

Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen

Schriftenreihe, Heft 36/2011



Erarbeitung von Managementhilfen zur Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen und Eutererkrankungen beim Milchrind

Projektteil Fruchtbarkeitsstörungen:
Silke Krostitz, Ulrike Niebling, Dr. Ralf Fischer, Dr. Ilka Steinhöfel

Projektteil Eutererkrankungen:
Simone Walther, Hartmut Berger
Dr. Steffen Pache, Dr. Evelin Ullrich

1	Einleitung	11
2	Literatur	11
2.1	Fruchtbarkeit beim Milchrind	11
2.1.1	Fruchtbarkeitskennzahlen	12
2.1.2	Wirtschaftliche Bedeutung der Fruchtbarkeit	12
2.1.3	Fruchtbarkeitssituation in Milchviehbeständen Sachsens	13
2.1.4	Fruchtbarkeitsstörungen und ihre Ursachen – Störungen im Zyklusgeschehen	14
2.1.5	Weitere Ursachen für Fruchtbarkeitsstörungen – Indirekte Einflussfaktoren	17
2.1.6	Einzel-tierbezogene Daten als Informationsquelle für Fruchtbarkeitsstörungen	20
2.2	Eutergesundheit beim Milchrind	27
2.2.1	Milchabgabe und Milchfluss	27
2.2.2	Eutergesundheit	28
2.2.2.1	Mastitis	28
2.2.2.1.1	Ätiologie und Pathogenese	30
2.2.2.1.2	Schutz und Abwehrmechanismen	31
2.2.2.2	Mastitiserreger	32
2.2.2.2.1	Major Pathogens	32
2.2.2.2.1.1	Euterassoziierte Mastitiserreger	32
2.2.2.2.1.2	Umweltassoziierte Mastitiserreger	32
2.2.2.2.2	Minor Pathogens	34
2.2.2.2.2.1	Seltene Mastitiserreger	34
2.2.2.3	Überwachung der Eutergesundheit	35
2.2.2.3.1	Bakteriologische Untersuchung	35
2.2.2.3.2	Somatischer Zellgehalt	36
2.2.2.3.3	Differentialzellbild	38
2.2.2.3.4	Laktose	39
2.2.2.3.5	Elektrische Leitfähigkeit	39
2.2.2.3.6	Weitere Parameter	40
2.3	Einzel-tierbezogene Daten zur Nutzung als Vorhersageparameter	41
2.3.1	Datenverarbeitung mit Hilfe von Fuzzy Logic	41
2.3.2	Monitoringsysteme im außerlandwirtschaftlichen Sektor	43
2.3.3	Monitoringsysteme zur Überwachung der Fruchtbarkeit	44
2.3.4	Monitoringsysteme zur Überwachung der Eutergesundheit	46
2.3.5	Die Internetplattform „fitness monitoring“	47
3	Material und Methode	49
3.1	Datenherkunft und Datenstruktur	49
3.1.1	Projektteil Fruchtbarkeit	49
3.1.1.1	Übersicht zum Datenmaterial	51
3.1.1.2	Weiterer Testdatensatz	55
3.1.1.3	Definition des Zielmerkmals - Zwischentragezeit	55
3.1.1.4	Modellentwicklung	56
3.1.2	Projektteil Eutergesundheit	56
3.1.2.1	Übersicht zum Datenmaterial	58
3.1.2.2	Definition des Zielmerkmals – Mastitisrisiko	59
3.1.2.3	Modellentwicklung	63
3.1.3	Statistik	63
4	Ergebnisse	64
4.1	Projektteil Fruchtbarkeit	64
4.1.1	Datengrundlage	64

4.1.2	Entwicklung der Algorithmen zur Erkennung von Fruchtbarkeitsstörungen	65
4.1.2.1	Analyse der Parameter zur Nutzung als linguistische Variable	66
4.1.2.2	Zugehörigkeitsfunktionen und Algorithmen zur Früherkennung	72
4.1.3	Modellüberprüfung und Ergebnisse	74
4.1.3.1	Modell 1 - Grundmodell	74
4.1.3.2	Modell 2 – Trennung von Färsen und Kühen	76
4.1.3.3	Modell 3 – Variation der Inferenz	77
4.1.3.4	Modell 4 – Variation der Inferenz im Modell Zwischentragezeit	78
4.1.3.5	Modell 5 – Überprüfung des besten Modells mit unvollständigen Datensätzen	79
4.1.3.6	Modell 6 – Testen einer leistungsabhängigen Zwischentragezeit	80
4.1.3.7	Modell 7 – Testen eines weiteren Datensatzes – Grundmodell 1	81
4.1.3.8	Modell 8 – Vereinfachtes Modell	82
4.2	Projektteil Eutergesundheit	84
4.2.1	Datengrundlage	84
4.2.1.1	Somatischer Zellgehalt	91
4.2.1.2	Bakteriologische Untersuchung	93
4.2.2	Datenanalyse	94
4.2.2.1	Melkprozessdaten	94
4.2.2.2	Milchproben	97
4.2.2.2.1	Bakteriologische Untersuchung	97
4.2.2.2.2	Milchinhaltstoffe	99
4.2.2.3	Klinische Mastitis	100
4.2.2.4	Beziehung zwischen Parametern der Eutergesundheit	100
4.2.2.5	Beziehung zwischen Melkprozessdaten und Eutergesundheit	101
4.2.3	Entwicklung von Fuzzy Logic Modellen	104
4.2.3.1	Rahmenbedingungen	104
4.2.3.2	Modellierung mit Fuzzy Logic	105
4.2.3.3	Referenzgrößen im Vergleich	111
4.2.3.4	Defuzzifizierungsmethoden im Vergleich	113
5	Diskussion	114
5.1	Projektteil Fruchtbarkeit	114
5.2	Projektteil Eutergesundheit	115
6	Zusammenfassung	117
6.1	Projektteil Fruchtbarkeit	118
6.2	Projektteil Eutergesundheit	120
6.3	Credo	120
7	Literatur	121
8	Anhang	126

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einflussfaktoren auf die Fruchtbarkeit	18
Abbildung 2:	Einfluss verschiedener Erkrankungen auf die Gützeit im Vergleich zu gesunden Kühen (Quelle: modifiziert nach Rossow 2003a)	19
Abbildung 3:	Rückenfettdicke (RFD) und Eiweißgehalt (Quelle: Staufenbiel 2008)	21
Abbildung 4:	Milchfettgehalt zur Nutzung der Herdenüberwachung (Quelle: Staufenbiel 2008)	21
Abbildung 5:	9-Felder-Grafik (Quelle: Zuchtmanager DSP AGROSOFT 2008)	23
Abbildung 6:	BCS Bonitur (Quelle: Kalayci, 2001)	24
Abbildung 7:	Zwischentragezeit bei unterschiedlichem BCS-Verlust (Quelle: Trilk & Reichl 2006)	25
Abbildung 8:	Position des Aktivitätssensors am Halsband (Quelle: DeLaval 2008)	26
Abbildung 9:	Beispiel für Zugehörigkeitsfunktionen (Quelle: erstellt mit Matlab)	42
Abbildung 10:	Flächenschwerpunktmethode (Quelle: http://reinarz.org/dirk/fuzzykugel/fuzzy.html)	43
Abbildung 11:	Fuzzy-System (Quelle: http://reinarz.org/dirk/fuzzykugel/fuzzy.html)	43
Abbildung 12:	fitness monitoring-basis - Darstellungen zur Eutergesundheit in Ebene 1	48
Abbildung 13:	fitness monitoring-basis - Darstellungen zur Eutergesundheit in Ebene 2	48
Abbildung 14:	fitness monitoring-basis - Darstellungen zur Eutergesundheit in Ebene 3	48
Abbildung 15:	Verteilung der Kalbungen nach Laktationen (n = 1270)	51
Abbildung 16:	Abgangsursachen in den Jahren 2007 (n=96), 2008 (n=101) und 2009 (n=73)	52
Abbildung 17:	Fruchtbarkeitskennzahlen 2007, 2008 und 2009	52
Abbildung 18:	Kalbeverlauf im Analysezeitraum	53
Abbildung 19:	Kalbeverlauf der Jahre 2005 - 2009	54
Abbildung 20:	Anteil erkrankter Tiere gegenüber allen Tieren in Laktation für 2007 bis 2009	54
Abbildung 21:	Prozentuale Verteilung der Arten von Fruchtbarkeitsstörungen für 2007 bis 2009	55
Abbildung 22:	Benutzeroberfläche Fuzzy Logic Toolbox (Quelle: Fuzzy Logic Toolbox User'S Guide 2008)	56
Abbildung 23:	Häufigkeitsverteilung M-kg	66
Abbildung 24:	Häufigkeitsverteilung FEQ	66
Abbildung 25:	Häufigkeitsverteilung ZZ	67
Abbildung 26:	Häufigkeitsverteilung Laktose	67
Abbildung 27:	Häufigkeitsverteilung E%	67
Abbildung 28:	Häufigkeitsverteilung Harnstoff	67
Abbildung 29:	Häufigkeitsverteilung Kalbeverlauf	68
Abbildung 30:	Häufigkeitsverteilung Kalbeverlauf ab 2005	68
Abbildung 31:	Häufigkeitsverteilung Endometritis	68
Abbildung 32:	Häufigkeitsverteilung Prostaglandin	68
Abbildung 33:	Häufigkeitsverteilung BCSKalbung	69
Abbildung 34:	Häufigkeitsverteilung RFDKalbung	69
Abbildung 35:	Häufigkeitsverteilung RFDDynamik	69
Abbildung 36:	Einfluss Erkrankungskategorien auf ZTZ	70
Abbildung 37:	Häufigkeitsverteilung Krankheitslevel	70
Abbildung 38:	Aktivitätsverlauf Kuh-Nr. 3 – Zwischentragezeit 72 Tage	71
Abbildung 39:	Aktivitätsverlauf Kuh-Nr. 134 – Zwischentragezeit 147 Tage	71
Abbildung 40:	Häufigkeitsverteilung ZKZ	72
Abbildung 41:	Häufigkeitsverteilung EKA	72
Abbildung 42:	Daten des Melkprozessor und Eingangsvariablen	84
Abbildung 43:	Beispiel zur Plausibilitätsprüfung Stufe 2 - Stallnr. 6	89
Abbildung 44:	Beispiel zur Plausibilitätsprüfung Stufe 2 - Stallnr. 71	89
Abbildung 45:	Verlauf und Bewertung der Zellzahl (Stallnr. 9)	92
Abbildung 46:	Verlauf und Bewertung der korrigierten Zellzahl (Stallnr. 9)	92
Abbildung 47:	Beispiel zur Korrektur der Zellzahl - Stallnr. 93	93
Abbildung 48:	Beispiel zur Korrektur der Zellzahl - Stallnr. 144	93

Abbildung 49:	Verlauf Mkg, ZMZ-M, DMG und MBR des Morgengemelkes eines Tieres ohne Auffälligkeiten - Stallnr. 34	96
Abbildung 50:	Verlauf Mkg, ZMZ-M, DMG und MBR des Morgengemelkes eines Tieres vor einer klinischen Mastitis - Stallnr. 57	96
Abbildung 51:	Verteilung der BU-Befunde - gesamt	97
Abbildung 52:	Verteilung der BU-Befunde - Familien mastitisrelevanter Erreger	98
Abbildung 53:	Anteil BU-negativ u. Sonstige/BF nach Probenahme – Probenehmer A	99
Abbildung 54:	Anteil BU-negativ u. Sonstige/BF nach Probenahme – Probenehmer B	99
Abbildung 55:	Verteilungsdiagramm SCS vom 7. bis 130. Laktationstag (n = 3.243)	99
Abbildung 56:	Verteilungsdiagramm Laktose (%) vom 7. bis 130. Laktationstag (n = 3.243)	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Fruchtbarkeitskennzahlen beim Rind	12
Tabelle 2:	Leistungsdifferenzierte optimale Zwischentragezeiten (Quelle: Jancke, 2002)	13
Tabelle 3:	Entwicklung der Fruchtbarkeitskennzahlen in Sachsen (Quelle: Sächsischer Rinderzuchtverband 2006, Sächsischer Tierzuchtreport 2009)	14
Tabelle 4:	Fruchtbarkeitskennzahlen gesunder und subklinisch erkrankter Tiere bei verschiedenen Autoren (Quelle: Lincke 2007)	15
Tabelle 5:	Mittlere Fruchtbarkeitskennzahlen von Kühen mit und ohne Ovarialzysten (Quelle: modifiziert nach Prasse 2007)	16
Tabelle 6:	Problembereiche in 238 Betrieben in den Jahren 1995 bis 1999 (Quelle: Bonsels & Weiß in Rossow 2003b)	17
Tabelle 7:	Risikofaktoren ausgewählter Erkrankungen bei Vorliegen einer subklinischen Ketose (Quelle: Herziger 2005)	22
Tabelle 8:	Einteilung von BCS und RFD (Quelle: Staufenbiel, 2008)	24
Tabelle 9:	Heritabilitäten (Diagonale), genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonale) und phänotypische Korrelationen (unterhalb der Diagonale) für Rastzeit, Serviceperiode (Service), Milch-kg, Harnstoffgehalt (Harnstoff), Fett:Eiweiß-Verhältnis (F:E) und Laktosegehalt (Laktose) (Quelle: Sölkner et al. 2008)	25
Tabelle 10:	Gemelksdaten in Abhängigkeit der Melkzeit (nach Tančin et al. 2006)	28
Tabelle 11:	Mastitis-Diagnostik anhand zytologisch-mikrobiologischer Befunde* (DVG 2002, in Anlehnung an IDF 1967)	28
Tabelle 12:	Kriterien und Zielwerte zur Beurteilung des Eutergesundheitsstatus	30
Tabelle 13:	Auftreten von Mastitiden nach verschiedenen Autoren	31
Tabelle 14:	Reservoir von Mastitiserregern (Krömker 2007)	33
Tabelle 15:	Beurteilung der Zellzahl der Herdensammelmilch nach verschiedenen Autoren	37
Tabelle 16:	Beurteilung der Zellzahl des Einzeltiers nach verschiedenen Autoren	37
Tabelle 17:	Milchdifferentialzellbild eutergesunder Tiere nach verschiedenen Autoren	38
Tabelle 18:	Ergebnisse der Untersuchungen von Reksen et al. (2002)	45
Tabelle 19:	Datenmaterial zur Verwendung in den Modellen	50
Tabelle 20:	BCS-/RFD-Bestimmung	51
Tabelle 21:	Datenerfassung – Daten und deren Funktion	57
Tabelle 22:	Verteilung der Prüftiere nach Laktationsnummer	58
Tabelle 23:	Bestimmungsgrundlage für die Referenzgröße R1 – Risikogruppe	60
Tabelle 24:	Verteilung der Risikogruppen nach Laktationsnummer	61
Tabelle 25:	Bestimmungsgrundlage für die Referenzgröße R2 – Eutergesundheitsindex	62
Tabelle 26:	Mittelwert und Standardabweichungen für die verwendeten Parameter	64
Tabelle 27:	Linguistischen Variablen und Terme im Vormodell Erkrankungsrisiko	72
Tabelle 28 :	Linguistische Variablen und Terme im Vormodell Energieversorgung	72
Tabelle 29:	Linguistische Variablen und Terme im Vormodell Eutergesundheit	73
Tabelle 30:	Linguistische Variablen und Terme im Modell Gefahr subklinischer Erkrankungen	73
Tabelle 31:	Linguistische Variablen und Terme im Modell Stoffwechselsituation	73
Tabelle 32:	Linguistische Variablen und Terme im Modell Besamungserfolg	73
Tabelle 33:	Linguistische Variablen und Terme im Modell Zwischentragezeit	74
Tabelle 34:	Ergebnisse zu Modell 1	75
Tabelle 35:	Ergebnisse zu Modell 2	76
Tabelle 36:	Ergebnisse zu Modell 3	78
Tabelle 37:	Ergebnisse zu Modell 4	79
Tabelle 38:	Ergebnisse zu Modell 5	80
Tabelle 39:	Ergebnisse zu Modell 6	81
Tabelle 40:	Ergebnisse zu Modell 7	82
Tabelle 41:	Ergebnisse zu Modell 8	83
Tabelle 42:	Melkdaten vor der Plausibilitätsprüfung – Auszug	86
Tabelle 43:	Datensatz (Melkdaten) nach der Plausibilitätsprüfung – Stufe 1 und 2	87
Tabelle 44:	Melkdaten nach der Plausibilitätsprüfung (Stufe 1) – Auszug	88

Tabelle 45:	Melkdaten nach der Plausibilitätsprüfung (Stufe 2)	90
Tabelle 46:	Melkdaten in Abhängigkeit der Laktationsnummer – Morgengemelk	94
Tabelle 47:	Melkdaten in Abhängigkeit der Laktationsnummer – Abendemelk	95
Tabelle 48:	Struktur der BU-Befunde nach Probenehmer	98
Tabelle 49:	Rangkorrelationen (nach Spearman) zwischen Laktationsnummer und Milchinhaltsstoffen	100
Tabelle 50:	Auftreten von Mastitiden nach Laktationsnummer	100
Tabelle 51:	Zellgehalt in Abhängigkeit von Pathogenität und Intensität der nachgewiesenen Erreger	101
Tabelle 52:	Melkdaten in Abhängigkeit der Zellzahl – Morgengemelk	102
Tabelle 53:	Melkdaten in Abhängigkeit der Zellzahl - Morgengemelk (Tagesdatensätze)	103
Tabelle 54:	Melkdaten nach Laktationsnummer in Abhängigkeit der Zellzahl - Morgengemelk (Tagesdatensätze)	103
Tabelle 55:	Übersicht zu den Eingangs- und Ausgangsvariablen der Fuzzy Logic Modelle	105
Tabelle 56:	Linguistische Variable und die entsprechenden Zugehörigkeitsfunktionen für Modell E9-R1	106
Tabelle 57:	Regelgerüst für Modell E9-R1	107
Tabelle 58:	Ergebnisse zu Modell A (R1)	108
Tabelle 59:	Ergebnisse zu Modell B (R1)	108
Tabelle 60:	Ergebnisse zu Modell C (R1)	108
Tabelle 61:	Ergebnisse zu Modell D (R1)	109
Tabelle 62:	Ergebnisse zu Modell E (R1)	109
Tabelle 63:	Ergebnisse zu Modell F (R1)	109
Tabelle 64:	Vergleich der besten Ergebnisse aus den Modellen A bis F (R1)	110
Tabelle 65:	Ergebnisse zu Modell A (R2)	112
Tabelle 66:	Ergebnisse zu Modell B (R2)	112
Tabelle 67:	Ergebnisse zu Modell A (R1) - Defuzzifizierung mit MoM	113
Tabelle 68:	Ergebnisse zu Modell B (R1) - Defuzzifizierung mit MoM	113

Anhangsverzeichnis

Anhang 1:	Auszug aus Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Variablen	126
Anhang 2:	Inferenz als 3D-Oberfläche der verwendeten linguistischen Variablen des Modells zur ZTZ	127
Anhang 3:	Übersicht – Modellentwicklung zur Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen	129
Anhang 4:	Beispiel für ein Ergebnis-Script	130
Anhang 5:	Histogramme zu Merkmalskomplexen	131
Anhang 6:	Bakteriologische Untersuchung – Erreger (Familie und Gruppierung)	132
Anhang 7:	Bakteriologische Untersuchung – Erreger (Familie und Pathogenität)	135
Anhang 8:	Arbeitsvorlage zur Erstellung des Fuzzy Logic-Regelgerüsts-Muster	138

Abkürzungsverzeichnis

AMS	Automatische(s) Melksystem(e)
BCS	Body Condition Score
Bes	Besamung
BF	unspezifische Begleitflora
BI	Besamungsindex
BU	bakteriologische Untersuchung
BW	Bewegungsapparat
CoM	center-of-maximum-Methode
DMG	durchschnittlicher Milchfluss
EBE	Erstbesamungserfolg
EKA	Erstkalbealter
EU	Euter
EWMA	Exponentially Weighted Moving Average
FEQ	Fett-Eiweiß-Quotient
fm	fitness monitoring
FN	(false) falsch negativ
FP	(false) falsch positiv
FSH	Follikelstimulierendes Hormon
FR	Fehlerrate
FB	Fruchtbarkeit
GZ	Güstzeit
HI	Heat-Index (Aktivitätsparameter von DeLaval®)
HMS	Herdenmanagementsystem
IGE	Interessengemeinschaft der Erzeugerzusammenschlüsse in Sachsen e.V.
Kalb	Kalbung
KNS	koagulase-negative Staphylokokken
KR	Konzeptionsrate
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LH	Luteinisierendes Hormon
LKV	Sächsischer Landeskontrollverband e.V.
LT	Lebenstag
max	Maximum
maxMF	maximaler Milchfluss
MBR	Milchbildungsrate
Mkg	Milchleistung (kg)
MLP	Milchleistungsprüfung
MoM	mean-of-maximum-Methode
MW	Mittelwert
n	Stichprobenumfang
NR	NonReturnRate
p.p.	post partum
PMN	Polymorphkernige neutrophile Granulozyten
RFD	Rückenfettdicke
RZ	Rastzeit
SD	Standardabweichung
SCS	Linear Somatic Cell Score
SE	Sensitivität
sog.	sogenannte(r,s)
SP	Spezifität

SW	Stoffwechsel
TI	Trächtigkeitsindex
TMR	Totale Mischraktion
TN	(true) wahr negativ
TP	(true) wahr positiv
TS	Trockenstehen
VAG	Viertelanfangsgemelk
VZ	Verzögerungszeit
ZKZ	Zwischenkalbezeit
ZMZ-M	Zwischenmelkzeit (zwischen zwei aufeinanderfolgenden Melkungen)
ZMZ-T	Zwischenmelkzeit (zwischen den Morgen- bzw. Abendmelken)
ZTZ	Zwischentragezeit
ZZ	somatischer Zellgehalt/Zellzahl

1 Einleitung

Die Rentabilität der Milchproduktion ist Voraussetzung für den Erfolg eines Milchlandwirtes. Durch die Zucht auf Milchleistungsmerkmale ist das Milchleistungsniveau der Tiere in den letzten Jahrzehnten enorm angestiegen. Gleichzeitig kam es zu einer Verringerung der reproduktiven Leistungen und zu Problemen in funktionalen Merkmalen. Die Fruchtbarkeit der Milchkühe sowie deren Gesundheit haben einen bedeutenden Einfluss auf die Ökonomie des Betriebes, stellen jedoch gleichzeitig die Hauptprobleme in der Milchrinderhaltung dar und sollen Hauptaugenmerk in diesem Bericht erhalten.

Für den Landwirt ist es wichtig, Störungen im Fruchtbarkeitsgeschehen oder in der Tiergesundheit frühzeitig zu erkennen, um zeitnah gezielte Maßnahmen einleiten zu können. Durch eine gute Tierbeobachtung und Betreuung lässt sich ein erheblicher Teil der Probleme lösen, jedoch steht hierfür heute kaum ausreichend Zeit zur Verfügung. In Abhängigkeit von der technischen Ausstattung können eine Vielzahl an Daten gewonnen werden, durch immer weiterentwickelte Technik zunehmend auch einzeltierbezogene Daten. Eine Kombination aus Prozessrechner-, Herdenmanagement- und Leistungsprüfdaten stehen dem Betriebsleiter für Managementaufgaben zur Seite. Diese Managementhilfen können aufgrund ihrer Datenflut oft nur unzureichend genutzt werden. Die zugehörigen Softwarelösungen, welche die Daten verwalten, weisen zum Teil Reserven hinsichtlich einer effizienten, umfassenden Datennutzung und einer zeitnahen, benutzerfreundlichen Informationsbereitstellung auf, die für den Milcherzeuger im Sinne einer Managementunterstützung wesentlich wären. Ein großer Umfang verfügbarer Daten allein bringt somit keinen Vorteil, wenn Strategien zu einer kontinuierlichen Nutzung für eine Entscheidungsunterstützung fehlen (SPILKE 2002).

Daraus entstand das Vorhaben mit den Projekten „Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen“ und „Früherkennung von Eutererkrankungen beim weiblichen Milchrind“. Bisherige Auswertungen beziehen sich zumeist auf abgeschlossene zurückliegende Ereignisse. Eine Aussage zum Momentanzustand wird nur bedingt getroffen. Hier soll ein System geschaffen werden, welches Abweichungen von Zielwerten vorhersagt.

Ziel des Projektes war somit die Erarbeitung eines Verfahrens zur Früherkennung der genannten Probleme auf der Grundlage der laufend anfallenden Informationen aus den verschiedenen Bereichen wie Milchgewinnung, Gesundheit und Fruchtbarkeit. Als Methode wurde die der Fuzzy Logic untersucht. Sie kann mit unscharfen Parametern bzw. vagen Zusammenhängen umgehen. Somit können komplexe, schwer ergründbare und unvollständig bekannte Beziehungen zwischen den Prozessparametern untereinander sowie zur Fruchtbarkeit bzw. Eutergesundheit abgebildet werden. Dazu waren die anfallenden Daten auf ihren Informationsgehalt sowie auf ihre Interaktionen untereinander im Hinblick auf eine Vorhersage zu untersuchen. Im Ergebnis sind Aussagen über die Qualität der auf dieser Datenbasis bereitzustellenden Managementhilfen zu erwarten. Das zu entwickelnde Entscheidungsunterstützungssystem soll es möglich machen, die Aufmerksamkeit des Personals auf bestimmte Tiere zu lenken.

2 Literatur

2.1 Fruchtbarkeit beim Milchrind

Die Fruchtbarkeit des weiblichen Rindes ist das Vermögen, rechtzeitig (wieder) tragend zu werden, sowie gesunde und leistungsfähige Nachkommen bringen zu können (BENESCH 1957). Hauptmerkmale einer fruchtbaren Kuh sind die regelmäßige Ausbildung einer gut sichtbaren Brunst sowie die erfolgreiche Trächtigkeit nach der ersten Besamung. Bestehen bei einem oder mehreren Einflussfaktoren Defizite, kann das mit einer Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit einhergehen.

Die Fruchtbarkeit ist somit ein Merkmalskomplex. Geschätzte Heritabilitäten sind gering. Die Heritabilität der Rastzeit beträgt beispielsweise etwa 3,9 %, während die Verzögerungszeit gerade einmal eine Erblichkeit von 1 % aufweist (VIT 2007). Die züchterische Beeinflussung ist dadurch begrenzt. Weiterhin gibt es negative Korrelationen und somit Merkmalsantagonismen

zur Milchleistung (SEELAND & HEINZE 2003). Betriebe mit hoher Milchleistung haben dennoch nicht zwangsläufig eine schlechte Fruchtbarkeit ihrer Hochleistungstiere zu verzeichnen. Ausschlaggebend für den Erfolg ist das Management.

Für zukunftsorientierte Milchviehbetriebe ist sowohl eine hohe Milchleistung als auch eine gute Fruchtbarkeit von ausschlaggebender Bedeutung für ihre Liquidität.

2.1.1 Fruchtbarkeitskennzahlen

In Tabelle 1 sind einige wichtige Fruchtbarkeitskennzahlen definiert.

Tabelle 1: Fruchtbarkeitskennzahlen beim Rind

Kennzahl	Definition	Richtwerte
Zwischenkalbezeit (ZKZ)	Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abkalbungen bei einer Kuh	365 – 395 Tage
Güstzeit (GZ) oder Zwischentragezeit (ZTZ)	Intervall zwischen Partus und Konzeption	85 – 125 Tage
Rastzeit (RZ)	Intervall zwischen Partus und 1. Besamung	60 – 80 Tage
Verzögerungszeit (VZ)	Intervall zwischen 1. Besamung und erfolgreicher Besamung	~ 20 Tage
Konzeptionsrate (KR)	$(\text{Anzahl tragender Tiere} / \text{Anzahl aller Besamungen}) * 100$	0,5 – 0,7 (50 – 70 %)
Erstbesamungserfolg (EBE)	$(\text{Anzahl tragender Tiere nach Erstbelegung} / \text{Anzahl Erstbelegung}) * 100$	> 55%
Trächtigkeitsindex (TI)	Anzahl der Besamungen bei tragenden Tieren / Anzahl tragender Tiere	< 1,7
Besamungsindex (BI)	Anzahl aller Besamungen / Anzahl besamter Tiere	1,5 – 2
Non Return Rate 56 / 90 (NR 56 / NR 90)	Anzahl Tiere, die 56 bzw. 90 Tage nach der Erstbelegung nicht wieder besamt sind x 100	> 65 %

Für die Überwachung der Fruchtbarkeitsleistung der Tiere ist eine regelmäßige Kontrolle der Fruchtbarkeitskennzahlen wie eine Aussage zur Länge der Laktationsperiode z. B. über die Zwischentragezeit oder eine Aussage zum Besamungserfolg z. B. über den Besamungsindex unerlässlich (JAHNKE 2002).

2.1.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Fruchtbarkeit

Entscheidend für die Länge der Zwischentragezeit bzw. Zwischenkalbezeit sind die Rast- und die Verzögerungszeit. Ein rechtzeitiges Wiederbelegen der Kuh führt über eine kurze Güstzeit zu einer kurzen Zwischenkalbezeit. Jeder Güsttag jenseits der vorgegebenen Zielzahl kostet dem Milchbauern zwischen zwei und fünf Euro entgangenes Milchgeld pro Tag. Eine Verlängerung der Güstzeit um 21 Tage, also eine ungenutzte Brunst, kann somit einen Verlust von 105 Euro bedeuten (PFIZER PHARMA GMBH 2008). FEUCKER (2003) gibt pro Tag verlängerter Güstzeit über 85 Tage hinaus einen Verlust von 3,75 Euro an.

Bis zu 70 % der wirtschaftlichen Verluste im Bereich der Fruchtbarkeit entstehen laut TISCHER (2004) durch verlängerte Güstzeiten (>85 %) und erhöhte Abgangsraten (>7 %). TISCHER (2004) kommt zu dem Fazit, dass Einzeltherapien notwendig sind. Zusätzliche Untersuchungen und der Schreibaufwand sollten dabei nicht abschrecken. Eine Spezialberatung findet meist erst in Betrieben statt, wo bereits Fruchtbarkeitsprobleme auftreten.

ZUBE & FRANKE (2007) untersuchten 74 Milchviehbetriebe. Der Fertilitätsstatus bei Differenzierung der Betriebe nach Milchleistung war in den 25 % besten Betrieben günstiger als in den 25 % schlechtesten. Die Zwischentragezeit wird von vielen Autoren (NIEHOFF et al. 2007; STÖCKLER 2007) als die wichtigste Fruchtbarkeitskennziffer benannt.

Die Vorteile einer kurzen Zwischentragezeit fasst STÖCKLER (2007) wie folgt zusammen:

- mehr Milch
- mehr geborene Kälber
- weniger Abgänge wegen Unfruchtbarkeit
- höhere Lebensleistung
- Steigerung der Brunsterkennungsrate

STÖCKLER (2007) beziffert eine Erhöhung der Brunsterkennungsrate um 1 % mit einem Plus von 16 EUR/Kuh + Jahr. Dennoch sollte man Hochleistungskühen eine längere Rastzeit gönnen, um keine Überforderung des Tieres zu verursachen. Zusätzlich wirkt sich eine längere Zwischentragezeit positiv auf die Persistenz der Laktationskurven von Hochleistungstieren aus. Ein wirtschaftliches Optimum in der Zwischentragezeit ist somit nur schwer zu benennen und ist je nach Leistungsniveau unterschiedlich.

JAHNKE (2002) gibt an, dass auch Hochleistungskühe eine Zwischentragezeit von 125 Tagen nicht überschreiten sollten, um die Laktationsperiode nicht unnötig zu verlängern. Tabelle 2 zeigt die optimalen Zwischentragezeiten nach JAHNKE (2002) in Abhängigkeit vom Leistungsniveau.

Tabelle 2: Leistungsdifferenzierte optimale Zwischentragezeiten (Quelle: JANCKE 2002)

Leistungsniveau (kg Milch/Jahr)	optimale ZTZ	Minderung des Reinertrages je Tag verlängerter ZTZ über das Optimum hinaus
6.500	105	0,48 EUR
7.700	105 – 125	0,30 EUR
9.000 – 10.000	125 – 145	

Laut SCHRÖDER (2000) befindet sich die Kuh länger in der unrentablen Phase der Spätlaktation, je später sie wieder tragend wird. Dies führt aufgrund niedrigerer Milchleistung in dieser letzten Laktationsphase zu Milchmindererträgen von bis zu 130 kg pro Jahr. Durch Behandlungen aufgrund von Fruchtbarkeitsstörungen entstehen dem Betrieb weitere Kosten, welche pro Tier und Jahr einem Erlös von 35 bis 85 Litern Milch entsprechen. Einen weiteren großen Anteil an Kosten verursachen wiederholte Besamungen. Scheidet die Kuh vorzeitig aufgrund von z. B. Unfruchtbarkeit aus, so wird durch den Schlachterlös gerade einmal die Hälfte der Kosten abgedeckt, die durch eine Remontierung des Tieres entstehen.

2.1.3 Fruchtbarkeitssituation in Milchviehbeständen Sachsens

Im Zuge der Steigerung der Milchleistung in Sachsen entwickelt sich die Fruchtbarkeit der Milchkühe gegenläufig. Lag die Abgangsursache Unfruchtbarkeit im Jahr 1995 bei etwa 8 % der Kühe vor, so sind es im Jahr 2008 bereits 20 % der Tiere, die den Bestand verlassen müssen (MÜLLER 2006). Laut STEINHÖFEL et al. (2006) geht rund ein Drittel davon bereits in der ersten Laktation ab.

Auch hinsichtlich der Fruchtbarkeitskennzahlen hat sich die Lage im Laufe der Jahre verschlechtert. Während der Besamungsindex bei Färsen mit 1,5 bis 1,6 relativ konstant blieb, stieg er bei den Kühen von 2,0 im Jahr 1995 auf 2,5 im Jahr 2008 (SÄCHSISCHER TIERZUCHTREPORT 2009) und dürfte sich heute ebenfalls auf diesem Niveau bewegen.

Tabelle 3 verdeutlicht die Entwicklung der Fruchtbarkeitskennzahlen in Sachsen. Durch die Zunahme der Zwischentragezeit und insbesondere des Anteils Tiere mit Zwischentragezeiten über 140 Tagen ist eine anzustrebende Zwischenkalbezeit von unter 400 Tagen nicht mehr zu realisieren. Dies ist nur machbar bei einer maximalen Zwischentragezeit von etwa 115 Tagen, welche allerdings schon ab dem Jahr 2000 im Schnitt in Sachsen nicht mehr erreicht wird.

Tabelle 3: Entwicklung der Fruchtbarkeitskennzahlen in Sachsen (Quelle: SÄCHSISCHER RINDERZUCHTVERBAND 2006 SÄCHSISCHER TIERZUCHTREPORT 2009)

Jahr	Rastzeit	ZTZ	ZTZ% > 140 d	NR 90 Kühe	NR 90 Färsen	NR 90 gesamt	EBA
1992	74	105	21,1	58,5	72,7	62,5	620
1995	74	114	25,9	53,3	71,6	58,2	585
2000	81	124	31,1	48,5	67,6	54,2	553
2001	82	126	32,2	49,5	67,7	54,6	537
2002	83	128	32,9	47,3	68,5	53,5	528
2003	82	128	33,2	46,3	67,9	52,6	522
2004	82	132	35,1	45,0	67,7	51,7	512
2005	82	130	34,1	44,9	67,3	51,4	507
2006	82	131	34,9	43,3	65,7	50,0	501
2007		133		42,6	66,6		496
2008		132		42,4	65,6		494
Differenz seit 1992	+8	+27	+13,8	-16,1	-7,1	-12,5	-126

2.1.4 Fruchtbarkeitsstörungen und ihre Ursachen – Störungen im Zyklusgeschehen

Der Brunstzyklus des Rindes ist ein sehr komplexer Vorgang. Er wird in vier Phasen eingeteilt:

- Postöstrus (Tag 1–4)
- Interöstrus (Tag 5–18)
- Proöstrus (Tag 19–21)
- Östrus (Tag 21, Dauer 12–24 h)

Während dessen Ablauf schaffen die verschiedenen Hormone die Voraussetzungen für die Befruchtung und die Einnistung der befruchteten Eizelle und der nachfolgenden Trächtigkeit. Stressfaktoren wie ungünstige Haltungsbedingungen oder mangelhafte Geburtshygiene werden vom Hormonsystem des Tieres mit krankhaften Reaktionen beantwortet (KALCHREUTER 1999). Diese sind insbesondere:

- spätes Wiedereinsetzen des ovariellen Zyklus post partum (z. B. durch Energiedefizit)
- unregelmäßige Brunstzyklen/Zyklusstörungen
- echte Brunstlosigkeit bzw. Stillbrunst

Im Folgenden sollen die einzelnen Fruchtbarkeitsstörungen näher erläutert werden.

Spätes Wiedereinsetzen des ovariellen Zyklus post partum

Besonders wichtig ist das Erkennen und Erfassen der ersten Brunst post partum. Dieser Parameter ist die erste Fruchtbarkeitsinformation über eine Kuh nach der Geburt und demzufolge lassen sich dadurch schon früh Störungen erkennen. Insbesondere das Puerperium ist laut WEHREND (2007) gekennzeichnet durch ein erhöhtes Auftreten von Krankheiten. Schon

der Geburtsverlauf legt den Grundstein für den weiteren Ablauf dieser Phase. Eine komplikationslose Geburt ist ein wichtiger Faktor für einen ungestörten Puerperalverlauf.

Laut Rossow (2003a) beeinflusst die Energiebilanzsituation den Zeitpunkt und die Geschwindigkeit des anlaufenden ovariellen Zyklus nach der Abkalbung. Das Wachstum der Follikel ist abhängig von der Ausschüttung bestimmter Hormone wie Follikelstimulierendes Hormon (FSH) und Luteinisierendes Hormon (LH), welche bei Energiemangel nur vermindert produziert werden und somit weniger und kleinere Follikel herangebildet werden. Bleibt der Energiemangel länger bestehen, so kann dies zu verzögerten oder ausbleibenden Ovulationen führen oder die Follikel entarten zystisch. Energiemangel post partum steht oft im Zusammenhang zu Gebärmutterinfektionen wie Endometritis, welche ebenfalls als häufig auftretende Ursache für ein spätes Einsetzen des ersten Zyklus gilt. Eine Endometritis entsteht, wenn Keime über den Geburtsweg in den Uterus gelangen. Hauptursachen dafür sind vorwiegend Schweregeburten, welche häufig mit Verletzungen im Bereich der Geburtswege einhergehen, eine unsachgemäße Geburtshilfe sowie Nachgeburtsverhaltungen, bei denen es zu einer Ansammlung von Keimen in der Gebärmutter kommt. Im Vergleich zu gesunden Tieren bekommen viermal mehr Kühe mit Nachgeburtsverhaltung auch eine Erkrankung der Gebärmutter (ZIEGER 2008).

Die Puerperalkontrolle beginnt dann schon kurz nach der Geburt des Kalbes mit der Dokumentation des Nachgeburtsabganges. Laut WEHREND (2007) ist eine systematische Kontrolle aller Tiere in der vierten Woche nach der Geburt am effektivsten, weil sich bis zu diesem Zeitpunkt der Uterus zurückgebildet haben sollte und die Ovarien palpiert werden können. Durch diese Untersuchungsmethoden kann der Tierarzt feststellen, ob die Ovarien aktiv sind und ob Krankheiten wie z. B. Endometritis vorliegen. Klinisch auffällige Tiere sollten allerdings schon eher einer Puerperalkontrolle unterzogen werden. Um Störungen frühzeitig zu erkennen, scheint es sinnvoll, während der ersten Woche nach der Geburt täglich die Körpertemperatur der Kuh zu messen. So kann sie bei Abweichungen von der Normaltemperatur zeitnah dem Tierarzt vorgestellt werden und Krankheiten lassen sich schneller behandeln. Eine Endometritis wird meist neben Fieber durch einen abnormalen Vaginalausfluss diagnostiziert. Bei schweren Formen dieser Entzündung kann die Endometritis in manchen Fällen auch in ein chronisches Stadium übergehen und die Fruchtbarkeit gravierend beeinträchtigen oder sogar zu Unfruchtbarkeit führen. In Tabelle 4 sind ausgewählte Fruchtbarkeitskennzahlen gesunder und an Endometritis erkrankter Kühe im Vergleich dargestellt. Durch diese Fruchtbarkeitsstörung können verlängerte Zwischentragezeiten sowie ein geringerer Erstbesamungserfolg resultieren.

Tabelle 4: Fruchtbarkeitskennzahlen gesunder und subklinisch erkrankter Tiere bei verschiedenen Autoren (Quelle: LINCKE, 2007)

Autor / Diagnostische Methode	Kennzahl	Gesund	Subklinische Endometritis	Zeitpunkt der Diagnose
Gilbert et al. 2004 Uterine Lavage	EB-Erfolg (%)	34	26	7. Woche pp
	Güstzeit (Tage)	122	158	7. Woche pp
Gilbert et al. 2005 Uterine Lavage	EB-Erfolg (%)	36	11	40. bis 60. Tag pp
	Tragende (%)	89	63	40. bis 60. Tag pp
	Rastzeit (Tage)	80	101	40. bis 60. Tag pp
	Güstzeit (Tage)	118	206	40. bis 60. Tag pp
Hammon et al. 2001 Uterine Lavage	EB-Erfolg (%)	69	33	54. bis 60. Tag pp
Kasimanickam et al. 2004 Cytobrush und Ultraschall	EB-Erfolg (%)	61	35	34. bis 47. Tag pp
	Konzeptionsrate (%)	54	43	20. bis 33. Tag pp
	Güstzeit (Tage)	112	141	20. bis 33. Tag pp
Lenz 2004 Ultraschall	EB-Erfolg (%)	66,7	45,8	21. bis 27. Tag pp
	Tragende (%)	100	85	21. bis 27. Tag pp
	Konzeptionsrate (%)	62,5	40,1	21. bis 27. Tag pp
Mee et al. und Buckley et al. 2004 Ultraschall	EB-Erfolg (%)	57	51	im Mittel 57. Tag pp
Raab 2004	Tragende (%)	85,9	75,5	21. bis 27. Tag pp

Laut WEHREND (2007) ist es unverzichtbar, im Rahmen der Puerperalkontrolle eine Uteruspalpation durchführen zu lassen. Mit dieser Untersuchungsmethode lassen sich viele Tiere mit Endometritis frühzeitig herausfinden und eher einer Behandlung zuführen. Die Fruchtbarkeitslage in der Herde kann dadurch verbessert werden.

Unregelmäßige Brunstzyklen

Der regelmäßige Zyklus der Kuh beträgt 21 Tage \pm 3 Tage. Ein Brunstzyklus ist verkürzt, wenn das Intervall zwischen zwei Brunsten weniger als 18 Tage beträgt. Ein Zyklus ist verlängert, wenn die nächste Brunst nach 25 Tagen und später auftritt. Ursachen dafür können Zyklusstörungen aufgrund von Zysten sowie Unsicherheiten in der Brunstbeobachtung sein. Zu den bedeutendsten Ovarialzysten gehören die Follikel- und die Gelbkörperzyste. Bleibt der Sprung der Eiblaste aus und bleibt diese Blase auf Dauer bestehen, handelt es sich um eine Follikelzyste. Diese krankhaften Veränderungen produzieren wie der Follikel das Brunsthormon Östrogen, sodass Zystenkühe in kurzen Intervallen brünstig werden oder sogar Dauerbrunst zeigen. Das zyklische Ovargeschehen wird erheblich blockiert. In einigen Fällen tritt auch Anöstrie auf. Besonders gefährdet sind die Tiere, die verfettet zur Abkalbung gelangen oder bei denen ein postpartaler Energiemangel auftritt. Durch die negative Energiebilanz kommt es zur verminderten Freisetzung von Sexualhormonen, dadurch ist das Wachstum des Follikels beeinträchtigt oder der Follikel ovuliert nicht.

Gelbkörperzysten entstehen aus einem sich nicht zurückbildenden Gelbkörper. Diese Zyste produziert ständig das Hormon Progesteron, sodass keine erneute Ovulation stattfinden kann. Erkrankten Kühe in der Puerperalphase an Endometritis oder Nachgeburtsverhaltung, ist es möglich, dass die Ursache für Zyklusstörungen bei diesen Tieren in einem persistierenden Gelbkörper (Gelbkörperzyste) liegt. KRAUSE (2007) untersuchte in zwei Betrieben das Zyklusgeschehen der Kühe im Zusammenhang mit dem Auftreten von Zysten. Bei 75 % der Kühe konnte dabei ein Zyklusbeginn bis zum 42. Tag post partum mit dem Progesterontest festgestellt werden. Bei einer genaueren Auswertung eines Betriebes wurden bei 43 % der Tiere ohne Zyklus Zysten festgestellt. 57 % der Tiere waren hingegen zystenfrei. Bei Tieren mit Zyklus waren 89 % der Tiere ohne Zysten. PRASSE (2007) untersuchte die Beziehung von Ovarialzysten zur Milchleistung und Gesundheit und ermittelte die in Tabelle 5 aufgeführten Fruchtbarkeitskennzahlen.

**Tabelle 5: Mittlere Fruchtbarkeitskennzahlen von Kühen mit und ohne Ovarialzysten
(Quelle: modifiziert nach PRASSE 2007)**

	Tiere ohne Ovarialzyste	Tiere mit Ovarialzyste
Erstbesamungserfolg in%	51,8 ^{a,1} (n=712)	33,7 ^b (n=740)
Gesamträchtigkeitsrate in%	86,0 ^{a,1} (n=712)	75,1 ^b (n=740)
Rastzeit in Tagen (Mittelwert \pm Standardabweichung)	83,7 ^{a,1} \pm 26,00 (n=712)	97,6 ^b \pm 34,90 (n=740)
Güstzeit in Tagen (Mittelwert \pm Standardabweichung)	109,5 ^{a,1} \pm 48,00 (n=612)	154,2 ^b \pm 81,50 (n=556)
Verzögerungszeit in Tagen (Mittelwert \pm Standardabweichung)	27,1 ^{a,1} \pm 41,00 (n=609)	56,4 ^b \pm 73,10 (n=556)
Zwischenkalbezeit in Tagen (Mittelwert \pm Standardabweichung)	391,1 ^{a,1} \pm 47,70 (n=534)	430,3 ^b \pm 77,70 (n=462)
Trächtigkeitsindex	1,8 ^{a,1}	2,5 ^b

(Mittelwert ± Standardabweichung)	±1,10 (n=611)	±1,70 (n=555)
-----------------------------------	------------------	------------------

a,b;1,2;A,B Werte mit unterschiedlichen Buchstaben- oder Zeichenindizes in einer Zeile unterscheiden sich signifikant ($p \leq 0,05$)

Anhand der Fruchtbarkeitskennzahlen wird ersichtlich, dass die Entstehung von Ovarialzysten mit einer Verschlechterung der Werte einhergeht. Besonders hervorzuheben ist die enorme Verlängerung der Zwischentragezeit und der Verzögerungszeit.

Verlängerte Zyklen haben meist eine krankhafte Ursache oder sind die Folge eines embryonalen Fruchttodes. Von einem embryonalen Fruchttod spricht man, wenn die Frucht vor dem 45. Tag nach der Konzeption abstirbt. Sie führt zur Resorption der Frucht und ist äußerlich nicht erkennbar. Stirbt die Frucht schon früh ab (bis 12. Tag), folgt in den meisten Fällen eine erneute Brunst nach normalem Brunstintervall. Ein späteres Absterben erkennt man häufig an verlängerten Brunstzyklen. Ursachen für einen embryonalen Fruchttod sind neben Infektionen des Muttertieres in vielen Fällen Fütterungsfehler. Durch energetische Unterversorgung kann es z. B. zu einer Hormonschwäche kommen, wobei das Trächtigkeitsschutzhormon Progesteron nicht aufrechterhalten werden kann und die Frucht dadurch abstirbt.

Bei Intervallen von über 40 Tagen kann man von einer unerkannten Brunst ausgehen. Daher ist eine genaue Aufzeichnung jeder erkannten Brunst unbedingt notwendig. Technische Hilfsmittel zur Brunsterkennung, wie die Aktivitätsmessung können zusätzlich genutzt werden.

Stille Brunst und Brunstlosigkeit

Tabelle 6 zeigt eine Rangierung der häufigsten Fruchtbarkeitsprobleme in Praxisbetrieben (Rossow 2003b). Es ist ersichtlich, dass das Hauptproblem für Fruchtbarkeitsstörungen demzufolge die Stillbrunst ist. Stille Brunst bedeutet, die Kühe zeigen keine äußerlich sichtbaren Brunstsymptome. Ursachen für Stillbrunst oder scheinbare Brunstlosigkeit sind häufig Mängel in der Brunstbeobachtung oder ungünstige Haltungsbedingungen. Zu unterscheiden ist dabei die echte Brunstlosigkeit, bei welcher eine Inaktivität der Eierstöcke vorliegt. Hier können Fütterungsfehler, Über- und Unterernährung oder Gebärmuttererkrankungen die Ursache bilden. Aufgrund undeutlicher oder fehlender Brunstsymptome wird die Kuh mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht rechtzeitig tragend, da der optimale Besamungszeitpunkt nicht bestimmt werden kann und es vermehrt zu Fehlbesamungen kommt. Eine Verlängerung der Zwischentragezeit ist die Folge.

Tabelle 6: Problembereiche in 238 Betrieben in den Jahren 1995 bis 1999 (Quelle: BONSELS & WEIß in Rossow 2003b)

Stille Brunst	52%
Umrindern	44%
Eierstockzysten	29%
Endometritis	27%
Fehlen der Brunst	24%
Nachgeburtsverhaltung	24%

Um die Fruchtbarkeit der Milchrinder in naher Zukunft intensiver zu fördern, ist ein ganzheitliches Herangehen notwendig.

2.1.5 Weitere Ursachen für Fruchtbarkeitsstörungen – Indirekte Einflussfaktoren

Die Fruchtbarkeitsleistung einer Kuh wird neben den bisher genannten Faktoren durch eine Reihe von indirekten Parametern beeinflusst. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt allgemein auf, welche Parameter zusätzlich auf das Entstehen von Fruchtbarkeitsstörungen einwirken.

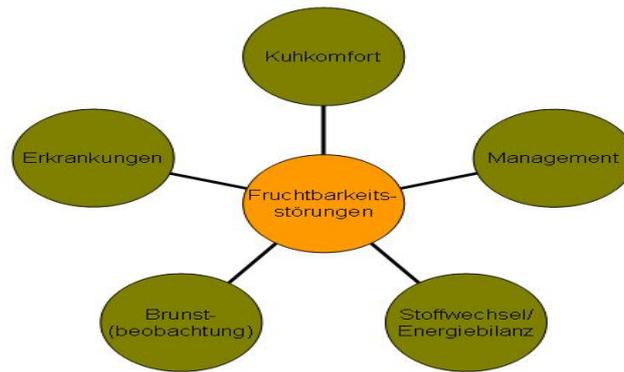


Abbildung 1: Einflussfaktoren auf die Fruchtbarkeit

Im Folgenden sollen die Faktoren, welche ebenfalls das Auftreten von Fruchtbarkeitsstörungen begünstigen können, näher beleuchtet werden.

Kuhkomfort

Unter dem Begriff Kuhkomfort werden die Haltungsbedingungen zusammengefasst. Diese sollen so gestaltet sein, dass die Kuh sich wohlfühlt und somit ihr Fruchtbarkeitspotenzial voll ausschöpfen kann (GASTEINER 2007). Hitzestress oder Lichtmangel wirken sich negativ auf Fruchtbarkeitsleistungen aus. Wichtig ist, dass sich die Kuh sicher im Laufstall bewegen kann. Hier spielt die Bodenbeschaffenheit eine bedeutende Rolle. Läuft die Kuh aufgrund von rutschigem Boden unsicher, kann es sein, dass sie verminderte oder gar keine Brunstsymptome zeigt (WIELAND 2002). Auch auf die optimale Gestaltung von Fress- und Tränkplätzen sollte große Aufmerksamkeit gelegt werden, denn verminderte Wasser- und Futteraufnahme sind immer mit Leistungsabfällen verbunden. Weil Milchkühe den größten Teil des Tages mit Wiederkäuen beschäftigt sind, darf der Liegekomfort nicht vernachlässigt werden, denn Kühe kauen vorzugsweise im Liegen wieder. Weiterhin werden durch das Liegen die Klauen entlastet und können abtrocknen (DELAVAL-Produktblatt Aktivitätssensor 2008). Haben die Kühe Schmerzen beim Abliegen oder sind die Liegeboxen nicht groß genug, bleiben die Tiere länger stehen, was ihren natürlichen Rhythmus verändert und somit auch zu Erkrankungen bzw. Leistungsdepression führen kann (PHILIPPS & SCHOFIELD 1994; VERMUNT 2004)

Management

Zu den Managementfaktoren zählen z. B. die Geburtshilfe und -hygiene sowie das gesamte Besamungsmanagement. Bereits durch die Auswahl geeigneter Bullen lässt sich der Anteil an Schweregeburten verringern. Schwer- und Totgeburten gelten als erhöhtes Risiko für Gesundheits- und Fruchtbarkeitsstörungen (RUDOLPHI 2009, STEINHÖFEL 2009). Untersuchungen von RUDOLPHI (2009) ergaben, dass Schwer- und Totgeburten in unterschiedlicher Weise durch das Geburtsgewicht beeinflusst werden. Durch eine unsachgemäße Geburtshilfe und schlechte Hygiene können weitere Ursachen für eine schlechte Fruchtbarkeit entstehen. Ein weiterer wichtiger Managementfaktor ist die Rastzeit. Wird dieser Zeitraum zu kurz gewählt, kann es sein, dass die Rückbildungsvorgänge der Gebärmutter noch nicht voll abgeschlossen sind und es zu einem niedrigeren Besamungserfolg kommen kann (FEUCKER 2003). Zu lange Rastzeiten führen wiederum zu überhöhten Zwischenkalbezeiten. Daher ist es Aufgabe des Managements, den optimalen Zeitpunkt der Erstbesamung festzulegen.

Stoffwechsel/Energiebilanz

Können subjektive Ursachen wie z. B. mangelhafte Geburtsüberwachung, fehlerhafte Geburtshilfe oder schlechte Brunstkontrolle ausgeschlossen werden, liegt der Auslöser für Fruchtbarkeitsprobleme meist im metabolischen Bereich (STAUFENBIEL 2004). Die bedeutendsten Ursachen von Fortpflanzungsstörungen sind eine unzureichende Energieversorgung bzw. Stoffwechselstörungen in der Früh-laktation. Die Entstehung eines Energiedefizites ist in den ersten Wochen der Laktation

unvermeidlich, das Ausmaß dieser Lücke ist allerdings ausschlaggebend, weil die Kuh Körperfett mobilisiert, um das Defizit auszugleichen. BOSTEDT (2003) veranschlagt für die Dauer der kritischen Phase etwa acht Wochen, daher fällt sie genau in die Zeit, in welcher sich die Fortpflanzungsorgane regenerieren. Für diese Prozesse muss ausreichend Energie zur Verfügung stehen. Fütterungsbedingte Folgen, die durch ein Energiedefizit entstehen, sind Erkrankungen des peripartalen Krankheitskomplexes (GOFF & HORST 1997; ROSSOW 2003b). Dazu gehören unter anderem Nachgeburtshaltungen, Gebärpause, Ketose oder auch eine Labmagenverlagerung. Das Fettmobilisationssyndrom, eine besonders starke Form des postpartalen Energiemangels, entsteht durch Verfettung in der Trockenstehperiode. Es ist daher auf eine ausreichende Futteraufnahme der Frischabkalber zu achten bzw. eine Verfettung der Trockensteher zu vermeiden. MARKUSFELD (1984, 1985) stellte in Untersuchungen fest, dass das Risiko postpartaler Uteruserkrankungen mit einer Überfütterung und Verfettung vor der Kalbung zusammenhängt.

Brunstbeobachtung

Eine bedeutende Rolle für unbefriedigende Trächtigkeitsergebnisse spielt die Brunstbeobachtung. Oft liegt bei Stillbrunst bzw. scheinbarer Brunstlosigkeit die Ursache in Mängeln bei der Brunstbeobachtung (RANDT). Jede übersehene Brunst bedeutet einen Verlust, weil sich dadurch die Zwischenkalbezeit erhöht (BOSTEDT 2003). Die Ergebnisse der Beobachtung werden vorzugsweise in einem Brunstkalender schriftlich bzw. digital festgehalten, um die nächste Brunstperiode vorausberechnen zu können. Neben der visuellen Beobachtung der Tiere gibt es heutzutage auch eine Reihe von technischen Hilfsmitteln zur Brunsterkennung. Neben Aktivitätsmessungen (z. B. Pedometer, Aktiometer) lässt sich auch über eine Progesteronbestimmung in der Milch eine Aussage über den Zyklus der Kuh finden. Wichtig ist, dass die erste Brunst post partum rechtzeitig erkannt wird, egal, ob sie schon zur Besamung genutzt werden soll oder nicht. Besitzt der Landwirt diese erste Fruchtbarkeitsinformation einer Kuh, kann er beurteilen, ob der Zyklus ordnungsgemäß angelaufen ist. Zeigt ein Tier bis zum 45. Tag post partum keine Brunst, so sollte dies eingehend untersucht werden.

Erkrankungen

Erkrankungen sind meist mit Schmerzen verbunden. Laut GASTEINER (2007) nehmen Kühe, die Schmerzen haben, bei einer Besamung nicht auf. Neben den Erkrankungen, welche direkt mit der Fruchtbarkeit zusammenhängen können, auch Mängel in der Klauengesundheit, Eutererkrankungen oder Infektionen die Fruchtbarkeitsleistung einer Kuh einschränken. Inwieweit zum Beispiel die Zwischentragezeit negativ beeinflusst wird, zeigt Abbildung 2 aus einer Untersuchung von ROSSOW (2003a)

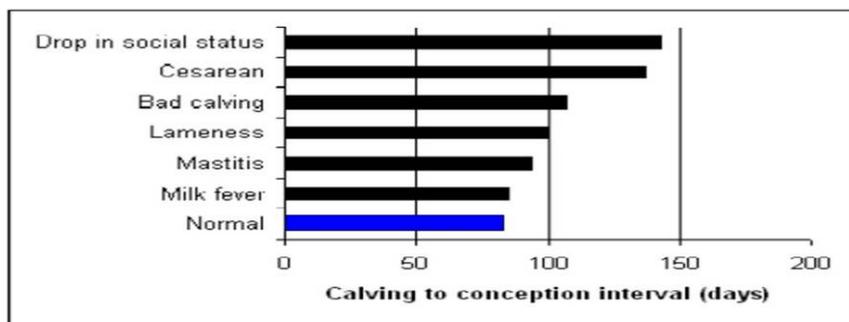


Abbildung 2: Einfluss verschiedener Erkrankungen auf die Gützeit im Vergleich zu gesunden Kühen

(Quelle: modifiziert nach ROSSOW 2003a)

(Cesarean = Kaiserschnitt; Bad calving = Schweregeburt; Lameness = Lahmheit; Mastitis = Mastitis; Milk fever = Milchfieber; Normal = gesund)

Wird die Kuh von peripartalen Erkrankungen verschont, ist dies fast eine Garantie für eine gute Fruchtbarkeit. Lahmt hingegen eine Kuh, so wird sie möglicherweise keine deutlichen Brunstsymptome zeigen, den Fressplatz seltener aufsuchen, eine negative Energiebilanz entwickeln und somit einen verminderten Besamungserfolg hervorrufen. Auch wurde eine verspätete ovarielle Aktivität bei lahmen Kühen beobachtet (GARBARINO et al. 2004). Zusätzlich führt eine postpartal auftretende Mastitis zu einer Verzögerung der Eierstockaktivitäten und somit ist eine erfolgreiche Besamung auch hier gefährdet (ROSSOW 2003a).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Ursachen für Störungen in der Fruchtbarkeit sehr vielschichtig sind.

2.1.6 Einzeltierbezogene Daten als Informationsquelle für Fruchtbarkeitsstörungen

So wie Mängel im Herdenmanagement zu Fruchtbarkeitsstörungen führen können, so sind im Gegenzug Maßnahmen zur Verbesserung der Fruchtbarkeit möglich. Im täglichen Produktionsprozess fallen eine Vielzahl von Informationen an, die für eine Risikobewertung im Bereich Fruchtbarkeit genutzt werden können. Im Einzelnen können dabei folgende Informationen eine Rolle spielen:

- Milchkontrolldaten/Einsatzleistung
- Zuchthygienedaten
- Stoffwechselprofile
- Körperkonditionsdaten
- Erkrankungsdiagnosen
- Daten aus der Fütterungskontrolle
- Aktivitätsdaten
- Kuhsignale

Dazu bedarf es nach KALCHREUTER (1999) regelmäßiger Routinekontrollen wie eine regelmäßige Interpretation der LKV-Daten. Vorhandene Informationen dürfen dabei nicht unbedingt nur für sich allein betrachtet werden. Zusammenhänge zwischen den oben genannten Informationen zu erkennen ist jedoch schwierig und erschwert häufig die Handlungsentscheidung des Herdenmanagers. Diese gesamte Datenflut für jedes Tier im Überblick zu behalten und entsprechende Maßnahmen einzuleiten, verlangt dem Milchbauern somit viel ab. Hierin sind auch der Ansatzpunkt und die Motivation für dieses Projekt zu sehen.

1. Milchkontrolldaten und Einsatzleistung

Einsatzleistung

Die Einsatzleistung einer Milchkuh kann als Parameter für eine gute oder schlechte Vorbereitung in der Trockensteherzeit gesehen werden. Eine korrekte Trockensteherfütterung sowie eine ordnungsgemäße stressfreie Aufstallung der trockenstehenden Kühe ist der erste Grundstein für eine optimale Fruchtbarkeit in der folgenden Laktation. Laut der AHRHOFF GMBH (2008) sollte die Einsatzleistung von Färsen 35 kg Milch und jene der Kühe 45 kg Milch nicht unterschreiten.

KRAUSE (2007) stellte fest, dass Tiere mit Zyklus im Mittel mehr Tagesmilchleistung haben als die Tiere ohne nachgewiesenen Zyklus. Die Differenzen zwischen Tieren mit Zyklus bzw. ohne erkannten Zyklus lagen in zwei untersuchten Betrieben bei 1,3 Milch-kg bzw. bei 3,3 Milch-kg.

