23.68	55.26	31.57	21.05	50.00	28.94	18.42	50.00	28.94	21.05
FR	89.89	84.44	86.56	83.46	75.51	74.19	80.41	73.80	74.07	78.16	71.79	68.00
8 ER	57.89	36.84	26.31	55.26	28.94	23.68	55.26	31.57	21.05	52.63	28.94	21.05
FR	88.94	84.44	83.33	82.78	76.59	73.52	78.12	70.73	72.41	76.74	71.05	69.23
9 ER	55.26	28.94	23.68	52.63	34.21	23.68	55.26	28.94	21.05	52.63	28.94	21.05
FR	89.80	86.25	83.63	84.00	73.46	70.96	77.89	71.05	71.42	77.52	68.57	69.23
10 ER	57.89	34.21	23.68	57.89	34.21	21.05	52.63	36.84	21.05	50.00	34.21	21.05
FR	89.52	82.43	76.92	82.11	71.73	74.19	78.26	65.00	71.42	78.40	66.66	69.23
11 ER	68.42	36.84	28.94	57.89	42.10	23.68	57.89	36.84	21.05	57.89	39.47	21.05
FR	85.63	78.78	69.44	80.35	62.79	70.00	75.82	61.11	70.37	73.49	59.45	69.23
12 ER	65.78	39.47	28.94	63.15	42.10	28.94	68.42	42.10	23.68	65.78	39.47	26.31
FR	85.87	76.92	64.51	78.76	64.44	60.71	70.11	57.89	60.86	69.87	58.33	56.52

Tabelle 15: ER und FR (in %) für die Wahl des VZ in Abhängigkeit der Tagesstunden (h) 13 bis 24 und des Grenzwertes (GW) bei einem BZ = 24

VZ h GW	1			3			7			9		
	1.2	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6
13 ER	65.78	44.73	31.57	65.78	47.36	36.84	65.78	47.36	31.57	71.05	42.10	31.57
FR	86.33	70.17	53.84	75.96	58.13	51.72	73.40	51.35	52.00	68.23	52.94	47.82
14 ER	65.78	52.63	34.21	68.42	55.26	36.84	71.05	52.63	34.21	68.42	50.00	31.57
FR	84.84	56.52	51.85	76.36	50.00	46.15	65.82	47.36	50.00	65.78	48.64	52.00
15 ER	68.42	55.26	39.47	71.05	60.52	39.47	71.05	60.52	42.10	71.05	57.89	36.84
FR	84.61	52.27	42.30	73.26	42.50	37.50	67.07	37.83	38.46	65.38	38.88	44.00
16 ER	76.31	55.26	39.47	73.68	65.78	42.10	76.31	63.15	39.47	76.31	65.78	42.10
FR	82.53	56.25	37.50	73.58	41.86	27.27	62.33	35.13	34.78	64.63	35.89	40.74
17 ER	81.57	63.15	42.10	81.57	68.42	44.73	81.57	65.78	42.10	81.57	65.78	39.47
FR	80.37	48.93	36.00	70.75	35.00	22.72	61.72	34.21	27.27	61.25	35.89	34.78
18 ER	84.21	68.42	42.10	84.21	71.05	47.36	84.21	73.68	42.10	81.57	73.68	42.10
FR	78.08	52.72	36.00	68.00	38.63	18.18	57.33	34.88	23.80	58.66	33.33	27.27
19 ER	92.10	73.68	47.36	86.84	76.31	50.00	84.21	73.68	50.00	86.84	73.68	47.36
FR	76.19	49.09	33.33	66.66	32.55	13.63	59.49	28.20	9.52	60.24	28.20	18.18
20 ER	92.10	76.31	42.10	86.84	76.31	55.26	86.84	71.05	55.26	86.84	71.05	52.63
FR	75.17	49.12	36.00	67.64	32.55	12.50	60.24	25.00	8.69	57.14	28.94	16.66
21 ER	92.10	73.68	44.73	86.84	78.94	52.63	86.84	76.31	57.89	89.47	78.94	52.63
FR	74.63	42.85	32.00	66.32	30.23	9.09	54.79	21.62	8.33	52.11	23.07	4.76
22 ER	89.47	76.31	44.73	89.47	76.31	57.89	94.73	71.05	55.26	92.10	81.57	52.63
FR	74.62	40.81	29.16	64.21	25.64	8.33	53.24	20.58	8.69	52.05	18.42	4.76
23 ER	94.73	76.31	47.36	94.73	78.94	55.26	97.36	76.31	55.26	94.73	81.57	52.63
FR	75.67	50.00	28.00	60.86	30.23	8.69	51.94	21.62	4.54	52.63	20.51	4.76
24 ER	89.47	71.05	50.00	97.36	78.94	55.26	97.36	81.57	55.26	97.36	78.94	55.26
FR	77.63	46.00	34.48	61.45	30.23	8.69	50.66	20.51	4.54	49.31	21.05	4.54

In Tabelle 14 und Tabelle 15 sind die Ergebnisse zur Wahl eines VZ mit 1, 3, 7 und 9 Tagen darstellt. Für die Variante mit einem VZ von 1 Tag liegt die Fehlerrate in den ersten Tagesstunden auf einem sehr hohen Niveau und verbessert sich tendenziell mit zunehmender Tageslänge sowie mit einem Anstieg des Grenzwertes. Dies gilt ebenso für die weiteren VZ, wobei mit zunehmendem VZ eine immer stärkere Reduzierung der Fehlerrate zu beobachten ist. Diese Verbesserung ist bis zu einem VZ von 7 Tagen deutlich zu beobachten. In der Variante mit einem VZ von 9 Tagen stagniert dieser Trend. Weiterhin wird die Fehlerrate innerhalb einer Variante des VZ vom Effekt des Grenzwertes überlagert. Dabei führt ein ansteigender Grenzwert innerhalb einer Tagesstunde tendenziell zu einer geringeren Fehlerrate. Dies ist ebenfalls für die Entwicklung der Erkennungsraten zutreffend. Wie bereits in der Wahl des BZ beschrieben, wird ebenso bei der Variierung des VZ ein Anstieg der Erkennungsrate in Abhängigkeit des Tagesverlaufes deutlich. Resultat ist eine, mit zunehmender Länge des VZ, entgegengesetzte Entwicklung der betrachteten Effizienzkriterien. Diese drückt sich in Form einer mit zunehmender Tageslänge ansteigenden Erkennungsrate bei gleichzeitig sinkender Fehlerrate aus. Ab einem VZ von 3 Tagen sind in Verbindung mit einem Grenzwert von 1.2 am Ende des Tages Erkennungsraten von über 90 % zu beobachten. Die dazugehörigen Fehlerraten sind jedoch als hoch einzustufen. In Bezug auf ein optimales Verhältnis zwischen Erkennungs- und Fehlerrate erscheint eine Beachtung des Grenzwertes zwingend erforderlich. Aus den dargestellten Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass für die Wahl eines optimalen VZ eine Länge von 7 Tagen bei einem Grenzwert von 1.4 zu favorisieren ist.

5.2.1.3 Schlussfolgerungen der Untersuchungen für Fall 1

Wie in den vorangegangenen Tabellen gezeigt, verschieben sich erwartungsgemäß Erkennungs- und Fehlerrate innerhalb einer Variante von BZ, VZ und Tagesstunde je nach Wahl des Grenzwertes tendenziell in die gleiche Richtung. Daher ist durch systematische Variation der genannten Einflussgrößen eine Erkennungsrate mit akzeptabler Fehlerrate zu finden. In einem ersten Schritt erfolgt die Wahl des BZ, wobei der optimierte BZ für die Wahl des VZ genutzt wird. Das Ergebnis dieser Vorgehensweise liefert einen optimalen BZ von 24 Stunden bei einem VZ von 7 Tagen.

Eine weiterführende Analyse der bisherigen Ergebnisse soll anhand des in Abbildung 10 dargestellten Verlaufes erfolgen. Dabei wird die Entwicklung von Erkennungs- und Fehlerrate unter Annahme der beschriebenen Kombination aus BZ und VZ bei einem Grenzwert von 1.4 verdeutlicht.

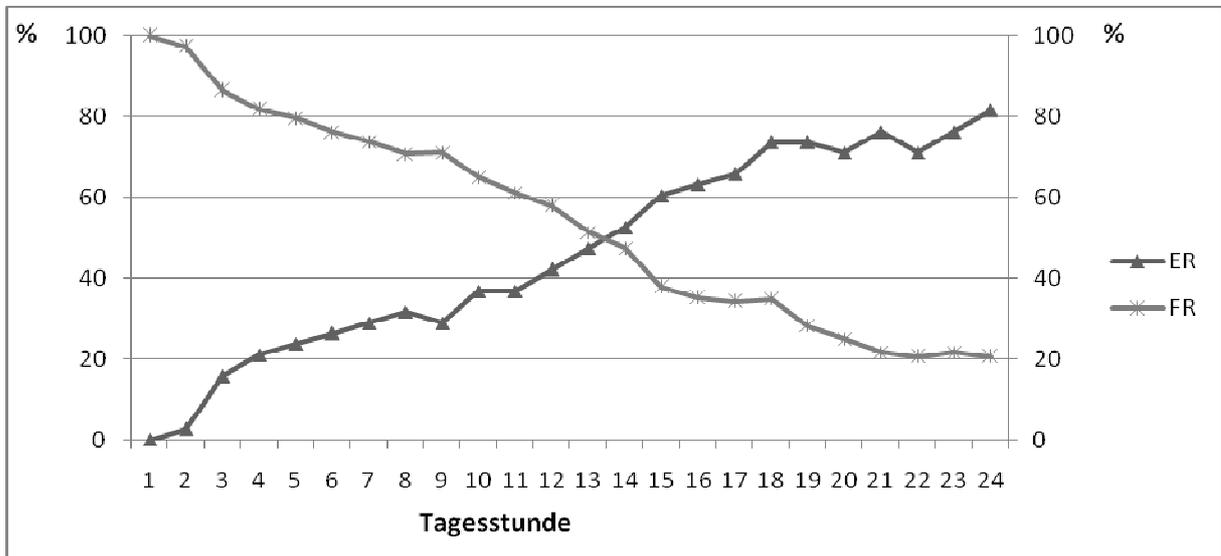


Abbildung 10: ER und FR (in %) bei einem BZ = 24, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 1.4

In der dargestellten Abbildung ist die entgegengesetzte Entwicklung von Erkennungs- und Fehlerrate im Verlauf des Tages deutlich zu erkennen. Das Verhältnis dieser beiden Effizienzkriterien wird mit zunehmendem Tagesverlauf besser und resultiert zur Tagesstunde 24 in einer Erkennungsrate von 81.57 % und einer Fehlerrate von 20.51 %. Eine Variierung des Grenzwertes führt zu numerisch anderen Ergebnissen, aber mit gleicher Tendenz wie in Abbildung 10. So zieht ein Grenzwert von 1.2 zur 24. Tagesstunde eine Erkennungsrate von 97.36 % bei einer Fehlerrate von 50.66 % und ein Grenzwert von 1.6 eine Erkennungsrate von 55.26 % bei einer Fehlerrate von 4.54 % nach sich (vgl. Tabelle 15). Die Einteilung der ermittelten Entscheidungen ergibt unter den beschriebenen Annahmen (Abbildung 10) zur 24. Tagesstunde Folgendes:

Tabelle 16: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung bei einem BZ = 24, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 1.4 zur Tagesstunde 24

Brunst	liegt vor	liegt nicht vor
wird erkannt	31	8
wird nicht erkannt	7	866

In Folge dieser Einteilung werden 8 Entscheidungen entgegen der Annahme "nicht brünstig" fälschlicherweise als "brünstig" und 7 "brünstige" Werte als "nicht brünstig" eingestuft (Tabelle 16). Die mit zunehmendem Tagesverlauf kontinuierliche Abnahme der Fehlerrate (Abbildung 10) ist zum einen mit einer ansteigenden Häufigkeit wahr positiver Entscheidungen und zum anderen mit einer Reduzierung falsch positiver Werte zu erklären. Unter den Annahmen im betrachteten Beispiel steigt die Anzahl der wahr positiven Entscheidungen von der ersten bis zur letzten Tagesstunde von 0 auf 31 an, wohingegen der Anteil der falsch positiven Entscheidungen kontinuierlich von 39 auf 8 abnimmt. Wie aus der Wahl eines geeigneten Bezugs- und Vergleichszeitraumes hervorgeht, ändern sich Erkennungs- und Fehlerrate bei Variierung der betrachteten Einflussgrößen in einer vorhersehbaren Größenordnung (Tabelle 12 bis 15).

In Bezug auf die im erläuterten Beispiel getroffenen Annahmen ist die Entwicklung der Häufigkeitsverteilung der Ausgabewerte (TP, FP, TN, FN) in Abhängigkeit der Tagesstunde und somit der Verlauf von Erkennungs- und Fehlerrate mit denen anderer Varianten tendenziell vergleichbar. Daher kann der dargestellte Verlauf der Effizienzkriterien in Abbildung 10 als typisch angesehen werden.

Eine Analyse der falsch positiven Entscheidungen in der folgenden Tabelle 17 ergibt jeweils unterschiedliche Tiere sowie für fast alle Entscheidungen ein geringfügig oberhalb des Grenzwertes von 1.40 liegendes rAN. Auffällig ist die Häufigkeit von 5 der 8 falsch positiven Entscheidungen am Zyklustag 1. Nachfolgend sollen dafür Gründe erläutert werden.

Tabelle 17: Falsch positive Entscheidungen bei einem BZ = 24, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 1.4 zur Tagesstunde 24

Tiernummer	rAN	Zyklustag
210	1.41	-5
74	1.49	-2
279	2.37	1
89	1.43	1
77	1.54	1
75	1.49	1
67	1.41	1
284	1.42	2

Eine Ursache des gehäuften Auftretens falsch positiver Entscheidungen am Zyklustag 1 liegt in der Berechnungsmethodik des rAN aus dem Quotienten der Mittelwerte des BW und VW und dessen gleitende Verschiebung um jeweils 1 Stunde. Dies hat zur Folge, dass für den als "nicht brünstig" definierten Zyklustag 1 die stündlichen Aktivitätswerte des vorherigen als "brünstig" gekennzeichneten Tages anteilmäßig mit berücksichtigt werden. So haben bei einem BZ von 24 Stunden die Aktivitätswerte des als "brünstig" definierten Tages (Zyklustag 0) bis zur 23. Tagesstunde des folgenden Tages (Zyklustag 1) mit $\frac{1}{24}$ Einfluss auf das rAN. In den ersten Stunden am Zyklustag 1 ist dieser Anteil entsprechend höher. Ebenso werden für die Berechnung des rAN am "brünstig" definierten Tag stündliche Aktivitätswerte des vorherigen als "nicht brünstig" angesehenen Zeitraumes anteilmäßig mit berücksichtigt. Aus diesem Grund ist besonders in den ersten Tagesstunden ein gehäufte Anteil an falsch negativen Werten zu verzeichnen. So beträgt die Anzahl der falsch negativen Entscheidungen im dargestellten Beispiel der Abbildung 10 zur ersten Tagesstunde 38 und verringert sich im weiteren Tagesverlauf bis zur letzten Stunde auf 7. Resultat ist eine zu Tagesanfang geringe Erkennungsrate, die sich mit zunehmendem Tagesverlauf besser wird. Wie stark sich der beschriebene tagesübergreifende Effekt auswirkt, ist abhängig von der Länge des BZ und dem bewerteten Tageszeitpunkt. Diese Trägheit des Systems erklärt sowohl das gehäufte Auftreten der falsch negativen als auch falsch positiven Entscheidungen in den ersten Tagesstunden am Zyklustag 0 bzw. Zyklustag 1 als auch deren kontinuierliche Reduzierung mit zunehmendem Tagesverlauf. Der in Abbildung 10 dargestellte Verlauf von Erkennungs- und Fehlerrate ist als beispielhaft für diese Entwicklung anzusehen.

Der angeführten Erklärung eines Großteils der falsch positiven und falsch negativen Entscheidungen zufolge hätten bei einem gewählten BZ von 24 Stunden die als "brünstig" definierten Aktivitätswerte am Zyklustag 0 keinen Einfluss auf die letzte Tagesstunde am Zyklustag 1. Das gehäufte Auftreten der falsch positiven Entscheidungen am Zyklustag 1 zur 24. Tagesstunde steht dazu jedoch im Widerspruch. Dies ist ein Ansatzpunkt zur Erklärung einer weiteren Ursache. Sie bezieht sich auf die zeitliche Übereinstimmung des als "brünstig" definierten Zeitraumes mit der tierindividuellen Aktivitätserhöhung. In den getroffenen Annahmen wird für jedes Tier am Zyklustag 0 der gleiche Start- und Endpunkt und somit eine gleiche Zeitdauer der erhöhten Aktivität unterstellt. Aus biologischer Sicht erscheint das nicht plausibel.

Um dem gehäuften Auftreten falsch positiver Entscheidungen am Zyklustag 1 (Tabelle 17) gerecht zu werden, wird in Abbildung 11 das Ergebnis einer modifizierten

Berechnungsvariante mit dem Ergebnis des bisherigen Vorgehens verglichen. Im Gegensatz zur ursprünglichen Variante, in der sich die Bewertung auf alle Zyklustage bezieht, wird in der abgeänderten Variante das rAN am Zyklustag 1 von der Bewertung ausgeschlossen. Infolgedessen werden bei einem VZ von 7 Tagen nicht 24, sondern 23 Tage bewertet. Die weiteren Annahmen werden mit einem BZ von 24 Stunden und einem Grenzwert von 1.4 beibehalten. Da sich zwischen beiden Varianten lediglich der als "nicht brünstig" definierte Zeitraum um einen Tag unterscheidet, bleibt der Anteil der wahr positiven und falsch negativen Entscheidungen und somit die Erkennungsraten in beiden Varianten gleich. Sie ist in Abbildung 11 mit "ER" gekennzeichnet. Der für die modifizierte Berechnungsvariante geringere Anteil falsch positiver Entscheidungen wirkt sich in einer, im Vergleich zur ursprünglichen Variante, geringeren Fehlerrate aus. Die zugehörigen Bezeichnungen erfolgen in Abbildung 11 unter Berücksichtigung aller Zyklustage mit "FR" und für die Modifikation mit "FR_1".

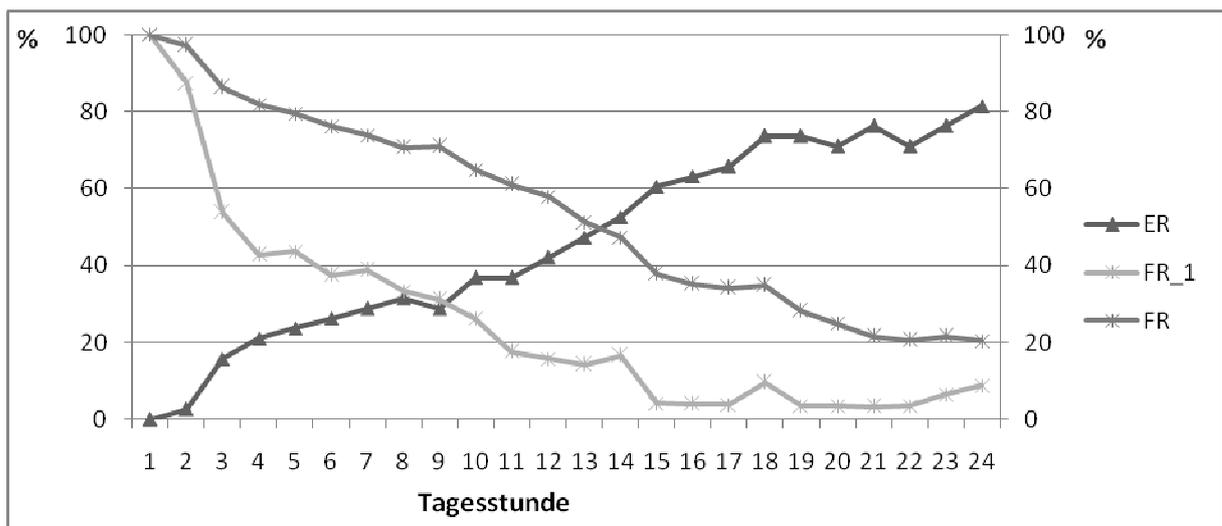


Abbildung 11: ER, FR und modifizierte Fehlerrate (FR_1) (in %) bei einem BZ = 24, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 1.4

Es ist zu erkennen, dass mit Ausnahme der Tagesstunde 1 die Fehlerrate der abgeänderten Variante zu allen Zeitpunkten deutlich unterhalb der Fehlerrate der bisher genutzten Variante verläuft. Im Mittel der Tagesstunden liegt die Fehlerrate bei Betrachtung aller Zyklustage (FR) bei 54.13 %, ohne Berücksichtigung von Zyklustag 1 (FR_1) beträgt sie 25.43 %. Dies ist eine Reduzierung von durchschnittlich etwa 53 %. Weiterhin ist in der ersten Tageshälfte (Tagesstunden 1 bis 12) mit durchschnittlich 32.67 % eine größere Differenz zwischen den beiden Fehlerraten als in der zweiten Tageshälfte (Tagesstunden 13 bis 24) mit 24.70 % zu verzeichnen. Auffällig ist ebenso der relativ steile Abfall der Fehlerrate bis zur

Tagesstunde 15, gefolgt von einem relativ konstanten Niveau um etwa 4 % und einem geringfügigen Anstieg in den letzten beiden Tagesstunden. Ohne Berücksichtigung des Zyklustages 1 ergibt sich somit die geringste Fehlerrate mit 3.33 % zur Tagesstunde 21, wobei sich diese von den Stunden 15, 16, 17, 19, 20 und 22 um weniger als 1 % unterscheidet. Da für die beiden betrachteten Varianten die Erkennungsraten über den Tagesverlauf identisch sind, ist auch weiterhin zur Tagesstunde 24 mit 81.57 % der höchste Wert vorzufinden. Somit liegt im Gegensatz zur ursprünglichen Variante in der abgeänderten Vorgehensweise die höchste Erkennungsrate und die geringste Fehlerrate zu zwei unterschiedlichen Stunden vor.

Weil die beschriebene Berechnungsvariante ohne Berücksichtigung des Zyklustages 1 nur retrospektiv erfolgen kann, ist sie für eine praktische Anwendung ungeeignet. Aus diesem Grund wird auf eine weitere Optimierung des Verhältnisses zwischen Erkennung- und Fehlerrate durch die Variierung des Grenzwertes verzichtet. Dennoch ist der in Verbindung mit der Berechnungsmethodik auftretende systematische Fehler, der sich in Form eines erhöhten Anteils falsch positiver Entscheidungen unmittelbar nach dem als "brünstig" definierten Zeitraum (Zyklustag 0) auswirkt, entsprechend nachzuvollziehen.

Zusammenfassend sind aus der Analyse der falsch negativen und falsch positiven Entscheidungen zwei Schlussfolgerungen zu ziehen. Zum einen ist in Folge der angewendeten Berechnungsmethodik zur Brunsterkennung mit zunehmender Länge des BZ eine zeitliche Verzögerung bzw. Trägheit der Bewertung der Aktivität in Form des rAN nachzuweisen. Zum anderen ist zu vermuten, dass der als "brünstig" definierte Zeitabschnitt des Zyklustages 0 nicht stundengenau mit der tatsächlichen tierindividuellen erhöhten Dauer der Aktivität übereinstimmt. Dies motiviert zu einer abgeänderten Vorgehensweise.

5.2.2 Fall 2

Als Konsequenz der Analyseergebnisse tierindividueller Aktivitätsverläufe wird der brünstige Zeitraum für einen kategorisierten Zeitabschnitt im Bereich zwischen dem Zyklustag -1 und 1 definiert.

5.2.2.1 Modifikation der zeitlichen Einteilung der Brunstzustände

Bei Beachtung des im vorangegangenen Abschnitts beschriebenen Widerspruches zwischen Bewertung des gesamten Zyklustages 0 als "brünstig" bzw. der restlichen Zyklustage als "nicht brünstig" und der damit verbundenen Bewertungsprobleme soll im Folgenden eine modifizierte Festlegung der Einteilung der Referenzperiode in Brunst und Zwischenbrunst genutzt werden.

Bei Nutzung der Hormonverläufe von Progesteron und Estradiol-17 β (Abbildung 9) wurde der Übergang der Vorbrunst in die Hauptbrunst für den Zyklustag 0 tagspezifisch eingegrenzt. Folglich wurde in den bisherigen Berechnungen zur Brunsterkennung der als "brünstig" definierte Zeitraum für diesen gesamten Zyklustag festgelegt. Basierend auf der Vermutung, wonach diese mit 24 Tagesstunden als brünstig definierte Periode den tatsächlichen tierindividuellen Brunstzeitraum zu ungenau beschreibt, soll zunächst eine einzeltierspezifische Analyse der Aktivität vorgenommen werden. Weil die Aktivitätswerte der einzelnen Tagesstunden erhebliche Schwankungen aufweisen, erfolgt die Darstellung in Form einer Glättung. Dafür wird auf das bereits erläuterte rAN mit einem BZ von 4 Stunden und einem VZ von 7 Tagen zurückgegriffen. Um die Vergleichbarkeit eines aktuell zu bewertenden Zeitabschnittes mit einem vorherigen Zeitabschnitt zu verdeutlichen, sind in den folgenden vier Beispielverläufen für jedes Tier die drei betrachteten Zyklustage mit jeweils fortlaufenden Tagesstunden von 1 bis 24 gekennzeichnet.