Ein weiterer Bewertungsfaktor ist die Steigerung der Milchleistung post partum. Innerhalb der ersten 14 Laktationstage sollte die Milchleistung sich um mindestens 10 % steigern (Rossow 2005). Kühe, welche diese Steigerung nicht realisieren, sind entweder erkrankt oder nehmen nicht ausreichend Futter zu sich. Des Weiteren wird eine Kontrolle der Milchinhaltsstoffe vor allem in der Früh-laktation (bis 100. Laktationstag) häufig empfohlen. Dabei sind folgende Parameter für die Stoffwechsellage der Tiere am aussagekräftigsten:

Eiweißgehalt

Laut STAUFENBIEL (2008) ist der Eiweißgehalt ein Parameter der Energie- und Proteinversorgung der Milchkuh. Er steht in engem Zusammenhang mit der Fruchtbarkeit und Körperkondition, dabei insbesondere zur Rückenfettdicke, wie Abbildung 3 zeigt:

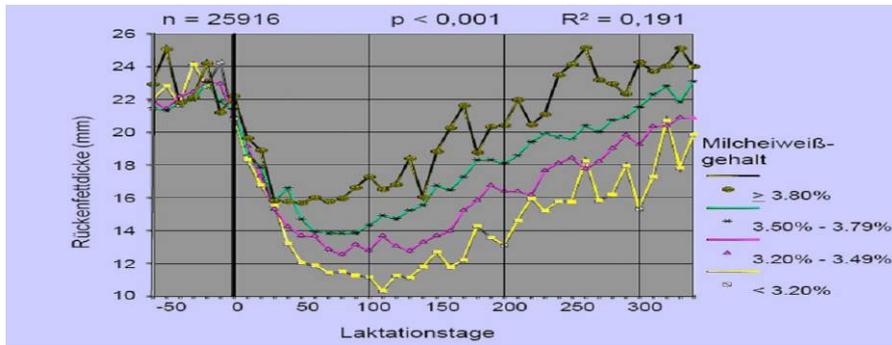


Abbildung 3: Rückenfettdicke (RFD) und Eiweißgehalt (Quelle: STAUFENBIEL 2008)

Kühe mit einem niedrigen Eiweißgehalt wiesen in Untersuchungen von STAUFENBIEL (2008) im Vergleich zu Herdengenährtinnen mit normalem Gehalt an Protein eine niedrigere Rückenfettdicke auf, was auf einen Mangel an Energie bzw. Abbau von Körperfett hindeutet. Weiterhin weisen Tiere mit zu niedrigem Proteingehalt auch eine niedrigere Trächtigkeitsrate aus Erstbesamung auf (STAUFENBIEL 2008).

RICHARDT (2003) empfiehlt eine Bewertung des Proteingehaltes in Abhängigkeit von der Milchleistung und hält folgende Grenzwerte für sinnvoll:

kg Milch	Milcheiweißgehalt in %
< 27 kg	< 3,2 %
27 – 35 kg	< 3,0 %
> 35 kg	< 2,8 %

Somit ist dieser Parameter ein geeignetes Instrument, Tiere mit negativer Energiebilanz herauszufiltern, um eventuell auftretende Fruchtbarkeitsstörungen frühzeitig zu erkennen.

Fettgehalt

Der Milchfettgehalt ist ein weiterer Indikator für den Ernährungsstatus der Milchkuh. Laut RICHARDT (2003) zeigt er unter anderem den Abbau von Körperfett bei Energiemangel sowie die Versorgung mit struktureller Rohfaser an. Ist der Fettgehalt in der Milch erhöht, so hat die Kuh aufgrund eines Mangels an Energie verstärkt Körperfett abgebaut, was ebenso auf eine ketotische Stoffwechsellaage hinweist (STAUFENBIEL 2008). Ein niedriger Milchfettgehalt kann zum einen bedeuten, dass das Tier nicht ausreichend strukturwirksame Rohfaser angeboten bekommt, weil das Fett aus Essigsäure synthetisiert wird, welches vorwiegend in rohfaserreichen Rationen zu finden ist. Andererseits kann es ein Hinweis dafür sein, dass die Kuh schon zu Anfang der Laktation nicht über genügend Körperfettreserven verfügte und daher das Körperfett als eine Quelle für die Milchfettsynthese unzureichend war (STAUFENBIEL 2008). Diese Zusammenhänge werden durch Abbildung 4 noch einmal verdeutlicht:

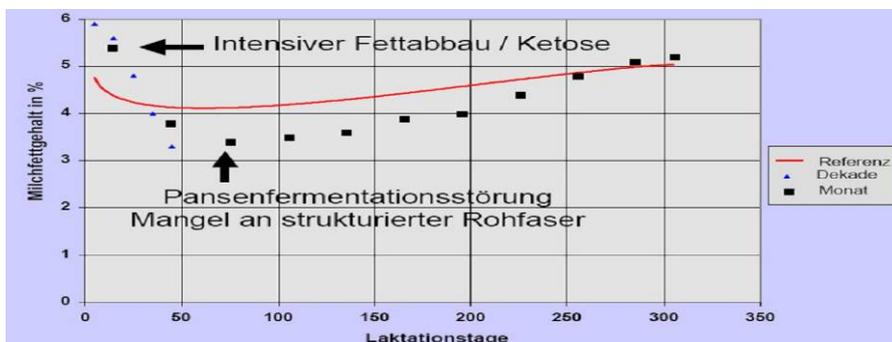


Abbildung 4: Milchfettgehalt zur Nutzung der Herdenüberwachung (Quelle: STAUFENBIEL 2008)

Als Signalwerte für den Fettgehalt der Milch gelten laut DSP-AGROSOFT-ZUCHTMANAGER (2008) folgende Werte:

Milchfettgehalt %	Ableitung
< 4 %	ohne Reserven gekalbt (Eiweiß % und Milchleistung hinzuziehen)
> 4,9 %	Verdacht auf extremen Abbau der Körperreserven
Differenz zum Vormonat	
>=0,4 %	Verdacht auf Strukturmangel

In Kombination mit anderen Parametern wie Eiweißgehalt und Milchleistung lassen sich die Tiere mit Energiemangelsituation und Pansenstörungen gut herausfiltern. Ein Risiko für eine gestörte Fruchtbarkeit kann möglicherweise erkannt werden.

Fett-Eiweiß-Quotient

Neben den reinen Fett- und Eiweißgehalten soll auch das Verhältnis dieser beiden Milchinhaltsstoffe beachtet werden. Dieser Parameter liefert folgende Aussage über die Ketose- bzw. Acidosegefährdung der Einzelkuh (AHRHOFF GMBH 2008):

FEQ	Ableitung
1,35 bis 1,05	unauffällig
< 1,0	Verdacht einer Acidose
> 1,4	Verdacht einer Ketose

Ein sehr niedriger Fett-Eiweiß-Quotient ist Anzeiger für die Gefahr einer Azidose. Es kann zur Pansenübersäuerung kommen. Das Futter ist nicht wiederkäuergesamt, die Ration ist strukturarm, aber kraftfutterreich. Ist hingegen der Fett-Eiweiß-Quotient kurzfristig hoch, bedeutet dies einen zu hohen Fettanteil bei niedrigen Eiweißwerten. Gerade zu Laktationsbeginn ist dies ein wichtiger Warnhinweis. Es besteht Ketoseverdacht, das heißt starke Körperfettmobilisation aufgrund von Energiemangel. Laut HERZIGER (2005) besteht der Schaden dieser Stoffwechselkrankheit in einer Verminderung der Milchleistung sowie der erhöhten Gefahr, an Puerperalstörungen zu erkranken. Die folgende Tabelle 7 zeigt die Risikofaktoren ausgewählter Erkrankungen bei Vorliegen einer Ketose.

Tabelle 7: Risikofaktoren ausgewählter Erkrankungen bei Vorliegen einer subklinischen Ketose (Quelle: HERZIGER 2005)

Merkmal/Erkrankung	Odds Ratio*
Nachgeburtshaltung	1,9
verlängerte Zwischentragzeit	5,2
Festliegen pp	9,0
Labmagenverlagerung	1,7
verminderte Milchleistung	5,2
Klauenerkrankung	1,1

Somit ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kuh mit subklinischer Ketose eine verlängerte Zwischentragzeit erreicht, 5,2-mal höher als bei einer Kuh ohne Ketose (HERZIGER 2005). Ein Nachweis über das Vorliegen einer Ketose ist über die Bestimmung von Ketonkörpern möglich. Es erscheint sinnvoll, den Fett-Eiweiß-Quotienten als Indikator in ein Früherkennungssystem für Fruchtbarkeitsstörungen zu integrieren. Die genannten Erkrankungen können erheblich zu einem beeinträchtigten Fruchtbarkeitsgeschehen beitragen.

Harnstoffgehalt

Der Harnstoffgehalt, zusammen betrachtet mit dem Eiweißgehalt, erlaubt eine Kontrolle der Energie- und Eiweißversorgung. Richtwerte für den optimalen Gehalt an Harnstoff bewegen sich laut RICHARDT (2003) im Bereich von 200–300 mg/l Milch. Am einfachsten lassen sich die beiden Parameter mit Hilfe der 9-Felder-Grafik beurteilen, bei der jedem Feld eine entsprechende „Diagnose“ zuzuordnen ist (Abbildung 5):

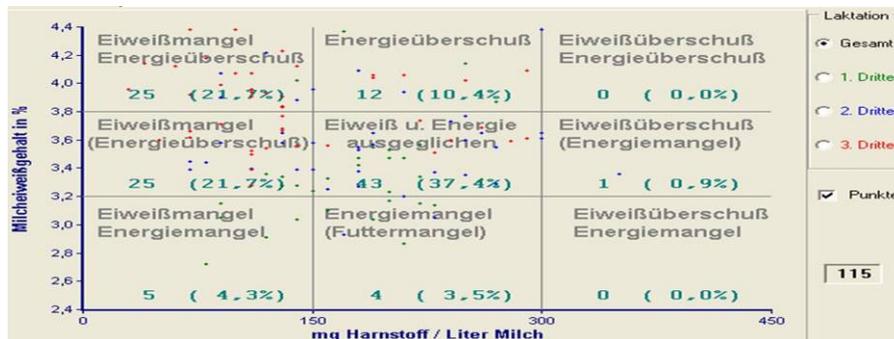


Abbildung 5: 9-Felder-Grafik (Quelle: ZUCHTMANAGER DSP AGROSOFT 2008)

Laut KÖNIG (2006) lässt sich mit den Parametern Zellzahl, Eiweiß- und Harnstoffgehalt der Besamungserfolg einer Kuh abschätzen. Die Fruchtbarkeit wird als ein Indikator für die Funktion der Energiebilanz einer Kuh angesehen. Dies kann man in umgekehrter Weise also nutzen.

Laktosegehalt

Der Laktose- oder Milchzuckergehalt ist weitgehend konstant zwischen 4,6 und 5,0 % und kann über die Fütterung nur wenig beeinflusst werden. Kühe, die über mehrere Laktationen hinweg geringe Laktosegehalte von unter 4,6 % aufweisen, sind meist gesundheitlich belastet (häufig Leberschäden) und können ihr Leistungspotenzial nicht voll ausschöpfen (AHRHOFF GMBH 2008). Inwieweit dieser Parameter zur Risikoeinschätzung für Fruchtbarkeitsstörungen geeignet ist, wird bisher in der Literatur nicht beschrieben. Dagegen ist man sich einig, dass dieser Parameter in Kombination mit Leitfähigkeit und Zellzahlen als Indikator für Eutererkrankungen brauchbare Hinweise liefert (LEMMER-FULLWOOD 2008).

2. Zuchthygienedaten

Unter Zuchthygienedaten fallen die Abkalbe- und Besamungsdaten, Brunstaufzeichnungen sowie Ergebnisse aus der Puerperalkontrolle und der Trächtigkeitsuntersuchung. Voraussetzung ist hier eine saubere und konsequente Datenerfassung. Die Kalbedaten erlauben zunächst eine Aussage zum Geburtsverlauf. Bei den Brunstaufzeichnungen ist vor allem die erste gezeigte Brunst post partum ein wichtiger Indikator für das Anlaufen des ovariellen Zyklus. Das Dokumentieren von Brunstbeobachtungen und Besamungsdaten ist für die Beurteilung des Zyklus unerlässlich und gibt Aufschluss über die Anzahl Besamungen, die für eine Trächtigkeit notwendig waren. Die Trächtigkeitsuntersuchung stellt schließlich fest, ob und wann eine Kuh trächtig geworden ist. Wichtig in diesem Zusammenhang ist ebenso die Puerperalkontrolle. Sie gibt Aufschluss über Uterusrückbildung, Ovarfunktion sowie Erkrankungen des Geschlechtsapparates und ist somit eigentlich schon ein Frühwarnsystem. Daher sind hier wichtige Parameter genannt, die zur Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen beitragen können.

3. Stoffwechselprofile

Weil Stoffwechselprofile sehr unregelmäßig vorliegen und meist nur als Stichprobe eine Aussage über das Herdenniveau zulassen, soll auf diese Daten nicht weiter eingegangen werden.

4. Körperkonditionsdaten

Um die Körperfettreserven einer Kuh und damit das Ausmaß der negativen Energiebilanz abzuschätzen, bedient man sich heutzutage des Body-Condition-Scorings (BCS) bzw. der Messung der Rückenfettdicke (RFD). Die Bestimmung des BCS ist das am häufigsten verwendete Verfahren und erfolgt durch Besichtigen und Betasten des Tieres. Die Rückenfettdickemessung wird hingegen mit Hilfe eines Ultraschallgerätes durchgeführt. Die folgende Abbildung 6 zeigt Körperregionen der Kuh, die bei der BCS-Abschätzung zu Hilfe genommen werden.

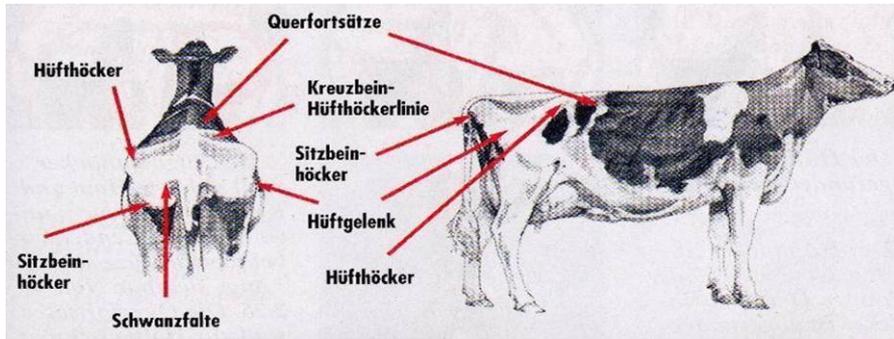


Abbildung 6: BCS Bonitur (Quelle: KALAYCI 2001)

Beim Body-Condition-Scoring wird eine Note von 1 bis 5 (auch Viertelnoten) nach Edmonson-Schema (EDMONSON et al. 1989) vergeben. Eine Einteilung der BCS-Noten im Vergleich zur Einteilung der Rückenfettdicken veranschaulicht Tabelle 8.

Tabelle 8: Einteilung von BCS und RFD (Quelle: STAUFENBIEL 2008)

verbal	BCS	RFD (mm)	Körperfettgehalt (kg)
kachektisch	1,0	< 5	< 50
sehr schlecht	1,5	5	50
schlecht	2,0	10	76
mäßig	2,5	15	98
gut	3,0	20	122
sehr gut	3,5	25	146
fett	4,0	30	170
verfettet	4,5	35	194
adipos	5,0	>35	>194

Um die Ergebnisse aus der BCS-Einschätzung oder der RFD-Messung beurteilen zu können, ist eine Bestimmung zu festgelegten Zeitpunkten sinnvoll. Von besonderem Interesse sind die Phasen des Trockenstehens, der Kalbung und der Frühlaktation. Im günstigsten Fall erfolgt eine Bestimmung einmal pro Monat. So wird es möglich, den Verlust an Körpermasse über einen bestimmten Zeitraum (z. B. Kalbung bis 1. Besamung) zu definieren und das Ausmaß der negativen Energiebilanz abzuschätzen.

In einem Projekt von SÖLKNER et al. (2008) wurde unter anderem der Einfluss von Body-Condition-Scoring, der BCS-Differenz, Milchharnstoffgehalt und Fett-Eiweiß-Quotient auf das Fruchtbarkeitsmerkmal Rastzeit untersucht. Im Ergebnis zeigte sich die Rastzeit von allen genannten Parametern als hoch signifikant abhängig. Bei einer BCS-Abnahme nach der Kalbung von 0,25 bis 0,5 Punkten ist nach ihren Aussagen bereits mit einer verlängerten Rastzeit zu rechnen. Körperkondition und Fruchtbarkeit korrelieren eng. Auch nach Untersuchungen von TRILK & REICHL (2006) haben geringe BCS-Werte zu Laktationsbeginn die höchsten Zwischentragezeiten zur Folge. Sie beziffern eine BCS-Differenz von Beginn der Trockenstehphase bis zur Geburt des Kalbes von 1,0 bis 1,5 als kritisch. Laut KIM & SUH (2003) führt dies zu Metritis und metabolischen Erkrankungen. Dies wiederum bringt eine Erhöhung der Rastzeit und somit hohe Zwischentragezeiten mit sich. BUTLER & SMITH (1989) ermittelten eine signifikante Verschlechterung des Erstbesamungserfolges bei einem Verlust der Körpermasse am Beginn der Laktation von mehr als einem BCS-Punkt. Ermittelte Korrelationen zur Rastzeit aus der Arbeit von SÖLKNER et al. (2008) sind in Tabelle 9 zu sehen. RICHARDT fand in Untersuchungen aus dem Jahr 2007 heraus, dass sich das Erkrankungsrisiko von Frischabkalbern in der Frühlaktation mit den Parametern FEQ und BCS zum Kalbezeitpunkt mit hoher Wahrscheinlichkeit vorhersagen lässt.

Tabelle 9: Heritabilitäten (Diagonale), genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonale) und phänotypische Korrelationen (unterhalb der Diagonale) für Rastzeit, Serviceperiode (Service), Milch-kg, Harnstoffgehalt (Harnstoff), Fett:Eiweiß-Verhältnis (F:E) und Laktosegehalt (Laktose) (Quelle: SÖLKNER et al., 2008)

Merkmal	Rastzeit	Service	Milch-kg	Harnstoff	F:E	Laktose
Rastzeit	0,22	1,00	0,65	-0,21	0,26	-0,12
Service	0,34	0,023	0,75	-0,14	0,10	-0,20
Milch-kg	-0,14	0,01	0,19	0,05	0,33	-0,26
Harnstoff	0,04	0,00	0,11	0,22	0,06	0,12
F:E	-0,07	0,00	0,00	0,11	0,10	0,00
Laktose	-0,12	-0,02	-0,04	0,03	-0,06	0,39

Für die Milchleistung errechneten sie zum Beispiel eine genetische Korrelation zur Rastzeit von 0,65. Dabei sind jedoch zum Teil hohe Standardfehler zu beachten. Abbildung 7 zeigt, dass in der Untersuchung von TRILK & REICHL (2006) Kühe mit dem höchsten absoluten BCS-Verlust die längsten Zwischentragezeiten aufwiesen.

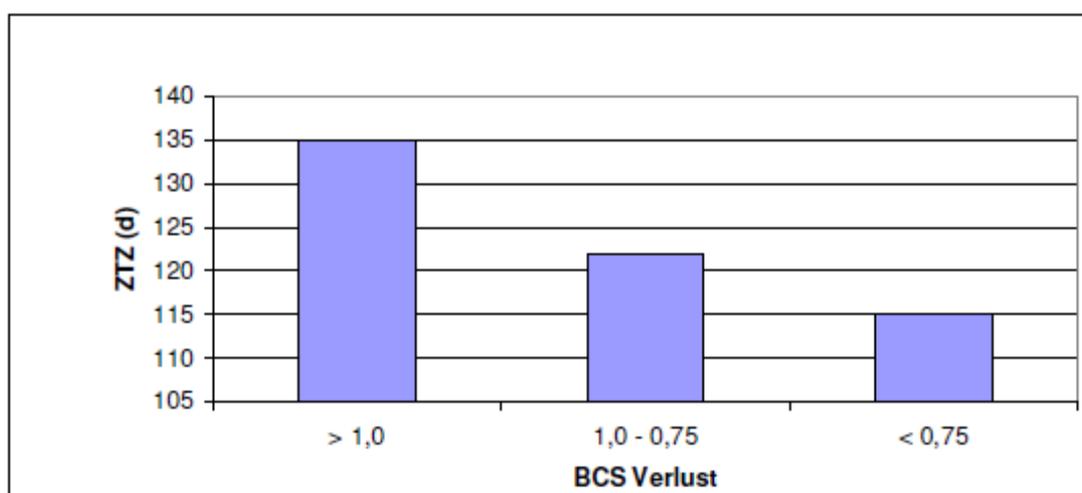


Abbildung 7: Zwischentragezeit bei unterschiedlichem BCS-Verlust (Quelle: TRILK & REICHL 2006)

5. Erkrankungsdiagnosen

Die Dokumentation von Gesundheitsdaten hat sich in den letzten Jahren vor allem durch die Tierhalter-Arzneimittel-Nachweisverordnung verbessert. Für die Erfassung von Gesundheitsdaten liegt ein zentraler Diagnoseschlüssel vor. Um eine Einheitlichkeit der Dokumentation und schließlich eine Nutzbarkeit für Frühwarnsysteme zu ermöglichen, muss dieser konsequent umgesetzt werden. Krankheitsdiagnosen können einen direkten Hinweis auf Fruchtbarkeitsstörungen, aber auch Aussagen zum Allgemeinbefinden des Tieres geben.

6. Daten aus der Fütterungskontrolle

Besitzt der Betrieb einen automatischen Kraffutterabruf, der auf Einzeltiererkennung basiert, so liegen täglich Daten über die Kraffutteraufnahme vor. Eine Minderaufnahme von Futter deutet eventuell auf Krankheiten hin. Weiterhin werden in vielen Betrieben in unregelmäßigen Abständen Futtermittelanalysen veranlasst. Für eine Früherkennung sollen diese Daten im vorliegenden Projekt vernachlässigt werden.

7. Aktivitätsdaten

Mit Hilfe einer Aktivitätsmessung des Tieres ist es technisch möglich, den Brunstverlauf der Kühe abzubilden. Die Bewegung der Kuh wird beispielsweise bei der Aktivitätsmessung der Firma DeLaval® stündlich erfasst und per Funk zu einer zentral im Stall angebrachten Antenne übertragen. Der Aktivitätssensor (Abbildung 8) ist dabei am Halsband der Kuh angebracht. Der Landwirt bekommt über spezielle Software angezeigt, ob eine Kuh eine erhöhte Aktivität aufweist. Ein ähnliches System wurde von der Firma Milkline® entwickelt, das sogenannte Heatime. Heatime überwacht ebenfalls automatisch die Aktivität der Kuh über eine Infrarotmessung. Geht die Kuh unter einer Identifizierungseinheit durch, sendet der Aktivitätsmesser die Daten an die Heatime-Kontrolleinheit. Die gesammelten Daten werden alle zwei Stunden gespeichert. Ein weiteres System zur Aktivitätsmessung ist der Pedometer. Hier wird versucht, über einen Schrittzähler Rückschlüsse über die Aktivität des Tieres zu ziehen. Der Pedometer wird dazu oberhalb der Klaue angebracht. Aktivitätsdaten können als frühzeitige Information zum Brunstverhalten dienlich sein.



Abbildung 8: Position des Aktivitätssensors am Halsband (Quelle: DELAVAL 2008)

Mit Hilfe eines Aktivitätsmesssystems ist es laut WÄNGLER (2004) möglich, eine äußerlich vom Landwirt oft unbemerkt verlaufende erste Brunst leichter zu erkennen. Die Erfassung dieser Information in einem Frühwarnsystem erscheint somit vielversprechend.

8. Kuhsignale

Kühe senden ständig Signale, die Auskunft geben über ihr Wohlbefinden und ihre Gesundheit (HULSEN 2004). Diese können sein:

- Körperhaltung
- Verhaltensweisen
- Äußerliche Merkmale

Ein Kuhsignal, welches Aufschluss über die Futteraufnahme einer Kuh gibt, ist die visuelle Einschätzung der Hungergrube, denn diese zeigt die Füllung des Pansens und somit die Futteraufnahme an. Besonders wertvoll ist dieses Signal in der Frühlaktation, weil ein Zusammenhang zur Tiergesundheit besteht (FISCHER et al. 2009). Demnach bekommen Tiere mit niedrigen Hungergrubennoten häufig Fieber nach der Abkalbung. Sie sind Risikotiere, die oft erkranken und behandelt werden müssen. Daher könnte die Bonitur der Hungergrube kurz vor und nach der Kalbung ein gutes Hilfsmittel für die Einschätzung des Risikostatus für eine gestörte Fruchtbarkeit einer Kuh sein. Ebenso ist ein tägliches Fiebermessen in den ersten fünf Tagen eine einfache Methode, um frühzeitig Gebärmutterentzündungen, Mastitiden und weitere Krankheiten zu diagnostizieren. Signalwert ist dabei eine Temperatur von über 39,5 °C.

2.2 Eutergesundheit beim Milchrind

Der Eutergesundheitsstatus der sächsischen Milchviehherden ist nicht zufriedenstellend und belastet die schwierige ökonomische Gesamtsituation zusätzlich. Zur Überwachung der Eutergesundheit stehen dem Milcherzeuger neben der Prüfung der Sekretbeschaffenheit des Vorgemelkes zu jedem Melkvorgang vielerlei sowohl labordiagnostisch als auch vor Ort einsetzbare spezielle Messtechniken (elektrische Leitfähigkeit, Zellzahl) bzw. indirekte Messverfahren (Milchzelltest) prüfbare Indikatoren mit unterschiedlicher Aussagesicherheit zur Verfügung. Für eine routinemäßige Anwendung sind diese aufgrund ihrer hohen Kosten jedoch kaum geeignet, weil die Ergebnisse nicht im erforderlichen Zeitrahmen verfügbar sind und/oder es an einer adäquaten Möglichkeit zur komplexen Erfassung und Auswertung mangelt.

2.2.1 Milchabgabe und Milchfluss

Die Milchflussgeschwindigkeit ist einerseits abhängig von der Weite und dem Spannungszustand des Zitzenkanals und andererseits abhängig von der Nachflussgeschwindigkeit der Milch in die Zitzenzisterne während des Melkens (SCHULZ 1994).

In der Literatur wird überwiegend von wenig ausgeprägten bzw. nichtlinearen Zusammenhängen von Kennziffern des Milchflusses und Parametern der Eutergesundheit berichtet. Abweichungen von einem normalen Milchfluss, welcher mit 1-2 kg/min angegeben wird (IBEN 2007), gehen einher mit einer Zunahme der Mastitishäufigkeit. Tiere mit größerem Strichkanaldurchmesser und schwachem Zitzenschließmuskel können zwar aufgrund höherer Milchflüsse hinsichtlich arbeitswirtschaftlicher Aspekte als vorteilhaft angesehen werden, jedoch ist bei diesen Tieren auch das Eindringen von Mastitiserregern erleichtert und damit das Risiko für Euterentzündungen erhöht (GRINDAL & HILLERTON 1991; GÖFT et al. 1994; GULYAS & IVANCSICS 2001). Leichtmelkigkeit ist mit der Laktationszellzahl korreliert (RUPP & BOICHARD 1999). Die Autoren geben eine genetische Korrelation von $r_g = 0,44$ an. Schwer melkende Kühe hingegen sind infolge der Belastung des Eutergewebes einer möglichen Schädigung von Schleimhaut und Schließmuskel ausgesetzt, was ebenso die Mastitisanfälligkeit steigert. Vergleichbare Auswirkungen sind bei einer unausgeglichener Viertelgemelksabgabe zu erwarten, insbesondere wenn zum Ende des Melkprozesses einzelne Viertel bereits blindgemolken werden. Untersuchungen von PERES-GUZMAN et al. (1986) ergaben, dass sowohl positive als auch negative Abweichungen des DMG vom Mittelwert mit einer Verschlechterung der Eutergesundheit einhergehen, wodurch die beschriebenen physiologischen Zusammenhänge Bestätigung finden. GÖFT (1991) sowie GULYAS & IVANCSICS (2001) geben aus eutergesundheitlicher Sicht einen Optimalbereich für den Parameter DMG von 2,00 kg/min bis 4,00 kg/min an. ROTH et al. (1998) konnten keine signifikanten Beziehungen zwischen bakteriellem Befund und Milchmenge, durchschnittlichem bzw. höchstem Milchfluss sowie Melkdauer feststellen und nur lose Zusammenhänge zwischen der Zellzahl und Milchflussparametern, während GÖFT et al. (1994) eine positive Korrelation von $r = 0,29$ zwischen dem höchsten Milchfluss und der Zellzahl errechneten. (ROTH et al. 1998) halten eine nichtlineare Beziehung zwischen Eutergesundheit und Melkbarkeit für eine denkbare Begründung für die nur sehr geringen Korrelationen. Vor allem subklinische Euterinfektionen spiegeln sich den Autoren nach nicht in wesentlichen Kurvenveränderungen wider. Weiterhin sind in der Problematik der Merkmalerfassung und der Merkmalsauswahl mögliche Ursachen für diese Ergebnisse zu sehen. PETERMANN et al. (2001) weisen auf einen um durchschnittlich 17,3 % höheren maximalen Milchfluss bei subklinisch infizierten Eutervierteln im Vergleich zu gesunden Vierteln hin. Ebenso stellte auch KÖHLER (2002) fest, dass entgegen den Erwartungen neben signifikant geringerer Milchbildung, höherer elektrischer Leitfähigkeit und längerer Zwischenmelkzeit bei auffälligen Eutervierteln auch der Milchfluss signifikant höher war als bei unauffälligen Eutervierteln. Daraus wurde auch hier geschlussfolgert, dass sich der Milchfluss erkrankter Viertel uneindeutig verhält. Eine Studie von TANČIN et al. (2007) ergab, dass Tiere mit einer Zellzahl im Bereich 200.000 bis 500.000/ml Milch einen signifikant höheren Spitzenmilchfluss hatten gegenüber Tieren mit einer geringeren bzw. höheren Zellzahl, während hinsichtlich der Parameter Milchleistung und der Melkdauer die Tiere mit einer Zellzahl von < 200.000/ml Milch signifikant höhere Werte aufwiesen als Tiere mit einer höheren Zellzahl.

LactoCorder[®]-Messungen des LKV Sachsen-Anhalt e.V. im Jahr 2005 ergaben nachfolgende gemittelte Gemelkswerte (BAUMGART 2005): einen höchsten Milchfluss von 3,27 kg/min, einen durchschnittlichen Milchfluss von 1,78 kg/min und eine Gesamtmelkdauer von 7,03 min. Nach NELSON PHILPOT & NICKERSON (2004) sollte der Spitzenmilchfluss über 4 kg/min betragen. Hinsichtlich der Melkdauer geben sie bei Gemelken von 9 bis 11 kg ca. fünf Minuten an und für je 4,5 kg mehr eine Minute zusätzlich. Eine Untersuchung von TANČIN et al. (2006) ergab keinen Einfluss der Laktationsnummer auf den mittleren Milchfluss, den Spitzenmilchfluss und die Melkdauer, jedoch signifikante Einflüsse des Laktationsstadiums auf den Milchfluss. Hinterviertel hatten signifikant höhere Milchmengen, eine längere Melkdauer, einen höheren Spitzenmilchfluss und einen

höheren mittleren Milchfluss als Vorderviertel. Weiterhin waren signifikante Unterschiede der Gemelksdaten zwischen der Morgen- und der Abendmelkzeit zu verzeichnen, wie aus 10 hervorgeht.

Tabelle 10: Gemelksdaten in Abhängigkeit der Melkzeit (nach TANČIN et al. 2006)

Parameter	früh	abends
Milchmenge (kg)	16,6 a	13,1 b
Melkdauer (s)	422 ± 8 a	363 ± 8 b
durchschnittlicher Milchfluss (kg/min)	2,25 ± 0,08 a	2,03 ± 0,08 b
Spitzenmilchfluss (kg/min)	3,52 ± 0,15 a	3,45 ± 0,15 b

p < 0,05; a,b – die Gruppen unterscheiden sich signifikant

KÖHLER (2002) konnte in einer Untersuchung feststellen, dass die Milchbildung sowie der Milchfluss der Hinterviertel gegenüber den Vordervierteln signifikant höher waren.

Nach SANDRUCCI et al. (2007) wird der Milchfluss neben der Laktationsnummer und dem Laktationsstadium auch wesentlich durch die Melkvorbereitung beeinflusst. Tiere mit guter Melkvorbereitung wiesen eine höhere Milchleistung, eine kürzere Melkdauer, einen höheren durchschnittlichen Milchfluss sowie Spitzenmilchfluss und weniger sog. Bimodalitäten auf. Tiere mit bimodalen Kurven wiederum hatten eine höhere Zellzahl. Auch die Zeitdauer bis zum Ansetzen des Melkzeuges hat nach SANDRUCCI et al. (2007) einen signifikanten Einfluss auf den durchschnittlichen Milchfluss, die Melkdauer und das Auftreten von Bimodalitäten.

2.2.2 Eutergesundheit

2.2.2.1 Mastitis

Entzündliche Erkrankungen der Milchdrüse aufgrund vorwiegend infektiöser, aber auch traumatischer oder toxischer Ursachen werden nach DISTL (1996) als Mastitiden bezeichnet. Eutererkrankungen sind in der Milchrinderhaltung ein Krankheitskomplex, welcher infolge von Milchminderleistungen, der Nichtverwertbarkeit der Milch erkrankter/behandelter Tiere, der Veränderung der Milchzusammensetzung, Medikamenten- und Tierarztkosten, einer Beeinträchtigung der Nutzungsdauer, eines erhöhten Arbeitsaufwandes sowie schlechterer Fruchtbarkeitsleistungen empfindliche finanzielle Einbußen verursacht (DUDA 1996; BRADE 2001; JAHNKE 2004; KRÖMKER 2007). Mastitiden führen weiterhin zu Veränderungen der Zusammensetzung sowie der chemisch-physikalischen Eigenschaften der Milch, welche sich nachteilig auf die Verarbeitungs- und Produkteigenschaften auswirken. Wegen des weitaus häufigeren Auftretens subklinischer Mastitiden sind insbesondere diese bedeutsam. Bei der Mastitiserkrankung werden die in Tabelle 11 aufgeführten Kategorien unterschieden.

Tabelle 11: Mastitis-Diagnostik anhand zytologisch-mikrobiologischer Befunde* (DVG 2002, in Anlehnung an IDF 1967)

Zellgehalt pro ml Milch	Euterpathogene Mikroorganismen	
	nicht nachgewiesen	nachgewiesen
< 100.000	normale Sekretion	latente Infektion
> 100.000	unspezifische Mastitis	Mastitis

* Diese Definition gilt für die Untersuchung von Viertelgemelksproben, die zur üblichen Melkzeit aus dem Anfangsgemelk von Kühen in normaler Laktation entnommen werden.

Die Kategorien werden wie folgt definiert (DVG 2002):

Normale Sekretion

Gesunde Euterviertel sind solche, die keine äußerlichen pathologischen Veränderungen zeigen und deren Milch keine euterpathogenen Mikroorganismen und einen normalen Zellgehalt ($< 100.000/\text{ml}$) aufweisen.

Latente Infektion

Eine latente Infektion liegt vor, wenn sich die Zellzahl in der Norm bewegt, jedoch Mastitiserreger nachgewiesen werden. (Anmerkung: Zwischen latenter Infektion des Eutergewebes und einer auf den Zitzenkanal begrenzten Besiedlung oder Infektion kann aufgrund der herkömmlichen Probenahme von Viertelanfangsgemelksproben nicht unterschieden werden.)

Unspezifische Mastitis

Werden keine Mastitiserreger nachgewiesen und liegen subklinische Befunde oder klinische Symptome vor, so spricht man von einer unspezifischen Mastitis.

Mastitis

Werden gleichzeitig Mastitiserreger und erhöhte Zellzahlen in Viertelanfangsgemelken festgestellt, handelt es sich um eine Mastitis.

Euterentzündungen in Form von unspezifischer Mastitis oder Mastitis treten in unterschiedlichen Verlaufsformen und in Verbindung mit verschiedenartigen klinischen Symptomen auf (DVG 2002).

■ Subklinische Mastitis

Entzündungen des Euters ohne äußerlich erkennbare Symptome. Der Zellgehalt in der Milch ist erhöht und die chemische Zusammensetzung der Milch ist verändert. In zwei aus drei Untersuchungen (Probenahmeintervall eine Woche) können Mastitiserreger nachgewiesen werden.

■ Klinische Mastitis

Bei einer klinischen Mastitis sind je nach Entzündungsgrad auch äußerlich erkennbare Entzündungssymptome der Milchdrüse wie erhöhte Temperatur, Schmerzen, Schwellung, Fieber und/oder makroskopischer Veränderung (Flocken, insbesondere im Vorgemelk) der Milch vorhanden.

■ Chronische Mastitis

Eine chronische Mastitis ist charakterisiert durch ein nicht zur Ausheilung (spontan oder durch Behandlung) gekommenes langfristiges Erkrankungsgeschehen. Betroffene Euterviertel können zur Atrophie neigen oder zeitlebens anomale klinische oder subklinische Befunde aufweisen.

Die Begriffe subakut, akut und chronisch beschreiben im Zusammenhang mit Mastitiden die zeitliche Dauer der Erkrankung. In Tabelle 12 sind Zielvorgaben verschiedener Autoren zum Auftreten von Mastitiden und Neuinfektionen aufgeführt.

Tabelle 12: Kriterien und Zielwerte zur Beurteilung des Eutergesundheitsstatus

Kriterium	Zielwert/Grenzwert	Bemerkung	Autor
Neuinfektionsrate	< 0,05 (< 5 Neuinfektionen pro 100 Viertel und Jahr)	basierend auf mind. 2 zytologisch-mikrobiol. Untersuchungen	DVG (2002)
Gesamtinzidenz klinischer Mastitis	< 24%	Anteil klinischer Mastitiden einer Herde bezogen auf ein Jahr	WOLTER et al. (2002)
klinische Mastitiden	< 12	(%) pro Jahr	KRÖMKER (2007)

2.2.2.1.1 Ätiologie und Pathogenese

Mastitiden sind Faktorenkrankheiten, d. h. nur im Zusammenspiel mit begünstigenden Faktoren (exogene und/oder endogene Stressoren) ist ein Mastitiserreger in der Lage, ein Euter zu infizieren. Für die Entstehung und den Verlauf von Mastitiden sind neben der Infektionslage (Erregerreservoir) auch umweltassoziierte (u. a. Fütterung, Haltung, Melken) und kuhassoziierte (v. a. Tiergesundheit) Faktoren von Bedeutung (IBEN 2007b), welche die Kontamination der Euter- und Zitzenhaut sowie die Invasion in die Milchdrüse beeinflussen. Infektionsfördernde Einflüsse werden in Abhängigkeit der Empfänglichkeit des Einzeltiers wirksam bzw. bewirken herdenspezifisch eine Minderung der Fähigkeit zur Infektionsabwehr des Einzeltiers (DVG 2002). Insbesondere die Anatomie des Euters und der Zitzen, die Abwehrreaktionslage des Euters, die Melktechnik, die Melkhygiene, die Melkarbeit, die Tiergesundheit, die Hygiene, die Fütterung, das Haltungssystem, das Management, die Eigenschaften der Erreger (Pathogenität und Virulenz) sowie die Erregerdichte werden als Einflussfaktoren auf die Eutergesundheit bzw. die Ausprägung und den Verlauf von Euterentzündungen benannt (RONNINGEN & REITAN 1990; SCHULZ 1994; KLAAS 2000; WOLTER et al. 2002; MAHLKOW-NERGE 2004; IBEN 2007b; KRÖMKER 2007).

Das Ein- und Vordringen euterpathogener Keime erfolgt zumeist über den galaktogenen Infektionsweg, d. h. über den Strichkanal, in die Zisterne und weiter über die Milchgänge bis in die Alveolarhöhlräume. Für humane/bovine Mykobakterien, Brucellen und Listerien gibt es ausschließlich den sog. hämatogenen Infektionsweg, bei dem die primären Orte der Auseinandersetzung mit dem Erreger im interalveolären und interlobulären Bindegewebe, in der Umgebung der Blutgefäße, liegen. Beim Mastitiserreger *Escherichia coli* wird dieser Infektionsweg als möglich angenommen (SCHULZ 1994). Beim lymphogenen Infektionsweg erfolgt die Erregerverbreitung in den Lymphspalten längs der Lymphgefäße, wobei primäre Eintritts- und Vermehrungsorte der betreffenden Keime oft Wunden und Insektenstiche mit ihren allergisch-toxischen Reaktionsgebieten sind. Ein Teil der Euterinfektionen mit *Actinomyces pyogenes* nimmt diesen Weg, auch für Clostridien, Nekrosebakterien und möglicherweise auch für *Staphylococcus aureus* kann er angenommen werden (SCHULZ 1994).

Die euterassoziierten Mastitiserreger werden nahezu ausschließlich in Verbindung mit dem Melkvorgang verbreitet, während die Invasion mit umweltassoziierten Keimen überwiegend in der Zwischenmelkzeit erfolgt. Nach der Invasion des Zitzenkanals und der Zitzenzisterne erfolgt die Besiedlung der inneren Schleimhäute und des Milchdrüsengewebes mit nachfolgender Entzündungsreaktion der Milchdrüse. Die spezifischen Eigenschaften der Mikroorganismen und die entsprechenden Reaktionen des Makroorganismus bestimmen letztlich das Krankheitsgeschehen, also ob es zur Selbstheilung, zur subklinischen oder gar zur klinischen Mastitis kommt (KRÖMKER 2007).

Im Zusammenhang mit dem Infektionsgeschehen ist vordergründig die Periode der Früh-laktation bedeutsam, weil vielfältige hormonelle, metabolische und zytologische Umstellungsprozesse ein labiles physiologisches Gleichgewicht auslösen, sodass eine effektive Funktion des Abwehrsystems gegenüber Neuinfektionen häufig nicht gegeben ist (DVG 2002). Wichtige Elemente der Mastitisbekämpfung sind die Reduktion des Kontaminationsrisikos, die Verminderung von (melktechnisch bedingten) Gewebeschädigungen, die Verminderung der Erregerverschleppung, die Stabilisierung der Abwehrmechanismen der Kuh, eine adäquate Therapie sowie die Ausmerzung therapieresistenter Tiere (DVG 2002).

Tabelle 13: Auftreten von Mastitiden nach verschiedenen Autoren

Kriterium	Wert	Bemerkung	Autor
Inzidenz klin. Mastitis	16,2 %	Untersuchung in 16 Betrieben	HEUER et al. (1999)
mittlere Mastitisprävalenz	72 % (Kühe) 32 % (Viertel)	drei im wöchentlichen Abstand genommene Viertelanfangsgemelke ausgewertet nach DVG (2002)	GRABOWSKI (2000)
monatliche Rate klinischer Mastitis	0,98 ± 1,24 % bis 7,96 ± 5,49 %	Untersuchung in 15 Betrieben	KLAAS (2000)
klinische Mastitiden bis 50. Tag p.p.	38,9 %		
mittlere Mastitisprävalenz	64 % (Kühe) 30 % (Viertel)	drei im wöchentlichen Abstand genommene Viertelanfangsgemelke ausgewertet nach DVG (2002)	REDEZKY (2000)
Mastitisfrequenz	29,1 – 45,4 %	Untersuchung in drei Betrieben	HINRICHS (2004)
Mastitisfälle im 1. Monat p.p.	44,95 %	Datenerhebung in 98 Milchviehbetrieben	PRIEN (2006)

Tabelle 13 verschafft einen Überblick zum Auftreten von Mastitiden, resultierend aus diversen Untersuchungen. Auffallend dabei ist, dass Mastitiden überwiegend zu Beginn der Laktation auftreten, was auch HINRICHS (2004) feststellte. Neben einer Häufung der Mastitiden in der Trockenstehperiode wird immer wieder von einer vermehrten Erkrankungsrate in den ersten Laktationswochen berichtet, was die Forderung von MAHLKOW-NERGE (2004) nach einer stabilen Stoffwechsellage als maßgebliche Voraussetzung für ein abwehrstarkes und gesundes Euter unterstützt, welche in der Phase der Früh-laktation mit zunehmenden Milchleistungsvermögen an Problematik gewinnt. Bei einer Studie von REDEZKY (2000) erkrankten innerhalb einer Laktation ca. 80 % der Tiere in den ersten acht Wochen p.p. erstmalig, zwei Drittel davon waren unspezifische Mastitiden. Auch bei GRABOWSKI (2000) überwogen die unspezifischen Mastitiden bei den betroffenen Tieren. KLAAS (2000) konnte in Hintervierteln tendenziell häufiger Mastitiden feststellen. KLAAS (2000) und KÖSTER (2004) wiesen in den Hintervierteln häufiger Mastitiserreger nach und ermittelten eine Zunahme erregerspezifischer Viertel im Verlauf der Laktation. PRIEN (2006) bzw. HINRICHS (2004) konnten ein zunehmendes Risiko für Euterentzündungen bzw. eine ansteigende Mastitisfrequenz mit steigender Laktationsnummer feststellen.

2.2.2.1.2 Schutz und Abwehrmechanismen

Das Abwehrsystem der Milchdrüse basiert auf vorrangig unspezifischen, aber auch enzymatisch wirkenden Abwehrfaktoren sowie mechanischen Abwehrmechanismen. Der Schließmuskel des Zitzenkanals, dessen Funktion in unmittelbarer Beziehung zur Weite des Strichkanals steht, sowie das nach außen gerichtete Wachstum des Zitzenkanalepithels wirken dem Eindringen von Erregern entgegen (IBEN 2007a). Durch den nach außen gerichteten Sekretstrom werden die in den Zitzenkanal eingedrungenen Erreger ausgespült. Neben der rein mechanischen Schutzwirkung der Zitzenbarriere spielen die Fürstenbergsche Rosette als Ort immunzellulärer Abwehr sowie die bakterizide Wirkung des Laktosebums im Zitzenkanal eine weitere wichtige Rolle.

DISTL (1996) wies darauf hin, dass die Exterieurmerkmale des Euters aus züchterischer Sicht wichtig sind für die Eutergesundheit und die morphologischen Merkmale der Zitze in einer günstigen genetischen Beziehung zur Mastitisanfälligkeit stehen. Der schnelle und umfangreiche Übertritt von Leukozyten und dabei insbesondere polymorphkerniger neutrophiler Granulozyten (PMN) aus dem Blut in das Lumen der Alveolen infolge verstärkter Bakterieninvasion, ist der wichtigste Abwehrmechanismus gegen Mastitis (WOLTER et al. 2002). Als Antwort auf ein Eindringen pathogener Mikroorganismen steigt der PMN-Gehalt innerhalb von 12 bis 24 Stunden deutlich an. Die antibakterielle Wirkung der Milch, welche das Wachstum von Bakterien hemmt, sie tötet und unschädlich macht, beruht neben diesen zellulären Abwehrfaktoren auch auf humoralen Abwehrfaktoren. Humorale Faktoren, deren Konzentration allerdings erst einige Zeit nach der Infektion ansteigt, sind die Immunglobuline, Komplementfaktoren, das Lactoperoxidase-Thiocyanat-Wasserstoffperoxid-System, Lactoferrin und Lysozym (DISTL 1996; WOLTER et al. 2002).

2.2.2.2 Mastitiserreger

Euterpathogene Erreger werden in Abhängigkeit deren Pathogenität in sog. „major pathogens“ und „minor pathogens“ eingeteilt. Zur Gruppe der „minor pathogens“ gehören *Corynebacterium bovis* (*C. bovis*) und Koagulase-negative Staphylokokken (KNS). Die übrigen Mastitiserreger werden zu den „major pathogens“ gezählt. Eine weitere Einteilung euterpathogener Erreger erfolgt, basierend auf deren Eigenschaften, in die Klassen „umweltassoziiert“ und kontagiös „euterassoziiert“. Die Einteilung der Erreger nach deren Hauptquellen und Pathogenität sind für die Auswahl von Bekämpfungsmaßnahmen bedeutsam. Während Mastitiden in der Vergangenheit mehrheitlich monokausal durch kuhassoziierte Erreger wie *Staphylococcus aureus* oder *Streptococcus agalactiae* hervorgerufen wurden, treten in den letzten Jahren Infektionen mit umweltassoziierten Keimen und opportunistischen Hautbesiedlern in den Vordergrund (IBEN 2007b). Diese Verschiebung des Erregerspektrums ist vordergründig zurückzuführen auf zunehmende Prophylaxemaßnahmen und geänderte Haltungsbedingungen (KRÖMKER 2007).

2.2.2.2.1 Major Pathogens

2.2.2.2.1.1 Euterassoziierte Mastitiserreger

Das Haupterregerreservoir euterassoziiierter Erreger, welche vor allem während des Melkens über Melkerhände, Eutertücher, Melkzeug und Milch von Kuh zu Kuh und von Viertel zu Viertel verbreitet werden, ist die infizierte Milchdrüse (Tabelle 14). Durch kontagiöse euterassoziierte Erreger bedingte Mastitiden verlaufen häufig subklinisch und erhöhen die Tankmilchzellzahl.

■ *Staphylococcus aureus* (*St. aureus*)

Dieser Erreger besiedelt v. a. Läsionen der Zitzenhaut und den Zitzenkanal. *St. aureus* bildet tiefe Infektionsherde in den Milchkanälen, die mit Abkapselung der Erreger und Abszessbildung einhergehen. Infolge der Abkapselung entzieht sich der Keim der Angreifbarkeit durch Antibiotika. Betroffene Tiere fallen durch eine konstant hohe Zellzahl auf, klinische Fälle sind aber selten (KRÖMKER 2007). Wird die Infektion mit *St. aureus* frühzeitig erkannt, kann eine gezielte Therapie die Rückbildung der Gewebeschäden bewirken. Chronische Infektionen führen hingegen zur irreversiblen Zerstörung des Milchdrüsenorgans. Infektionen mit *St. aureus* können eine um bis zu 45 % pro Viertel und 15 % pro Kuh verringerte Milchleistung bewirken (KRÖMKER 2007). Nach WOLTER et al. (2002) wird *St. aureus* in ca. 20 % aller bakteriologisch-positiven Viertelgemelksproben nachgewiesen.

■ *Streptococcus agalactiae* (Gelber Galt)

Sc. agalactiae ist streng an die Milchdrüse adaptiert, wenngleich er auch in Einstreu, auf der Zitzenhaut oder auf Handoberflächen der Melkenden gefunden wird (KRÖMKER 2007). In Verbindung mit diesem Keim treten v. a. subklinische und latente Infektionen auf (WENDT et al. 1994). Die klinische Form zeigt meist keine Störungen des Allgemeinbefindens, allenfalls nur lokale Symptome wie Rötung und Schwellung des betroffenen Viertels und Veränderungen des Sekrets (Flocken, Fibrin, wäßriges Sekret). *Sc. agalactiae* reagiert sensibel auf Penicillin-Präparate (WOLTER et al. 2002).

■ *Streptococcus dysgalactiae*

Der Erreger, welcher sich durch eine gute Haftungsfähigkeit am Epithel der Milchdrüse auszeichnet, kann außerhalb der bovinen Milchdrüse, v.a. im Bereich des weiblichen Genitale und der Tonsillen gefunden werden und verursacht sporadisch v.a. subklinische gelegentlich auch klinische Mastitiden (KRÖMKER, 2007). Die durch *Sc. dysgalactiae* hervorgerufene Mastitis hat keinen kontagiösen Charakter (WENDT ET AL., 1994).

■ Weitere Streptokokken

Streptokokken mit dem gruppenspezifischen Zellwandantigen G und L kommen beim Rind nur sporadisch als Mastitiserreger vor. Während G-Streptokokken im Rachen und in anderen Organen des Hundes sowie gelegentlich beim Mensch gefunden werden, kommen L-Streptokokken eher in Schweinepopulationen, selten beim Hund und beim Geflügel vor (KRÖMKER 2007).

2.2.2.2.1.2 Umweltassoziierte Mastitiserreger

Umweltkeime siedeln außerhalb des Euters. Neben Einstreu und Stalleinrichtungen als mögliche Infektionsquellen kommen als Orte der Vermehrung bzw. der Ansiedlung der Darmtrakt, die Genitalorgane und infektiöse Prozesse wie Abszesse, Haut- und Muskelwunden und Klauenleiden infrage (SCHULZ 1994). Die Abwehrsituation der lokalen Keimeintrittspforte (Zitze) und die Gesamtabwehrsituation des Tieres, verursacht durch Managementfehler, haben an der Entstehung von sog. Umweltmastitiden einen ebenso essentiellen Anteil wie die hygienischen Bedingungen. Umweltkeime sind v. a. bei abwehrschwachen Tieren in

der Lage, Euterentzündungen hervorzurufen. Daher treten Infektionen mit umweltassoziierten Erregern gehäuft im Zeitraum der Trockenperiode und der Frühlaktation auf (KRÖMKER 2007). Im Zusammenhang mit umweltassoziierten Erregern treten sowohl klinische als auch subklinische Mastitiden auf, wobei die klinischen Symptome auch lange nach der Infektion auftreten können. Bis zu 50 % der Erkrankungen heilen spontan ohne Behandlung. Gelegentlich können sie hartnäckige, schwer therapierbare Infektionen hervorrufen.

■ Umweltstreptokokken (*Sc. uberis*, *Enterococcus* spp.)

Während *Sc. uberis* in nassem, verpilztem Stroh zu finden ist, stellt Rinderkot ein Reservoir für Enterokokken dar (Tabelle 14). *Sc. uberis* gehört zu den Streptokokken ohne Gruppenantigen und ist wenig milchdrüsenpathogen. Bei Kühen wurde *Sc. uberis* auch im Pansen, in der Maulhöhle und im Rektum nachgewiesen (WENDT et al. 1994). Infektionen treten v. a. während der Trockenperiode auf. Der Verlauf ist überwiegend subklinisch, klinische Mastitiden sind selten (WOLTER et al. 2002). Enterokokken sind gegenüber *Sc. uberis* durch eine deutlich schlechtere Resistenzsituation gekennzeichnet.

Die Dauer von Infektionen mit Umweltstreptokokken ist relativ kurz, die mittlere Infektionsdauer wird mit 12 Tagen angegeben (KRÖMKER 2007). Etwa 45 % dieser Infektionen heilen spontan aus, bei 40 % aller klinischen Fälle sind lediglich Flocken im Sekret betroffener Viertel auffällig.

Tabelle 14: Reservoirre von Mastitiserregern (KRÖMKER 2007)

Erreger	Reservoir	Übertragung beim Milchentzug
St. Aureus	M, W, T, G	+++
Sc. Agalactiae	M, W, T, Me	+++
Sc. Dysgalactiae	M, W, T	+++
L- und G-Streptokokken	M, U, Me	+++
S. pyogenes A	M, U	+++
Corynebacterium spp.*	H, M	+++
Mycoplasma spp.	M, T, G	++
Prototheca spp.	D, U, Th	++
Sc. Uberis	M, W, T, D, H, E	+
Enterococcus spp.	M, W, D, H	+
E. coli, Enterobacter spp.	G, D, H, E	+
Klebsiella spp.	G, D, H, E, S	□
Koagulase-negative Staphylokokken**	M, W, H	+
Nocardien spp.	U, H	+
Bacillus cereus	U, Th	□
Chlamydia spp.	G, U, H	+
Coxiella burnetti	M, I, U	+
A. pyogenes	M, W, H, U, I	□
Hefen	U, Th	+

M = infizierte Milchdrüse; W = Wunde; T = Tonsillen/Respirationstrakt; G = Urogenitaltrakt; D = Darm/Kot; H = äußere Haut; E = Einstreu; S = Sägemehl; U = Umwelt; Th = Therapeutika; I = Insekten; Me = Mensch; *minor pathogens; **KNS – v.a. *St. ceuri*, *St. chromogenes*, *St. conii*, *St. epidermidis*, *St. hominis*, *St. hyicus*, *St. simulans*, *St. warneri*, *St. xylosum*

■ Coliforme Keime/Enterobacteriaceae (E. coli, Klebsiella spp., Enterobacter spp.)

Infektionen mit coliformen Keimen persistieren in über 50 % aller Fälle weniger als 10 Tage und über 70 % aller Fälle weniger als 30 Tage. Selten verlaufen Infektionen als sog. Colimastitis mit deutlicher Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens, die sofortiger Behandlung bedarf (KRÖMKER 2007).

E. coli-Mastitiden werden gehäuft unmittelbar nach der Geburt und in den ersten Laktationswochen beobachtet (WOLTER et al., 2002). Sie verlaufen meist akut oder perakut und häufig unter erheblichen Allgemeinsymptomen. Bei Mastitiden mit tödlichem Ausgang ist E. coli der am häufigsten nachgewiesene Erreger.

Klebsiella spp. gehören wegen deren schwacher Virulenz überwiegend zu den typischen Erregern faktoerenbedingter Infektionen (IBEN 2007c).

Enterobacter (u. a. E. cloacae) sind typische Erreger opportunistischer Infektionen. Ausgehend vom Darm können sie andere Körperregionen besiedeln und dort schwere Infektionen verursachen (IBEN 2007c). Enterobacteriaceae können perakute oder akute schwere Mastitiden hervorrufen, chronische oder subklinische Formen sind seltener (DVG 2000).

2.2.2.2 Minor Pathogens

Corynebacterium bovis ist ein Bewohner des Zitzenkanals und der Zitzenzisterne.

Bei der sehr heterogenen Staphylokokkengruppe, den sog. koagulase-negativen Staphylokokken, die aufgrund des fehlenden Pathogenitätsfaktors „Koagulase“ zusammengefasst werden, handelt es sich um Bewohner der Zitzenhaut (Tabelle 14). Die Pathogenität dieser Bakterien ist sehr unterschiedlich. Bei Störungen der Zitzenkondition und als Mastitiserreger erstlaktierender Tiere ist ein gehäuftes Auftreten zu verzeichnen. KNS-Infektionen verlaufen meist subklinisch mit um das 2-3-fache erhöhten Zellzahlen betroffener Viertel gegenüber gesunden Vierteln (KRÖMKER 2007). In einer Vielzahl von Studien konnte ein hoher Anteil von KNS im Keimspektrum von Mastitissekreten (bis zu 30 %), aber auch in unveränderten Milchproben (bis zu 50 %) nachgewiesen werden (BAUMGARTNER et al. 2005b). Die Optimierung der Zitzenkondition, die Zitzendesinfektion nach dem Melken und die antibiotische Therapie zum Trockenstellen sind Maßnahmen, KNS-Infektionen zu bekämpfen.

2.2.2.2.1 Seltene Mastitiserreger

■ Mycoplasmen

Mycoplasmen verursachen hochansteckende klinische Mastitiden mit akutem bis chronischem Verlauf, welche therapeutisch kaum beeinflussbar sind. Typisch ist ein massiver Milchrückgang (bis zur Atrophie) und das Überspringen der Infektion von Viertel zu Viertel (KRÖMKER 2007). Zum Nachweis von Mycoplasmen aus Milchproben sind spezielle Nährböden und mehrtägige Bebrütungszeiten notwendig.

■ Hefen

Hefemastitiden entstehen insbesondere bei unsachgemäßer, unhygienischer intramammärer antibiotischer Therapie. Sie gehen einher mit Zellzahlen im Millionenbereich und heilen häufig spontan. Wirksame Therapeutika existieren nicht. Hefen werden häufig als Kontaminanten in Viertelgemelksproben identifiziert (KRÖMKER 2007). In der latenten Form können die Erreger über Monate nachweisbar sein (WENDT et al. 1998).

■ Prototheken

Prototheken sind farblose Algen und verursachen selten, aber bestandsweise gehäuft subklinische und klinische Mastitiden unterschiedlicher Schwere. Infektionsquellen von Prototheken sind stark verschmutzte Einstreu, Stallbereiche mit ausgeprägter Nässe, Grundfutter mit hohem Ascheanteil, Tierkot und Milchdrüsen infizierter Tiere. Als Ursache für Protothekenmastitiden gilt außerdem eine unzureichende Reinigung und Desinfektion vor der Anwendung von Arzneimitteln in der Milchdrüse. Infizierte Tiere sind nicht heilbar. Prototheken treten auch als Kontaminanten unsauber entnommener Milchproben auf (KRÖMKER 2007).

■ Sporenbildner

Wichtige Vertreter sind *Bacillus cereus* und *Clostridium perfringens* (BAUMGARTNER et al. 2005c). Beide Erreger befinden sich in der Natur, können in Staub, auf trockener Einstreu oder im Kot konzentriert vorkommen und sind in der Lage, bei ungünstigen Lebensbedingungen Dauerformen (Sporen) auszubilden (WENDT et al. 1998). Die stark pathogene Wirkung beruht auf der Bildung hochwirksamer Toxine. Vor allem unsachgemäße und unhygienische Manipulationen an den Zitzen gelten als Infektionsgefahr (BAUMGARTNER et al. 2005c), ihre krankmachende Wirkung kommt nur bei Schäden des Eutergewebes zustande (WENDT et al. 1998). Die sporadischen Infektionen treten oftmals in akuter Form auf. Besonders häufig betroffen sind Tiere in der Hochlaktation bis acht Wochen p.p. Die Erkrankung verläuft meist mit Störungen des Allgemeinbefindens und endet häufig mit dem Verlust des Tieres. Heilungsaussichten bestehen - auch infolge eingeschränkter Arzneimittelempfindlichkeit des Erregers - nur bei frühzeitigem Eingreifen (BAUMGARTNER et al. 2005c).

■ Pseudomonaden

Infektionen des Euters mit Pseudomonaden sind in schwersten Fällen letal, treten aber vorwiegend in chronischer Form auf (WENDT et al. 1994). Die Infektionen sind zumeist sporadisch, haben aber die Besonderheit einer weitestgehenden Antibiotika-Resistenz (WENDT et al. 1998). Die seltene schwere Mastitis geht einher mit sehr deutlichen Allgemeinstörungen und typischen akuten Entzündungssymptomen. Klinisch latente Infektionen provozieren erhöhte Zellzahlen. Erreger lassen sich nicht zu jeder Zeit durch die bakteriologische Untersuchung nachweisen (WENDT et al. 1998).

■ Pasteurellen

Mastitiden durch *Pasteurella multocida* und *Pasteurella haemolytica* sind selten und meist in chronischer Form. Die Erkrankung betrifft i.d.R. Einzeltiere, ausnahmsweise tritt ein seuchenhafter Verlauf in Erscheinung. Bei akuten Infektionen zeigen sich Allgemeinstörungen und Sekretveränderungen, das Euter ist heiß, schmerzempfindlich, derb und vergrößert (WENDT et al. 1994).

2.2.2.3 Überwachung der Eutergesundheit

Eutererkrankungen verursachen neben einem Leistungsabfall vielfach auch eine Veränderung der Milchzusammensetzung. Die komplexen physiologischen Prozesse, welche Milchbildung und Milchabgabe bedingen, erlauben es jedoch nicht, aus Einzelmessungen Diagnosen zur Früherkennung von Euterentzündungen abzuleiten (KÖHLER 2002). Zudem gilt für die meisten Parameter, dass Einzelbefunde nur auf Viertelebene verlässlich sind.

Zur sicheren Diagnose erkrankter Milchdrüsen sollten immer mindestens zwei Kriterien (Erreger- und Entzündungsnachweis) herangezogen werden (KRÖMKER 2007).

Nach der DVG (2002) sind Datenerhebungen zur Mastitisiagnostik zwingend auf Ebene des Euterviertels erforderlich. Daten auf Ebene des Einzeltiers bzw. der Herde (Tankmilch) dienen lediglich als zusätzliche Informationen, weil sich infolge der vielfältigen Mischungs- und Kombinationsmöglichkeiten der Milch gesunder und mehr oder weniger ausgeprägt erkrankter Euterviertel diagnostisch trennscharfe Grenzwerte, wie sie zur Beurteilung von Einzelbefunden notwendig sind, nicht definieren lassen.

2.2.2.3.1 Bakteriologische Untersuchung

Neben einer sorgfältigen klinischen Untersuchung ist die zytologisch-mikrobiologische Untersuchung von Viertelanfangsgemelken wesentlich für die Mastitisiagnostik (DVG 2002). Prävalenzuntersuchungen von Milchviehherden ergaben, dass ca. 50 % der Viertel nicht in die Diagnosekategorie „Normale Sekretion“ eingeordnet werden können (KRÖMKER 2007). Für wissenschaftliche Untersuchungen werden drei Analysen im Abstand einer Woche empfohlen. Euterpathogene Mikroorganismen werden dann als nachgewiesen betrachtet, wenn sie in drei Untersuchungen zumindest zweimal nachgewiesen werden konnten. In Viertelanfangsgemelksproben kann trotz klinischer Befunde oder sehr hoher Zellzahl mit zunehmender Tendenz kein Mikroorganismus nachgewiesen werden. Nach KRÖMKER (2007) kommen als mögliche Ursachen hierfür in Frage, dass

- toxinbildende Mikroorganismen für das Erkrankungsgeschehen verantwortlich waren; bestimmte Keime (z. B. *E. coli*) entwickeln ihre krankmachende Wirkung durch die mit dem Zelltod einhergehende Freisetzung von Endotoxinen. Beim Auftreten von klinischen Symptomen sind somit eventuell keine Erreger mehr nachweisbar,

- hohe Konzentrationen von körpereigenen oder durch Therapie entstandenen Hemmstoffen in der Probe den Nachweis der Erreger im Labor verhindern,
- ein großer Teil der Keime bereits durch körpereigene Fresszellen deaktiviert worden ist, sodass die Anzahl lebender Keime in der Probe zur Differenzierung zu gering ist.

Ausbleibende Erregernachweise bei Mastitiden liegen nach SCHULZ (1994) auch begründet

- im Verhalten der Erreger (ungleichmäßige Vermehrung; Fähigkeit sich der Ausscheidung zu entziehen),
- in der Abwehrleistung des Euters (Reduzierung Erregerausscheidung bzw. Eliminierung möglich),
- in den Nachweismethoden.

Bei der bakteriologischen Untersuchung in der Routine der milcherzeugenden Betriebe ist nachteilig, dass der bakteriologische Befund wesentlich später verfügbar ist als die klinische Diagnose (SCHULZ 1994), was für eine adäquate Mastitistherapie jedoch wesentlich wäre. Weiterhin ist zu bedenken, dass das zur Beurteilung zytologisch-mikrobiologischer Befunde vorgeschlagene Schema der DVG nicht zwischen einer latenten Infektion des Eutergewebes und einer auf den Zitzenkanal begrenzten Besiedlung oder Infektion zu unterscheiden vermag. Die Beurteilung von Mischkulturen (Nachweis von mindestens zwei Bakterienarten in einer Milchprobe) ist grundsätzlich sehr schwierig und häufig mit erheblichen Interpretationsfehlern behaftet (DVG 2000). Es besteht der Verdacht auf eine Kontamination der Probe, wobei neben den Kontaminanten auch Mastitiserreger gewachsen sein können. SOBIRAJ (2009) wertete einen positiven BU-Befund mit mindestens zwei nachgewiesenen Erregern bei einer Zellzahl von < 100.000 diagnostisch nicht als latente Infektion, sondern als Kontamination, die aus einer unsachgemäßen Milchprobenentnahme resultiert.

Die Milch von Proben mit einem positiven bakteriologischen Befund hatte nach BROCKMANN (2004) einen signifikant höheren Gehalt somatischer Zellen sowie einen signifikant geringeren Laktosegehalt als Proben mit einem negativen bakteriologischen Befund. Zwischen den Erregern gab es keine signifikanten Unterschiede. KLAAS (2000) konnte gleichbedeutend feststellen, dass Viertel ohne einen Erregernachweis die niedrigsten Zellzahlen vorwies. Für die alltägliche, vorbeugende Eutergesundheitskontrolle durch den Tierhalter sind die veterinärmedizinischen Instrumentarien der bakteriologischen sowie der klinischen Untersuchung unangemessen und ungeeignet.

2.2.2.3.2 Somatischer Zellgehalt

Der somatische Zellgehalt der Milch lässt aufgrund der Beteiligung an der Infektabwehr des Euters Rückschlüsse auf den Funktions- und Gesundheitszustand der laktierenden Milchdrüse zu und ist zudem wegen seiner engen Beziehung zur Zusammensetzung der Milch ein wichtiges Qualitätskriterium. Bei Reizungen und Erkrankungen der Milchdrüse steigt der Milchzellgehalt infolge der deutlichen Zunahme an Abwehrzellen an.

Die Zellzahl und deren Zusammensetzung werden seitens des Tieres vordergründig beeinflusst vom Laktationsstadium, der Laktationsnummer, der Rasse sowie der Gemelksfraktion. Mit dem Laktationsstadium und mit steigender Laktationsnummer nimmt der Gehalt an somatischen Zellen zu. Während des Melkvorgangs sind das Anfangs- und das Endgemelk zellreicher als das Hauptgemelk (KRÖMKER 2007). ONTSOUKA et al. (2003) stellten jedoch in der vierten Laktationswoche zwischen den betrachteten Gemelksfraktionen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des sog. SCS fest. Stress führt zu einer Erhöhung des Milchzellgehaltes, wenn die Milchdrüse bereits vorgeschädigt ist.

Auch wenn es bezüglich der Eutergesundheit keine scharfe Grenze zwischen gesund und krank gibt, so müssen dennoch Orientierungswerte zur Beurteilung des Gesundheitszustandes festgelegt werden.

Tabelle 15 und

Tabelle 16 verschaffen einen Überblick zu Grenzwertangaben verschiedener Autoren bezüglich des Milchzellgehaltes auf Ebene der Herdensammelmilch (Tankmilch) bzw. des Einzeltiers. Der Anteil Tiere mit Zellzahlen > 100.000 Zellen/ml sollte $< 25\%$ sein, es sollten weniger als 8% der Tiere eine Zellzahl > 400.000 Zellen/ml und weniger als 2% der Tiere eine Zellzahl $> 1.000.000$ Zellen/ml aufweisen (KRÖMKER 2007). Weiterhin sollten weniger als 5% der erstlaktierenden Tiere zur ersten MLP > 100.000 Zellen/ml haben. Nach WOLTER et al. (2002) ändert sich bereits bei der

Überschreitung eines Grenzwertes von 100.000 Zellen/ml Milch auf Einzeltierebene die kompositionelle Beschaffenheit der Milch und Milchminderleistungen sind zu verzeichnen.

Tabelle 15: Beurteilung der Zellzahl der Herdensammelmilch nach verschiedenen Autoren

Zellzahlbereich (Zellen/ml Milch)	Bewertung	Autor
< 100.000	Eutergesundheit der Herde sehr gut	AID (2001)
100.000 bis 200.000	Eutergesundheit der Herde gut-befriedigend	
> 200.000	Eutergesundheit der Herde gefährdet	
< 125.000	eutergesunde Herde	WOLTER et al. (2002)
125.000 bis 250.000	Herde mit Verdacht auf Eutergesundheitsstörungen	
> 250.000	euterkrankte Herde	
< 200.000	eutergesunder Bestand	BAUMGARTNER et al. (2005c)

Tabelle 16: Beurteilung der Zellzahl des Einzeltiers nach verschiedenen Autoren

Zellzahlbereich (Zellen/ml Milch)	Bewertung	Autor
< 100.000	eutergesundes Tier	AID (2001)
< 100.000 (VAG)	physiologischer Normalbereich	DVG (2002)
< 100.000	eutergesundes Tier	WOLTER et al. (2002)
< 80.000 bis 125.000	gesunde Milchdrüse	FAHR (2003)
> 150.000	aus physiologischer Sicht ist mit Sekretionsstörungen zu rechnen	FAHR (2003)
< 100.000	eutergesundes Tier	MAHLKOW-NERGE (2004)
> 200.000	in normaler Laktation ist mit Gesundheitsstörungen einzelner/mehrerer Viertel zu rechnen	BAUMGARTNER et al. (2005a)
≤ 100.000	gesunde Milchdrüse	IBEN (2007a)
20.000 bis 50.000	normaler physiologischer Zellgehalt gesunder Drüsenkomplexe	KRÖMKER (2007)

Eine sichere Beurteilung der Eutergesundheit sowie Erfolgskontrolle therapeutischer Maßnahmen ist nur auf der Grundlage zytologisch-mikrobiologische Untersuchungen von Viertelgemelksproben möglich (DVG 2002).

DVG (2002) und MAHLKOW-NERGE (2004) geben zu bedenken, dass sich die Eutergesundheitssituation einer Milchviehherde anhand der Tankmilchzellzahl, einem Kriterium der lebensmittelrechtlichen Milchüberwachung und der Gütebewertung der Milch, nur unzureichend beurteilen lässt, weil sich hinter relativ günstigen Durchschnittszellzahlen der Herdensammelmilch dennoch ein erhebliches Entzündungsgeschehen bei Einzeltieren verbergen kann. Weiterhin spricht nach WOLTER et al. (2002) einerseits das Argument, dass eine erhöhte Rate an klinischen Mastitiden nur eine geringe Auswirkung auf die Herdensammelmilch hat, weil diese nicht abgeliefert wird und andererseits der Sachverhalt, dass 60-70 % der Infektionen mit umweltassoziierten Erregern nicht länger als 30 Tage dauern und selten mehr als 10 % der Viertel einer Herde gleichzeitig infiziert sind, gegen die Verwertbarkeit von Zellzahlwerten auf Einzeltierebene bzw. auf Ebene der Tankmilch zur Beurteilung

der Eutergesundheit. Der somatische Zellgehalt des Viertelanfangsgemelkes ist einer Untersuchung von BROCKMANN (2004) zufolge wesentlich genauer. Die Untersuchung des Gesamtgemelkes wies gegenüber dem Viertelanfangsgemelk eine Sensitivität von 59 % und eine Spezifität von 91 % auf. Nach der DVG (2002) wird der Zellgehalt der Viertelgemelke im konventionellen Melksystem nur in geringem, für die Praxis nicht relevanten Umfang, durch physiologische und stressauslösende Faktoren beeinflusst.

Der Milchzellgehalt erkrankter Drüsenkomplexe schwankt in Abhängigkeit des Wechselspiels von infektiöser Noxe und Abwehrreaktion der Milchdrüse bzw. des Organismus erheblich. Die Zellgehaltserhöhung steht dabei in exponentieller Beziehung zur Stärke der Noxe. Bakteriologisch positive Milchproben aus entzündeten Milchdrüsen weisen signifikant erhöhte Zellgehalte auf (KRÖMKER 2007). Die physiologische Schwankungsbreite des Milchzellgehaltes bei gesunden Drüsenkomplexen ist gering, sie beträgt < 5.000 Zellen/ml Milch nach KRÖMKER (2007). Bei physiologischen Veränderungen sind die Zellzahlen stets auf allen Vierteln annähernd gleich.

Nach MERLE (2003) können bereits Zellzahlen ab 50.000/ml Milch eines Viertels (VAG) auf den Beginn einer entzündlichen Veränderung hindeuten. Um die Eutergesundheit beurteilen zu können, ist dann die Betrachtung weiterer Parameter nötig. Der Milchzellgehalt kann in absoluten Zahlen (z. B. in 1.000/ml Milch) oder zur Erreichung einer Normalverteilung logarithmisch transformiert als sog. Linear Somatic Cell Score (SCS) angegeben werden.

$$SCS = \log_2 (\text{Zellzahl}/100.000) + 3$$

Neben der direkten Messung der somatischen Zellzahl im Labor (meist mittels fluoreszenzoptischer Zählung) kann man den Milchzellgehalt mittels eines indirekten Milchzelltests (Schalmtest, California-Mastitis-Test) bestimmen.

Eine Studie von DE HAAS et al. (2004) zeigte einen kurzen Anstieg der Zellzahl bei klinischen E. coli Mastitiden, während bei Infektionen mit St. aureus ein langanhaltender Anstieg der Zellzahl und bei Infektionen mit Sc. dysgalactiae oder Sc. uberis kein eindeutiger Verlauf zu verzeichnen war. Bei KLAAS (2000) wiesen mit Staphylococcus spp. infizierte Viertel eine mäßige Zellzahlerhöhung auf, während die höchsten Zellzahlen bei Infektionen mit Streptococcus spp. und sonstigen Erregern vorlagen.

2.2.2.3.2.1 Differentialzellbild

Somatische Zellen, welche dem Blut und dem Eutergewebe entstammen, setzen sich zusammen aus Gewebszellen (Epithelzellen) und Abwehrzellen (polymorphkernige neutrophile Granulozyten, Makrophagen, Lymphozyten) und initiieren die Immunantwort (IBEN 2007a). Die prozentualen Anteile dieser Zellarten am Gesamtzellgehalt variieren selbst unter physiologischen Bedingungen (DVG 2002).

Untersuchungen zum Differentialzellbild eutergesunder Kühe ergaben deutliche Unterschiede, welche in der Literatur vordergründig mit den unterschiedlichen und wenig standardisierten Labormethoden und der Ähnlichkeit von Epithelzellen und Makrophagen bei der Anwendung klassischer Färbeverfahren begründet werden. In Tabelle 17 sind aktuelle Untersuchungsergebnisse zum Milchdifferentialzellbild aufgeführt.

Tabelle 17: Milchdifferentialzellbild eutergesunder Tiere nach verschiedenen Autoren

PMN (%)	Makrophagen (%)	Lymphozyten (%)	Kriterien	Autor
28,9	45,5	22,3	Zellzahl auf allen Vierteln < 100.000/ml	MERLE (2003)
31,6	30,9	30,5	eutergesundes Viertel (Zellzahl < 50.000/ml)	MERLE (2003)
34,0	39,0	25,0	Zellzahl auf allen Vierteln < 100.000/ml	SCHRÖDER (2003)
41,2 ± 9,2	37,0 ± 10,5	20,3 ± 11,6	Zellzahl < 100.000/ml und BU negativ	RANKL (2004)

Der prozentuale Anteil der Epithelzellen an der Gesamtzahl der somatischen Zellen beträgt nach RANKL (2004) $1,5 \pm 1,1$ %. In Untersuchungen von SCHRÖDER (2003) und MERLE (2003) erwies sich das mikroskopische Differentialzellbild als der sensiblere diagnostische Parameter gegenüber dem Zellgehalt der Milch. In der Untersuchung von MERLE (2003) ließ das Differentialzellbild zunehmende Zellaktivitäten im Zusammenhang mit einem Mastitisgeschehen erkennen, als der Zellzahlbefund selbst noch wenig auf ein entzündliches Geschehen hinwies. Die Autoren kamen weiterhin zu dem Schluss, dass sich die Euterviertel einer Milchdrüse funktionell gegenseitig beeinflussen und Untersuchungen auf Ebene des Euterviertels unentbehrlich sind.

Bei Eutergesundheitsstörungen kommt es zu einem massiven Anstieg des Anteils an PMN, während sich der Anteil Lymphozyten und Makrophagen deutlich verringert. MERLE (2003) betrachtet den Zellzahlbereich zwischen 50.000 und 200.000/ml Milch auf Viertelzebene und einen Anstieg des Anteils an PMN auf > 40 % als Beginn entzündlicher Veränderungen. Untersuchungen von RANKL (2004) zufolge haben die Parameter Laktationstag, Zellzahl und Laktationsnummer keinen Einfluss auf das Differentialzellbild. Studien von GLINDEMANN (2006) und KERSCH (2008) ergaben, dass Parameter des Energiestoffwechsels während des peripartalen Zeitraums mit der Zusammensetzung des Differentialzellbildes in Beziehung stehen.

2.2.2.3.3 Laktose

Laktose wird ausschließlich im Euter synthetisiert, wobei Plasmaglucoose, welche hauptsächlich über Propionat, glucoplastische Aminosäuren und Milchsäure bereitgestellt wird, als Ausgangsmetabolit dient (ROSSOW & RICHARDT 2003). Während der Kolostralmilchperiode ist der Laktosegehalt der Milch niedrig. In der zweiten bis sechsten Laktationswoche kommt es selbst bei extremer energetischer Unterversorgung zu einem Anstieg auf Werte über 4,6 %, bei adäquater Energieversorgung werden Werte bis über 4,8 % erreicht (ROSSOW & RICHARDT 2003). Im Verlauf der Laktation vermindert sich der Gehalt an Laktose geringfügig. Der Laktosegehalt der Milch, der weder züchterisch noch durch die Fütterung nennenswert zu beeinflussen ist, wird für reife Milch eutergesunder Kühe mit einem durchschnittlichen Wert von 4,7 % (HAMANN & KRÖMKER 1997; SCHLIMME & BUCHHEIM 1999) bzw. 4,8 % (MIELKE 1994; SCHULZ 2003) angegeben. Diese relative Konstanz des Laktosegehaltes erklärt SCHÜLER (1992) mit der osmotischen Wirkung der Laktose im Euter, welche die Milch gemeinsam mit dem Chloridgehalt isotonisch hält. Wird in der Milchdrüse nicht genügend Laktose synthetisiert, reduziert sich die Wasseraufnahme und damit die Milchbildung. Bei Eutergesundheitsstörungen wird der Laktosegehalt der Milch sowohl durch eine verringerte Bildungsrate als auch infolge der Schrankenlockerung, wodurch die Laktose in den Blutkreislauf übertreten und mit dem Harn ausgeschieden werden kann, vermindert. Im Gegenzug penetrieren vor allem Natrium und Chloride in die Milch. Zusätzlich geht man von einem bakteriellen Laktoseabbau aus, was zu einer Veränderung des osmotischen Drucks führt. Weil ein erniedrigter Laktosegehalt ($< 4,6$ %) bei einer normalen Versorgungslage auf Sekretionsstörungen hindeutet, kann dieser nach SCHÜLER (1992) als Kriterium zur Beurteilung der Eutergesundheit herangezogen werden, was von HAMANN & KRÖMKER (1997) bestätigt wird. WENDT et al. (1998) geben für Viertelgemelke einen Laktosegehalt von 4,6 bis 4,5 % als untere Grenze für normale Milch an und sind der Auffassung, dass Einzel- oder Tankmilchproben keine brauchbaren Werte für diagnostische Zwecke liefern. Die These der Nutzbarkeit des Laktosegehaltes zur Überwachung des Eutergesundheitsstatus auf Ebene des Einzeltiers wird durch die bestehende negative Korrelation dieses Parameters zur Zellzahl unterstützt, die nach FAHR (2003) im Bereich von $r = -0,30$ bis $-0,60$ liegt. Untersuchungen von ANACKER (2004) ergaben diesbezüglich einen Korrelationskoeffizienten von $r = -0,50$.

2.2.2.3.4 Elektrische Leitfähigkeit

Durch Mastitiden bedingte Gewebeschädigungen und Permeabilitätsveränderungen führen zu Veränderungen der Ionenkonzentrationsverhältnisse. Es kommt zu einem Anstieg der Natrium- und Chlorid-Ionen, während die Kalium- und Laktosekonzentrationen in der Milch sinken. Infolge dessen steigt die elektrische Leitfähigkeit der Milch an.

In Abhängigkeit von der Art der Mastitiserreger sind erhebliche Unterschiede der Leitfähigkeitsänderungen festzustellen. Der Parameter zeigt aufgrund physiologischer Faktoren jedoch auch bei gesunden Milchdrüsen eine erhebliche Variation, die bei dessen Anwendung zur Überwachung der Eutergesundheit zu beachten ist (DVG 2002; KRÖMKER 2007). Nach WENDT et al. (1998) zeigen Veränderungen der elektrischen Leitfähigkeit der Milch sehr frühzeitig und „sensibel“ Schädigungen an, machen aber keine Aussage über dessen Ursache, welche u. a. auch in einer intensiven Brunst, Melkfehlern, subklinischen Ketosen aber auch in erregerbedingten Schädigungen des Gewebes liegen können.

Das Melkintervall, die Gemelksfraktion, die Allgemeingesundheit der Tiere, das Laktationsstadium und die Rasse werden als Einflussfaktoren auf den Parameter beschrieben. Um den Einflussfaktor Milchfett zu minimieren, wird üblicherweise das Anfangsgemelk untersucht (WENDT et al. 1998).

Die elektrische Leitfähigkeit der Milch gesunder Euterviertel weist Werte im Bereich von 4,8 – 6,2 mS/cm (25°C) auf (DVG 2002). WENDT et al. (1998) geben hierfür einen Bereich von 4,5–5,9 mS/cm (20 °C) an und Vierteldifferenzen > 0,5 mS/cm gelten als abnorme Abweichung. Nach NORBERG et al. (2004) ist hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit insbesondere der Quotient aus dem höchsten und dem niedrigsten Wert eines Tieres (Inter-Quarter Ratio) geeignet zur Einschätzung des Mastitisstatus. Die Werte unterschieden sich signifikant zwischen eutergesunden Tieren ($1,124 \pm 0,004$) und klinischen ($1,369 \pm 0,009$) bzw. subklinischen ($1,182 \pm 0,006$) Mastitiden. Leitfähigkeitswerte über 6,5 mS/cm können nach KRÖMKER (2007) als krankhaft angenommen werden. Allerdings wird dabei eine Vielzahl von erkrankten Vierteln nicht erkannt. Die diagnostische Sicherheit kann durch den Vergleich der Viertel untereinander und durch die Verfügbarkeit zeitlich kontinuierlicher Messwerte eines Viertels optimiert werden. Unterschiede von mehr als 15 % zwischen den Vierteln einer Milchdrüse deuten auf ein Entzündungsgeschehen hin (KRÖMKER 2007). ANACKER et al. (2006) kommen bei einer Studie zu dem Schluss, dass die Leitfähigkeitsmessung in Kombination mit bakteriologischen Untersuchungen zu Laktationsbeginn (1. Laktationswoche) ein gezieltes Erkennen euterkranker Tiere und deren rechtzeitige Behandlung ermöglicht.

2.2.2.3.5 Weitere Parameter

Nach GRABOWSKI (2000) sind, gemessen am somatischen Zellgehalt, insbesondere die elektrische Leitfähigkeit sowie die NAGase-Aktivität aus dem Viertelanfangsgemelk bzw. Laktat, Laktose sowie Chlorid aus dem Viertelmaschinengemelk zur Beurteilung der Eutergesundheit geeignet.

Die Milchmengenleistung, welche einen charakteristischen laktationsabhängigen Verlauf hat und aufgrund vielfältiger Einflüsse starken Schwankungen unterliegt, die im Viertelgesamtgemelk deutlicher sind als im Gesamtgemelk, reagiert empfindlich auf jede Art von Gesundheitsstörung (GRABOWSKI 2000). In einer Untersuchung konnte GRABOWSKI (2000) signifikant geringere Milchleistungen erkrankter Euterviertel gegenüber gesunden Eutervierteln sowie eine Tendenz zur verstärkten Leistungseinbuße bei steigendem Zellgehalt nachweisen und ableiten, dass die Milchminderleistung Hinweise auf den Schweregrad der Erkrankung gibt. Er gibt zu bedenken, dass zur Berechnung der Leistungsminderung „Vorschädigungen“ zu berücksichtigen sind. Im Zusammenhang mit dem Parameter Milchmenge ist weiterhin zu beachten, dass wie die Untersuchung von REDEZKY (2000) aufzeigte, die Hinterviertel eine signifikant höhere Milchleistung aufweisen als die Vorderviertel.

Steigende Laktationszellzahlen haben nach RUDOLPHI (2004) signifikante Milchminderleistungen zur Folge. Nach KRÖMKER (2007) sinkt die produzierte Milchmenge erkrankter Euterviertel im Mittel um ca. 30 %. Benachbarte Euterviertel können diesen Verlust durch Mehrleistung von bis zu 15 % in 14 Tagen teilweise kompensieren. Die Intensität der Milchminderleistung ist abhängig von der Art des verursachenden Erregers, dem Umfang sowie dem Zeitpunkt der Schädigung, dem Alter der Kuh und der Anzahl erkrankter Euterviertel. BROCKMANN (2004) konnte ab einem somatischen Zellgehalt von > 50.000/ml Milch signifikant verringerte Milchmengenleistungen feststellen. JAHNKE (2004) konnte bei Kühen mit einer durchschnittlichen Laktationszellzahl von 51.000 bis 100.000 Zellen/ml Milch einen Leistungsrückgang um 3 % gegenüber eutergesunden Kühen (max. 50.000 Zellen/ml Milch) ermitteln. Auch KLAAS (2000) konnte signifikante Milchminderleistungen bei subklinischen Mastitiden sowie einen signifikanten Anstieg der Mastitisrate mit zunehmendem Milchleistungsniveau feststellen.

2.3 Einzeltierbezogene Daten zur Nutzung als Vorhersageparameter

AMMON & SPILKE (2006) geben einen Überblick zu möglichen Methoden zur Nutzung einzeltierbezogener Daten in Milchviehherden:

- Ein-Parameter Modelle (Grenzwertmodelle)
- Control Charts
- Gleitende Mittelwerte
- Exponentielles Glätten
- Entscheidungsbäume
- Gemischte Lineare Modelle
- Fuzzy Logic
- Neuronale Netze

Um ein solches Modell hinsichtlich der Ergebnisse einschätzen zu können, nutzt man die Größen Sensitivität und Spezifität sowie die Fehlerrate. Dazu werden die berechneten Ergebnisse vorher unterteilt in:

- Wahr positiv (TP):** ein tatsächlich hoher Wert wird als erhöht erkannt
- Falsch positiv (FP):** ein tatsächlich niedriger Wert wird als erhöht erkannt
- Wahr negativ (TN):** ein tatsächlich niedriger Wert wird als nicht erhöht erkannt
- Falsch negativ (FN):** ein tatsächlich hoher Wert wird als nicht erhöht erkannt

Anschließend lassen sich die Größen wie folgt berechnen:

$$\text{Sensitivität/Erkennungsrate (Wahrscheinlichkeit, dass eine erhöhter Wert als solcher erkannt wird)} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{Spezifität (Wahrscheinlichkeit, dass eine niedriger Wert als solcher erkannt wird)} = \frac{TN}{TN + FP}$$

Bezogen auf die Zwischentragezeit würde man die Parameter wie folgt definieren: Die Sensitivität beschreibt den prozentualen Anteil der Kühe, die eine erhöhte Zwischentragezeit besitzen und die das Modell auch als solche erkannt hat. Die Spezifität ist der Prozentsatz an Kühen, die eine niedrige Zwischentragezeit aufweisen und als solche erkannt wurden.

$$\text{Fehlerrate (Anteil der falsch eingestuft Werte)} = \frac{FP}{FP + TP}$$

Angestrebt wird eine hohe Sensitivität bei hoher Spezifität. Die Fehlerrate sollte möglichst klein sein.

2.3.1 Datenverarbeitung mit Hilfe von Fuzzy Logic

ZADEH begründete 1965 die Theorie der unscharfen Mengen. Unschärf, im englischen fuzzy, steht dabei für fließende Übergänge. Nach GRAUEL (1995) dient ein Fuzzy-Modell zur Übersetzung unscharfer Mengen linguistischer Variablen in eine rechnergestützte Form unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Datenlage und der Komplexität natürlicher Systeme unter Einbeziehung nur vager bekannter Faktoren. Die Fuzzy Logic stellt daher eine Erweiterung des klassischen bzw. scharfen Logikbegriffs dar. Die Methodik der Fuzzy Logic wird in zunehmendem Maße verwendet, um mit unscharfen Fakten wie z. B. umgangssprachlichen Beschreibungen umzugehen (YANG 1998). Die unscharfen Mengen werden durch

Zugehörigkeitsfunktionen dargestellt. Eine Fuzzy-Menge μ über der Grundmenge X wird durch die Angabe der Zugehörigkeitsgrade $\mu(x) \in [0,1]$ für jedes $x \in X$ festgelegt. Dabei können die Elemente oder Zugehörigkeitsgrade neben den klassischen Zuständen 0 und 1 auch Zwischenstufen annehmen. Bei scharfen Mengen gäbe es nur die Zugehörigkeitsgrade 0 oder 1, d. h. wahr oder falsch, für unscharfe Mengen kann die These sowohl wahr als auch falsch sein. Der Zugehörigkeitsgrad gibt an, welchem Grad das Element die Eigenschaften der unscharfen Menge erfüllt. Die Fuzzy-Mengen werden in Form von Funktionen definiert. Häufig werden dabei Dreiecksfunktionen, Trapezfunktionen oder Gaußsche Glockenkurven verwandt. Ein Element kann mehreren Mengen in unterschiedlichen Graden angehören. Damit nähert sich die Fuzzy Logic der menschlichen Denkweise mit ihren Toleranzen für umgangssprachliche Bezeichnungen verschiedener Sachverhalte an (BUSCH 2003). Zur Veranschaulichung dient von ihm folgendes Beispiel (Abbildung 9):

Kenngroße (= linguistische Variable): Zimmertemperatur
 Unscharfe Mengen (= linguistische Terme): kalt – warm – heiß

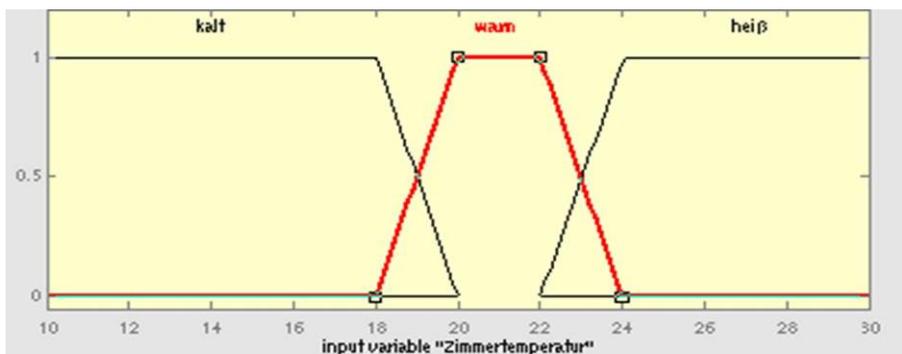


Abbildung 9: Beispiel für Zugehörigkeitsfunktionen (Quelle: erstellt mit Matlab)

Nun kann für jede beliebige Temperatur der entsprechende Zugehörigkeitsgrad abgelesen werden. Eine Zimmertemperatur von 22,5 °C würde zu 25 % als heiß, zu 75 % als warm und zu 0 % als kalt angesehen werden.

Allgemein werden für eine Modellentwicklung mit Hilfe von Fuzzy Logic folgende Schritte getan:

- Fuzzifizierung
- Inferenz
- Defuzzifizierung

Im ersten Schritt, der Fuzzifizierung, wird versucht, konkrete Zahlen und Werte in unscharfe Mengen abzubilden, d. h. es werden die Eingangsgrößen für das Modell erarbeitet. Für den Projektteil Fruchtbarkeit konzentriert sich z. B. der Untersuchungsbereich auf die Gefährdungen, welche Fruchtbarkeitsstörungen auslösen könnten. Diese sind:

- Kalbeverlauf
- Kondition des Tieres
- Gesundheitszustand
- Laktation des Tieres

Der zweite Schritt, die Inferenz, besteht in dem Aufstellen von Regeln. Diese erfolgen in Form von WENN <Bedingung> DANN <Schlussfolgerung> Verarbeitungsregeln. Mehrere Bedingungen können durch UND- bzw. ODER-Regeln miteinander verknüpft sein.

Im letzten Schritt, der Defuzzifizierung, werden die unscharfen Ergebnismengen wieder in konkrete Werte oder Zahlen übertragen. Würde man einen beispielhaften Modelldurchlauf durchführen, so erhält man grafisch betrachtet nach Ende der Inferenz eine Gesamt-Ergebnis-Fläche (Abbildung 10). Weil dies als Ergebnis sehr unscharf ist, muss es defuzzifiziert werden.

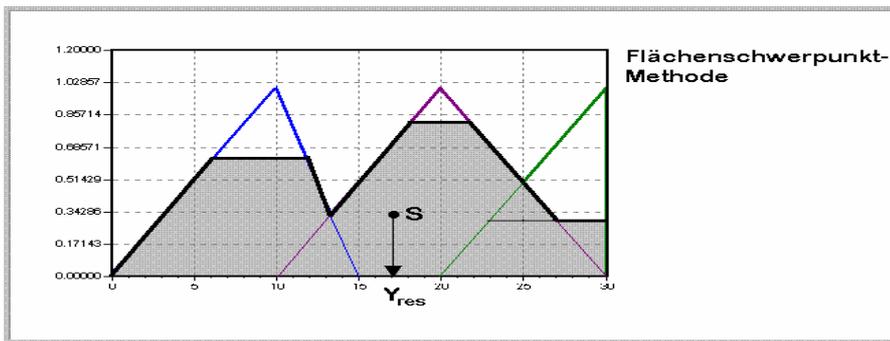


Abbildung 10: Flächenschwerpunkt-Methode (Quelle: <http://reinarz.org/dirk/fuzzykugel/fuzzy.html>)

Fuzzy-Systeme ermöglichen somit eine Betrachtung von Merkmalskombinationen (AMMON 2008). Für Fuzzy-Systeme gibt es zwei Anwendungsumgebungen. Zum einen werden sie genutzt als Controller in der Prozesssteuerung und zum anderen als eine Art Filter in sogenannten Expertensystemen (Abbildung 11).

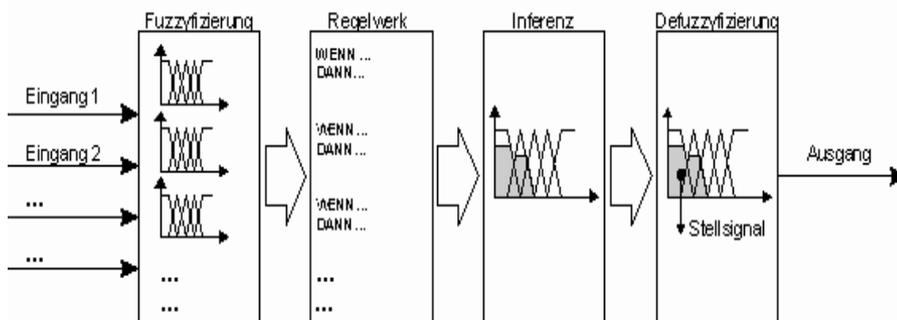


Abbildung 11: Fuzzy-System (Quelle: <http://reinarz.org/dirk/fuzzykugel/fuzzy.html>)

2.3.2 Monitoringsysteme im außerlandwirtschaftlichen Sektor

Die Nutzung von Fuzzy Logic findet in der Industrie schon lange seine Anwendung. In der Prozesssteuerung wird es vor allem in der Fahrzeugindustrie und bei der Herstellung von Haushaltsgeräten genutzt. Als Expertensystem findet die Fuzzy Logic in den verschiedensten Industrieprozessen, aber auch im Finanzwesen und in der Erstellung von Diagnosen ihre Bedeutung.

Zu einer Risiko- oder Gefährdungsbeurteilung gibt es ebenfalls verschiedene Untersuchungen. In der Arbeit von BUSCH (2003) wurde eine Grundlage geschaffen, eine Gefährdungsbeurteilung für die Waldarbeit, eine der gefährlichsten praktischen Arbeiten, mittels eines EDV-Programms zu berechnen. Er versuchte dabei, das komplexe Feld der Gefährdungspotenziale sauber abzubilden und Beurteilungsschematas zu entwickeln. Im Schritt der Fuzzifizierung definiert er die Gefährdungen, die durch die Arbeitsumgebung ausgelöst werden. Dies sind: Begehbarkeit und Hangneigung, Schneehöhe, Temperatur und Niederschlagsmenge, die Erfahrung des Waldarbeiters sowie die Verantwortlichkeit, den Arbeitsauftrag und die Kontaktperson. Hinzu kamen die variablen Betriebsmittel sowie der Arbeitsbereich. Am Beispiel der Hangneigung definierte er die unscharfen Mengen „eben“, „geneigt“ und „steil“ mit Zugehörigkeitsgraden zwischen 0 und 1. Dieses Modell aus dem Bereich der Forstwissenschaften diente zum Teil als Grundlage für die Arbeit in diesem Projekt.

Auch in anderen Bereichen finden Fuzzy Logic-Modelle Anwendung. So gibt es Risikoanalysen im geologischen Bereich z. B. zur Beurteilung von Rutschanfälligkeiten von Hängen und Standortbewertungen zur thermischen Nutzung des Untergrundes (KUS & BARTHEL 2000) oder automatisierte Ermittlungsverfahren zur Erkennung von erheblich veränderten Gewässerabschnitten (LANGE & GREVE 2006). Linguistische Variablen wie „intensive Landnutzung“ wurden verwendet. Es entstanden praktikable Screening-Verfahren mit sehr guten und praktisch verarbeitbaren Ergebnissen.

2.3.3 Monitoringsysteme zur Überwachung der Fruchtbarkeit

In der Vergangenheit haben sich schon einige Wissenschaftler mit der Frage beschäftigt, inwieweit sich Störungen der Fruchtbarkeit durch bestimmte Parameter frühzeitig erkennen und vorhersagen lassen.

AMMON & SPILKE (2006) untersuchten Probleme und Möglichkeiten der Nutzung von einzeltierbezogenen Daten in Milchviehbetrieben für die Verwendung von Entscheidungsunterstützungssystemen. Es wurden Ansprüche an die Datenbereitstellung in Bezug auf Häufigkeit von Messungen, Datenermittlungen und -übertragung sowie Datenformaten herausgearbeitet. Als Methoden wurden gemischte lineare Modelle, Fuzzy Logic und Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) Control Charts untersucht. Sie stellten heraus, dass konsistente Daten im Sinne einer eindeutigen Zuordenbarkeit für die Verwendung von einzeltierbezogenen Daten unumgänglich sind. Lückenhafte Daten erschweren die Verwendung von Algorithmen. Fuzzy Logic Modelle untersuchten sie in Hinsicht auf die Nutzung von Vorhersagewerten zur Erkennung von Leistungsabweichungen. Auch hier stellen sie eine Notwendigkeit kontinuierlicher Daten heraus. Fehlende Daten führten zu ungenauen Ergebnissen bzw. zu fehlenden Input- und somit auch Outputergebnissen. Als weiteres Problem stellten sie eine unterschiedliche Verfügbarkeit von Inputvariablen heraus. Bei einem Modell zur Erkennung von Euterekrankungen können z. B. Leitfähigkeitsdaten mit jeder Melkung vorhanden sein und Zellzahlen nur einmal pro Monat. Weil sich die Zellzahl somit gegenüber der Leitfähigkeit nur selten ändert, ist sie als Inputparameter für eine aktuelle Entscheidungshilfe zu hinterfragen.

In einer weiteren Untersuchung von AMMON & SPILKE (2007) zur Nutzung von Vorhersagewerten von negativen Milchmengenabweichungen verglichen sie gemischte lineare Modelle, Fuzzy Logic-Modelle sowie Künstliche Neuronale Netze. Mit Hilfe des Fuzzy Logic-Modells erreichten sie keine besseren Erkennungsraten, konnten jedoch die Fehlerraten deutlich senken. Dies gelang noch besser mit Hilfe Neuronaler Netze, wo Fehlerraten von weniger als 13 % erreicht wurden.

LACROIX et al. (1998) untersuchten bereits 1998 die Verwendung von Fuzzy-Modellen. Auch hier stand die Eignung solcher Managementhilfen in Hinsicht auf die Nutzung von Vorhersagewerten zur Erkennung von Leistungsabweichungen im Mittelpunkt. Dabei betrachteten sie die Merkmale Milchleistung und Persistenz. Für beide Merkmale wurden fünf linguistische Variablen von „sehr niedrig“ bis „sehr hoch“ definiert.

Das Ziel in der Arbeit von NIEHOFF et al. (2007) war es, ein Fruchtbarkeitsmonitoring zu entwickeln, welches den Produktionsprozess objektiv bewertet und dem Herdenmanager schon bei beginnender Störung der Fruchtbarkeitsleistung eine Warnung erteilt. Die Daten entstammten einem Betrieb mit durchschnittlich 419 Kühen und einer Datenaufzeichnung über sechs Jahre. Für das Fruchtbarkeitsmonitoring wurden Control-Charts verwendet. Den Charts liegt die Annahme zugrunde, dass ein Prozess in die Zustände „unter Kontrolle“ oder „außer Kontrolle“ einzuteilen ist (NIEHOFF et al. 2007). Ein Prozess ist unter Kontrolle, wenn er im Rahmen der zufälligen Variation um ein erwünschtes Prozessmittel schwankt. Der Prozess ist im Gegensatz dazu außer Kontrolle, wenn das Prozessmittel nicht mehr dem gewünschten Prozessmittel entspricht. Das Chart gibt ein Alarmsignal. Weil Fruchtbarkeitskennzahlen wie die Zwischentragezeit oder die Zwischenkalbezeit erst mit einer festgestellten Trächtigkeit bzw. Abkalbung zur Verfügung stehen, entschieden sich NIEHOFF et al. (2007), ein neues quantitatives Merkmal Umrindertage zu definieren. Die Umrindertage umfassen die Tage zwischen zwei Besamungen einer Kuh. Als Kontrollmerkmale wurde die Umrinderquote und der Wiederbesamungsintervall analysiert. Sie empfanden Control-Charts als ein geeignetes Instrument, um Grenzüberschreitungen darzustellen. Es wurde erkannt, dass die Ursachen für erhöhte Umrindertage im Beispielbetrieb nicht in der Brunsterkennung, sondern in der Besamungsarbeit zu finden waren.

REKSEN et al. untersuchten im Jahr 2002 den Vorhersagewert verschiedener Parameter im Hinblick auf den Zykluslauf post partum und kamen zu dem Ergebnis, dass die Kombination von Aceton und Laktosegehalt in der Früh-laktation ein vielversprechender Parameter zur Vorhersage des Zykluslaufes einer Kuh darstellt. Sie fanden heraus, dass bei Tieren, die einen erhöhten Gehalt an Aceton sowie einen erniedrigten Laktosegehalt aufwiesen, die Ovarfunktion erst verspätet in Gang kam. Die Ergebnisse in Tabelle 18 zeigen eine ermittelte Sensitivität von 84 % sowie eine Spezifität von 86 %.

Tabelle 18: Ergebnisse der Untersuchungen von REKSEN et al. (2002)

Sensitivität	Spezifität	Vorhersagewert
	Laktose > 4,55 % früher Zykluslauf	
84 %	43 %	59 %
	Aceton < 0,06 mmol/l früher Zykluslauf	
84 %	63 %	63 %
	BCS Verlust 0,5 und weniger früher Zykluslauf	
88 %	41 %	58 %
	Kombination von Aceton und Laktose	
84 %	86 %	80 %

Der Vorhersagewert ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kuh, die laut Berechnung einen physiologischen Zykluslauf haben müsste, diesen auch in Wirklichkeit besitzt.

Auch HEUER & PFLUG (1994) testeten den diagnostischen Wert von Ergebnissen der ersten Milchleistungsprüfung post partum im Hinblick auf Puerperalstörungen und Günstzeit. Die Sensitivität der Parameter Milchleistung, Fett- und Eiweißgehalt waren allerdings zu wenig treffsicher, um eine sichere Entscheidungshilfe darzustellen.

YANG (1998) entwickelte ein Modell zur Östruserkennung im Rahmen eines Managementsystems auf der Basis von Fuzzy Logic. In den Untersuchungen verwendete er die Parameter Aktivität, Milchleistung und Krafffutteraufnahme. Er stellte die Aktivität als wichtigsten Parameter heraus und nannte auch die Milchleistung als geeigneten Faktor zur Brunsterkennung. Die Krafffutteraufnahme hingegen stellte sich als ein nicht sinnvoller Parameter heraus. Bei der Fuzzy-Inferenz wurden insgesamt 25 Regeln definiert. Für die Defuzzifizierung wurde die Methode des Flächenschwerpunktes gewählt. Die Überprüfung des Erkennungsmodells erfolgte durch 102 Laktationen von insgesamt 86 Kühen. Es konnte eine Erkennungsrate von 90 % bei einer Fehlerrate von knapp 18 % erreicht werden. Die Ergebnisse liegen in einem verwertbaren und für die Praxis relevanten Bereich. Seine Vorgehensweise bei der Verbesserung der Modellqualität diente als Vorlage für eigene Arbeiten.

In den Untersuchungen von FIRK et al. (2003) war es das Ziel, die Brunsterkennung bei Milchkühen auf Basis seriell anfallender Beobachtungen zu optimieren. Als Informationsmerkmale wurden die Eingangsparameter Aktivität, Milchmenge, elektrische Leitfähigkeit und durchschnittliches Minutengemelk verwendet. Es standen Brunstereignisse und somit Tage der Besamung von 862 Kühen der Rasse Deutsche Holstein eines Milchviehbetriebes in Brandenburg zur Verfügung. Die Brunsterkennung wurde in ihrer Arbeit anhand von Zeitreihen überprüft, die sich auf eine Zeitperiode von 15 Tagen vor und nach dem relevanten Besamungstag erstreckten. Der Teil der multivariaten Analyse basierte dabei auf einem Fuzzy Modell. Unter Verwendung des Aktivitätsparameters ermittelt durch Pedometer konnten in der Arbeit von FIRK et al. (2003) Sensitivitäten von über 90 % ermittelt werden, die Fehlerrate schwankte dabei zwischen 53 und 21 %. Eine weitere Einbeziehung der Merkmale Milchmenge, Leitfähigkeit und Milchfluss brachte keinen erheblichen Zugewinn. Sie kommen in ihrer Arbeit zu dem Schluss, dass Fuzzy Logic sich als ein geeignetes Verfahren zur Optimierung der Entscheidungsfindung zur Brunsterkennung auf Basis seriell anfallender Daten erweist. Gegenüber einer univariaten Analyse konnte jedoch kein entscheidender Vorteil erkannt werden. Laut FIRK et al. (2003) sind Merkmale, die für univariate Analysen nicht geeignet sind, auch für multivariate Analysen ungeeignet. Mit Hilfe des Fuzzy Logic-Modells erreichten sie gegenüber anderen Analysen deutlich niedrigere Fehlerraten. Durch die Verknüpfung mehrerer Merkmale konnten die Anzahl falsch positiver Brunsten reduziert werden.

Bei der Arbeit von DE MOL et al. (1999) wurden wie bei FIRK et al. (2003) Modelle zur Erkennung der Brunst über Zeitreihen untersucht, zusätzlich mit der Nutzung eines Kalmanfilters. Ein Kalmanfilter ist ein Satz von mathematischen Gleichungen, mit dessen Hilfe die von Messgeräten verursachten Störungen weitestgehend entfernt werden können. Im Vergleich zu den bekannten Referenzdaten von 537 Brunstfällen ergaben sich hohe Sensitivitäten von über 82 %. Die Spezifität lag ebenfalls bei über 94 %, wurde jedoch als nicht ausreichend für die Praxis eingestuft. Auch hier lag das Problem bei zu hohen falsch positiven Ergebnissen.

KÖHLER (2002) untersuchte im Rahmen einer Dissertation neben anderen Modellen die Eignung von Fuzzy Logic im Rahmen der Mastitiserkennung. Als Eingangsparameter wurden die Merkmale Milchbildung, Milchfluss, Zwischenmelkzeit und Leitfähigkeit verknüpft. Während Ein-Parameter-Modelle die höchsten Spezifitätswerte zeigten, wiesen Modelle, welche alle vier Parameter verarbeiteten, die besten Sensitivitätswerte auf. Beste Ergebnisse mit der Wahrscheinlichkeit einer Fehlklassifikation von 5,9 % erhielt er bei der Anwendung von Fuzzy Logic.

DE MOL & WOLDT (2001) versuchten mit Hilfe von Fuzzy Logic-Modellen das Problem falsch positiver Ergebnisse zu reduzieren. Dazu wurden die Alarmsignale aus den zuvor unsicheren Modellen neben anderen Informationen als Input für das Fuzzy Logic-Modell genutzt. Ziel war es, jedes zuvor gegebene Alarmsignal als wahr oder falsch einzustufen. Die Nutzung von Fuzzy Logic-Modellen zur Senkung falscher Warnvorhersagen bestätigte sich auch hier als mögliches Instrument.

Alle von den genannten Autoren untersuchten Modelle beruhen auf einem Vorhersagewert zur Leistungsabweichung. SPILKE (2002) beschreibt dies anhand von linearen Modellen so: Die Basis besteht darin, für einen Zeitpunkt $t+1$ bei Nutzung bis zum Zeitpunkt t verfügbarer Daten einen Vorhersagewert für $t+1$ eines Tieres zu schätzen. Dieser Vorhersagewert für $t+1$ dient zur Bewertung der realisierten Leistung für $t+1$ und ermöglicht eine Wertung der Abweichung zwischen Vorhersage und tatsächlich erbrachter Leistung und damit beispielsweise die Identifikation von Krankheitssituationen bei starker negativer Abweichung.

Im landwirtschaftlichen Bereich gibt es weiterhin Untersuchungen, welche mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze bearbeitet wurden. So prüfte AMMON (2008) die Eignung solcher Netze für das Erkennen von Milchminderungen und erzielte Erkennungsraten von teilweise über 80 % sowie Fehlerraten von weniger als 20 %. KRIETER et al. (2006) untersuchten die Eignung neuronaler Netze für die Brunsterkennung bei Milchkühen und erreichten Sensitivitäten von nahezu 80 % bei hohen Spezifitäten.

2.3.4 Monitoringsysteme zur Überwachung der Eutergesundheit

In diesem Abschnitt soll von zwei Studien berichtet werden, welche sich mit der Früherkennung von Eutererkrankungen am AMS unter Verwendung von Fuzzy Logic beschäftigten.

Bei der Studie von KÖHLER (2002) wurden statt den den Melkprozess beschreibenden Parametern des AMS ausschließlich eigens für diesen Versuch erfasste LactoCorder®-Daten auf Ebene des Euterviertels verwandt. Die Studie war in eine Voruntersuchung (Betrieb A mit 754 Einzelmessungen an Eutervierteln) und einen Hauptversuch (Betrieb B mit 2.826 verwertbaren Datensätzen) unterteilt. Im Rahmen der Voruntersuchung wurde ermittelt, welche Parameter als Eingangsvariablen für das später zu entwickelnde Erkennungsmodell geeignet sind. Weiterhin wurden anhand dieses Datenpools Fuzzy Logic-Modelle entwickelt, optimiert und evaluiert. Anhand der im Rahmen des Hauptversuches gewonnenen Daten waren die entwickelten Modelle zu prüfen und weiter zu optimieren. Zu Beginn der Voruntersuchung wurden Viertelgemelksproben auf deren Zellgehalt untersucht. Zusätzlich standen Ergebnisse aus einer klinischen und bakteriologischen Untersuchung und parallel durchgeführter Mastitisschnelltests zur Verfügung. Anhand dieser Größen erfolgte eine Einstufung der Euterviertel in „auffällig“ bzw. „nicht auffällig“. Zu Beginn und am Ende des Hauptversuches wurden manuelle Vormelkproben von allen Vierteln genommen, makroskopisch beurteilt und anschließend bakteriologisch untersucht. Parallel dazu wurden mit Hilfe der Messgeräte Proben aus dem Viertelanfangsgemelk gewonnen und auf den Gehalt an somatischen Zellen untersucht. Weiterhin erfolgte während des Versuches eine klinische Untersuchung der Euter. Anhand dieser Parameter erfolgte die Bewertung der Eutergesundheit der Viertel in Anlehnung an die DVG. Als Eingangsgrößen wurden die Parameter Milchbildung, Milchfluss, Zwischenmelkzeit und elektrische Leitfähigkeit in Form von sog. normierten Werten, d. h. der Abweichung eines Messwertes gegenüber dem gleitenden Mittelwert von n Messungen, verwandt. Die Modellierung mittels Fuzzy Logic ergab eine Sensitivität von 78,0 % und eine Spezifität von 95,6 %, sodass diese Methodik als geeignet anzusehen ist, Zusammenhänge zwischen Melk- und Milchparametern einerseits und der Eutergesundheit

andererseits zu modellieren. Schlussfolgerungen aus dieser Studie waren weiterhin, dass bei diesen Modellrechnungen die Herdenspezifität berücksichtigt werden muss und verlässliche Rückschlüsse auf den Eutergesundheitszustand nur auf Ebene des Euterviertels möglich sind.

CAVERO (2006) arbeitete bei seiner Studie mit 403.537 Datensätzen zu Gemelken eines AMS von 478 Tieren und testete verschiedene Methoden der Datenverarbeitung zur Früherkennung bzw. Überwachung der Eutergesundheit, darunter auch die Fuzzy Logic. Der verwandte Datensatz wurde geteilt in einen Trainingsdatensatz (2/3 der Datensätze), welcher zur Modellentwicklung genutzt wurde, und einen Testdatensatz (1/3 des Datensatzes), welcher der Prüfung der Modellfunktionalität diente. Als Eingangsvariablen für die Modellrechnungen wurden folgende Parameter verarbeitet: Milchbildung, Milchfluss und elektrische Leitfähigkeit. Zu den absoluten gemessenen Größen wurde die relative Abweichung des aktuellen Wertes zum gleitenden Mittelwert aus den 10 vorherigen Messungen berechnet. Diese berechneten relativen Abweichungen sowie die maximale elektrische Leitfähigkeit auf Ebene des Tieres dienten letztlich als Eingangsvariablen. Während des Versuchszeitraumes erfolgte eine wöchentliche Untersuchung des somatischen Zellgehaltes von gepoolten Viertelgemelksproben. Die Ergebnisse dienten der Bewertung der Eutergesundheit. Es wurden drei Definitionen für „Mastitis“ aufgestellt: Behandlung (1), Behandlung und/oder Zellzahl > 100.000/ml (2) und Behandlung und/oder Zellzahl > 400.000/ml (3). Die berechneten Modelle ergaben Sensitivitäten von 92,9 % (1), 83,2 % (2) bzw. 83,9 % (3), Spezifitäten von 93,9 % (1), 75,8 % (2) bzw. 88,1 % (3) und Fehlerraten von 95,5 % (1), 41,9 % (2) bzw. 75,7 % (3). Der Testdatensatz bestätigte die Funktionalität der Modelle. Die Fuzzy Logic wurde als brauchbares Werkzeug zur Entwicklung von Früherkennungssystemen hinsichtlich Mastitiden bewertet.

Aktuelle Arbeiten zum Thema Früherkennung von Eutergesundheitsstörungen mit Hilfe von Methoden der künstlichen Intelligenz beim konventionellen Melksystem sind aus der Literatur nicht bekannt.

2.3.5 Die Internetplattform „fitness monitoring“

Das 2007 vom Sächsischen Landeskontrollverband e.V. (LKV) entwickelte und bereitgestellte Prozessüberwachungssystem „fitness monitoring“ dient den Führungskräften der sächsischen Milchproduktion zur Entscheidungsunterstützung und Verfahrensoptimierung. Um einen Fortschritt zu erzielen, sind zeitnahe, aussagefähige und übersichtliche Auswertungen zu schaffen. Der Nutzer erhält somit Unterstützung über einen Webservice zur Entscheidungsfindung, Ursachenforschung und Erfolgskontrolle. Zur Visualisierung werden Tabellen, Grafiken und Trenddarstellungen verwandt. Zur Bewertung der Ergebnisse werden verschiedene Indizes berechnet, welche letztlich mittels eines Ampelsystems anwenderfreundlich dargestellt werden. Abbildung 12 bis Abbildung 14 zeigen die Auswertungen in fm-basis hinsichtlich der Eutergesundheit.

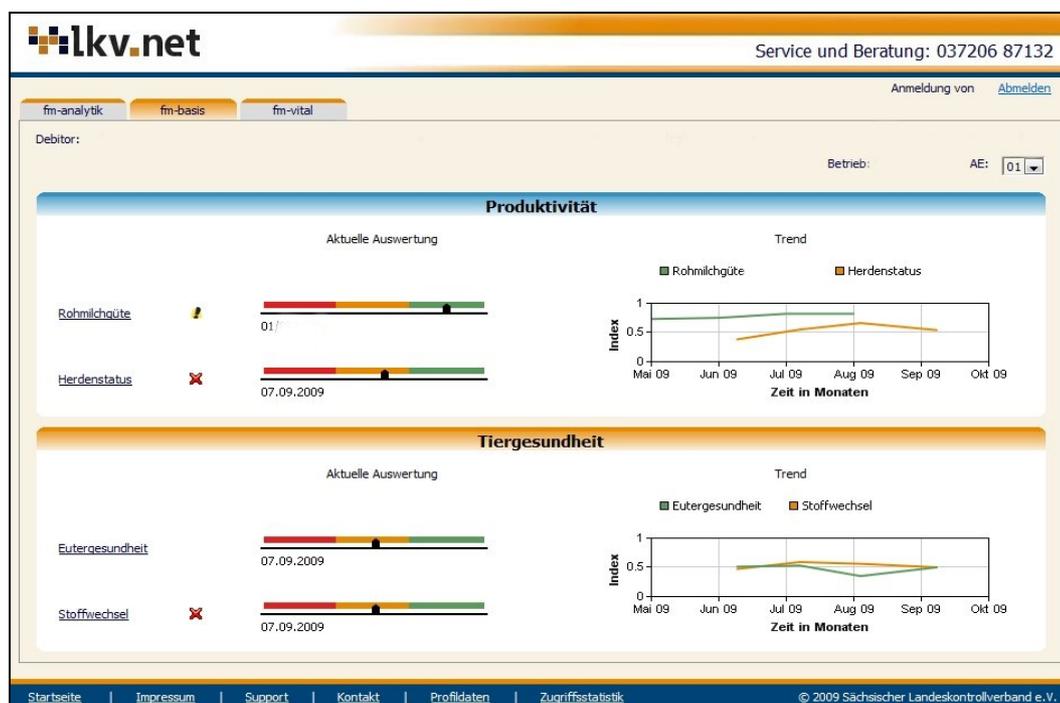


Abbildung 12: fitness monitoring-basis - Darstellungen zur Eutergesundheit in Ebene 1



Abbildung 13: fitness monitoring-basis - Darstellungen zur Eutergesundheit in Ebene 2

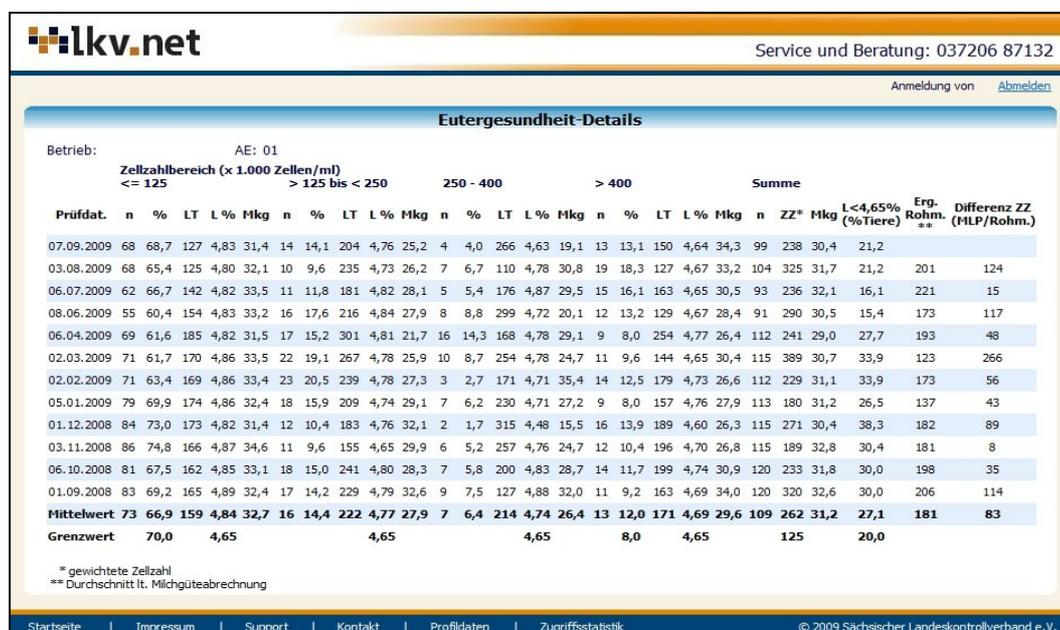


Abbildung 14: fitness monitoring-basis - Darstellungen zur Eutergesundheit in Ebene 3

Neben dem Modul basis gibt es derzeit noch die Module analytik und vital. In Zukunft sollen weitere, durch den Anwender individuell auswählbare Module ergänzt werden, u. a. auch basierend auf den Ergebnissen des vorliegenden Projektes.

3 Material und Methode

3.1 Datenherkunft und Datenstruktur

Als Referenzbetrieb diente die Herde des Lehr- und Versuchsgutes in Köllitsch. Die ausgewählten Prüftiere entstammen der Rasse Holstein Friesian. Die durchschnittliche Herdengröße liegt bei knapp 200 Tieren. Die verwendeten Einzeltierdaten entstammen dem Herdenmanagementprogramm HERDE[®]-dsp (DSP-Agrosoft GmbH, Ketzin). Die durchschnittliche Laktationsleistung der Tiere liegt derzeit bei knapp 9.500 kg Milch. Die Kühe werden überwiegend im Laufstall gehalten. Das Tier-Liegeplatz-Verhältnis beträgt 1:1, das Tier-Fressplatz-Verhältnis beträgt ebenso 1:1. Es findet ad libitum-Fütterung in Form einer TMR statt. Die Leistungsgruppen erhalten zusätzlich Kraftfutter über Kraftfutterautomaten.

Zusätzlich zu den Daten aus HERDE[®]-dsp und aus dem ALPRO[®]-System wurden handschriftliche Aufzeichnungen sowie Aktivitätsmessungen, Leitfähigkeitsmessungen und Laborergebnisse in einer Access[®]-Datenbank abgelegt.

3.1.1 Projektteil Fruchtbarkeit

Es wurden vorhandene Daten aus den Jahren zwischen 1997 und 2009 zugrundegelegt. Für 2009 ist kein vollständiges Jahr berücksichtigt. In die Untersuchungen gingen 783 Tiere ein. Von Interesse waren anfallende Daten aus den kritischen Bereichen im Laktationsverlauf in Bezug zur Aufgabenstellung. Als kritische Bereiche sind zu nennen:

- Trockensteh- und Transitphase
- Kalbephase
- Frischlaktationsperiode
- Reproduktionsperiode

Jede Kuh hat für jede Abkalbung einen eigenen Datensatz. Tabelle 19 gibt eine Übersicht über die in die Modelle eingepflegten Daten.

Tabelle 19: Datenmaterial zur Verwendung in den Modellen

Parameter	MLP	Erfassung individuell	täglich	Sensor	Quelle subjektiv	berechnet
Einsatzleistung	x			x		
FEQ	x					x
Fett%	x			x		
Eiweiss%	x			x		
Laktose%	x			x		
Zellzahl	x			x		
Harnstoff	x			x		
Kalbeverlauf		x			x	
EKA / ZKZ		x				x
BCS / RFD		x		x ^{RFD}	x ^{BCS}	
BCS- / RFD-Dynamik		x				x
Puerperalkontrolle		x		x	x	
Diagnosen		x			x	
Brunsterkennung		x			x	
Aktivatmessung			x	x		

Nach Aufbereitung der Daten und der Prüfung auf Plausibilität verblieb eine nutzbare Datenbasis von 1.270 Datensätzen. Die Plausibilitätsprüfung der Leistungsdaten erfolgte dabei bereits durch die Milchleistungskontrolle. Die Milchleistungsdaten liegen für alle 1.270 Datensätze vor. Ebenso ist für jeden Datensatz das Abkalbedatum, ein Erstkalbealter für Erstlaktierende bzw. eine Zwischenkalbezeit für höhere Laktationen sowie das Erstbesamungsdatum und das Datum der erfolgreichen Besamung vorhanden. Informationen zum Kalbeverlauf, zum Body Condition Scoring, zur Rückenfettdicke sowie Ergebnisse der Puerperalkontrolle und weitere Informationen zur Brunstbeobachtung und zur Aktivatmessung liegen nicht von allen Datensätzen vollständig vor.