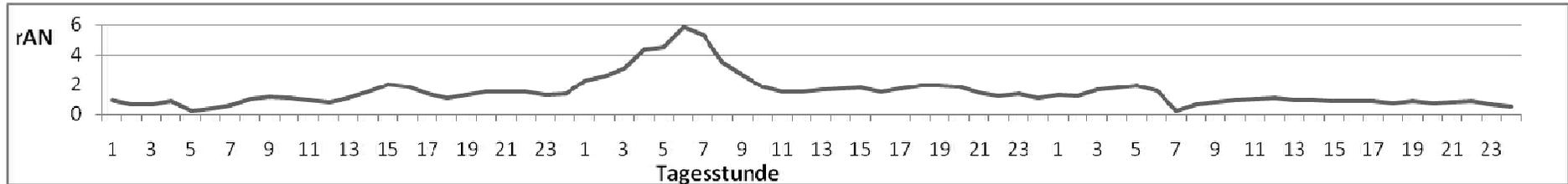


Abbildung 12: Verlauf der Aktivität von Tier Nr. 265 in Form des rAN bei einem BZ = 4 und einem VZ = 7 für die Zyklustage -1 bis 1

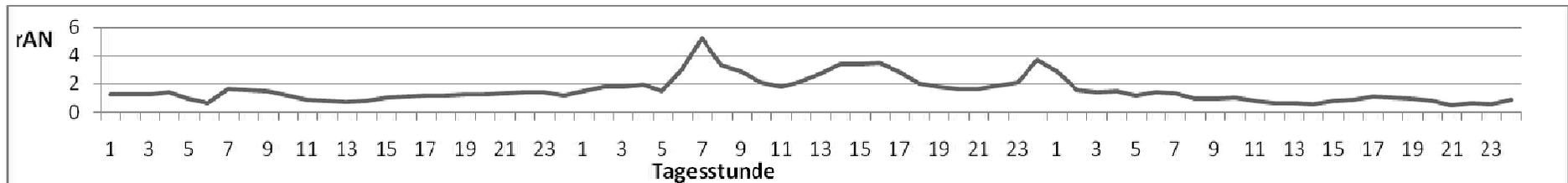


Abbildung 13: Verlauf der Aktivität von Tier Nr. 303 in Form des rAN bei einem BZ = 4 und einem VZ = 7 für die Zyklustage -1 bis 1

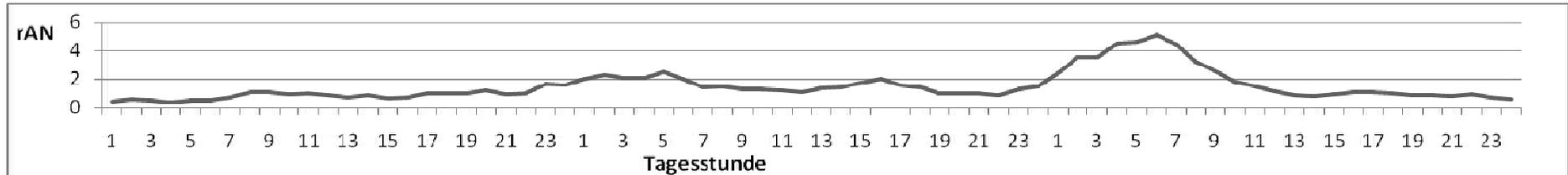


Abbildung 14: Verlauf der Aktivität von Tier Nr. 89 in Form des rAN bei einem BZ = 4 und einem VZ = 7 für die Zyklustage -1 bis 1

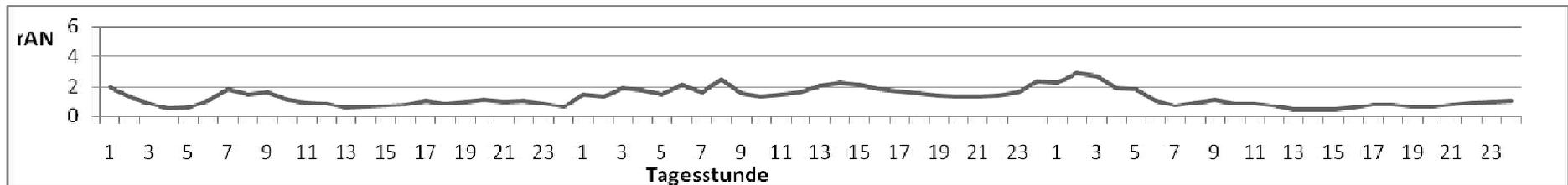


Abbildung 15: Verlauf der Aktivität von Tier Nr. 74 in Form des rAN bei einem BZ = 4 und einem VZ = 7 für die Zyklustage -1 bis 1

Für jedes der vier betrachteten Tiere (Abbildung 12 bis Abbildung 15) ist ein tierindividueller Verlauf zu erkennen. Diese Tierindividualität bezieht sich neben dem allgemeinen Verlauf des rAN sowohl auf den Start- und Endpunkt einer brunstbedingten Erhöhung als auch deren individuelle Höhe. Diese Beschreibung gilt ebenfalls für alle weiteren 34 Tiere. Als Ergebnis liegen 38 tierindividuelle Verläufe vor. Dennoch lässt sich jedes Tier in eine der folgenden Kategorien einordnen:

- Kategorie 1: erhöhte Aktivität in der Nacht vom Zyklustag -1 auf den Zyklustag 0, z. B. Abbildung 12 (n = 16),
- Kategorie 2: erhöhte Aktivität am Zyklustag 0, z. B. Abbildung 13 (n = 3),
- Kategorie 3: erhöhte Aktivität in der Nacht vom Zyklustag 0 auf den Zyklustag 1, z. B. Abbildung 14 (n = 12),
- Kategorie 4: indifferente Erhöhung der Aktivität, z. B. Abbildung 15 (n = 7).

Aus dem Grund einer objektiven Auswertung sollen die als indifferent eingestuften Tiere der Kategorie 4 nicht von der Brunsterkennung ausgeschlossen werden. Es erfolgt lediglich eine Zuordnung der sieben betreffenden Tiere in eine andere Kategorie. Hierzu wird die am ehesten passende Kategorie gewählt, z. B. für Tier Nr. 74 (Abbildung 15) die Kategorie 3. Infolge dieser Aufteilung kommt es zu einer geänderten Klassenbesetzung:

- Kategorie 1: n = 18,
- Kategorie 2: n = 4,
- Kategorie 3: n = 16.

Weil für die Nutzbarkeit der Referenz eine Definition des "brünstigen" Zeitabschnittes innerhalb der Referenzperiode notwendig ist und durch die erläuterte Kategorisierung der als "brünstig" definierte Zeitraum modifiziert wurde, ist eine stundengenaue Einteilung des Tages in die zwei Abschnitte „Nacht“ und „Tag“ notwendig. Hierzu wird auf die geschätzte Tagesdynamik der Aktivität für die Population des dazugehörigen Versuchszeitraumes im März 2011 in Abbildung 16 zurückgegriffen.

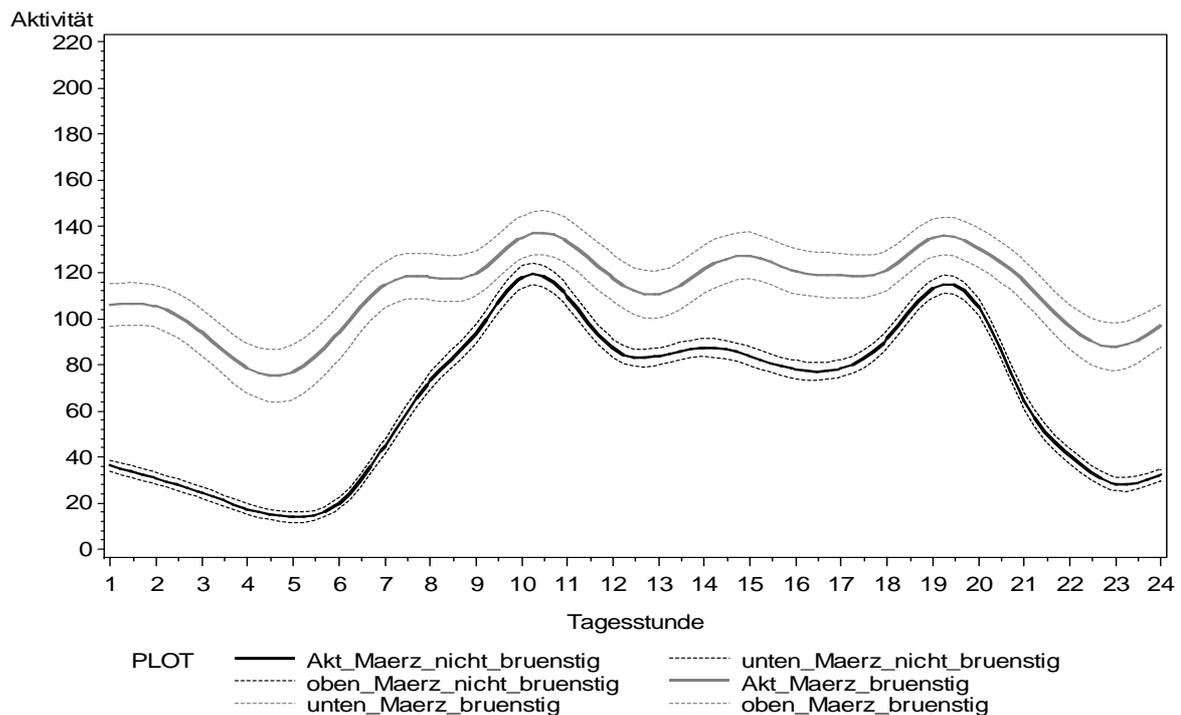


Abbildung 16: Bestandsmittel der Tagesdynamik der Aktivität im März 2011 mit Angabe des zweiseitigen Konfidenzintervalls ($P = 0.95$)

Wie bereits in der Beschreibung der täglichen Aktivitätsdynamik erläutert, sind in der vorliegenden Abbildung die größten Unterschiede zwischen "brünstigem" und "nicht brünstigem" Zustand v. a. in den Nachtstunden zu erkennen. Auffällig sind die relativ geringen Unterschiede zwischen den beiden Aktivitätszuständen in den Tagesstunden von etwa 9 bis 11 sowie im Zeitraum der Stunden von etwa 18 bis 21. Weiterhin ist im Zeitabschnitt zwischen den Stunden 6 bis 10 ein kontinuierlicher Anstieg der Aktivität im "nicht brünstigen" Zustand zu erkennen. Weil diese Auffälligkeiten auf umweltbedingte Einflüsse, wie z. B. dem natürlichen Tagesrhythmus oder Fütterungszeiten, zurückzuführen sind, ist in diesen Bereichen von einer stark umweltbeeinflussten Aktivität auszugehen. Aus diesem Grund gelten diese Tagesabschnitte für eine Brunsterkennung als nicht relevant. Als Konsequenz werden die Abschnitte Nacht und Tag wie folgt eingeteilt:

- Nacht: Stunden 22 bis 6,
- Tag: Stunden 12 bis 17.

Schlussfolgerung dieses Abschnittes ist, dass die Definition des "brünstigen" Bereiches für den gesamten Zyklustag 0 (Fall 1) aufgrund der erläuterten tierindividuellen Verläufe nicht den biologischen Erwartungen entspricht. Dennoch ist für fast alle Tiere am bzw. in

unmittelbarer Nähe des Zyklustages 0 eine deutliche Aktivitätserhöhung nachzuweisen. Durch die Einteilung der Tiere in eine der drei gebildeten Kategorien ist eine bessere Übereinstimmung der angenommenen Brunst (Referenz) mit der tatsächlichen brunstbedingten erhöhten Aktivität gegeben. Mit Hilfe der Erkenntnisse aus der geschätzten täglichen Aktivitätsdynamik kommt es zu einer Einteilung der Zeitabschnitte in Nacht und Tag. Dabei werden diejenigen Tagesbereiche berücksichtigt, in denen von einem relativ großen Unterschied zwischen den Aktivitätszuständen "Brunst" und "Zwischenbrunst" auszugehen ist.

5.2.2.2 Wahl des Bezugszeitraumes

Für die Wahl des Bezugszeitraumes steht der identische Datensatz wie in den bisherigen Berechnungen (Fall 1) zur Verfügung. Er umfasst 38 Tiere mit Zeitreihen von jeweils 31 Tagen. Innerhalb dieser 28272 stündlichen Beobachtungswerte sind 330 Stunden als "brünstig" definiert. Davon entfallen 306 Beobachtungen auf die 34 Tiere der Kategorie 1 und Kategorie 3 mit jeweils neun als "brünstig" definierten Nachtstunden. Die Anzahl der restlichen 24 als "brünstig" definierten Stunden setzt sich aus den vier Tieren in Kategorie 2 und den Tagesstunden 12 bis 17 zusammen. Diese Einteilung führt zu einer ungleichen Klassenbesetzung der als "brünstig" definierten Tagesstunden zwischen Tag und Nacht. Für die Variierung des BZ in Abhängigkeit verschiedener Grenzwerte wird aufgrund der bereits gewonnenen Erkenntnisse ein VZ mit 7 Tagen gewählt. Der systematische Aufbau von BZ und VZ bis zur gewählten Zielgröße führt auch hier zu einer Reduzierung des Datensatzes am Anfang der 31-tägigen Referenzperiode. Falls bei der Berechnung des über Division gebildeten rAN der Nenner dem Wert Null entspricht, kommt es zu einer weiteren Einschränkung. Die in Tabelle 18 dargestellten Erkennungs- und Fehlerraten sind aufgrund der nachgewiesenen stark umweltbeeinflussten Zeiträume (Abbildung 16) nicht für alle 24 Tagesstunden dargestellt. Dennoch beeinflussen bei einem BZ >1 die Zeitabschnitte der Tagesstunden 7 bis 11 sowie 18 bis 21 das rAN der für die Brunsterkennung relevanten Stunden. Dieses Vorgehen wird aufgrund der Alternative eines Datensatzes mit Fehlstellen und einem damit verbundenen Neuaufbau des BZ bis zu seiner Zielgröße toleriert. Es erfolgt lediglich keine Bewertung des für die Berechnung von Erkennungs- und Fehlerrate benötigten rAN dieser stark umweltbeeinflussten Zeitabschnitte.

Tabelle 18: ER und FR (in %) für die Wahl des BZ in Abhängigkeit des Grenzwertes (GW) bei einem VZ = 7

BZ h	GW	1			4			6			8		
		1.5	2	3	1.5	2	3	1.5	2	3	1.5	2	3
1	ER	91.17	73.52	32.35	85.29	64.70	32.35	73.52	47.05	14.70	64.70	23.52	2.94
	FR	86.91	84.84	81.66	83.97	72.50	31.25	77.06	46.66	0	47.61	27.27	0
2	ER	88.23	76.47	61.76	91.17	70.58	47.05	85.29	67.64	35.29	67.64	41.17	5.88
	FR	87.70	83.95	75.29	81.09	65.21	30.43	80.13	58.18	20.00	57.40	22.22	0
3	ER	88.23	79.41	44.11	91.17	82.35	50.00	91.17	70.58	38.23	85.29	61.76	20.58
	FR	87.34	83.83	81.48	80.25	61.64	26.08	77.69	57.14	13.33	63.29	36.36	12.5
4	ER	79.41	76.47	64.70	94.11	76.47	52.94	94.11	79.41	52.94	88.23	76.47	41.17
	FR	87.83	82.55	73.17	81.60	65.33	18.18	77.30	50.00	10.00	75.00	46.93	6.66
5	ER	76.47	67.64	55.88	94.11	82.35	64.70	97.05	88.23	58.82	94.11	79.41	50.00
	FR	88.01	84.76	77.90	82.51	65.85	26.66	78.14	49.15	9.09	76.11	46.00	5.55
6	ER	76.47	70.58	70.58	85.29	82.35	70.58	97.05	85.29	67.64	97.05	88.23	55.88
	FR	88.12	80.64	66.19	83.97	72.54	40.00	78.43	55.38	4.16	76.08	48.27	9.52
12	ER	100	100	25.00	75.00	50.00	25.00	100	50.00	0	100	50.00	0
	FR	98.03	94.20	88.88	91.89	0	0	88.88	50.00	-	89.47	81.81	-
13	ER	100	75.00	50.00	100	75.00	25.00	75.00	50.00	0	100	50.00	0
	FR	97.81	95.08	66.66	90.24	66.66	0	89.65	0	-	87.50	75.00	-
14	ER	100	100	25.00	100	100	25.00	100	50.00	0	100	50.00	0
	FR	97.98	94.52	87.50	91.30	66.63	0	84.00	0	-	85.71	33.33	-
15	ER	100	75.00	50.00	100	100	25.00	100	100	0	100	50.00	0
	FR	98.12	95.89	84.61	93.22	76.47	0	86.66	42.85	-	83.33	0	-
16	ER	100	100	50.00	100	100	50.00	100	100	0	100	100	0
	FR	98.19	95.74	90.00	94.36	73.33	0	89.47	63.63	-	83.33	20.00	-
17	ER	100	75.00	0	100	100	25.00	100	100	25.00	100	100	0
	FR	97.93	96.00	100	93.84	76.47	0	90.24	66.66	0	84.61	50.00	-
22	ER	79.41	64.70	41.17	50.00	14.70	0	41.17	8.82	0	35.29	11.76	0
	FR	90.75	87.70	80.28	67.92	16.66	-	51.72	0	-	52.00	50.00	-
23	ER	73.52	61.76	47.05	64.70	38.23	8.82	52.94	14.70	0	44.11	14.70	0
	FR	89.13	85.51	76.47	79.62	56.66	40.00	41.93	28.57	-	48.27	28.57	-
24	ER	79.41	61.76	38.23	76.47	64.70	35.29	61.76	32.35	5.88	52.94	20.58	0
	FR	88.15	85.41	82.43	85.39	71.79	36.84	56.25	15.38	0	43.75	22.22	-

In Tabelle 18 sind für unterschiedliche Kombinationen aus BZ und Grenzwert die dazugehörigen Erkennungs- und Fehlerraten dargestellt. Für die Wahl des BZ von 1 Stunde und einem Grenzwert von 1.25 sind für alle betrachteten Tagesstunden Fehlerraten von mindestens 86 % zu erkennen. Im Bereich der Stunden 12 bis 17 sind Fehlerraten von annähernd 100 % zu verzeichnen. Innerhalb des BZ von 1 Stunde führt eine Erhöhung des Grenzwertes zu einer minimalen Verbesserung. Mit einer geringfügigen Verschlechterung der Fehlerrate vom Grenzwert 2 zum Grenzwert 3 bildet die Stunde 17 die Ausnahme, wobei sie sich in beiden Fällen auf einem sehr hohen Niveau befindet. Bei einem BZ von 1 Stunde und den weiteren in Tabelle 18 betrachteten Grenzwerten verbleibt die Fehlerrate zu allen Zeitpunkten auf einem Niveau von über 66 %. Die dazugehörigen Erkennungsraten liegen bei einem Grenzwert von 1.5 zu allen Stunden ebenfalls auf einem hohem Niveau zwischen etwa 73 % und 100 %. Der bei einem BZ von 1 Stunde beobachtete Effekt einer Reduzierung von Erkennungs- und Fehlerrate in Abhängigkeit der Tagesstunde aufgrund der Erhöhung des Grenzwertes gilt ebenfalls für die weiteren BZ. Ein BZ von 4 Stunden resultiert in Verbindung mit einem Grenzwert von 2 zur Tagesstunde 12 erstmals in einer Fehlerrate von deutlich unter 50 %. In diesem Fall ist zu bedenken, dass die Datengrundlage für diese als "brünstig" definierte Stunde lediglich 4 Tiere beträgt. In den Nachtstunden wird bei gleichem BZ sowie Grenzwert zur Stunde 22 die geringste Fehlerrate von 16.66 % in Verbindung mit einer Erkennungsrate von 14.70 % ausgewiesen. Auffällig sind die, für den BZ von 4 Stunden und einen Grenzwert von 3, daraus resultierenden Fehlerraten von 0 % sowie Erkennungsraten von 25 % in den Stunden von 12 bis 17. Im Vergleich dazu betragen die für einen BZ von 6 und 8 Stunden berechneten Erkennungsraten mit einer Ausnahme jeweils 0 %. Die dazugehörigen Fehlerraten konnten aufgrund von nicht vorhandenen falsch positiven sowie wahr positiven Entscheidungen nicht berechnet werden. Gleiches gilt z. T. für die ersten den Nachtstunden zugehörigen Zeitabschnitte.

Aufgrund der in Nacht oder Tag eingeteilten Tagesabschnitte ist eine differenzierte Betrachtung der Effizienzkriterien dieser beiden Bereiche in Tabelle 18 notwendig. In Hinblick auf eine möglichst hohe Erkennungsrate bei geringer Fehlerrate erscheint für die Nachtstunden, besonders in den Stunden von 4 bis 6, ein BZ im Bereich von 6 und 8 Stunden mit einem Grenzwert zwischen 2 und 3 geeignet. Für den Tag liefert ein BZ von 6 oder 8 Stunden bei einem Grenzwert von 2 ebenfalls ein günstiges Verhältnis zwischen Erkennungs- und Fehlerrate. Hierbei sind für den Zeitraum der Stunden 13 bis 16 die besten Ergebnisse zu beobachten.

5.2.2.3 Wahl des Vergleichszeitraumes

Die Wahl des VZ erfolgt ähnlich wie im vorherigen Abschnitt für den BZ. Hierzu sind in Tabelle 19 die Varianten für einen VZ von 1, 3, 7 und 9 Tagen jeweils unter Berücksichtigung der Grenzwerte 1.5, 2 und 3 zusammenfassend dargestellt. Aufgrund der Erkenntnisse aus der Wahl des BZ wird dieser mit 7 Stunden festgelegt. Der verwendete Datensatz und der als "brünstig" definierte Zeitraum innerhalb der Referenzperiode sind identisch mit der im vorangehenden Abschnitt erläuterten Vorgehensweise. Übereinstimmend sind weiterhin die betrachteten Tagesstunden sowie eine der Berechnungsmethodik geschuldete Reduzierung des Datensatzes. Eine Besonderheit bei der Variierung des VZ ist die unterschiedliche Länge des Datensatzes mit einem berechneten rAN. Grund ist die bereits erwähnte Anforderung eines bis zur entsprechenden Zielgröße voll aufgebauten VZ. So gehen in Tabelle 19 für einen VZ von 1 Tag zu jeder dargestellten Tagesstunde 1140 stündliche rAN in die Berechnung der Effizienzkriterien ein. Für den VZ von 9 Tagen verkleinert sich dieser Wert auf 836. Da sich diese Reduzierung immer auf den Anfang der Referenzperiode bezieht, bleibt in den betrachteten Varianten der als "brünstig" definierte Zeitraum unbeeinflusst.

In Tabelle 19 sind für einen VZ von 1 Tag und einem Grenzwert von 1.5 in Abhängigkeit der Tagesstunde Erkennungsraten zwischen etwa 41 % und 100 % zu verzeichnen. Die dazugehörigen Fehlerraten betragen mindestens 70 %. Besonders die Fehlerraten von etwa 95 % in den Stunden 12 bis 17 sind als sehr hoch zu bewerten. Wie in den vorangegangenen Berechnungen der Effizienzkriterien erläutert, kommt es auch im vorliegenden Fall bei einer Erhöhung des Grenzwertes innerhalb eines VZ und einer Tagesstunde zu einer Reduzierung von sowohl Erkennungs- als auch Fehlerrate. Mit einem, aufgrund einer Erhöhung des Grenzwertes von 2 auf 3, Anstieg der Fehlerrate bilden gleich mehrere Stunden in der Variante mit einem VZ von 1 Tag die Ausnahme. Gleiches gilt für die Stunde 1 bei einem VZ von 3 Tagen. Auffällig ist das erstmalige Auftreten einer nicht ausgewiesenen Fehlerrate bei einem VZ von 1 Tag und einem Grenzwert von 3 zur Tagesstunde 14. Selbiges tritt bei Erhöhung des VZ und einem Grenzwert von 3 in weiteren Stunden gehäuft auf. Grund hierfür sind nicht vorhandene falsch positive und wahr positive Entscheidungen. In fast allen, in Tabelle 19 aufgeführten Varianten sind Erkennungsraten von 100 % in Verbindung mit sehr hohen Fehlerraten bzw. Fehlerraten von 0 % bei sehr geringen Erkennungsraten zu finden. Dies ist Ausdruck eines nicht optimal gewählten Grenzwertes. Tendenziell ist für die betrachteten Varianten in Tabelle 19 mit einer Erhöhung des VZ eine einhergehende

Verbesserung des Verhältnisses der Effizienzkriterien für die Brunsterkennung zu beobachten.

Die höchste Erkennungsrate mit 85.29 % bei einer Fehlerrate von unter 40 % ist in der Variante mit einem VZ von 9 Tagen und einem Grenzwert von 2 zur Stunde 6 zu finden. Eine Veränderung des Grenzwertes von 2 auf 3 führt bei sonst gleichen Annahmen zu einer Erkennungsrate von 58.82 % und einer Fehlerrate von 0 %. Dies zeigt wiederum eine mögliche Verschiebung der beiden betrachteten Effizienzkriterien in die gleiche Richtung, die in der Variation des Grenzwertes begründet liegt. Ähnliche Verhältnisse zwischen Erkennungs- und Fehlerrate wie für den VZ von 9 Tagen sind z. T. auch für einen VZ von 7 Tagen zu finden. Es wird deutlich, dass ein VZ von 7 oder 9 Tagen im Vergleich zu den weiteren in Tabelle 19 angeführten Varianten das beste Verhältnis zwischen Erkennungs- und Fehlerrate liefert. Eine weitere Optimierung soll im folgenden Abschnitt erfolgen.

Tabelle 19: ER und FR (in %) für die Wahl des VZ in Abhängigkeit des Grenzwertes (GW) bei einem BZ = 7

VZ h	GW	1			3			7			9		
		1.5	2	3	1.5	2	3	1.5	2	3	1.5	2	3
1	ER	61.76	41.17	8.82	64.70	38.23	2.94	70.58	38.23	5.88	70.58	35.29	5.88
	FR	83.84	70.83	85.00	71.05	27.77	50.00	57.89	27.77	0	55.55	20.00	0
2	ER	70.58	47.05	8.82	82.35	50.00	17.64	79.41	55.88	17.64	79.41	55.88	11.76
	FR	86.66	76.81	85.00	75.00	50.00	14.28	70.96	38.70	0	71.57	32.14	0
3	ER	79.41	58.82	35.29	85.29	67.64	32.35	88.23	73.52	38.23	88.23	70.58	38.23
	FR	89.77	81.48	64.70	81.76	64.06	31.25	76.56	47.91	13.33	76.00	46.66	7.14
4	ER	88.23	64.70	44.11	91.17	73.52	44.11	94.11	79.41	50.00	94.11	70.58	50.00
	FR	88.92	83.33	68.08	82.48	66.66	37.50	75.75	48.07	19.04	72.64	46.66	10.52
5	ER	85.29	67.64	50.00	94.11	79.41	44.11	97.05	85.29	52.94	97.05	82.35	55.88
	FR	89.33	84.86	73.84	83.15	64.93	34.78	76.76	49.12	10.00	70.00	42.85	5.00
6	ER	88.23	85.29	47.05	97.05	85.29	61.76	97.05	88.23	61.76	97.05	85.29	58.82
	FR	89.86	82.20	74.60	83.73	68.47	27.58	77.85	53.12	8.69	70.53	36.95	0
12	ER	75.00	50.00	0	100	50.00	25.00	100	50.00	0	100	50.00	0
	FR	97.05	90.90	100	91.66	83.33	50.00	90.00	77.77	-	87.50	81.81	-
13	ER	100	50.00	0	100	50.00	25.00	100	50.00	0	100	50.00	0
	FR	95.87	90.00	100	91.11	77.77	0	85.18	60.00	-	84.61	60.00	-
14	ER	100	50.00	0	100	50.00	25.00	100	50.00	0	75.00	50.00	0
	FR	94.59	83.33	-	89.74	71.42	0	81.81	33.33	-	86.95	33.33	-
15	ER	100	100	25.00	100	100	25.00	100	50.00	0	100	75.00	0
	FR	94.44	71.42	75.00	89.74	60.00	0	83.33	33.33	-	82.60	25.00	-
16	ER	100	100	50.00	100	100	25.00	100	100	0	100	100	0
	FR	94.11	80.95	60.00	90.00	71.42	0	86.20	50.00	-	85.71	42.85	-
17	ER	100	100	50.00	100	100	100	100	100	0	100	100	0
	FR	95.69	83.33	50.00	92.45	75.00	0	87.50	55.55	-	87.87	66.66	-
22	ER	41.17	11.76	0	35.29	11.76	0	35.29	11.76	0	35.29	11.76	0
	FR	70.83	63.63	100	65.71	50.00	-	57.14	33.33	-	57.14	33.33	-
23	ER	47.05	20.58	0	47.05	11.76	0	44.11	14.70	0	44.11	14.70	0
	FR	78.08	46.15	100	60.00	33.33	-	48.27	28.57	-	50.00	28.57	-
24	ER	55.88	29.41	2.94	52.94	17.64	0	61.76	20.58	0	58.82	17.64	0
	FR	77.38	41.17	50.00	56.09	14.28	-	41.66	22.22	-	47.36	14.28	-

5.2.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Wahl des Bezugs- und Vergleichszeitraumes

Aufbauend auf die bisherigen Ergebnisse zur Wahl des BZ und VZ auf Grundlage einer modifizierten Einteilung des "brünstigen" Zeitabschnittes soll eine weitere Optimierung erfolgen. Zielstellung ist es, innerhalb eines BZ von 6 und 8 Stunden und eines VZ zwischen 7 und 9 Tagen die am besten geeignete Variante zu finden. Hierfür ergeben sich 9 Möglichkeiten. Um innerhalb dieser Varianten eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird der Grenzwert mit 2.5 festgelegt. Aufgrund der tierindividuellen Einteilung des als "brünstig" definierten Zeitraumes muss mindestens eine Stunde des als Nacht sowie des als Tag definierten Bereiches berücksichtigt werden. Zu beachten ist dabei die unterschiedliche Klassenbesetzung der als "brünstig" definierten Stunden in der Nacht (34 Tiere mit jeweils 9 Stunden) und am Tag (4 Tiere mit jeweils 6 Stunden). Der verwendete Datensatz, die Berechnungsmethodik, die Reduzierung von Zeiträumen ohne rAN in Abhängigkeit der Länge des VZ sowie die Darstellungsweise sind identisch zum bisherigen Vorgehen. Das Ergebnis ist in Tabelle 20 zusammengefasst.

Tabelle: 20 ER und FR (in %) für die Kombination des BZ und VZ bei einem Grenzwert von 2.5

BZ h VZ	6			7			8		
	7	8	9	7	8	9	7	8	9
1 ER	38.23	38.23	35.29	11.76	14.70	8.82	5.88	8.82	8.82
FR	18.75	7.14	7.69	0	0	0	0	0	0
2 ER	52.94	52.94	52.94	38.23	38.23	38.23	11.76	11.76	11.76
FR	30.76	28.00	18.18	18.75	7.14	7.14	0	0	0
3 ER	61.76	61.76	61.76	50.00	52.94	55.88	38.23	32.35	38.23
FR	32.25	27.58	32.25	37.03	28.00	24.00	18.75	0	0
4 ER	67.64	64.70	64.70	64.70	64.70	64.70	58.82	58.82	61.76
FR	30.30	26.66	24.13	33.33	26.66	24.13	33.33	13.04	19.23
5 ER	64.70	67.64	67.64	64.70	64.70	61.76	61.76	64.70	61.76
FR	26.66	11.53	17.85	33.33	26.66	19.23	32.25	26.66	22.22
6 ER	79.41	76.47	76.47	73.52	67.64	70.58	76.47	70.58	64.70
FR	25.00	18.75	16.12	19.35	14.81	11.11	18.75	17.24	15.38
12 ER	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
FR	0	0	0	66.66	66.66	0	66.66	66.66	66.66
13 ER	25.00	25.00	25.00	50.00	25.00	25.00	50.00	50.00	50.00
FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14 ER	50.00	50.00	50.00	50.00	25.00	25.00	50.00	50.00	50.00
FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 ER	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	25.00	25.00	25.00
FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 ER	100	100	75.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 ER	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	50.00	50.00	50.00
FR	25.00	25.00	25.00	0	0	0	0	0	0
22 ER	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 ER	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94
FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24 ER	8.82	8.82	8.85	5.88	5.88	5.88	2.94	2.94	2.94
FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0

In der aufgeführten tabellarischen Übersicht ist zu erkennen, dass v. a. in den Stunden von 12 bis 24 auffällig viele Fehlerraten von 0 % in Verbindung mit Erkennungsraten von bis zu 75 % vorliegen. Die Stunden 4 bis 6 weisen in allen dargestellten Varianten mit Erkennungsraten von mindestens 58.82 % bei einer Fehlerrate von maximal 33.33 % die besten Ergebnisse auf. Bei Betrachtung der z. T. deutlich schlechteren Erkennungsraten in den weiteren Nachtstunden erscheint der Zeitabschnitt der Stunden 4 bis 6 für die Wahl einer zu betrachtenden Stunde in diesem Bereich besonders geeignet. Innerhalb des Zeitraumes der Nacht ist die höchste Erkennungsrate von 79.41 % in der Variante mit einem BZ von 6 Stunden und einem VZ von 7 Tagen zur Stunde 6 zu verzeichnen. Weil eine Fehlerrate von 11.11 % zwar zur selben Stunde aber in der Kombination eines BZ von 7 Stunden und einem VZ von 9 Tagen zu finden ist, wird eine weitere Optimierung der beiden Effizienzkriterien über den Grenzwert notwendig. Da einerseits die höchste Erkennungsrate sowie die geringste Fehlerrate bei einem BZ von 6 bzw. 7 Stunden zu finden ist und sich andererseits für die Variante mit einem BZ von 8 Stunden in keiner der betrachteten Kombination von BZ und VZ eine Verbesserung ergibt, sind die BZ mit 6 und 7 Stunden als die am besten geeigneten Varianten anzusehen. Die Stunden 22 bis 24 sind mit Erkennungsraten von unter 10 % für eine Brunsterkennung nicht geeignet. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus Tabelle 20 soll eine weitere Optimierung der Effizienzkriterien zur Brunsterkennung, bezogen auf den VZ und Grenzwert, erfolgen. Dazu wird ein VZ von 7, 8 und 9 Tagen mit jeweils unterschiedlichen Grenzwerten zwischen 2.2 und 2.6 genutzt. Die zugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

Tabelle 21: ER und FR (in %) bei einem BZ = 6 und 7 sowie einem VZ = 7 bis 9 bei verschiedenen Grenzwerten (GW) zur Stunde 6

BZ	6	6	6	7	7	7	
VZ	7	8	9	7	8	9	
GW							
2.20	ER	85.29	85.29	85.29	82.35	82.35	79.41
	FR	39.58	32.55	32.55	33.33	24.32	28.94
2.25	ER	85.29	85.29	82.35	82.35	76.47	76.47
	FR	34.09	30.95	31.70	30.00	23.52	27.77
2.30	ER	85.29	85.29	82.35	82.35	76.47	76.47
	FR	34.09	30.95	24.32	28.20	23.52	27.77
2.35	ER	85.29	85.29	82.35	79.41	76.47	76.47
	FR	30.95	29.26	24.32	25.00	16.12	21.21
2.40	ER	85.29	79.41	82.35	76.47	70.58	73.52
	FR	25.64	30.76	20.00	21.21	14.28	19.35
2.45	ER	85.29	79.41	76.47	76.47	67.64	73.52
	FR	23.68	20.58	18.75	18.75	14.81	16.66
2.50	ER	79.41	76.47	76.47	73.52	67.64	70.58
	FR	25.00	18.75	16.12	19.35	14.81	11.11
2.55	ER	76.47	70.58	76.47	67.64	67.64	70.58
	FR	23.52	20.00	16.12	20.68	14.81	11.11
2.60	ER	76.47	70.58	73.52	67.64	67.64	67.64
	FR	21.21	17.24	10.71	20.68	11.53	11.53

Alle Varianten in Tabelle 21 weisen eine Erkennungsrate von mindestens 67.64 % und eine Fehlerrate von maximal 39.58 % auf. In der Variante mit einem BZ von 6 Stunden und einem VZ von 7 Tagen reduziert sich bei einer Erhöhung des Grenzwertes von 2.20 auf 2.45 die Fehlerrate von 39.58 % auf 23.68 %. Besonderheit hierbei ist die konstant bleibende Erkennungsrate von 85.29 %. Tendenziell ist jedoch in Abhängigkeit eines steigenden Grenzwertes von einer reduzierten Erkennungs- sowie Fehlerrate auszugehen. Diese Entwicklung lässt sich auch in anderen Varianten finden, wobei sich z. T. ein oder beide Werte der Effizienzkriterien aufgrund der relativ geringen Grenzwertverschiebung nicht ändern. In manchen Fällen kommt es bei einer Grenzwertenerhöhung zu einer gegenteiligen Entwicklung dieser allgemeinen Reduzierung von Erkennungs- und Fehlerrate. Ein Beispiel hierfür ist in der Variante mit einem BZ von 6 Stunden und einem VZ von 7 Tagen bei der Veränderung des Grenzwertes von 2.45 auf 2.50 zu beobachten. In Abhängigkeit des VZ und Grenzwertes ergibt ein direkter Vergleich zwischen dem BZ von 6 Stunden und 7 Stunden in den meisten Fällen für den BZ von 6 Stunden eine höhere Erkennungsrate, wobei die Werte des dazugehörigen BZ von 7 Stunden zumeist geringere Fehlerraten aufweisen. Da das Verhältnis zwischen diesen Effizienzkriterien durch den Grenzwert angepasst werden kann, ist eine Entscheidung für bzw. gegen eine Variante von der fachlichen Fragestellung abhängig. Weil jedoch bei Betrachtung der vorliegenden Grenzwerte in Tabelle 21 sowohl die

höchste Erkennungsrate mit 85.29 % als auch die niedrigste Fehlerrate mit 10.71 % in Varianten mit einem BZ von 6 Stunden zu finden sind, wird diese Größe für den BZ als optimaler Wert angesehen. Innerhalb dieses BZ ist zwischen den beiden genannten Varianten mit der besten Erkennungsrate bzw. geringsten Fehlerrate zu entscheiden. Hierbei spielt wiederum die Präferenz zu Gunsten einer hohen Erkennungsrate oder einer geringen Fehlerrate eine Rolle. Andererseits stellt sich die Frage, ob eine Entscheidung über die Variierung des Grenzwertes zu beantworten ist. So wird in der Variante mit einem VZ von 9 Tagen eine Erkennungsrate von 85.29 % nur in Zusammenhang mit einer Fehlerrate von 32.55 % bei einem Grenzwert von 2.20 erreicht (Tabelle 21). Eine Fehlerrate von 10.71 % würde für den VZ von 7 Tagen einen Grenzwert zwischen 2.75 und 2.80 erfordern und hätte in beiden Fällen eine Reduzierung der Erkennungsrate auf 70.55 % zur Folge. Anhand dieses Vergleiches lässt sich keine eindeutige Entscheidung treffen. Der Grund, dass beide Varianten annähernd die gleichen Ergebnisse liefern und im Vergleich zu 9 Tagen bei einem VZ von 7 Tagen bereits zu einem um zwei Tage früheren Zeitpunkt Werte für das rAN vorliegen, spricht für die Variante mit einem VZ von 7 Tagen.

Nach der Eingrenzung der am besten geeigneten Stunde sowie der Kombination zwischen BZ, VZ und Grenzwert wird das Ergebnis einer Erkennungsrate von ca. 85 % bei einer Fehlerrate von ca. 24 % erzielt. Die dazugehörigen Annahmen sind ein BZ von 6 Stunden, ein VZ von 7 Tagen in Kombination mit dem Grenzwert von 2.45. Weil neben der gewählten, den Nachtstunden zugehörigen 6. Stunde mindestens eine weitere, für den als Tag definierten Zeitraum, Stunde berücksichtigt werden muss, werden die Ergebnisse hierzu vorgestellt.

Unter den gewählten Annahmen zur Optimierung der Effizienzkriterien der Nachtstunden ergibt sich für die zum Tag zugehörigen Stunden von 12 bis 17 das in Tabelle 22 dargestellte Ergebnis. Hierbei werden zu jeder Stunde 912 Entscheidungen getroffen, wovon auf Grundlage der tierindividuellen Einteilung jeweils vier als "brünstig" definiert sind.

Tabelle 22: ER und FR (in %) bei einem BZ = 6, einem VZ = 7 und einem Grenzwert von 2.45 für die als Tag definierten Stunden

h	12	13	14	15	16	17
ER	25.00	25.00	50.00	50.00	100	75.00
FR	0	0	0	0	0	40.00

Die Fehlerraten weisen mit Ausnahme von Stunde 17 jeweils 0 % auf, wobei die Erkennungsraten zwischen 25 % und 100 % schwanken. Weil in der Stunde 16 das bestmögliche Ergebnis mit einer Erkennungsrate von 100 % bei einer Fehlerrate von 0 % ausgewiesen wird, erübrigt sich eine weitere Variierung des Grenzwertes zur Optimierung des Verhältnisses beider Effizienzkriterien.

5.2.2.5 Schlussfolgerungen der Untersuchungen für Fall 2

Als Konsequenz der Bestimmung einer repräsentativen Stunde für den zur Nacht sowie den zum Tag zugehörigen Zeitraum, werden die Stunden 6 und 16 unter Verwendung eines BZ von 6 Stunden und eines VZ von 7 Tagen genutzt. Die dazugehörigen Ergebnisse für Erkennungs- und Fehlerrate lassen sich über die Variierung des Grenzwertes je nach fachlicher Fragestellung entsprechend anpassen. Zur Verdeutlichung soll Abbildung 17 dienen.

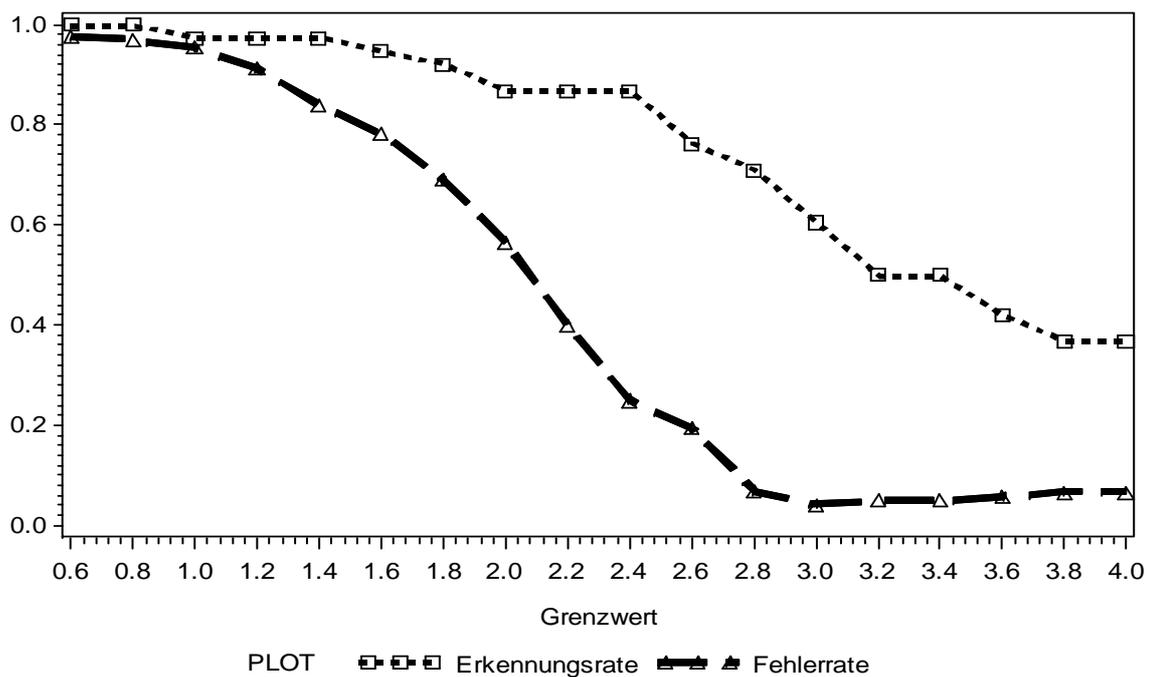


Abbildung 17: ER und FR bei einem BZ = 6 und einem VZ = 7 für die Kombination der Stunden 6 und 16 in Abhängigkeit des Grenzwertes

Mit einer Erhöhung des Grenzwertes lässt sich für die in Abbildung 17 dargestellten Verläufe der Trend einer Reduzierung von Erkennungs- und Fehlerrate beobachten. Die Entwicklung der Fehlerrate verläuft bis zu einem Grenzwert von etwa 2.8 relativ steil abwärts und verbleibt danach auf einem annähernd konstanten Niveau von etwa 5 %. Der Verlauf der

Erkennungsrate weist bis zu einem Grenzwert von etwa 2.4 einen etwas flacheren Abfall auf als für größere Werte. Weiterhin ist zu erkennen, dass im mittleren Grenzwertbereich um etwa 2.6 die Differenz zwischen Erkennungs- und Fehlerrate am größten ist. Eine detailliertere Darstellung dieses, v. a. aus fachlicher Sicht interessanten Bereiches, ist in Tabelle 23 gegeben.

Tabelle 23: ER und FR (in %) bei einem BZ = 6, einem VZ = 7 für die Kombination der Stunden 6 und 16 im Grenzwertbereich [2.15; 2.85]

Grenzwert	ER	FR
2.15	86.84	44.06
2.25	86.84	35.29
2.35	86.84	29.78
2.45	86.84	21.42
2.55	78.94	21.05
2.65	73.68	15.15
2.75	71.05	10.00
2.85	68.42	3.70

Für den in Tabelle 23 dargestellten Grenzwertbereich ist zu erkennen, dass sich zwischen einem Grenzwert von 2.15 bis 2.45 eine Reduzierung der Fehlerrate von 44.06 % auf 21.42 % bei einer gleichbleibenden Erkennungsrate von 86.84 % ergibt. Eine weitere Erhöhung des Grenzwertes führt ab einem Grenzwert von 2.85 zu geringen Fehlerraten im einstelligen Bereich, wobei sich die Erkennungsraten ebenfalls reduzieren. Wie bereits mehrfach erwähnt, ist für das Erreichen einer bestimmten Größenordnung der beiden Effizienzkriterien mit Hilfe der Wahl des Grenzwertes die fachliche Fragestellung zu beachten. So wird für die Absicht der Erkennung möglichst aller auftretenden Brünste ein eher geringer Grenzwert gewählt. Dieses Vorgehen zieht einen erhöhten Anteil falsch positiver Entscheidungen mit dem Resultat einer erhöhten Fehlerrate nach sich. Für den entgegengesetzten Fall wird bei einem eher hohen Grenzwert ein relativ großer Anteil aller "nicht brünstigen" Zeiträume richtig erkannt, jedoch werden auch relativ viele Brünste als falsch negativ nicht erkannt. Die Folge ist eine relativ geringe Erkennungsrate.

Die Variante mit einem Grenzwert von 2.45 stellt mit dem Ergebnis einer Erkennungsrate von 86.84 % und einer Fehlerrate von 21.42 % einen guten Kompromiss zwischen diesen beiden Maßzahlen dar. Schlussfolgernd wird die Kombination eines BZ von 6 Stunden und eines VZ von 7 Tagen bei Bewertung der Stunden 6 und 16 in Abhängigkeit eines Grenzwertes von 2.45 als Vorzugsvariante für die vorliegende Problemstellung angesehen.

Für eine weiterführende Analyse der Ursachen, die zu einer Abweichung von einer optimalen Brunsterkennung führen, soll die nachfolgende 2 * 2 Tafel für die Vorzugsvariante der Brunsterkennung als Ausgangspunkt dienen.

Tabelle 24: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus

Brunst	liegt vor	liegt nicht vor
wird erkannt	33	9
wird nicht erkannt	5	1777

In der dargestellten Tafel zur Brunsterkennung treten 9 Entscheidungen als falsch positiv und 5 Entscheidungen als falsch negativ auf (Tabelle 24). Zur Analyse der falsch erkannten Brunstzustände sind die einzelnen Entscheidungen in Tabelle 25 und Tabelle 26 dargestellt. Als Zusatzinformation wird zu jedem Tier die Kategorie angegeben, die in der Modifikation des "brünstigen" Zeitabschnittes mit der tierindividuellen Einteilung der erhöhten Aktivität in ursprünglich 4 Kategorien (vgl. S. 80) beschrieben wurde.

Tabelle 25: Falsch positive Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus

Tiernummer	rAN	Zyklustag	Kategorie
272	2.62	-8	1
270	4.18	-8	3
54	2.79	-8	4
278	2.81	-2	2
270	2.59	-1	3
303	2.73	0	2
272	2.53	7	1
38	2.68	13	4
191	2.64	14	2

In der Darstellung der falsch positiven Entscheidungen in Tabelle 25 sind die Tiere mit den Nummern 270 und 272 jeweils doppelt vertreten. Das rAN liegt bis auf eine Ausnahme bei maximal 2.81 bzw. bei einer, aus Sicht des angenommenen Grenzwertes, maximalen Abweichung von 36 %. Bei Betrachtung der Zyklustage sind drei Entscheidungen am Tag -8 zu verzeichnen. Für das Tier mit der Nummer 270 beträgt die relative Aktivitätserhöhung mehr als 300 %.

Tabelle 26: Falsch negative Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus

Tiernummer	rAN	Zyklustag	Kategorie
61	1.96	0	1
74	1.84	1	4
79	0.87	1	4
276	1.55	1	4
277	1.79	1	4

In Tabelle 26 beziehen sich alle fünf falsch negativen Entscheidungen auf jeweils unterschiedliche Tiere. Die Abweichungen zwischen dem festgelegten Grenzwert und dem rAN der falsch negativen Entscheidungen betragen mindestens 49 % und maximal 158 %. Bis auf Tier Nummer 61 sind alle falsch negativen Entscheidungen am Zyklustag 1 zu beobachten. Weiterhin auffällig ist die Aufteilung der Kategorien. Dabei sind vier der fünf betreffenden Tiere der Kategorie 4 zugeordnet und gelten aufgrund ihres Aktivitätsverlaufes in unmittelbarer Nähe des Zyklustages 0 als indifferent. Dies führt zu einer reduzierten Erkennungsrate und somit zu einer Abweichung der Effizienzkriterien vom Optimum.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die als indifferent kategorisierten Tiere (Kategorie 4) die Effizienz der Brunsterkennung negativ beeinflussen. Unter Ausschluss der betreffenden Tiere wäre somit eine deutlich bessere Effizienz der Brunsterkennung zu erwarten. Diese Ergebnisse lassen sich ebenso für vergleichbare Varianten aus Tabelle 23 nachweisen. Da die durchgeführte Kategorisierung jedoch retrospektiv durchgeführt wurde und somit in der Praxis nicht anwendbar ist, erfolgt eine Berechnung für die Brunsterkennung weiterhin für alle 38 Tiere. Als Ergebnis der in den vorherigen Abschnitten erläuterten Ausführungen wurde ein Algorithmus entwickelt, mit dem die in Tabelle 23 angeführten Erkennungs- und Fehlerraten realisiert werden. Die Vorzugsvariante dieses Algorithmus beinhaltet einen BZ von 6 Stunden und ein VZ von 7 Tagen, unter Berücksichtigung der Stunden 6 und 16 sowie eines Grenzwertes von 2.45.

5.3 Weitere Maßzahlen zur Beurteilung der Effizienz der Brunsterkennung

Ausgangspunkt zur Berechnung weiterer, hauptsächlich aus der medizinischen Diagnostik bekannter Maßzahlen für die Effizienzbewertung der Brunsterkennung ist die in Tabelle 24 beschriebene 2 * 2 - Tafel. Hierzu soll die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus (BZ: 6 Stunden; VZ: 7 Tage; Stunden: 6 und 16; Grenzwert: 2.45) genutzt werden.

Als erste Maßzahl wird die Spezifität mit 99.49 % angegeben. Eine weitere, sich aus Spezifität und Erkennungsrate (Sensitivität) ergebende Kennzahl, ist der aus der medizinischen Diagnostik bekannte Youden-Index. Für einen guten Wert sollte dieser Index nahe bei 1 liegen (SACHS und HEDDERICH 2009, S. 156 ff.). Die Berechnung erfolgt nach:

$$\text{Youden-Index} = \text{Sensitivität} + \text{Spezifität} - 1 \quad (21)$$

Entsprechend dieser Berechnungsvorschrift lässt sich der Verlauf des Youden-Index in Abhängigkeit verschiedener Grenzwerte für die beschriebene Vorzugsvariante abbilden. Abbildung 18 stellt diesen Verlauf dar. Daneben sind Sensitivität und Spezifität dargestellt.

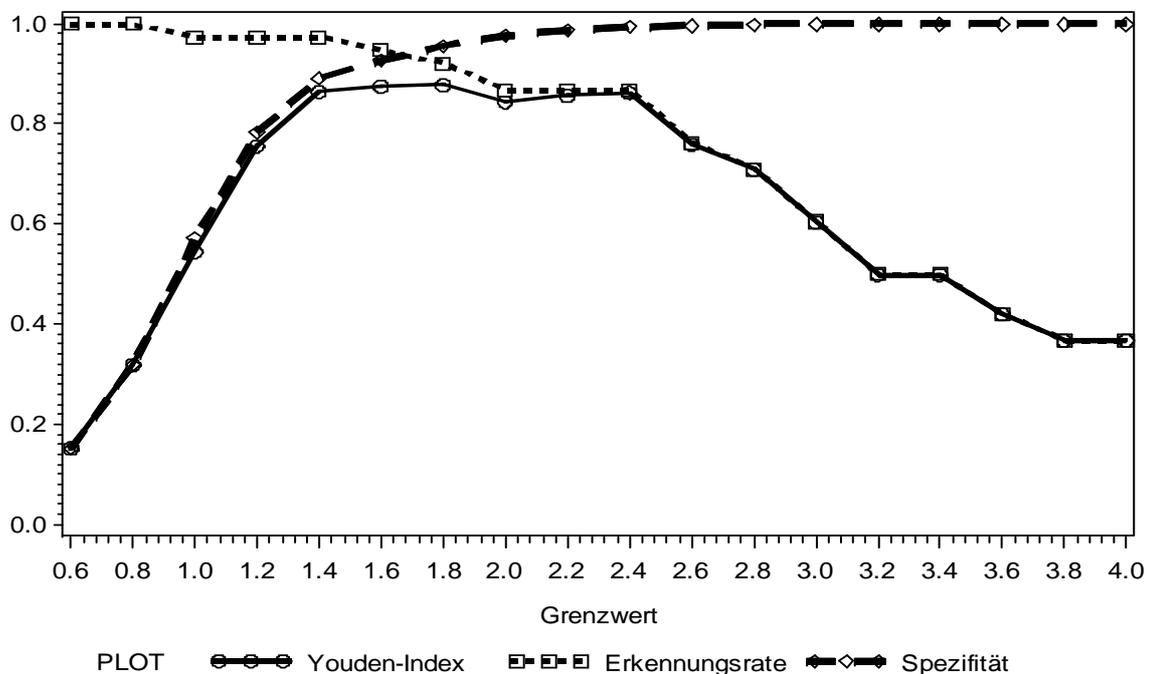


Abbildung 18: Youden-Index, Sensitivität und Spezifität für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit des Grenzwertes

Für alle drei Kennzahlen ist eine Veränderung in Abhängigkeit des Grenzwertes zu erkennen. Wie bereits bei der Erklärung der Effizienzkriterien zur Bewertung des Entscheidungsalgorithmus in Abschnitt 2.1.3 dargestellt, ergeben sich für die Spezifität schnell ansteigende Werte. Diese liegen bereits ab einem Grenzwert von 1.45 bei über 90 % und nähern sich mit einem weiteren Anstieg dem optimalen Wert von 100 % an. Die Sensitivität wird mit zunehmenden Grenzwerten geringer, wobei ab einem Grenzwert von etwa 2.4 ein etwas steilerer Abfall zu verzeichnen ist. Durch den im Verhältnis zu allen betrachteten Ereignissen relativ geringen Anteil "nicht brünstiger" Werte hat die Spezifität eine relativ geringe Aussagekraft. Folge dieses Sachverhaltes ist, dass der Youden-Index ab einem Grenzwert von etwa 1.8 praktisch nur vom Verlauf der Sensitivität abhängig ist. Im geringen Grenzwertbereich bis etwa 1.4 ist der Anstieg des Youden-Index hingegen mit dem der Spezifität vergleichbar. Weiterhin ist zu erkennen, dass der Youden-Index im Grenzwertintervall von etwa [1.4; 2.5] sein nahezu konstantes Maximum erreicht.

Eine weitere, ebenfalls in der medizinischen Diagnostik verwendete Maßzahl ist die ROC-Kurve. Sie kennzeichnet das Verhältnis von Sensitivität und 1-Spezifität. Der Grund für die Einführung der Größe 1-Spezifität ist die Möglichkeit, einen mit der Sensitivität gleichlaufenden Anstieg bzw. Abfall abzubilden. Für gute Ergebnisse weist die Kurve einen steilen Anstieg auf und verläuft möglichst nahe einer Sensitivität von 1, wobei die Fläche unter der Kurve maximiert wird. Diese Eigenschaften sind für die Ergebnisse des entwickelten Entscheidungsalgorithmus bei Betrachtung von Abbildung 19 zutreffend.