Die aufgezeichneten Diagnosen und die Ergebnisse der Puerperalkontrolle wurden lediglich bis zum 60. Laktationstag berücksichtigt. Für jedes Tier in jeder Laktation wird jeweils ein Krankheitslevel zwischen null und zwei definiert (Erläuterung dazu in Kapitel 4.1.2.1).

- █ Krankheitslevel 0 → gesund oder keine Information
- █ Krankheitslevel 1 → leichtes Risiko
- █ Krankheitslevel 2 → hohes Risiko

Seit 2005 wurde in der Herde des Lehr- und Versuchsgutes Köllitsch der Body Condition Score ermittelt bzw. die Rückenfettdicke gemessen. Korrespondierend dazu wurde im Projekt deren Dynamik ermittelt, welche die Änderung des BCS bzw. der RFD von der vorherigen Einschätzung bzw. Messung bis zur nächsten Einschätzung bzw. Messung in Punkten bzw. mm angibt. In Tabelle 20 sind die entsprechenden Kategorien näher erläutert, zu denen es ebenso Werte der Dynamik gibt.

Tabelle 20: BCS-/RFD-Bestimmung

Kategorie BCS/RFD	Erläuterung
BCS_TS	letzter BCS-Wert vor der Kalbung, ermittelt bis zu 31 Tagen vor der Kalbung
RFD_TS	letzter RFD-Messung vor der Kalbung, gemessen bis zu 31 Tagen vor der Kalbung
BCS_Kalb	BCS-Wert, bestimmt im ersten Monat nach der Kalbung ermittelt bis einschließlich 31. Melktag
RFD_Kalb	RFD-Messung, bestimmt im ersten Monat nach der Kalbung gemessen bis einschließlich 31. Melktag
BCS_Bes	BCS-Wert, deren zeitlicher Abstand zur ersten Besamung max. ±15 Tage beträgt
RFD_Bes	RFD-Messung, deren zeitlicher Abstand zur ersten Besamung max ± 15 Tage beträgt

Die Zwischentragezeit und somit die Zeit bis zur nächsten erfolgreichen Besamung wurde anhand der Besamungsdaten und dem letzten Abkalbedatum ermittelt.

3.1.1.1 Übersicht zum Datenmaterial

Hinsichtlich der Verteilung der Laktationsklassen ist in Abbildung 15 zu erkennen, dass sich der Großteil der Datensätze auf die erste und zweite Laktation bezieht. Es ist weiterhin abzuleiten, dass in den letzten 10 Jahren nur ein geringer Prozentsatz die dritte Laktation erreicht hat. Aktuell liegen knapp unter 30 % in der ersten Laktation und 40 % in der zweiten Laktation. Knapp über 30 % erreichen die dritte und höhere Laktationen. Die derzeitige durchschnittliche Nutzungsdauer beträgt 1,9 Jahre.

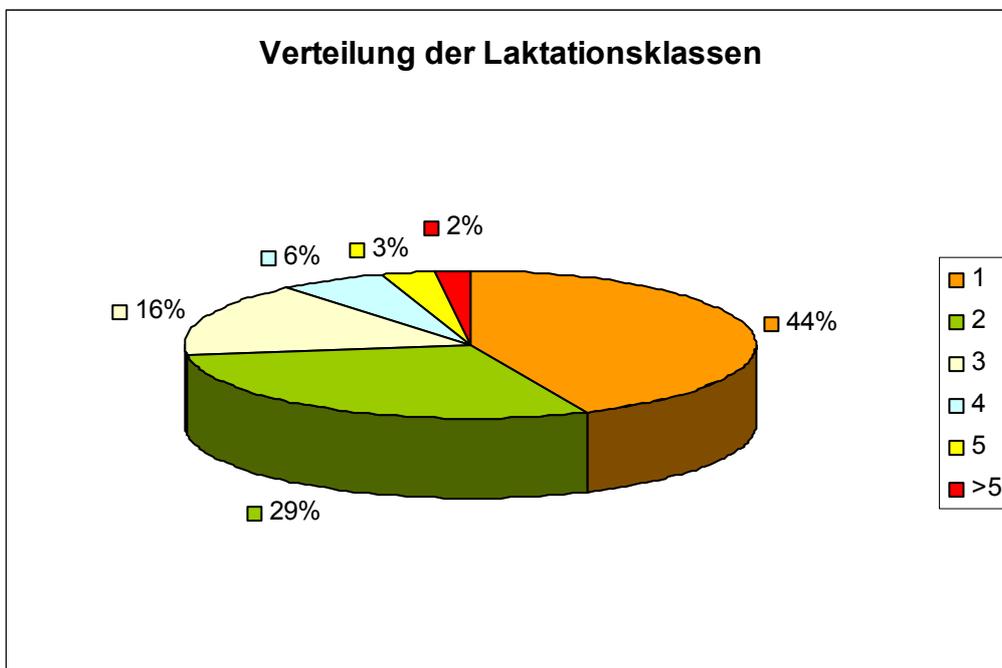


Abbildung 15: Verteilung der Kalbungen nach Laktationen (n=1.270)

Abgangsursachen

Die Abgangsursachen in den Jahren 2007 bis 2009 sind in Abbildung 16 dargestellt. Es verließen aufgrund von Erkrankungen, Leistungsdepressionen oder anderen Problemen 270 Milchkühe den Bestand.

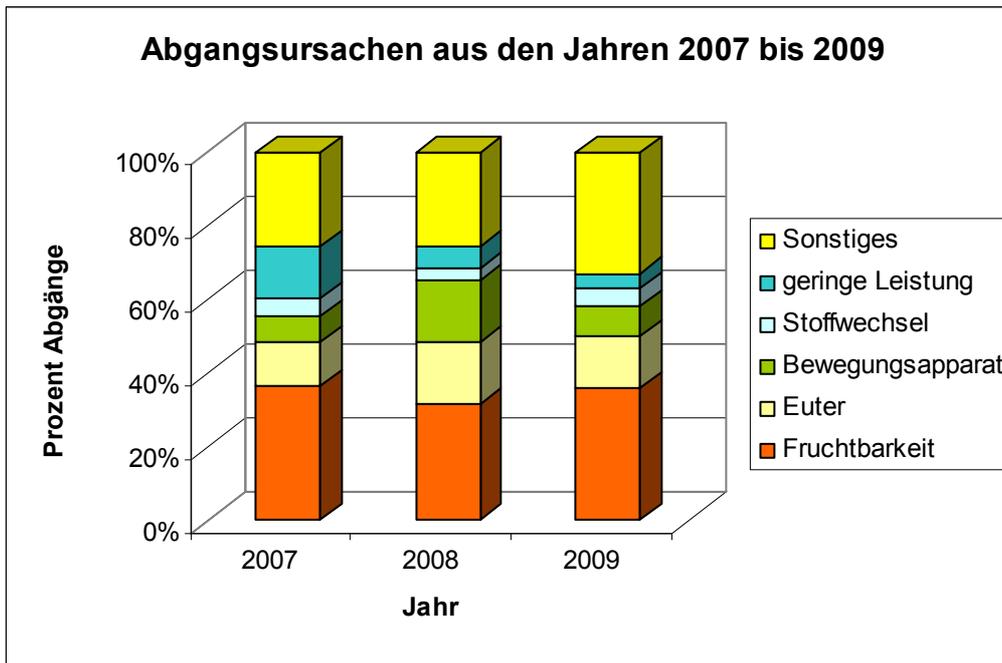


Abbildung 16: Abgangsursachen in den Jahren 2007 (n=96), 2008 (n=101) und 2009 (n=73)

Als Hauptgrund für das Verlassen aus dem Bestand ist in allen drei Jahren die Fruchtbarkeit angegeben. Im Jahr 2008 nahmen im Gegensatz zum Vorjahr die Abgangsursachen Eutererkrankungen und Bewegungsapparat deutlich zu, während der Anteil Fruchtbarkeit leicht zurückging. Das Jahr 2009 ist dem Jahr 2007 hinsichtlich der Abgangsgründe wieder sehr ähnlich.

Fruchtbarkeitslage

Abbildung 17 stellt die Fruchtbarkeitssituation der letzten drei Jahre dar.

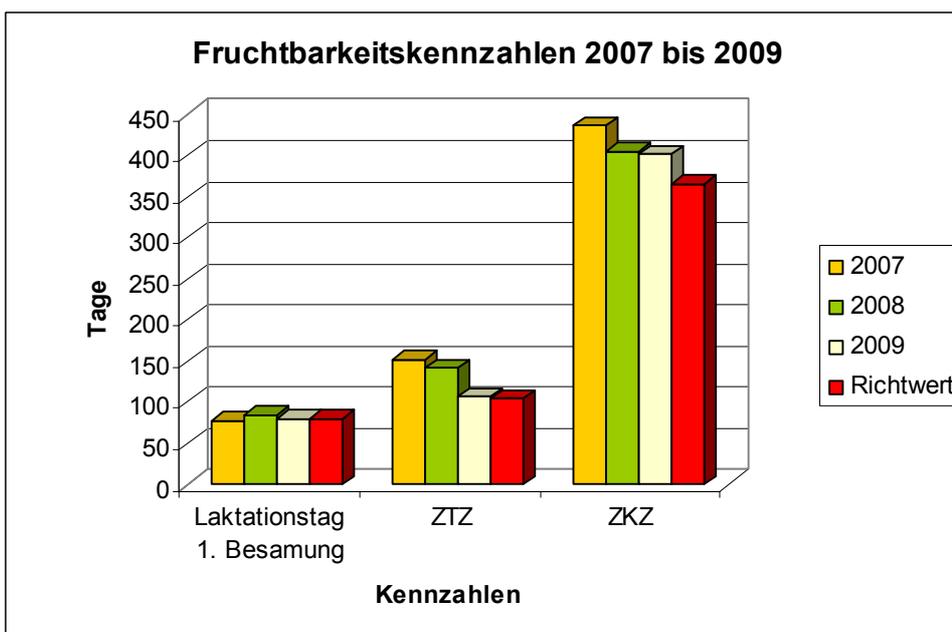


Abbildung 17: Fruchtbarkeitskennzahlen 2007, 2008 und 2009

Es ist zu erkennen, dass der Zeitpunkt der ersten Besamung den angegebenen Richtwerten entspricht. Zwischentragezeiten und Zwischenkalbezeiten waren jedoch in den Jahren 2007 und 2008 erheblich über dem Richtwert. Dies lässt auf Mängel in der Brunstbeobachtung oder auf unzureichende Besamungsarbeit schließen. Die Tiere sind überwiegend nicht aus erster Besamung tragend geworden. Die Zwischentragezeit hat sich jedoch 2008 verbessert und liegt Mitte 2009 in einem akzeptablen Bereich. In diesem Zeitraum wurde im Referenzbetrieb unter anderem die Puerperalkontrolle intensiviert. Die Verbesserung der Zwischentragezeit führte letztendlich auch zu einer Verbesserung in den Zwischenkalbezeiten.

Abkalbungen

Es wurden im Analysezeitraum 1.270 Abkalbungen, bei welchen im Nachhinein eine erneute Trächtigkeit und somit auch Zwischentragezeiten vorlagen, ausgewertet. Die Verteilung der Geburtsverläufe sind in Abbildung 18 dargestellt.

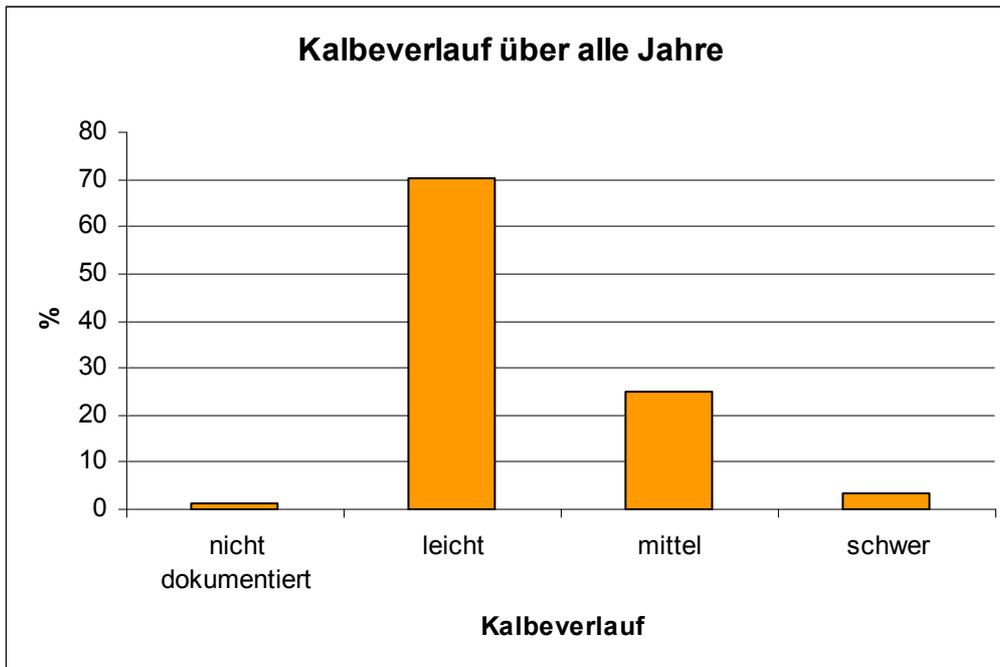


Abbildung 18: Kalbeverlauf im Analysezeitraum

Ein großer Anteil der Geburtsverläufe wurde mit „leichte Abkalbung“ dokumentiert. In der Kategorie schwer sind sowohl die Schwereburten als auch die Geburtsverläufe mit Operation enthalten.

Weil der Anteil an leichten Geburten recht hoch erscheint, wurden in der Abbildung 19 die letzten fünf Jahre näher betrachtet.

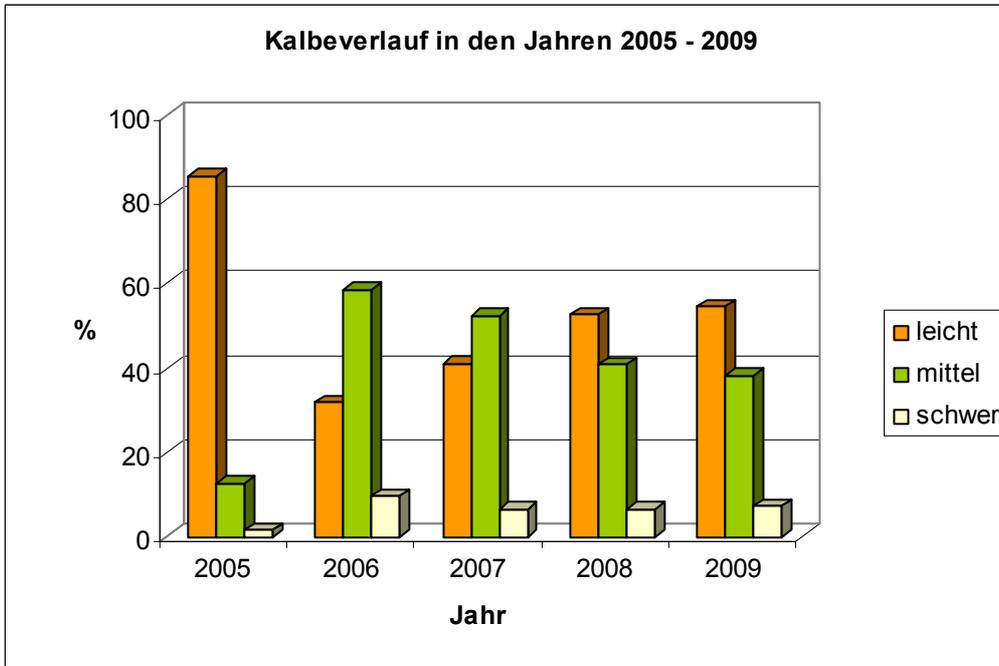


Abbildung 19: Kalbeverlauf der Jahre 2005 bis 2009

Die Anzahl an leichten Geburtsverläufen im Jahr 2005 von 85 % ist ebenfalls recht hoch und eventuell auf eine unzureichende Dokumentation zurückzuführen. Im Jahr 2006 und 2007 überwiegt der mittlere Geburtsverlauf, d. h. mindestens ein Helfer musste bei der Geburt eingreifen. Im Gegensatz dazu verliefen im Jahr 2008 und 2009 über 50 % der Geburten leicht und ohne Komplikationen. Der Anteil an Schweregeburten liegt ab 2007 unter 10 %.

Erkrankungen

Abbildung 20 stellt die Verteilung der Erkrankungen der letzten drei Jahre anschaulich dar. Am häufigsten erkrankten die Kühe am Bewegungsapparat. Weiterhin ist zu sehen, dass im Jahr 2008 die Erkrankungen im Fruchtbarkeitsbereich stark zurückgegangen sind.

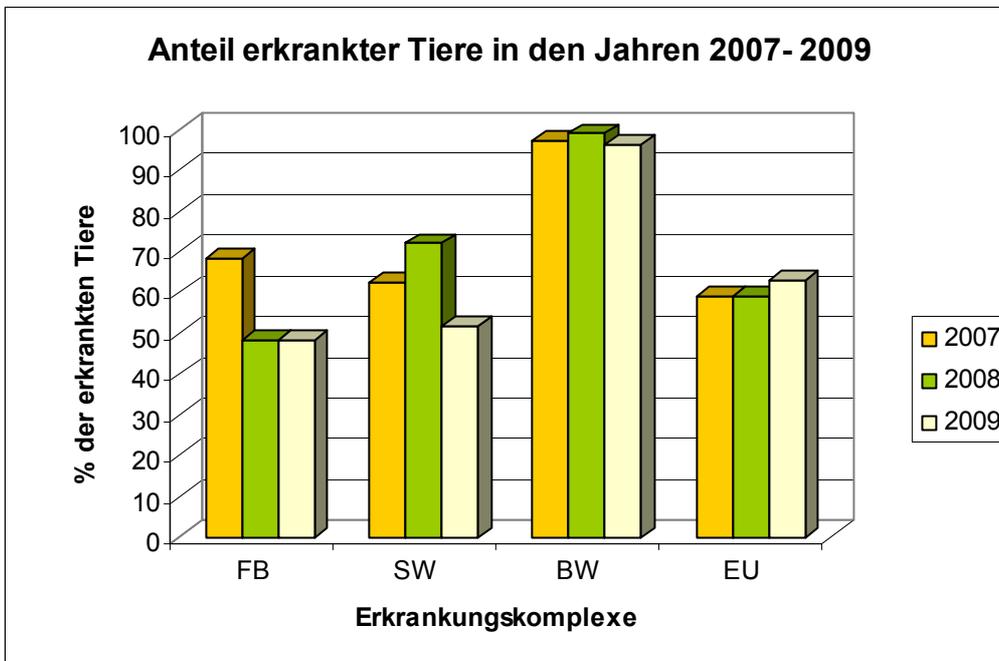


Abbildung 20: Anteil erkrankter Tiere gegenüber allen Tieren in Laktation für 2007 bis 2009

(FB ... Fruchtbarkeit; SW ... Stoffwechsel; BW ... Bewegungsapparat; EU ... Euter)

Weil im vorliegenden Projekt das Hauptaugenmerk auf Fruchtbarkeitsstörungen liegt, zeigt Abbildung 21 eine Aufgliederung nach den speziellen Diagnosen. Die am häufigsten vorkommende Erkrankung im Bereich Fruchtbarkeit stellt in allen drei betrachteten Jahren die Endometritis dar. Des Weiteren sind die bedeutendsten Krankheitsdiagnosen Zysten, Nachgeburtsverhaltungen (Rententio) sowie Anöstrie aufgeführt.

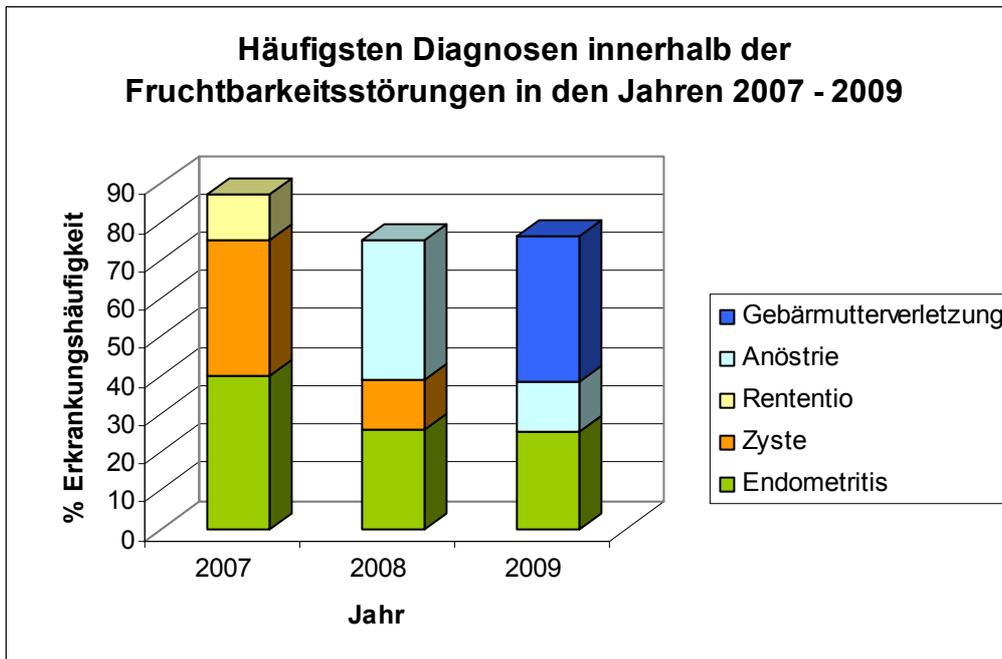


Abbildung 21: Prozentuale Verteilung der Arten von Fruchtbarkeitsstörungen für 2007 bis 2009

3.1.1.2 Weiterer Testdatensatz

Mit einem weiteren Datensatz sollen die erstellten Modelle überprüft werden. Diese Daten entstammen dem Projekt „Erarbeitung von Strategien zur Verbesserung der Fruchtbarkeit in Hochleistungsherden der sächsischen Milcherzeugung“. Das Forschungsprojekt ist ein gemeinsames Projekt von der Interessengemeinschaft der Erzeugerzusammenschlüsse in Sachsen e.V. (IGE) und dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Die Einzeltierdaten entstammen insgesamt aus neun sächsischen Milcherzeugerbetrieben und stellen eine repräsentative Stichprobe der Grundgesamtheit sächsischer Milchviehherden dar. Die Datenerhebung erfolgte zwischen 2005 und 2007. Alle Tiere gehören zu der Rasse der Holstein-Friesian. Die durchschnittliche Herdengröße lag im Jahr 2005/2006 bei 879 Tieren mit einer durchschnittlichen Milchleistung von 9.565 kg Milch/Jahr. Es konnten insgesamt 7.141 Datensätze für die Modellevaluierung genutzt werden. In den Betrieben lagen zum Teil Ergebnisse zur Rückenfettdicke vor, BCS-Bestimmungen fanden jedoch nicht statt. Aktimeterdaten liegen ebenfalls nicht vor.

3.1.1.3 Definition des Zielmerkmals - Zwischentragezeit

Weil die Zwischentragezeit mit Sicherheit eine der wichtigsten Fruchtbarkeitskennziffern überhaupt ist, soll dieser Parameter als Zielmerkmal dienen. Die Vor- und Nachteile einer kurzen Zwischentragezeit wurden benannt.

Unter der Annahme, dass erhöhte Zwischentragezeiten nicht nur Zufälle sind, soll versucht werden ein Modell zu schaffen, welches das erhöhte Risiko für verlängerte Zwischentragezeiten richtig abbildet. Die Zwischentragezeit wurde ab 115 Tagen als erhöht definiert. Der Vergleich des Risikos einer verlängerten Zwischentragezeit mit der tatsächlichen Gützeit eines Tieres soll die Vorhersagewahrscheinlichkeit prüfen. Die tatsächliche Gützeit ist allerdings nur für Kühe errechenbar, die wieder tragend werden. Tiere, die aufgrund von Unfruchtbarkeit abgehen, wurden somit nicht mit in den Vergleich zu Sensitivität und Spezifität einbezogen.

Nach BUSCH (2003) ist letztendlich eine Aussage von Bedeutung: Ist es mit angemessenem Aufwand (Praktikabilität) möglich, eine vernünftige Aussage (Plausibilität) zu treffen, die gegenüber dem Ausgangszustand eine deutliche Verbesserung (Treffsicherheit) bringt?

3.1.1.4 Modellentwicklung

Das Managementsystem für die Überwachung der Fruchtbarkeit von Milchkühen wird unter dem Betriebssystem Linux und der Fuzzy Logic Toolbox™ (Abbildung 22) des Programmierpaketes MATLAB® von The MathWorks™ entwickelt. MATLAB® ist Programmiersprache und interaktive Umgebung, mit der rechenintensive Aufgaben schnell ausgeführt werden können. MATLAB® ist primär für numerische Berechnungen mit Hilfe von Matrizen ausgelegt. Neben MATLAB® werden PERL-Skripte für die Entwicklung und Überprüfung der Modelle verwendet.

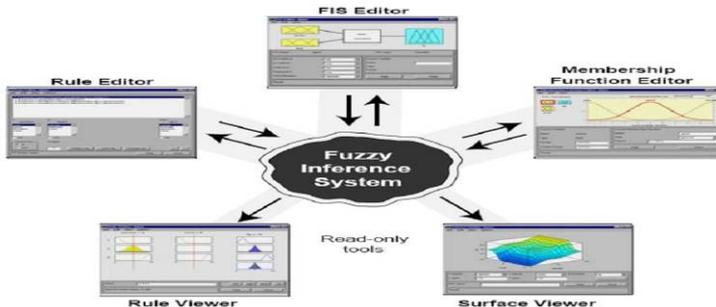


Abbildung 22: Benutzeroberfläche Fuzzy Logic Toolbox (Quelle: FUZZY LOGIC TOOLBOX USER'S GUIDE 2008)

3.1.2 Projektteil Eutergesundheit

Gemolken wurde zweimal täglich in einem Fischgrätenmelkstand (2x7) der Firma DeLaval. Lediglich Tiere in der Kolostrumphase wurden separat in einer Gruppe auf Stroh gehalten und mit einer Kannenmelkanlage gemolken. Die Tiere wurden abrupt und unter antibiotischem Schutz trockengestellt. Einige auffällige Tiere hinsichtlich der Zellzahl aus der MLP wurden mit homöopathischen Mitteln behandelt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die methodische Entwicklung eines automatisierten, betriebsindividuellen Analysesystems zur Früherkennung von Mastitiden bzw. zur Identifizierung von Risikotieren anhand serieller Daten im konventionellen Melksystem unter besonderer Berücksichtigung der Früh- und Hochlaktation. In Tabelle 21 ist der vorgesehene Versuchsaufbau, d. h. die im Rahmen der Untersuchung zu erfassenden Daten sowie deren Prüffrequenz und Funktion dargestellt. Auffälligkeiten hinsichtlich der Euter- bzw. -Sekretbeschaffenheit, die dem Melker oder dem Probenehmer auffielen, wurden dokumentiert. Für den Versuch relevante, routinemäßig verfügbare Produktionsdaten wie MLP-Ergebnisse und tierindividuelle Daten bzw. Melk- und Aktivitätsdaten wurden aus den verwandten Softwarelösungen, d. h. Herde (Fa. dsp-Agrosoft GmbH) bzw. ALPRO® Windows (Fa. DeLaval) gewonnen. Mit der bakteriologischen Untersuchung und der Untersuchung der Milchhaltsstoffe aus dem Viertelanfangsgemelk sowie der Analyse von Futterproben in den Laboren der Landwirtschaftlichen Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH und des Sächsischen Landeskontrollverbandes e.V. waren zusätzliche, in der Prozessroutine nicht verfügbare Daten vorhanden.

Die Melkprozessdaten dienten als Eingangsvariablen für die zu bildenden Modelle, während die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung und der Bestimmung des somatischen Zellgehaltes sowie die Dokumentation zum Auftreten klinischer Mastitiden und deren Behandlung zur Bewertung des Eutergesundheitsstatus des Einzeltieres verwandt wurden (Tabelle 21).

Tabelle 21: Datenerfassung – Daten und deren Funktion

Parameter	Bereich	Funktion			Erfassung
		Input	Referenz	Korrektur/ Sonstiges	
Euter-, Sekretbeschaffenheit	Eutergesundheit			(x)	individuell
BU (VAG)			x		tägl. Morgengemelk (7.–130. Tag p.p.)
Somatischer Zellgehalt (gepoolt aus VAG)			x		tägl. Morgengemelk (7.–130. Tag p.p.)
elektrische Leitfähigkeit (VAG) * mit SMS 4010 (Fa. IfU)			(x)	(x)	ttägl. Morgengemelk (7.–130. Tag p.p.)
Milchtemperatur (VAG) * mit SMS 4010 (Fa. IfU)			(x)	(x)	tägl. Morgengemelk (7.–130. Tag p.p.)
MLP-Daten	Produktionsdaten (Software, serielle Daten)	(x)		(x)	nach Frequenz MLP
allg. tierindividuelle Daten (Laktationstag, Laktation, Behandlungen, ...)			x	(x)	individuell
Melkprozessdaten		x			nach Melkfrequenz
Aktivitätsdaten		(x)			nach System
Milchinhaltsstoffe (F%, E%, L%, Harnstoff, pH) aus VAG	zusätzliche Daten			(x)	tägl. Morgengemelk (7.–130. Tag p.p.)
Futteruntersuchung (Mikrobiologie, ...)				(x)	1–2 x wöchentlich

* in Versuchsplanung berücksichtigt, konnte jedoch nicht realisiert werden;
(x) die Daten wurden erfasst, jedoch nicht verarbeitet

Mit Ausnahme der Daten aus dem Melkprozessor (Melkdaten, Aktivitätsdaten) sowie der relevanten Daten aus dem Herdenmanagementsystem Herde (Fa. dsp-Agrosoft GmbH), erfolgte die Erfassung zunächst mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel® (Version 2007, Fa. Microsoft). Diese Daten wurden dann mittels eines eigens entwickelten Tools (mit Visual Studio 2008, Fa. Microsoft) automatisiert aus den Excel-Sheets in eine SQL-Datenbank (Fa. Microsoft) eingelesen und thematisch strukturiert, basierend auf dem Einzeltier, abgelegt. Die Daten standen somit zur Ansicht bzw. für individuelle Abfragen bereit.

Die per Datensicherung zur Verfügung gestellten Daten aus dem Herdenmanagementsystem Herde wurden mittels entsprechender Tools ausgelesen und in die SQL-Datenbank transferiert.

Die Daten zum Melkprozess sowie die Aktivitätsdaten wurden täglich automatisch aus der entsprechenden Software des Lehr- und Versuchsgutes Köllitsch, ALPRO® Windows (Fa. DeLaval), ausgelesen. Zur Realisierung dieses Datenabrufs war auf dem PC zugleich das vom Sächsischen Landeskontrollverband e.V. entwickelte Kommunikationstool trans.lkv.net (Version: 2.0.0.1) sowie eine Datenabfragedatei (Requestdatei) installiert. Die Abfragedatei definiert, welche Datenfelder im ADIS-ADED-Format aus ALPRO® Windows ausgelesen werden. In den Einstellungen von trans.lkv.net wurde eine Tageszeit hinterlegt, welche kurz vor dem Tageswechsel im melktechnischen System liegt und zu der die Datenabfrage daraufhin mittels der Abfragedatei täglich automatisch initiiert wurde. Die infolge des Auslesens der Daten erzeugte Datei (ADIS-ADED-Format) wurde mit Hilfe des trans.lkv.net automatisch zum Sächsischen Landeskontrollverband e.V. transferiert. Die darin befindlichen Daten wurden, ebenso wie auch die übrigen erfassten Daten, in der SQL-Datenbank abgelegt.

3.1.2.1 Übersicht zum Datenmaterial

Die Datenerhebung erstreckte sich über den Zeitraum vom 17.03.2009 bis 14.07.2009 (120 Tage). Zu Beginn des Versuches wurden alle Tiere als Prüftiere ausgewählt, die zwischen dem 7. und 130. Laktationstag lagen, weil sich die Untersuchungen auf die Früh- und Hochlaktation konzentrieren sollten. Tiere, die während des Versuchszeitraumes abkalbten, wurden ab dem 7. Laktationstag in den weiteren Versuchsablauf einbezogen, bei Tieren, die über dem 130. Laktationstag lagen, wurde die Beprobung eingestellt. Tiere in Behandlung wurden während der Zeit der Milchsperrung nicht beprobt. Die Prüftiere wurden mit Fesselbändern gekennzeichnet. In Behandlung befindliche Tiere bzw. gesperrte Tiere waren durch ein weiteres Fesselband identifiziert. Für den Versuch lag für die insgesamt 53 Prüftiere die in Tabelle 22 dargestellte Verteilung der Laktationsnummern vor.

Tabelle 22: Verteilung der Prüftiere nach Laktationsnummer

aktuelle Laktationsnummer	1	2	3	4	> 4	Summe
Tiere (n)	16	25	6	3	3	53
Anteil (%)	30	47	11	6	6	100

(a) Milchproben

Von den klinisch gesunden, nicht in Behandlung befindlichen Tieren wurden täglich zur Morgenmelkzeit Milchproben aus dem Viertelanfängsgemelk entnommen.

Bakteriologische Untersuchung

Die Euter wurden durch das Melkpersonal nach dem im Betrieb üblichen Verfahren vorgemolken und gesäubert. Das Vormelken erfolgte mit dem Mastitissensor SMS 4010 (Fa. IfU), mit dem neben der Prüfung des Vorgemelks zugleich die elektrische Leitfähigkeit und die Milchtemperatur gemessen wurde. Zur Reinigung wurden Euterlappen verwandt. Im Anschluss erfolgte die Probenentnahme nach den Vorgaben der DVG (2000). Die Zitzen wurden mit einem in 70-%igem Alkohol getränkten Zellstofftuch gereinigt und desinfiziert und die Milchprobe in das Probenröhrchen gemolken. Zur Probenentnahme wurden Handschuhe getragen, die während des Vorgangs der Probenahme regelmäßig gereinigt und desinfiziert wurden.

Die Milchproben wurden nach der Probenahme umgehend in den Kühlschrank verbracht. Das Probengut wurde in Styroporboxen, ausgestattet mit Kühlakku, transportiert und in der Landwirtschaftlichen Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH (LKS mbH) in Lichtenwalde spätestens 30 Stunden nach der Probenahme der Untersuchung nach standardisierten Verfahren zugeführt.

Nach Erwärmung auf 16-18 °C und sorgfältiger Durchmischung der Viertelanfängsgemelksproben wurde jeweils ein Inokulum von 0,01 ml auf einem Viertel einer Blutagarplatte (Fa. Oxoid; Zusatz von 5 % Schafblut) sowie einem Gassner-Agar (Fa. Oxoid; zur Isolierung von Enterobacteriaceae) und einem YGC-Agar (Fa. Oxoid; zur Isolierung von Hefen und Schimmelpilzen) ausgestrichen und über 24-48 bzw. mindestens 48 Stunden (Platten mit YGC-Agar) bei 37 °C aerob bebrütet.

Die Identifizierung der Mastitiserreger stützte sich auf Wachstumsverhalten, Koloniemorphologie, Farbpigmentbildung, Äsculinspaltung und Hämolysinbildung und Gramfärbung. Bei verdächtigen Proben wurden weitere Selektivnährböden sowie verschiedene biochemische Tests wie u.a. Rapid Systeme, der Plasmakoagulase-Test, der Oxidase-Test und der Staphylase-Test der Fa. Oxoid sowie der Indol-Test (Fa. Becton Dickenson) und der Katalase-Test (Fa. Biomerieux) eingesetzt.

Milchinhaltstoffe

Nachdem die notwendige Milchmenge für die bakteriologische Untersuchung aus den Probenröhrchen entnommen wurde, wurde vom übrigen Probengut aus den Viertelanfängsgemelksproben eines Tieres eine anteilige Mischprobe erzeugt. Diese Mischprobe wurde in mit 0,15 ml Bronopol-Kathon-Lösung konservierte Probeflaschen gefüllt und am selben Tag im Milchlabor

des Sächsischen Landeskontrollverbandes e.V. auf die Gehalte an Fett, Eiweiß, Laktose, Harnstoff sowie den pH-Wert und die somatische Zellzahl untersucht.

Zur Messung der Milchhaltsstoffe Fett, Eiweiß, Laktose sowie des Harnstoffgehaltes und des pH-Wertes der Milch wurde das Gerät „MilcoScan FT6000“ (Fa. Foss Electric) verwendet, welches auf Basis der Infrarotabsorptionsspektroskopie arbeitet. Die Untersuchung der Milch auf deren Gehalt an somatischen Zellen wurde mittels einer fluoreszenzoptischen Zählung mit dem Gerät „Fossomatic 5500“ (Fa. Foss Electric) durchgeführt.

(b) Futterproben

Im Zeitraum vom 15.04.2009 bis 14.07.2009 wurden wöchentlich ein- bzw. zweimalig Proben von TMR unmittelbar zur Einfütterung sowie von Gras- und Maissilage genommen. Bis zum Transport wurden die Proben im Kühlschrank gelagert. Der Transport zum Labor der Landwirtschaftlichen Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH (LKS mbH) erfolgte in separaten Styroporboxen, ausgestattet mit Kühlakkus. Im Labor der LKS mbH wurden die Proben hinsichtlich der Mikrobiologie untersucht.

3.1.2.2 Definition des Zielmerkmals – Mastitisrisiko

Die Ausgangsvariable (Ausgabewert) der Fuzzy Logic-Modelle soll jeweils der „Eutergesundheitsstatus“ des Einzeltieres zum betrachteten Tag sein. Zur Bewertung der Funktionalität bzw. Sicherheit der Modelle muss eine Referenzgröße definiert und berechnet werden, welche jeweils mit der Ausgangsvariable, die ebenso strukturiert ist, verglichen wird. Die Referenzgröße beschreibt die tatsächlich vorliegende Situation zum betrachteten Zeitpunkt.

Zur Beschreibung des Eutergesundheitsstatus der Prüftiere standen einerseits die täglichen Analysenergebnisse der Zellzahluntersuchung sowie der bakteriologischen Untersuchung und andererseits individuell anfallende Informationen aus dem Herdenmanagementsystem zu klinischen Mastitiden und deren Behandlung zur Verfügung. Während der tägliche Zellzahlwert aus der Untersuchung gepoolter Proben der Viertelanfängsgemelke resultierte, lagen zur bakteriologischen Untersuchung täglich viertelweise Ergebnisse vor. Die BU-Befunde wurden zusammengefasst und bewertet wie in Kapitel 4.2.1.2 beschrieben, weil die übrigen Informationen nicht bis zur Ebene des Euterviertels reichten. Bei der Bildung der Referenzgröße sollte dem Ergebnis der bakteriologischen Untersuchung gegenüber den übrigen Parametern verhältnismäßig weniger Bedeutung zukommen aufgrund der schwierigen Interpretierbarkeit sowie der bestehenden Unsicherheiten, insbesondere aufgrund der vermuteten Behaftung mit Kontaminationen.

In der Literatur wird oftmals eine Zellzahl von < 100.000/ml Milch als Grenzwert für ein eutergesundes Tier benannt (AID 2001; DVG 2002; WOLTER et al. 2002; MAHLKOW-NERGE 2004; IBEN 2007a). Daher sollte dieser Grenzwert angewandt werden.

Bei den dokumentierten klinischen Mastitiden war hinsichtlich deren Behandlung zwischen der Anwendung antibiotischer Präparate und homöopathischer Arzneimittel zu unterscheiden. Aus diesem Informationspool war eine zweckmäßige, möglichst wahrheitsgemäße und plausible Definition einer Referenzgröße zu erarbeiten. Dies war erwartungsgemäß schwierig und ist mit gewissen Unsicherheiten behaftet.

Die Bestimmung von sogenannten Risikogruppen (nachfolgend auch als Variante R 1 bezeichnet) wurde als eine mögliche Definition der Referenzgröße angesehen. In Tabelle 23 ist der Bestimmungsschlüssel der Risikogruppe, welcher auf einem IF-THEN-Regelwerk beruht, aufgeführt. Den fünf Risikogruppen wurde ein gleichbedeutender Eutergesundheitsstatus in ebenfalls fünf Ausprägungen zugeordnet. Der Eutergesundheitsstatus ist also lediglich eine andere, nämlich verbale, Ausdrucksform. Die Risikogruppe ergab sich aufgrund der Ausprägung der betrachteten Parameter und deren Kombination mit Hilfe des IF-THEN-Regelwerkes.

Aus Zellzahlen über 400.000/ml resultierte ohne eine weitere Betrachtung der übrigen Parameter eine Einstufung in Risikogruppe 5 (= auffällig). Ebenso erfolgte bei einer Klinik mit bzw. ohne antibiotische Behandlung unmittelbar eine Einstufung in die Risikogruppe 5 bzw. 4. Eine „Klinik ohne antibiotische Behandlung“ bedeutet, dass eine Verabreichung homöopathischer Arzneimittel dokumentiert wurde. War die Zellzahl an einem Prüftag max. 400.000/ml und lag keine Klinik vor, so bestimmte die Kombination aus der Zellzahluntersuchung der gepoolten Probe aus den Viertelanfängsgemelk und dem zum Einzeltier zusammengefassten Ergebnis der bakteriologischen Untersuchung der Viertelanfängsgemelke die Risikogruppe.

Tabelle 23: Bestimmungsgrundlage für die Referenzgröße R1 – Risikogruppe

Zellzahl (x1.000/ml)	IF		Klinik	Risikogruppe	Eutergesundheitsstatus
	Bakteriologische Untersuchung	Intensität **			
	Pathogenität				
			Klinik mit antibiotischer Behandlung	5	auffällig
			Klinik ohne antibiotische Behandlung	4	eher auffällig
> 400				5	auffällig
< 100	0			1	unauffällig
	1	1 – 3		1	unauffällig
	2	1 – 3		1	unauffällig
	3	1 – 2		2	eher unauffällig
	3	3		3	unsicher
	4	1		2	eher unauffällig
	4	2 – 3		3	unsicher
≥ 100	0			4	eher auffällig
	1	1 – 3		4	eher auffällig
	2	1 – 3		4	eher auffällig
	3	1 – 2		4	eher auffällig
	3	3		5	auffällig
	4	1		4	eher auffällig
	4	2 – 3		5	auffällig

* numerische bzw. verbale Formulierung; ** 1, 2, 3 - entspricht +, ++, +++ des Befundes

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Verteilung der Risikogruppen in Abhängigkeit der Laktationsnummer. Auffällig dabei ist eine zunehmende Verschiebung von Risikogruppe 1 hin bis zur Risikogruppe 5 von Tieren in der ersten Laktation zu Tieren mit mehr als zwei abgeschlossenen Laktationen.

Tabelle 24: Verteilung der Risikogruppen nach Laktationsnummer

Laktation	Risikogruppe									
	1		2		3		4		5	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1	822	68	176	15	111	9	69	6	25	2
2	774	53	190	13	199	14	142	10	148	10
> 2	288	49	73	12	52	9	19	3	155	27
gesamt	1.884	58	439	14	362	11	230	7	328	10

Als alternative Variante einer Referenzgröße wurde ein Eutergesundheitsindex (nachfolgend auch als Variante R 2 bezeichnet) gebildet (Tabelle 25).

Auch dieser basierte auf den Informationen zu Zellzahl, BU-Befunden und dokumentierten klinischen Mastitiden. Bei der Berechnung des Index wurden zunächst die drei verwandten Kriterien getrennt betrachtet und es erfolgte jeweils eine Umwandlung in einen Teilindex mit Werten im Bereich von 0 bis 1 in unterschiedlicher Abstufung. Zur Berechnung des Eutergesundheitsindex wurden die Teilindizes mit Wichtungsfaktoren korrigiert, um die Aussagesicherheit der einzelnen Kriterien berücksichtigen zu können. Die Zellzahl hatte, wie aus der Tabelle 25 hervorgeht, den größten Einfluss auf den Eutergesundheitsindex.

Diese Variante scheint praktikabel zu sein, allerdings ist zu vermuten, dass der Wahrheitsgehalt hier geringer ist, weil die Abstufung zwischen den einzelnen Kriterien sehr unterschiedlich detailliert ist und die tierindividuelle Wirkung der betrachteten Kriterien gegenseitig kaum vergleichbar ist. Daher kann es bei dieser Variante zu fehlerhaften Einstufungen und Informationsverlusten bzw. zu einer Verfälschung der Information kommen. Als Grenzwert für unauffällige Tiere wurde ein Index von < 0,25 festgelegt. Ein Index im Bereich 0,25 bis 0,35 wurde als „unsicher“ und Werte über 0,35 als „auffällig“ definiert. Es gab hier also letztlich nur drei Abstufungen. Diese Festlegung wie auch die Grenzwerte sind grundsätzlich beliebig variabel.

Tabelle 25: Bestimmungsgrundlage für die Referenzgröße R2 – Eutergesundheitsindex

Parameter	Wertebereich	Grenzwerte/Berechnung			Wichtung
Zellzahl (x1.000/ml)	0 – 1	Analysenergebnis	Berechnungsart	Wert	1,00
		0 – 200	dynamisch	0,00 – 1,00	
		> 200	-	1,00	
BU	0 – 1 (Viertelnoten)	Pathogenität	Intensität *	Wert	0,50
		0	-	0,00	
		1	1 – 3	0,00	
		2	1 – 3	0,25	
		3	1 – 2	0,50	
		3	3	1,00	
		4	1	0,75	
		4	2 – 3	1,00	
Klinik	0 – 1 (Halbnoten)	Beschreibung		Wert	0,75
		keine Klinik		0,00	
		Klinik ohne antibiotische Behandlung		0,50	
		Klinik mit antibiotischer Behandlung		1,00	

* 1, 2, 3 - entspricht +, ++, +++ des Befundes

Für eine praxisgerechtere tägliche Bewertung des Eutergesundheitsstatus eines Einzeltieres wäre möglicherweise ein weiterer Arbeitsschritt zur Festlegung der endgültigen Referenzgröße zweckmäßig gewesen, um (zu stark) schwankende Referenzgrößenwerte auszugleichen. So hätte als zusätzlicher Arbeitsschritt eine geeignete Methode angewandt werden können, mittels der die ermittelten Referenzgrößenwerte im Zeitverlauf geprüft und ggf. geglättet werden.

Studien, die sich ebenso mit der Früherkennung von Eutererkrankungen mittels Fuzzy Logic-Modellen, wenn auch am AMS, beschäftigten, nutzten zur Bestimmung der Referenzgröße, also der Vergleichsgröße zur Bewertung der Ausgabewerte der Modelle, die gleichen Parameter wie in der vorliegenden Arbeit. Allerdings differieren die Kombination der Parameter und deren Prüffrequenz (vgl. Kapitel 2.3.4). CAVERO (2006) stellte für seine Studie drei verschiedene Definitionen für die Referenzgröße „Mastitis“ (ja/nein) auf. Die Definitionen beruhen ausschließlich auf dem Ereignis Behandlung bzw. zusätzlich auf der Information zur wöchentlich aus einer gepoolten Viertelgemelksprobe untersuchten Zellzahl, für die ein Grenzwert von > 100.000/ml bzw. > 400.000/ml festgelegt wurde. Befunde aus einer bakteriologischen Untersuchung standen nicht zur Verfügung. Bei KÖHLER (2002) erfolgte die Einteilung der Referenzgröße „Viertelstatus“ in „auffällig“ bzw. „nicht auffällig“ im Vorversuch durch eine kombinierte Bewertung von Zellzahlergebnis, Mastitisschnelltest und klinischem bzw. bakteriologischem Befund und im Hauptversuch durch die Parameter Zellzahl, Befund der bakteriologischen Untersuchung und klinischer Untersuchung der Tiere. Die klinische Untersuchung der Tiere erfolgte jeweils im Laufe des Versuchszeitraumes, während die übrigen Parameter zu Beginn bzw. beim Hauptversuch zu Beginn und Ende des Versuchszeitraumes erfasst wurden. Bei diesen beiden Studien war infolge der geringeren Prüffrequenz der Parameter gegenüber der vorliegenden Arbeit ein höherer Informationsverlust möglich, was die wahrheitsgemäße tier- bzw. viertelindividuelle Einstufung und damit auch die Sicherheit der Ergebnisse eingeschränkt haben könnte. Allerdings wurde bei diesen Studien ausschließlich auf Ebene des Euterviertels gearbeitet, was wiederum sicherere Rückschlüsse auf die Eutergesundheit zulässt, als Betrachtungen auf Ebene des

Einzelieres. Die Auswahl der Parameter sowie deren Prüffrequenz und Erfassungsebene sollte im Vorfeld sehr genau durchdacht werden, weil die letztlich daraus abgeleitete Referenzgröße über die Modellierung und deren Ergebnisse entscheidet. Eine sehr hohe Prüffrequenz kann bei stark fluktuierenden Messwerten zu Interpretationsschwierigkeiten führen.

3.1.2.3 Modellentwicklung

Zur statistischen Datenanalyse wurden Abfragen in der SQL-Datenbank initiiert und ins Tabellenkalkulationsprogramm Excel[®] (Version 2007, Fa. Microsoft) überführt. Die statistischen Auswertungen zum erfassten Datenmaterial erfolgten anschließend mit dem Statistikprogramm Analyse-it[®] (Fa. Analyse-it Software, Ltd.; Version 2.21 Excel 12+) für Microsoft Excel.

Die Erstellung der Fuzzy Logic-Modelle erfolgte mit Hilfe der Fuzzy Logic Toolbox (Version 2.2.10) von MATLAB[®] (Version 7.9.0.529; The MathWorks, Inc.) in Form sog. Mamdani-Controller. Zur Defuzzifizierung wurde prinzipiell der center-of-area-Ansatz gewählt.

3.1.3 Statistik

Im vorliegenden Projekt waren neben allgemeinen Darstellungen der Datenverteilung auch Beziehungen zwischen verschiedenen Parametern mit Hilfe statistischer Verfahren zu betrachten. Allgemeine Übersichten zur Datenverteilung wurden durch Mittelwerte, Standardabweichungen und Häufigkeitsverteilungen dargestellt.

Zur Quantifizierung von Zusammenhängen zwischen Prüfparametern wurden Korrelationskoeffizienten nach Pearson (Produkt-Moment Korrelation) bzw. bei nicht parametrischen Eigenschaften der betrachteten Größen nach Spearman berechnet, welche die Stärke und Richtung des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen beschreiben (GASSER & SIEFER 2005). Die Prüfung auf Signifikanz erfolgte mit dem t-Test.

Weiterhin wurde die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA – Analysis of variance) angewandt. Es wurde jeweils die Nullhypothese aufgestellt, dass zwischen den einzelnen Klassen keine Unterschiede innerhalb der Mittelwerte bestehen. Diese Hypothese wurde auf Annahme oder Ablehnung überprüft. Weil mittels der einfaktoriellen Varianzanalyse nicht festgestellt wird, ob zwischen den Mittelwerten signifikante Unterschiede bestehen, schloss sich bei Ablehnung der Nullhypothese der Scheffé-Test als Mittelwertvergleich an, welcher bei ungleichen Wiederholungszahlen anzuwenden ist (PRECHT et al. 1999). Die berechneten Grenzdifferenzen werden dabei mit den beobachteten Differenzen zwischen den Mittelwerten verglichen. Ist die beobachtete Differenz zwischen den Mittelwerten größer als die berechnete Grenzdifferenz, so unterscheiden sich die Mittelwerte signifikant voneinander.

Das Signifikanzniveau wurde mit $\alpha = 0,05$ und das Konfidenzintervall mit 95 % festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Projektteil Fruchtbarkeit

4.1.1 Datengrundlage

Im vorliegenden Datenmaterial haben Tiere mit einer Zwischentragezeit von weniger als 115 Tagen im Durchschnitt etwa 1,4 Besamungen. Bei Tieren mit einer hohen Zwischentragezeit liegt die Anzahl der Besamungen über vier. Tabelle 26 zeigt eine Übersicht zu Mittelwerten und Standardabweichungen innerhalb der Merkmale.

Tabelle 26: Mittelwert und Standardabweichungen für die verwendeten Parameter

Laktation	Parameter	ZTZ < 115 n	Mittelwert ± Standardabweichung	ZTZ ≥ 115 n	Mittelwert ± Standardabweichung
1. Laktation	Mkg - 1.MLP	216	27,51 ± 6,21	336	28,18 ± 6,11
	FEQ - 1.MLP	216	1,31 ± 0,26	336	1,33 ± 0,27
	ZZ - 1.MLP	216	258,85 ± 831,10	336	220,19 ± 670,04
	Lactose - 1.MLP	184	4,88 ± 0,19	279	4,87 ± 0,21
	Harnstoff -1.MLP	216	187,57 ± 56,77	336	194,41 ± 61,66
	Kalbeverlauf-Kategorie	216	1,49 ± 0,51	333	1,39 ± 0,49
	EKA	216	779,51 ± 86,27	336	789,41 ± 84,31
	ZKZ				
	BCS - TS	5	3,70 ± 0,21	9	3,86 ± 0,38
	BCS - Besamung	94	3,14 ± 0,77	128	2,94 ± 0,70
	RFD - TS	58	15,88 ± 5,12	99	16,57 ± 6,52
	RFD - Besamung	98	6,38 ± 3,82	143	5,58 ± 4,10
	Krankheitslevel	216	1,04 ± 0,76	336	1,15 ± 0,80
	LT - Erstbesamung	216	72,84 ± 12,38	336	80,49 ± 23,64
	Anzahl Besamungen	216	1,37 ± 0,57	336	4,21 ± 2,06
	LT - Erste Brunst	29	55,31 ± 24,29	40	71,23 ± 43,20
	LT - Erste Aktivität	8	58,13 ± 23,32	3	173,00 ± 103,70
	ZTZ	216	82,06 ± 16,15	336	199,00 ± 66,50
	2. Laktation	Mkg - 1.MLP	138	36,80 ± 8,78	233
FEQ - 1.MLP		137	1,36 ± 0,32	232	1,38 ± 0,32
ZZ - 1.MLP		137	185,31 ± 501,63	232	218,45 ± 545,19
Lactose - 1.MLP		111	4,81 ± 0,23	200	4,80 ± 0,18
Harnstoff -1.MLP		137	194,99 ± 61,09	233	188,74 ± 64,15
Kalbeverlauf-Kategorie		135	1,24 ± 0,44	227	1,18 ± 0,39
EKA					
ZKZ		138	407,13 ± 57,11	233	424,99 ± 68,44

>2. Laktation	BCS - TS	3	4,00 ± 0,25	6	3,21 ± 0,40
	BCS - Besamung	55	3,00 ± 0,75	78	2,77 ± 0,80
	RFD - TS	4	15,25 ± 3,50	6	8,17 ± 4,31
	RFD - Besamung	50	6,78 ± 3,85	49	5,27 ± 4,52
	Krankheitslevel	138	0,99 ± 0,74	233	1,01 ± 0,82
	LT - Erstbesamung	138	74,39 ± 12,17	233	82,92 ± 23,73
	Anzahl Besamungen	138	1,37 ± 0,58	233	4,44 ± 1,93
	LT - Erste Brunst	17	50,53 ± 15,20	25	88,76 ± 75,18
	LT - Erste Aktivität	8	41,88 ± 23,42	6	100 ± 64,88
	ZTZ	138	83,04 ± 16,42	233	204,00 ± 62,45
	Mkg - 1.MLP	119	34,79 ± 9,21	228	36,43 ± 9,12
	FEQ - 1.MLP	119	1,46 ± 0,40	228	1,45 ± 0,33
	ZZ - 1.MLP	119	324,18 ± 678,55	228	407,22 ± 937,01
	Lactose - 1.MLP	97	4,70 ± 0,25	183	4,73 ± 0,27
	Harnstoff -1.MLP	119	186,66 ± 70,06	228	194,24 ± 66,87
	Kalbeverlauf-Kategorie	118	1,14 ± 0,34	226	1,17 ± 0,37
	EKA				
	ZKZ	119	402,71 ± 55,03	228	426,83 ± 75,36
	BCS - TS	4	3,88 ± 0,92	5	4,05 ± 0,67
	BCS - Besamung	46	2,87 ± 0,93	76	2,91 ± 0,97
	RFD - TS	3	22,33 ± 5,03	3	14,67 ± 6,81
	RFD - Besamung	27	6,15 ± 4,28	27	7,04 ± 5,54
	Krankheitslevel	119	1,03 ± 0,76	228	1,22 ± 0,79
	LT - Erstbesamung	119	75,96 ± 15,20	228	84,44 ± 26,44
	Anzahl Besamungen	119	1,41 ± 0,67	228	4,04 ± 1,92
	LT - Erste Brunst	13	51,08 ± 18,14	31	108,71 ± 86,95
	LT - Erste Aktivität	4	51,00 ± 33,97	7	172,14 ± 112,31
	ZTZ	119	86,37 ± 17,24	228	195,29 ± 65,92

4.1.2 Entwicklung der Algorithmen zur Erkennung von Fruchtbarkeitsstörungen

Das folgende Kapitel befasst sich mit der Bestimmung der linguistischen Variablen und der Zugehörigkeitsfunktionen sowie der Entwicklung der entsprechenden Operatoren und der mathematischen Ausdrücke.

Die Algorithmen der Parameter zur Erkennung von Fruchtbarkeitsstörungen gehen in die Fuzzy Logic-Methode der unscharfen mathematischen Theorien ein. Diese Methode besteht aus den drei bereits beschriebenen Schritten: Fuzzifizierung, Fuzzy-Inferenz und Defuzzifizierung. Fuzzy Logic wird von ALTROCK (1995) als eine Technologie bezeichnet, die eine Systementwicklung durch Intuition von Menschen und ingenieurmäßiges „Know how“ ergänzt.

Wie bereits beschrieben, gibt es verschiedene Parameter, um die Fruchtbarkeit von Kühen zu überwachen. Welche Parameter am besten geeignet sind, ist bisher nur in Ansätzen geklärt. Eine Kombination der Merkmale ermöglicht eventuell eine

Vorhersage zu bestimmten Ergebnissen. So kann eine schlechte Stoffwechselsituation viele Ursachen haben, aber eine schlechte Stoffwechselsituation gemeinsam mit Brunstlosigkeit des Tieres erhöht die Wahrscheinlichkeit einer erhöhten Zwischentragezeit. Einzelkuhwerte sind hingegen immer kritisch zu hinterfragen, weil Extreme durchaus durch verfälschende Ereignisse zustande gekommen sind.

4.1.2.1 Analyse der Parameter zur Nutzung als linguistische Variable

In den folgenden Abbildungen werden die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Parameter aufgezeigt. Die linke in grün dargestellte Säule zeigt jeweils die Situation bei einer Zwischentragezeit von weniger als 115 Tagen. Die zugehörige rechte in rot gehaltene Säule zeigt die Situation bei erhöhter Zwischentragezeit.

Daten aus der Milchleistungsprüfung

Die Daten aus der Milchleistungsprüfung, welche einmal im Monat vorliegen, erlauben eine Aussage über die Energiebilanzsituation der Milchkuh. Im Projekt einbezogen wird die erste MLP nach der Abkalbung.

Die Häufigkeitsverteilungen einzelner MLP-Parameter werden in Abbildung 23 bis Abbildung 28 gezeigt. Die vergleichenden Häufigkeitsverteilungen der sechs Parameter ergeben erste Hinweise auf die Wichtigkeit der Parameter.

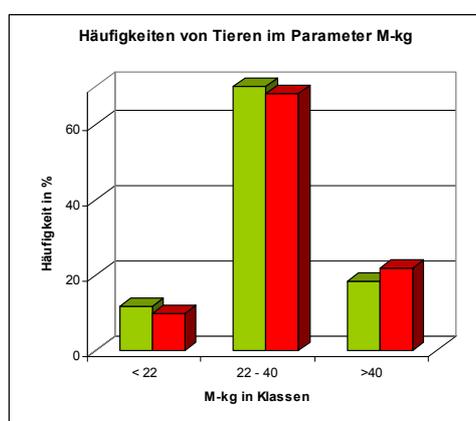


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung M-kg

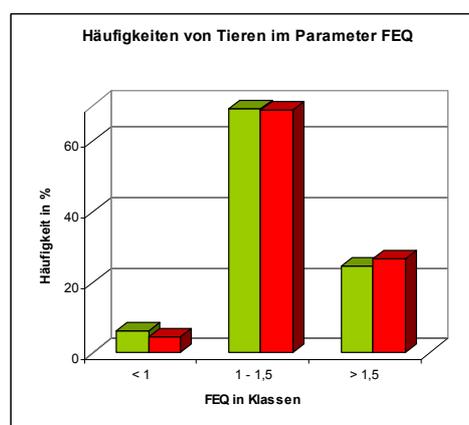


Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung FEQ

Bezüglich der Einsatzleistung gibt es widersprüchliche Meinungen. Einerseits wird die Ansicht vertreten, dass eine hohe Einsatzleistung mit einer schlechten Fruchtbarkeit einhergeht. Andererseits kann eine hohe Einsatzleistung als Indikator für gesunde Kühe angesehen werden, denn nur Tiere, die keinerlei Gesundheitsprobleme aufweisen, können viel Milch geben.

Bei dem vorliegenden Datenmaterial zeigte sich, dass eine gute Einsatzleistung zwischen 22 und 40 kg anteilig mehr Tiere mit geringen Zwischentragezeiten aufweist als Tiere mit erhöhten Zwischentragezeiten. Bei sehr hohen Einsatzleistungen von über 40 kg ist dieser Trend nicht mehr erkennbar.

Bei einem Fett-Eiweiß-Quotient kleiner als 1 % und somit einem Verdacht auf Acidose ist kein negativer Trend für die Zwischentragezeit erkennbar. Anders ist dies bei einem FEQ von über 1,5 und somit Ketosegefahr. In diesem Bereich sind anteilig mehr Tiere mit einer erhöhten Zwischentragezeit zu finden. Im mittleren unauffälligen Bereich ist sowohl für die Tiere mit normaler als auch mit zu langer Zwischentragezeit prozentual in etwa der gleiche Anteil.

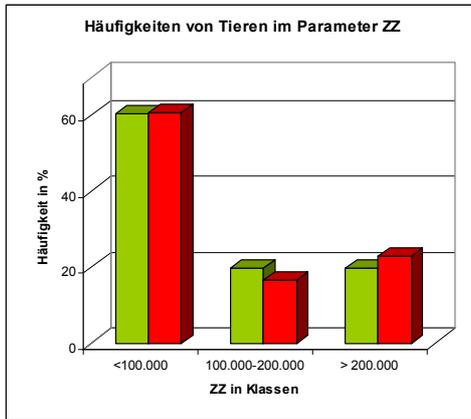


Abbildung 25: Häufigkeitsverteilung ZZ

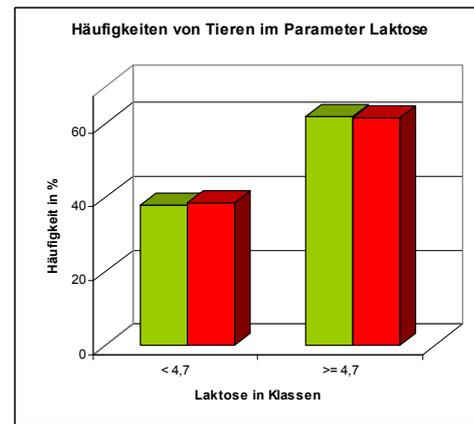


Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung Laktose

Bei einer Zellzahl bis zu 200.000 ist kein negativer Trend erkennbar. Bei über 200.000 Zellen sind deutlich mehr Tiere mit schlechter Fruchtbarkeitsleistung vorhanden. Aus dem Lactosewert als Einzelparameter ist keine Tendenz ablesbar.

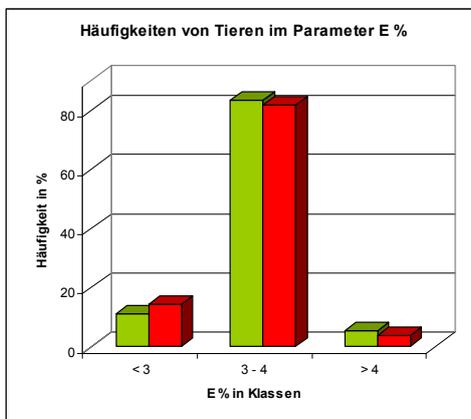


Abbildung 27: Häufigkeitsverteilung E%

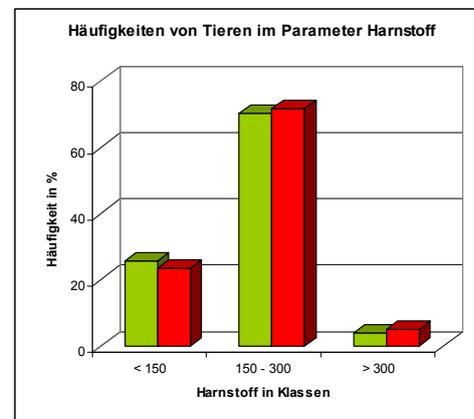


Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung Harnstoff

Bei einem niedrigen Eiweißgehalt von kleiner als drei sind häufiger Tiere mit schlechter Zwischentragezeit vorzufinden. Für den Harnstoff ergibt sich ein leicht negativer Trend in den Kategorien über 150 ml. Ein Harnstoffgehalt von kleiner als 150 ml, ein Indikator für Eiweißmangel, zeigt sich hier nicht als deutlich problematisch.

Zuchthygienedaten

Zu den Zuchthygienedaten gehören unter anderem der Kalbeverlauf und die Ergebnisse der Puerperalkontrolle. Im Bezug zum Kalbeverlauf geht man davon aus, dass eine leichte Abkalbung insgesamt mit weniger Schwierigkeiten einhergeht. Die folgende Abbildung 29 zeigt für unser Datenmaterial jedoch eine andere Tendenz. Tiere mit einer leichten Abkalbung weisen öfter eine lange Zwischentragezeit auf als Tiere mit mittlerer bis schwerer Abkalbung. Es ist zu hinterfragen, ob leichte Abkalbungen tatsächlich immer leicht waren, zumal in den ersten Jahren der Aufzeichnungen gehäuft leichte Abkalbungen dokumentiert wurden. Eine Überprüfung des Auftretens von normalen und zu langen Zwischentragezeiten ab dem Jahr 2005 zeigt Abbildung 30. In den letzten Jahren wurden zwar wesentlich weniger Abkalbungen als leicht eingestuft, aber die Abbildung zeigt den gleichen Sachverhalt. Eine weitere Erklärung könnte man darin finden, dass bei nicht leichten Abkalbungen die medizinische Versorgung im Anschluss eventuell besser gewesen ist.

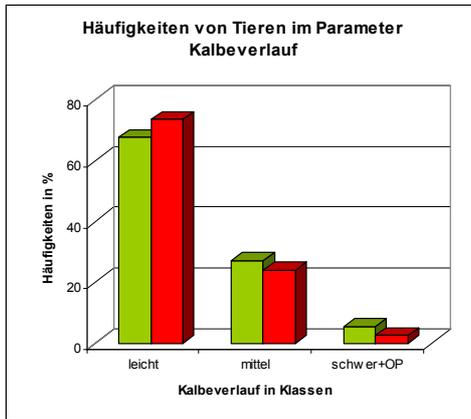


Abbildung 29: Häufigkeitsverteilung Kalbeverlauf

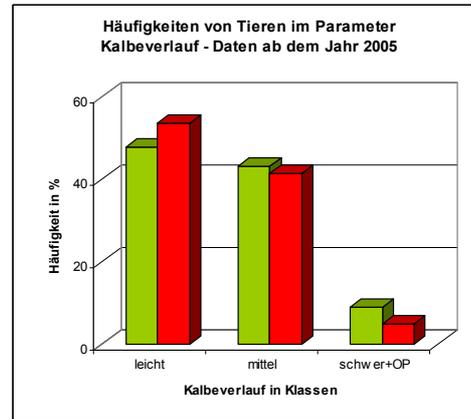


Abbildung 30: Häufigkeitsverteilung Kalbeverlauf ab 2005

Im Zusammenhang mit anderen Parametern soll dieser Parameter dennoch als Vorhersage zur Abschätzung der Prädisposition für postpartale Gesundheitsstörungen ins Modell eingehen.

Bei der Analyse der vorliegenden Untersuchungsergebnisse aus der Puerperalkontrolle zeigte sich, dass zur Kontrolle unauffällige Tiere lange Zwischentragezeiten aufwiesen. Im Gegensatz dazu gab es Tiere, die trotz Endometritis (Abbildung 31) oder Zyste zeitlich im Normalbereich lagen. Betrachtet werden alle Tiere, für die eine Puerperalkontrolle bis zum 60. Laktationstag stattgefunden hat. In ca. 35 % der Diagnosen wird Endometritis festgestellt. Sowohl die Diagnose Endometritis mit ihren Unterformen als auch die Diagnose Retentio bekommen eine höhere Aufmerksamkeit für das Modell. Die Tiere mit diesen Diagnosen erhalten ein definiertes Krankheitslevel 2. Ebenso führt die Diagnose inaktive Ovarien und Sepsis zu durchschnittlich längeren Zwischentragezeiten.

Die Anzahl der insgesamt gestellten Diagnosen zeigte keinen Einfluss auf die Zwischentragezeit. Interessant scheint die zusätzliche Betrachtung, ob ein Tier aufgrund von festgestellten Störungen mit Prostaglandin behandelt wurde oder ob keine Behandlung stattfand. Abbildung 32 zeigt die Häufigkeitsverteilungen in diesen Fällen.

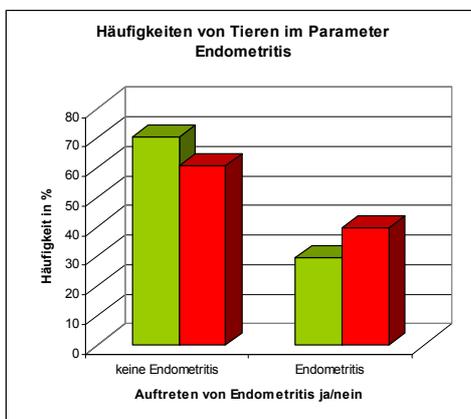


Abbildung 31: Häufigkeitsverteilung Endometritis

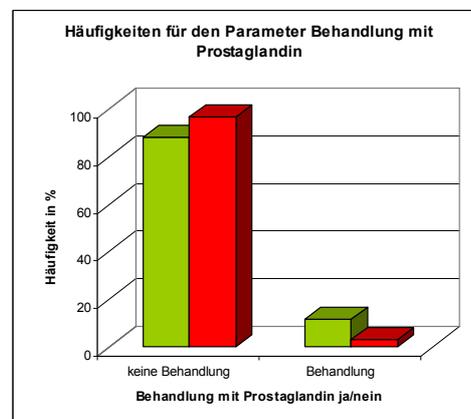


Abbildung 32: Häufigkeitsverteilung Prostaglandin

Ohne Behandlung treten deutlich häufiger Fälle mit einer langen Zwischentragezeit auf. Bei Tieren mit Behandlung ist dies umgekehrt der Fall. Somit scheint die Gabe von Prostaglandin einen erheblichen Einfluss auf den Zyklus zu haben und fördert eine gute Fruchtbarkeit. Die Verabreichung von Prostaglandin soll mit ins Modell eingehen. Aus dem Krankheitslevel 2 wird das Krankheitslevel 1.

Körperkonditionsdaten

Es ist bekannt, dass verfettete Tiere zum Zeitpunkt des Trockenstehens bzw. kurz vor Geburtstermin vermehrt Probleme beim Abkalben bekommen. Häufig sind Schweregeburten und postpartale Erkrankungen die Folge. Weiterhin sind solche Tiere meist Risikotiere für das Entwickeln einer Ketose, weil durch die verminderte Futteraufnahme vermehrt Fett mobilisiert wird. Solche Kühe leiden dann oft unter Puerperalstörungen und nehmen bei einer Besamung schlechter auf. Die Folge sind wieder lange Zwischentragezeiten. In Abbildung 33 und Abbildung 34 sollen die Häufigkeiten in einzelnen BCS- bzw. RFD-Klassen zur Kalbung betrachtet werden.

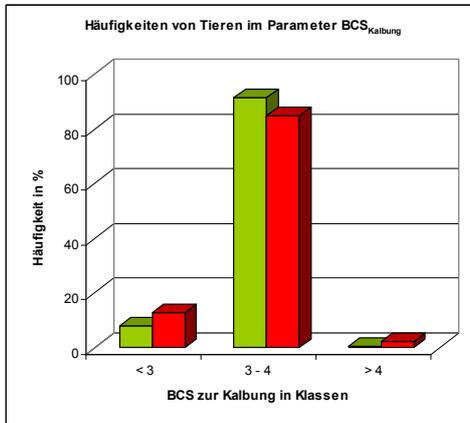


Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung BCS_{Kalbung}

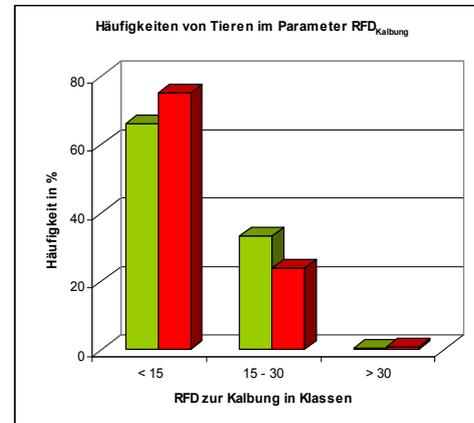


Abbildung 34: Häufigkeitsverteilung RFD_{Kalbung}

Sowohl geringe BCS-Werte als auch geringe RFD-Werte zur Kalbung zeigen deutlich häufiger negative Auswirkungen auf die Zwischentragezeit gegenüber Werten im Normbereich. Als stark verfettet sind nur wenige Tiere eingestuft. Im Bereich der Trockenstehphase liegen nur wenige Daten für den Body Condition Score vor. Die Rückenfettdicke zeigt in der Trockenstehphase die gleiche Tendenz wie zur Kalbung. Als nächstes soll die Dynamik dieser Werte näher betrachtet werden. Auch hier liegen nur ausreichend Werte für die Rückenfettdicke vor. In Abbildung 35 wird die Dynamik der Rückenfettdicke von der Trockenstehphase bis kurz nach der Abkalbung in Klassen und ihre dazugehörigen Häufigkeiten dargestellt.

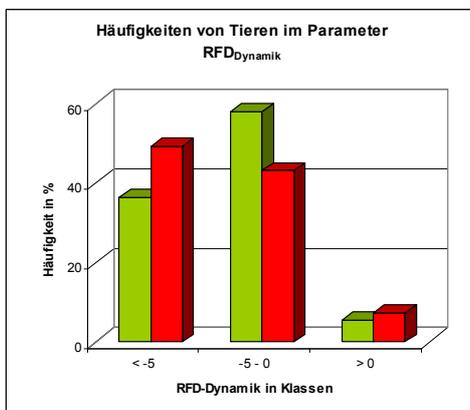


Abbildung 35: Häufigkeitsverteilung RFD_{Dynamik}

Ein hoher Verlust an Körperkondition in einem bestimmten Zeitraum ist häufig mit einer erhöhten Zwischentragezeit verbunden. Ein Energiedefizit wird angezeigt. Die Abbildungen zeigen, dass die Parameter zur Körperkondition zur Vorhersage von Fruchtbarkeitsproblemen als besonders geeignet erscheinen. Diese sollen somit im Modell berücksichtigt werden.

Erkrankungsdiagnosen

Für jedes Tier wurde ein Krankheitslevel pro Laktation definiert. Krankheitsdiagnosen wurden dabei bis zum 60. Laktationstag berücksichtigt. Abbildung 36 zeigt den Einfluss der einzelnen Erkrankungskategorien. Die Kategorie Eutererkrankungen zeigt unerwartet keinen Einfluss. Das Verhältnis von Tieren mit normalen und Tieren mit erhöhten Zwischentragezeiten liegt in etwa bei 1:1. In den Kategorien Bewegungsapparat, Stoffwechsel und Fruchtbarkeit ist ein größerer Einfluss erkennbar. Besonders hervorzuheben sind die folgenden Krankheitsdiagnosen:

- Kategorie Bewegungsapparat (BW): Phlegmone, Rustersches Sohlengeschwür, Panaritium, Mortellaro, Limax, Lähmung, Fäule, Gelenk, Körperentwicklung
- Kategorie Stoffwechsel (SW): Gebärparese, Indigestion (Verdauungsstörungen), Indigestion-Durchfall, Leistungsdepression, Mineralhaushalt, verminderte Futteraufnahme
- Kategorie Fruchtbarkeit (FR): Endometritis, Metritis, Retentio, inaktive Ovarien

Ist eine solche Diagnose gestellt, erhält das Tier das Krankheitslevel 2. Bei allen anderen Krankheitsdiagnosen in diesen vier Bereichen und somit auch im Bereich der Euterkrankheiten wird der Krankheitslevel auf 1 gesetzt. Abbildung 37 zeigt das Verhältnis von Tieren mit normalen und erhöhten Zwischentragezeiten im Vergleich zwischen Krankheitslevel 1 und Krankheitslevel 2.

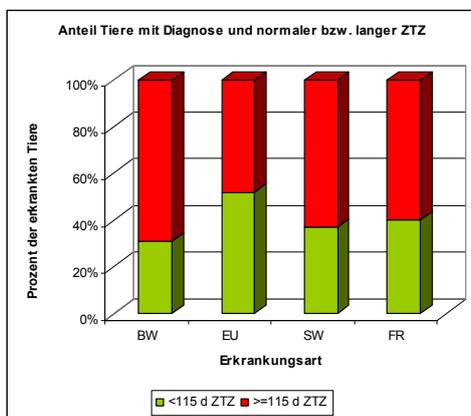


Abbildung 36: Einfluss Erkrankungskategorien auf ZTZ

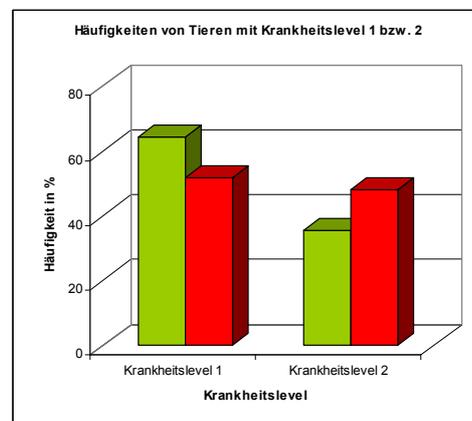


Abbildung 37: Häufigkeitsverteilung Krankheitslevel

Aktivitätsdaten

Im Rahmen des Projektes wurde versucht, durch ein Aktivitätsmesssystem von DeLaval® den Zeitpunkt der 1. Brunst post partum zu erfassen und eine Aussage zu treffen, ob der Zyklus der Kuh ordnungsgemäß anläuft oder nicht. Man kann allgemein sagen, dass Kühe, die bis zum 40. Tag p.p., spätestens jedoch bis zum 60. Tag p.p. eine Brunst gezeigt haben, eine gute Chance aufweisen, eine Zwischentragezeit zu erreichen, die unterhalb des Normwertes liegt.

Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 38 dargestellt. Hier ist der Aktivitätsverlauf der Kuh Nr. 3 nach der Abkalbung abgebildet. Diese Kuh hat am 20.05.2008 gekalbt und zeigt am 48. Tag p.p. eine erhöhte Aktivität, was auf Brunstverhalten schließen lässt. Der Zyklus läuft optimal an und es kommt 24 Tage später erneut zur Aktivitätserhöhung. Eine normale Zyklusfunktion von 21 Tagen \pm 3 Tage scheint bei diesem Tier vorzuliegen. Das Tier wurde mit Brunsterkennung besamt. Daraus resultierte schließlich eine akzeptable Zwischentragezeit von 72 Tagen.

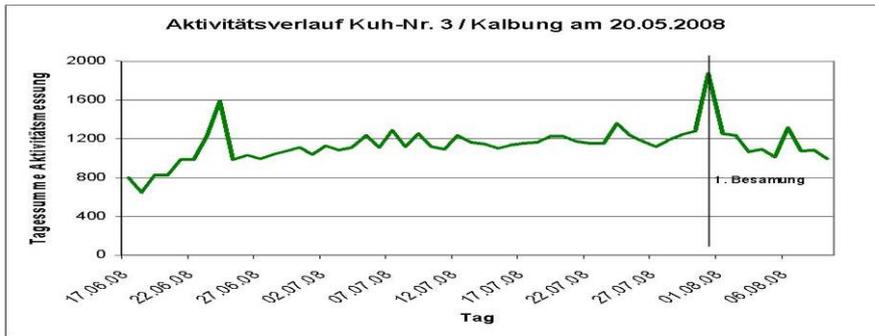


Abbildung 38: Aktivitätsverlauf Kuh-Nr. 3 – Zwischentragezeit 72 Tage

Die folgende Abbildung 39 zeigt ein Beispiel für ein Tier mit erhöhter Zwischentragezeit von 147 Tagen. Eine erste erhöhte Aktivität konnte bereits am 26.08.2008 und somit am 13. Laktationstag gemessen werden. Eine Zykluslänge weiter, um den 16.09.2008 bzw. zwischen dem 31. und dem 37. Laktationstag, ist keine erhöhte Aktivität angezeigt. Eine weitere Zykluslänge am 10.10.2009 bzw. am 58. Laktationstag zeigt das Tier erhöhte Aktivität und somit Brunstverhalten. Das Tier wurde besamt. Eine erfolgreiche Besamung fand jedoch erst mit der fünften Besamung am 07.01.2009 statt. Die Kuh wurde folglich mit Erkennen der Brunst besamt, jedoch aus der Besamung nicht tragend. Dies verdeutlicht noch einmal die Komplexität der Thematik. Ursachen können zum einen in der Besamungsarbeit liegen oder in hier nicht erkennbaren Störungen anderer Funktionsbereiche.

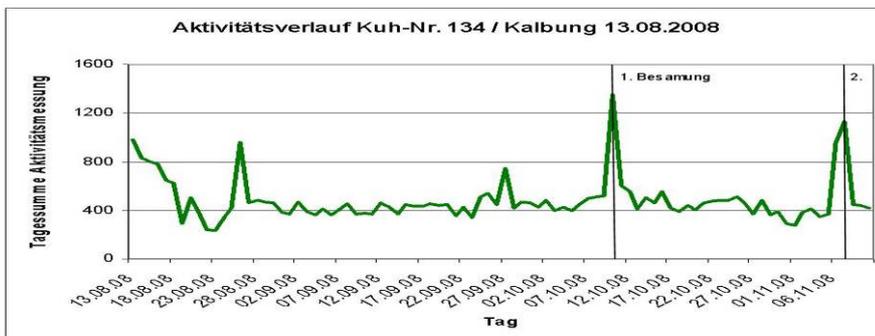


Abbildung 39: Aktivitätsverlauf Kuh-Nr. 134 – Zwischentragezeit 147 Tage

Für die Modellbildung wurde der Parameter Brunsterkennung als positiv oder negativ bewertet. Zunächst wurde die Bedingung gesetzt, dass ein Aktivitätssignal bis zum 50. Tag nach der Kalbung eingetreten ist. Die Brunst galt als erkannt, wenn die Differenz der Tage zwischen Erstbesamung und Aktivitätssignal ± 3 Tage bzw. ein Vielfaches von 21 ± 3 Tage beträgt und der Laktationstag noch nicht den 115. Tag überschritten hat.

Aus den Daten des schriftlich geführten Brunstkalenders konnte ebenfalls eine positive Brunsterkennung entstehen. Hier gilt ebenso entweder die Beobachtung der ersten Brunst bis zum 50. Laktationstag oder eine Differenz zwischen Erstbesamung und Brunst von ± 3 Tagen bzw. 21 ± 3 Tagen, sofern der 115. Laktationstag noch nicht erreicht wurde.

Fruchtbarkeitskennzahlen aus der Vorlaktation

In einer Arbeit von STEINHÖFEL (2009) wurde die Zwischenkalbezeit der Vorlaktation als Parameter mit Einfluss auf die Zwischentragezeit herausgestellt. Abbildung 40 zeigt die zugehörige Häufigkeitsverteilung aus dem hier vorliegenden Datenmaterial. Für Kühe, die in die erste Laktation kommen, liegt lediglich die Information über das Erstkalbealter vor. In Abbildung 41 sind nur geringe Unterschiede bei der Tieranzahl mit normaler und erhöhter Zwischentragezeit innerhalb der einzelnen Kategorien zu sehen.

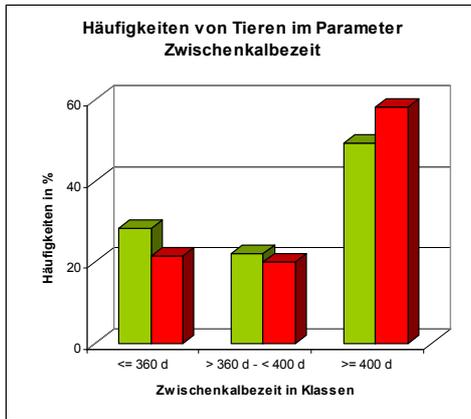


Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung ZKZ

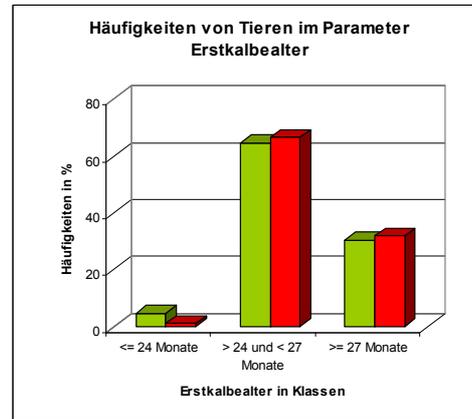


Abbildung 41: Häufigkeitsverteilung EKA

4.1.2.2 Zugehörigkeitsfunktionen und Algorithmen zur Früherkennung

Zugehörigkeitsfunktionen dienen sowohl der Fuzzifizierung als auch der Defuzzifizierung. Jeder Term einer linguistischen Variablen wird durch ihre Zugehörigkeitsfunktion definiert. Der Zugehörigkeitsgrad eines Wertes wird anhand dieser Funktionen abgeleitet. In den Algorithmen zur Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen werden sogenannte triangel-, trapez- oder gaußförmige Zugehörigkeitsfunktionen definiert. Die Zugehörigkeitsfunktionen können dabei durch drei bis fünf Definitionspunkte eindeutig festgelegt werden. Die einzelnen Zugehörigkeitsfunktionen für die verwendeten linguistischen Variablen und ihre Terme werden auszugsweise im **Anhang 1** definiert.

Weil in dem vorliegenden Projekt in gewissem Sinne ein Risikopotenzial, nämlich letztendlich das einer erhöhten Zwischentragezeit, berechnet werden soll, entstand die folgende Struktur der Algorithmen.

In ersten Vormodellen (Tabelle 27 bis Tabelle 29) werden jeweils zwei Eingangsgrößen durch WENN-DANN-Regeln miteinander verknüpft und es ergeben sich die Ergebnisgrößen Erkrankungsrisiko, Energie- und Eiweißversorgung sowie Eutergesundheit. Diese Ergebnisse fließen ins nächste Modell (Tabelle 30) und ergeben eine Aussage zur Gefahr einer subklinischen Erkrankung. Weitere Submodelle liefern Aussagen zur Stoffwechselsituation (Tabelle 31) und zum Besamungserfolg (Tabelle 32).

Tabelle 27: Linguistischen Variablen und Terme im Vormodell Erkrankungsrisiko

Variablenname	Typ	Termennamen
Kalbeverlauf	Eingang	leicht, mittel, schwer, leer
Einsatzleistung	Eingang	niedrig, hoch, sehr hoch, leer
Erkrankungsrisiko	Ausgang	niedrig, mäßig, hoch, keine Info

Tabelle 28 : Linguistische Variablen und Terme im Vormodell Energieversorgung

Variablenname	Typ	Termennamen
Eiweißgehalt	Eingang	niedrig, optimal, hoch, leer
Harnstoff	Eingang	niedrig, optimal, hoch, leer
Energieversorgung	Ausgang	niedrig, gut, hoch, leer
Eiweißversorgung	Ausgang	niedrig, gut, hoch, leer

Tabelle 29: Linguistische Variablen und Terme im Vormodell Eutergesundheit

Variablenname	Typ	Termennamen
Zellzahl	Eingang	normal, erhöht, zu hoch, leer
Laktose	Eingang	niedrig, akzeptabel, leer
Eutergesundheit	Ausgang	gut, mäßig, schlecht, keine Info

Tabelle 30: Linguistische Variablen und Terme im Modell Gefahr subklinischer Erkrankungen

Variablenname	Typ	Termennamen
Erkrankungsrisiko	Eingang	niedrig, mäßig, hoch, leer
Energieversorgung	Eingang	niedrig, gut, hoch, leer
Eutergesundheit	Eingang	gut, mäßig, schlecht, leer
Gefahr subklinischer Erkrankung	Ausgang	niedrig, mäßig, hoch, keine Info

Tabelle 31: Linguistische Variablen und Terme im Modell Stoffwechselsituation

Variablenname	Typ	Termennamen
Fett-Eiweiß-Quotient	Eingang	acidotisch, optimal, ketotisch, leer
BCS-/RFD-Differenz	Eingang	hoch, optimal, niedrig, leer
Eiweißversorgung	Eingang	niedrig, gut, hoch, leer
Stoffwechselsituation	Ausgang	gut, mäßig, schlecht, keine Info

Tabelle 32: Linguistische Variablen und Terme im Modell Besamungserfolg

Variablenname	Typ	Termennamen
Brunst	Eingang	erkannt, nicht erkannt, leer
Krankheitslevel	Eingang	gefährdet, krank, leer
BCS/RFD	Eingang	dünn, optimal, fett, leer
ZKZ	Eingang	niedrig, optimal, hoch, leer
Info	Ausgang	vorhanden, leer
Besamungserfolg	Ausgang	gut, mäßig, schlecht, keine Info

Die Aussagen zur Gefahr einer subklinischen Erkrankung, zur Stoffwechselsituation und zum Besamungserfolg dienen als Eingangsvariablen für die Vorhersage zur Fruchtbarkeitssituation. Deren Einschätzung erfolgt durch die Begriffe „gut“ bzw. „niedrig“, „mäßig“ und „schlecht“. Bevor die Verarbeitungsregeln für die Ergebnisgröße des Gefährdungspotenzials für eine verlängerte Zwischentragezeit aufgestellt werden können, müssen die Zwischenergebnisgrößen ebenfalls entsprechend Tabelle 33 fuzzifiziert werden. Die Inferenz für die linguistischen Variablen der Zwischentragezeit ist in **Anhang 2** definiert.

Tabelle 33: Linguistische Variablen und Terme im Modell Zwischentragezeit

Variablenname	Typ	Terminnamen
Gefahr subklinischer Erkrankung	Eingang	niedrig, mäßig, hoch, leer
Stoffwechselsituation	Eingang	gut, mäßig, schlecht, leer
Besamungserfolg	Eingang	gut, mäßig, schlecht, leer
Zwischentragezeit	Ausgang	normal, zu lang

Die Einschätzung der Bedingungen geht aus der Literaturrecherche und den zuvor untersuchten Parameterergebnissen hervor. Die möglichen Verknüpfungen wurden durch die Autoren formuliert. Die Schlussfolgerungen sind wieder aus der Literatur und aus einem Anpassungsprozess hervorgegangen. Der vollständige Modellentwurf mit den abgeleiteten Algorithmen zur Methodenevaluierung ist im **Anhang 3** dargestellt.

Zur Defuzzifizierung wird in den einzelnen Modellen die centroid-Methode, also die Flächenschwerpunktmethode eingesetzt. Als alternative Methode wurde die mean-of-maximum-Methode geprüft, welche jedoch zu keinen verbesserten Ergebnissen führte. Bei der Defuzzifizierung werden die unscharfen Ergebnismengen in konkrete Werte oder Zahlen übertragen (BUSCH 2003). Ausgangswerte über 0,5 werden im letzteren Modell als verlängerte Zwischentragezeit bewertet. Die Formel lautet:

$$x_L = \frac{\sum x_i * \mu_i}{\sum \mu_i}$$

x_L ... Flächenschwerpunkt

x_i ... festgelegter x-Wert der Menge i

μ_i ... Zugehörigkeitsgrad zur Menge i

Im Ergebnis entsteht die zusammengefasste Gefährdungseinschätzung für eine verlängerte Zwischentragezeit aus den einzelnen Risikogruppen. Es wurden zwei Gruppen gebildet. Diese sind bezeichnet mit „ZTZ normal“ und „ZTZ zu lang“.

Die Datensätze wurden über ein Script automatisch eingelesen und zunächst auf Fehlstellen kontrolliert. Diese werden als „leer“ interpretiert. Eine „leere“ Information ist ebenfalls als Term zur jeweiligen linguistischen Variable definiert. Unvollständige Datensätze können somit im Modell verarbeitet werden.

Weil in einzelnen Voruntersuchungen erkannt wurde, dass der Body Condition Score bzw. die Rückenfettdicke einen größeren Einfluss hat, soll versucht werden, eine Aussage zu ihrer Datenqualität zu finden. Dazu wurde als nächster Schritt der komplette Dateninput je nach Herkunft der Information zur Körperkondition aufgesplittet. Die Daten laufen automatisch in die einzelnen Vormodelle und anschließend in das Modell zur Vorhersage der Zwischentragezeit. Im Anschluss werden diese Ergebnisse über ein Perl-Script mit den tatsächlichen Zwischentragezeiten verglichen und die Größen Sensitivität und Spezifität sowie die Fehlerrate berechnet (**Anhang 4**). Es findet eine automatische Filterung der zugehörigen Zwischentragezeiten statt.

4.1.3 Modellüberprüfung und Ergebnisse

4.1.3.1 Modell 1 - Grundmodell

Nach den Schritten 1 (Fuzzifizierung) bis 3 (Defuzzifizierung) ist es wie schon bei BUSCH (2003) unerlässlich, das Modell zu prüfen und weiter anzupassen. So ergeben sich Schritt 4 und 5.

- Test des Modells
- Erhöhung der praktischen Verwendbarkeit

Das Ergebnis des Modells wurde somit anhand von echten Daten geprüft. Der Datenpool lag vor in Form von errechneten Zwischentragezeiten aus dem Herdenmanagementprogramm HERDE[®]-dsp der Köllitscher Herde. Das im vorigen Kapitel erläuterte Modell soll in der Lage sein, spätestens zum Ende der freiwilligen betrieblichen Wartezeit (60 Tage) der betreffenden Kuh einen Risikoindex zuzuordnen, welcher die Gefährdung für eine verlängerte Zwischentragezeit anzeigt.

Zu überprüfen ist, ob die entwickelten Algorithmen eine Vorhersage für Fruchtbarkeitsprobleme ermöglicht. Angestrebt wird eine hohe Erkennungsrate. Die Fehlerrate, das Verhältnis der Falschmeldungen zu allen Signalen, sollte im Gegensatz zur Erkennungsrate möglichst klein sein.

Zunächst werden ohne Berücksichtigung der in Kapitel 4.1.2.1 abgebildeten Bedingungen für verstärkt auftretende Fruchtbarkeitsstörungen alle aufgestellten Regeln der Inferenz gleich gewichtet. Es wurden folgende Varianten mit verschiedenem Dateninput gerechnet:

- Variante 1: alle Datensätze
- Variante 2: nur Datensätze mit vorhandenen Werten zu BCS oder RFD
- Variante 3: nur Datensätze mit vorhandenen Werten zu Harnstoff und Laktose
- Variante 4: nur Datensätze mit vorhandenem Krankheitslevel 1 oder 2
- Variante 5: Datensätze mit Angaben zu Harnstoff, Laktose, BCS oder RFD sowie Krankheitslevel

Tabelle 34 zeigt die Ergebnisse zu den gerechneten Varianten.

Tabelle 34: Ergebnisse zu Modell 1

Parameter	1 – BCS	1 – RFD	2 – BCS	2 – RFD	3 – BCS	3 – RFD	4 – BCS	4 – RFD	5 – BCS	5 – RFD
Datensätze	1270		779		1054		925		406	
Datensätze	900	370	409	370	684	370	602	323	83	323
TP	277	123	134	123	222	123	194	109	38	109
FP	139	85	80	85	108	85	89	64	11	64
TN	166	83	95	83	116	83	114	76	13	76
FN	318	79	100	79	238	79	205	74	21	74
Sensitivität	46,6	60,9	57,3	60,9	48,3	60,9	48,6	59,6	64,4	59,6
Spezifität	54,4	49,4	54,3	49,4	51,8	49,4	56,2	54,3	54,2	54,3
Fehlerrate	33,4	40,9	37,4	40,9	32,7	40,9	31,4	37,0	22,4	37,0

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Es werden insgesamt Erkennungsraten (Sensitivität) zwischen 46,6 % und 64,4 % erreicht. In den BCS-Modellen laufen auch die Datensätze durch, welche keine Angaben zu BCS oder RFD besitzen. Somit stellt Variante 2 zu Variante 1 im Modell BCS eine Verbesserung der Datenqualität dar, weil in Variante 2 keine Leerstellen im BCS vorhanden sind. Die Sensitivität steigt um über 10 % von 46,6 % auf 57,3 % an. Die Spezifität bleibt unverändert. Das RFD Modell filtert im Gegenzug in allen Varianten nur Daten mit Informationen zum RFD und zeigt daher keine Veränderungen zwischen Variante 1 und 2. In Variante 3 liegen mehr Datensätze gegenüber der Variante 2 vor. Das Modell zeigt jedoch eine mit der Variante 1 vergleichbare schlechtere Erkennungsrate. Somit ist die Vollständigkeit der Daten zu BCS wertvoller als die Informationen zum Harnstoff und zur Laktose. In der Variante 4 verbessert sich das BCS-Modell gegenüber Variante 1 in der Erkennungsrate um 2,0 % durch das Vorhandensein einer Information aus einer tierärztlichen Untersuchung. Die Erkennungsrate und somit die Wahrscheinlichkeit, dass eine erhöhte Zwischentragezeit als solche erkannt wird, ist mit 64,4 % bei Variante 5 am höchsten. Aus diesem Vergleich geht hervor, dass die Erkennungsrate bei vollständigeren Datensätzen ansteigt.

4.1.3.2 Modell 2 – Trennung von Färsen und Kühen

Weil Kühe und Färsen unterschiedliche Grenzwerte in Bezug auf die Einsatzleistung haben, wurde ein eigenes Modell für Kühe und eines für Färsen aufgestellt, die sich nur im Hinblick auf die Höhe der Einsatzleistung und in der Merkmalsherkunft Erstkalbealter oder Zwischenkalbezeit der Vorlaktation unterscheiden.

Es wurden folgende Varianten mit verschiedenem Dateninput gerechnet:

- Variante 1: alle Datensätze
- Variante 2: nur Datensätze mit vorhandenen Werten zu BCS oder RFD
- Variante 5: Datensätze mit Angaben zu Harnstoff, Laktose, BCS oder RFD sowie Krankheitslevel
- Variante 6: nur Datensätze mit vorhandenen Werten zum Aktiometer und zum Krankheitslevel

Weil die Datensätze von Variante 1 und 2 für das RFD-Modell entsprechend gleich sind, wird auf die Darstellung verzichtet. Für Variante 6 liegen nur wenige Datensätze vor, sodass die Ergebnisse zum BCS-Modell keine Aussage widerspiegeln.

Tabelle 35: Ergebnisse zu Modell 2

Parameter	1 – BCS Färsen	1 – BCS Kühe	1 – RFD Färsen	1 – RFD Kühe	2 – BCS Färsen	2 – BCS Kühe	5 – BCS Färsen	5 – BCS Kühe	5 – RFD Färsen	5 – RFD Kühe	6 – RFD Färsen	6 – RFD Kühe
Datensätze	1270				409		405				50	
Datensätze	340	560	212	158	184	225	11	71	195	128	16	34
TP	102	217	51	58	89	112	5	50	89	53	0	4
FP	63	90	37	46	59	72	5	15	42	40	0	6
TN	65	87	51	34	19	25	0	4	35	23	13	20
FN	110	166	73	20	17	16	1	2	29	12	3	4
Sensitivität	48,1	56,7	41,1	74,4	84,0	87,5	83,3	96,2	75,4	81,5	0	50
Spezifität	50,8	49,2	58,0	42,5	24,4	25,8	0	21,2	45,5	36,5	100	76,9
Fehlerrate	38,2	29,3	42,0	44,2	39,9	39,1	50,0	23,1	32,1	43,0	-	60,0

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Aus Tabelle 35 geht hervor, dass sich die Sensitivitäten für Kühe in allen Varianten verbessern. So steigt sie beispielsweise von 60,9 % in RFD-Modell 1 - Variante 1 auf 74,4 % in RFD-Modell 2 – Variante 1. Die Erkennungsraten im BCS-Modell 1 – Variante 2 steigen von 57,3 % auf 87,5 %, die für Variante 5 von 64,4 % auf 96,2 %. Die Fehlerraten bleiben dabei in etwa gleich. Für die Färsenmodelle ist eine deutliche Verbesserung in der Erkennungsrate in BCS-Modell 2 - Variante 2 von 57,3 % auf 84,0 % und im RFD-Modell 2 Variante 5 von 59,6 % auf 75,4 % erkennbar.

Eine höhere Effizienz des Modells ist durch eine verbesserte Datengrundlage und die Einbeziehung weiterer Parameter wie z. B. der Aktiometerdaten zu erwarten. RFD-Modell 2 - Variante 6 zeigt, dass die Spezifitäten im RFD-Modell 2 für Färsen bis zu 100,0 % beträgt. Für das Kuh-Modell wird eine Spezifität von 76,9 % erzielt. Diese Daten beruhen allerdings nur auf einer geringen Anzahl von Datensätzen. Es zeigt sich jedoch, dass Tiere mit einer normalen Zwischentragezeit durch eine Aussage zur Brunsterkennung besser erkannt werden könnten. Die Aktiometerdaten und auch die Daten aus der Gesundheitskontrolle sind somit als wichtige Parameter zu bewerten. Besonders Kühe mit Zwischentragezeiten im Normbereich können gut identifiziert werden.

4.1.3.3 Modell 3 – Variation der Inferenz

Auf Grundlage der Histogramme aus Kapitel 4.1.2.1 werden die verschiedensten Parameter stärker gewichtet bzw. die Aufstellung der Regeln an die Bedeutung der Aussagekraft von Parameterkombinationen angepasst. Im Folgenden soll mit dem besten Modell weitergearbeitet werden. Das Modell 2 - Variante 6 mit Werten zum Aktiometer und zum Krankheitslevel zeigt vielversprechende Ansätze, beruht jedoch auf einer geringen Datengrundlage. Es wird daher entschieden, dass RFD-Modell 2 - Variante 5 weiter zu modifizieren. Im **Anhang 5** sind Histogramme mit Merkmalskombinationen ausgewiesen, welche die nachfolgenden Regeländerungen bekräftigen:

■ Variante 5: *Datensätze mit Angaben zu Harnstoff, Laktose, BCS oder RFD sowie Krankheitslevel*

- Regeländerung 1: Modell Energieversorgung → WENN „Harnstoff optimal“ UND „Eiweißgehalt optimal“
DANN „Energieversorgung gut“ → doppelte Gewichtung
- Regeländerung 2: Modell Erkrankungsrisiko → WENN „Einsatzleistung sehr hoch“
DANN „Erkrankungsrisiko mäßig“
WENN „Einsatzleistung hoch“ UND „Kalbeverlauf mittel“
DANN „Erkrankungsrisiko niedrig“ → doppelte Gewichtung
- Regeländerung 3: Modell Erkrankungsrisiko → WENN „Einsatzleistung sehr hoch“ UND „Kalbeverlauf leicht“
DANN „Erkrankungsrisiko mäßig“
- Regeländerung 4: Modell Stoffwechsel → WENN „FEQ ketotisch“ UND „BCS-/RFD-Differenz niedrig“
DANN „Stoffwechselsituation mäßig“ → doppelte Gewichtung
WENN „FEQ optimal“ UND „BCS-/RFD-Differenz optimal“
DANN „Stoffwechselsituation gut“ → doppelte Gewichtung
WENN „FEQ optimal“ UND „BCS-/RFD-Differenz hoch“
DANN „Stoffwechselsituation gut“ → doppelte Gewichtung
- Regeländerung 5: Modell Eutergesundheit → WENN „Zellzahl zu hoch“ DANN „Eutergesundheit schlecht“
→ doppelte Gewichtung
- Regeländerung 6: Modell Besamungserfolg → WENN „Krankheitslevel krank“ → doppelte Gewichtung
WENN „BCS/RFD optimal“ → doppelte Gewichtung
WENN „ZKZ hoch“ → doppelte Gewichtung
- Regel 7: Modell Besamungserfolg → WENN „ZKZ niedrig“ DANN „Besamungserfolg gut“

Regeländerung 1 zeigte keine Änderung in den Ergebnissen. Es wird auf eine Darstellung verzichtet. Die Ergebnisse aus Modell 3 sind in Tabelle 36 dargestellt.

Tabelle 36: Ergebnisse zu Modell 3

Parameter	5 - RFD Färsen		5 - RFD Kühe		5 - RFD Färsen		5 - RFD Kühe		5 - RFD Färsen		5 - RFD Kühe	
Regeländerung	2		3		4		5		6		7	
Datensätze	323		323		323		323		323		323	
Datensätze	195	128	195	128	195	128	195	128	195	128	195	128
TP	90	55	87	49	90	55	90	56	90	56	88	48
FP	41	42	36	31	40	42	40	42	40	42	37	31
TN	36	21	41	32	37	21	37	21	37	21	40	32
FN	28	10	31	16	28	10	28	9	28	9	30	17
Sensitivität	76,3	84,6	73,7	75,4	76,3	84,6	76,3	86,2	76,3	86,2	74,6	73,9
Spezifität	46,8	33,3	53,3	50,8	48,1	33,3	48,1	33,3	48,1	33,3	52,0	50,8
Fehlerrate	31,3	43,3	29,3	38,8	30,8	43,3	30,8	42,9	30,8	42,9	29,6	39,2

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Die Regeländerungen führten teilweise zu nur marginalen Verbesserungen in den Erkennungsraten. Bei den Färsen ist eine Senkung der Fehlerrate größer als 2 % mit der Regeländerung 3 und 7 erreichbar. Die Sensitivität ist bei diesen Variationsläufen leicht gesunken. Hohe Zwischentragezeiten werden jedoch zu ca. 74 % erkannt. Demgegenüber ist die Spezifität um 7,8 % bzw. um 8,5 % gestiegen. Eine gute Fruchtbarkeit wird besser erkannt. Bei Kühen ab der zweiten Laktation wird mit der Regeländerung 5 bzw. 6 die höchste Erkennungsrate erzielt. Die Erkennungsrate steigt von 81,5 % auf 86,2 %. Beste Ergebnisse bezüglich der Spezifität zeigen auch hier Regeländerung 3 und 7. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine niedrige Zwischentragezeit als solche erkannt wird, steigt bei beiden Variationen um 14,3 % auf 50,8 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine erhöhte Zwischentragezeit erkannt wird, sinkt allerdings bei Regeländerung 3 um 6,1 % auf 75,4 % bzw. bei Regeländerung 7 um 7,6 % auf 73,9 %. Insgesamt betrachtet können im Kuhmodell bei der Regeländerung 3 bzw. 7 die Fehlerraten um ca. 4 % gesenkt werden.

4.1.3.4 Modell 4 – Variation der Inferenz im Modell Zwischentragezeit

Im folgenden Kapitel wurde überprüft, inwieweit eine Regeländerung zur Aussage der Zwischentragezeit Einfluss auf diese hat. Es wird überprüft, ob ein positives Teilergebnis aus einem Vormodell ausreicht, um die Zwischentragezeit als normal einzustufen. Auch bei diesen Rechnungen wird das RFD-Modell 2 – Variante 5 wie folgt modifiziert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 37 aufgelistet.

■ Variante 5: *Datensätze mit Angaben zu Harnstoff, Laktose, BCS oder RFD sowie Krankheitslevel*

- Regeländerung 1: Modell Zwischentragezeit → WENN „Gefahr subklinischer Erkrankungen niedrig“
DANN „Zwischentragezeit normal“
- Regeländerung 2: Modell Zwischentragezeit → WENN „Besamungserfolg gut“
DANN „Zwischentragezeit normal“
- Regeländerung 3: Modell Zwischentragezeit → WENN „Stoffwechselsituation gut“
DANN „Zwischentragezeit normal“

Tabelle 37: Ergebnisse zu Modell 4

Parameter	5 – RFD Färsen		5- RFD Kühe		5 – RFD Färsen		5 – RFD Kühe	
Regeländerung	1		2		3			
Datensätze	323		323		323			
Datensätze	195	128	195	128	195	128		
TP	80	56	87	49	77	52		
FP	38	42	36	31	34	34		
TN	39	21	41	32	43	29		
FN	38	9	31	16	41	13		
Sensitivität	67,8	86,2	73,7	75,4	65,3	80,0		
Spezifität	50,6	33,3	53,3	50,8	55,8	46,0		
Fehlerrate	32,2	42,9	29,3	38,8	30,6	39,5		

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Das Modell mit der Regeländerung 2 zeigt als einzigste Variation nennenswerte Verbesserungen bezüglich der Fehlerraten. Es bringt die gleichen Ergebnisse wie die Regeländerung 3 im letzten Kapitel. Es werden in den Variationen hohe Sensitivitäten bis zu 86 % erreicht, jedoch mit einem gleichzeitigen Senken der Spezifität auf 33 %.

4.1.3.5 Modell 5 – Überprüfung des besten Modells mit unvollständigen Datensätzen

Mit der Ermittlung des besten Modells bei vollständigen Informationen zu den MLP-Parametern, zum RFD sowie zum Krankheitslevel soll nun überprüft werden, ob der komplette Datensatz von 1.270 Datensätzen ebenso Verbesserungen zeigt. Die Betrachtungsweise liegt also hier wieder auf unvollständigen Datensätzen. Es wurde folgende Variante mit verschiedenem Dateninput gerechnet:

■ **Modell 4: Regeländerung 2:** *WENN „Besamungserfolg gut“ DANN „Zwischentragezeit normal“*

■ Variante 1: alle Datensätze

■ Variante 2: nur Datensätze mit vorhandenen Werten zu BCS oder RFD

Tabelle 38: Ergebnisse zu Modell 5

Parameter	1 – BCS Färsen	1- BCS Kühe	1 – RFD Färsen	1 – RFD Kühe	2 – BCS Färsen	2 – BCS Kühe
Datensätze	1270				409	
Datensätze	900		370		409	
Datensätze	340	560	212	158	184	225
TP	37	78	9	19	83	97
FP	21	35	8	30	53	61
TN	107	142	80	50	28	36
FN	175	305	115	59	20	31
Sensitivität	17,5	20,4	7,3	24,4	80,6	75,8
Spezifität	83,6	80,2	90,9	62,5	34,6	37,1
Fehlerrate	36,2	31,0	47,1	61,2	39,0	38,6

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Wie aus Tabelle 38: hervorgeht, leidet die Effizienz des Modells bei Verwendung aller Datensätze an der Datenqualität. Die Ergebnisse verschlechtern sich.

4.1.3.6 Modell 6 – Testen einer leistungsabhängigen Zwischentragezeit

Häufig wird die Meinung vertreten, dass Hochleistungskühen eine gezielt längere Rastzeit gegönnt werden sollte, um eine Überforderung zu vermeiden. Dies hat zwar eine verlängerte Zwischentrage- und Zwischenkalbezeit zur Folge, allerdings sind dann auch die Chancen höher, die Kuh nach einer längeren Regenerationsphase wieder tragend zu bekommen, sofern die anderen fruchtbarkeitsbeeinflussenden Faktoren im Optimalbereich liegen. Grundlegende Überlegung für dieses Modell ist die Aussage, dass das Optimum der Zwischentragezeit je nach Leistungsniveau unterschiedlich ist. Nach JAHNKE (2002) kann bei Tieren mit einer Leistung von über 9.000 kg Milch/Jahr eine Zwischentragezeit bis zu über 125 Tagen als normal definiert werden.

Eine Betrachtung mit leistungsdifferenzierten Grenzwerten für die Zwischentragezeit ergab folgende Ergebnisse (Tabelle 39) bei Verwendung von nachfolgendem Modell:

■ Modell 5 - Regel 2: Modell Zwischentragezeit → WENN „Besamungserfolg gut“ DANN „Zwischentragezeit normal“

Tabelle 39: Ergebnisse zu Modell 6

Parameter	1 – RFD Färsen	1 – RFD Kühe
Datensätze	370	
Datensätze	212	158
TP	9	19
FP	8	30
TN	80	50
FN	115	59
Sensitivität	7,3	24,4
Spezifität	90,9	62,5
Fehlerrate	47,1	61,2

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Die Erkennungsraten und auch die Fehlerraten wurden für Färsen und für Kühe erheblich verschlechtert. Jedoch zeigt sich, dass bei Färsen durch die höhere Toleranzgrenze durchaus eine Verbesserung in der Spezifität erreicht werden und somit dem Problem der schwer erkannbaren normalen Zwischentragezeiten entgegengetreten werden kann.

4.1.3.7 Modell 7 – Testen eines weiteren Datensatzes – Grundmodell 1

Um die Ergebnisse an einem größeren Datenpool zu prüfen, wurden Daten aus einem anderen Projekt im Grundmodell verwendet. Das Datenmaterial wurde in Kapitel 3.1.1.2 beschrieben. Es lagen ausschließlich Daten zur Rückenfettdicke vor. Eine BCS-Bewertung fand nicht statt. Ebenso werden z. B. Aktimeterdaten als Leerstellen betrachtet. Die Ergebnisse zeigt folgende Tabelle 40.

Tabelle 40: Ergebnisse zu Modell 7

Parameter	ohne RFD Färsen	ohne RFD Kühe	mit RFD Färsen	mit RFD Kühe
Datensätze	7141			
Datensätze	6012		1129	
Datensätze	1787	4225	276	853
TP	7	33	114	394
FP	2	23	39	146
TN	843	1756	29	94
FN	935	2413	94	218
Sensitivität	0,74	1,35	54,8	64,4
Spezifität	99,8	98,7	42,7	39,2
Fehlerrate	22,2	41,1	25,5	27,0

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

In diesem Datenmaterial werden Tiere mit erhöhter Zwischentragezeit ohne die Information zur Rückenfettdicke kaum erkannt. Erkennungsraten von weniger als 2 % sind unzureichend. Die Rückenfettdicke stellt sich als wertvoller Parameter hier im Modell heraus. Die Sensitivitäten bei den Tieren mit ermittelter Rückenfettdicke liegen bei 54,8 % für Färsen und für Kühe etwas besser bei 64,4 %. Die Überprüfung des Modells anhand neun sächsischer Betriebe zeigt auf, dass ein erheblicher Umwelteinfluss besteht und Modelle zur Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen an die entsprechenden Leistungsparameter einer Herde betriebsindividuell angepasst werden müssen.

4.1.3.8 Modell 8 – Vereinfachtes Modell

Ein vereinfachtes fuzzy-logisches Modell soll überprüfen, ob das Modell auf die bedeutendsten Parameter beschränkt werden kann. Es gibt in der Inferenz nur noch die folgenden Regeln für die Vormodelle.

■ Variante 5: *nur Datensätze mit vorhandenen Werten zu Harnstoff, Laktose, RFD sowie Krankheitslevel*

- Regeln Modell Energieversorgung → WENN „Harnstoff optimal“ UND „Eiweißgehalt optimal“
DANN „Energieversorgung gut“
- Regeln Modell Erkrankungsrisiko → WENN „Einsatzleistung sehr hoch“ DANN „Erkrankungsrisiko mäßig“
WENN „Einsatzleistung hoch“ UND „Kalbeverlauf mittel“
DANN „Erkrankungsrisiko niedrig“
- Regeln Modell Stoffwechsel → WENN „BCS-/RFD-Differenz niedrig“
DANN „Stoffwechselsituation schlecht“
WENN „BCS-/RFD-Differenz optimal“ DANN „Stoffwechselsituation gut“
WENN „FEQ optimal“ UND „BCS-/RFD-Differenz hoch“
DANN „Stoffwechselsituation gut“
- Regeln Modell Eutergesundheit → WENN „Zellzahl zu hoch“ DANN „Eutergesundheit schlecht“
- Regeln Modell Besamungserfolg → WENN „Krankheitslevel krank“ DANN „Besamungserfolg schlecht“

WENN „Brunst erkannt“ DANN „Besamungserfolg gut“
 WENN „Krankheitslevel gefährdet“ DANN „Besamungserfolg gut“
 WENN „BCS/RFD dünn“ DANN „Besamungserfolg schlecht“
 WENN „BCS/RFD optimal“ DANN „Besamungserfolg gut“
 WENN „ZKZ hoch“ DANN „Besamungserfolg schlecht“
 WENN „ZKZ niedrig“ DANN „Besamungserfolg gut“

Die Ergebnisse der Überprüfung des Modells in vereinfachter Form zeigt Tabelle 41. Die mit a gekennzeichneten Ergebnisse entstammen dem Datensatz aus der Herde des Lehr- und Versuchsgutes in Köllitsch und die mit b gekennzeichneten sind Ergebnisse des zweiten Testdatensatzes aus neun sächsischen Betrieben.

Tabelle 41: Ergebnisse zu Modell 8

Parameter	2 – RFD-a Färsen	2 – RFD-a Kühe	2 – RFD-b Färsen	2- RFD-b Kühe
Datensätze	323		1129	
Datensätze	195	128	276	853
TP	115	61	118	471
FP	67	48	33	167
TN	10	15	35	73
FN	3	4	90	142
Sensitivität	97,5	93,9	56,7	76,8
Spezifität	13,0	23,8	51,5	30,4
Fehlerrate	36,8	44,0	21,9	26,2

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Ein Vergleich des RFD-Modells 5 – Variante 2 zur Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen mit dem vereinfachten Modell ergibt, dass die Erkennungsrate im vereinfachten Modell für Färsen um 20 % steigt. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine hohe Zwischentragezeit erkannt wird, steigt für Färsen auf 97,5 %, aber die Wahrscheinlichkeit, dass eine niedrige Zwischentragezeit als solche erkannt wird, geht gleichzeitig auf lediglich 13,0 % zurück. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine hohe Zwischentragezeit erkannt wird, steigt für Kühe um über 10 % auf 93,9 %. Auch hier sinkt jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass eine niedrige Zwischentragezeit als solche erkannt wird, um über 10 % auf knapp 24 %.

Für das Modell mit dem zweiten Datensatz werden deutliche Verbesserungen gegenüber den Ergebnissen aus Modell 7 - Tabelle 40 sichtbar. Es wird bestätigt, die wichtigsten Parameter auch für diese Datengrundlage gefiltert zu haben.

4.2 Projektteil Eutergesundheit

4.2.1 Datengrundlage

Die erfassten Daten zum Melkprozess bzw. zur Aktivität der Tiere, zum somatischen Zellgehalt der Milch sowie zur bakteriologischen Untersuchung erforderten im Vorfeld der eigentlichen Datenanalyse und -verarbeitung eine weitere Bearbeitung. Diese umfasste Ergänzungen des Datensatzes sowie Plausibilitätsprüfungen und Datenbereinigungen. Die Vorgehensweise dabei soll in diesem Abschnitt näher erläutert werden.

Mit Hilfe des Kommunikationstools trans.lkv.net (Version: 2.0.0.1) wurde der tägliche Abruf der gespeicherten Melk- und Aktivitätsdaten aus ALPRO® Windows initiiert und die dabei erzeugte Datei anschließend zum Sächsischen Landeskontrollverband e.V. transferiert. Aus ALPRO® Windows waren nur wenige Parameter verfügbar, die den Melkablauf des Einzeltiers beschreiben (Abbildung 42). Zur Erweiterung des Datenspektrums wurden daraus weitere Parameter errechnet.

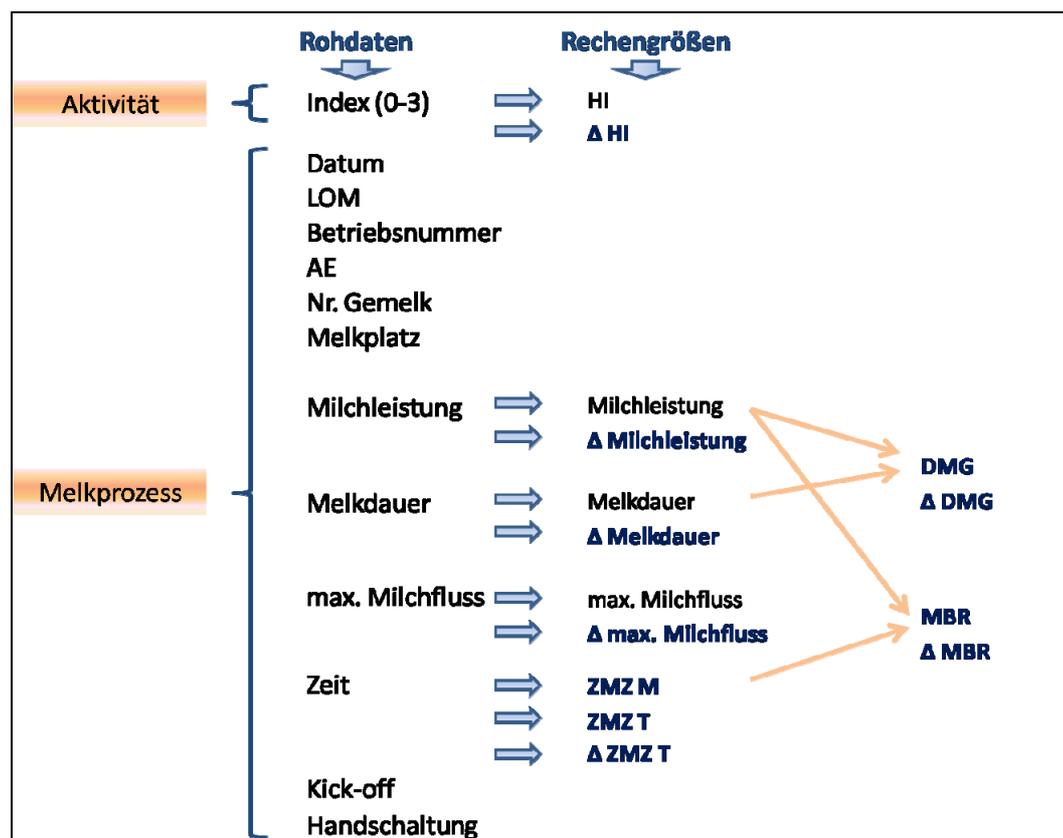


Abbildung 42: Daten des Melkprozessors und Eingangsvariablen

So wurde aus den Zeitpunkten des Melkbegins der Melkungen die Zwischenmelkzeit sowohl für zwei aufeinanderfolgende Melkungen (ZMZ M) als auch für das Morgen- bzw. Abendgemelk (ZMZ T), d. h. die Zeitspanne von einem Morgengemelk zum nächsten Morgengemelk bzw. von einem Abendgemelk zum nächsten Abendgemelk ermittelt. Der durchschnittliche Milchfluss (DMG) ergab sich aus dem Quotienten von Milchleistung und Melkdauer. Die Milchbildungsrate (MBR) wurde aus dem Quotienten aus Milchleistung und der Zwischenmelkzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Melkungen (ZMZ M) gebildet. Zu sämtlichen verfügbaren absoluten Parameterwerten wurde weiterhin jeweils die tägliche Veränderung innerhalb einer Melkzeit (getrennte Betrachtung von Morgen- und Abendgemelken) berechnet (Δ -Größen). Es war anzunehmen, dass infolge dieser Erweiterung des Datensatzes sensiblere, aussagekräftigere Daten als Eingangsvariablen verfügbar sind und die Erfolgsaussichten somit gesteigert werden können.

Zur Beschreibung der Aktivität eines Tieres stand aus ALPRO® Windows zu jeder Melkzeit ein systemindividueller Index (HI) mit Werten im Bereich zwischen 0 und 3 in ganzzahliger Abstufung zur Verfügung. Auch hier erfolgte eine Erweiterung des

Datensatzes, indem zusätzlich die Differenz des aktuellen Wertes zum vorherigen Wert berechnet wurde. Im Verlauf des Versuchszeitraumes standen letztlich 4.308 Datensätze zur Verfügung.

Beim vorliegenden Datenmaterial war eine Plausibilitätsprüfung zwingend erforderlich. Bereits im Zeitverlauf der Datenerfassung wurde stichprobenartig geprüft, ob die im Melkstand am MPC angezeigten Milchmengen den ausgelesenen Daten entsprechen. Dem war ausnahmslos so. Weiterhin wurde während des Versuches sichergestellt, dass es keine Fehlzuordnungen von Tierdaten gibt. Unter üblichen Praxisbedingungen stellt dies jedoch eine erhebliche Fehlerquelle dar. Die Festlegung von Grenzwerten zur Plausibilitätsprüfung (Stufe 1 und 2) war relativ schwierig und teilweise willkürlich, weil in der Literatur keine bzw. kaum Angaben über physiologische Schwankungsbreiten hinsichtlich der Parameter bzw. deren Veränderung vorliegen. Aufgrund zu erwartender Differenzen zwischen den Melkzeiten wurden Morgen- und Abendmelke grundsätzlich getrennt voneinander betrachtet.

Die Sichtung des Datenmaterials zeigte für die betrachteten Parameter sehr große Wertebereiche auf, die in dem Maße als nicht plausibel zu bewerten bzw. physiologisch nicht möglich sind (Tabelle 42). Daher wurden in einer ersten Stufe der Plausibilitätsprüfung, einer allgemeinen Prüfung, Daten selektiv aus Datensätzen verworfen, bei denen mindestens eines der nachfolgend aufgeführten Kriterien erfüllt war:

- $M_{kg} < 3,00 \text{ kg}$
- $\max MF < DMG$
- Melkdauer 00:00:00
- $\max MF > 10,00 \text{ kg/min}$
- $DMG > 6,00 \text{ kg/min}$

Die Parameter ZMZ M, ZMZ T, ΔZMZ T, HI und ΔHI wurden nicht aus den Datensätzen verworfen, weil diese nicht in unmittelbarer Verbindung zu den geprüften Melkparametern stehen.