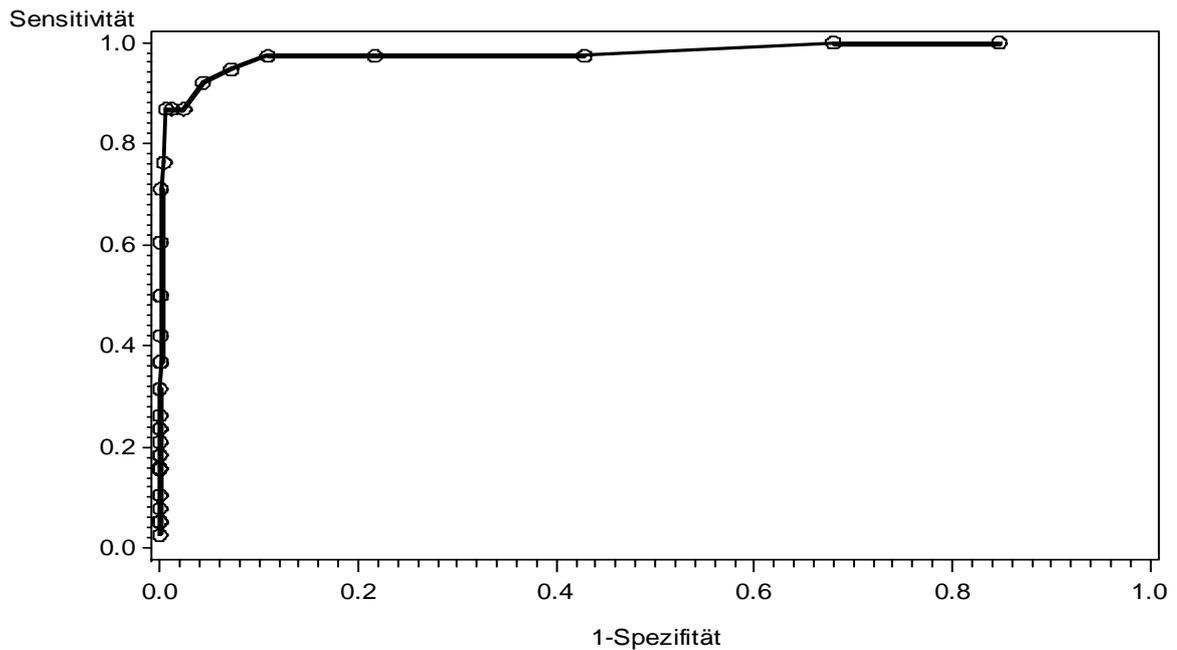


Abbildung 19: ROC-Kurve für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus

Das in Abbildung 19 vermittelte Ergebnis muss jedoch in Zusammenhang mit der sehr hohen Spezifität gesehen werden. Grund ist die sachlogisch zu begründende Prävalenz des "brünstigen" Zustandes. Folglich ist die ROC-Kurve für den vorliegenden Anwendungsfall von geringer Aussagekraft.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sowohl in der Darstellung des Youden-Index als auch der ROC-Kurve die Fehlerrate keine Berücksichtigung findet. Dies kann die tatsächlich vorliegenden Ergebnisse der Brunsterkennung insofern verschleiern, als dass der Anteil der fälschlicherweise als brünstig eingestuften Tiere im Verhältnis zu allen als brünstig erkannten Tieren unbeachtet bleibt. Hingewiesen sei auf den mit steigendem Grenzwert abnehmenden Verlauf von Sensitivität und Fehlerrate in Abbildung 17.

Um die Fehlerrate dennoch einzubeziehen, wird in Analogie zum Youden-Index ein neuer Index nach folgender Vorschrift gebildet:

$$\text{Index (ER, FR)} = \text{Erkennungsrate} + (1 - \text{Fehlerrate}) - 1 \quad (22)$$

Der Index (ER, FR) wird für hohe Erkennungsraten und geringe Fehlerraten einen geringen Wert annehmen und umgekehrt. Durch die Subtraktion von - 1 wird die gleiche Skalierung wie für die Erkennungs- und Fehlerrate zwischen 0 und 1 gesichert. Abbildung 20 verdeutlicht die Anwendung für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus.

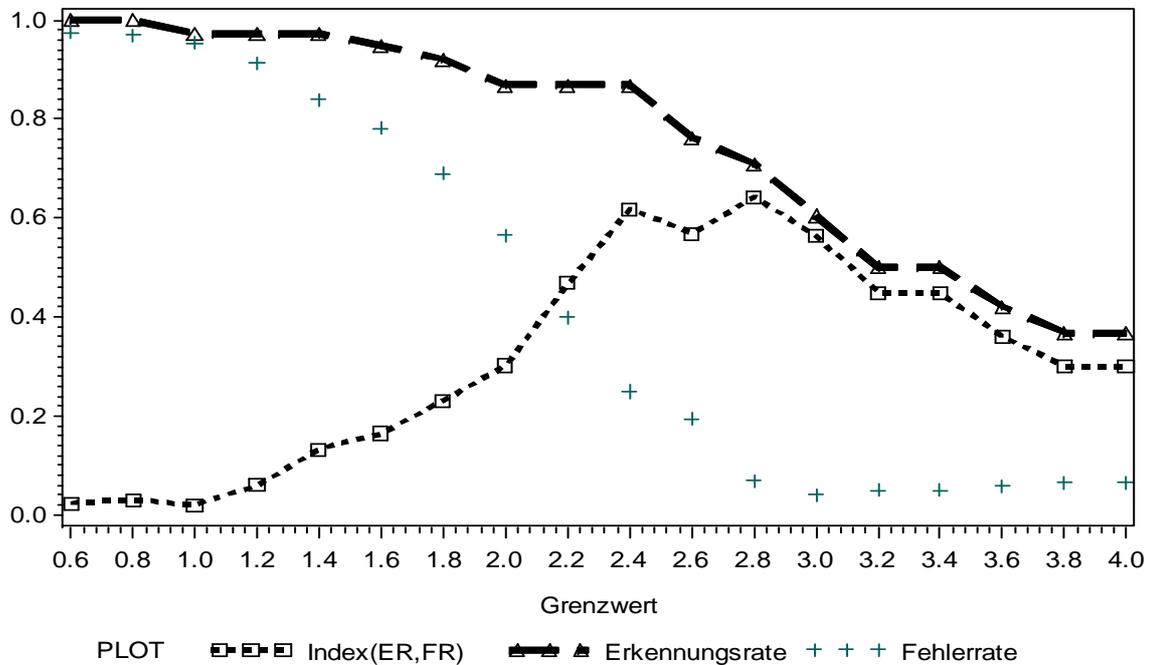


Abbildung 20: Index (ER, FR), Erkennungs- und Fehlerrate für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit des Grenzwertes

Entsprechend des in Abbildung 20 vorgestellten Verlaufes des Index (ER, FR) ist zu erkennen, dass die höchsten Werte im Grenzwertintervall von etwa [2.4; 3] erreicht werden. Dies rechtfertigt den in der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus genutzten Grenzwert von 2.45.

5.4 Vergleichende Untersuchungen zur Brunsterkennung mit dem ALPRO-System

5.4.1 Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse zur Berechnung der Effizienz der Brunsterkennung mit dem ALPRO-System

Neben den stündlichen Aktivitätswerten liefert das im Versuch eingesetzte ALPRO-System ebenfalls Alarmmeldungen zur Brunsterkennung. Daraus ergibt sich die Motivation, die zu berechnende Erkennungs- und Fehlerrate auf Grundlage dieser Alarmmeldungen mit den Ergebnissen der eigenen Berechnungsvariante zur Brunsterkennung zu vergleichen. Dies soll anhand einer Gegenüberstellung der jeweiligen Effizienzkriterien geschehen. Unter Berücksichtigung der Vergleichbarkeit beider Systeme soll im Folgenden die Berechnung von Erkennungs- und Fehlerrate der Brunsterkennung auf Grundlage des ALPRO-Systems erläutert werden.

Die Meldungen des ALPRO-Systems zur Brunsterkennung werden in drei Alarmstufen ausgegeben. Diese sind als unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten einer Brunst zu interpretieren und entsprechen in der vorliegenden Grundeinstellung Wahrscheinlichkeiten von 99.882 %, 99.996 % und 99.998 % (RICHTER 2011). Alle Alarmmeldungen sind einer Stunde zugeordnet, wobei pro Tier und Tag mehrere Alarmmeldungen auftreten können. Ein solcher Fall ist als eine ansteigende Wahrscheinlichkeit zu werten, d. h. es ist ein Sprung von Alarmstufe eins auf zwei oder drei bzw. von zwei auf drei zu beobachten. Eine Information, über welchen Zeitraum sich diese Alarmmeldungen neben der stundenspezifischen Zuordnung beziehen, ist nicht verfügbar. Identisch zur Bewertung des eigenen Entscheidungsalgorithmus werden für die Berechnungen zur Effizienz der Brunsterkennung auf Grundlage des ALPRO-Systems die Ergebnisse der Hormonverläufe von Progesteron und Estradiol-17 β als Referenz genutzt. Übereinstimmend für alle 38 betrachteten Tiere ist ebenfalls die Länge der Referenzperiode, die einen Zeitraum von 15 Tagen vor und nach dem Zyklustag 0 umfasst. Aufgrund der Wahl eines in den eigenen Berechnungen gewählten VZ von 7 Tagen beträgt die Referenzperiode 24 Tage. Für die Vergleichbarkeit der Skalierung des als "brünstig" gekennzeichneten Zeitraumes mit der Referenz wird nicht zwischen einem, zwei oder drei Sternchen unterschieden, sondern pro Tag lediglich die erste Alarmmeldung berücksichtigt. Dies scheint aufgrund der hohen, den Alarmmeldungen zugehörigen Wahrscheinlichkeitswerten für eine Brunst gerechtfertigt. Entsprechend der bisherigen

Vorgehensweise erfolgt die Einteilung des als brünstig definierten Zeitraumes innerhalb der Referenzperiode in zwei verschiedenen Varianten. Dabei sollte beachtet werden, dass Fall 1 aus Gründen der Vollständigkeit mit aufgeführt wird und der unter Fall 2 angewendete Entscheidungsalgorithmus als Vorzugsvariante anzusehen ist. Fall 1 bezieht sich auf die Definition des Zyklustages 0 als brünstig. Mit insgesamt 912 Entscheidungen wird dabei jedes Tier zu jedem Tag einmal bewertet.

In Fall 2 wird für die Referenz auf die Kategorisierung des als brünstig modifizierten Zeitraumes in Nacht (Kategorie 1 und Kategorie 3) oder Tag (Kategorie 2) zurückgegriffen. Als Beispiele sei auf die Abbildungen 12 bis 15 verwiesen. Mit dieser Vorgehensweise werden die tierindividuellen Aktivitätsverläufe entsprechend berücksichtigt. Eine Änderung gegenüber dem bisherigen Vorgehen ist die Anzahl der Zeiteinheiten pro Tag. So wird der gesamte Tag nicht wie bisher in stündliche Abschnitte eingeteilt, sondern identisch zur Referenz in die zwei Bereiche von Nacht und Tag. Eine Zuordnung der Alarmmeldungen in einen der beiden Tagesabschnitte erfolgt in Abhängigkeit der dazugehörigen Stunde. Weil das ALPRO-System zu jeder der 24 Tagesstunden eine Alarmmeldung liefern kann, ist eine lückenlose Einteilung des Tages notwendig. Dazu soll für die Nachtstunden ein zur eigenen Berechnungsvariante identischer Zeitabschnitt genutzt werden. Dieser umfasst den Bereich der Stunden 22 bis 24 sowie von 1 bis 6, wobei die Stunden 22 bis 24 der darauffolgenden Nacht zuzuordnen sind. Alarme, die im Bereich der Stunden von 7 bis 21 auftreten, sind dem Tag zuzuordnen. So ist zum Beispiel für ein Tier, für welches an einem Tag um 10:00 Uhr eine Alarmmeldung angezeigt wird, der Abschnitt des Tages als brünstig zu werten und mit der Referenz zu vergleichen. Durch diese Zweiteilung von Nacht und Tag sind 1824 Entscheidungen zu treffen.

Für die Berechnung von Erkennungs- und Fehlerrate von Fall 1 sind die zugrundeliegenden Entscheidungen in Tabelle 27 zusammengefasst. Es ist zu erkennen, dass insgesamt 49 Alarmmeldungen vom ALPRO-System ausgewiesen werden. Davon sind 31 Alarme am Zyklustag 0 zu verzeichnen und somit als wahr positiv zu werten. Weiterhin werden 7 falsch negative Entscheidungen getroffen, welche zu einer Reduzierung der Erkennungsrate führen.

Tabelle 27: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung auf Grundlage des ALPRO-Systems für Fall 1

Brunst	liegt vor	liegt nicht vor
wird erkannt	31	18
wird nicht erkannt	7	856

Aus den in Tabelle 27 dargestellten Ergebnissen für Fall 1 lässt sich eine Erkennungsrate von 81.57 % und eine Fehlerrate von 36.73 % berechnen. In einer Analyse der 18 falsch positiven Entscheidungen sind 7 Alarme am Zyklustag 1 zu verzeichnen und vier Tiere jeweils zweimal vertreten. Für die Entscheidungen der sieben fälschlicherweise nicht erkannten Brünste ist anzumerken, dass hiervon drei Entscheidungen den als indifferent eingestuften Tieren aus Kategorie 4 zuzuordnen sind.

Für den Fall 2 sind die absoluten Häufigkeiten der vier möglichen Kategorien in einer 2 * 2 Tafel in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 28: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung auf Grundlage des ALPRO-Systems für Fall 2

Brunst	liegt vor	liegt nicht vor
wird erkannt	25	23
wird nicht erkannt	13	1763

Von den 38 als "brünstig" definierten Tagesabschnitten werden 25 als wahr positiv erkannt. Die Anzahl der in der Summe 48 wahr positiven und falsch positiven Entscheidungen unterscheidet sich von den ursprünglich 49 vorliegenden Alarmmeldungen des ALPRO-Systems. Der Grund hierfür ist die Einteilung der Stunden in Nacht und Tag. So gibt es in einem Fall für ein Tier zur Stunde 24 sowie am darauffolgenden Tag zur Stunde 2 einen Alarm. Diese zwei Meldungen fallen in Fall 2 in den gleichen, als brünstig definierten Nachtbereich und reduzieren somit die Anzahl der angezeigten Alarme um eine Meldung. Das Ergebnis liefert eine Erkennungsrate von 65.78 % bei einer Fehlerrate von 47.91 %. In der Analyse der falsch positiven und falsch negativen Entscheidungen fallen von den 23 fälschlicherweise als brünstig gewerteten Entscheidungen 12 Entscheidungen mit dem Zyklustag 0 zusammen. Weiterhin sind drei Tiere doppelt betroffen. Die falsch negativen Entscheidungen sind in allen 13 Fällen jeweils unterschiedlichen Tieren zuzuordnen, wobei vier als indifferent gelten (Kategorie 4).

5.4.2 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus und dem ALPRO-System

Die Ergebnisse der Effizienzkriterien des entwickelten Entscheidungsalgorithmus und des ALPRO-Systems sind jeweils für die zwei vergleichbaren Varianten in Tabelle 29 zusammenfassend dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Annahmen zwischen den als "brünstig" definierten Bereichen in Fall 1 und Fall 2 soll ein Vergleich nur innerhalb einer Variante stattfinden.

Tabelle 29: ER und FR (in %) auf Grundlage der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus und den Alarmmeldungen des ALPRO-Systems jeweils für Fall 1 und Fall 2

	ER	FR
Fall 1 - Entscheidungsalgorithmus	81.57	20.51
Fall 1 - ALPRO-System	81.57	36.73
Fall 2 - Entscheidungsalgorithmus	86.84	21.42
Fall 2 - ALPRO-System	65.78	47.91

In Fall 1 betragen die Erkennungsraten beider Systeme jeweils 81.57 %. Die dazugehörigen Fehlerraten unterscheiden sich, wobei die entwickelte Berechnungsmethode eine um etwa 16 % geringere Fehlerrate aufweist. In Fall 2 zeigt sich für den Entscheidungsalgorithmus sowohl eine um etwa 21 % höhere Erkennungsrate, als auch eine um etwa 26 % geringere Fehlerrate gegenüber dem ALPRO-System.

Es kann geschlussfolgert werden, dass vergleichend zu den Alarmmeldungen des ALPRO-Systems in beiden betrachteten Varianten jeweils der entwickelte Entscheidungsalgorithmus bessere Ergebnisse für die Brunsterkennung erzielt. Das Ergebnis des Entscheidungsalgorithmus der Vorzugsvariante bestätigt das bisherige Vorgehen bei der Wahl einer geeigneten Methode zur Brunsterkennung.

5.5 Nutzung positiver Trächtigkeitsergebnisse als Referenz für die Brunsterkennung

5.5.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt soll die entwickelte Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus an dem verfügbaren Datensatz Anwendung finden. Dazu erfolgt eine retrospektive Betrachtung einer auf das Einzeltier bezogenen positiven Trächtigkeit (TU+). Anhand einer TU+ ist ein kausaler Zusammenhang zu einer vorliegenden Brunst gegeben. Eine Nutzung dieser Informationen stellt für die entwickelte Methode des Entscheidungsalgorithmus zur Brunsterkennung eine geeignete Referenz dar. Für diese Aufgabenstellung werden im Folgenden das zur Verfügung stehende Datenmaterial sowie die Anwendung des Entscheidungsalgorithmus beschrieben. Weiterhin soll in Anlehnung an die vergleichenden Untersuchungen zwischen dem entwickelten Entscheidungsalgorithmus und dem ALPRO-System im vorangegangenen Abschnitt eine Gegenüberstellung der Effizienzkriterien der Brunsterkennung auf Grundlage des erweiterten Datensatzes erfolgen.

5.5.2 Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse für den Vergleich zwischen der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus und positiver Trächtigkeitsergebnisse

Der für eine Berechnung der Brunsterkennung auf Grundlage positiver Trächtigkeitsergebnisse genutzte Datensatz des Zeitraumes von Februar 2010 bis März 2012 umfasst 240 Tiere mit einer visuellen Brunstbeobachtung und anschließender Besamung sowie TU+. Der Zeitraum zwischen dem Tag der Besamung und der TU+ liegt zwischen 30 und 66 Tagen. Weil im vorliegenden Betrieb alle Besamungen in Form von Einzelbesamungen durchgeführt werden, kann über die Information der sich in unmittelbarer Nähe zur Besamung dokumentierten visuellen Brunstbeobachtung eine Trächtigkeit aus einer früheren Besamung ausgeschlossen werden. In 186 Fällen entspricht der Tag der visuellen Brunstbeobachtung dem Tag der Besamung. Für die restlichen 54 Tiere erfolgte die Besamung am darauffolgenden Tag. Da für die Besamung kein genauer Zeitpunkt, sondern nur der Tag dokumentiert ist, wird analog dem bisherigen Vorgehen der Tag der Besamung als Zyklustag 0 definiert. Dieses Vorgehen stellt die Unabhängigkeit zwischen der Referenz und der visuellen Brunstbeobachtung sicher. Eine genauere Definition des Zeitraumes mit einem erhöhten Aktivitätsniveau am Zyklustag 0 bzw. in dessen unmittelbarer Nähe erfolgt

analog dem Vorgehen der unter Punkt 5.2.2.1 beschriebenen Modifikation des als "brünstig" definierten Zeitabschnittes. Die daraus abgeleitete Einordnung der 240 tierindividuellen Aktivitätsverläufe lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Kategorie 1: erhöhte Aktivität in der Nacht vom Zyklustag -1 auf den Zyklustag 0, z. B. Abbildung 12 (n = 116),
- Kategorie 2: erhöhte Aktivität am Zyklustag 0, z. B. Abbildung 13 (n = 2),
- Kategorie 3: erhöhte Aktivität in der Nacht vom Zyklustag 0 auf den Zyklustag 1, z. B. Abbildung 14 (n = 42),
- Kategorie 4: indifferente Erhöhung der Aktivität, z. B. Abbildung 15 (n = 80).

Nach Einteilung der als indifferent eingestuften Tiere ergibt sich:

- Kategorie 1: n = 155,
- Kategorie 2: n = 26,
- Kategorie 3: n = 59.

Aufgrund der täglich konstanten Fütterungszeiten wird die bisherige Einteilung der Tagesstunden in die Abschnitte Nacht (Stunden 22 bis 6) und Tag (Stunden 12 bis 17) nach der beschriebenen Modifikation des als "brünstig" definierten Zeitabschnittes genutzt. Entsprechend dieser Vorgaben werden 2082 Tagesstunden als "brünstig" definiert. Davon sind 1926 dem Bereich der Nacht und 156 dem Tag zuzuordnen. Der am Zyklustag 0 verbleibende Tagesabschnitt wird als "nicht brünstig" angesehen. Ausgehend von diesem Zyklustag 0 werden weiterhin die 15 zurückliegenden sowie nachfolgenden Tage als "nicht brünstig" angesehen. Für die Referenz ergibt sich ein Datensatz von 178560 stündlichen Aktivitätswerten.

Mit Hilfe des Entscheidungsalgorithmus wird für die in der Referenz betrachteten tierindividuellen Zeitreihen für jede Stunde ein relatives Aktivitätsniveau berechnet. Die zu nutzende Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus mit einem BZ von 6 Stunden und einem VZ von 7 Tagen bei Betrachtung der Stunden 6 und 16 führt zu einer Reduzierung des zu betrachtenden Datensatzes auf 11520 Werte. Bezogen auf das Einzeltier werden 48 Datensätze betrachtet, wobei entsprechend der Kategorisierung jeweils eine Stunde als "brünstig" definiert ist.

Über einen Vergleich des rAN mit der Referenz ergibt sich in Abhängigkeit des Grenzwertes der in Abbildung 21 dargestellte Verlauf von Erkennungs- und Fehlerrate. Des Weiteren wird der in der Ableitung weiterer Maßzahlen zur Beurteilung der Effizienz der Brunsterkennung (Punkt 3.3) eingeführte Index (ER, FR) nach Formel 21 darstellt.

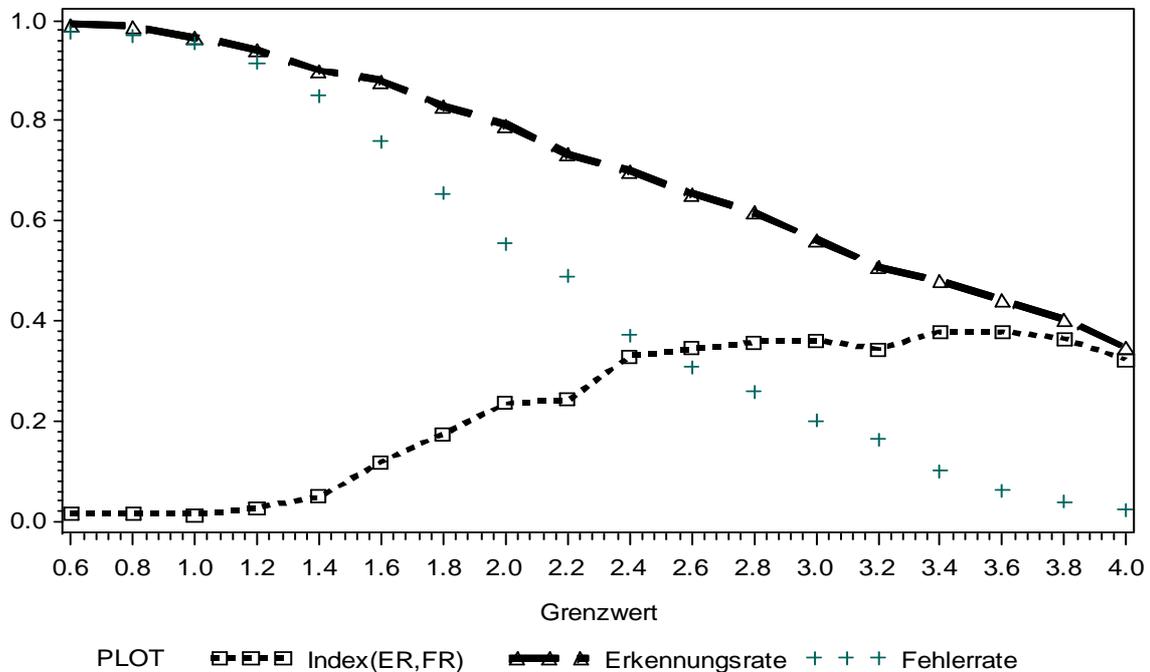


Abbildung 21: Index (ER, FR), Erkennungs- und Fehlerrate für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit des Grenzwertes (Referenz: TU+)

Anhand des Index (ER, FR) lässt sich bis zu einem Grenzwert von etwa 2.4 eine kontinuierliche Verbesserung des Verhältnisses zwischen Erkennungs- und Fehlerrate erkennen. Im weiteren Verlauf bewegt sich der Index (ER, FR) auf annähernd konstantem Niveau bzw. verbessert sich geringfügig. Ab einem Wert von etwa 3.7 ist eine leichte Verschlechterung des Index (ER, FR) zu beobachten.

Wie erwartet, werden sowohl Erkennungs- als auch Fehlerrate mit zunehmendem Grenzwert geringer. Aus fachlicher Sicht betrachtet erscheint ein Grenzwert im Intervall von etwa [2.35; 3.35] am sinnvollsten. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 30 zusammengefasst.

Der in der Vorzugsvariante genutzte Grenzwert von 2.45 liegt im betrachteten Grenzwertintervall von Tabelle 30. Insofern kann die Wahl des Grenzwertes für die Vorzugsvariante als bestätigt angesehen werden. Zu beachten ist jedoch, dass ein Wert von

2.45 im Vergleich zu den weiteren dargestellten Varianten zu relativ hohen Fehlerraten von etwa 36 % führt (Tabelle 30).

Tabelle 30: ER und FR (in %) für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus im Grenzwertintervall [2.35; 3.35] (Referenz: TU+)

Grenzwert	ER	FR
2.35	71.25	39.57
2.45	68.75	36.04
2.55	67.08	32.06
2.65	64.58	28.88
2.75	61.66	26.73
2.85	60.83	24.35
2.95	57.50	22.47
3.05	55.41	19.87
3.15	52.08	18.83
3.25	50.83	14.68
3.35	49.16	11.27

Zur Analyse der Abweichungen von einer optimalen Brunsterkennung dient die 2 * 2 - Tafel auf Grundlage der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus. Sie ist in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung auf Grundlage der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus (Referenz TU+)

Brunst	liegt vor	liegt nicht vor
wird erkannt	165	93
wird nicht erkannt	75	11187

In der dargestellten Tafel der Brunsterkennung sind 93 falsch positive und 75 falsch negative Entscheidungen erfasst (Tabelle 31). Dies führt zu einer Erkennungsrate von 68.75 % bei einer Fehlerrate 36.04 %. Für eine nähere Analyse der auf Grundlage des Entscheidungsalgorithmus getroffenen falschen Entscheidungen dienen die folgenden Tabellen.

Tabelle 32: Falsch positive Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit der Kategorie der Tiere

Kategorie	Anzahl
1	37
2	1
3	17
4	38

Tabelle 33: Falsch positive Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit des Zyklustages

Zyklustag	Anzahl	Zyklustag	Anzahl
-8	3	4	1
-7	3	6	1
-6	7	7	2
-5	9	8	2
-4	5	9	4
-3	4	10	2
-2	8	11	5
-1	5	12	8
0	1	13	9
1	2	14	5
3	3	15	4

In der Darstellung der falsch positiven Entscheidungen sind in Abhängigkeit des Zyklustages keine Besonderheiten zu erkennen (Tabelle 33). Auffällig ist jedoch, dass über 80 % dieser Entscheidungen für Tiere aus den ursprünglichen Kategorien 1 oder 4 vorzufinden sind (Tabelle 32). Diese beiden Kategorien sind zu etwa gleichen Anteilen vertreten, so dass der Anteil der Tiere mit indifferenten Aktivitätsverläufen in unmittelbarer Nähe des Zyklustags 0 etwa 41 % ausmacht.