Tabelle 42: Melkdaten vor der Plausibilitätsprüfung – Auszug

Parameter	Gemelk	MW	s	min	max
Mkg	morgens	17,18	6,13	0,00	29,20
	abends	15,95	5,98	0,00	48,80
maxMF (kg/min)	morgens	4,08	1,62	0,00	9,40
	abends	4,03	1,58	0,00	12,80
Melkdauer (min)	morgens	5,56	2,46	0,00	17,47
	abends	5,32	2,43	0,00	17,52
Δ Mkg	morgens	0,09	3,34	-24,30	27,10
	abends	0,03	3,27	-28,00	27,20
Δ maxMF (kg/min)	morgens	0,02	0,81	-8,50	7,10
	abends	0,01	0,87	-8,90	8,80
Δ Melkdauer (min)	morgens	0,04	1,35	-9,67	9,60
	abends	0,00	1,43	-11,83	12,75

Nach dieser ersten Stufe der Plausibilitätsprüfung verblieben, wie aus Tabelle 43 hervorgeht, 3.424 Datensätze, zu denen sämtliche absolute aktuelle Parameter und Δ -Größen vorlagen.

Tabelle 43: Datensatz (Melkdaten) nach der Plausibilitätsprüfung – Stufe 1 und 2

	Datensätze	% von gesamt
Ergebnis der Plausibilitätsprüfung – Stufe 1 (allgemein)		
Datensätze mit Gemelksdaten (aktuell) komplett	3.654	54,0
dav. morgens	1.829	
dav. abends	1.825	
Datensätze mit Gemelksdaten (aktuell + Δ -Größen) komplett	3.424	50,6
dav. morgens	1.778	
dav. abends	1.646	
Ergebnis der Plausibilitätsprüfung – Stufe 2 (tierindividuell)		
Datensätze mit Gemelksdaten (aktuell) komplett	3.347	49,4
dav. morgens	1.701	
dav. abends	1.646	
Datensätze mit Gemelksdaten (aktuell + Δ -Größen) komplett	3.235	47,8
dav. morgens	1.693	
dav. abends	1.542	

Weil auch nach dieser ersten Stufe der Plausibilitätsprüfung die Verläufe der betrachteten Parameter bei den Einzeltieren und dabei insbesondere die tägliche Veränderung der Parameter innerhalb einer Melkzeit als unplausibel schienen (Tabelle 44), wurde eine zweite Stufe der Plausibilitätsprüfung, eine tierindividuelle Prüfung, als notwendig erachtet. Dabei wurde der jeweils aktuelle Wert eines Parameters des Einzeltieres mit dem tierindividuellen gleitenden Mittelwert von drei vorherigen Messungen der entsprechenden Melkzeit (Morgen- bzw. Abendmelk) verglichen, es wurde die prozentuale Abweichung ermittelt und bewertet. Die Datensätze wurden auch hier selektiv betrachtet, d. h. es wurden einzelne Parameter eines Datensatzes verworfen. Es entfielen Parameter aus Datensätzen, wenn mindestens eins der nachfolgenden Kriterien erfüllt war:

- Abweichung Mkg < - 55 % oder > 70 %
(Entfernung: Mkg, DMG, MBR, Δ Mkg, Δ DMG, Δ MBR)
- Abweichung DMG < - 45 % oder > 60 %
(Entfernung: Mkg, DMG, Melkdauer, MBR, Δ Mkg, Δ DMG, Δ Melkdauer, Δ MBR)
- Abweichung maxMF < - 30 % oder > 45 %
(Entfernung: maxMF, Δ maxMF)
- Abweichung Melkdauer < - 50 % oder > 75 %
(Entfernung: DMG, Melkdauer, Δ DMG, Δ Melkdauer)

Tabelle 44: Melkdaten nach der Plausibilitätsprüfung (Stufe 1) – Auszug

Parameter	Gemelk	MW	s	min	max
Mkg	morgens	18,54	3,94	3,30	29,20
	abends	17,21	3,95	6,00	30,10
maxMF (kg/min)	morgens	4,39	1,21	1,70	8,50
	abends	4,32	1,17	1,70	8,50
Melkdauer (min)	morgens	6,00	1,98	1,17	17,47
	abends	5,73	2,02	2,08	17,52
Δ Mkg	morgens	0,02	2,10	-18,00	12,10
	abends	0,01	1,94	-13,80	9,40
Δ maxMF (kg/min)	morgens	0,01	0,48	-3,30	3,20
	abends	0,00	0,46	-2,40	3,10
Δ Melkdauer (min)	morgens	0,01	1,16	-6,13	9,05
	abends	0,00	1,23	-7,52	7,17

Aufgrund dieser Prüfung wurden Parameter aus 63 Datensätzen verworfen. Abbildung 43 und Abbildung 44 zeigen Beispiele für verworfene Daten aufgrund unplausibler Verläufe.

Weiterhin wurden im Zuge dieser zweiten Plausibilitätsprüfung Datensätze verworfen, zu denen es nicht mindestens drei vorherige Messwerte zur jeweiligen Melkzeit und somit keinen Vergleichswert gab. Dadurch entfielen 383 Datensätze.

Eine Plausibilitätsprüfung bei denjenigen Parametern, die auf erfassten Zeitangaben beruhen (ZMZ M, ZMZ T, ΔZMZ T), wurde als nicht notwendig erachtet. Ebenso wurden die Parameter HI und ΔHI keiner Plausibilitätsprüfung unterzogen.

Letztlich verblieben 3.235 komplette Datensätze zum Melkprozess (1.693 zum Morgengemelk und 1.542 zum Abendgemelk). Im weiteren Verlauf wurden lediglich diese Daten verwandt.

Datum	Stallnr.	f-Mkg	f-Zeit	f-DMG	f-maxMF	f-Melkdauer	f-ΔMelkdauer	f-ΔMkg	f-ΔDMG	f-ΔmaxMF
22.06.2009	6	21,90	6:25:23	1,65	2,40	13,30	0,68	-0,40	-0,12	0,00
23.06.2009	6	22,10	6:05:50	1,51	2,30	14,60	1,30	0,20	-0,14	-0,10
24.06.2009	6	23,40	6:08:04	1,69	2,30	13,83	-0,77	1,30	0,18	0,00
25.06.2009	6	23,70	6:28:23	1,65	2,10	14,40	0,57	0,30	-0,04	-0,20
26.06.2009	6	22,30	5:59:34	1,55	2,00	14,43	0,03	-1,40	-0,10	-0,10
27.06.2009	6	18,00	6:24:34	1,75	2,10			-4,30	0,20	0,10
28.06.2009	6	23,60	6:20:30	1,55	2,10			5,60	-0,20	0,00
29.06.2009	6	21,90	6:25:50	1,49	2,80	14,65	-0,60	-1,70	-0,06	0,70
30.06.2009	6	19,40	5:58:20	1,60	2,10	12,13	-2,52	-2,50	0,11	-0,70
01.07.2009	6	12,00	6:24:01	0,75	2,30	16,07	3,93	-7,40	-0,85	0,20
02.07.2009	6									
03.07.2009	6	20,40	6:30:40	1,84	2,10	11,10				
04.07.2009	6	20,80	6:20:51	2,06	2,50	10,10		0,40	0,22	0,40
05.07.2009	6	23,10	6:07:24	2,28	2,90	10,12		2,30	0,22	0,40

Abbildung 43: Beispiel zur Plausibilitätsprüfung Stufe 2 - Stallnr. 6

Datum	Stallnr.	f-Mkg	f-Zeit	f-DMG	f-maxMF	f-Melkdauer	f-ΔMelkdauer	f-ΔMkg	f-ΔDMG	f-ΔmaxMF
13.06.2009	71	12,10	6:45:17	4,48	8,10	2,70	-0,12	-0,40	0,04	0,70
14.06.2009	71	13,10	6:26:29		7,60			1,00		-0,50
15.06.2009	71		5:57:11		6,40					-1,20
16.06.2009	71	12,80	6:05:30	3,32	6,90	3,85				0,50
17.06.2009	71	12,10	6:08:48	3,82	7,80	3,17	-0,68	-0,70	0,50	0,90
18.06.2009	71	10,60	6:23:38	3,48	4,60	3,05	-0,12	-1,50	-0,34	-2,40
19.06.2009	71	12,40	6:08:02	5,86	7,70	2,12	-0,93	1,80	2,38	3,10
20.06.2009	71	11,60	6:05:49	4,09	6,40	2,83				-1,30
21.06.2009	71	12,70	5:50:12	3,74	7,40	3,40	0,57	1,10	-0,35	1,00
22.06.2009	71	12,10	6:08:25	4,22	7,10	2,87	-0,52	-0,60	0,48	-0,30
23.06.2009	71		5:52:37							

Abbildung 44: Beispiel zur Plausibilitätsprüfung Stufe 2 - Stallnr. 71

Möglicherweise hätte man die Grenzen für zulässige Abweichungen des aktuellen Messwertes vom gleitenden Mittelwert aus drei vorherigen Messungen enger setzen können. Zur tierindividuellen Plausibilitätsprüfung wäre auch der Abgleich des aktuellen Wertes in Verbindung mit der tierindividuellen Standardabweichung, multipliziert mit einem Faktor vorstellbar gewesen. Es wäre zu prüfen, ob eine solche Vorgehensweise bessere Resultate ergibt.

Die absoluten Werte der Melkparameter unterschieden sich mit Ausnahme des maximalen Milchfluss (maxMF) und der Zwischenmelkzeit bezogen auf eine Melkzeit (ZMZ T) signifikant zwischen dem Morgen- und Abendgemelk, während hinsichtlich der täglichen Veränderungsrate keine signifikanten Unterschiede feststellbar waren (Tabelle 45). Diese Unterschiede zwischen den Melkzeiten waren zu erwarten und bestätigen Literaturangaben (TANČIN et al. 2006).

Tabelle 45: Melkdaten nach der Plausibilitätsprüfung (Stufe 2)

Parameter	Gemelk	MW	SD	min	max
Mkg	morgens	18,65 ^a	3,84	5,40	29,20
	abends	17,28 ^b	3,88	6,00	26,90
DMG (kg/min)	morgens	3,32 ^a	0,90	1,35	6,00
	abends	3,24 ^b	0,88	1,26	5,69
maxMF (kg/min)	morgens	4,41	1,20	1,90	8,50
	abends	4,33	1,16	1,80	8,20
Melkdauer (min.)	morgens	6,00 ^a	1,94	2,33	15,25
	abends	5,71 ^b	1,99	2,08	15,72
MBR (kg/h)	morgens	1,43 ^a	0,31	0,40	2,30
	abends	1,58 ^b	0,33	0,60	2,48
Δ Mkg	morgens	0,00	1,95	-10,60	9,40
	abends	0,00	1,86	-9,60	8,20
Δ DMG (kg/min)	morgens	0,00	0,47	-2,71	2,72
	abends	0,00	0,44	-2,04	2,69
Δ maxMF (kg/min)	morgens	0,01	0,44	-2,50	2,30
	abends	0,01	0,43	-2,00	1,90
Δ Melkdauer (min)	morgens	-0,01	1,05	-5,28	4,98
	abends	0,00	1,03	-5,83	5,55
Δ MBR (kg/h)	morgens	0,00	0,14	-0,78	0,72
	abends	0,00	0,16	-0,90	0,82
ZMZ M (h)	morgens	13,12 ^a	0,63	11,72	16,21

	abends	10,87 ^b	0,63	8,26	12,47
ZMZ T (h)	morgens	23,99	0,30	22,65	25,76
	abends	23,98	0,35	22,60	25,22
Δ ZMZ T (h)	morgens	0,01 ^a	0,44	-2,12	2,25
	abends	-0,02 ^b	0,46	-1,74	2,16

a, b – die Gruppen unterscheiden sich signifikant

Infolge der zweiten Stufe der Plausibilitätsprüfung wurden die Schwankungsbreiten der Melkparameter weiter eingeschränkt. Allerdings erscheinen die Wertebereiche insbesondere bei den täglichen Veränderungsrate des durchschnittlichen und maximalen Milchflusses (Δ DMG, Δ maxMF), der Melkdauer (Δ Melkdauer) sowie der Milchbildungsrate (Δ MBR) nach wie vor zu groß (Tabelle 45). Aus der Literatur waren diesbezüglich keine Werte verfügbar, sodass es keinerlei Orientierung gab.

Die vorliegenden Daten unterscheiden sich bezüglich des durchschnittlichen und maximalen Milchflusses von Angaben aus der Literatur. So liegt der durchschnittliche Milchfluss mit Werten zwischen $2,03 \pm 0,08$ und $2,25 \pm 0,08$ kg/min (TANČIN et al. 2006) bzw. um 1,78 kg/min (BAUMGART 2005) wie auch der maximale Milchfluss mit Werten im Bereich von $3,45 \pm 0,15$ bis $3,52 \pm 0,15$ kg/min (TANČIN et al. 2006) bzw. um 3,27 kg/min (BAUMGART 2005) in der Literatur auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Ursachen hierfür können u. a. in der Messtechnik, den Messmethoden und der Definition der Messgröße begründet liegen. Betrachtet man, wie GÖFT (1991) und GULYAS & IVANCSICS (2001), Werte im Bereich von 2,0 - 4,0 kg/min als optimal für den durchschnittlichen Milchfluss, so liegen viele Messwerte im gewünschten Rahmen und scheinen somit auch plausibel zu sein.

4.2.1.1 Somatischer Zellgehalt

Anhand einer anteiligen Mischprobe aus den vier Viertelanfängsgemelksproben eines Prüftieres wurde neben den Milch Inhaltsstoffen Fett%, Eiweiß%, Laktose%, Harnstoffgehalt und pH-Wert, die im weiteren Verlauf kaum mehr Verwendung finden, auch der somatische Zellgehalt bestimmt. Der somatische Zellgehalt der Milch sollte im vorliegenden Versuch neben den BU-Befunden und der Dokumentation hinsichtlich des Mastitisgeschehens zur täglichen Bewertung des Eutergesundheitsstatus beim Einzeltier verwandt werden.

In der Literatur wird oftmals ein Tier mit einer Zellzahl von $< 100.000/\text{ml}$ Milch als eutergesund eingestuft. Weil die Zellzahl kurzfristigen und hohen Schwankungen unterliegen kann, wurde es als nicht zweckmäßig angesehen, diese Schwankungen in der täglichen Bewertung des Eutergesundheitsstatus widerspiegeln zu lassen.

Die Abbildung 45 zeigt den somatischen Zellgehalt eines Prüftieres im Zeitverlauf und dessen stark fluktuierende Bewertung als unauffällig (1) bzw. auffällig (2) bei einem Grenzwert von $< 100.000/\text{ml}$ für ein eutergesundes bzw. unauffälliges Tier.

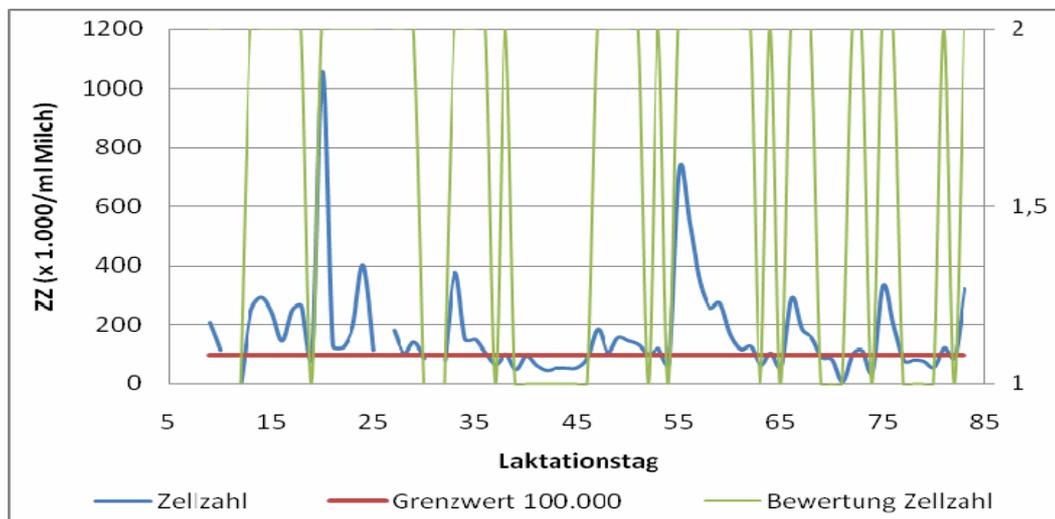


Abbildung 45: Verlauf und Bewertung der Zellzahl (Stallnr. 9)

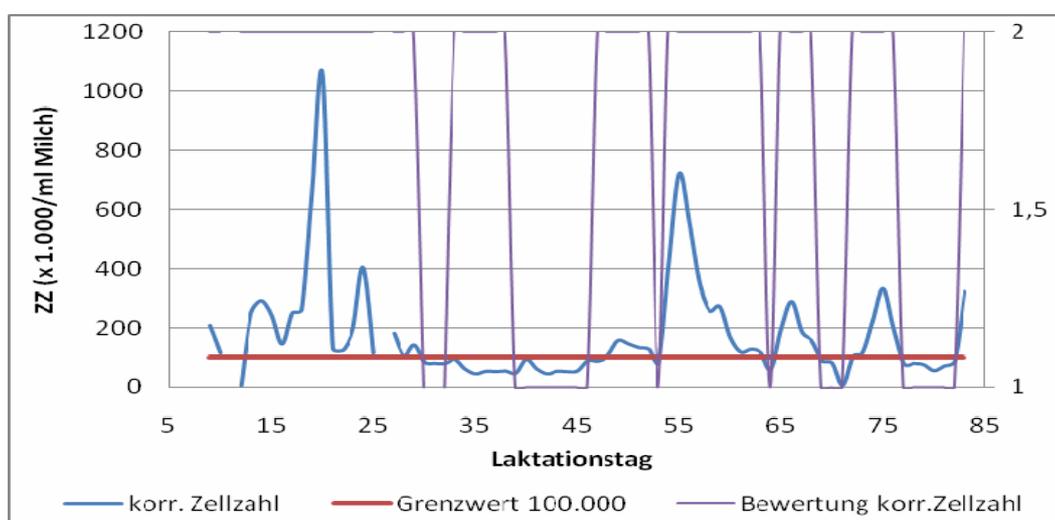


Abbildung 46: Verlauf und Bewertung der korrigierten Zellzahl (Stallnr. 9)

Weil diese Fluktuationen in der täglichen Bewertung für die Praxis sowie den vorliegenden Versuch nicht zielführend sind, wurde der Verlauf der Zellzahl beim Einzeltier, d. h. der aktuelle Messwert im Zusammenhang mit dem des Vortages und des nachfolgenden Tages, orientiert am Grenzwert $< 100.000/\text{ml}$, betrachtet. Sofern bei den drei jeweils betrachteten Messwerten am vorherigen und nachfolgenden Tag eine Zellzahl $< 100.000/\text{ml}$ bzw. $\geq 100.000/\text{ml}$ gemessen wurde, während der aktuelle Wert jedoch $\geq 100.000/\text{ml}$ bzw. $< 100.000/\text{ml}$ betrug, so war der aktuelle Messwert im Sinne einer wahrheitsnahen Bewertung hinsichtlich der Eutergesundheit zu korrigieren. Ansonsten blieben die Werte unverändert. Die Korrektur erfolgte, indem zwischen dem Messwert des Vortages und des nachfolgenden Tages interpoliert wurde.

Die Abbildung 47 und Abbildung 48 zeigen die Vorgehensweise beispielhaft. Waren keine Messwerte zum Vergleich mit dem aktuell betrachteten Untersuchungsergebnis zur Verfügung, so blieb dieses unverändert bestehen.

Auf diese Weise konnte die bei sehr wenigen Prüftieren auftretende, häufig wechselnde Bewertung des Eutergesundheitsstatus anhand des somatischen Zellgehaltes geglättet und möglicherweise auch die körpereigene Abwehrregulation berücksichtigt werden, wie aus dem Vergleich zwischen Abbildung 45 und Abbildung 46 deutlich hervorgeht. Eine Korrektur der Zellzahl war fast ausschließlich auf einzelne offensichtliche Ausreißer beschränkt, wie solche in Abbildung 47 und Abbildung 48 aufgezeigt.

Datum	Stallnr.	Laktose %	pH	Zellzahl	SCS	korrZZ	korrSCS
04.04.2009	93	5,13	6,74	12	0,00	12	0,00
05.04.2009	93	5,18	6,76	2	0,00	2	0,00
06.04.2009	93	5,10	6,74	11	0,00	11	0,00
07.04.2009	93	5,13	6,76	6	0,00	6	0,00
08.04.2009	93	5,13	6,79	9	0,00	9	0,00
10.04.2009	93	5,07	6,75	8	0,00	8	0,00
11.04.2009	93	5,20	6,81	15	0,26	15	0,26
12.04.2009	93	5,11	6,74	6	0,00	6	0,00
13.04.2009	93	5,20	6,75	7	0,00	7	0,00
14.04.2009	93	4,84	6,69	6139		8	0,00
15.04.2009	93	5,26	6,78	9	0,00	9	0,00
16.04.2009	93	5,16	6,76	13	0,06	13	0,06
17.04.2009	93	5,12	6,75	15	0,26	15	0,26
18.04.2009	93	5,23	6,80	47	1,91	47	1,91
19.04.2009	93	5,14	6,76	10	0,00	10	0,00
20.04.2009	93	5,13	6,77	15	0,26	15	0,26
21.04.2009	93	5,16	6,76	7	0,00	7	0,00
22.04.2009	93	5,14	6,77	12	0,00	12	0,00
23.04.2009	93	5,13	6,76	7	0,00	7	0,00

Abbildung 47: Beispiel zur Korrektur der Zellzahl - Stallnr. 93

Datum	Stallnr.	Laktose %	pH	Zellzahl	SCS	korrZZ	korrSCS
06.04.2009	144	4,85	6,78	420	5,07	420	5,07
07.04.2009	144	4,94	6,78	271	4,44	271	4,44
08.04.2009	144	4,93	6,79	288	4,53	288	4,53
10.04.2009	144	4,98	6,80	240	4,26	240	4,26
11.04.2009	144	4,89	6,80	368	4,88	368	4,88
12.04.2009	144	4,78	6,78	456	5,19	456	5,19
13.04.2009	144	4,91	6,77	364	4,86	364	4,86
14.04.2009	144	4,49	6,68	24		354	4,82
15.04.2009	144	4,94	6,78	343	4,78	343	4,78
16.04.2009	144	4,82	6,79	372	4,90	372	4,90
17.04.2009	144	4,74	6,77	350	4,81	350	4,81
18.04.2009	144	4,78	6,78	342	4,77	342	4,77
19.04.2009	144	4,81	6,78	295	4,56	295	4,56
20.04.2009	144	4,87	6,81	335	4,74	335	4,74
21.04.2009	144	4,74	6,77	443	5,15	443	5,15
22.04.2009	144	4,81	6,78	446	5,16	446	5,16
23.04.2009	144	4,68	6,80	528	5,40	528	5,40
24.04.2009	144	4,73	6,79	536	5,42	536	5,42
25.04.2009	144	4,54	6,78	827	6,05	827	6,05

Abbildung 48: Beispiel zur Korrektur der Zellzahl - Stallnr. 144

Von der Betrachtung eines längeren Zeitraumes zum Vergleich des aktuellen Messwertes wurde abgesehen, um einen Informationsverlust zu vermeiden. Im weiteren Verlauf wurde ausschließlich mit der korrigierten Zellzahl gearbeitet, weil sich diese Korrektur, welche sich wie beispielhaft gezeigt, nahezu ausschließlich auf offensichtliche, im Zusammenhang mit der Eutergesundheit nicht interpretierbare Ausreißer beschränkte, beim hier verfügbaren Material zugleich als Plausibilitätsprüfung angesehen werden konnte.

4.2.1.2 Bakteriologische Untersuchung

Zur Befundung der bakteriologischen Untersuchung wurden sowohl die identifizierten Erreger als auch deren Bewuchsintensität auf den verwandten Nährböden (+, ++ oder +++), welche im weiteren Verlauf als Intensität bezeichnet und in numerischer Form (1, 2 bzw. 3) dargestellt wird, erfasst. Den auftretenden Erregern wurde im Anschluss an die Datenerfassung zusätzlich ein Zahlencode vergeben. Für die statistische Auswertung der bakteriologischen Untersuchung wurden die Befunde weiterhin in Abhängigkeit der Familie in Gruppen unterteilt (**Anhang 6**).

Im weiteren Verlauf sollten die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung neben weiteren Parametern zur täglichen Bewertung des Eutergesundheitsstatus der Prüftiere verwandt werden. Weil alle übrigen im Versuch erfassten Daten nur auf

Basis des Tieres verfügbar waren, war es zweckmäßig, zunächst die viertelweisen Ergebnisse eines Prüftages zu einer Information zusammenzufassen. Die Bewertung der Befunde vereinfachte sich durch diesen Schritt allerdings nicht. Bewertet man die Befunde zu einem Tier als positiv und interpretiert diese als Hinweis auf eine Eutergesundheitsstörung („auffällig“), sobald ein Erreger gefunden wird, so wären mit 93,6 % (3.034 von 3.243) sehr viele Datensätze als „auffällig“ hinsichtlich der Eutergesundheit zu werten gewesen. Diese Vorgehensweise wäre so allerdings sicherlich nicht richtig, weil die aufgetretenen Erreger sehr unterschiedlich pathogen sind, deren Wirkung auf das Tier von vielen, kaum erfassbaren Faktoren abhängig ist, ein Tier mit negativem Befund nicht zwingend als „unauffällig“ zu werten ist, zwischen einer latenten Infektion des Eutergewebes und einer auf den Zitzenkanal begrenzten Besiedlung/Infektion nicht unterschieden werden kann und eine Kontaminationen der Proben nicht vollständig auszuschließen ist (vgl. Kapitel 4.2.2.1). All diese Faktoren beeinträchtigen die Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Den Erregern wurden Pathogenitätsstufen im Bereich von 0 bis 4 zugeordnet (**Anhang 7**). Für die Bewertung der BU-Befunde war die höchste Pathogenitätsstufe unter den nachgewiesenen Erregern eines Datensatzes (alle Befunde pro Tier und Tag) in Verbindung mit dessen höchster dokumentierter Intensität (1 bis 3, ganzzahlig), d. h. dessen Wachstum auf den verwandten Nährböden, entscheidend. Mit einer Ausnahme: Wenn in einem Datensatz sowohl Erreger mit der höchsten Pathogenitätsstufe (vier) in der Intensitätsstufe eins als auch Erreger mit der Pathogenitätsstufe drei in der Intensitätsstufe drei identifiziert wurden, so war die letztere Konstellation als kritischer zu betrachten. Dies wurde entsprechend berücksichtigt.

In der Literatur wird mehrfach geäußert, dass Befunde mit mehr als einem Erreger schwierig zu interpretieren sind (DVG 2002) bzw. diese Proben als kontaminiert gelten (SOBIRAJ 2009). Daher wäre es auch ein möglicher Ansatz gewesen, diese betreffenden Probenergebnisse (Einzelprobe) zu verwerfen. Dies wurde jedoch nicht verfolgt, weil befürchtet wurde, dass dadurch Informationen verloren gehen könnten.

4.2.2 Datenanalyse

4.2.2.1 Melkprozessdaten

Es wurde bereits aufgezeigt, dass sich mit Ausnahme des maximalen Milchfluss (maxMF) und der Zwischenmelkzeit bezogen auf eine Melkzeit (ZMZ T) die absoluten Melkparameter signifikant zwischen Morgen- und Abendmelk unterschieden. Somit konnten die Angaben von TANČIN et al. (2006) bestätigt werden. Entgegen den Feststellungen von TANČIN et al. (2006) konnte allerdings, wie auch bei SANDRUCCI et al. (2007), ein signifikanter Einfluss der Laktationsnummer auf die meisten aktuellen, absoluten Melkparameter nachgewiesen werden, wie Tabelle 46 und Tabelle 47 zeigen. Weiterhin wurde der Einfluss des Laktationsstadiums innerhalb der Laktationsnummer auf die Melkdaten untersucht. Insbesondere bei Tieren ab der 2. Laktation bestanden signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen betrachteten Laktationsstadien, sodass die Feststellung von TANČIN et al. (2006) sowie SANDRUCCI et al. (2007), dass das Laktationsstadium einen signifikanten Einfluss auf den Milchfluss hat, Bestätigung fand.

Die erfassten Melkparameter sind gekennzeichnet durch sehr große Wertebereiche. Der beispielhafte Vergleich, insbesondere des erfassten maximalen Milchflusses zum Morgengemelk (f-maxMF bezeichnet) zwischen Abbildung 43 und Abbildung 44 verdeutlicht, dass enorme Unterschiede im Wertenniveau der Einzeltiere bestanden.

Tabelle 46: Melkdaten in Abhängigkeit der Laktationsnummer – Morgengemelk

Parameter	1. Laktation		2. Laktation		> 2. Laktation		P
	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	
Mkg	629	15,73 ± 1,89 ^a	918	19,84 ± 3,57 ^b	295	21,18 ± 3,96 ^c	< 0,0001
DMG	628	2,82 ± 0,63 ^a	899	3,54 ± 0,93 ^b	285	3,70 ± 0,80 ^c	< 0,0001
maxMF	626	3,65 ± 0,75 ^a	903	4,75 ± 1,21 ^b	292	4,99 ± 1,18 ^c	< 0,0001
Melkdauer	628	5,88 ± 1,59	900	6,06 ± 2,13	286	6,09 ± 1,98	0,1368
ZMZ M	638	13,32 ± 0,81 ^a	938	13,00 ± 0,43 ^b	386	13,06 ± 0,61 ^b	< 0,0001

ZMZ T	604	24,01 ± 0,30	886	23,99 ± 0,27	365	23,99 ± 0,34	0,5166
MBR	628	1,19 ± 0,16 ^a	917	1,53 ± 0,28 ^b	295	1,62 ± 0,31 ^c	< 0,0001
HI	686	0,13 ± 0,52 ^{ab}	1.031	0,15 ± 0,57 ^a	437	0,06 ± 0,29 ^b	0,0152
Δ Mkg	592	-0,01 ± 1,66	855	-0,01 ± 1,99	268	0,07 ± 2,37	0,8365
Δ DMG	590	0,00 ± 0,37	818	0,00 ± 0,51	254	0,01 ± 0,54	0,9850
Δ maxMF	586	0,01 ± 0,34	826	0,00 ± 0,49	263	0,05 ± 0,48	0,3000
Δ Melkdauer	590	-0,01 ± 1,07	819	-0,01 ± 0,99	256	-0,01 ± 1,18	0,9963
Δ ZMZ T	602	0,02 ± 0,42	883	0,01 ± 0,43	365	0,01 ± 0,50	0,9303
Δ MBR	590	0,00 ± 0,12	854	0,00 ± 0,15	268	0,00 ± 0,17	0,8148
Δ HI	636	0,00 ± 0,55	956	0,00 ± 0,56	408	0,00 ± 0,28	0,9998

a, b, c – die Gruppen unterscheiden sich signifikant

Tabelle 47: Melkdaten in Abhängigkeit der Laktationsnummer – Abendmelk

Parameter	1. Laktation		2. Laktation		> 2. Laktation		P
	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	
Mkg	626	13,97 ± 2,51 ^a	912	18,93 ± 3,21 ^b	291	19,25 ± 3,61 ^b	< 0,0001
DMG	623	2,74 ± 0,63 ^a	898	3,47 ± 0,89 ^b	281	3,59 ± 0,81 ^b	< 0,0001
maxMF	628	3,56 ± 0,73 ^a	910	4,70 ± 1,16 ^b	291	4,84 ± 1,08 ^b	< 0,0001
Melkdauer	623	5,39 ± 1,71 ^a	898	5,92 ± 2,13 ^b	282	5,78 ± 2,02 ^b	< 0,0001
ZMZ M	604	10,68 ± 0,80 ^a	883	10,99 ± 0,44 ^b	363	10,92 ± 0,61 ^b	< 0,0001
ZMZ T	605	23,99 ± 0,32	880	23,98 ± 0,36	363	23,98 ± 0,37	0,8877
MBR	589	1,30 ± 0,18 ^a	861	1,72 ± 0,28 ^b	274	1,76 ± 0,30 ^b	< 0,0001
HI	687	0,13 ± 0,52 ^{ab}	1029	0,15 ± 0,56 ^a	437	0,06 ± 0,29 ^b	0,0173
Δ Mkg	581	-0,04 ± 1,64	850	0,01 ± 1,91	263	0,02 ± 2,14	0,8326
Δ DMG	575	0,00 ± 0,38	825	0,00 ± 0,44	244	-0,01 ± 0,56	0,9119
Δ maxMF	584	0,01 ± 0,32	844	0,00 ± 0,45	262	0,01 ± 0,57	0,9413
Δ Melkdauer	575	-0,01 ± 1,04	825	-0,01 ± 0,95	244	0,06 ± 1,24	0,6825
Δ ZMZ T	568	-0,03 ± 0,45	828	-0,01 ± 0,46	342	-0,02 ± 0,50	0,6503
Δ MBR	547	0,00 ± 0,15	800	0,00 ± 0,17	247	0,00 ± 0,18	0,9022
Δ HI	635	0,01 ± 0,55	952	0,01 ± 0,56	408	0,01 ± 0,28	0,9968

a, b – die Gruppen unterscheiden sich signifikant

Aus der vergleichenden Betrachtung des Verlaufs verschiedener Melkparameter eines Tieres unmittelbar vor dem Auftreten einer klinischen Mastitis mit dem eines Tieres ohne Auffälligkeiten (keine Klinik, Zellzahl < 100.000/ml), war weder ein möglicher Ansatzpunkt noch eine Tendenz abzuleiten. Es war kein typisches, gegenüber unauffälligen Zeitabschnitten bzw. Tieren verändertes Parameterverhalten im Vorfeld einer Eutererkrankung erkennbar. Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen beispielhaft den Verlauf verschiedener Melkparameter eines unauffälligen Tieres (Abbildung 49) bzw. eines Tieres bis 14 Tage vorm Auftreten einer klinischen Mastitis (Abbildung 50). Aus diesen Abbildungen wird zudem deutlich, dass die Parameter in sehr kurzen Zeiträumen stark fluktuieren.

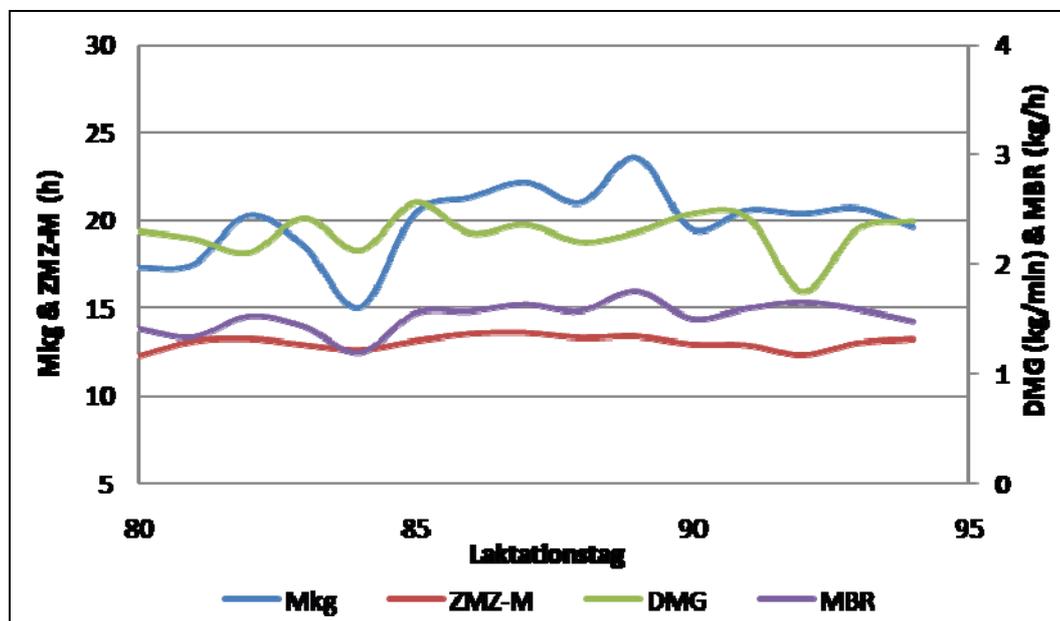


Abbildung 49: Verlauf Mkg, ZMZ-M, DMG und MBR des Morgengemelkes eines Tieres ohne Auffälligkeiten - Stallnr. 34

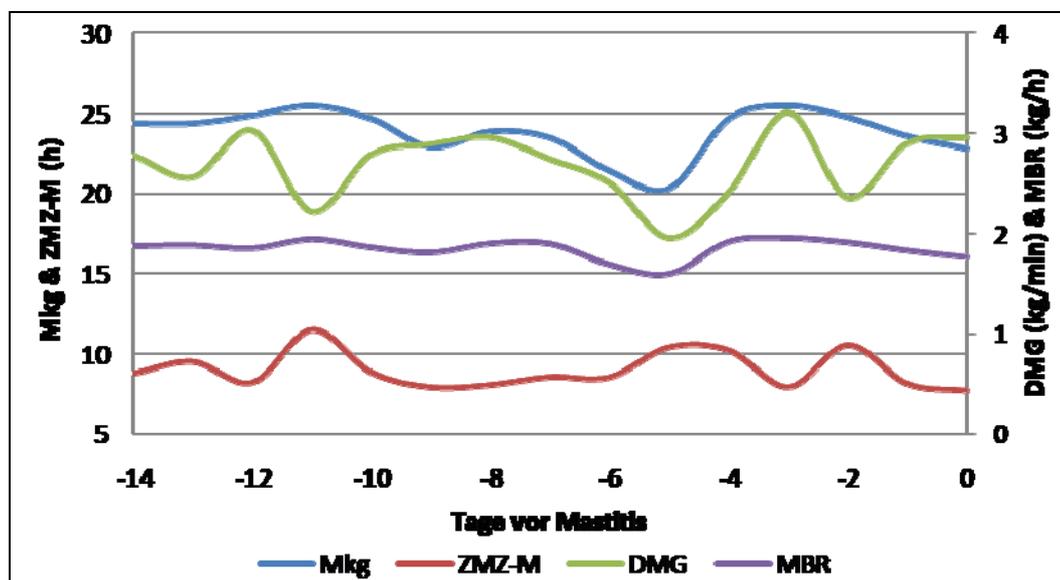


Abbildung 50: Verlauf Mkg, ZMZ-M, DMG und MBR des Morgengemelkes eines Tieres vor einer klinischen Mastitis – Stallnr. 57

Der dargestellte Sachverhalt führt zu der Vermutung, dass die Erarbeitung praxistauglicher Modelle basierend auf der Verarbeitung von insbesondere aktuellen, absoluten Melkdaten sehr schwierig und aufwändig sein wird. Zudem sind die Melkdaten beim konventionellen Melksystem nur auf Basis des Einzeltieres anstatt des Euterviertels verfügbar, was die Erfolgsaussichten zusätzlich verringert.

4.2.2.2 Milchproben

4.2.2.2.1 Bakteriologische Untersuchung

Während des Versuchszeitraumes konnten von 53 Tieren Milchproben entnommen werden. Insgesamt wurden 13.264 Milchproben aus dem Viertelanfangsgemelk entnommen, 13.042 Proben wurden untersucht und zu 12.974 Proben (97,8 %) lagen letztlich zuordenbare Befunde aus der Bakteriologischen Untersuchung vor. 2.387 Proben (18,3 %) wiesen mindestens zwei (bis maximal vier) Befunde auf. 33,7 % der untersuchten Proben ergaben einen negativen Befund. Lediglich 6,4 % der Befunde aus der bakteriologischen Untersuchung, zusammengefasst auf Ebene des Tieres, waren negativ. Bei Untersuchungen von KLAAS (2000) bzw. KÖSTER (2004) wurden lediglich aus 16,8 % bzw. 19,1 % der untersuchten Proben Mastitiserreger isoliert, was eine erhebliche Abweichung zu den hier vorliegenden Ergebnissen darstellt.

Die einzelnen aufgetretenen Erreger sowie deren Zuordnung ist dem **Anhang 6** zu entnehmen. Bei einer Vielzahl an Proben wurde der Befund „unspezifische Begleitflora“ (54,9 % aller Befunde) gestellt bzw. wurden Erreger (4,1 % aller Befunde) ermittelt, welche mit einem Mastitisgeschehen nicht in Verbindung zu bringen sind (Abbildung 51). In Abbildung 52 ist die Verteilung der BU-Befunde nach mastitisrelevanten Familien dargestellt.

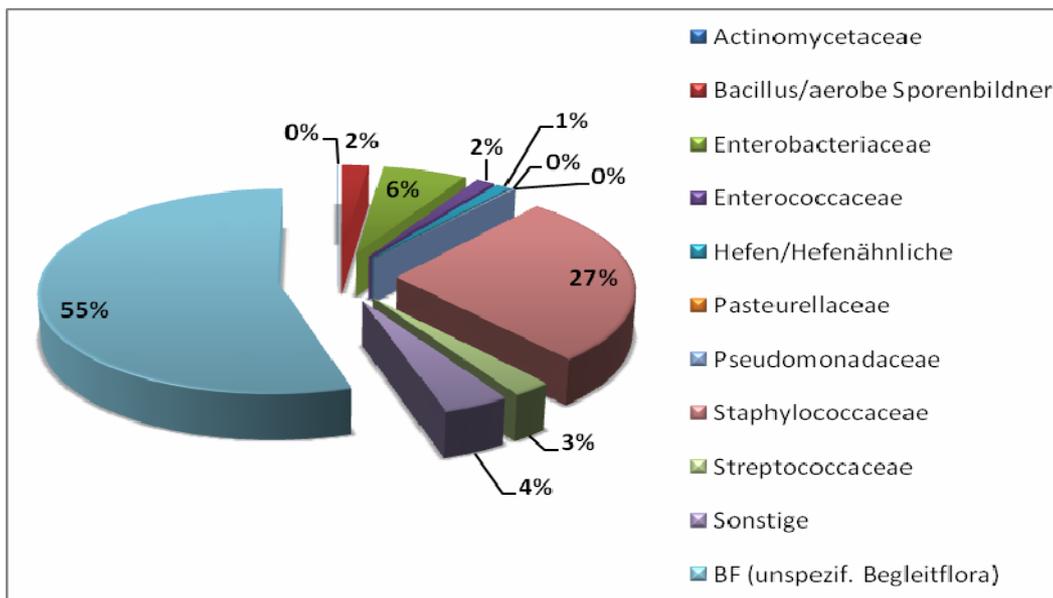


Abbildung 51: Verteilung der BU-Befunde - gesamt

In der Familie der Staphylococcaceae hatte *Staphylococcus aureus* einen Anteil von 6,0 %, KNS-Erreger nahmen einen Anteil von 94,0 % ein. Bei den Streptococcaceae überwog der Befund *Sc. uberis* deutlich mit 81,1 %. Wie auch bei KLAAS (2000), REDETSKY (2000) und KÖSTER (2004) stellten *Staphylococcus* spp. die Haupterreger dar.

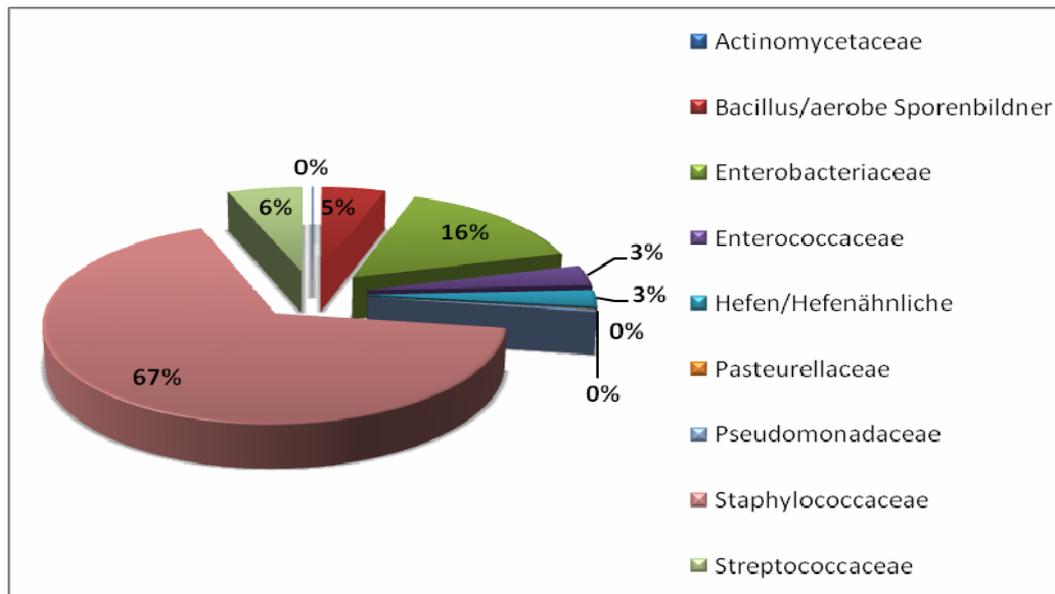


Abbildung 52: Verteilung der BU-Befunde - Familien mastitisrelevanter Erreger

Aus organisatorischen Gründen war die Probenahme durch sechs Personen abzudecken. Eine Analyse der Befundstruktur ergab signifikante Unterschiede zwischen den Probenehmern, wie aus Tabelle 48 ersichtlich wird.

Tabelle 48: Struktur der BU-Befunde nach Probenehmer

Probenehmer	Probenahmen	unspezif. Begleitflora (BF) in %			BF + Sonstige in %			negativ in %		
		Mean	SE	SD	Mean	SE	SD	Mean	SE	SD
A	25	40,01 ^a	2,03	10,14	43,57 ^{ac}	2,29	11,44	25,15 ^a	2,14	10,71
B	23	23,58 ^b	1,60	7,65	25,37 ^{bd}	1,75	8,37	50,68 ^b	2,41	11,56
C	13	35,89 ^a	3,01	10,84	37,20 ^{ad}	3,01	10,86	27,16 ^a	2,52	9,08
D	9	49,85 ^{ac}	3,07	9,20	52,32 ^c	2,49	7,47	18,17 ^a	1,95	5,86
E	25	49,46 ^c	2,21	11,07	52,67 ^c	2,20	10,99	18,65 ^a	2,02	10,09
F	11	46,97 ^{ac}	2,63	8,72	49,96 ^{ac}	2,75	9,11	23,30 ^a	3,28	10,87

SE – Standardfehler; SD – Standardabweichung; a, b, c, d – die Gruppen unterscheiden sich signifikant

Die nachfolgenden beiden Abbildungen zeigen beispielhaft die Dynamik des Anteils negativer BU-Proben und Anteile BU-Proben mit dem Befund unspezifische Begleitflora (BF) bzw. sonstige Erreger bei den Probenehmern A und B zwischen den Probenahmen.

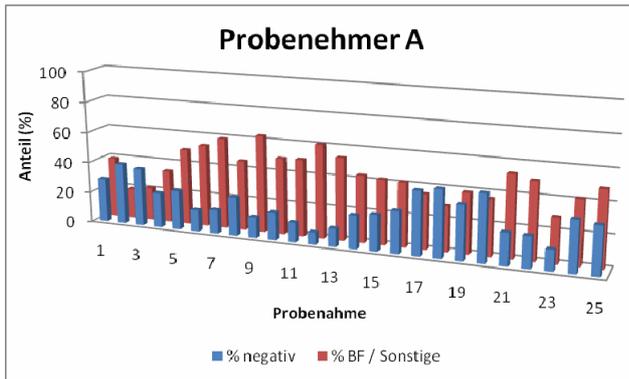


Abbildung 53: Anteil BU-negativ u. Sonstige/BF nach Probenahme – Probenehmer A

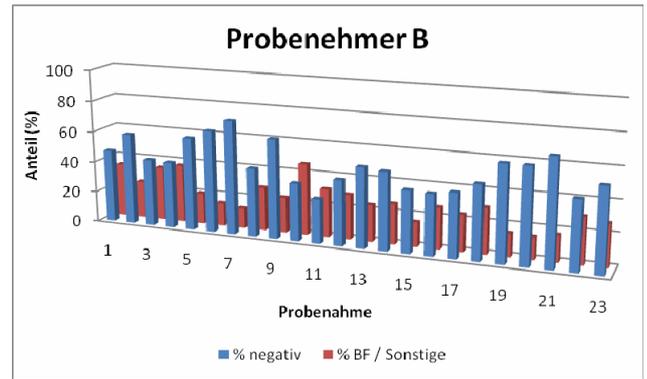


Abbildung 54: Anteil BU-negativ u. Sonstige/BF nach Probenahme – Probenehmer B

4.2.2.2.2 Milchinhaltstoffe

Für die Untersuchung sind aus der Analyse der Milchinhaltstoffe lediglich der somatische Zellgehalt sowie der Laktosegehalt der Milch von Interesse. Daher beschränken sich die nachfolgenden Ausführungen auch auf die genannten Parameter, insbesondere aber die Zellzahl.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die SCS-Werte und Laktosegehalte der Prüftiere im Laktationsverlauf.

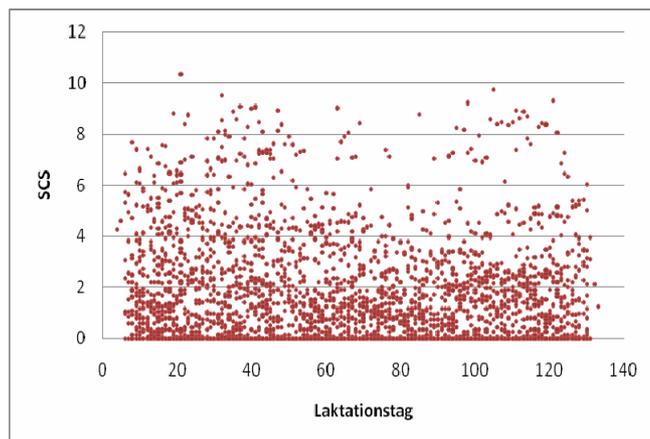


Abbildung 55: Verteilungsdiagramm SCS vom 7. bis 130. Laktationstag (n=3.243)

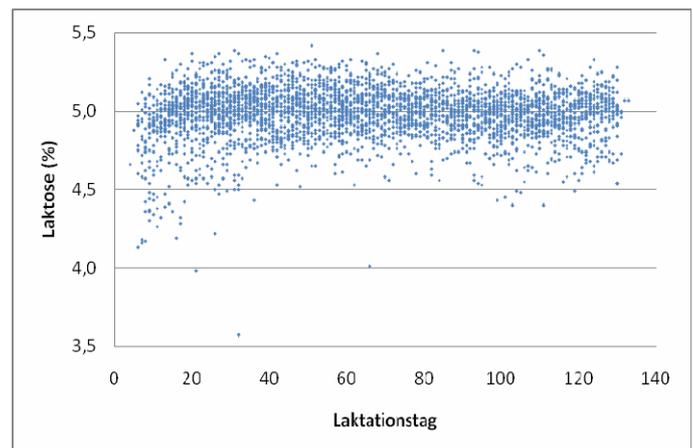


Abbildung 56: Verteilungsdiagramm Laktose (%) vom 7. bis 130. Laktationstag (n=3.243)

Der SCS stand in signifikantem Zusammenhang mit dem Laktationstag ($r = -0,09$; $p < 0,0001$; $n = 3.243$). Die Rangkorrelationsberechnung nach Spearman ergab, wie erwartet, signifikante Zusammenhänge zwischen SCS bzw. Laktosegehalt und der Laktationsnummer (Tabelle 49).

Der Laktosegehalt der Milch stand in signifikanter Beziehung zum SCS ($r = -0,29$; $p < 0,0001$; $n = 3.243$). FAHR (2003) und ANACKER (2004) berechneten etwas höhere Korrelationskoeffizienten im Bereich von $r = -0,30$ bis $-0,60$ und $r = -0,50$. Im weiteren Verlauf fand der Laktosegehalt keine Anwendung.

Der mittlere somatische Zellgehalt der untersuchten Proben betrug 166.547/ml Milch. Bei 83,1 % der Datensätze war die Zellzahl < 100.000 /ml, 6,5 % der Proben wiesen einen somatischen Zellgehalt von > 400.000 /ml auf. Nach KRÖMKER (2007) sollten < 25 % der Tiere eine Zellzahl von mehr als 100.000/ml haben und bei weniger als 8 % der Tiere sollte die Zellzahl über 400.000/ml liegen. Es kann angenommen werden, dass die betrachtete Tiergruppe diese Kriterien erfüllt, auch wenn zu Tieren, die sich in Milchsperre befanden, keine Zellzahlen vorlagen.

Tabelle 49: Rangkorrelationen (nach Spearman) zwischen Laktationsnummer und Milchinhaltsstoffen

Parameter	n	rs
Laktose (%)	3.243	-0,25*
SCS	3.243	0,17*

*p < 0,0001

4.2.2.3 Klinische Mastitis

Im Versuchszeitraum wurden 12 Tiere (23 % der Prüftiere) mit klinischer Mastitis registriert, welche mit antibiotischen Präparaten behandelt wurden. Zu den betroffenen Tieren sind insgesamt 17 Behandlungsserien, d. h. Fälle klinischer Mastitis, dokumentiert worden, unter der Annahme, dass mindestens drei Tage zwischen dem Ablauf der Milchsperrung und einer erneuten Diagnose liegen müssen. Im betrachteten Laktationsabschnitt traten 58,8 % der klinischen Mastitiden bis zum 50. Laktationstag auf. Das oftmals festgestellte gehäufte Auftreten von klinischen Mastitiden zu Beginn der Laktation (KLAAS 2000; REDETZKY 2000; HINRICHS 2004; PRIEN 2006) konnte also bestätigt werden. Die Ersterkrankung trat im betrachteten Laktationsabschnitt (bis zum 130. Tag p.p.) im Mittel am 32. Tag p.p. ein. Die Tabelle 50 zeigt das Auftreten von klinischen Mastitiden nach der Laktationsnummer.

Im Herdenmanagementsystem waren zu fünf Tieren insgesamt sechs Behandlungsserien klinischer Mastitiden mit homöopathischen Arzneimitteln dokumentiert. Zwei Behandlungen davon erfolgten unterstützend zur antibiotischen Therapie.

Tabelle 50: Auftreten von Mastitiden nach Laktationsnummer

Laktation	Anzahl Tiere mit klinischer Mastitis	Anteil bezogen auf alle klinischen Mastitiden (%)	Anteil bezogen auf Tiere mit entsprechender Laktationsnummer (%)
1	3	25	19
2	4	33	16
3	1	8	17
4	2	17	67
> 4	2	17	67

Bei fünf klinischen Mastitiden mit antibiotischer Behandlung sind aufgrund der Kolostrumphase bzw. einer Milchsperrung nicht die täglich erfassten Daten unmittelbar vor Eintreten der Erkrankung verfügbar. Im Zuge der Plausibilitätsprüfung entstanden weitere unvollständige Datensätze, welche den verfügbaren Datenpool weiter einschränkten. Diese Ergebnisse zeigen, dass eine sichere Bewertung der zu erstellenden Modelle allein anhand des Parameters „Diagnose klinische Mastitis“ als Referenzgröße einen weitaus größeren Datenpool als den hier verfügbaren erfordert hätte.

4.2.2.4 Beziehung zwischen Parametern der Eutergesundheit

Im nachfolgenden Abschnitt sollen die Beziehungen zwischen den bakteriologischen Befunden und dem somatischen Zellgehalt dargestellt werden.

Tiere mit negativem Befund aus der bakteriologischen Untersuchung auf allen vier Vierteln hatten mit $38.306 \pm 140.273/\text{ml}$ Milch signifikant geringere Zellzahlen als Tiere mit positivem Befund auf mindestens einem Viertel ($175.381 \pm 712.308/\text{ml}$ Milch; $n = 3.243$; $p < 0,01$). Auch KLAAS (2000) und BROCKMANN (2004) konnten signifikant höhere Zellzahlen bei positiven bakteriologischen Befunden feststellen. Die von allen Vierteln eines Tieres zusammengefasste maximale Pathogenitätsstufe unter allen identifizierten Erregern eines Prüftags stand in signifikanter Beziehung zur Zellzahl ($r_s = 0,12$; $p < 0,0001$; $n = 3.034$). Ebenso zeigte deren Intensität einen signifikanten Zusammenhang zur Zellzahl ($r_s = 0,14$; $p < 0,0001$; $n = 3.034$). Beim mittleren

Zellgehalt zeigte sich bei Betrachtung der gruppierten Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung auf Basis des Tieres nach der maximalen Pathogenitätsstufe der ermittelten Erreger sowie deren Intensität ein deutlicher Anstieg mit zunehmender Intensität ab Pathogenitätsstufe 2 (Tabelle 51). Die Gruppen unterschieden sich teilweise signifikant.

Tabelle 51: Zellgehalt in Abhängigkeit von Pathogenität und Intensität der nachgewiesenen Erreger

Bakteriologische Untersuchung		n	Zellzahl	
maximale Pathogenitätsstufe	Intensität		Mean	SD
0	-	209	38.306 ^a	140.273
1	1	288	70.931 ^{ab}	286.096
1	2	379	51.615 ^{ab}	154.311
1	3	452	99.947 ^{ab}	439.172
2	1	193	46.251 ^{ab}	79.178
2	2	254	131.167 ^{abc}	456.325
2	3	385	194.103 ^{abc}	709.753
3	1	144	128.681 ^{abc}	336.827
3	2	143	276.427 ^{abg}	1.019.540
3	3	251	494.460 ^{tgh}	1.056.076
4	1	263	175.897 ^{ae}	682.256
4	2	149	262.638 ^{adh}	891.289
4	3	133	469.211 ^{cdefg}	1.814.497

a, b, c, d, e, f, g, h – die Gruppen unterscheiden sich signifikant

4.2.2.5 Beziehung zwischen Melkprozessdaten und Eutergesundheit

Bevor die Daten zum Melkprozess als Eingangsvariablen für mathematische Modelle zur Früherkennung von Eutergesundheitsstörungen verwandt wurden, war es erforderlich, deren Beziehungen zum Eutergesundheitsstatus des Einzeltieres zu analysieren. Die Analyse beschränkte sich aufgrund der Sicherheit der verfügbaren Parameter auf den somatischen Zellgehalt als Indikator für die Eutergesundheit.

Der Datensatz wurde zunächst aufgeteilt in diejenigen Tiere, welche im Versuchszeitraum stets eine Zellzahl unter 100.000/ml vorwiesen, also unauffällig waren, und Tiere, die ein- oder mehrfach Zellzahlen ≥ 100.000 /ml hatten. Die aktuellen, absoluten Messgrößen der Melkdaten unterschieden sich teilweise signifikant, während sich die Veränderungsraten der Melkdaten zwischen den beiden Gruppen statistisch nicht unterschieden. Bezogen auf das Morgengemelk hatten Tiere, die stets unauffällig hinsichtlich der Zellzahl waren, eine signifikant höhere Milchleistung und Milchbildungsrate, während der maximale Milchfluss dieser Tiere entgegen den Erwartungen gegenüber auffälligen Tieren signifikant geringer war (Tabelle 52). Beim Abendgemelk zeigten unauffällige Tiere einen signifikant geringeren durchschnittlichen und maximalen Milchfluss.

Tabelle 52: Melkdaten in Abhängigkeit der Zellzahl – Morgengemelk

Parameter	unauffällig (ZZ < 100.000)		auffällig (ZZ ≥ 100.000)		P
	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	
Mkg	836	19,04 ± 3,80 ^a	1.006	18,33 ± 3,84 ^b	< 0,0001
DMG	819	3,28 ± 0,78	993	3,35 ± 0,98	0,0918
maxMF	824	4,26 ± 0,98 ^a	997	4,53 ± 1,35 ^b	< 0,0001
Melkdauer	820	6,09 ± 1,85	994	5,92 ± 2,01	0,0624
MBR	835	1,45 ± 0,30 ^a	1.005	1,40 ± 0,31 ^b	0,0003
ZMZ M	850	13,13 ± 0,63	1.112	13,11 ± 0,63	0,4301
ZMZ T	802	23,99 ± 0,31	1.053	23,99 ± 0,29	0,9845
HI	924	0,13 ± 0,51	1.230	0,12 ± 0,51	0,4608
Δ ZMZ T	799	0,01 ± 0,45	1.051	0,02 ± 0,43	0,5914
Δ Melkdauer	752	0,01 ± 1,01	913	-0,03 ± 1,09	0,5354
Δ Mkg	780	0,03 ± 2,02	935	-0,02 ± 1,88	0,6552
Δ DMG	750	0,00 ± 0,43	912	0,00 ± 0,50	0,6987
Δ maxMF	758	0,01 ± 0,40	917	0,01 ± 0,47	0,9493
Δ MBR	778	0,00 ± 0,15	934	0,00 ± 0,14	0,4800
Δ HI	854	0,00 ± 0,53	1.146	0,01 ± 0,50	0,8320

a, b – die Gruppen unterscheiden sich signifikant

In den weiteren Arbeitsschritten wurde der Datensatz detaillierter betrachtet, indem nun die Tagesdatensätze nach dem gemessenen somatischen Zellgehalt sowie zusätzlich der Laktationsnummer der betreffenden Tiere gruppiert wurden. Wie aus der Tabelle 53 und Tabelle 54 hervorgeht, waren gleichbedeutende Ergebnisse zur vorherigen Untersuchung feststellbar. Unauffällige Datensätze waren unabhängig von der Laktationsnummer gegenüber den Datensätzen mit Zellzahlen ≥ 100.000/ml durch statistisch gesichert geringere durchschnittliche bzw. maximale Milchflüsse sowie signifikant bzw. zumindest tendenziell höhere Milchleistungen gekennzeichnet. Darüber hinaus war bei Zellzahlen unter 100.000/ml eine signifikant längere Melkdauer und außer bei Tieren der ersten Laktation eine signifikant höhere Milchbildungsrate erkennbar. Mit Ausnahme der zweiten Laktation war bei unauffälligen Tieren zumindest tendenziell eine längere Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Melkungen (ZMZ M) erkennbar. Bei den übrigen Parametern (ZMZ T, HI) waren keine bzw. kaum Differenzen zwischen den betrachteten Gruppen erkennbar. Bei der Betrachtung der Abendgemelke zeigten sich mit Ausnahme der Milchleistung und der Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Melkungen (ZMZ M) gleichgerichtete Ergebnisse.