Die Anzahl der falsch negativen Entscheidungen ist für den Zyklustag 0 mit 64 und für den Zyklustag 1 mit 11 zu beziffern. Damit treten sie zu über 85 % am Zyklustag 0 auf. In Abhängigkeit der tierindividuellen Kategorisierung fällt auf, dass 59 der insgesamt 75 falsch negativen Entscheidungen auf Tiere mit dem Bewegungsmuster der Kategorie 4 entfallen. Unter den gegebenen Annahmen der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus lässt sich somit die um etwa 31 % vom Optimum entfernte Erkennungsrate zu fast 80 % auf Tiere mit indifferenten Aktivitätsverläufen zurückführen.

Tabelle 34: Falsch negative Entscheidungen für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in Abhängigkeit der Kategorie

Kategorie	Anzahl
1	11
2	2
3	3
4	59

Daraus ergibt sich, dass die aufgrund ihrer Aktivitätsverläufe in unmittelbarer Nähe des Zyklustages 0 als indifferent eingestuften Tiere sowohl die Erkennungs- als auch Fehlerrate negativ beeinflussen. Wie bereits erwähnt, lässt sich die durchgeführte Kategorisierung der Tiere in der Praxis nicht anwenden. Aus diesem Grund werden für eine objektive Brunsterkennung alle 240 Tiere genutzt. Für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus ergibt sich eine Erkennungsrate von etwa 69 % bei einer Fehlerrate von etwa 36 %.

5.5.3 Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse für den Vergleich zwischen dem ALPRO-System und positiver Trächtigkeitsergebnisse

Für eine Berechnung von Erkennungs- und Fehlerrate der Brunsterkennung auf Grundlage der Alarmmeldungen des ALPRO-Systems ist das dafür genutzte Datenmaterial entsprechend zu definieren. Dies soll unter dem Aspekt einer Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen des ALPRO-Systems und der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus erfolgen. Die dafür genutzten Alarmmeldungen wurden bereits im methodischen Teil der vergleichenden Untersuchungen zur Brunsterkennung mit dem ALPRO-System beschrieben (vgl. Abschnitt 5.4.2).

Für jedes der betrachteten 240 Tiere ist auf Grundlage der in Abschnitt 5.5.2 beschriebenen Kategorisierung der tierindividuelle Aktivitätsverlauf am bzw. in unmittelbarer Nähe des Zyklustages 0 ein Bereich entsprechend als "brünstig" definiert. Dabei umfasst der Abschnitt der Nacht (Kategorie 1 und Kategorie 3) die Stunden 22 bis 6. Aufgrund der zu allen Tagesstunden auftretenden Alarmmeldungen des ALPRO-Systems zur Brunsterkennung erfolgt für den Tag (Kategorie 2) eine lückenlose Einteilung. Diese schließt den Zeitraum der Stunden 7 bis 21 ein. Aufgrund einer unter Beachtung der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus in den ersten 7 Tagen nicht vollständig aufgebauten Vergleichszeitraumes umfasst die Referenzperiode je Tier 24 Tage (Zyklustag -8 bis Zyklustag 15) in Form von Nacht und Tag. Somit liegen je Tier 47 als "nicht brünstig" sowie ein als "brünstig" definierter Abschnitt vor. Insgesamt stehen für die Referenz 11520 Datensätze zur Verfügung.

Innerhalb der beschriebenen 24-tägigen tierindividuellen Zeitreihen der zu betrachtenden Referenzperiode werden vom ALPRO-System 423 Alarmmeldungen ausgegeben. Aufgrund mehrerer Alarme innerhalb eines als Nacht bzw. als Tag definierten Zeitabschnittes reduziert sich die Anzahl der Alarme auf 322. Für 11211 Tagesabschnitte liegt keine Alarmmeldung vor. Die Kennzeichnung des Tieres, des Tages sowie des Tagesabschnittes ermöglicht eine

eindeutige Zuordnung aller Alarmmeldungen des ALPRO-Systems zur zeitgleichen Referenz. Über einen Vergleich des wahren Wertes der Referenz mit den auftretenden Alarmmeldungen des ALPRO-Systems ergeben sich vier Möglichkeiten der Übereinstimmung. Diese werden in Form einer 2 * 2 - Tafel dargestellt. Tabelle 35 gibt einen Überblick über die Anteile des Vergleiches zwischen der Referenz und den Alarmmeldungen des ALPRO-Systems. Daraus ergibt sich eine Erkennungsrate von 66.25 % und eine Fehlerrate von 50.62 %.

Tabelle 35: 2 * 2 - Tafel der Brunsterkennung auf Grundlage des ALPRO-Systems (Referenz TU+)

Brunst	liegt vor	liegt nicht vor
wird erkannt	159	163
wird nicht erkannt	81	11117

Es wird deutlich, dass von den 240 als "brünstig" definierten Abschnitten 81 nicht als solche erkannt werden. Weiterhin werden 163 Entscheidungen fälschlicherweise als "brünstig" eingestuft. Weil diese Ergebnisse lediglich für einen Vergleich mit dem System der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus interessant sind und keine näheren Informationen über die Berechnung der Alarmmeldungen des ALPRO-Systems vorliegen, wird auf eine Analyse der Entscheidungen, die zu einer Abweichung von einer optimalen Brunsterkennung führen, verzichtet.

5.5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse für die Nutzung positiver Trächtigkeitsergebnisse als Referenz für die Brunsterkennung

Tabelle 36 stellt die Ergebnisse der betrachteten Effizienzkriterien zur Brunsterkennung für die Vorzugsvariante des entwickelten Entscheidungsalgorithmus sowie die des ALPRO-Systems zusammenfassend dar. Die Erkennungsrate des Entscheidungsalgorithmus ist um 2.5 % geringfügig besser als die des vergleichenden Systems. Deutlicher wird der Unterschied in der Fehlerrate. Im Vergleich zum ALPRO-System lässt sich mit dem eigenen System ein um 14.58 % besserer Wert erzielen. Folglich ist die betrachtete Variante des Entscheidungsalgorithmus dem ALPRO-System zur Brunsterkennung vorzuziehen.

Tabelle 36: ER und FR (in %) auf Grundlage der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus und den Alarmmeldungen des ALPRO-Systems (Referenz TU+)

	ER	FR
Entscheidungsalgorithmus	68.75	36.04
ALPRO-System	66.25	50.62

6 Diskussion und Schlussfolgerungen

Entsprechend der Zielstellung der vorliegenden Arbeit wird die Diskussion nach folgenden Schwerpunkten gegliedert:

- a) Datenqualität der Aktivitätsmessung,
- b) Beschreibung der Aktivitätsdynamik,
- c) Nutzung von Aktivitätswerten zur Brunsterkennung.

a) *Datenqualität der Aktivitätsmessung*

Basis der vorliegenden Untersuchungen ist die Verwendung von Sensoren zur tierindividuellen Aktivitätsmessung. Das zugrundeliegende physikalische Prinzip beruht auf einer Erfassung der durch Bewegung übertragenen Schwingungen mit dem Ergebnis stündlicher Zählraten. Dabei interessiert im vorliegenden Sachzusammenhang besonders die Wiederholungsgenauigkeit der Aktivitätsmessung im Sinne einer zeitgleichen Verwendung zweier Geräte am selben Tier. Die Motivation dieser in Abschnitt 4.3.1 erläuterten Untersuchung leitet sich aus der Beobachtung eines teilweise gehäuften Auftretens einer Aktivität von Null je Stunde im Ausgangsdatensatz ab (vgl. Tabelle 3).

Die berechneten Korrelationen jeweils eines Gerätepaars an sechs Tieren ergeben zur Hälfte hohe ($r = 0.94$ bis 0.99) bzw. mittlere ($r = 0.57$ bis 0.78) Zusammenhänge (Tabelle 4). Dabei lässt sich bei einem unbefriedigenden Zusammenhang nicht nachvollziehen, ob Gerät 1, Gerät 2 oder beide Geräte zum beobachteten Messfehler führen. Aus diesem Grund erfolgte eine weiterführende Analyse in Form einer Überprüfung der Verteilung gemessener Aktivitätswerte. Diese zeigt für einzelne Geräte eine Häufung im unteren Skalenbereich. Auffällig ist die Zuordnung dieser Geräte zu Paaren mit einer mittleren Korrelation. Da sich hierbei jedoch keine eindeutige Beziehung herstellen lässt, erscheint dieser Ansatz für eine Identifizierung möglicherweise defekter Messgeräte nicht ausreichend.

Obwohl die vorliegenden Untersuchungen eine tiefergehende Analyse nicht ermöglichen, ist für die nachgewiesenen Messfehler von einer technischen Ursache auszugehen. Damit verdeutlichen die Ergebnisse zur Wiederholungsgenauigkeit der Aktivitätsmessung die Notwendigkeit einer systematischen Überprüfung der Sensoren. Dafür ist eine zweckmäßige Messmethodik zu entwickeln, was jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht geleistet werden konnte. Ein möglicher Ansatz zur Verifizierung vorliegender Aktivitätswerte wäre die

Nutzung eines weiteren Systems zur Aktivitätsmessung wie beispielsweise das ALT-Pedometer oder eine Videoanalyse.

Die Ergebnisse zur Wiederholungsgenauigkeit lassen für die vorliegenden Untersuchungen zur aktivitätsbasierten Brunsterkennung eine Verschlechterung der Effizienz erwarten. Jedoch ist deren Anteil an einer Abweichung von einer optimalen Brunsterkennung nicht quantifizierbar.

b) Beschreibung der Aktivitätsdynamik

Die Modellierung der Aktivitätsdynamik erfolgt in dem Ziel saisonale, tägliche und tierindividuelle Einflussfaktoren in Abhängigkeit des Brunstzustandes zu identifizieren. Diese Aufgabenstellung basiert auf der These, wonach nur auf Grundlage dieses Arbeitsschrittes eine begründete Bildung von Bezugs- und Vergleichszeitraum für die vorliegenden Aktivitätsdaten zur Brunsterkennung möglich ist.

Für die Beschreibung der Aktivitätsdynamik wurde neben den ermittelten Aktivitätsdaten die vom Stallpersonal durchgeführte visuelle Brunstbeobachtung (Duldungsreflex) und eine darauf basierende Klassifizierung der stündlichen Messwerte in den Zustand brünstig oder nicht brünstig genutzt. Trotz der sehr intensiven Brunstbeobachtung im Untersuchungsbetrieb kann eine stundengenaue Einteilung der Aktivitätswerte nicht gewährleistet werden. Aufgrund der täglichen Arbeitsroutine des Stallpersonals von etwa 6:00 Uhr bis 22:00 Uhr sind die Nachstunden von einer Beobachtung ausgeschlossen. Im Fall einer gleichen Einstufung des Brunstzustandes in den Abend- und Morgenstunden des darauffolgenden Tages können die Nachstunden dem entsprechenden Brunstzustand zugeordnet werden (LØVENDAHL und CHAGUNDA 2010; TRIMBERGER und DAVIS 1943). Bei unterschiedlichen Angaben ergeben sich zwangsläufig Abschnitte, die nicht klar zwischen brünstig und nicht brünstig abzugrenzen sind. Für diese Zeitabschnitte ist von einer methodisch bedingten Ungenauigkeit auszugehen.

Die zweistufige Vorgehensweise einer bei Nutzung der Informationskriterien AICC und BIC vorgenommenen Modellwahl führt unter Berücksichtigung der Residuenanalyse und der Verteilung der zufälligen Effekte aufbauend auf der gewählten Erwartungswertstruktur (vgl. Variante E12 in Tabelle 5) zum Auswertungsmodell C9 (Tabelle 6). Demnach wird die beobachtete Aktivität y_{ijkt} als Kombination der Effekte der Monatsklasse i , des

Brunstzustand j , der Uhrzeit t sowie des Tieres k durch das nachfolgende Modell beschrieben:

$$\underline{y}_{ijkt} = \beta_{ijt} + \underline{u}_{jkt} + e_{ijkt}$$

Die unterstellte Kovarianzstruktur der Tiereffekte sowie der Resteffekte ist gekennzeichnet durch (vgl. Variante C9 Tabelle 6):

$$a_{kj} = (a_{k1j}, \dots, a_{k24j})', \quad (j = 0, 1),$$

$$\text{Var} \begin{pmatrix} a_{k,0} \\ a_{k,1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_0 & G_{01} \\ \text{sym.} & G_1 \end{pmatrix}, \quad \text{Var}(a_{k,j}) = G_j, \quad \text{Cov}(a_{k,0}, a'_{k,1}) = G_{01},$$

$$\text{Var}(e_{ijkt}) = \sigma_{e_{jt}}^2, \quad (j = 0, 1; \quad t = 1, \dots, 24).$$

Entsprechend der Zielstellung einer Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren dienen die sich aus dem Vorzugsmodell ergebenden Schätzwerte der Darstellung der Aktivitätsdynamik (Abbildung 5 bis 8). Erforderlich ist weiterhin die Nutzung einer heterogenen Restvarianz in Form der Kombination von Brunstzustand und Tagesstunde. Erst dadurch kann eine gute Übereinstimmung von der beobachteten und geschätzten Varianz erreicht werden (Abbildung 2). Hierbei weist der Verlauf der Varianzfunktion in Abhängigkeit des Brunstzustandes, insbesondere im Zeitraum der Tagesstunden 4 bis 6, deutliche Unterschiede auf. Weiterhin ergab sich für die vorliegenden Untersuchungen eine komplexe Kovarianzstruktur. So sind für die Erwartungswertstruktur 672 Effekte und für die Tiereffekte 11040 Varianzen sowie die dazugehörigen Kovarianzen zu schätzen.

In den vorliegenden Untersuchungen wurden die Aktivitätswerte als Zufallsvariable mit Normalverteilung angesehen und damit eine kontinuierliche Verteilung unterstellt. Da diese Daten offensichtlich Zählraten und somit nicht kontinuierlich, sondern diskret skaliert sind, ist die genutzte Vorgehensweise nicht korrekt. Zur Auswertung derartiger skalierten Daten bietet sich beispielsweise die Poisson- oder die negative Binomialverteilung an. Die gleichzeitige Beachtung fester und zufälliger Effekte führt zur Modellklasse generalisierter

linearer gemischter Modelle. Deren Bearbeitung ist möglich, aber mit bedeutsamen methodischen Schwierigkeiten verbunden (HÖLTL 2012; THAMM 2012). Um diese zu umgehen, wurde die Klasse der linearen gemischten Modelle gewählt. Die vorliegenden Ergebnisse bezüglich der Modellanpassung der geschätzten Erwartungswertstruktur an die lokal angepasste Regression (Abbildung 1), der Übereinstimmung von beobachteter und geschätzter Varianzfunktion (Abbildung 2) sowie die Verteilung der zufälligen Effekte (Abbildung 3 und 4) zeigen aber, dass der gewählte Modellansatz geeignet ist.

Bei der dargestellten Modellentwicklung wurde die Tagesstunde stets als qualitative Einflussgröße angesehen. Als Modellierungsalternative bietet sich an, diese als quantitatives Merkmal aufzufassen und damit tatsächlich einen Verlauf zu modellieren (vgl. Abschnitt 4.3.7). Diese Möglichkeit erfordert wegen der stark ausgeprägten Tagesdynamik der Aktivität die Nutzung von Splines mit einer Anzahl Knoten nahe der Anzahl Tagesstunden. Trotz einer dann großen Anzahl zu schätzender Parameter ergibt sich aufgrund der Informationskriterien nur eine unbefriedigende Modellanpassung gegenüber dem qualitativen Ansatz zur Beachtung der Tagesstunde. Deshalb wird der quantitative Ansatz verworfen.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit einer Berücksichtigung der Tierindividualität für die Beschreibung der Aktivitätsdynamik und stehen somit in Einklang mit der Literatur (ARNEY et al. 1984; ORIHUELA 2000; ROTTENSTEN und TOUCHBERRY 1957; WANGLER et al. 2005). Damit wird bei Beachtung der tierindividuellen Aktivitätsdaten stets die einzeltierspezifisch zu treffende Entscheidung einer Brunst berücksichtigt (Abbildung 7 und 8). Weiterhin lässt sich das unterschiedliche Niveau der Aktivität im brünstigen und nicht brünstigen Zustand bzw. deren Differenz zu verschiedenen Tageszeiten nachvollziehen. Die im Vergleich zum Bestandsmittel breiteren Konfidenzintervalle dieser tierindividuellen Abbildungen sind auf die geringere Anzahl an Beobachtungswerten je Tier sowie die hohe Varianz der Tiereffekte zurückzuführen (Abbildung 5 bis 8).

Für den nicht brünstigen Zustand gibt die tägliche Aktivitätsdynamik Aufschluss über Managementeinflüsse. Hierbei spiegeln sich anhand des zweigipfligen Verlaufes die relativ konstanten Fütterungszeiten des untersuchten Betriebes in den Morgenstunden von etwa 7 Uhr bis 8 Uhr wider. Da die zweite Fütterung etwa gegen 17:30 Uhr erfolgt, weist die Betrachtung der einzelnen Monatsverläufe auf eine Überlagerung durch den Einfluss der Tageslichtstunden bzw. den natürlichen Tagesrhythmus im Verlauf der Jahreszeiten hin.

Damit ist die Abweichung von etwa vier Stunden zwischen dem jeweils zweiten Peak der Aktivitätsverläufe im Mai 2010 und im Januar 2011 zu begründen (Abbildung 5 und 6). Die täglichen Arbeitszeiten von etwa 6:30 Uhr bis 22 Uhr sind in Verbindung mit dem Einfluss der Tageslänge bzw. der Hell- und Dunkelperioden ein Erklärungsansatz für das relativ geringe Niveau der Aktivität in den Nachstunden. Dies zeigt, dass die Tagesdynamik der Aktivität insbesondere im nicht brünstigen Zustand stark von umweltbedingten Faktoren beeinflusst ist.

Da sich im Gegensatz zum nicht brünstigen Zustand die Aktivität im brünstigen Zustand durchgehend auf einem höheren Niveau bewegt und eine schwächere Dynamik zeigt, lassen sich besonders in den Nachstunden die Unterschiede im Aktivitätsniveau zwischen den beiden Brunstzuständen am deutlichsten erkennen (Abbildung 5 und 6). Dies stellt für die Bestimmung des Brunstzustandes in Abhängigkeit der Tageszeit eine wichtige Information dar.

Verschiedene Beschreibungen in Form eines erhöhten Aktivitätsniveaus, einer allgemeinen Ruhelosigkeit oder eines verstärkten Bewegungsdranges im brünstigen Zustand im Vergleich zur Zwischenbrunst lassen die vorliegenden Ergebnisse der täglichen Aktivitätsdynamik plausibel erscheinen (ESSLEMONT et al. 1980; FARRIS 1954; VAN EERDENBURG et al. 1996). In der Literatur wird von Einflüssen der Jahreszeit (GALINA UND ARTHUR 1990), der Photoperiode (HANSEN und HAUSER 1984; PHILLIPS und SCHOFIELD 1990) sowie verschiedenen managementbedingten Faktoren wie beispielsweise der Fütterung (ORIHUELA 2000; PENNINGTON et al. 1986; WALKER et al. 2008) auf die Ausprägung der sexuellen Aktivität gesprochen. Weiterhin zeigen UNAL et al. (1986) eine starke Beeinflussung des Tierverhaltens in Abhängigkeit verschiedener Stallarbeiten zu unterschiedlichen Tageszeiten. Neben den Auswirkungen managementbedingter Einflüsse auf die Ausprägung der Aktivität berichtet SAMBRAUS (1971) bei Schafen von einem zirkadianen Aktivitätsrhythmus in Abhängigkeit der Lichtzeit, wobei unter Stallhaltungsbedingungen die Fütterung als sekundärer Zeitgeber identifiziert wird. Ein zirkadianer Rhythmus und dessen Wirkung auf verschiedene Merkmale ist ebenfalls bei Kälbern nachgewiesen (STEINHARDT und THIELSCHER 2002). In anderen Versuchen wird von der rhythmischen Funktionsordnung physiologischer Systeme und dem Einfluss unterschiedlicher Licht- und Dunkelverhältnisse, welche die Aktivität in Abhängigkeit der Zeit beeinflusst, gesprochen (MENZEL 1962; SINZ und SCHEIBE 1976; STENVERS et al. 2012). Diese Aussagen lassen sich anhand der in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse belegen.

Eine Untersuchung von TOBER (2009) thematisiert den Zusammenhang physiologischer Funktionen und des Tierverhaltens in Bezug auf dabei auftretende rhythmische Muster. Dem ist bei Beachtung der eigenen Ergebnisse zur täglichen Aktivitätsdynamik hinzuzufügen, dass sich die Aktivität im brünstigen Zustand auf einem relativ konstanten Niveau bewegt und aufgrund des von Umweltfaktoren eher unbeeinflussten Zeitraumes der Nacht die Unterschiede zwischen den beiden Brunstzuständen in diesem Abschnitt am deutlichsten zu erkennen sind. Jedoch sind auch gegensätzliche Untersuchungsergebnisse, die keine signifikanten Unterschiede zwischen der Aktivität am Tag und in der Nacht feststellen konnten, bekannt (LEWIS und NEWMAN 1984; SCHOFIELD et al. 1991).

Festzustellen ist, dass der zirkadiane Rhythmus in Verbindung mit verschiedenen Managementeinflüssen maßgeblich den Verlauf der Aktivität bestimmt. Somit ist dessen bestandsspezifische Darstellung zur Ableitung erforderlicher Schlussfolgerungen für die aktivitätsbasierte Brunsterkennung zwingend erforderlich. Beispielsweise lassen sich mit dieser Vorgehensweise für den zu entwickelnden Entscheidungsalgorithmus geeignete Zeiträume zur Bewertung des Brunstzustandes identifizieren.

Es kann geschlussfolgert werden, dass die Methode des linearen gemischten Modells einen geeigneten Ansatz zur Modellierung der Aktivitätsdynamik darstellt. Dabei ist mit Hilfe des erarbeiteten Vorzugsmodells der erwartete Einfluss der Jahreszeit, der Tagesstunde sowie der Tierindividualität in Abhängigkeit des Brunstzustandes auf die Aktivität quantifizierbar. Ferner lassen sich anhand einer weiterführenden Untersuchung der vollständigen Varianz-Kovarianz-Matrix des genutzten Modells die Korrelationen der Tagesstunden berechnen.

c) Nutzung von Aktivitätswerten zur Brunsterkennung

Die Untersuchungen zur Aktivitätsdynamik sind Voraussetzung für die Nutzung der Aktivitätswerte zur Brunsterkennung. Die im vorherigen Abschnitt diskutierten Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit einer Berücksichtigung der Tierindividualität sowie der Tagesdynamik der Aktivität bei der Entwicklung eines geeigneten Entscheidungsalgorithmus zur aktivitätsbasierten Brunsterkennung.

Die Nutzung von Aktivitätsdaten ist in der vorliegenden Arbeit der Methode einer univariaten Zeitreihenanalyse zuzuordnen. Eine Erweiterung auf multivariate Analysemethoden wie beispielsweise neuronale Netze oder Fuzzy Logik ist grundsätzlich denkbar. Auf diese

Möglichkeit wurde hier aber verzichtet, da beispielsweise Informationen zur vorangegangenen Brunst nur unsicher verfügbar sind.

In Anlehnung an verschiedene in der Literatur beschriebene Varianten der Zeitreihenanalyse (KOELSCH et al. 1994; MOORE und SPAHR 1991; SAKAGUCHI et al. 2007; SCHOFIELD et al. 1991) wurde ein *relatives Aktivitätsniveau* (rAN) berechnet. Da diese Größe, das Verhältnis der mittleren Aktivitätswerte eines Bezugs- und Vergleichszeitraumes widerspiegelnd, zu jeder beliebiger Tagesstunde gebildet werden kann, basiert der genutzte Ansatz auf dem Prinzip gleitender Mittelwerte. Bei Beachtung der starken Variabilität in den Beobachtungswerten erscheint eine entsprechende Glättung durch Mittelwertbildung zweckmäßig. Weiterhin bietet die genutzte Methodik den Vorteil einer beliebig variierbaren Länge des Bezugs- und Vergleichszeitraumes, wobei aufgrund der Vermeidung einer Überschneidung dieser Zeiträume die Länge des Bezugszeitraumes auf maximal 24 Stunden begrenzt ist (Formel 18 und 19).

Als weitere Einflussgrößen des Entscheidungsalgorithmus sind der Grenzwert, der eine Trennung zwischen brünstig und nicht brünstig auf der Skala des rAN bewirkt, und die zu bewertenden Tagesstunden zu nennen. Mittels einer systematischen Untersuchung dieser Einflussgrößen erfolgt eine Optimierung anhand der Effizienzkriterien Erkennungsrate und Fehlerrate. Voraussetzung für deren Berechnung ist eine Gegenüberstellung der aktivitätsbasierten Bewertung des Brunstzustandes mit einer geeigneten Referenz. Dabei wird auf die in der Literatur verwiesene Methode der Progesteronmessung zurückgegriffen (MAATJE et al. 1997; NORUP et al. 2001). Aus den im Folgenden zu erläuternden Gründen sind für die vorliegende Aufgabenstellung neben der Bestimmung der Progesteronkonzentration weitere Informationen in Form einer Östradiolanalyse notwendig.

Für eine objektive Bewertung des Brunstzustandes auf Basis der Hormonverläufe sind besonders zwei Punkte zu beachten. Ersterer betrifft die über mehrere Tage geringe Progesteronkonzentration (vgl. Abbildung 9). Zwar wird diese mit einer Brunst in Zusammenhang gebracht (MAATJE et al. 1997; NORUP et al. 2001; STEVENSON und BRITT 1977), jedoch lässt sich ohne die zusätzliche Information aus dem Verlauf des Östradiols keine eindeutige Aussage über den zeitlichen Status einer Brunst treffen. Somit empfiehlt sich für die in der Literatur als „Goldstandard“ bezeichnete Progesteronmessung als Methode der Brunsterkennung (LØVENDAHL und CHAGUNDA 2010) eine ergänzende Bestimmung von Östradiol.

Die zweite Problematik betrifft die unterschiedlichen Zeiteinheiten der Aktivitätsmessung und der Versuchsdurchführung zur Gewinnung verwertbarer Daten für die Referenz. Die Aktivitätswerte liegen stündlich vor, die Referenzdaten werden in Form von Hormonverläufen als tägliche Werte bereitgestellt. Aus versuchstechnischen Gründen ist ein kürzeres Intervall für die Blutung der Tiere als das Vorliegende nicht realisierbar. Ein möglicher Ansatzpunkt wäre über die Nutzung von Blutkathedern denkbar, was unter den gegebenen Haltungsbedingungen ausgeschlossen erscheint.

Mit Hilfe der Analyseergebnisse lässt sich aus den vorliegenden Hormonverläufen eine exakte Einstufung des Brunstzustandes nur in Bezug auf den Tag treffen, wobei als Bewertungsgrundlage dieses Zeitraumes der Zeitpunkt der Blutentnahme dient. Für eine sachliche Beurteilung der als brünstig bzw. nicht brünstig klassifizierten Zeiträume sollte das Verhältnis der beiden Brunstzustände in etwa den realen Anteilen des Brunstzyklus entsprechen. Dies wird durch die Betrachtung eines jeweils 15-tägigen Zeitraumes vor und nach dem als brünstig definierten Zyklustag 0 gewährleistet. Gleichzeitig werden mit dieser Vorgehensweise angrenzende Brunstzyklen entsprechend berücksichtigt.

Mit Fall 1 wird bei der Analyse der Ergebnisse eine tagesspezifische Klassifizierung der Zyklustage in Abhängigkeit der Messwerte für Progesteron und Östradiol unterstellt. Dabei führt eine systematische Betrachtung der Einflussgrößen zur Wahl eines Bezugszeitraumes von 24 Stunden, eines Vergleichszeitraumes von 7 Tagen sowie eines Grenzwertes von 1.4. Als Ergebnis ist mit zunehmender Tagesstunde eine steigende Erkennungsrate bei gleichzeitig sinkender Fehlerrate zu beobachten (Abbildung 10). Jedoch lässt sich für den Verlauf dieser Entscheidungskriterien keine biologisch erklärbare Interpretation finden. Diesen Ergebnissen zufolge müsste eine Brunstbeobachtung am Ende des Tages die besten und zu Tagesanfang die schlechtesten Ergebnisse liefern. Der vorliegende Befund ist in der getroffenen Annahme der als brünstig bzw. nicht brünstig definierten Tage begründet. Unter Annahme eines brünstigen Zustandes von der ersten bis zur letzten Stunde am Zyklustag 0 führt dies für die 24. Tagesstunde zu einer Erkennungsrate von etwa 82 % bei einer Fehlerrate von etwa 21 %. Der am Zyklustag 1 erhöhte Anteil falsch positiver Entscheidungen ist ein Hinweis, dass die tagesweise Abgrenzung von Brunst und Zwischenbrunst den tatsächlichen Sachverhalt nur ungenau beschreibt (Tabelle 17). Dies lässt sich anhand des Ergebnisses der Effizienzkriterien bei Nichtbeachtung des Zyklustages 1 belegen. Folge ist eine deutliche Reduzierung der Fehlerrate im Vergleich zur Berücksichtigung aller Zyklustage (Abbildung 11). Daher ist für

eine objektive Bewertung der Effizienz der aktivitätsbasierten Brunsterkennung eine modifizierte Vorgehensweise unerlässlich.

Die unter Fall 2 durchgeführte Modifikation einer zeitlichen Einteilung der Brunstzustände wird durch die Analyse der Aktivitätsdaten im unmittelbar angrenzenden Zeitraum des als brünstig definierten Zyklustages 0 ermöglicht. Als Ergebnis lassen sich für alle 38 Tiere individuelle Verläufe erkennen (Abbildung 12 bis 15). Da jeweils unterschiedliche Start- und Endpunkte einer Aktivitätserhöhung nachzuweisen sind, wird die Vermutung einer biologisch nicht begründbaren Abgrenzung des Brunstzustandes in Abhängigkeit des Tages bestätigt. Die auf den individuellen Aktivitätsverläufen basierende Einteilung der Tiere in Kategorien (Kategorie 1 bis 3) erfolgt mit Hilfe der Abgrenzung von Tag und Nacht des zugehörigen Monats März 2011 (Abbildung 16). Anzumerken ist, dass die Nutzung der Aktivitätswerte zur Kategorisierung der tierindividuellen Verläufe mit der Zielstellung einer ebenfalls aktivitätsbasierten Brunsterkennung kritisch betrachtet werden kann. Da jedoch für die tagspezifische Einteilung des Brunstzustandes die Ergebnisse der Hormonuntersuchungen als alleinige Grundlage dienen und die durchgeführte Kategorisierung lediglich eine genauere Abgrenzung des als brünstig identifizierten Zyklustages 0 darstellt, ist die genutzte Vorgehensweise als gerechtfertigt zu bewerten.

Wegen der nachgewiesenen relativ geringen Differenz der täglichen Aktivitätsdynamik zwischen den beiden Brunstzuständen in den Tagesstunden 7 bis 11 sowie 18 bis 21 werden diese Abschnitte nicht berücksichtigt (Abbildung 16). Die Bestimmung des Bezugs- und Vergleichszeitraumes führt zu einem vorläufigen Wert zwischen 6 und 8 Stunden bzw. 7 und 9 Tagen (Tabelle 18 und 19). Mit dem Ergebnis einer Erkennungs- und Fehlerrate von etwa 86.8 % bzw. 21.4 % erfolgt eine Festlegung der zu optimierenden Einflussgrößen mit der Wahl eines Bezugszeitraumes von 6 Stunden und eines Vergleichszeitraumes von 7 Tagen bei Nutzung der Tagesstunden 6 und 16 sowie eines Grenzwertes von 2.45 (Tabelle 20 bis 22).

Für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus zur aktivitätsbasierten Brunsterkennung wird deutlich, dass die Wahl der sich am besten eignenden Tagesstunden erwartungsgemäß mit den Zeiträumen einer maximalen Differenz der Aktivitätswerte zwischen den Brunstzuständen übereinstimmt (Abbildung 16). Weiterhin ist erkennbar, dass mit einem zunehmenden Grenzwert sowohl eine Reduzierung der Erkennungs- als auch der Fehlerrate einhergeht (Abbildung 17). Da keine optimale Brunsterkennung in Form einer

Erkennungsrate von 100 % bei einer Fehlerrate von 0 % realisierbar ist, basiert die Wahl eines Grenzwertes von 2.45 auf einem Kompromiss zwischen dem Erkennen einer wahren Brunst und einer falschen Alarmmeldung.

In der systematischen Variation der Einflussgrößen werden die Ergebnisse der Effizienzkriterien immer unter Annahme eines voll aufgebauten Vergleichszeitraumes berechnet. Folge ist eine unterschiedliche Anzahl zu bewertender Aktivitätsdaten zwischen unterschiedlichen Längen eines Vergleichszeitraumes. Zwar ist aufgrund der arithmetischen Mittelwertbildung für den Vergleichswert eine Berücksichtigung verschiedener Längen des dazugehörigen Zeitraumes möglich (Formel 18), jedoch würde eine Nutzung der vollständigen Referenzperiode die unterschiedlichen Längen des sich kontinuierlich aufbauenden Vergleichszeitraumes innerhalb einer Variante mit einschließen. Die Folge wäre eine eingeschränkte Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Varianten.

Mit Hilfe der Vierfeldertafel lassen sich weitere Maßzahlen zur Beurteilung der Effizienz des erarbeiteten Entscheidungsalgorithmus zur Brunsterkennung ableiten. Dies ist unter dem Gesichtspunkt der Vergleichbarkeit mit Ergebnissen ausgewählter Literaturangaben zur aktivitätsbasierten Brunsterkennung auch erforderlich (Tabelle 2). Für die Vorzugsvariante des Algorithmus ist die Spezifität mit etwa 99.5 % als sehr hoch einzuschätzen (Abbildung 18). Neben der Wirksamkeit des entwickelten Entscheidungsalgorithmus ist dies ebenfalls mit dem deutlich geringen Verhältnis brünstiger gegenüber nicht brünstiger Zeiträume zu erklären. Die Kriterien Youden-Index, ein zusätzlich definierter Index (Erkennungsrate, Fehlerrate) sowie eine ROC-Kurve geben ebenfalls eine Information zur Effizienz der Brunsterkennung (Abbildung 18 bis 20). Da der Index (ER, FR) sowohl die Erkennungs- als auch die Fehlerrate in Abhängigkeit des Grenzwertes berücksichtigt, gibt dessen Verlauf Aufschluss über ein optimiertes Verhältnis dieser zwei Kriterien. Für das dabei identifizierte Grenzwertintervall von [2.4; 3] liegt der in der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus gewählte Grenzwert von 2.45 im unteren Bereich, was sich zugunsten der Erkennungsrate bzw. zulasten der Fehlerrate auswirkt (Abbildung 20).

Das erzielte Ergebnis einer Erkennungsrate von etwa 86.9 % bei einer Fehlerrate von etwa 21.4 % ist mit bereits bekannten Literaturangaben nicht durchgehend vergleichbar. So wird beispielsweise für verschiedene Versuche neben der Erkennungsrate nicht die Fehlerrate sondern die Genauigkeit (Formel 2) dargestellt. Diese liegt mit 78.6 % für die Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus im oberen Bereich bekannter Versuchsergebnisse (LIU und SPAHR 1993; KOELSCH et al. 1994; MOORE und SPAHR 1991;

SAKAGUCHI et al. 2007). Ebenso fällt auf, dass die Genauigkeit z. T. anstelle der Fehlerrate angegeben wird (KOELSCH et al. 1994; SAKAGUCHI et al. 2007). Hierbei wird entweder der Anteil wahr positiver Entscheidungen an allen positiven Entscheidungen (Formel 2) oder der Anteil falsch positiven Entscheidungen an ebenfalls allen positiven Entscheidungen (Formel 3) angegeben.

Ähnlich der gleichgerichteten Verschiebung von Erkennungs- und Fehlerrate in Abhängigkeit des Grenzwertes sollte für die Beurteilung der Effizienz einer Methode nicht ein einzelnes Entscheidungskriterium, wie beispielsweise die Erkennungsrate (KIDDY 1977), betrachtet werden. Weiterhin fehlt bei einem Großteil von Untersuchungsergebnissen die Angabe der Spezifität und somit eine Information der wahr negativen Entscheidungen (KOELSCH et al. 1994; LIU und SPAHR 1993; ERADUS und JANSEN 1999; YANG 1998). Aufgrund eines weit größeren Anteils von Beobachtungen in der Zwischenbrunst im Gegensatz zur Brunst wird mit dieser Vorgehensweise einer objektiven Bewertung des Brunstzustandes für den gesamten Sexualzyklus nicht Rechnung getragen. Verschiedene Versuchsbedingungen, Auswertungsmethoden sowie die unvollständige Angabe von Entscheidungskriterien schränken die Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Versuchsergebnissen weiterhin ein (KIDDY 1977; MAATJE et al. 1997; SAKAGUCHI et al. 2007). Für den angeführten Grund einer unvollständigen Angabe verschiedener Kriterien würde sich beispielsweise die Darstellung einer Vierfeldertafel, anhand derer die Berechnung einzelner Effizienzkriterien nachzuvollziehen ist, anbieten. Ein wichtiger Aspekt unterschiedlicher Versuchsbedingungen ist Betrachtung der Daten von Milchkühen oder Jungrinder zur aktivitätsbasierten Brunsterkennung. Dabei bezieht sich der Großteil der Ergebnisse auf Milchkühe und nur wenige auf Jungrinder (SAKAGUCHI et al. 2007; WILLIAMS et al. 1981).

Eine Gegenüberstellung zwischen den auf einer Zeitreihenanalyse basierenden Literaturangaben und dem Ergebnis der erarbeiteten Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus zeigt für die eigenen Untersuchungen eine bessere Brunsterkennung (MOORE und SPAHR 1991; WANGLER et al. 2005; WILLIAMS et al. 1981). Mit einer Erkennungsrate von 80 % bei einer Fehlerrate von etwa 17 % bildet der Versuch von REDDEN et al. (1993) eine Ausnahme. Für dieses Ergebnis ist aber neben der fehlenden Angabe zur Spezifität die geringere Datengrundlage (25 Brunstbeobachtungen an 10 Tieren) zu beachten. Im Vergleich zu den eigenen Ergebnissen zeigt sich für multivariate Analysemethoden eine tendenziell bessere Brunsterkennung (ERADUS und JANSEN 1999; LØVENDAHL und CHAGUNDA 2010; SCHLÜNSSEN et al. 1987; SCHOFIELD et al. 1991).

Anzumerken ist, dass sich für Versuchsergebnisse, in denen innerhalb eines Versuches die Zeitreihenanalyse mit multivariaten Methoden kombiniert wird, eine deutliche Verbesserung der Brunsterkennung realisieren lässt (ERADUS und JANSEN 1999; FIRK et al. 2003b; YANG 1998). Dies verdeutlicht, dass eine Verknüpfung geeigneter Merkmale mittels multivariater Methoden auf Basis der hier vorgestellten Versuchsergebnisse weiteres Potential zur Verbesserung der aktivitätsbasierten Brunsterkennung bietet. Hierfür sind jedoch weiterführende Untersuchungen erforderlich.

Eine Betrachtung vorliegender Ergebnisse zur aktivitätsbasierten Brunsterkennung verdeutlicht die Bedeutung der Referenz für die erzielten Werte der genutzten Effizienzkriterien. Dabei zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Fall 1 und Fall 2, dass die Effizienzkriterien maßgeblich von der zeitlichen Eingrenzung des brünstigen Bereiches innerhalb der Referenzperiode abhängig sind. Folglich äußert sich eine bereits um wenige Stunden abweichende zeitliche Abgrenzung der Brunst gegenüber dem wahren Sachverhalt in falsch positiven bzw. falsch negativen Entscheidungen. Demzufolge wäre im Vergleich zu den vorliegenden Ergebnissen bei einer stundengenauen Information über den tatsächlichen Brunstzustand mit einer besseren Effizienz der Brunsterkennung zu rechnen. Diese Fehlerquelle lässt sich allerdings nur mit einem deutlich erhöhten Aufwand in der Versuchsdurchführung reduzieren. Für die praktische Anwendung der automatischen Brunsterkennung mit der vorgestellten Methode des rAN ist diese Fehlerquelle jedoch unbedeutend. Daher ist unter Produktionsbedingungen von einer besseren Brunsterkennung, als durch die Berechnung der Effizienzkriterien nachweisbar ist, auszugehen.

Als weitere Faktoren für die Abweichung von einer optimalen Brunsterkennung sind die biologisch bedingte Tierindividualität sowie Ungenauigkeiten der Messtechnik zu nennen. Deren Bedeutung wurde mittels der Wiederholungsgenauigkeit nachgewiesen.

Wie die Ergebnisse zur Beschreibung von Aktivitätsdaten zeigen, empfiehlt sich im Voraus einer Anwendung der vorgestellten Methode einer sensorgestützten Überwachung des Brunstzustandes die Bestimmung der bestandsspezifischen täglichen Aktivitätsdynamik. In der Absicht einer Berücksichtigung der betriebsindividuellen Arbeitsroutine sind bei zeitlich stark schwankenden Abläufen zwischen den Tagen entsprechende Anpassungen unumgänglich. Voraussetzung hierfür ist eine genaue Analyse aller Managementmaßnahmen, wie beispielsweise der Fütterung oder Tierkontrolle, die mit der Zielsetzung einer möglichst zeitgleichen Durchführung an allen Wochentagen umzusetzen sind. Hierbei erweisen sich

aufgrund des gewählten Bezugszeitraumes von 6 Stunden zwei dieser Länge entsprechende, innerhalb des Tages versetzte Zeitabschnitte mit geringen umweltbedingten Einflüssen als vorteilhaft. In diesem Zusammenhang vermuten KOELSCH et al. (1994) bei geänderter Arbeitsroutine ein gehäuftes Auftreten falscher Brunstalarme auf Grundlage von Aktivitätsdaten. Zu beachten sind ebenfalls witterungsbedingte Einflüsse der Temperatur oder Luftfeuchte, die bei stärkeren Schwankungen innerhalb kürzerer Zeiträume das rAN entsprechend verzerren und sich somit negativ auf die Effizienz der aktivitätsbasierten Brunsterkennung auswirken können. Dies zeigt die Notwendigkeit weiterführender Untersuchungen in Bezug auf eine geeignete Kombination unterschiedlicher Informationen mittels multivariater Methoden.

Die Einschätzung der Anwendbarkeit des entwickelten Entscheidungsalgorithmus macht eine entsprechende Überprüfung erforderlich. Diese erfolgt mittels einer Kreuzvalidierung bei Nutzung positiver Trächtigkeitsergebnisse als Referenzdatensatz. Mit 240 Tieren bzw. 11520 zu treffenden Entscheidungen steht ein umfangreicher Datensatz gegenüber der Referenz auf Grundlage der Hormonuntersuchungen zur Verfügung. Bei dieser Auswertung bleiben hingegen Tiere, die trotz einer tatsächlichen Brunst nicht oder nicht erfolgreich besamt bzw. deren Embryo bereits vor der Trächtigkeitsuntersuchung abgestoßen wurde, unberücksichtigt. Die Nutzung des entwickelten Entscheidungsalgorithmus ergibt eine Erkennungsrate von etwa 69 % bei einer Fehlerrate von etwa 36 %. Ein Erklärungsansatz für die Verschlechterung gegenüber den Ergebnissen auf Grundlage der Hormonuntersuchungen mit einer Erkennungsrate von etwa 87 % und einer Fehlerrate von etwa 21 % ist, dass wie in einer Kreuzvalidierung üblich, keine Optimierung der Einflussgrößen des Bezugs- und Vergleichszeitraumes, des Grenzwertes sowie der bewerteten Tagesstunden vorgenommen wird. Ein weiterer Grund ist die Nutzung einer Kategorisierung der tierindividuellen Aktivitätsverläufe mit dem Ergebnis einer Zuordnung der Brunst in Tag oder Nacht (vgl. S. 106). Dieses Vorgehen stellt den bereits beschriebenen Kompromiss zwischen einer Tierindividualität des Sexualzyklus und der verfügbaren Informationen zur Bewertung stündlicher Aktivitätswerte dar. Die Folge ist eine Abweichung der in brünstig oder nicht brünstig eingestuften Aktivitätsdaten vom tatsächlichen Brunstzustand. Dies trifft besonders auf den mit 80 Tieren relativ großen Anteil an Tieren zu, die im näheren Zeitraum der Brunst einen indifferenten Verlauf (Kategorie 4) aufweisen. Folge ist eine Häufung falscher Entscheidungen (Tabelle 33 und 35).

Eine weitere Fehlerquelle ist der Zusammenhang zwischen der nachgewiesenen Monatsspezifität der täglichen Aktivitätsdynamik und der über einen Auswertungszeitraum von etwa zwei Jahren Nutzung der Tagestunden 6 und 16 zur Bewertung des Brunstzustandes. Hierbei ist zwischen managementbedingten und saisonalen Einflüssen zu unterscheiden. Da die Fütterungszeiten über das Jahr relativ konstant bleiben, ist eine Veränderung des täglichen Aktivitätsmusters lediglich in Abhängigkeit saisonaler Veränderungen zu erwarten. Für konkrete Aussagen hierzu wäre eine weiterführende Optimierung der entsprechenden Einflussgrößen notwendig. Dies ist jedoch nicht Ziel der vorliegenden Kreuzvalidierung.

Weiterhin können die vom ALPRO-System ausgegebenen Alarmmeldungen einer Brunst zur Berechnung von Effizienzkriterien verwendet werden. Die zugehörigen Ergebnisse sind wiederum mit denen der Vorzugsvariante des Entscheidungsalgorithmus vergleichbar. Im Gegensatz zu einer Gegenüberstellung verschiedener Literaturangaben zur Effizienz der Brunsterkennung bietet diese Vorgehensweise den Vorteil einer uneingeschränkten Vergleichbarkeit der betrachteten Methoden. Dies gilt sowohl für die modifizierte Einteilung der Brunstzustände des Referenzdatensatzes auf Grundlage der Hormonuntersuchungen (Fall 2) als auch für die Kreuzvalidierung mittels positiver Trächtigkeitsuntersuchungen. Im Ergebnis zeigt sich, dass der entwickelte Entscheidungsalgorithmus für beide Varianten sowohl eine höhere Erkennungsraten als auch eine niedrigere Fehlerrate gegenüber der Nutzung des ALPRO-Systems liefert (Tabelle 29 und 36).

Schlussfolgernd aus den vorliegenden Untersuchungen ergibt sich:

- Eine Erkennungsrate von etwa 87 % bei einer Fehlerrate von etwa 21 % lässt für die aktivitätsbasierte Brunsterkennung auf eine hohe Effizienz schließen.
- Für die Berechnung der Effizienzkriterien ist eine Referenz auf Basis von Hormonuntersuchungen unumgänglich.
- Eine unverzichtbare Voraussetzung der erzielten Ergebnisse ist die Optimierung des Entscheidungsalgorithmus.
- Anhand der beschriebenen Aktivitätsdynamik sind wertvolle Schlussfolgerungen abzuleiten, ohne die eine begründete Einordnung von Aktivitätsdaten zur Brunsterkennung nicht möglich ist.

- Bei der Ableitung von Schätzwerten stellt die Annahme der Aktivitätswerte als kontinuierliche Variable mit Normalverteilung und damit die Nutzbarkeit eines linearen gemischten Modells einen akzeptablen Ansatz dar.
- Die geschätzten Aktivitätskurven zeigen eine deutliche Beeinflussung durch betriebliche Managementmaßnahmen. Davon abgeleitet ist zu erwarten, dass in anderen Betrieben bzw. bei anderen Fütterungszeiten abweichende Vorzugsstunden zur Brunstbewertung resultieren.
- Da die entwickelte Methode der Brunsterkennung nicht systemgebunden ist, empfiehlt sich eine weiterführende Untersuchung auf Basis verschiedener Systeme zur Aktivitätsmessung.
- Die vorliegenden Ergebnisse können Hinweise zu weiterführenden Untersuchungen wie beispielsweise die Bestimmung des optimalen Besamungszeitpunktes geben. Weiterhin bietet eine Analyse des tierindividuellen Aktivitätsverhaltens Potential für die Forschungsbereiche der Frühdiagnose von Lahmheiten oder der Vorhersage einer Kalbung.

7 Zusammenfassung

Die Zielstellung der durchgeführten Untersuchungen bestand darin, basierend auf einer Analyse der Aktivitätsdynamik eine begründete Aussage darüber zu treffen, auf welchen Vergleichsmaßstab die beobachteten Aktivitätsdaten zu beziehen sind. Weiterhin soll die Bedeutung tierspezifischer Unterschiede unter Berücksichtigung des saisonalen Jahresverlaufes quantifiziert werden. Als Konsequenz der daraus gewonnenen Erkenntnisse ist ein Entscheidungsalgorithmus zu entwickeln, durch den ein erhöhtes Aktivitätsniveau im brünstigen Zustand für die Brunsterkennung nutzbar ist.

Als Auswertungsmethode zur Beschreibung der Aktivitätsdynamik wurde das lineare gemischte Modell genutzt. Die Einbeziehung der Einflussgrößen Tagesstunde, Monat, Brunstzustand sowie des Tieres erfolgte aus sachlogischen Gründen. Obwohl die Bewegungsdaten diskontinuierliche Zählraten sind, stellt dieser Ansatz eine geeignete Methode dar. Ergebnis ist, dass sich die tägliche Aktivitätsdynamik in Abhängigkeit des Monats und des Brunstzustandes sowohl für den betrachteten Tierbestand als auch für ein Einzeltier darstellen lässt. In den individuellen Verläufen ist ein gemeinsamer Trend deutlich erkennbar, wobei besonders die Aktivität im nicht brünstigen Zustand von einer starken Dynamik gekennzeichnet ist und somit umweltbedingte Einflüsse wie die Fütterungszeiten oder den natürlichen Tagesrhythmus widerspiegelt. Da sich die Aktivität einer Brunst durchweg auf einem höheren Niveau bewegt und im Gegensatz zum nicht brünstigen Zustand eine Dynamik in abgeschwächter Form vorliegt, lassen sich besonders in den Nachstunden die Unterschiede im Aktivitätsniveau zwischen den beiden Brunstzuständen am deutlichsten erkennen.

Aus der Beschreibung der Aktivitätsdynamik ergeben sich für die Nutzung der Aktivitätsdaten zur Brunsterkennung folgende Grundsätze:

- Vergleich und Bewertung innerhalb Tier zur Beachtung der Tierspezifität.
- Bildung eines Bezugs- und Vergleichszeitraumes für zeitgleiche Tagesstunden zur Beachtung der täglichen Aktivitätsdynamik.

Zur Ermittlung eines geeigneten Entscheidungsalgorithmus wurden die zu bewertenden Tagesstunden, ein Bezugs- und Vergleichszeitraum sowie der Grenzwert systematisch variiert. Als Referenz dienten die mit Hilfe der Hormonverläufe von Progesteron und

Estradiol-17 β nachgewiesenen Brünste. Diese Untersuchungsdaten erlauben die Verwendung von Effizienzkriterien für das Ereignis "Brunst". Eine Optimierung des Entscheidungsalgorithmus anhand der Kriterien Erkennungs- und Fehlerrate ergibt die Nutzung der Tagesstunden 6 und 16, eines Bezugszeitraumes von 6 Stunden, eines Vergleichszeitraumes von 7 Tagen sowie eines Grenzwertes von 2.45. Ergebnis ist eine Erkennungsrate von 86.84 %, eine Fehlerrate von 21.42 % und eine Spezifität von 99.50 %.

Eine Kreuzvalidierung des gewählten Entscheidungsalgorithmus auf Daten mit der Referenz einer positiven Trächtigkeitsuntersuchung führt zu einer Erkennungsrate von 68.75 % bei einer Fehlerrate von 36.04 % und einer Spezifität von 99.17 %.

Weiterhin wurden die erzielten Ergebnisse des erarbeiteten Entscheidungsalgorithmus zur Brunsterkennung mit den Alarmmeldungen einer Brunst aus einem bereits verfügbaren System auf Basis eines identischen Datensatzes verglichen. Dabei liefert der entwickelte Entscheidungsalgorithmus sowohl für die Referenz auf Basis der Hormonuntersuchungen als auch der positiven Trächtigkeitsuntersuchungen bessere Ergebnisse.

Für die vorliegenden Ergebnisse ist von einer hohen Effizienz der Brunsterkennung auszugehen. Dabei kommt in Hinblick auf die Entwicklung eines begründeten Entscheidungsalgorithmus der bestandsspezifischen Aktivitätsdynamik zur Einordnung gemessener Aktivitätsdaten eine besondere Bedeutung zu.

8 Summary

The aim of these investigations was to make a well-founded statement about which standard of comparison to use for the observed activity data based on an analysis of activity dynamics. Furthermore, the significance of animal-specific differences was to be quantified taking into account changes in the seasons. Using the knowledge that was gained, a decision-making algorithm was to be developed to detect estrus based on an increased level of activity during estrus.

The linear mixed model was used as an evaluation method to describe the activity dynamics. Influencing factors such as time of day, month, estrus state and animal were included for logical reasons. Even though the movement data is discontinuous count data, this approach represents a suitable method. The result is that the daily activity dynamics can be depicted in relation to the month and the estrus states both for the observed herd and for individual members of the herd. An overall trend is clearly detectable among the individual curves. In particular, activity during the non-estrus period is characterized by a strong dynamic and thus environmental influences like feeding time and natural daily rhythms can be identified. Since the levels of activity of animals in estrus are consistently higher and, unlike during the non-estrus period, the dynamic is weaker, differences in activity levels between the two estrus states can clearly be identified, particularly during the night.

The following principles apply when using activity data for detecting estrus based on the description of the activity dynamics:

- Comparison and evaluation within animal to observe animal specificity.
- Creation of a reference and comparison period for simultaneous times of day to observe the daily activity dynamics.

The time of day, the reference and comparison period, and the limiting value were systematically varied in order to establish a suitable decision-making algorithm. Estrus periods that were identified by hormone cycles of progesterone and estradiol-17 β served as references. This data enables us to use efficiency criteria for the “estrus” event. An optimization of the decision-making algorithm using the criteria of detection rate and error rate results in the use of hours 6 and 16, a reference period of 6 hours, a comparison period of

7 days and a limiting value of 2.45. This results in a detection rate of 86.84 %, an error rate of 21.42 % and a specificity of 99.50 %.

A cross-validation of the selected decision-making algorithm with data from a positive pregnancy test reference led to a detection rate of 68.75 % with an error rate of 36.04 % and a specificity of 99.17 %.

Moreover the findings of the developed decision-making algorithm for estrus detection were compared with the warning signs of estrus from any already available system based on an identical data set. Here the developed decision-making algorithm provided better results both for the reference based on hormone evaluation and for the positive pregnancy tests.

The present results display a high efficiency rate for detecting estrus. At the same time increasing importance is being placed on the development of a well-founded decision-making algorithm for population-specific activity dynamics for classifying measured activity data.