Tabelle 53: Melkdaten in Abhängigkeit der Zellzahl - Morgengemelk (Tagesdatensätze)

Parameter	ZZ < 100.000		ZZ ≥ 100.000		P
	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	
Mkg	1.447	18,74 ± 3,63 ^a	334	18,17 ± 4,55 ^b	0,0133
DMG	1.424	3,22 ± 0,88 ^a	330	3,73 ± 0,83 ^b	< 0,0001
maxMF	1.427	4,20 ± 1,09 ^a	335	5,33 ± 1,24 ^b	< 0,0001
Melkdauer	1.425	6,17 ± 1,87 ^a	331	5,20 ± 2,04 ^b	< 0,0001
ZMZ M	1.454	13,14 ± 0,65 ^a	360	13,03 ± 0,44 ^b	0,0026
ZMZ T	1.366	23,99 ± 0,29	346	24,00 ± 0,27	0,9308
MBR	1.445	1,43 ± 0,29 ^a	334	1,39 ± 0,35 ^b	0,0460
HI	1.555	0,13 ± 0,51	395	0,12 ± 0,53	0,8930

a, b – die Gruppen unterscheiden sich signifikant

Tabelle 54: Melkdaten nach Laktationsnummer in Abhängigkeit der Zellzahl - Morgengemelk (Tagesdatensätze)

Laktation	Parameter	ZZ < 100.000		ZZ ≥ 100.000		P
		n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	
1. Laktation	Mkg	556	15,76 ± 1,90	52	15,44 ± 1,39	0,2498
	DMG	555	2,79 ± 0,62 ^a	52	3,19 ± 0,58 ^b	< 0,0001
	maxMF	553	3,60 ± 0,75 ^a	52	4,26 ± 0,46 ^b	< 0,0001
	Melkdauer	555	5,95 ± 1,62 ^a	52	4,99 ± 0,98 ^b	< 0,0001
	ZMZ M	556	13,33 ± 0,81 ^a	52	13,01 ± 0,52 ^b	0,0046
	ZMZ T	525	24,00 ± 0,29	49	24,01 ± 0,26	0,9541
	MBR	555	1,19 ± 0,16	52	1,19 ± 0,11	0,9167
	HI	598	0,14 ± 0,55	57	0,04 ± 0,19	0,1427
2. Laktation	Mkg	711	20,22 ± 3,15 ^a	181	18,30 ± 4,62 ^b	< 0,0001
	DMG	694	3,48 ± 0,96 ^a	180	3,80 ± 0,75 ^b	< 0,0001
	maxMF	696	4,55 ± 1,19 ^a	183	5,51 ± 0,97 ^b	< 0,0001
	Melkdauer	694	6,29 ± 2,08 ^a	181	5,11 ± 2,07 ^b	< 0,0001
	ZMZ M	716	12,99 ± 0,43	184	13,05 ± 0,41	0,1035
	ZMZ T	671	23,99 ± 0,27	178	23,99 ± 0,27	0,8683
	MBR	710	1,56 ± 0,25 ^a	181	1,41 ± 0,36 ^b	< 0,0001
	HI	759	0,14 ± 0,54	200	0,22 ± 0,72	0,0919

> 2. Laktation	Mkg	180	22,11 ± 2,87 ^a	101	19,33 ± 4,93 ^b	< 0,0001
	DMG	175	3,58 ± 0,69 ^a	98	3,91 ± 0,95 ^b	0,0013
	maxMF	178	4,70 ± 0,68 ^a	100	5,55 ± 1,62 ^b	< 0,0001
	Melkdauer	176	6,43 ± 1,70 ^a	98	5,48 ± 2,35 ^b	0,0001
	ZMZ M	182	13,14 ± 0,66	124	13,02 ± 0,44	0,0736
	ZMZ T	170	23,98 ± 0,34	119	23,99 ± 0,29	0,6610
	MBR	180	1,68 ± 0,22 ^a	101	1,48 ± 0,38 ^b	< 0,0001
	HI	198	0,05 ± 0,22	138	0,03 ± 0,17	0,3329

a, b – die Gruppen unterscheiden sich signifikant

Wie bei einer Untersuchung von TANČIN et al. (2007) war die Melkdauer bei geringer Zellzahl gegenüber Tieren mit höheren Zellzahlen signifikant höher.

Die in der Literatur vielfach dargestellte Milchminderleistung bei erkrankten oder auffälligen Tieren bzw. Vierteln oder erhöhten Zellzahlen (GRABOWSKI 2000; KLAAS 2000; REDEZKY 2000; KÖHLER 2002; BROCKMANN 2004; JAHNKE 2004; RUDOLPHI 2004; KRÖMKER 2007; TANČIN et al. 2007) konnte nachgewiesen werden.

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen Literaturangaben, wonach bei subklinisch infizierten Vierteln bzw. auffälligen Eutervierteln ein signifikant höherer Milchfluss zu beobachten war (PETERMANN et al. 2001; KÖHLER 2002). Hinsichtlich der Beziehung zwischen Milchfluss und Eutergesundheit wurde in der Literatur bereits darauf hingewiesen, dass sich der Milchfluss uneindeutig verhält (KÖHLER 2004) bzw. von nichtlinearen Beziehungen auszugehen ist (ROTH et al. 1998). Dies erschwerte die Modellerarbeitung möglicherweise zusätzlich.

4.2.3 Entwicklung von Fuzzy Logic-Modellen

4.2.3.1 Rahmenbedingungen

Die Modellierungen eines Früherkennungssystems für Eutergesundheitsstörungen erfolgten beim konventionellen Melksystem, weil dieses in den landwirtschaftlichen Unternehmen üblich ist und langfristig auch überwiegen wird. Somit wäre bei Realisierung eines praxistauglichen Modells eine intensivere, d. h. flächendeckendere Nutzung durch Milcherzeuger möglich. Weil alle verfügbaren Parameter nur auf Ebene des Tieres gegenüber auf Ebene des Euterviertels beim AMS verfügbar waren, sind die Modellierungen als deutlich schwieriger einzuschätzen.

Entgegen der Vorgehensweise bei KÖHLER (2002) war es im vorliegenden Versuch eine wesentliche Rahmenbedingung, dass ausschließlich mit Daten als Eingangsvariablen gearbeitet wird, die im täglichen Produktionsprozess automatisch erfasst und gespeichert werden. Somit besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dass erfolgreich auf Praxistauglichkeit getestete Modelle nach entsprechender betriebsindividueller Anpassung neben den Testbetrieben in vielen weiteren Betrieben anwendbar sind und die Ergebnisse über die Internetplattform „fitness monitoring“ visualisiert werden können.

Als Referenzgröße wurden zunächst beide Varianten genutzt, d. h. sowohl die Einstufung in Risikogruppen (R1) als auch der Eutergesundheitsindex (R2). Basierend auf den Modellergebnissen sollte im Verlauf die Festlegung auf eine Referenzgröße erfolgen.

Zur Modellrechnung wurde ausschließlich mit vollständigen Datensätzen gearbeitet, es lag also zu jeder für das betreffende Modell nötigen Eingangsvariable ein plausibilitätsgeprüfter Wert vor. Alternativ hätte beispielsweise zu jeder Eingangsvariable eine zusätzliche Ausprägung, also ein weiterer linguistischer Term wie etwa „keine Angabe“, festgelegt und definiert werden müssen. Weil jedoch anzunehmen ist, dass dies nicht der Modellsicherheit dient, wurde diese Vorgehensweise vermieden.

Bei den im nachfolgenden Abschnitt dargestellten Modellen wurden stets ausschließlich mit Daten des Morgengemelkes gearbeitet. Diese Entscheidung liegt darin begründet, dass zwischen den Morgen- und Abendgemelken signifikante Unterschiede bei den Melkdaten vorlagen und diese somit grundsätzlich getrennt voneinander betrachtet werden müssen, also auch die Modelle spezifisch daran angepasst werden müssen. Weiterhin erfolgte die Entnahme von Milchproben zur bakteriologischen Untersuchung und zur Bestimmung der Zellzahl, welche der Bestimmung der Referenzgröße dienten, zur Morgenmelkzeit, sodass zum Morgengemelk eine umfassende Momentaufnahme verfügbar war.

4.2.3.2 Modellierung mit Fuzzy Logic

Auf Basis der aktuellen, absoluten Melkdaten des Morgengemelkes sowie weiterer daraus berechneter Parameter (vgl. Kapitel 4.2.2.1) als Eingangsvariablen (Input) sollten Fuzzy Logic-Modelle erstellt werden, welche als Ausgangsvariable (Output) letztlich eine tägliche Einstufung der Tiere hinsichtlich deren Eutergesundheitsstatus liefern. Zur Bewertung der Modelle waren die Modellierungsergebnisse mit der Referenzgröße zu vergleichen.

Wie aus Tabelle 55 ersichtlich ist, unterschieden sich die sechs aufgestellten Modelle in deren Anzahl und Kombination an Eingangsvariablen. Die Modelle A und B wurden zum Vergleich neben der Referenzgröße Risikoindex (R1) zusätzlich bezogen auf die Referenzgröße Eutergesundheitsindex (R2) berechnet. Die Terme der Ausgangsvariablen waren in Abhängigkeit der verwandten Referenzgröße zu definieren.

Tabelle 55: Übersicht zu den Eingangs- und Ausgangsvariablen der Fuzzy Logic-Modelle

Größe	Modell					
	A	B	C	D	E	F
Input 1	Δ MBR	ZMZ T	ZMZ M	MBR	MBR	MBR
Input 2	Δ DMG	MBR	MBR	ZMZ M	ZMZ M	maxMF
Input 3	Δ maxMF	DMG	maxMF	Melkdauer	Melkdauer	Melkdauer
Input 4	-	-	Δ maxMF	-	Δ Melkdauer	-
Output * (R1)	x	x	x	x	x	x
Output ** (R2)	x	x	-	-	-	-

* Eutergesundheitsstatus/Risikogruppe (5 Abstufungen entsprechend R1 - Risikogruppe)

** Eutergesundheitsstatus (3 Abstufungen entsprechend R2 - Eutergesundheitsindex)

Bei der Modellbildung waren zunächst zu den Eingangsvariablen und der Ausgangsvariable sog. linguistische Terme in der nötigen Anzahl an Ausprägungen festzulegen und diese durch Zugehörigkeitsfunktionen zu definieren. Bei den Eingangsvariablen und der Ausgangsvariable nach der Referenzgröße R2 wurden jeweils drei Ausprägungen als ausreichend erachtet, bei der Ausgangsvariable nach Referenzgröße R1 wurden entsprechend den fünf Risikogruppen auch fünf Abstufungen gewählt. Um die Herdenspezifika berücksichtigen zu können, wurde bei den Definitionspunkten für die Zugehörigkeitsfunktionen mit den betriebsspezifischen Mittelwerten (MW) sowie dem Vielfachen der Standardabweichung (SD) der aus dem Datensatz verwandten Parameter gearbeitet. Zur Modellbildung waren abschließend relevante Entscheidungsregeln aufzustellen. Zu dessen Erarbeitung wurde zwecks der Übersichtlichkeit und der Vermeidung eines unnötig verkomplizierten Regelwerkes eine Vorlage erstellt. Eine Mustervorlage für ein Modell mit vier Eingangsvariablen in jeweils drei Ausprägungen (linguistische Terme) ist in **Anhang 8** dargestellt. In der untersten Zeile war der bei der jeweiligen Kombination zu erwartende Ausgabewert (Output) einzutragen.

Die Ausgabewerte lagen bei Berechnungen bezogen auf die Referenzgröße R1 im Bereich von 1 bis 5 und bei Bezug zur Referenzgröße R2 zwischen 0 und 1. Zur Bewertung der berechneten Ausgabewerte musste eine Alarmgrenze festgelegt werden, ab der ein Tier als kritisch erkannt werden sollte, um die Ergebnisse in „wahr positiv“ (TP), „wahr negativ“ (TN), „falsch positiv“ (FP) bzw. „falsch negativ“ (FN) klassifizieren zu können. Diese Alarmgrenze wurde bei Berechnungen bezogen auf die Referenzgröße R1 bei Tieren ab der Risikogruppe 3 („unsicher“) bzw. bei der Referenzgröße R2 auf einen Wert $\geq 0,25$

festgelegt. Auf der Grundlage der klassifizierten Ergebnisse wurden schließlich die Bewertungskriterien Fehlerrate, Sensitivität und Spezifität errechnet.

Zu den sechs Modellen wurden verschiedene Varianten gerechnet. Diese unterschieden sich hinsichtlich der Zugehörigkeitsfunktionstypen, der gewählten Definitionspunkte und/oder der Entscheidungsregeln.

Nachfolgend soll beispielhaft die beschriebene Modellbildung anhand Modell E9-R1 (Variante 9 des Modell E bezogen auf die Einstufung in Risikogruppen – R1) aufgezeigt werden, weil dieses die vergleichsweise besten Ergebnisse lieferte. Die vier Parameter MBR, ZMZ M, Melkdauer sowie Δ Melkdauer dienten als Eingangsvariablen für dieses Modell. Für die Eingangsvariablen wurden, wie aus Tabelle 56 ersichtlich ist, jeweils drei linguistische Terme definiert, für die Ausgangsvariable waren es entsprechend der Abstufung bei der Referenzgröße fünf.

Tabelle 56: Linguistische Variable und die entsprechenden Zugehörigkeitsfunktionen für Modell E9-R1

Variable	Term	Zugehörigkeitsfunktionstyp (nach Fuzzy Logic Toolbox, MATLAB®)	Definitionspunkte
MBR	niedrig	trimf	-150; MW-0.5s; MW-0.1s
	mittel	trapmf	MW-0.25s; MW-0.1s; MW+0.25s; MW+0.75s
	hoch	trimf	MW+0.5s; MW+s; 500
ZMZ M	kurz	trimf	-400; MW-s; MW-0.5s
	mittel	trapmf	MW-0.75s; MW-0.1s; MW+0.35s; MW+1.25s
	lang	trimf	MW+0.8s; MW+1.5s; 500
Melkdauer	kurz	trimf	-300; MW-s; MW-0.45s
	mittel	trapmf	MW-0.75s; MW-0.5s; MW+0.9s; MW+1.45s
	lang	trimf	MW+1.25s; MW+1.65s; 1500
Δ Melkdauer	Rückgang	trimf	-1000; MW-1.2s; MW-0.85s
	unverändert	gaussmf	0.45s; MW
	Anstieg	trimf	MW+s; MW+1.20s; 1500
Eutergesundheitsstatus	unauffällig	trimf	0.5; 1.0; 1.5
	eher unauffällig	trimf	1.5; 2.0; 2.5
	unsicher	trimf	2.5; 3.0; 3.5
	eher auffällig	trimf	3.5; 4.0; 4.5
	auffällig	trimf	4.5; 5.0; 5.5

Das Gerüst aus Entscheidungsregeln für das Modell E9-R1 ist in Tabelle 57 aufgeführt. Der Übersichtlichkeit wegen wurde das Regelgerüst mit Hilfe der Negierung von Termen in komprimierter, gebündelter Form dargestellt. Aufgrund dessen können die 52 relevanten Regeln letztlich in 24 Regeln ausgedrückt werden.

Tabelle 57: Regelgerüst für Modell E9-R1

		MBR		ZMZ M		Melkdauer		ΔMelkdauer		Eutergesundheitsstatus*
1	Wenn	niedrig	und	mittel			und	Rückgang	Dann	auffällig
2	Wenn	niedrig			und	kurz	und	Anstieg	Dann	eher auffällig
3	Wenn	niedrig	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	eher auffällig
4	Wenn	niedrig	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	eher unauffällig
5	Wenn	niedrig	und	mittel	und	mittel	und	Anstieg	Dann	eher auffällig
6	Wenn	niedrig	und	mittel	und	lang	und	Anstieg	Dann	auffällig
7	Wenn	niedrig	und	mittel	und	mittel	und	Rückgang	Dann	unsicher
8	Wenn	niedrig	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	unauffällig
9	Wenn	mittel	und	mittel	und	mittel	und	Anstieg	Dann	eher unauffällig
10	Wenn	niedrig	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	unsicher
11	Wenn	niedrig	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	eher auffällig
12	Wenn	hoch	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	unsicher
13	Wenn	hoch	und	mittel	und	lang	und	Rückgang	Dann	eher auffällig
14	Wenn	hoch	und	mittel	und	lang	und	Anstieg	Dann	unsicher
15	Wenn	hoch	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	eher unauffällig
16	Wenn	hoch	und	mittel	und	lang	und	unverändert	Dann	eher auffällig
17	Wenn	hoch	und	mittel	und	mittel	und	Rückgang	Dann	eher auffällig
18	Wenn	hoch	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	eher unauffällig
19	Wenn	hoch	und	mittel	und	mittel	und	Anstieg	Dann	unsicher
20	Wenn	mittel	und	mittel	und	mittel			Dann	unauffällig
21	Wenn	mittel	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	unauffällig
22	Wenn	mittel	und	mittel	und	mittel	und	unverändert	Dann	eher unauffällig
23	Wenn	mittel			und	mittel	und	unverändert	Dann	eher unauffällig
24	Wenn	mittel			und	mittel	und	unverändert	Dann	unsicher

* Eutergesundheitsstatus (5 Abstufungen entsprechend R1 – Risikogruppe)

Tabelle 58 bis Tabelle 63 zeigen die Ergebnisse der verschiedenen Varianten für die Modelle A bis F, bezogen auf die Referenzgröße Risikogruppe (R1), bei Festlegung der Alarmgrenze auf Tiere ab Risikogruppe 3 („unsicher“). Die Varianten eines Modells unterscheiden sich hinsichtlich der gewählten Zugehörigkeitsfunktionen, der Definitionspunkte und/oder des Regelwerkes. DS bezeichnet die Anzahl Datensätze, SE die Sensitivität (auch Erkennungsrate), SP die Spezifität und FR die Fehlerrate.

Tabelle 58: Ergebnisse zu Modell A (R1)

Varianten - Modell A

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DS	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593
SE	14,2	23,7	48,3	66,8	54,5	63,1	10,1	46,6	56,7	59,7	36,9	26,7	38,8	24,4
SP	87,5	81,3	52,4	33,7	47,1	39,0	91,2	60,4	44,3	48,3	67,0	72,9	63,8	74,3
FR	63,5	60,9	66,0	66,2	65,7	65,6	63,3	62,6	66,0	63,0	63,8	66,7	64,8	67,5

DS – Anzahl Datensätze; SE – Sensitivität (Erkennungsrate); SP – Spezifität; FR - Fehlerrate

Tabelle 59: Ergebnisse zu Modell B (R1)

Varianten - Modell B

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DS	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652
SE	24,1	14,8	18,6	33,9	34,6	25,9	37,0	35,7	25,7	31,8	45,0	55,9	56,8	55,4
SP	75,7	86,9	80,1	66,8	68,8	77,2	65,0	67,1	76,8	66,8	52,8	47,4	46,1	47,5
FR	66,3	63,3	67,6	65,6	63,7	63,2	64,9	64,2	63,7	67,1	67,1	64,7	64,9	64,9

DS – Anzahl Datensätze; SE – Sensitivität (Erkennungsrate); SP – Spezifität; FR – Fehlerrate

Tabelle 60: Ergebnisse zu Modell C (R1)

Varianten - Modell C

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
DS	1.613	1.613	1.613	1.613	1.613	1.613	1.613	1.613	1.613	1.613	1.613	1.613	1.613
SE	45,1	37,5	48,0	37,5	38,0	40,0	63,5	66,4	62,2	63,6	71,8	48,4	59,6
SP	56,7	69,4	55,6	69,3	59,7	52,0	35,8	32,1	39,7	35,7	26,3	47,1	40,2
FR	65,0	61,2	64,1	61,3	67,2	69,9	66,1	66,4	65,2	66,1	66,5	67,9	66,0

DS – Anzahl Datensätze; SE – Sensitivität (Erkennungsrate); SP – Spezifität; FR – Fehlerrate

Tabelle 61: Ergebnisse zu Modell D (R1)**Varianten - Modell D**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DS	1.752	1.752	1.752	1.752	1.752	1.752	1.752	1.752	1.752
SE	63,6	61,7	61,7	36,1	43,6	41,6	58,2	65,1	54,8
SP	39,6	42,9	43,1	66,2	56,6	59,7	46,5	35,6	43,8
FR	65,6	65,0	65,0	65,3	66,7	66,1	64,9	66,5	67,3

DS – Anzahl Datensätze; SE – Sensitivität (Erkennungsrate); SP – Spezifität; FR – Fehlerrate

Tabelle 62: Ergebnisse zu Modell E (R1)**Varianten - Modell E**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DS	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607
SE	46,5	49,1	48,9	53,5	45,9	43,0	49,6	49,4	52,4	38,9
SP	60,7	59,3	59,8	49,8	59,6	63,3	57,8	58,7	55,5	65,8
FR	62,4	61,9	61,8	64,8	63,3	62,7	62,5	62,1	62,5	63,3

DS – Anzahl Datensätze; SE – Sensitivität (Erkennungsrate); SP – Spezifität; FR – Fehlerrate

Tabelle 63: Ergebnisse zu Modell F (R1)**Varianten - Modell F**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DS	1.745	1.745	1.745	1.745	1.745	1.745	1.745	1.745	1.745
SE	71,3	61,0	69,4	66,3	86,2	83,2	73,4	84,8	82,7
SP	27,6	41,3	30,2	34,5	17,2	19,5	29,4	18,0	19,7
FR	67,1	66,0	66,9	66,6	65,9	66,1	65,9	66,1	66,1

DS – Anzahl Datensätze; SE – Sensitivität (Erkennungsrate); SP – Spezifität; FR – Fehlerrate

In den Anhängen A 9 bis A 14 sind zu den Modellierungsergebnissen zusätzlich die Klassifizierungen (TP, TN, FP, FN) sowie die Prüfung der Anteile richtig bzw. falsch zugeordneter Tiere in die Risikogruppe gegenüber der Referenzgröße dargestellt. Weiterhin wurden zur Bewertung der Ergebnisse die Ausgabewerte sowie die Referenzgröße jeweils einer Rubrik zugeordnet. Zur Bildung der Rubriken wurden die Ausgabe- und Referenzwerte 1 und 2 (als „unauffällig“) bzw. 4 und 5 (als „auffällig“) zusammengefasst, sodass letztlich die drei Rubriken „unauffällig“, „unsicher“ und „auffällig“ bestanden. Auch die Anteile richtig bzw. falsch zugeordneter Datensätze in die benannten Rubriken sind diesen Tabellen zu entnehmen.

Ein Vergleich der Ergebnisse zeigte, dass Modelle, bei denen mit den absoluten Veränderungsraten von Melkdaten (Δ -Größen) gearbeitet wurde, tendenziell bessere Ergebnisse lieferten gegenüber den Modellen, bei denen ausschließlich aktuelle, absolute Melkdaten verwandt wurden (Modelle B, D und F).

Die Modelle D und E unterschieden sich prinzipiell durch die zusätzliche Verwendung des Parameter „ Δ Melkdauer“ als Eingangsvariable. Die vergleichende Betrachtung zu deren Ergebnissen ergab, dass die Steigerung der Anzahl Eingangsvariablen bzw. die Nutzung von Veränderungsraten der Melkdaten die Modellierungsergebnisse verbessern können. Die Fehlerraten konnten in Modell E verringert werden, allerdings stieg auch die Spezifität zu Ungunsten der Sensitivität an, es wurden also weniger auffällige Tiere als solche erkannt.

Bei allen Modellvarianten lag die Fehlerrate über 60 % (60,9 bis 69,9 %) mit zugleich sehr differenten Ergebnissen hinsichtlich der Sensitivität und Spezifität. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung der besten Ergebnisse aus jedem Modell, also jeweils die Variante mit der vergleichsweise günstigsten Kombination aus Sensitivität, Spezifität und Fehlerrate. Das Modell E9-R1 lieferte dabei mit einer Fehlerrate von 62,5 % und 45,5 % Datensätzen, die der richtigen Rubrik zugeordnet wurden, die besten Werte. Bei diesem Modell wurde eine Sensitivität von 52,4 % und eine Spezifität von 55,5 % erreicht. Die von CAVERO (2006) geforderte Sensitivität von mindestens 80 % bei zugleich möglichst geringer Fehlerrate konnte nicht realisiert werden.

Tabelle 64: Vergleich der besten Ergebnisse aus den Modellen A bis F (R1)

Parameter	A10-R1	B12-R1	C9-R1	D3-R1	E9-R1	F7-R1
Datensätze	1.593	1.652	1.613	1.752	1.607	1.745
wahr positiv (TP)	320	313	342	359	284	425
falsch positiv (FP)	546	574	641	666	474	823
wahr negativ (TN)	511	518	422	504	591	343
falsch negativ (FN)	216	247	208	223	258	154
Sensitivität	59,7	55,9	62,2	61,7	52,4	73,4
Spezifität	48,3	47,4	39,7	43,1	55,5	29,4
Fehlerrate	63,0	64,7	65,2	65,0	62,5	65,9
RICHTIG (Risikogruppe)	265	332	249	324	309	292
FALSCH (Risikogruppe)	1.328	1.320	1.364	1.428	1.298	1.453
% richtig	16,6	20,1	15,4	18,5	19,2	16,7
% falsch	83,4	79,9	84,6	81,5	80,8	83,3
RICHTIG (Rubrik)	672	692	609	707	731	557
FALSCH (Rubrik)	921	960	1.004	1.045	876	1.188
% richtig	42,2	41,9	37,8	40,4	45,5	31,9
% falsch	57,8	58,1	62,2	59,6	54,5	68,1

Die vorliegenden Ergebnisse führen letztlich zu dem Schluss, dass die bisherige Modellierung keine praxistaugliche Lösung liefert.

Die nicht ausreichende Fähigkeit zur Berücksichtigung des tierindividuellen Niveaus hinsichtlich der erfassten Melkdaten bei der Modellierung des gesamten Datensatzes ist als ein wesentlicher, den Erfolg der Modellierung einschränkender Faktor anzusehen. Weiterhin sind bei der Arbeit mit Daten auf Ebene des Einzeltieres anstatt des Euterviertels Informationsverluste hinzunehmen, welche letztlich zusätzlich Unsicherheiten bei der Modellbildung mit sich bringen.

Die in der vorliegenden Arbeit gewählten Parameter zur Beschreibung der Veränderung von Melkdaten krankt bei der Annahme, dass bestimmte Melkdaten sich vor bzw. mit Eintreten einer Eutererkrankung deutlich verändern und im weiteren Verlauf zunächst auf dem veränderten Niveau verbleiben, daran, dass die betreffenden Parameter nur zum ersten Tag der Veränderung eine Abweichung von festgelegten Grenzwerten anzeigen und anschließend wieder wie im bei unauffälligen Tieren erwarteten Bereich liegen. In der vorliegenden Arbeit war das Verhalten der aktuellen, absoluten Melkdaten jedoch nicht so eindeutig. Möglicherweise hätte eine andere Berechnungsgrundlage zur zusätzlichen Bereitstellung von Eingangsvariablen, welche die Veränderung der Melkdaten beschreiben (Δ -Größen), bessere Ergebnisse hervorgebracht. Ob jedoch die Vorgehensweise wie bei KÖHLER (2002) und CAVERO (2006), die jeweils den aktuellen Wert gegenüber dem gleitenden Mittelwert von n vorherigen Messungen betrachteten, geeignet wäre, ist aufgrund der in kurzen Frequenzen stark fluktuierenden Melkdaten fraglich, wäre aber zu prüfen. Zudem erschwert auch in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass die Daten nur bis zur Ebene des Einzeltieres reichten, die Bereitstellung geeigneter zusätzlicher Parameter.

Die Ergebnisse von KÖHLER (2002) und CAVERO (2006) waren weitaus besser, was im Wesentlichen mit der Verfügbarkeit von Eingangsvariablen auf Ebene des Euterviertels zu begründen sein wird. Weiterhin stand dort neben den Melkparametern die elektrische Leitfähigkeit als Eingangsvariable zur Verfügung, welche bekanntlich in einem engen Zusammenhang zur Eutergesundheit steht (vgl. Kapitel 2.2.2.3.5). Es ist anzunehmen, dass bei einem solchen Parameter eine geeignete Festlegung von Grenzwerten einfacher ist und Veränderungen bzw. Abweichungen eindeutiger zu interpretieren sind.

4.2.3.3 Referenzgrößen im Vergleich

Die Modelle A und B wurden zusätzlich, bezogen auf den Eutergesundheitsindex (R2) als Referenzgröße betrachtet. In der Tabelle 65 und Tabelle 66 sind die Modellierungsergebnisse dargestellt. Die Definitionspunkte und Zugehörigkeitsfunktionen für die Eingangsvariablen unterschieden sich gegenüber den Berechnungen bezogen auf die Risikogruppe (R1) nicht, bei den Entscheidungsregeln entsprach Risikogruppe 1 und 2 einem „unauffällig“ (Index $< 0,25$), Risikogruppe 3 einem „unsicher“ (Index $0,25 - 0,35$) und Risikogruppe 4 und 5 einem „auffällig“ (Index $> 0,35$).

Tabelle 65: Ergebnisse zu Modell A (R2)

Parameter	Varianten - Modell A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datensätze	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593
TP	52	109	250	237	209	150	82	104	209	183
FP	150	328	663	613	548	347	243	229	548	464
TN	1.019	841	506	556	621	822	926	940	621	705
FN	372	315	174	187	215	274	342	320	215	241
Sensitivität	12,3	25,7	59,0	55,9	49,3	35,4	19,3	24,5	49,3	43,2
Spezifität	87,2	71,9	43,3	47,6	53,1	70,3	79,2	80,4	53,1	60,3
Fehlerrate	74,3	75,1	72,6	72,1	72,4	69,8	74,8	68,8	72,4	71,7

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Tabelle 66: Ergebnisse zu Modell B (R2)

Parameter	Varianten - Modell B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Datensätze	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652
TP	113	53	67	150	147	164	131	173	173	153	173	239
FP	342	144	192	379	352	385	301	416	416	349	467	615
TN	866	1.064	1.016	829	856	823	907	792	792	859	741	593
FN	331	391	377	294	297	280	313	271	271	291	271	205
Sensitivität	25,5	11,9	15,1	33,8	33,1	36,9	29,5	39,0	39,0	34,5	39,0	53,8
Spezifität	71,7	88,1	84,1	68,6	70,9	68,1	75,1	65,6	65,6	71,1	61,3	49,1
Fehlerrate	75,2	73,1	74,1	71,6	70,5	70,1	69,7	70,6	70,6	69,5	73,0	72,0

TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Eine vergleichende Betrachtung der Modellergebnisse für die beiden Varianten der Referenzgröße im Modell bzw. B ergab deutlich höhere Fehlerraten bei Modellierungen bezogen auf den Eutergesundheitsindex (R2). Dies war so zu erwarten, weil der Eutergesundheitsindex selbst von vornherein eine größere Unsicherheit in sich birgt. Aufgrund dieser Ergebnisse fand der Eutergesundheitsindex als Referenzgröße keine weitere Anwendung.

4.2.3.4 Defuzzifizierungsmethoden im Vergleich

Grundsätzlich wurde zur Defuzzifizierung der häufig angewandte center-of-area-Ansatz gewählt. Alternativ wurden Modellierungen mit der mean-of-maximum-Methode (MoM) zur Defuzzifizierung vorgenommen, um zu prüfen, inwieweit die Defuzzifizierungsmethode die Ergebnisse beeinflusst. Dies wurde anhand der Modelle A und B untersucht. Tabelle 67 und Tabelle 68 zeigen die entsprechenden Modellierungsergebnisse bei ausschließlicher Änderung der Defuzzifizierungsmethode.

Tabelle 67: Ergebnisse zu Modell A (R1) - Defuzzifizierung mit MoM

Varianten - Modell A														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DS	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593	1.593
TP	82	121	251	324	263	291	52	201	284	308	220	141	194	134
FP	135	192	502	623	506	532	91	340	541	541	396	280	359	267
TN	922	865	555	434	551	525	966	717	516	516	661	777	698	790
FN	454	415	285	212	273	245	484	335	252	228	316	395	342	402
SE	15,3	22,6	46,8	60,4	49,1	54,3	9,7	37,5	53,0	57,5	41,0	26,3	36,2	25,0
SP	87,2	81,8	52,5	41,1	52,1	49,7	91,4	67,8	48,8	48,8	62,5	73,5	66,0	74,7
FR	62,2	61,3	66,7	65,8	65,8	64,6	63,6	62,8	65,6	63,7	64,3	66,5	64,9	66,6

DS – Anzahl Datensätze; SE – Sensitivität (Erkennungsrate); SP – Spezifität; FR – Fehlerrate
 TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Tabelle 68: Ergebnisse zu Modell B (R1) - Defuzzifizierung mit MoM

Varianten - Modell B														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DS	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652	1.652
TP	128	91	112	181	204	161	233	225	161	173	244	318	320	312
FP	246	157	231	353	352	286	420	402	286	338	480	586	595	580
TN	846	935	861	739	740	806	672	690	806	754	612	506	497	512
FN	432	469	448	379	356	399	327	335	399	387	316	242	240	248
SE	22,9	16,3	20,0	32,3	36,4	28,8	41,6	40,2	28,8	30,9	43,6	56,8	57,1	55,7
SP	77,5	85,6	78,8	67,7	67,8	73,8	61,5	63,2	73,8	69,0	56,0	46,3	45,5	46,9
FR	65,8	63,3	67,3	66,1	63,3	64,0	64,3	64,1	64,0	66,1	66,3	64,8	65,0	65,0

DS – Anzahl Datensätze; SE – Sensitivität (Erkennungsrate); SP – Spezifität; FR – Fehlerrate
 TP – wahr positiv; FP – falsch positiv; TN – wahr negativ; FN – falsch negativ

Der Vergleich mit den Ergebnissen, bei denen der center-of-area-Ansatz verwandt wurde, macht deutlich, dass die Defuzzifizierungsmethode keinen nennenswerten Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Dies soll jedoch nicht ausschließen, dass die Defuzzifizierungsmethode ein Instrument zur Optimierung von Fuzzy Logic-Modellen darstellen kann.

5 Diskussion

5.1 Projektteil Fruchtbarkeit

Der Grundgedanke dieser Arbeit lag in der Untersuchung Fuzzy Logischer Modelle, mit denen eine Vorhersage zur Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen insbesondere hinsichtlich einer Aussage zur Zwischentragezeit realisiert werden kann. Es sollten vor allem die Auswirkungen verschiedenster Parameter auf die Effizienz solcher Modelle betrachtet werden. In der vorliegenden Arbeit wurden mehrere Varianten untersucht, die sich hauptsächlich im Dateninput und in deren Verknüpfung unterscheiden.

In diesem Projekt standen verschiedene Parameter zur Verfügung. Es zeigte sich, dass die Parameter aus der MLP in Form der Einsatzleistung, der Zellzahl und des Fett-Eiweiß-Quotienten, tierärztliche Untersuchungen sowie RFD-Messungen bzw. BCS-Bestimmungen und auch eine Brunsterkennung die beeinflussenden Parameter für eine Erkennung von Fruchtbarkeitsstörungen sind. Informationen zur vorausgegangenen Kalbung wie die Zwischenkalbezeit stellen sich wie bei STEINHÖFEL (2009) als ebenso bedeutende Informationsquelle heraus. Weniger beeinflussend auf eine Vorhersage waren die Parameter Harnstoff und Laktose aus der 1. MLP post partum sowie die Information zum Kalbeverlauf. Im Gegensatz zu REKSEN et al. (2002) konnten die Parameter Laktose und die Aussage zur Azidosegefahr als vielversprechender Parameter nicht bestätigt werden. Allerdings ist zu erwähnen, dass beide Parameter hier im Modell in anderen Parameterkombinationen standen als bei REKSEN et al. (2002).

Als Bewertungskriterien für den Vergleich der Modelle dienen die Sensitivität, die Spezifität sowie die Fehlerrate. Zunächst flossen alle Informationen in ein Grundmodell ein. In einem zweiten Schritt wurde versucht, dem Alter der Tiere gerecht zu werden, indem das Modell für die Milchkühe leicht abgewandelt an die besonderen Leistungspotenziale der Färsen angepasst wurde. Durch verschiedenste Abwandlungen des Modells wurde überprüft, inwieweit die aufgestellten Regeln bestmögliche Ergebnisse erzielen. Abschließend wurden die Ergebnisse an einem weiteren Datenmaterial überprüft.

Für Färsen konnte eine Sensitivität bzw. Erkennungsrate bis zu 84,0 % bei gleichzeitiger Spezifität von 24,4 % erreicht werden. Für Kühe wurde eine Sensitivität von 96,2 % und einer schlechten Spezifität von 21,2 % erreicht. Bei einer konsequenten Datenerfassung zur Brunsterkennung konnten Spezifitäten von 100,0 % für Färsen und 76,9 % für Kühe erreicht werden. Allerdings lagen hier insgesamt lediglich 50 Datensätze vor. Das Ergebnis von YANG (1989), welcher das Merkmal Aktivität als wichtigsten Parameter zur Östruserkennung herausstellt, kann jedoch bekräftigt werden.

Sensitivitäten für die Vorhersage der Zwischentragezeit von 90 % wie in anderen Fuzzy Logic Modellen von YANG (1998) und auch von FIRK et al. (2003) wurden erreicht, allerdings zu Lasten der Spezifität. Die Fehlerraten lagen in vergleichbaren Größenordnungen wie aus der Literatur. Als Problem stellt sich wie bei anderen Autoren nicht nur die Erkennung der Tiere mit Fruchtbarkeitsstörungen heraus, sondern vor allem das Erkennen der Tiere mit normaler Zwischentragezeit. Zum Teil weisen Tiere Probleme in einzelnen Parametern auf, können diese aber kompensieren und im Ergebnis trotzdem eine frühe Trächtigkeit aufweisen. Diese Tiere zu filtern erscheint als schwierig. Das Tier bleibt Individuum, welches keinen festgeschriebenen Regeln folgt. Dennoch ist eine Verbesserung der Problemtiererkennung durch die Aufnahme weiterer Parameter denkbar, z. B. durch die Aufnahme der Körpertemperatur post partum. Ebenso könnten Milchmengendaten sequentiell einfließen und miteinander verglichen werden. Anhand von Änderungen sind Aussagen zum Zustand des Tieres als Inputparameter möglich. Weiterhin sind Ausreißer bei MLP-Daten in der ersten Woche nach der Kalbung wahrscheinlich durchaus tolerierbarer als MLP-Daten nach vier Wochen post partum. Aus diesem Aspekt heraus könnten sich verändernde Zugehörigkeitsfunktionen entsprechend dem Laktationsstadium einer Kuh zu besseren Ergebnissen führen.

Wie bei AMONN & SPILKE (2006) zeigte sich, dass lückenhafte Daten die Verwendung der Algorithmen verschlechtern. Fehlende Daten führen aufgrund fehlenden Dateninputs zu schlechterem Datenoutput und somit zu ungenaueren Ergebnissen.

Die Nutzung zur automatischen Erkennung von Fruchtbarkeitsproblemen und somit als Managementhilfe stellt sich als noch nicht praxistauglich heraus. Es sollte das Ziel sein, die Daten kontinuierlich abzuprüfen und schon bei anfänglicher Störung in der Fruchtbarkeit eine Warnung zu geben. Es zeigte sich, dass Tiere mit Parametern im nicht optimalen Bereich durchaus in der Lage sind, eine gute Fruchtbarkeitsleistung zu erzielen. Von daher ist eine Frühwarnung für den Herdenmanager von Bedeutung, um diese Möglichkeit der Kompensationsleistung des Tieres zu unterstützen. Von großer Wichtigkeit erscheint es, sowohl die Brunsterkennung als auch den Besamungserfolg stärker ins Modell mit einzubeziehen, weil hieraus direkte Informationen zur Fruchtbarkeitsleistung abgebildet werden.

Weiterhin ist festzustellen, dass eine hohe Zwischentragezeit nicht allein auf eine unzureichende Versorgung des Tieres oder auf dessen Zustand zurückzuführen ist. Ebenso können Ursachen in der Besamungsarbeit zu finden sein. Eine Sensitivität nahe 100 % ist somit nicht zu erwarten. Weiterhin ist zu vermuten, dass die Berücksichtigung des tierindividuellen Niveaus und damit tierindividuelle Grenzwerte eventuell zu Verbesserungen beitragen könnten. Dies wurde anhand einer Modellvariante (Modell 6) untersucht. Die Festlegung der Alarmgrenze, ab wann ein Tier als kritisch erkannt wird, wurde variabel in Abhängigkeit von der Jahresleistung gestaltet. Im Ergebnis sind insgesamt keine besseren Erkennungsraten erzielt worden. Die Spezifitäten wurden jedoch deutlich verbessert. Die Betrachtung einer differenzierten Berücksichtigung einzelner Parameter ist daher nicht zu verwerfen.

5.2 Projektteil Eutergesundheit

Bei der Plausibilitätsprüfung bezüglich der Melkdaten konnten extreme Ausreißer herausgefiltert und verworfen werden. Dabei wurde deutlich, dass eine Bewertung der Einzelwerte in Abhängigkeit des tierindividuellen Verlaufes zwingend erforderlich ist. Erschwert wurde diese Plausibilitätsprüfung durch den Umstand, dass aus der Literatur kaum Orientierungswerte hinsichtlich möglicher physiologischer Schwankungen existent sind und dass Angaben zum Niveau der Melkdaten insbesondere aufgrund verschiedener Messmethoden und Definitionen sehr differieren, sodass sie kaum vergleichbar sind. Möglicherweise ist eine tierindividuelle Plausibilitätsprüfung, bei der der aktuelle Wert eines Parameters mit der tierindividuellen Standardabweichung und ggf. einem Korrekturfaktor anstatt mit dem gleitenden Mittelwert von drei vorherigen Messungen abgeglichen wird, eine geeignetere Variante. Dies wäre zu untersuchen.

Mit der zunächst gewählten relativ unkomplizierten Verfahrensweise bei der Anwendung von Fuzzy Logic konnte mit Fehlerraten über 60 % keine praxistaugliche Lösung gefunden werden. Allerdings ist dies im konventionellen Melksystem grundsätzlich als weitaus schwieriger anzusehen als beim AMS aufgrund eines erheblichen Informationsverlustes bei der Verarbeitung von Daten auf Ebene des Einzeltieres anstatt des Euterviertels. Die Fuzzy Logic bietet, wie auch andere Methoden der künstlichen Intelligenz, gegenüber der gegenwärtigen angewandten sehr einfachen Statistik zur Datenanalyse vielversprechende Ansätze. Dazu zählen die rechnergestützte Umsetzung von Expertenwissen sowie die Möglichkeit der Überwachung von Merkmalskombinationen, welche in der vorliegenden Arbeit genutzt wurden. Damit wurden die Fähigkeiten dieser Methode jedoch nicht ausgeschöpft. Aus den vorliegenden Ergebnissen und der gegebenen Datenstruktur lassen sich einige aussichtsreiche Ansatzpunkte zur Steigerung des Modellierungserfolges ableiten, die nachfolgend erläutert werden sollen.

Eine Aufspaltung des Datensatzes bis auf die Ebene des Einzeltieres als Grundlage der Modellbildung böte in Verbindung mit einer geeigneten Verfahrensweise zur Bewertung bzw. Festlegung der Ausprägung der betrachteten Eingangsvariablen, beispielsweise basierend auf deren Standardabweichung, eine optimale tierindividuelle Anpassung und stellt den aussichtsreichsten Ansatzpunkt zur Weiterentwicklung der Modellierung dar. Damit könnte der Problematik der bisher nicht ausreichenden Möglichkeiten zur Berücksichtigung des tierindividuellen Niveaus der Eingangsvariablen, was den Erfolg der bisherigen Modellierungen vermutlich wesentlich eingeschränkt hat, Rechnung getragen werden. Weiterhin würde zugleich der bisher nicht berücksichtigte Einfluss von Laktationsnummer und Laktationsstadium auf die Melkdaten Beachtung finden können. Die bisherigen Modellierungen haben gezeigt, dass die Verwendung von Parametern, welche die Veränderung von Melkdaten beschreiben, die Modellierungsergebnisse tendenziell verbessern können. Allerdings wäre zu prüfen, ob eine andere

Berechnungsgrundlage solcher beschreibenden Parameter die vorliegende Situation genauer bzw. umfassender darstellen kann und somit sensiblere, aussagefähigere Eingangsvariablen geschaffen werden können, welche eindeutiger zu interpretieren sind. Die Erarbeitung von Parametern, die die Veränderung von Melkdaten in geeigneter Weise beschreiben, ist sehr schwierig, weil beim vorliegenden Datenmaterial keine offensichtlich abweichenden Verläufe der Melkdaten auffälliger Tiere gegenüber unauffälligen Tieren erkennbar waren und unabhängig vom Eutergesundheitsstatus stark fluktuierende Werte in kurzen Zeiträumen auftraten. Möglicherweise könnten auch durch geeignetere, die Veränderung von Melkdaten beschreibende Parameter in Verbindung mit mehreren hintereinander geschalteten Fuzzy Logic-Modellen deutlich bessere Modellierungsergebnisse erzielt werden. Eine solche Verkettung von Modellen könnte in diesem Falle so aussehen, dass der Ausgabewert eines Modells, welches die Dynamik der Melkparameter bewertet, als Eingangsvariable (Input) für ein anschließendes Modell fungiert, das den Eutergesundheitsstatus einschätzen soll. Die Verkettung von Fuzzy Logic-Modellen ist grundsätzlich ein interessanter Aspekt, der bislang nicht berücksichtigt wurde, jedoch durchaus auch als Möglichkeit der Ergebnisoptimierung in Betracht zu ziehen ist. Weiterhin wäre zu untersuchen, inwieweit mittels einer zeitlich versetzten Betrachtung zwischen den Eingangsvariablen und der Referenzgröße, welche die tatsächliche Situation hinsichtlich des Eutergesundheitsstatus zu einem bestimmten Zeitpunkt beschreibt, Einfluss auf die Modellierungsergebnisse genommen werden kann. So ist es beispielsweise denkbar, dass bei der Modellierung der Ausgabewert basierend auf den Melkdaten des vorherigen Abendgemelkes ermittelt und dieser dann mit dem Referenzwert des aktuellen Tages abgeglichen wird. Die Modellierung mit Daten, die in unterschiedlicher Frequenz erfasst werden, stellt eine weitere interessante Option dar, welcher bislang nicht nachgegangen wurde. Es könnten also in geringerer Häufigkeit als die Melkdaten erfasste Parameter wie etwa die MLP-Daten zusätzlich in die Modellbildung integriert werden. Ebenso wäre zu prüfen, ob infolge einer anderen Kombination und/oder Anzahl der Eingangsvariablen oder aber einer detaillierteren Unterteilung deren Ausprägung, d. h. einer Steigerung der Anzahl linguistischer Terme zu einer Variable eine Verbesserung der Modellierungserfolge zu erreichen ist.

Die verschiedenen zur Defuzzifizierung anwendbaren Methoden haben möglicherweise auch einen Einfluss auf den Modellierungserfolg. Dies war jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht erkennbar. Die vergleichende Betrachtung des center-of-area-Ansatzes mit der mean-of-maximum-Methode zur Defuzzifizierung ergab gleichbedeutende Ergebnisse.

Während des Versuchszeitraumes wurde aus dem Vorgemelk des täglichen Morgengemelkes die elektrische Leitfähigkeit auf Ebene der Euterviertel erfasst, bisher jedoch nicht in den Modellen berücksichtigt. Es ist anzunehmen, dass die Einbindung eines solchen Parameters als Eingangsvariable, welcher vergleichsweise einfach zu interpretieren ist, eine beträchtliche Auswirkung auf die Modellierungsergebnisse haben kann. Die Prüfung des Nutzens eines solchen Parameters würde zusätzlich Argumente liefern, die für oder gegen die Notwendigkeit der entsprechenden technischen Ausstattung in den Milchviehbetrieben sprechen. Ein letzter möglicher Optimierungsansatz hinsichtlich der Modellierung, der hier genannt werden soll, ist die Verwendung künstlicher neuronaler Netze bzw. Mischformen aus künstlichen neuronalen Netzen und Fuzzy Logic. Ob diese Methoden geeigneter sind, kann derzeit nicht eingeschätzt werden.

Neben der Verfahrensweise zur Modellierung ist die Referenzgröße, welche die zu einem bestimmten Zeitpunkt tatsächlich vorliegende Situation hinsichtlich des Eutergesundheitsstatus beschreibt, wesentlich für den Erfolg der Anwendung von Fuzzy Logic-Modellen. Bei der Referenzgröße wiederum sind sowohl die zu deren Bildung verwandten Parameter, deren Prüffrequenz und Erfassungsebene als auch die Vorgehensweise zu deren Bildung entscheidend. Die Bildung von Risikogruppen ist als wahrheitsnähere, plausiblere Variante gegenüber der Berechnung eines Eutergesundheitsindex als Referenzgröße anzusehen. Weil die Bewertung der Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung trotz allem eine große Unsicherheit in sich birgt, ist die Frage berechtigt, ob nicht eine alleinige Betrachtung der Zellzahl oder eine Kombination dieser mit der Information zum Auftreten von Mastitiden eine geeignetere Variante gewesen wäre. Grundsätzlich sind auch die Festlegung der Alarmgrenze, ab der ein Tier als kritisch erkannt werden soll, sowie das Bewertungsschema und die Grenzwerte für die Parameter, welche die Referenzgröße bilden, variabel. Auch diese Festlegungen beeinflussen die Modellierungsergebnisse.

Eine weitergehende Untersuchung dieser Thematik unter besonderer Beachtung der dargestellten, abgeleiteten Optimierungsmöglichkeiten bzw. alternativen Lösungsansätze ist zu empfehlen, weil diese die Aussicht auf eine deutliche Verbesserung der Modellierungsergebnisse und somit die Realisierung einer praxisrelevanten Lösung für ein Früherkennungssystem im konventionellen Melksystem liefern.

Mittels der Realisierung eines praxistauglichen Analysesystems zur Früherkennung von Mastitiden bzw. zur Identifizierung von Risikotieren würden die üblichen mastitisdiagnostischen Möglichkeiten nicht zwangsläufig umgangen werden können oder sollen. Vielmehr sollte es das Ziel sein, die mittels des Analysesystems frühzeitig erkannten, kritischen Tiere gezielt mit Hilfe geeigneter diagnostischer Instrumente wie etwa der bakteriologischen Untersuchung und der direkten bzw. indirekten Bestimmung des somatischen Zellgehaltes zu untersuchen, um zeitnah eine adäquate Behandlung mit besseren Erfolgen einleiten zu können. Ein solches Analysesystem fungiert also als Managementhilfe für den Milcherzeuger und optimiert die Nutzung von Instrumentarien zur Mastitisdiagnostik.

6 Zusammenfassung

Motivation

Durch die Fokussierung der Zucht auf Milchleistung geriet in der Vergangenheit die Gesundheit unserer Kühe in den Hintergrund. Tierschutz und Verbraucherschutz sind Schlagworte unserer heutigen Gesellschaft und tolerieren keine Gesundheitsgefährdung von Mensch und Tier. Auch die Effizienz der Milchviehbetriebe hat in den letzten Jahren ihre Grenzen aufgezeigt. Hohe Kosten für Reproduktion und Tierarzt sind eigentlich nicht mehr bezahlbar. Gleichzeitig scheint eine tierindividuelle Betreuung ebenfalls als nicht möglich. Ein stetig vollzogener Strukturwandel hin zu größeren Herden macht Betriebe einerseits wirtschaftlicher, auf der anderen Seite scheint kaum Zeit für Tätigkeiten wie das Beobachten von Tieren. Der einzelne landwirtschaftliche Betrieb muss jedoch alles in allem bewältigen. Ohne Herdenmanagementhilfe eine kaum zu lösende Aufgabe. Zusätzlich zur MLP-Auswertung und zum Herdenmanagementprogramm stehen dem Landwirt eine Vielzahl an Managementhilfen in Form von Listen zur Seite. Für viele vielleicht schon jetzt eine kaum überschaubare Datenflut. Ebenso zeigen bereits entwickelte Monitoringsysteme einzelne Signalwerte bezogen auf das Einzeltier oder auf die Gruppe an. Eine Vorhersage ist jedoch nicht gegeben, eine Reaktion somit nur auf ein bereits entstandenes und erkanntes Problem möglich. Nach BOSTEDT (2003) sollte nicht die Therapie der Tiere, sondern ein betriebliches Management mit Vorbeugung gegen Leistungsabfall im Vordergrund stehen. Die Grundbedingung für die Wirtschaftlichkeit eines Milchbauern bleiben gesunde und fruchtbare, regelmäßig abkalbende Kühe. Die Gesundheit der Tiere sowie die Parameter Besamungsindex, Nutzungsdauer und Zwischentrage- bzw. Zwischenkalbezeiten sind in sächsischen Betrieben jedoch oft unbefriedigend.

Zielstellung

Aufgabe des Projektes war es, ein Verfahren zur Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen bzw. Eutererkrankungen auf Grundlage anfallender Informationen aus den verschiedenen Komplexen wie Milchgewinnung, Gesundheit und Fruchtbarkeit zu erarbeiten. Die meisten Daten fallen mittlerweile automatisch an und bedeuten keinen zusätzlichen Aufwand für den Landwirt. Andere Informationen sollten intensiver dokumentiert werden, um die Datenqualität und Kontinuität zu gewährleisten. Eine gute Tierbeobachtung bleibt weiterhin von hoher Bedeutung, aber auch die gute Zusammenarbeit zwischen Tierarzt und Landwirt ist unerlässlich. Die zu entwickelnden Entscheidungssysteme sollen es ermöglichen Alarmsignale zu geben, um auf Problemtiere aufmerksam zu machen. Der Landwirt kann die Tierbetreuung gezielt an diesen Tieren durchführen. Das Alarmsignal könnte gleich einem Ampelsystem leicht visuell erfassbar abgebildet werden.

Ziel ist es, mit Hilfe des Frühwarnsystems eine Vorhersage zu Abweichungen von Zielwerten zu geben. Die anfallenden Daten sind auf ihren Informationsgehalt, auf ihre Qualität und auf ihren Interaktionsgehalt untereinander zu prüfen. Bisherige Managementhilfen beziehen sich meist auf abgeschlossene Ereignisse und Leistungen. Zu prüfen war, ob eine praxistaugliche Managementhilfe, die die Wettbewerbsfähigkeit sächsischer Betriebe stärkt, möglich erscheint. Dem Milchbauern sollte, wenn möglich, regelmäßig das Risiko einer verlängerten Zwischentragezeit bzw. einer Mastitiserkrankung für das einzelne Tier aufgezeigt werden.

Material und Methode

Das Frühwarnsystem für die Überwachung der Fruchtbarkeit bzw. Eutergesundheit von Milchkühen wird mit Hilfe der Fuzzy Logic Toolbox™ des Programmierpaketes MATLAB® von The MathWorks™ entwickelt. Fuzzy Logic ist eine Methodik, welche vor allem für die Modellierung von unscharfen Werten und Zusammenhängen mit Hilfe umgangssprachlicher Beschreibungen entwickelt wurde. Zur Beurteilung des Modells dienten die Parameter Sensitivität, Spezifität und die Fehlerrate.

6.1 Projektteil Fruchtbarkeit

Ergebnisse

Zur Modellevaluierung wurden Daten von 783 Kühen mit 1.270 Laktationen aus dem Lehr- und Versuchsgut Köllitsch verwendet. Die durchschnittliche Laktationsleistung der Tiere beträgt über 9.000 kg Milch. Die meisten Datensätze sind Daten aus erster und zweiter Laktation. Die jetzige durchschnittliche Nutzungsdauer liegt bei 1,9 Jahren. Der Besamungsindex beträgt durchschnittlich 2,6 bei Kühen und 1,5 bei Färsen. Hauptursache für Abgänge ist eine unzureichende Fruchtbarkeit. Zur Überprüfung des Modells standen weitere 7.141 Datensätze aus insgesamt neun sächsischen Betrieben zur Verfügung.

Von Interesse waren Informationen aus folgenden Bereichen:

- Trockensteh- und Transitphase
- Kalbephase
- Frischlaktationsperiode
- Reproduktionsperiode

Zusätzlich zu den Daten aus HERDE[®]-dsp wurden Aktivitätsmessungen, handschriftliche Aufzeichnungen zur Brunsterkennung, Rückenfettmessungen sowie BCS-Einstufungen in einer Access[®]-Datenbank eingepflegt. Als Zielmerkmal wurde die Zwischentragezeit als eine der bedeutendsten Fruchtbarkeitskennzahlen verwendet. Der Grenzwert für eine nicht erhöhte Zwischentragezeit lag dabei bei 115 Tagen. Auf Basis von Mittelwertvergleichen und Histogrammen wurden zunächst die einzelnen Parameter auf ihre Auswirkungen hinsichtlich einer verlängerten Zwischentragezeit hin untersucht.

Es entstanden insgesamt fünf Vormodelle und ein Hauptmodell (**Anhang 3**). Anschließend wurden verschiedene Fuzzy Logic-Modelle aufgestellt, welche sich hauptsächlich in den Zugehörigkeitsfunktionen und den aufgestellten Regeln unterscheiden. Zu den einzelnen Modellen wurden verschiedene Varianten gerechnet, denen eine unterschiedliche Vollständigkeit der Eingabeparameter zu Grunde lag. Das Risiko einer verlängerten Zwischentragezeit wurde jeweils mit der tatsächlichen Güstzeit eines Tieres verglichen.

Die Ergebnisse des Projektes lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Grundmodell

Aus dem Grundmodell können folgende Schlussfolgerungen für das Frühwarnsystem abgeleitet werden:

- auf Datenvollständigkeit und Datenqualität ist größten Wert zu legen
- die Parameter BCS bzw. RFD und deren Dynamik sind von herausragender Bedeutung
- der Parameter Krankheitslevel ist von besonderer Bedeutung
- die Parameter Harnstoff und Laktose haben nur eine untergeordnete Bedeutung

Trennung des Modells für Kühe und Färsen

Färsen haben ein anderes Leistungsniveau als Kühe. Es wurden zwei verschiedene Modelle evaluiert, welche sich neben der Milchleistung in dem Vorhandensein des Parameters Erstkalbealter (Färsen) bzw. Zwischenkalbezeit aus der Vorlaktation (Kühe) unterscheiden. Zusätzlich wurde der Parameter der Brunsterkennung untersucht, für den jedoch nur eine geringe Datengrundlage vorlag.

Folgende Ergebnisse lassen sich aus den Untersuchungen ableiten:

- Die Trennung des Modells nach der Laktationsnummer in ein Kuh- und ein Färsenmodell ist sinnvoll.
- Der Parameter Aktiometer ist von besonderer Bedeutung. Eine verbesserte Erkennung der Tiere im Normbereich scheint möglich.
- Es wurden Erkennungsraten von 84,0 % für Färsen erzielt. Die Spezifität lag dabei für Färsen bei 24,4 % mit einer Fehlerrate von 39,9 %.

- Mit Aktiometerdaten konnte für Färsen eine Spezifität von bis zu 100,0 % erreicht werden, allerdings bei nur geringem Datenumfang.
- Es wurden Erkennungsraten von 96,2 % für Kühe erzielt. Die Spezifität lag dabei für Kühe bei 21,2 % mit einer Fehlerrate von 23,1 %.
- Mit Aktiometerdaten konnte für Kühe eine Spezifität von 76,9 % erreicht werden, auch hier bei nur geringem verfügbarem Datenumfang.

Modifikation der Entscheidungsregeln/Vereinfachtes Modell

Eine Wichtung der bedeutendsten Inputparameter und eine gezielte Variation der Entscheidungsregeln führten zu leichten Verbesserungen in den Färsen-Modellen.

- Es wurde für Färsen eine Sensitivität von 73,7 %, bei verbesserter Spezifität von 53,3 % erzielt.
- Die Ergebnisse für Kühe fielen auf ein vergleichbares Niveau wie das der Färsen.
- Die unterschiedlichen Ansprüche an ein Färsen- bzw. Kuhmodell werden bestätigt.
- Die Beurteilung des voraussichtlichen Besamungserfolges als Vormodell ist von besonderer Bedeutung.

Leistungsabhängige Zwischentragezeit

Es wurde untersucht, ob eine leistungsdifferenzierte Zwischentragezeit als Referenzgröße sinnvoll ist. Tieren mit höherem Leistungsniveau über 9.000 kg Milch/Jahr wurde eine längere optimale Rastzeit und somit eine längere Zwischentragezeit auf dem Soll-Bereich zugeordnet. Eine Zwischentragezeit bis zu 125 Tagen gilt bei diesen Tieren als nicht erhöht.

Folgende Ergebnisse lassen sich aus den Untersuchungen ableiten:

- Die Spezifität konnte deutlich verbessert werden und liegt für Färsen bei 90,9 % und für Kühe bei 62,5 %.
- Die Sensitivitäten sind im Gegenzug rückläufig.
- Insgesamt werden die Erkennungsraten erheblich schlechter und die Fehlerraten steigen.

Überprüfung des Modells anhand einer größeren Stichprobe

Das bestmögliche Modell wurde anhand von Daten aus neun weiteren sächsischen Betrieben evaluiert. Es lagen nur zum Teil Informationen zu Rückenfettdicken vor. Es lagen keine Informationen zum BCS und zur Aktivitätsmessung vor.

Folgende Ergebnisse lassen sich zusammenfassen:

- Datenvollständigkeit und Datenqualität sind von großer Bedeutung. Diese Aussage wird bestätigt.
- Das Merkmal der Rückenfettdicke bestätigt sich als bedeutender Parameter.
- Die Sensitivität lag für Färsen bei 54,8 %, bei einer Spezifität von 42,7 %.
- Die Sensitivität lag für Kühe bei 64,4 %, bei einer Spezifität von 39,2 %.
- Umwelteinflüsse auf die unterschiedlichen Herden müssen in den Modellen berücksichtigt werden.
- Eine Anpassung an das unterschiedliche Leistungsniveau bezüglich der Zugehörigkeitsfunktionen und Regeln erscheint notwendig.

Bei einer Fortsetzung der Untersuchungen sollte neben einer Gesamteinschätzung der Zwischentragezeit auch die Einschätzung der einzelnen Gefährdungspotenziale in den verschiedenen Einflussgrößen geprüft werden. Hierdurch erkennt der Anwender, in welcher Einflussgröße die Hauptgefahrenquelle liegt, sodass er seine Bemühungen um Senkung des Gefährdungspotenzials auf solche Einflüsse konzentrieren kann. Unter allen genannten Aspekten sei nicht zu vergessen, dass eine Brunsterkennung unerlässlich bleibt und wichtige Voraussetzung für eine optimale Fruchtbarkeitsleistung ist. Mit den Ergebnissen der Zwischengrößen dient das Modell gleichzeitig als Unterstützung zur Brunsterkennung. So können ähnlich wie in den Arbeiten von FIRK et al. (2003) die Ergebnisse der Fuzzy Logic zur Optimierung der Brunsterkennung beim Rind auf Basis seriell anfallender Daten aus Herdenmanagementsystemprogrammen genutzt werden. Eine Aufspaltung der Datensätze hin zu einer tierindividuellen Betrachtung erscheint als sinnvoll.

6.2 Projektteil Eutergesundheit

Ergebnisse

Die für diese Arbeit erforderlichen Daten wurden über einen Zeitraum von 120 Tagen von 53 Tieren in der Früh- und Hochlaktation (7. bis 130. Tag p.p.) im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch erhoben. Während die aus ALPRO® Windows (Fa. DeLaval) verfügbaren Daten zur Beschreibung des Melkprozesses des Einzeltieres als Eingangsvariablen für die Modellierungen fungierten, wurden die Informationen zum Auftreten von Mastitiden und deren Behandlung sowie die zusätzlichen bakteriologischen Untersuchungen und Analysen des somatischen Zellgehaltes aus täglichen Viertelanfangsgemelksproben zum Morgengemelk zur Bildung einer Referenzgröße verwandt, welche den tatsächlich vorliegenden Eutergesundheitsstatus eines Tieres zu einem bestimmten Zeitpunkt beschreibt.