9 **Literaturverzeichnis**

- AKAIKE, H. (1969): Fitting autoregressive models for prediction. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics* 21, 243-247.
- ALLISTON, C. W.; PATTERSON, T. B.; ULBERG, L. C. (1958): Crystallization patterns of cervical mucus as related to estrus in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 17, 322-325.
- ALLRICH, R. D. (1994): Endocrine and Neural Control of Estrus in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 77, 2738-2744.
- ALMOND, R. G. (1995): Discussion: Fuzzy logic: Better science? Or better engineering? *Technometrics* 37, 267-270.
- ALTMANN, R. (1941): Interrelations of the sex cycle and the behaviour of the sow. *Journal of Comparative Psychology* 31, 481-498.
- AMMON, C. (2008): Mathematisch-statistische Modellierung und Evaluierung von Vorhersagefunktionen zur sicheren Identifizierung tierindividueller Leistungsabweichungen beim Milchrind. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- ARMSTRONG, D. V. (1994): Symposium – Nutrition and heat-stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science* 77, 2044-2050.
- ARNEY, D. R.; KITWOOD, S. E.; PHILLIPS, C. J. C. (1994): The increase in activity during oestrus in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 40, 211-218.
- 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, 792-798.
- BARR, H. L. (1975): Influence of estrous detection on days open in dairy herds. *Journal of Dairy Science* 58, 246-247.
- BECKER, F.; KANITZ, W.; HEUWIESER, W. (2005): Vor- und Nachteile einzelner Methoden der Brunsterkennung beim Rind. *Züchtungskunde* 77, 140-150.
- BELSLEY, D. A.; KUH, E.; WELSCH, R. E. (1980): *Regression Diagnostics; Identifying Influential Data and Sources of Collinearity*. John Wiley & Sons, New York.
- BÖHME, G. (1993): *Fuzzy-Logik Einführung in die algebraischen und logischen Grundlagen*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- BORGELT, C.; KLAWONN, F.; KRUSE, R.; NAUCK, D. (2003): *Neuro-Fuzzy-Systeme*. Vieweg, Wiesbaden.
- BOSTEDT H. (2003): *Fruchtbarkeitsmanagement bei Rindern (4. Auflage)*. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

- BRADE, W.; FLACHOWSKY, G. (2005): Rinderzucht und Milcherzeugung - Empfehlungen für die Praxis. Hrsg: Landbauforschung, Völkenrode.
- BREWSTER, J. E.; COLE, C. L. (1941): The time of ovulation in cattle. *Journal of Dairy Science* 24, 111-115.
- BRITT, J. H. (1985): Enhanced reproduction and its economic implications. *Journal of Dairy Science* 68, 1585-1592.
- BRITT, J. H.; SCOTT, R. G.; ARMSTRONG, J. D.; WHITACRE, M. D. (1986): Determinants of estrous behaviour in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 69, 2195-2202.
- CARAVIELLO, D. Z.; WEIGEL, K. A.; CRAVEN, M.; GIANOLA, D.; COOK, N. B.; NORDLUND, K. V.; FRICKE, P.M.; WILTBANK, M. C. (2006): Analysis of Reproduction Performance of Lactating Cows on Large Dairy Farms Using Machine Learning Algorithms. *Journal of Dairy Science* 89, 4703-4722.
- CAVERO, D.; TÖLLE, K.-H.; BUXADÉ, C.; KRIETER, J. (2006): Mastitis detection in dairy cows by application of fuzzy logic. *Livestock Science* 105, 207-213.
- CAVERO, D.; TÖLLE, K.-H.; HENZE, C.; BUXADÉ, C.; KRIETER, J. (2008): Mastitis detection in dairy cows by application of neural networks. *Livestock Science* 114, 280-286.
- CLEVELAND, W. S.; DEVLIN, S.J.; GROSSE, E. (1988): Regression by local fitting. *J. Econ.* 37, 87-114.
- CLEVELAND, W. S.; GROSSE, E. (1991): Computational Methods for Local Regression. *Stat. Comp.* 1, 47-62.
- COLLIER, R. J.; DAHL, G. E.; VAN BAALE, M. J. (2006): Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89, 1244-1253.
- COOK, R. D.; WEISBERG, S. (1982): *Residuals and Influence in Regression*. Chapman and Hall, New York.
- CUTULLIC, E.; DELABY, L.; CAUSEUR, D.; MICHEL, G.; DISENHAUS, C. (2009): Hierarchy of factors affecting behavioural signs used for oestrus detection of Holstein and Normande dairy cows in a seasonal calving system. *Animal Reproduction Science* 113, 22-37.
- DAY, M. L.; IMAKAWA, K.; WOLFE, P. L.; KITTOK, R. J.; KINDER, J. E. (1987): Endocrine Mechanism of Puberty in Heifers. Role of Hypothalamo-Pituitary Estradiol Receptors in the Negative Feedback of Estradiol on Luteinizing Hormone Secretion. *Biology of Reproduction* 37, 1054-1065.
- DAY, W.; AUDSLEY, E.; FROST, A. R. (2008): An engineering approach to modelling, decision support and control for sustainable systems. *Biological Sciences* 363, 527-541.
- DELYUKER, H. A., SHUMWAY, R. H., WECKER, W. E., AZARI, A. S., WEAVER, L. D. (1990): Modeling milk yield in Holstein cows using time series analysis. *Journal of Dairy Science* 73, 539-548.

- DE MOL, R. M.; KROEZE, G. H.; ACHTEN, J. M. F. H.; MAATJE, K.; ROSSING, W. (1997): Results of a multivariate approach to automated oestrus and mastitis detection. *Livest. Prod. Sci.* 48, 219-227.
- DE MOL, R. M.; KEEN, A.; KROEZE, G. H.; ACHTEN, J. M. F. H. (1999): Description of a detection model for oestrus and diseases in dairy cattle based on time series analysis combined with a Kalman filter. *Computers and Electronics in Agriculture* 22, 171-185.
- DE MOL R. M.; OUWELTJES W. (2000): Detection model for oestrus and mastitis in cows milked in an automatic milking system. In: *Automated detection of oestrus and mastitis in dairy cows* (Hrsg. De Mol 2000) 87- 116, Wageningen.
- DE MOL, R. M.; WOLDT, W. E. (2001): Application of Fuzzy Logic in Automated Cow Status Monitoring. *Journal of Dairy Science* 84, 400-410.
- DE SILVA, A. W. M. V.; ANDERSON, G. W.; GWAZDAUSKAS, F. C.; MCGILLARD, M. L.; LINEWEAVER, J. A. (1981): Interrelationships with oestrus behaviour and conception in cattle. *Journal of Dairy Science* 64, 2409-2418.
- DE VRIES, A.; CONLIN, B. J. (2003): Design and Performance of Statistical Process Control Charts Applied to Estrous Detection Efficiency. *Journal of Dairy Science* 86, 1970-1984.
- DINSMORE, R. P.; CATTELL, M. B. (1993): Field trial of a radiotelemetry estrous detections system. *Journal of Dairy Science* 76 (Suppl. 1), 227.
- DISKIN, M. G.; SREENAN, J. M. (2000): Expression and detection of oestrus in cattle. *Reproduction Nutrition Development* 40, 481-491.
- DRANSFIELD, M. B. G.; 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, 1874-1882.
- ERADUS, W. J.; ROSSING W.; HOGWERF P. H.; BENDERS E. (1992): Signal processing of activity data for oestrus detection in dairy cattle. In: Ipema, Lippus, Metz, Rossing (Eds.), *Proceedings of the International Symposium On Prospects For Automatic Milking*. EAAP Puplicaton 65, 360-369, Wageningen.
- ERADUS, W. J.; JANSEN, M. B. (1999): Animal identification and monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture* 24, 91-98.
- ESSLEMONT, R. J.; BRYANT J. J. (1976): Oestrus behaviour in a herd of dairy cows. *Vet. Rec.* 19, 472-475.
- 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, 1-17.

- FAHR, R. D. (1974): Untersuchungen zum Eintritt der Geschlechtsreife bei weiblichen Jungrindern der Rasse Deutsches Schwarzbuntes Milchrind und dessen Beziehung zu weiteren Kriterien der Reifeentwicklung. Dissertation, Karl-Marx-Universität, Leipzig.
- FARRIS, E. J. (1954): Activity of dairy cows during estrus. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 125, 117-120.
- FIRK, R.; STAMER, E.; JUNGE, W.; KRIETER, J. (2002a): Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 75, 219-232.
- FIRK, R.; STAMER, E.; JUNGE, W.; KRIETER, J. (2002b): Systematic effects on activity, milk yield, milk flow rate and electrical conductivity. *Archiv für Tierzucht* 45, 213-222.
- FIRK, R.; STAMER, E.; JUNGE, W.; KRIETER, J. (2003a): Oestrus detection in dairy cows based on serial measurements using univariate and multivariate analysis. *Archiv für Tierzucht* 46, 127-142.
- FIRK, R.; STAMER, E.; JUNGE, W.; KRIETER, J. (2003b): Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. *Livest. Prod. Sci.* 82, 97-103.
- FOOTE, R. H. (1975): Estrous detection and estrous detection aids. *Journal of Dairy Science* 58, 248-256.
- FOOTE, R. H.; OLTENACU, E. A. B.; MELLINGER, J.; SCOTT, N. R.; MARSHALL, R. A. (1979): Pregnancy rate in dairy cows inseminated on the basis of electronic probe measurements. *Journal of Dairy Science* 62, 69-73.
- FROST, A. R.; SCHOFIELD, C. P.; BEAULAH, S. A.; MOTTRAM, T. T.; LINES, J. A.; WATHES, C. M. (1997): A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 17, 139-159.
- Fuzzy Logic Toolbox User's Guide (2000): Fuzzy Logic Toolbox (Version 2) for Use with MATLAB®, User's Guide, The MathWorks, Inc., Natick.
- GALINA, C. S.; ARTHUR, G. H. (1990): Review of cattle reproduction in the tropics: Part 4. Oestrus Cycles. *Anim. Breed. Abstr.* 58, 698-707.
- GALINA, C. S.; ORIHUELA, A. (2007): The detection of estrus in cattle raised under tropical conditions: What we know and what we need to know. *Hormones and Behaviour* 52, 32-38.
- GALLIGAN, D. T.; RAMBERG, C.; CURTIS, C. (1991): Application of Portfolio Theory in Decision Tree Analysis. *Journal of Dairy Science* 74, 2138-2144.
- GALON, N. (2010): The Use of Pedometry for Estrus Detection in Dairy Cows in Israel. *Journal of Reproduction and Development* 56, 48-52.

- GANGWAR, P. C.; BRANTON, C.; EVANS, D. L. (1965): Reproductive and physiological responses of Holstein heifers to controlled and natural climatic conditions. *Journal of Dairy Science* 48, 222-227.
- GILMOUR, A. R.; GOGEL, B. J.; CULLIS, B. R.; WELHAM, S. J.; THOMPSON, R. (2006): *ASReml User Guide: Release 2.0*. UK.: VSN International Ltd, Hemel Hempstead.
- GRUNERT, E.; BERCHTOLD, M. (1999): Sexualzyklus In: Grunert E.; De Kruif, A. (Hrsg.); *Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind*, 3-12, Paul Parey, Berlin.
- 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, 1510-1514.
- GWAZDAUSKAS, F. C. (1985): Effects of Climate on Reproduction in Cattle. *Journal of Dairy Science* 68, 1568-1578.
- HACKETT, A. J.; BATRA, T. R.; MCALLISTER, A. J. (1984): Estrus Detection and Subsequent Reproduction in Dairy Cows Continuously Housed Indoors. *Journal of Dairy Science* 67, 2246-2451.
- 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, 1086-1094.
- HANSEN, P. J.; HAUSER, E. R. (1984): Photoperiodic alteration of postpartum reproductive function in suckled cows. *Theriogenology* 22, 1-14.
- HEALD, C. W.; KIM, T.; SISCHO, W. M.; COOPER, J. B.; WOLFGANG, D. R. (2000): A Computerized Mastitis Decision Aid Using Farm-Based Records: An Artificial Neural Network Approach. *Journal of Dairy Science* 83, 711-722.
- HECKMAN, G. S.; KATZ, L. S.; FOOTE, R. H.; OLTENACU, E. A. B.; SCOTT, N. R.; MARSHALL, R. A. (1979): Estrous cycle patterns in cattle monitored by electronic resistance and milk progesterone. *Journal of Dairy Science* 62, 64-68.
- HEERSCHE, G.; NEBEL, R. L. (1994): Measuring Efficiency and Accuracy of Detection of Estrus. *Journal of Dairy Science* 77, 2754-2761.
- HELMER, S. D.; BRITT, J. H. (1985): Mounting Behavior as Affected by Stage of Estrous Cycle in Holstein Heifers. *Journal of Dairy Science* 68, 1290-1296.
- HENDERSON, C. R. (1990): *Statistical Method in Animal Improvement: Historical Overview*. In: *Advances in Statistical Methods for Genetic Improvement of Livestock* 1-14, Springer-Verlag, New York.
- HOGVEEN, H.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N.; SCHREINEMAKERS, J. F.; BRAND, A. (1991): Development of an integrated Knowledge-Based System for Management Support on Dairy Farms. *Journal of Dairy Science* 74, 4377-4384.

- HOGEEVEN, H.; VARNER, M. A.; BRÉE, D. S.; DILL, D. E.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N.; BRAND, A. (1994): Knowledge Representation Methods for Dairy Decision Support Systems. *Journal of Dairy Science* 77, 3704-3715.
- HOGEEVEN, H.; KAMPHUIS, C.; SHERLOCK, R.; JAGO, J.; MEIN, G. (2009): Inline SCC monitoring improves clinical mastitis detection in an automatic milking system, In: *Precision livestock farming 2009*, 315-322.
- HÖLTL, K. (2012): Vergleichende Untersuchungen verschiedener Auswertungs-Methoden für geordnete kategoriale Merkmale bei Vorliegen räumlicher Kovarianz. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- HURLEY, W. L.; EDGERTON, L. A.; OLDS, D.; HEMKEN, R. W. (1982): Estrous Behavior and Endocrine Status of Dairy Heifers with Varied Intakes of Phosphorus. *Journal of Dairy Science* 65, 1979-1986.
- HUT, R. A.; KRONFELD-SCHOR, N.; VAN DER VINNE, V.; DE LA IGLESIA, H. (2012): In search of a temporal niche: environmental factors. *Prog Brain Res.* 199, 281-304.
- HURNIK, J. F.; KING, G. J.; ROBERTSON H. A. (1975): Estrous and related behaviour in postpartum Holstein cows. *Appl. Anim. Ethol.* 2, 55-68.
- HURVICH, C. M.; TSAI, C.-L. (1989): "Regression and Time Series Model Selection in Small Samples. *Biometrika* 76, 297-307.
- KÁLMÁN, R. E. (1960): A new approach to linear filtering and prediction problems, *Transactions of the ASME. Journal of Basic Engineering* 82, 35-45.
- KIDDY, C. A. (1977): Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 60, 235-243.
- KIDDY, C. A.; MITCHELL, D. S.; BOLT, D. J.; HAWK, H. W. (1978): Detection of estrus-related odors in cows by trained dogs. *Biol. Reprod.* 19, 389-395.
- KOELSCH, R. K.; ANESHANSLEY, D. J.; BUTLER, W. R. (1994): Analysis of activity measurements for accurate oestrus detection in dairy cattle. *Journal of Agricultural Engineering Research* 58, 107-114.
- KÖHLER, S. (2002): Nutzung von Prozessparametern automatischer Melksysteme für die Verwendung von Eutererkrankungen unter Verwendung der Fuzzy-Logik. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.
- KRIETER, J.; STAMER, E.; JUNGE, W. (2005): Oestrus dedection in dairy cows using control charts and neural networks, 56th Annual Meeting of the EAAP, Abstracts Nr. 11, Uppsala.
- LAUDERDALE, J. W. (1974): Estrous detection and synchronisation of dairy cattle in large herds. *Journal of Dairy Science* 57, 348-354.

- LACROIX, R.; HUIJBERS, J.; TIEMESSEN, R.; LEFEBVRE, D.; MARCHAND, D.; WADE, K. M. (1998): Fuzzy set-based analytical tools for dairy herd improvement. *Applied Engineering in Agriculture* 14, 79-85.
- LEHRER, A. R.; LEWIS, G. S.; AIZINBUD, E. (1992): Oestrus detection in cattle: recent developments. *Animal Reproduction Science* 28, 355-361.
- LEWIS, G. S.; NEWMAN, S. K. (1984): Changes Throughout Estrous Cycles of Variables That Might Indicate Estrus in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 67, 146-152.
- LIBERATI, P. (2003): Problems of mastitis detection in automated monitoring systems and possibilities of implementation, In: Programme book of the joint conference of ECPA – ECPLF 2003, Wageningen.
- LIBERATI, P.; ZAPPAVIGNA, P. (2009): Improving the automated monitoring of dairy cows by integrating various data acquisition systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 68, 62-67.
- LIU, X.; SPAHR, S. L. (1993): Automated Electronic Activity Measurement for Detection of Estrus in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 76, 2906-2912.
- LÓPEZ-GATIUS, F.; SANTOLARIA, P.; MUNDET, I.; YÁNIZ, J. L. (2005): Walking activity at estrus and subsequent fertility in dairy cows. *Theoriogenology* 65, 1419-1429.
- LOSAND, B.; CZERNIAWSKA-PIATKOWSKA, E.; SZEWCZUK, M.; BLUM, E.; BLASZCZYK, P. (2007): Auswirkungen der Weidehaltung tragender Jungrinder in einer auf ein Erstkalbealter von 24 Monaten ausgerichteten intensiven Aufzucht auf Körperentwicklung, Abkalbung und Milchleistung. *Archiv für Tierzucht* 50, 427-441.
- LØVENDAHL, P.; CHAGUNDA, M. G. G. (2006): Assessment of fertility in dairy cows based on electronic monitoring of their physical activity. *Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production* 18, 496-500, Belo Horizonte.
- LØVENDAHL, P.; CHAGUNDA, M. G. G. (2009): Short communication: Genetic variation in estrus activity traits. *Journal of Dairy Science* 92, 4683-4688.
- LØVENDAHL, P.; CHAGUNDA, M. G. G. (2010): On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93, 249-259.
- MARION, G. B.; SMITH, V. R.; WILEY, T. E.; BARRETT, G. R. (1950): The effect of sterile copulation on time of ovulation in dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 33, 885-889.
- MAYBECK, P. S. (1979): *Stochastic models, estimation, and control*. Academic Press 1, New York.
- MAATJE, K.; DE MOL, R. M.; ROSSING, W. (1997): Cow status monitoring (health and oestrus) using detection sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 16, 245-254.
- MCDONALD, T. J.; FOOTE, R. H.; DROST, M.; LU, L.; PATRASCU, M.; HALL, C. E. (1976): Preparation of teaser bulls and steroid-implanted steers and their effectiveness in detecting estrus. *Theriogenology* 6, 51-60.

- MENGE, A. C.; MARES, S. E.; TYLER, W. J.; CASIDA, L. E. (1962): Variation and association among postpartum reproduction and production characteristics in Holstein-Friesian cattle. *Journal of Dairy Science* 45, 233-241.
- MENZEL, W. (1962): *Menschliche Tag-Nacht-Rhythmik und Schichtarbeit*. Benno Schwabe und Co. Verlag, Basel, Stuttgart.
- MIELLENZ, N.; SPILKE, J.; KREJCOVA, H.; SCHÜLER, L. (2006): Statistical analysis of test-day yields using random regression models for the comparison of feeding groups during the lactation period. *Archives of Animal Nutrition* 60, 341-357.
- MITLÖHNER, F. M.; GALYEAN, M. L.; MCGLONE (2002): Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behaviour of heat-stresses feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 80, 2043-2050.
- MOORE, A. S.; SPAHR, S. L. (1991): Activity Monitoring and an Enzyme Immunoassay for Milk Progesterone to Aid in the Detection of Estrus. *Journal of Dairy Science* 74, 3857-3862.
- MOTTRAM, T. (1997): Automatic monitoring of the health and metabolic status of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 48, 209-217.
- MORROW, D. A. (1969): Estrous Behavior and Ovarian Activity in Prepuberal and Postpuberal Dairy Heifers. *Journal of Dairy Science* 52, 224-227.
- MORROW, D. A.; SWANSON, L. V.; HAFS, H. D. (1976): Estrous behavior and ovarian activity in peripuberal heifers. *Theoriogenology* 6, 427-435.
- MOURITS, M. C. M.; HUIRNE, R. B. M.; DIJKHUIZEN, A. A.; GALIGAN, D. T. (1999): Optimal heifer management decisions and the influence of price and production variables. *Livest. Prod. Sci.* 60, 45-58.
- NADIMI, E. S.; SØGAARD, H. T.; OUDSHOORN, F. W.; BLANES-VIDAL, V.; BAK, T. (2007): Monitoring behavior parameters based on received signal strength using wireless networks, In: *Precision livestock farming 2007*, 95-103.
- NEBEL, R. L.; BAME, J. H.; MCGILLARD, M. L.; ZAPP, L. M.; HITES, M. J.; LEE, K. W.; MIHRAN, R. T. (1992): Radiotelemetered measures of mounting activity for detection of estrus in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 75 (Suppl. 1), 242.
- NEBEL, R. L.; WALKER, W. L.; KOSEK, C. L.; PANDOLFI, S. M. (1995): Integration of an electronic pressure sensing system for the detection of estrus into daily reproductive management. *Journal of Dairy Science* 78 (Suppl. 1), 225.
- NEBEL, R. L.; DRANSFIELD, M. G.; JOBST, S. M.; BAME, J. H. (2000): Automated electronic systems for the detection of oestrus and timing of AI in cattle. *Animal Reproduction Science* 60-61, 713-723.
- NOBRE, J. S.; SINGER, J. M. (2007): Residual Analysis for Linear Mixed Models. *Biometrika* 49, 863-875.

- NORUP, L. R.; HANSEN, P. W.; INGVARTESEN, K. L.; FRIGGENS, N. C. (2001): An attempt to detect oestrus from changes in Fourier transform infrared spectra of milk from dairy heifers. *Animal Reproduction Science* 65, 43-50.
- OLDS, D.; SEATH, D. M. (1951): Repeatability of the estrous cycle length in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 34, 626-632.
- ORIHUELA, A. (2000): Some factors affecting the behavioural manifestation of oestrus in cattle: a review. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 70, 1-16.
- PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. (1971): Recovery of Inter-block Information When Block Sizes Are Unequal. *Biometrika* 58, 545-554.
- PEDERSEN, S.; PEDERSEN, C. B. (1995): Animal Activity Measured by Infrared Detectors. *Journal of Agricultural Engineering Research* 61, 239-246.
- PENNINGTON, J. A. (1986): Concurrent use of three estrous detection aids in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 69 (Suppl. 1), 92.
- PENNINGTON, J. A.; ALBRIGHT, J. L.; CALLAHAN, C. J. (1986): Relationships of Sexual Activities in Estrous Cows to Different Frequencies of Observation and Pedometer Measurements. *Journal of Dairy Science* 69, 2925-2934.
- PHILLIPS, C. J. C. (1990): Pedometric analysis of cattle locomotion. In: Murray (Ed.), *Update in Cattle Lameness. Proceedings 6th Symposium on Diseases of the Ruminant Digit.* British Cattle Veterinary Association, 163-176, Liverpool.
- PHILLIPS, C. J. C.; SCHOFIELD, S. A. (1990): The effect of environment and stage of the oestrus cycle on the behaviour of dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 27, 21-31.
- PIGGOTT, S. M.; FITKIN, D. R.; STEFFEN, A. J.; TIMMS, L. L. (1996): Evaluation of accuracy and characterization of estrus activity as monitored by an electronic pressure sensing system for estrus detection in dairy cows and heifers. *J. Anim. Sci.* 74 (Suppl 1), 70.
- PLATEN, M.; KROCKER, M.; LINDEMANN, E.; GROSS U. (1999): Einfluss des Erstkalbealters auf Fruchtbarkeit und Leistung bei Milchkühen. *Archiv für Tierzucht* 42, 417-429.
- PURSLEY, J. R.; WILTBANK, M. C.; STEVENSON, J. S.; OTTOBRE, J. S.; GARVERICK, H. A.; ANDERSON, L. L. (1997): Pregnancy Rates Per Artificial Insemination for Cows and Heifers Inseminated at a Synchronized Ovulation or Synchronized Estrus. *Journal of Dairy Science* 80, 295-300.
- RANKIN, T. A.; SMITH, W. R.; SHANKS, R. D.; LODGE, J. R. (1992): Timing of Insemination in Dairy Heifers. *Journal of Dairy Science* 75, 2840-2845.
- RAUSSI, S. (2003): Human-cattle interactions in group housing. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 80, 245-262.
- REDDEN, K. D.; KENNEDY, A. D.; INGALLS, J. R.; GILSON, T. L. (1993): Detection of Estrus by Radiotelemetric Monitoring of Vaginal and Ear Skin Temperature and Pedometer Measurements of Activity. *Journal of Dairy Science* 76, 713-721.

- 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, 963-972.
- REITH, S.; FENGELS, I.; HOY, S. (2012): Untersuchungen zur Brunsterkennung bei Kühen mit der automatisch gemessenen Wiederkauaktivität. *Züchtungskunde* 84, 281-292.
- RICHTER, R. (2011): persönliche Mitteilung.
- ROELOFS, J. B.; VAN EERDENBURG, F. J. C. M.; SOEDE, N. M.; KEMP, B. (2005): Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theoriogenology* 64, 1690-1703.
- ROELOFS, J. B.; 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. *Theoriogenology* 74, 327-344.
- RORIE, R. W.; BILBY, T. R.; LESTER, T. D. (2002): Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. *Theoriogenology* 57, 137-148.
- ROTTENSTEN, K.; TOUCHBERRY, R.W. (1957): Observations on the degree of expression of estrus in cattle. *Journal of Dairy Science* 40, 1457-1465.
- ROUNSAVILLE, T. R.; OLTENACU, P. A.; MILLIGAN, R. A.; FOOTE, R. H. (1979): Effects of heat detection, conception rate, and culling policy on reproductive performance in dairy herds. *Journal of Dairy Science* 62, 1435-1442.
- ROXSTRÖM, A.; STRANDBERG, E.; BERGLUND, B.; EMANUELSON, U.; PHILIPSSON, J. (2001): Genetics and environmental correlations among female traits, and between the ability to show oestrus and milk production in dairy cattle. *Acta Agric. Scand.* 51, 192-199.
- SACHS, L.; HEDDERICH, J. (2009): *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R* (13. Auflage). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- 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* 58, 819-828.
- SALEHI, F.; LACROIX, R.; WADE, K. M. (2000): Development of neuro-fuzzifiers for qualitative analysis of milk yield. *Computers and Electronics in Agriculture* 28, 171-186.
- SAMBRAUS, H. H. (1971): Zum Liegeverhalten der Wiederkäuer. *Züchtungskunde* 43, 187-198.
- SAMBRAUS, H. H. (1978): *Nutztierethologie*. Paul Parey, Berlin, Hamburg.
- SAS (2009): SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

- SAWYER, G. J.; RUSSEL-BROWN, I. D.; SILCOCK, J. K. (1986): A comparison of three methods of oestrous detection in commercial dairy herds verified by serum progesterone analysis. *Animal Reproduction Science* 10, 1-10.
- SCHILLING, E.; ZUST, J. (1968): Diagnosis of oestrus and ovulation in cows by pH measurements intra vaginam and by apparent viscosity of vaginal mucus. *J. Reprod. Fertil.* 15, 307-311.
- 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, 263-279.
- SCHNURRBUSCH, U.; VOGLER B. (2005): *Gynäkologie für Veterinärmediziner (Teil 1)*. Verlag Wissenschaftlicher Schriften, Zwickau.
- SCHÖN, P. C.; HÄMEL, K.; PUPPE, B.; TUCHSCHERER, A.; KANITZ, W.; MANTEUFFEL, G. (2006): Untersuchungen zur Veränderung der Vokalisationshäufigkeit während der Brunst beim Milchrind. *Züchtungskunde* 78, 336-344.
- SCHOFIELD, S. A.; PHILLIPS, C. J. 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, 231-248.
- SCHWARZ, G. (1978): Estimating the Dimension of a Model. *Annals of Statistics* 6, 461–464.
- SEARLE, S. R.; CASELLA, G.; MCCULLOCH, C. E. (1992): *Variance Components*. John Wiley & Sons, New York.
- SENGER, P. L. (1994): The estrus detection problem. New concepts, technologies, and possibilities. *Journal of Dairy Science* 77, 2745-2753.
- SHORT, R. E.; BELLOWS, R. E. (1971): Relationship among weight gains, age at puberty and reproductive performance in heifers. *J. Anim. Sci.* 32, 127-131.
- SINZ, R.; SCHEIBE, K. (1976): Systemanalyse der multioszillatorischen Funktionsordnung im zirkadianen und ultradianen Frequenzbereich und ihr Indikationswert für Belastungswirkungen, dargestellt am Beispiel verschiedener Licht-Dunkel-Verhältnisse bei der Intensivhaltung von Schafen. *Acta biol. med. Germ.* 35, 465-477.
- SPAHR, S. L. (1993): New Technologies and Decision Making in High Producing Herds. *Journal of Dairy Science* 76, 3269-3277.
- SPIPKE, J.; BÜSCHER, W.; DOLUSCHITZ, R.; FAHR, R. D.; LEHNER, W. (2003): Precision Dairy Farming – integrativer Ansatz für eine nachhaltige Milcherzeugung. *Zeitschrift für Agrarinformatik* 2, 19-25.
- SPIPKE, J.; MIELENZ, N.; KRAUSE, S.; SCHÜLER, L. (2009): Statistical modeling for growth data in linear mixed models - Implications derived from an example of a population comparison of Golden Hamsters. *Archiv für Tierzucht* 52, 85-100.

- STEINHARDT, M.; THIELSCHER, H. (2002): Herzfrequenz, Aktivitäts- und Ruhezeiten sowie Wachstumsleistung von in Gruppen mit Tränkeautomatenfütterung gehaltenen Milchrindkälbern während der Aufzucht im Winter und Frühjahr. *Archiv für Tierzucht*, 45, 359-373.
- STEINHÖFEL, I. (2007): Elektronikeinsatz in der Jungrinderhaltung. In: *Precision Dairy Farming – Elektronikeinsatz in der Milchviehhaltung*. Hrsg: KTBL Band 457, 29-35, Darmstadt.
- STENVERS, D. J.; JONKERS, C. F.; FLIERS, E.; BISSCHOP, P. H. L. T.; KALSBECK, A. (2012): Nutrition and the circadian timing system. *Prog Brain Res.* 199, 359-376.
- STEVENSON, J. S.; BRITT, J. H. (1977): Detection of estrus by three methods. *Journal of Dairy Science* 60, 1994-1998.
- 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. *J. Anim. Sci.* 74, 729-735.
- STUMPENHAUSEN, J. (2001): Tieraktivitätsmessung mit Pedometern zur Verbesserung des Gesundheits- und Fruchtbarkeitsmanagements in Milchviehherden. In: *Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Beiträge zur 5. Internationalen Tagung in Hohenheim*. Hrsg: Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, 272-276.
- THAMM, K. (2012): Auswertung von Zählzeiten mit wiederholten Beobachtungen pro Objekt – dargestellt an Beispielen aus dem landwirtschaftlichen Versuchswesen. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- TOBER, O. (2009): Untersuchungen zur Periodizität der lokomotorischen Aktivität von Milchkühen. In: *Proceedings: 9. Tagung Bau Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung*, Berlin.
- UNAL, M. B.; CRACKEL, W. C.; WHITMORE, H. L. (1986): Detection of estrus in cattle housed in stanchions by constant human observation of behavioral traits. *Theoriogenology* 25, 303-308.
- VAARST, M.; PAARUP-LAURSEN, B.; HOUE, H.; FOSSING, C.; ANDERSEN, H. J. (2002): Farmers' Choice of Medical Treatment of Mastitis in Danish Dairy Herds Based on Qualitative Research Interviews. *Journal of Dairy Science* 85, 992-1001.
- VAN AMBURGH, M. E.; GALTON, D. M.; BAUMAN, D. E.; EVERETT, R. W.; FOX, D. G.; CHASE, L. E.; ERB, H. N. (1998): Effects of Three Prepubertal Body Growth Rates on Performance of Holstein Heifers During First Lactation. *Journal of Dairy Science* 81, 527-538.
- VAN ASSELDONK, M. A. P. M.; HUIRNE, R. B. M.; DIJKHUIZEN, A. A. (1998): Quantifying characteristics of information-technology applications based on expert knowledge for detection of oestrus and mastitis in dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine* 36, 273-286.

- VAN BEBBER, A.; REINSCH, N.; JUNGE, W.; KALM, E. (1999): Monitoring Daily Milk Yields with a Recursive Test Day Repeatability Model (Kalman Filter). *Journal of Dairy Science* 82, 2421-2429.
- VAN EERDENBURG, F. J. C. M.; LOEFFLER, H. S. H.; VAN VLIET, J. H. (1996): Detection of oestrus in dairy cows: a new approach to an old problem. *Vet Q.* 18, 52-54.
- VAN VLIET, J. H.; VAN EERDENBURG, F. J. C. M. (1996): Sexual activities and oestrus detection in lactating Holstein cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 50, 57-69.
- WALKER, S. L.; SMITH, R. F.; ROUTLY, J. E.; JONES, D. N.; MORRIS, M. J.; DOBSON, H. (2008): Lameness, Activity Time-Budgets, and Estrus Expression in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 91, 4552-4559.
- 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, 1555-1561.
- WANGLER, A.; MEYER, A.; REHBOCK, F.; SANFTLEBEN, P. (2005): Wie effizient ist die Aktivitätsmessung als ein Hilfsmittel in der Brunsterkennung bei Milchrindern? *Züchtungskunde* 77, 110-127.
- WENSCH-DORENDORF, M.; ROSNER, F. (2012): persönliche Mitteilung.
- WERNER, G. M.; CASIDA, L. E.; RUPEL, I. W. (1938): Estrous, Ovulation and Artificial Insemination in Cattle. *Am. Soc. Anim. Prod. Proc.* 31, 54-57.
- WILLIAMS, W. F.; YVER, D. R.; GROSS, T. S. (1981): Comparison of Estrus Detection Techniques in Dairy Heifers. *Journal of Dairy Science* 64, 1738-1741.
- WILLIAMSON, N. B.; MORRIS, R. S.; BLOOD, D. C.; CANNON, C. M. (1972): A study of oestrus detection methods in a large commercial dairy herd. I. The relative efficiency of methods of oestrus detection. *Vet. Rec.* 91, 50-58.
- WRENN, T. R.; BITMAN, J.; SYKES, J. F. (1958): Body temperature variations in dairy cattle during the estrous cycle and pregnancy. *Journal of Dairy Science* 41, 1071-1076.
- 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, 2890-2896.
- YANG, Y. (1998): Rechnergestützte Östrusüberwachung bei Milchkühen unter Anwendung der Fuzzy-Logic-Methode, Dissertation, Technische Universität München.
- ZIMMERMANN, H.-J. (1993): Prinzipien der Fuzzy Logic. *Spektrum der Wissenschaft* 1993, 90-94.

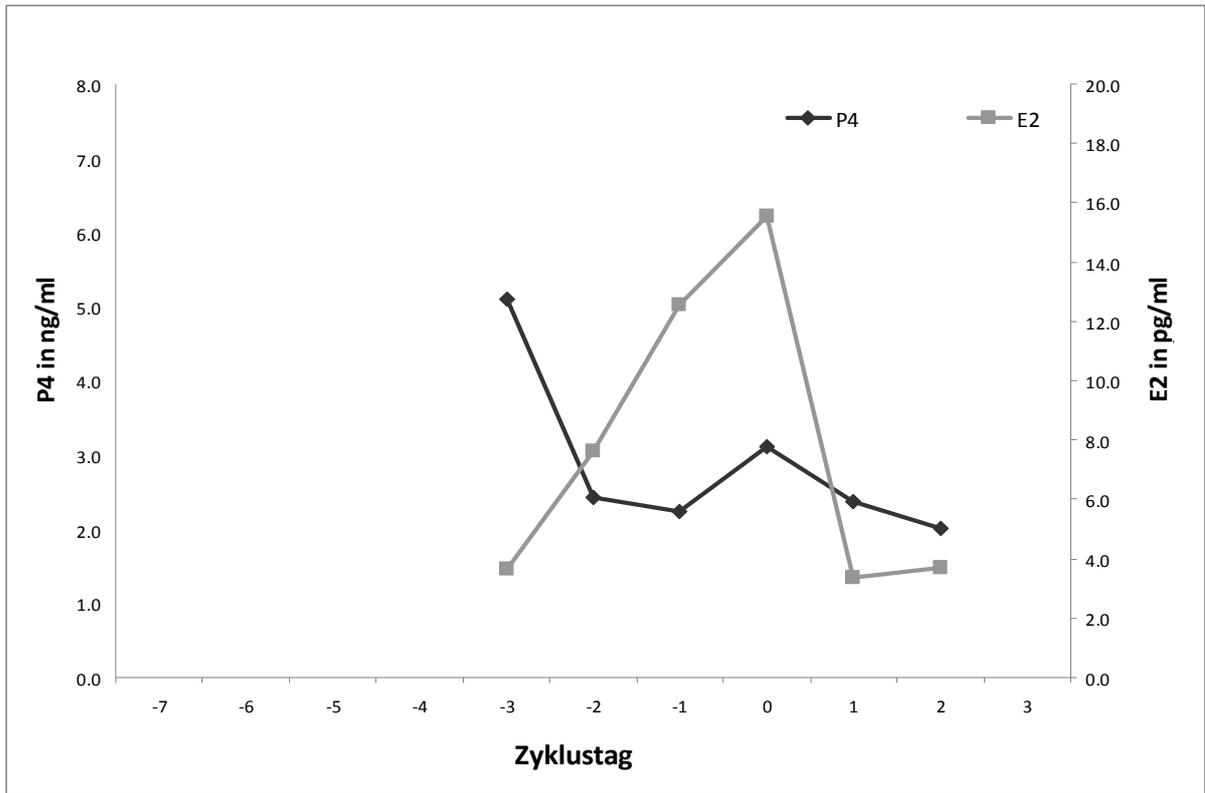


Abbildung 22: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17β (E2) für Tier A

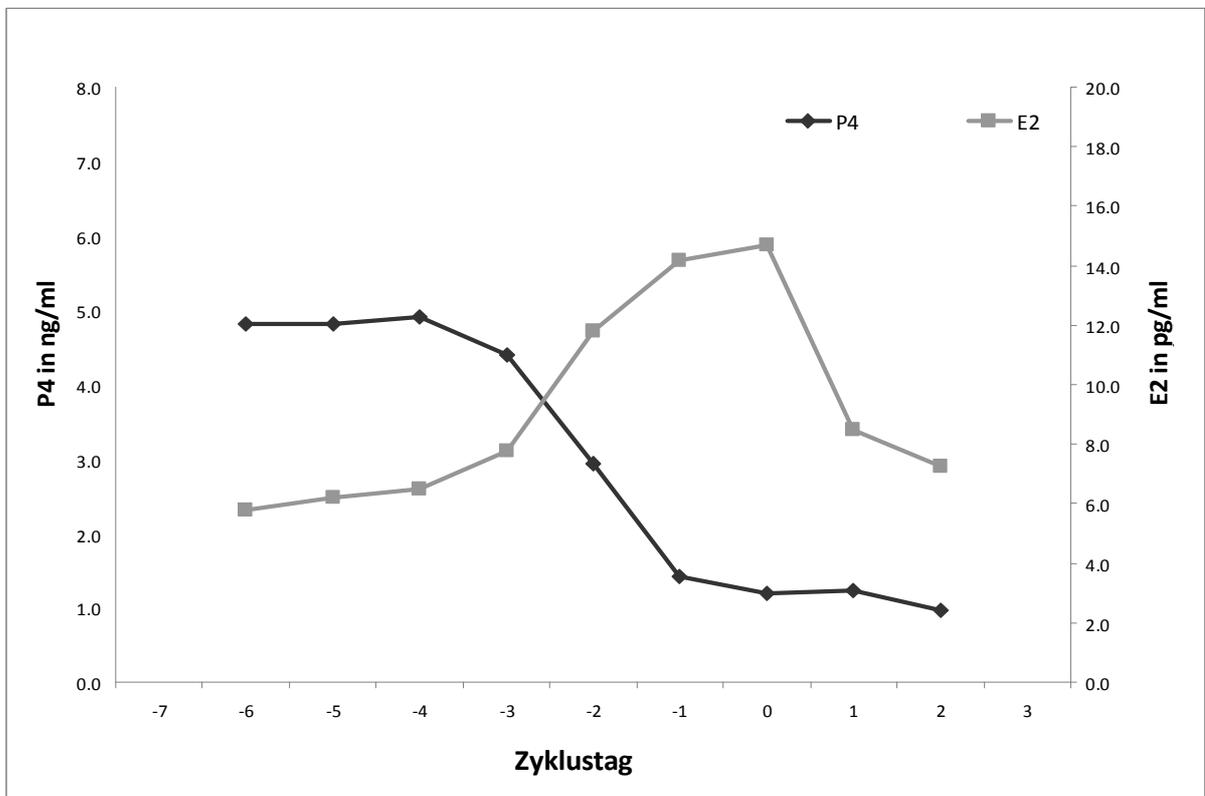


Abbildung 23: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17β (E2) für Tier B

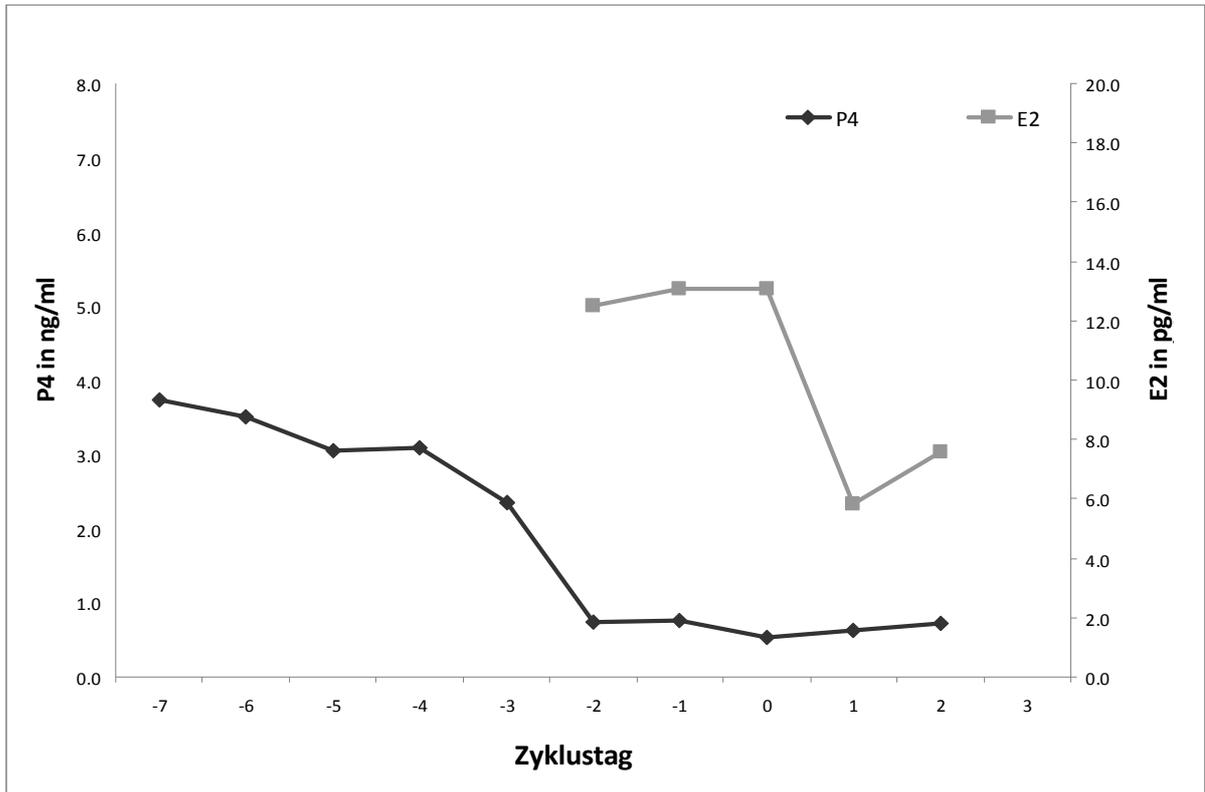


Abbildung 24: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für Tier C

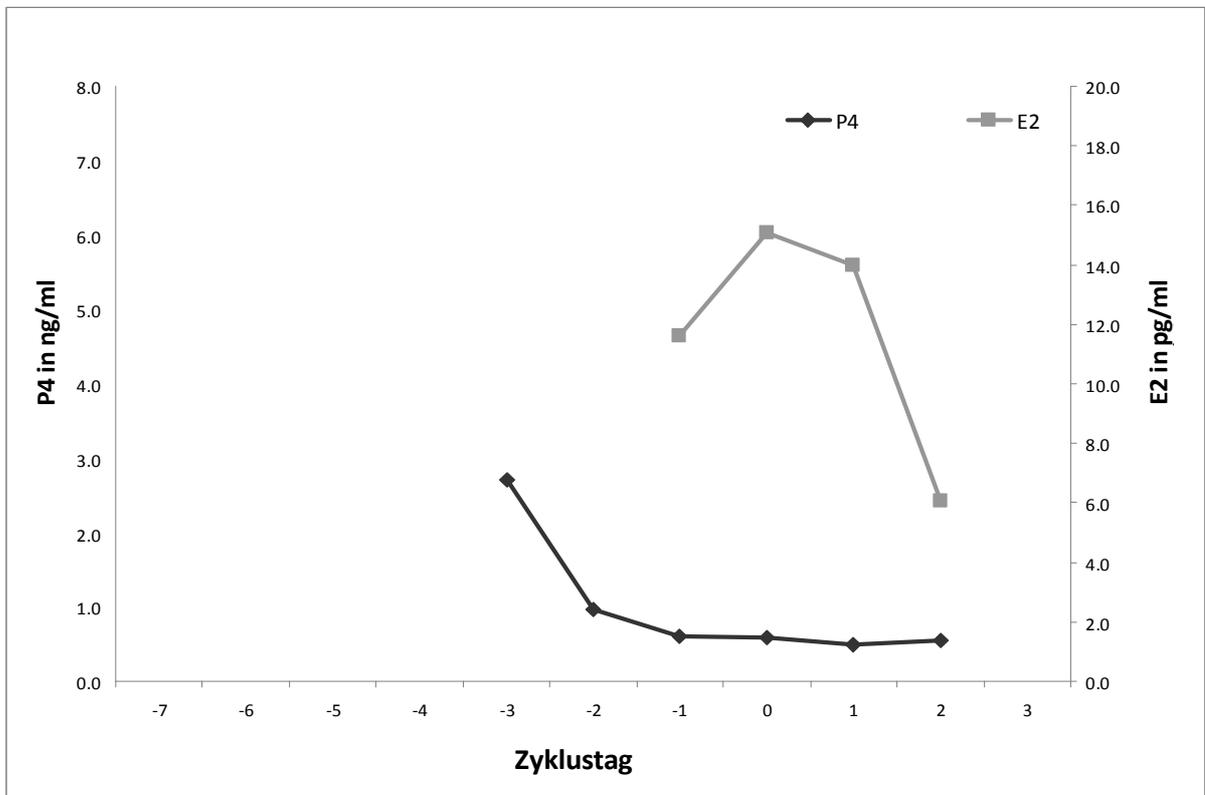


Abbildung 25: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17 β (E2) für Tier D

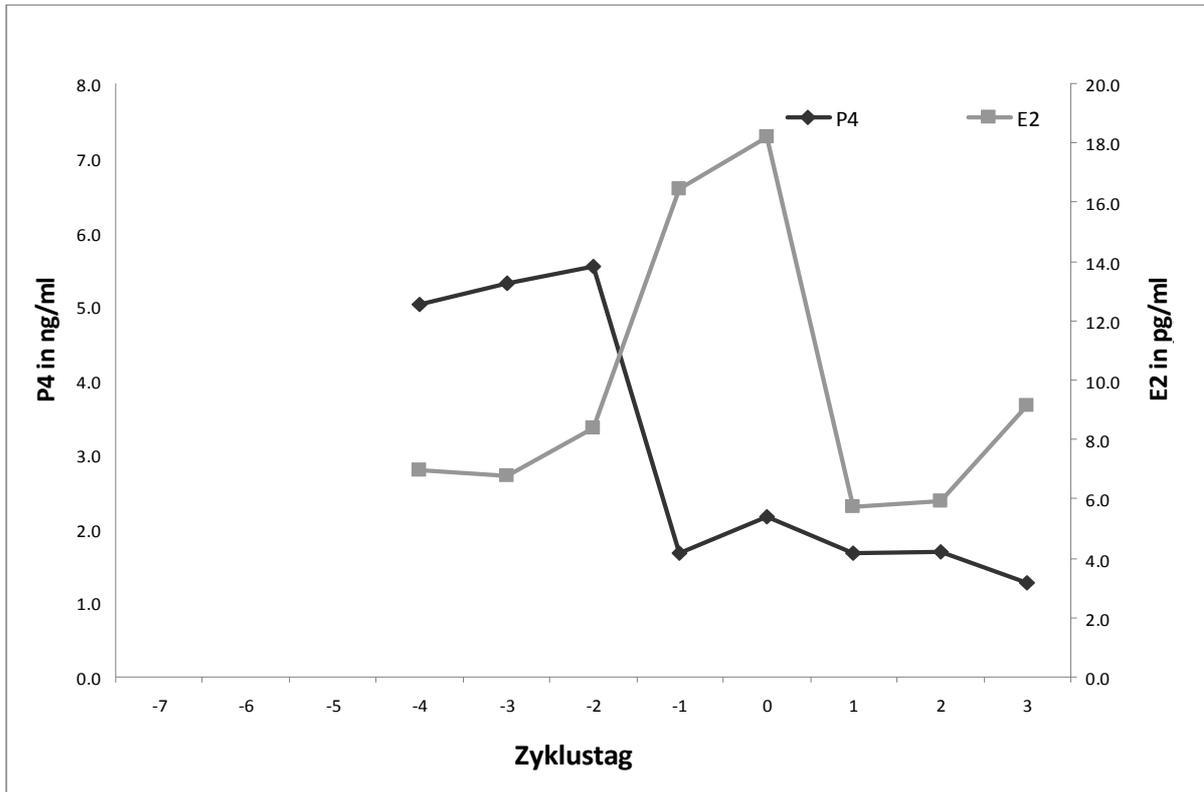


Abbildung 26: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17β (E2) für Tier E

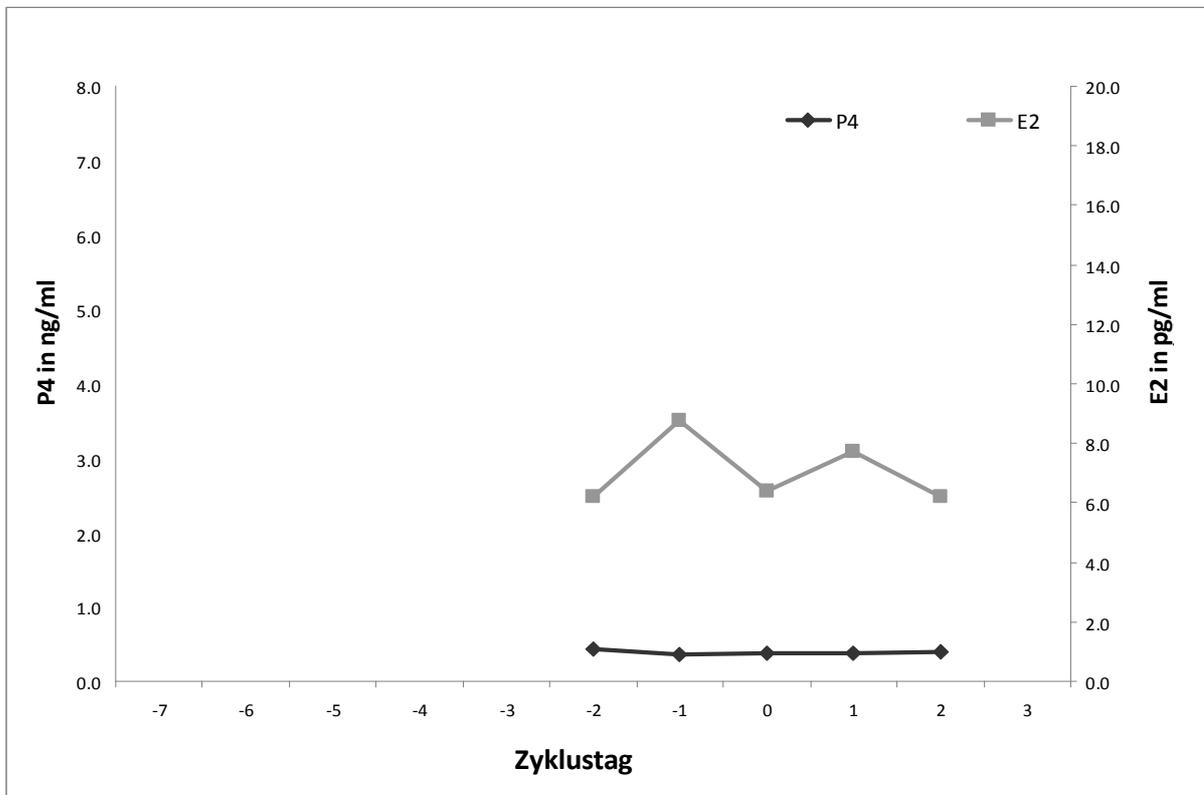


Abbildung 27: Verlauf der Hormone Progesteron (P4) und Estradiol-17β (E2) für Tier F

Erklärung an Eides statt

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Es wurden keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Hiermit erkläre ich, dass ich noch keine vergeblichen Promotionsversuche unternommen habe und die vorliegende Dissertation nicht in der gegenwärtigen bzw. in einer anderen Fassung bereits einer anderen Fakultät / anderen Einrichtung vorgelegt habe.

Halle/Saale, Februar 2013

Simon Harnisch

Wissenschaftlicher Werdegang

10/2005 – 11/2009	Studium der Agrarwirtschaft an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden Diplomarbeit: „Untersuchungen zu den Beziehungen zwischen Zuchtwerten für funktionale Nutzungsdauer von Besamungsbullen der Rasse HF und den tatsächlichen Verbleiberaten ihrer Töchter“
11/2009	Abschluss: Diplomingenieur (FH) Abschlussnote: 1,3
12/2009 – 12/2012	Wissenschaftlicher Mitarbeiter der AG Biometrie und Agrarinformatik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Danksagung

Mein Dank gilt allen Menschen, die mich persönlich und fachlich auf dem Weg der Erstellung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Mein besonderer Dank geht an Prof. Dr. Joachim Spilke für das in mich gesetzte Vertrauen, die wertvolle Unterstützung bei zu lösenden Aufgabenstellungen, die vielen fachlich konstruktiven Diskussionen und vor allem die Geduld mit mir.

Mein Dank richtet sich weiterhin an die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Biometrie und Agrarinformatik, insbesondere Frau Reinhold, Frau Häßler, Frau Braunsdorff und Dr. Mielenz für das angenehme Arbeitsklima und die fachliche Unterstützung.

Zu danken habe ich ebenfalls Frau Dr. Wensch-Dorendorf und Dr. Rosner aus der Professur für Tierzucht der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die Analysen bei Nutzung des Programmes ASReml.

Ein Dankeschön gilt weiterhin den Mitarbeitern der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft sowie der Agrargenossenschaft Berndten, besonders Dr. Gernand und Herrn Börner. Die Erfassung der Daten im Betrieb sowie deren Aufbereitung waren die Grundlage der vorliegenden Arbeit.

Nicht zuletzt danken möchte ich meinen Eltern, meiner Familie und meinen Freunden. Sie alle gaben mir die notwendige Kraft und Motivation.