Im Vorfeld der Modellerarbeitung wurde das Datenmaterial analysiert. Hinsichtlich der Melkdaten waren, wie erwartet, signifikante Unterschiede zwischen den Morgen- und Abendmelken festzustellen. Weiterhin waren statistisch gesicherte Einflüsse des Laktationsstadiums sowie der Laktationsnummer auf die Melkdaten, aber auch den SCS nachweisbar. Die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung standen in signifikanter Beziehung zur Zellzahl. Bei den Melkdaten waren mitunter stark fluktuierende Werte in kurzen Zeiträumen festzustellen und es war kein typischer, abweichender Verlauf auffälliger Tiere gegenüber unauffälligen Tieren erkennbar. Dennoch konnten bezüglich der Melkdaten signifikante Unterschiede zwischen Tieren mit Zellzahlen unter 100.000/ml Milch bzw. darüber aufgezeigt werden.

Es wurden sechs Fuzzy Logic-Modelle aufgestellt, welche sich in der Anzahl und Kombination von Eingangsvariablen unterschieden. Zu diesen Modellen wurden verschiedene Varianten gerechnet, bei denen die Zugehörigkeitsfunktionstypen, die gewählten Definitionspunkte und/oder die Entscheidungsregeln variiert wurden. Es konnten keine annehmbaren Sensitivitäten und Spezifitäten bei zugleich möglichst geringen Fehlerraten erreicht werden. Die Fehlerrate lag bei allen Varianten über 60 %. Allerdings ist schlussfolgernd aus den vorliegenden Ergebnissen die Erstellung eines praxistauglichen Früherkennungssystems für Eutererkrankungen im konventionellen Melksystem nicht als aussichtslos einzuschätzen.

6.3 Credo

Der stärkeren Bedeutung funktionaler Merkmale in der Milchrindzucht sollte nicht nur über eine stärkere Gewichtung dieses Merkmalskomplexes im Zuchtziel Rechnung getragen werden, sondern auch durch eine Weiterentwicklung der Unterstützungssysteme im Herdenmanagement. Herdenmanagementhilfen sind in der Milchviehhaltung von grundlegender Bedeutung. Sie liefern wertvolle Informationen und dienen zur Unterstützung der Betriebe in ihren Managemententscheidungen.

Die entwickelten Frühwarnsysteme zur Erkennung von Fruchtbarkeitsstörungen und Eutererkrankungen sind als Managementhilfe derzeit als nicht praxisreif einzustufen. Es konnten jedoch Ansatzpunkte aufgezeigt werden, welche eine Verbesserung der Modellergebnisse hoffen lassen. Daher ist eine fortsetzende, vertiefende Untersuchung der Thematik zu empfehlen. Ein möglicher Optimierungsansatz hinsichtlich der Modellierung ist die Verwendung Künstlicher Neuronaler Netze bzw. Mischformen aus Künstlichen Neuronalen Netzen und Fuzzy Logic-Modellen. Neuronale Netze können wie Fuzzy-Systeme mehrere Merkmale gleichzeitig verarbeiten und bestehen aus verschiedenen Schichten.

Ein Warnsignal in Form eines visuell leicht erkennbaren Ampelsystems kann zur Lösung beitragen und ist in anderen Bereichen bereits in der Internetplattform „fitness monitoring“ des LKV Sachsen integriert. Einen zeitlichen Mehraufwand für den Landwirt gibt es faktisch nicht. Das Frühwarnsystem ist für ihn eine Art Black Box. Dies schafft eine leichte Anwendung für die Milchviehhalter und eine gezielte Lenkung der Tierbetreuung auf bestimmte Tiere. Es wird versucht, bereits frühzeitig vor Eintritt eines negativen Ereignisses einzugreifen, um dem Tier die entsprechende Unterstützung zu geben, mögliche Probleme rechtzeitig zu kompensieren. Die Eingangsparameter können dabei automatisch aus dem Herdenmanagementprogramm in das Modell einfließen und damit unabhängig von einem subjektiven Urteil zusätzlich als Information genutzt werden.

Grundlegend ist, dass eine hohe Qualität der Datenerfassung benötigt wird. Die Erfassung von Aktivitätsmessungen sind stärker in die Modellentwicklung mit einzubeziehen. Auch neue Parameter wie zum Beispiel Messungen der Körpertemperatur p.p. sind zu prüfen. Im Modell zur Risikoanalyse auf Eutererkrankungen ist die Leitfähigkeit ein vielversprechender Parameter. Es wäre denkbar, Testherden in die Modellentwicklung mit einzubeziehen. Weiterhin ist zu untersuchen, inwieweit das Modell mit Hilfe Neuronaler Netze an die Individualität eines Betriebes anpassungsfähig ist. Es scheint möglich, unter unterschiedlichen Bedingungen zum Herdenmanagement Schwächen aufzudecken und das Modell entsprechend weiter zu evaluieren. Hierzu bedarf es vorab einer neuen und breit angelegten Datenerfassung sowie regelmäßiger Rückmeldungen von einzelnen Betrieben.

Weitergehende Untersuchungen sind zu empfehlen, weil diese die Aussicht auf eine deutliche Verbesserung der Modellierungsergebnisse und somit die Realisierung einer praxisrelevanten Lösung für ein Früherkennungssystem liefern.

7 Literatur

- AHRHOFF GMBH (2008): Unternehmen Milchproduktion 2009, Seminarunterlagen
- AID (2001): Eutergesundheit – Grundlage der Qualitätsmilcherzeugung; Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V.; Heft 1275/2001
- ALTROCK, C. (1995): Fuzzy Logic, Band 1, Technologie; R. Oldenbourg Verlag
- ALTROCK, C. (1997): Fuzzy Logic and NeuroFuzzy Applications in Business and Finance; Prentice Hall PTR, Upper Saddle River; New Jersey
- AMMON, C. (2008): Mathematisch-statistische Modellierung und Evaluierung von Vorhersagefunktionen zur sicheren Identifizierung tierindividueller Leistungsabweichungen beim Milchrind; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle
- AMMON, C., SPILKE, J. (2006): Probleme und Möglichkeiten der Nutzung einzeltierbezogener Daten in Milchviehbetrieben; GIL-Jahrestagung 2006 Potsdam; 21-42
- AMMON, C., SPILKE, J. (2007): Nutzung empirischer Methoden auf Basis einzeltierbezogener Daten zur Vorhersage von Leistungsabweichungen beim Milchrind; GIL Jahrestagung 2007: 15 – 18
- ANACKER, G. (2004): Beeinflussung der Milchqualität durch die Eutergesundheit; www.tll.de; Stand 22.02.2006
- ANACKER, G. & HUBRICH, K. (2006): Beurteilung der Eutergesundheit von Milchkühen anhand der Leitfähigkeitsmessungen mit dem Mastitron Gerät; Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft; Jena
- BAUMGART, S. (2005): Die LactoCorder-Beratung – als Managementhilfe zur Beurteilung der Melkbarkeit, Melkarbeit, Melktechnik; Vortrag zum 21. Tag des Milchviehhalters in Iden und Bernburg; 16./17.11.2005
- BAUMGARTNER, C., DENEKE, J., KLEINSCHROTH, E., RABOLD, K. (2005a): Milchqualität und Eutergesundheit professionell managen: Trockenstellen – Milchgewinnung; Großtierpraxis spezial, 1. Jg., 02/2005; 13 - 24
- BAUMGARTNER, C., DENEKE, J., KLEINSCHROTH, E., RABOLD, K. (2005b): Milchqualität und Eutergesundheit professionell managen: Mastitiserreger; Großtierpraxis spezial, 1. Jg., 05/2005; 49 - 60
- BAUMGARTNER, C., DENEKE, J., KLEINSCHROTH, E., RABOLD, K. (2005c): Milchqualität und Eutergesundheit professionell managen: Mastitiserreger – Feststellung von Eutergesundheitsstörungen; Großtierpraxis spezial, 1. Jg., 06/2005; 61 - 72
- BENESCH, F. (1957): Lehrbuch der tierärztlichen Geburtshilfe und Gynäkologie; 2. Aufl. Verlag Urban und Schwarzenberg, München, Berlin, Wien
- BOSTEDT, H. (2003): Fruchtbarkeitsmanagement beim Rind; DLG Verlag, 4. Auflage
- BRADY, W. (2001): Eutergesundheit, somatischer Zellgehalt und Milchqualität; Tierärztl. Umschau 56; 470 – 476
- BROCKMANN, S. (2004): Zellzahl und Eutergesundheit in zwei Brandenburger Milchviehbetrieben; Dissertation Freie Universität Berlin
- BUSCH, J. (2003): Herleitung von Gefährdungspotenzialen in der Waldarbeit mittels Fuzzy-Control – Modellentwicklung und Test; Diplomarbeit Technische Universität Dresden
- BUTLER, W.R., SMITH, R.D. (1989): Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle; J. Dairy Sci. 72: 767 - 783
- CAVERO, D. (2006): Automated mastitis detection in dairy cows using different statistical methods; Dissertation Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

- DE HAAS, Y., VEERKAMP, R.F., BARKEMA, H.W., GRÖHN, Y.T. UND SCHUKKEN, Y.H. (2004): Associations between pathogen-specific cases of clinical mastitis and somatic cell count patterns; *J. Dairy Sci.* 87; 95 - 105
- DELAVAL (2008): Produktblatt Aktivitätssensor
http://www.delaval.de/NR/rdonlyres/B20660BE-3140-4500-97E9-11F11434FF03/0/S“_DL_AKTIMESSER_DLP21.pdf
- 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 (1999): 171-185
- DE MOL, R.M., WOLDT, W.E. (2001): Application of Fuzzy Logic in Automated Cow Status Monitoring; *J. Dairy Sci.* 84: 400-410
- DISTL, O. (1996): Erweiterte Möglichkeiten der Züchtung auf Eutergesundheit durch zusätzliche Datenerfassung; *Milchinhaltstoffe und Milchqualität*; DGfZ-Schriftenreihe; Heft 6; 122 - 133
- DSP AGROSOFT (2008): Zuchtmanager; Herdenmanagementsystem
- DVG (2000): Leitlinien zur Entnahme von Milchproben unter antiseptischen Bedingungen und Leitlinien zur Isolierung und Identifizierung von Mastitiserregern; DVG; Gießen
- DVG (2002): Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem; Fachgruppe Milchhygiene; Sachverständigenausschuss Subklinische Mastitis; Verlag der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V.; 4. Auflage; Hannover
- EDMONSON, A.J., LEAN, I.J., WEAVER, L.D., FARVER, T., WEBSTER, G. (1989): A body condition scoring chart for Holstein cows; *J. Dairy Sci.* 72, S. 68-78
- FAHR, R.-D. (2003): Tier- und umweltbedingte Einflussfaktoren auf die Milchleistung, Milchinhaltstoffe und Qualitätsmerkmale; *Milcherzeugung: Grundlagen – Prozesse – Qualitätssicherung*; Deutscher Fachverlag; Frankfurt am Main
- FEUCKER W. (2003): Bewertung von Kennziffern der Besamung, Fruchtbarkeit und Reproduktion beim Rind; *Portal Rind*; www.portal-rind.de
- FIRK, R., STAMER, E., JUNGE, W., KRIETER, J. (2003): Oestrus detection in dairy cows based on serial measurements using univariate and multivariate analysis; *Arch. Tierzucht, Dummerstorf* 46 (2003) 2, 127-142
- FISCHER, B., RIEMANN, E., ENGELHARD, T. (2009): Hungergrube im Blick halten; *Top Agrar* 1/09, R20 – 23
- GARBARINO, E.J., HERNANDEZ, J.A., SHEARER, J.K., RISCO, C.A., THATCHER, W.W. (2004): Effect of Lameness on Ovarian Activity in Postpartum Holstein Cows, *J.Dairy Sci.* 87, S. 4123-4131
- GASSER, T. & SIEFER, B. (2005): Grundbegriffe der Biostatistik
www.uni-ulm.de – Stand 29.12.2005
- GASTEINER, J. (2007): Fruchtbarkeit bei Milchkühen; Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
www.profiagrar.at/Fruchtbarkeit%20Milchkuh%202007.pdf – Stand April 2010
- GBE (2009): Früherkennung
www.gbe-bund.de – Stand 08.01.2009
- GLINDEMANN, A. (2006): Beziehungen zwischen verschiedenen Parametern des Energiestoffwechsels und der Eutergesundheit beim Milchrind unter Berücksichtigung des Melksystems; *Dissertation Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München*
- GOFF & HORST (1997): Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders; *J. Dairy Sci.* 80; S. 1260-1268
- GÖFT, H. (1991): Untersuchungen zur Präzisierung der Milchabgabeparameter von Kühen unter besonderer Berücksichtigung des Verlaufes der Milchflusskurven; *Dissertation München - Weihenstephan*
- GÖFT, H., DUDA, J., DETHLEFSEN, A., WORSTTORFF, H. (1994): Untersuchungen zur züchterischen Verwendung der Melkbarkeit beim Rind unter Berücksichtigung von Milchflusskurven; *Züchtungskunde* 66; 23 - 27
- GRABOWSKI, N. T. (2000): Körpergewichtsentwicklung, Milchinhaltstoffe und Milchmengenleistung als Kriterien zur laktationsbegleitenden Beurteilung des Gesundheitszustandes hochleistender DSB-Kühe in Laufstallhaltung; *Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover*
- GRAUEL, A. (1995): Fuzzy-Logik. Einführung in die Grundlagen mit Anwendungen; Wissenschaftsverlag; Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich
- GRINDAL, R.J. & HILLERTON, J.E. (1991): Influence of milk flow rate in new intramammary infection in dairy cows; *J. Dairy Sci.* 58; 263 – 268
- GULYAS, L. & IVANCSICS, J. (2001): Relationship between the somatic cell count and certain udder-morphologic traits; *Archiv für Tierzucht* 44; 15 - 22

- HAMANN, J. & KRÖMKER, V. (1997): Potential of specific milk composition variables for cow health management; *Livest. Prod. Sci.* 48; 201 – 208
- HERZIGER, S. (2005): Beziehungen zwischen den Milchinhaltsstoffen in der Frühlaktation und der Tiergesundheit und –leistung; Diplomarbeit Hochschule für Technik und Wirtschaft (FH) Dresden
- HEUER, C., PFLUG, W. (1994): Der diagnostische Wert von Ergebnissen der ersten Milchkontrolluntersuchung post partum im Hinblick auf Puerperalstörungen und Günstzeit von Fleckviehkühen; *Tierärztliche Umschau* 49; 491 - 497
- HINRICHS, D. (2004): Genetic analysis of health traits in german holstein dairy cattle; Dissertation Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- HULSEN, J. (2004): Kuhsignale; Verlag Roodbont
- IBEN, B. (2007a): Mastitiden des Rindes: Mastitis und Immunität; *Großtierpraxis* 8; 19 - 26
- IBEN, B. (2007b): Mastitiden des Rindes: Faktorenkrankheit Mastitis; *Großtierpraxis* 8; 165 - 175
- IBEN, B. (2007c): Mastitiden des Rindes: Perakut und bösartig – Kolimastitiden; *Großtierpraxis* 8, 209 - 216
- JAHNKE (2002): Sicherung einer guten Fruchtbarkeit in Hochleistungsherden; Forschungsbericht aus dem Institut für Tierproduktion Dummerstorf der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
- JAHNKE, B. (2004): Hoher Zellgehalt kostet Leistung; *Elite*; 2/2004; 48 - 49
- KALAYCI, U. (2001): Körperkondition einfach und schnell beurteilen; *dlz agrarmagazin* 10/2001; S.86 - 90
- KALCHREUTER, S. (1999): Abhaltung von Stallseminaren in Arbeitskreisbetrieben.
- KERSCH, Y. (2008): Beziehungen zwischen Stoffwechselfparametern und Parametern der unspezifischen Abwehr des Rindereuters im peripartalen Zeitraum unter Berücksichtigung zweier Melksysteme; Dissertation Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
- KIM, I.H., SUH, G.H. (2003): Effect of the amount of body condition loss from the dry to near calving periods on the subsequent body condition change, occurrence of postpartum diseases, metabolic parameters and reproductive performance in Holstein dairy cows; *Theriogenology* 60; 1445 - 1456
- KLAAS, I. C. (2000): Untersuchungen zum Auftreten von Mastitiden und zur Tiergesundheit in 15 Milchviehbetrieben Schleswig-Holsteins; Dissertation Freie Universität Berlin
- KÖHLER, S.D. (2002): Nutzung von Prozessparametern automatischer Melksysteme für die Erkennung von Eutererkrankungen unter Verwendung der Fuzzy Logic; Dissertation Humboldt-Universität zu Berlin
- Köster, G. (2004): Einflüsse auf die Eutergesundheit und Verbreitung von Mastitiserregern sowie deren Resistenzlage in Brandenburger Milchviehbetrieben; Dissertation Freie Universität Berlin
- KÖNIG, S. (2006): Besamungserfolg vorhersagen; *Elite* 3/2006, S. 44 – 45
- KRAUSE, A. (2007): Fruchtbarkeit bei Kühen der Rasse Holstein-Friesian; Diplomarbeit; HTW Dresden-Pillnitz (FH)
- KRIETER, J., STAMER, E., JUNGE, W. (2006): Control Charts und Neuronale Netze für die Brunsterkennung beim Rind; Vortrag im Rahmen der 26. GIL Jahrestagung, 06.-08.03.2006, Potsdam
- KRÖMKER, V. (2007): Euterkrankheiten; Kurzes Lehrbuch Milchkunde und Milchhygiene; Parey / MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG; Stuttgart
- KUS, G., BARTHEL, R. (2000): GIS-gestützte Analyse von Georisiken und –potentialen unter Verwendung geologischer 3D-Untergrundmodelle; *Zeitschrift für angewandte Geologie* 46 (2000): 167 - 173
- LÄMMEL, U. & CLEVE, J. (2008): Künstliche Intelligenz; Carl Hanser Verlag; München
- LANGE, P., GREVE, K. (2006): Automatisierte Ermittlung von erheblich veränderten Gewässerabschnitten mit heterogenen Datenbeständen; *Geoinformationstechnologie für die Praxis* 11 (2006): 27-31
- 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*; Vol. 14 (1): 79-85
- LEMMER-FULLWOOD (2008): Die Laktose im Blick; *Der Wochentipp für Praktiker*, 38. Woche 2008
- LINCKE, A.-K. (2007): Untersuchung zur Behandlung von subklinischen Endometritiden des Milchrindes mit proteolytischen Enzymen oder Prostaglandin F_{2α}; Dissertation Freie Universität Berlin
- MAHLKOW-NERGE, K. (2004): Milchqualität und Eutergesundheit; *Milchpraxis* 42; 21 - 25
- MARKUSFELD, O. (1984): Factors responsible for post parturient metritis in dairy cattle; *Vet Rec.* 1984, 114: 539-42.
- MARKUSFELD, O. (1985): Relationship between overfeeding, metritis and ketosis in high yielding dairy cows; *Vet Rec.* 1995, 116: 489-91
- MATHWORKS (2008): Fuzzy Logic Toolbox User's Guide
- MERLE, R. (2003): Beziehungen zwischen Eutergesundheit und Funktionalität von aus Blut und Milch isolierten Leukozyten des Rindes unter besonderer Berücksichtigung der Chemilumineszenz; Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover

- MIELKE, H. (1994): Physiologie der Laktation; Euter- und Gesäugekrankheiten; Gustav Fischer Verlag Jena/Stuttgart
- MÜLLER, F. (2006): Stand und Entwicklung der Fruchtbarkeitsergebnisse in den Rinderbeständen des Freistaates Sachsen; Vortrag Sächsischer Rinderzuchtverband vom 14.09. 2006
- NELSON PHILPOT, W. & NICKERSON, S. C. (2004): Die Mastitis besiegen; Herausgegeben von WestfaliaSurge; 1880 Country Farm Drive; Naperville; IL 60563; USA
- NIEHOFF, D., TÖLLE, K.H., KRIETER, J. (2007): Fruchtbarkeitsmonitoring in Milchviehbetrieben; Züchtungskunde 79; S. 275-286, Eugen Ulmer KG, Stuttgart
- NORBERG, E., HOGEVEEN, H., KORSGAARD, I.R., FRIGGENS, N.C., SLOTH, K.H.M.N., LØVENDAHL, P. (2004): Electrical conductivity of milk: ability to predict mastitis status; J. Dairy Sci. 87; 1099 – 1107
- ONTSOUKA, C.E., BRUCKMAIER, R.M. UND BLUM, J.W. (2003): Fractionized milk composition during removal of colostrum and mature milk; J. Dairy Sci. 86; 2005 - 2011
- PERES-GUZMAN, M.D., CLAUS, J., JUNGE, W., KALM, E. (1986): Untersuchungen zur Melkbarkeit und Eutergesundheit beim Rind. 1. Mitteilung: Prüfung von Zusammenhängen zwischen Milchfluss und Eutergesundheit; Züchtungskunde 58; 21 - 31
- PETERMANN, M., WOLTER, W., RITTERSHAUS, C., KLOPPERT, B., ZSCHÖCK, M., SEUFERT, H. (2001): Automatische Melkverfahren im Praxiseinsatz: Entwicklung der Eutergesundheit und Interpretation von Milchabgabeprofilen; 5. Internationale Tagung – Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung; Tagungsband 442 – 444; Universität Hohenheim – Stuttgart
- PFIZER PHARMA GMBH (2008): Besamungszeit; www.tiergesundheit.com
- PHILIPPS, C.J.C, SCHOFIELD, S.A., (1994): The effect of cubicle and straw yard housing on the behaviour, production and hoof health of dairy cows, Anim. Welfare 3, S.37-44
- PRASSE, M.-E. (2007): Untersuchung zu Ovarialzysten beim Rind: Entstehungszeitpunkt und Beziehung zur Milchleistung und Gesundheit; Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover
- PRECHT, M., KRAFT, R., BACHMAIER, M. (1999): Angewandte Statistik 1; Oldenbourg Wissenschaftsverlag; München
- PRIEN, K. (2006): Tierspezifische, betriebsspezifische und saisonale Faktoren der Gesundheit von Milchkühen; Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover
- RANDT, A.: Miesbacher Intensivseminar Fruchtbarkeit – Hohe Leistung und fruchtbare Kühe – ein Widerspruch? http://www.alf-mb.bayern.de/bildung/21969/linkurl_0_11.pdf - Stand April 2010
- RANKL, J. E. (2004): Differenzierung somatischer Zellen in der Milch verschiedener Spezies unter besonderer Berücksichtigung epithelialer Zellen; Dissertation Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
- REDETSKY, R. (2000): Biochemisches Blutprofil, Milchinhaltstoffe und Milchmengenleistung als Kriterien zur laktationsbegleitenden Beurteilung des Gesundheitszustandes hochleistender HF-Kühe in Anbindehaltung; Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover
- REKSEN, O., HAVREVOLL, Ø, GRÖHN, Y.T., BOLSTAD, T., WALDMANN, A., ROPSTAD, E. (2002): Relationship among body condition score, milk constituents and postpartum luteal function in norwegian dairy cows; Journal of Dairy Science 85: 1406-1415
- RICHARDT, W. (2003): Milchinhaltstoffe als Indikatoren für die Fütterung und Gesundheit von Milchkühen; Themen zur Tierernährung, Fachtagung 2003/2004 der Deutschen Vilomix Tierernährung GmbH
- RICHARDT, W. (2007): Haben Sie Ihre Frischkalber unter Kontrolle?; Elite 2/2007, S. 26-29
- RONNINGEN, O. & REITAN, A. D. (1990): Influence of static and dynamic teat characteristics and milking time on udder health in Norwegian Red cattle; J. Dairy Res.; 57; 171 - 177
- ROSSOW, N. & RICHARDT, W. (2003): Nutzung der Ergebnisse der Milchleistungsprüfung für die Fütterungs- und Stoffwechselkontrolle. www.portal-rind.de – Stand 23.12.2004
- ROSSOW, N. (2003a): Warum nehmen Fruchtbarkeitsprobleme in Milchkuhbeständen mit hoher Leistung zu?, Portal Rind <http://www.portal-rind.de/index.php?name=News&file=article&sid=47> – Stand April 2010
- ROSSOW, N. (2003b): Der peripartale Krankheitskomplex der Milchkuh; Portal Rind http://www.portal-rind.de/data/artikel/47/artikel_47.pdf - Stand April 2010
- ROSSOW, N. (2005): Gesundheits- und Fruchtbarkeitsmanagement in Milchkuhbeständen Teil 5: Managementaufgaben vom Abkalben bis zum Erreichen der Laktationsspitze; Portal Rind www.portal-rind.de
- ROTH, S., REINSCH, N., NIELAND, G.; SCHALLENBERGER, E. (1998): Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Eutergesundheit, Melkbarkeitsparametern und Milchflusskurven an einer Hochleistungsrinderherde; Züchtungskunde 70; 242 - 260
- RUDOLPHI, B. (2004): Einfluss der Zellgehalte der Milch auf die Milchleistung von Kühen; Züchtungskunde 76, 466-474
- RUDOLPHI, B. (2009): Das Optimum liegt in der Mitte – Tragezeiten bei Holsteinrindern; Neue Landwirtschaft 11/2009: 90-92

- RUPP, R. & BOICHARD, D. (1999): Genetic Parameters for Clinical Mastitis, Somatic Cell Score, Production, Udder Type Traits, and Milking Ease in First Lactation Holsteins; J. Dairy Sci. 82; 2198 - 2204
- SANDRUCCI, A., TAMBURINI, A., BAVA, L., ZUCALI, M. (2007): Factors affecting milk flow traits in dairy cows: results of a field study. J. Dairy Sci. 90; 1159 - 1167
- SÄCHSISCHER RINDERZUCHTVERBAND (2006):
- SÄCHSISCHER TIERZUCHTREPORT (2009): Berichtsjahr 2008; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- SCHLIMME & BUCHHEIM (1999): Milch und ihre Inhaltsstoffe: Chemische und physikalische Eigenschaften; Verlag Th. Mann; Gelsenkirchen
- SCHRÖDER, U.-J. (2000): Untersuchungen zur Konditionsbeurteilung mittels ultrasonografischer Messung der Rückenfettdicke als Grundlage zur Anwendung in der Bestandsbetreuung von Milchviehherden; Dissertation Freie Universität Berlin
- SCHRÖDER, A. (2003): Untersuchungen zum Zelldifferentialbild in Milch und Blut unter Berücksichtigung des Gesundheitszustandes der bovinen Milchdrüse; Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover
- SCHÜLER, D. (1992): Beeinflussung des Milcheiweißgehaltes und weiterer Parameter der Rohmilchqualität über die Fütterung; Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) Thüringen; Jena
- SCHULZ, J. (1994): Erkrankungen der Milchdrüse des Rindes; Euter- und Gesäugekrankheiten; Gustav Fischer Verlag Jena/Stuttgart
- SCHULZ, J. (2003): Bau der Milchdrüse und Physiologie der Laktation; Milcherzeugung: Grundlagen – Prozesse – Qualitätssicherung; Deutscher Fachverlag; Frankfurt am Main
- SEELAND, G., HEINZE, C. (2003): Beziehungen zwischen Milchleistung und Fruchtbarkeit in einer Schwarzbuntpopulation nach intensiver Steigerung der Milchleistung; Arch. Tierzucht; Dummerstorf 46 (2003) 2: 103-112
- SOBJAJ, A. (2009): Die subklinische Mastitis – ein Dauerbrenner; Informationsveranstaltung des LKV Sachsen-Anhalt; Halle; 09.09.2009
- SÖLKNER, J., GREGLER, B., FÜRST, C., FÜRST-WALTL, B., EGGER-DANNER, C., WILLAM, A., BAUMUNG, R. (2008): Entwicklung einer Zuchtwertschätzung für Merkmale der Fruchtbarkeit beim Rind; Institut für Nutztierwissenschaften Universität für Bodenkultur Wien
- SPIKKE, J. (2002): Entscheidungsunterstützung unter den Bedingungen automatischer Melksysteme durch Nutzung von Vorhersagefunktionen; Internationales Kolloquium „Wirtschaftsinformatik und Operations Research“; Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- STAUFENBIEL, R. (2004): Herdenüberwachung – Bestandsbetreuung; Tiergesundheits- und Tierkrankheitslehre, Parey-Verlag Stuttgart
- STAUFENBIEL, R. (2008): Praktische Durchführung und Anwendung der Körperkonditionsbeurteilung im Management von Milchviehherden; Vortrag anlässlich Fortbildungsveranstaltung
- STEINHÖFEL, I.; STEINHÖFEL, O.; KIEBLING, A. (2006): Ein Bild mit vielen Facetten - Der Fruchtbarkeit von Milchrindern auf der Spur; Neue Landwirtschaft, Jahrgang 11; S. 46-48
- STEINHÖFEL, I. (2009): Ursachen von ausgewählten Fruchtbarkeitsstörungen; Vortrag Rinderworkshop Bernburg
- STÖCKLER, S. (2007): Fruchtbarkeit und Milchleistung; Seminar Bäuerliches Schul- und Bildungszentrum Hohenems
- TANČIN, V., IPEMA, B., HOGWERF, P., MAČUHOVÁ, J. (2006): Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels; J. Dairy Sci. 89; 978 - 988
- TANČIN, V., IPEMA, A.H. , HOGWERF, P. (2007): Interaction of somatic cell count and quarter milk flow patterns; J. Dairy Sci. 90; 2223 - 2228
- TISCHER, M. (2004): Fruchtbarkeitsprogramme für die Praxis; Milchpraxis 2/2004: 60-62
- TRILK, J., REICHL, B. (2006): Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Körperkondition (Body Conditioning Score – BCS), Milchleistung und Fruchtbarkeit; LVLV Jahresbericht 2006
- VERMUNT, J.J. (2004): Herd lameness – a review, major causal factors, and guidelines for prevention and control. In: 13th International Symposium and 5th Conference of lameness in ruminants. Maribor, Slowenien, Proc., S.3-18
- VIT VERDEN (2007): Jahresbericht 2007
- WANGLER, A. (2004): Auswirkungen der Nutzung der Bewegungsaktivitätsmessung beim Milchrind auf die Effektivität der Brunsterkennung
<http://www.lfamv.de/index.php?/content/view/full/2456>
- WANGLER & HARMS (2006): Verlängerung der Nutzungsdauer der Milchkühe durch eine gute Tiergesundheit bei gleichzeitig hoher Lebensleistung zur Erhöhung der Effizienz des Tiereinsatzes; Forschungsbericht der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern; Institut für Tierproduktion

WEHREND, A. (2007): Verfahren der tierärztlichen Puerperalkontrolle und deren Auswirkung auf die Fruchtbarkeit

WENDT, K., BOSTEDT, H., MIELKE, H.; FUCHS, H.-W. (1994): Euter- und Gesäugekrankheiten; Gustav Fischer Verlag Jena/Stuttgart

WENDT, K., LOTTHAMMER, K.-H., FEHLINGS, K., SPOHR, M. (1998): Handbuch Mastitis; Kamlage Verlag, Osnabrück

WIELAND, D. (2002): Mehr Milch mit mehr Kuhkomfort; UFA-Revue 5/02, S. 50-52

WOLTER, W., KLOPPERT, B., CASTANEDA, H. UND ZCHÖCK, M. (2002): Die Mastitis des Rindes – Ein Kursbuch.
<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2002/910/> - Stand 15.11.2005

YANG, Y. (1998): Rechnergestützte Östrusüberwachung bei Milchkühen unter Anwendung der Fuzzy-Logic-Methode; Dissertation Technische Universität München

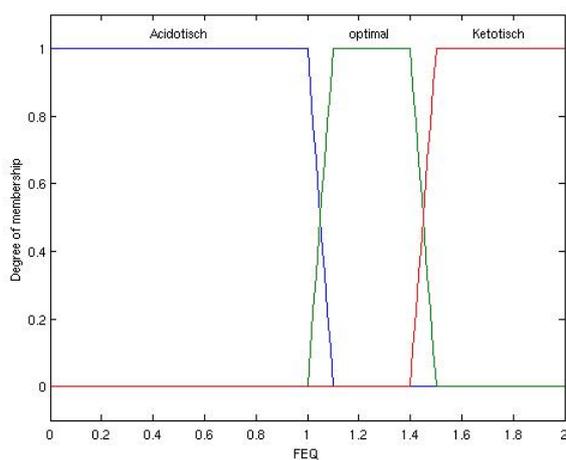
ZIEGER, P. (2008): Fruchtbarkeitskiller Gebärmutterentzündung; DIZ-Agrarmagazin 01/2008, S.104-106

ZUBE, P., FRANKE, C. (2007): Fruchtbarkeit von Milchkühen in Brandenburg - Untersuchungen zum Fruchtbarkeitsmanagement; Abschlussbericht Referat Tierzucht, Tierhaltung, Fischerei - Groß Kreutz; Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung

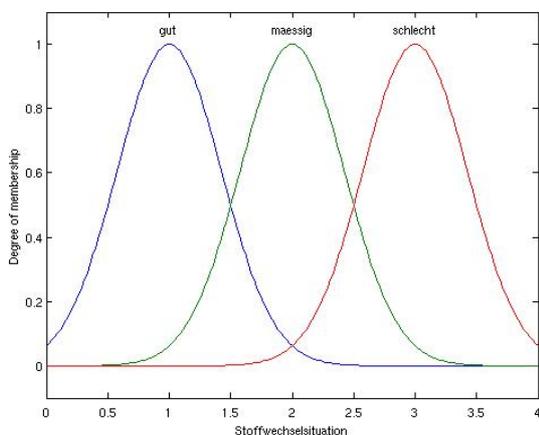
8 Anhang

Anhang 1: Auszug aus Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Variablen

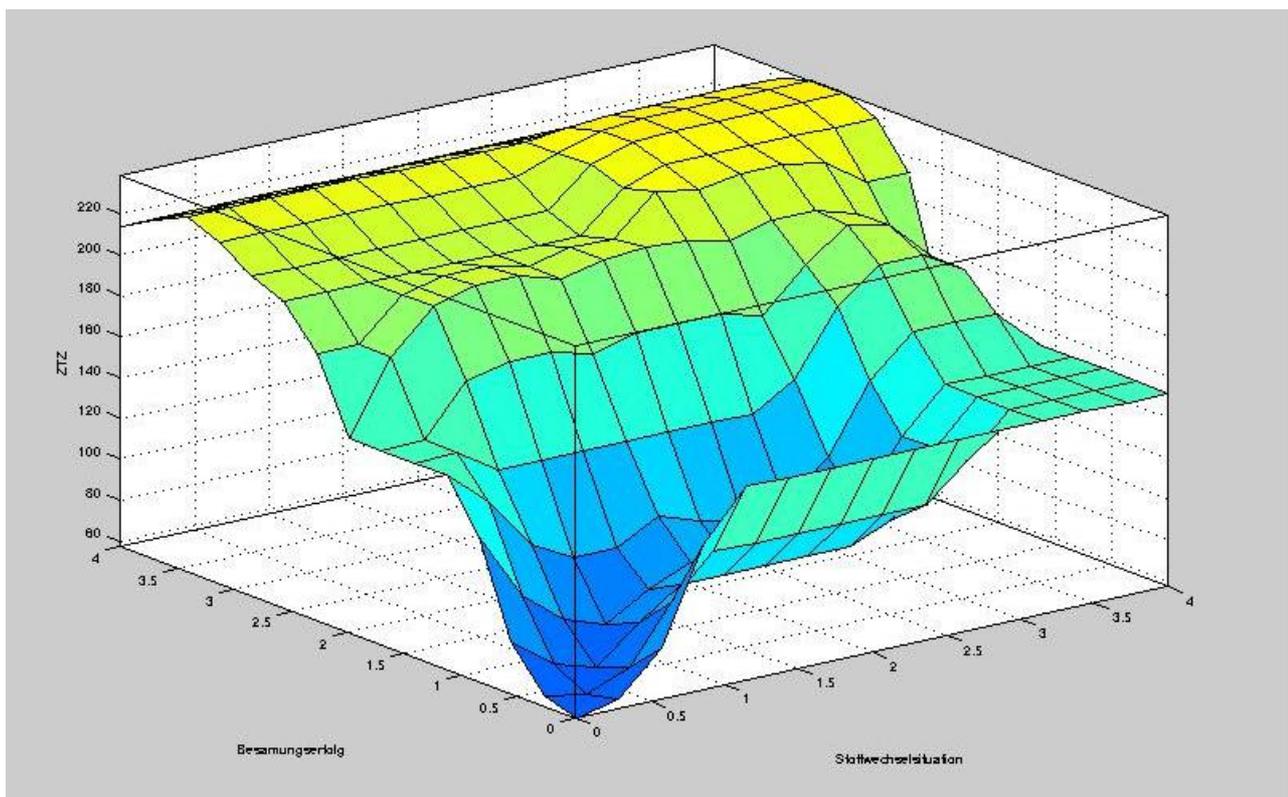
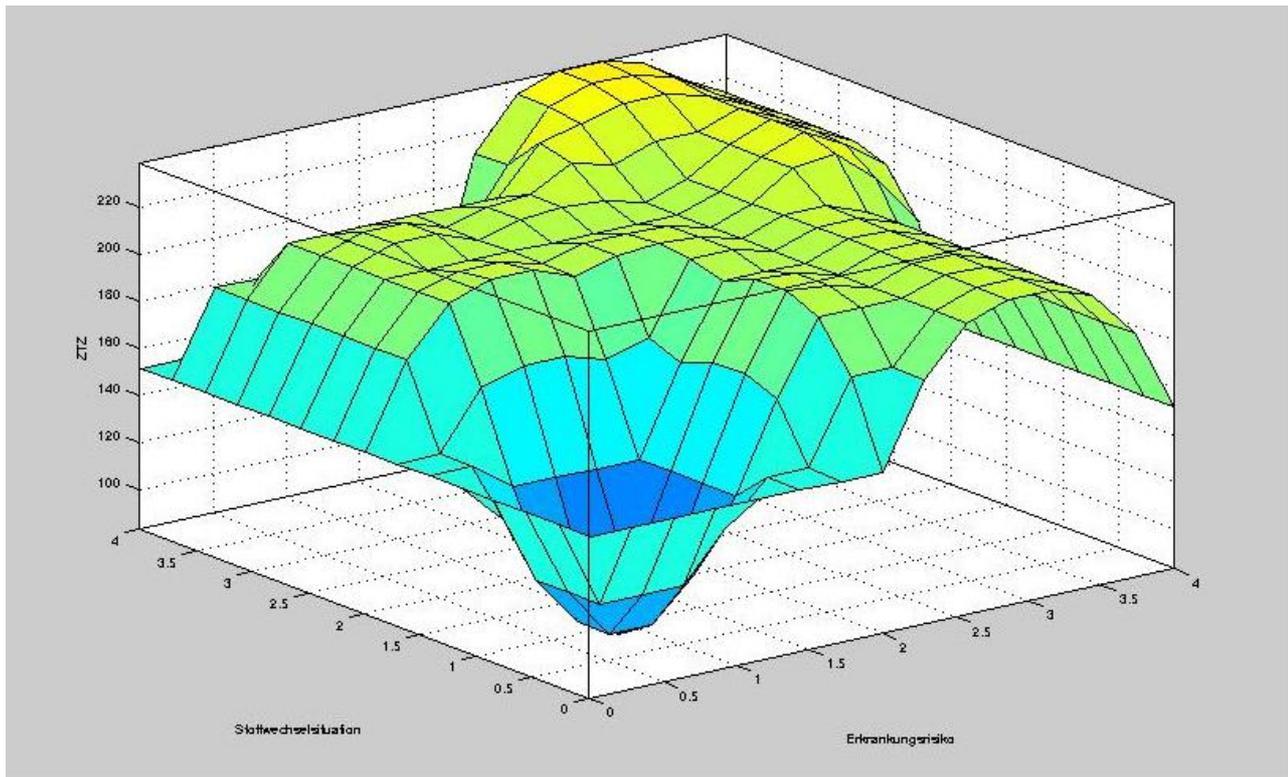
Fett-Eiweiß-Quotient

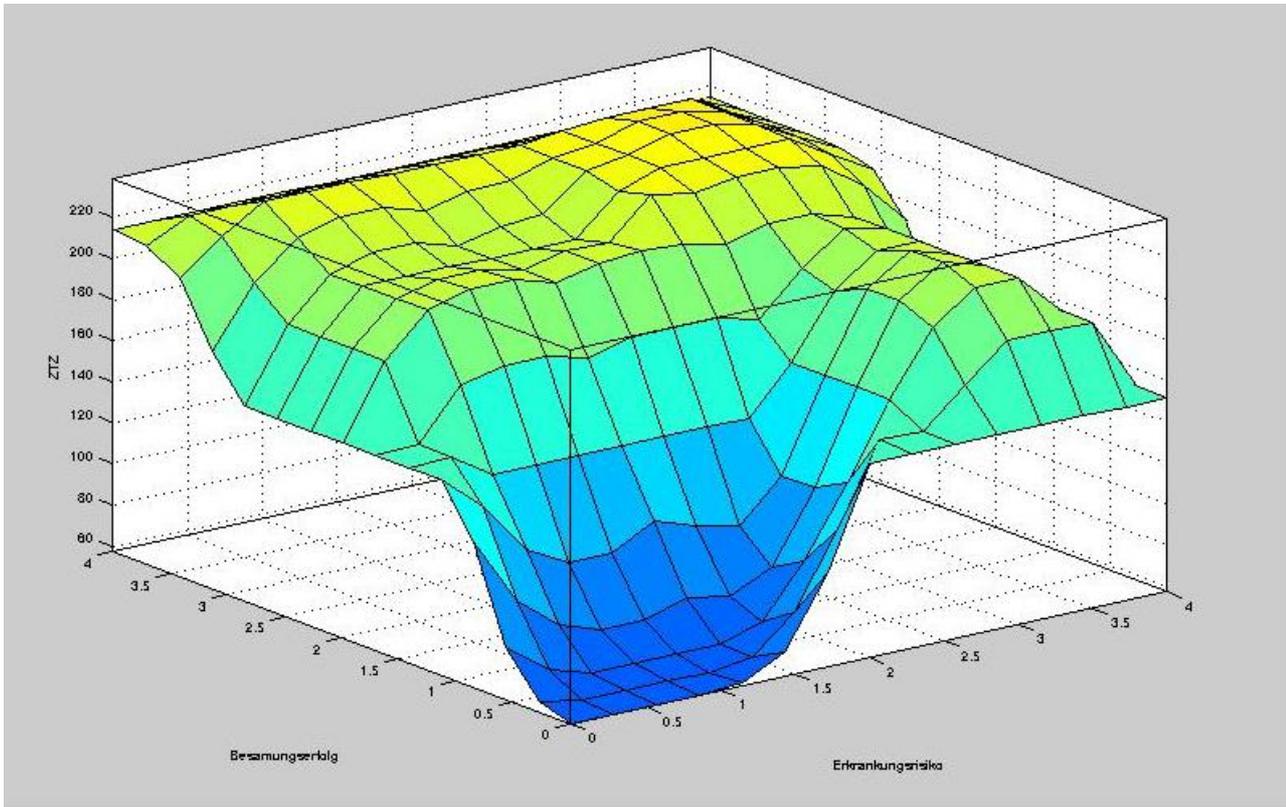


Stoffwechselsituation



Anhang 2: Inferenz als 3D-Oberfläche der verwendeten linguistischen Variablen des Modells zur ZTZ





Modellentwicklung zur Früherkennung von Fruchtbarkeitsstörungen

ZKZ: vorstrahlen / EKA

1. BCS/RFD – Bestimmung zum Trockenstehen

2. BCS/RFD – Bestimmung kalbungsnaher Zeitpunkt

1. Tag: Kalbeverlauf

1., 2., 3. oder 4. Woche:

1. MLP

- Mkg; Fkg; Ekg

- Zellzahl (ZZ)

- Lactosegehalt

- Harnstoffgehalt

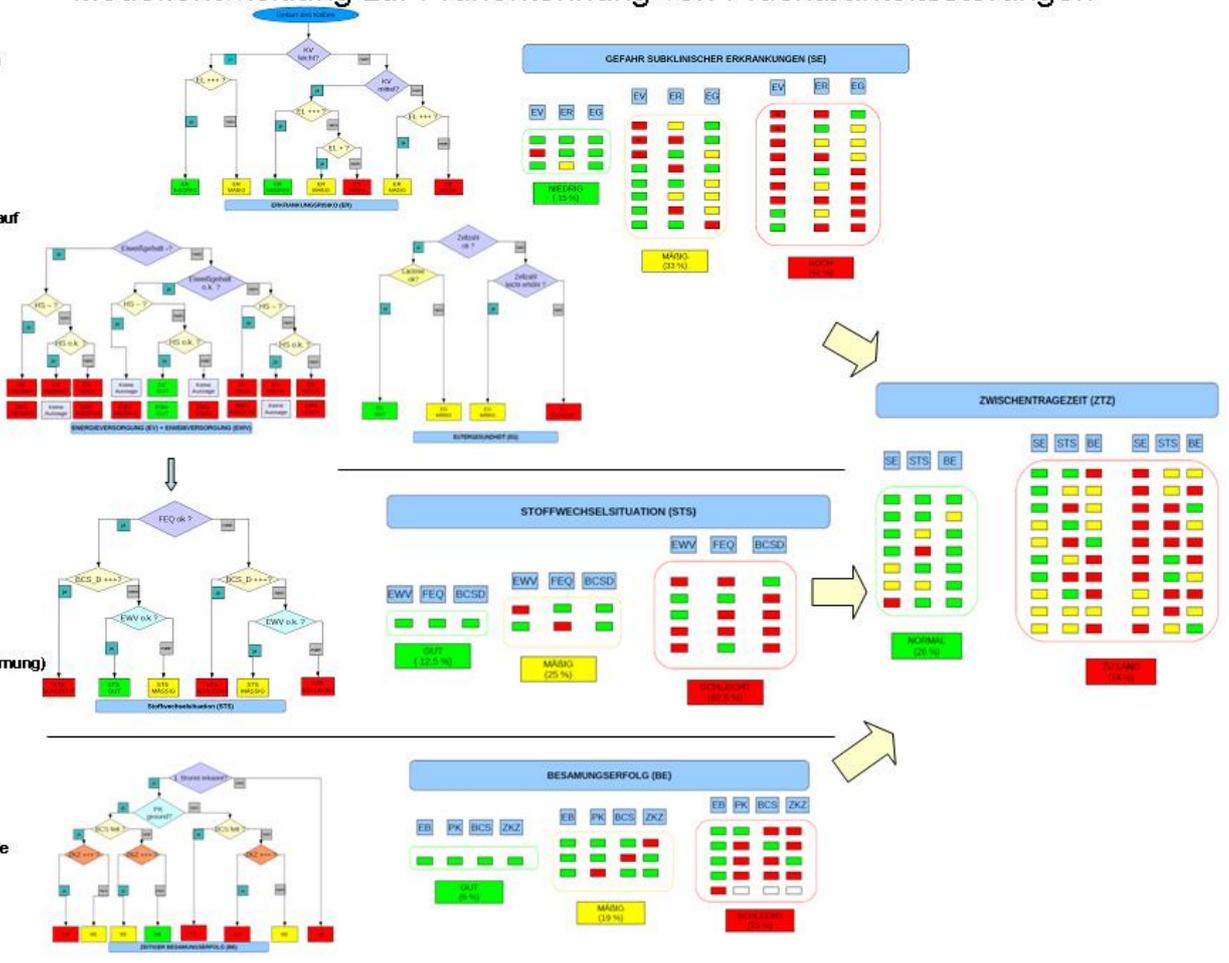
(HS)

3. BCS/RFD – Bestimmung besamungsnah

(+/- 15 d von Besamung)

innerhalb von 40 Tagen: Eintritt 1. Brunst

25. -40. Tag: Puerperalkontrolle

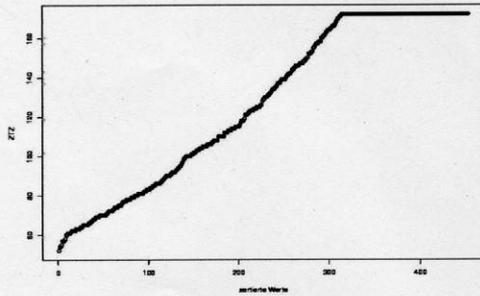


1 Auswertungen vom 28.~April 2010

Datendatei: ztz2r.txt
Ergebnisdatei: output2r.txt

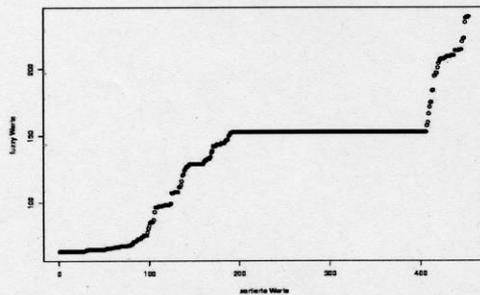
1.1 Evaluierungsdaten

Anzahl: 128
echtes Minimum: 54.00 gestutztes Minimum: 1
echtes Maximum: 347.00 gestutztes Maximum: 240
Mittelwert: 133.0938 Median: 115.0000



1.2 Ergebnisdaten

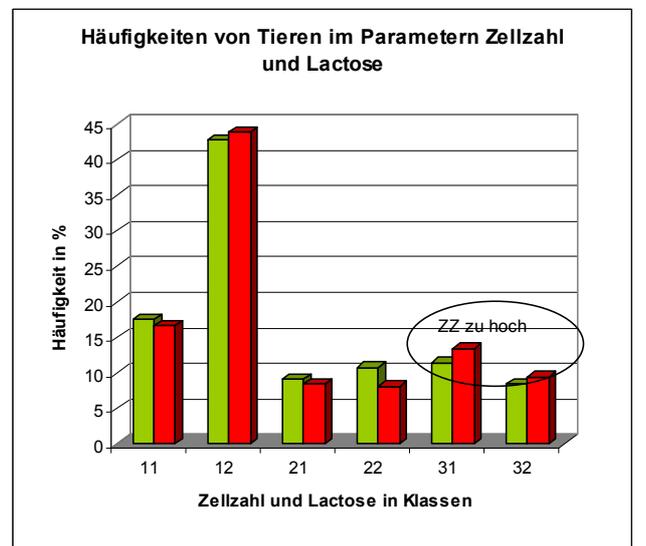
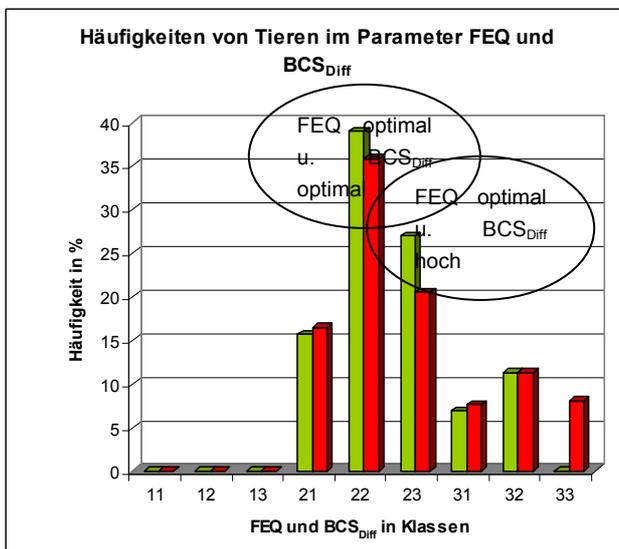
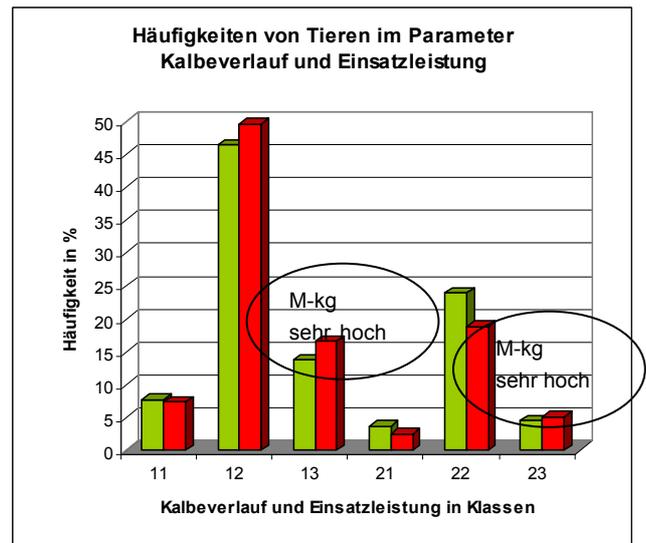
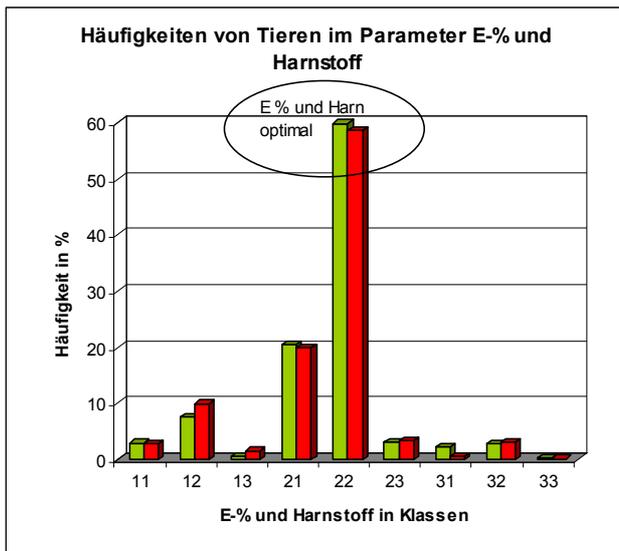
Minimum: 84.7800
Maximum: 237.3000
Trennpunkt: 115.0000
Mittelwert: 165.5705 Median: 158.7750



1.3 Ergebnisse

wahr positiv: 61 falsch positiv: 48
wahr negativ: 15 falsch negativ: 4
Erkennungsrate: 59.38
Fehlerrate: 40.62
Spezifitaet: 23.81
Sensitivitaet: 93.85

Anhang 5: Histogramme zu Merkmalskomplexen



Anhang 6: Bakteriologische Untersuchung – Erreger (Familie und Gruppierung)

Erreger	Familie	Gruppierung	Gruppe
keine Untersuchung		kein Befund	1013
keine Angabe		kein Befund	1013
negativ		Negativ	1012
BF		BF	1011
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	Alcaligenaceae	Sonstiges	1010
<i>Acinetobacter</i>	Moraxellaceae	Sonstiges	1010
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	Moraxellaceae	Sonstiges	1010
<i>Arcanobacterium pyogenes</i>	Actinomycetaceae	Actinomycetaceae	1001
<i>Actinomyceten spp.</i>	Actinomycetaceae	Actinomycetaceae	1001
aerobe Sporenbildner	Bacillus/ aerobe Sporenbildner	Bacillus/ aerobe Sporenbildner	1002
<i>Aerococcus spp.</i>	Streptococcaceae	Streptococcaceae	1009
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Aeromonadaceae	sonstiges	1010
<i>Alcaligenes faecalis</i>	Alcaligenaceae	sonstiges	1010
<i>Alcaligenes xylosoxidans</i>	Alcaligenaceae	sonstiges	1010
<i>Bacillus spp.</i>	Bacillus/ aerobe Sporenbildner	Bacillus/ aerobe Sporenbildner	1002
<i>Burkholdria cepacia</i>	sonstiges	sonstiges	1010
<i>Camomonas testosteroni</i>	sonstiges	sonstiges	1010
<i>Citrobakter freundii</i>	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
<i>E. coli</i>	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
<i>E. coli</i> mit Hämolyse	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
<i>E. coli</i> mucoid	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
<i>Enterobacter cloacae</i>	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
<i>Enterococcus durans</i>	Enterococcaceae	Enterococcaceae	1004
<i>Enterococcus faecalis</i>	Enterococcaceae	Enterococcaceae	1004
<i>Enterococcus spp.</i>	Enterococcaceae	Enterococcaceae	1004
<i>Ewingella americana</i>	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
<i>Gemella morbillorum</i>	sonstiges	sonstiges	1010
<i>Hafnia alvei</i>	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Hefen spp.	Hefen	Hefen / Hefenähnliche	1005
<i>Klebsiella rhinoscleromatis</i>	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
KNS	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
<i>Kocuria rosea</i>	Micrococcaceae	sonstiges	1010
<i>Kryptococcus ozeanae</i>	Kryptococcus	Hefen / Hefenähnliche	1005
<i>Kryptococcus spp.</i>	Kryptococcus	Hefen / Hefenähnliche	1005
<i>Kytococcus sedintarius</i>	Micrococcaceae	sonstiges	1010
<i>Leuconostoc citreum</i>	Leuconostocaceae	sonstiges	1010
<i>Leuconostoc lactis</i>	Leuconostocaceae	sonstiges	1010

Leuconostoc mesenteroides	Leuconostocaceae	sonstiges	1010
Macrococcus caseolyticus	sonstiges	sonstiges	1010
Moraxella atlantae	Moraxellaceae	sonstiges	1010
Moraxella lincolniae	Moraxellaceae	sonstiges	1010
Moraxella osloensis	Moraxellaceae	sonstiges	1010
Pasteurella multocida	Pasteurellaceae	Pasteurellaceae	1006
Pasteurella pneumotropica	Pasteurellaceae	Pasteurellaceae	1006
Pedicoccus pentosaceus	sonstiges	sonstiges	1010
Proteus mirabilis	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Proteus penneri	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Proteus spp.	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Providencia alcalifaciens	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Pseudomonas aeruginosa	Pseudomonadaceae	Pseudomonadaceae	1007
Pseudomonas oryzae	Pseudomonadaceae	Pseudomonadaceae	1007
Roseomonas	sonstiges	sonstiges	1010
Salmonella	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Shigella sonnei	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Shigella spp.	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Sphingomonas paucimobilis	Sphingomonadaceae	sonstiges	1010
Staph. aureus	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. auricularis	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. capitis	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. capitis ss capitis	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. chromogenes	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. cohnii	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. cohnii ss cohnii	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. epidermidis	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. equorum	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. felis	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. gallinarum	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. haemolyticus	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. hominis	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. hyicus	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. intermedius	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. kloosii	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. lentus	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. lugdunensis	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. muscae	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. pasteurii	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. saprophyticus	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. sciuri	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008

Staph. simulans	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. vitulinus	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. warneri	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Staph. xylosum	Staphylococcaceae	Staphylococcaceae	1008
Str. anginosus	Streptococcaceae	Streptococcaceae	1009
Str. bovis	Streptococcaceae	Streptococcaceae	1009
Str. constellatus	Streptococcaceae	Streptococcaceae	1009
Str. uberis	Streptococcaceae	Streptococcaceae	1009
Str. salivarius	Streptococcaceae	Streptococcaceae	1009
Str. sanguis 2	Streptococcaceae	Streptococcaceae	1009
Tatumella ptyseos	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Weisella confusus	sonstiges	sonstiges	1010
Yersinia enterocolitica	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003
Yersinia kristensenii	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	1003

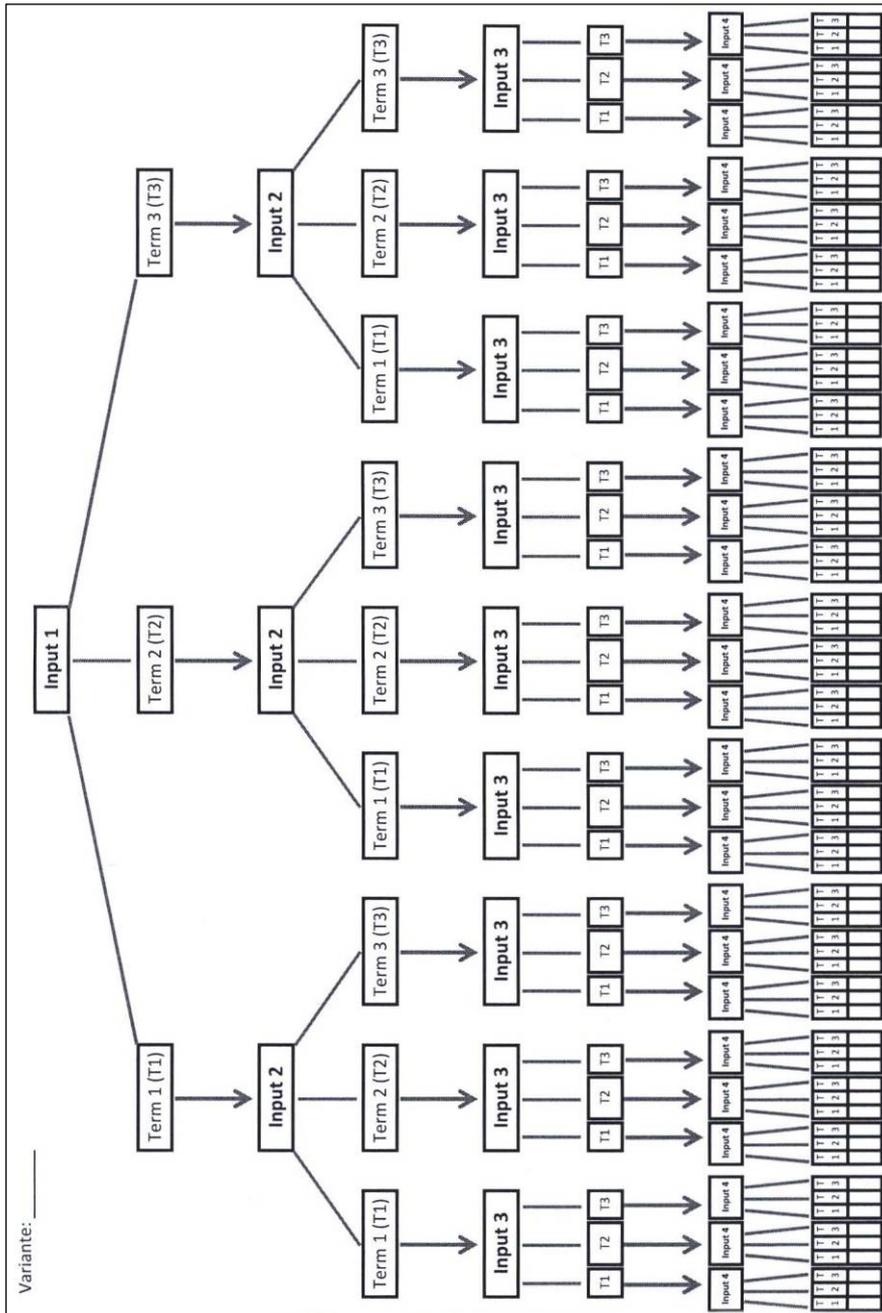
Anhang 7: Bakteriologische Untersuchung – Erreger (Familie und Pathogenität)

Erreger	Codierung	Familie	Pathogenität
keine Untersuchung	97		
keine Angabe	98		
negativ	99		0
BF	90		1
Achromobacter xylosoxidans	1	Alcaligenaceae	1
Acinetobacter	2	Moraxellaceae	2
Acinetobacter calcoaceticus	3	Moraxellaceae	1
Arcanobacterium pyogenes	4	Actinomycetaceae	4
Actinomyceten spp.	5	Actinomycetaceae	2
aerobe Sporenbildner	6	Bacillus/aerobe Sporenbildner	2
Aerococcus spp.	7	Streptococcaceae	2
Aeromonas hydrophila	8	Aeromonadaceae	1
Alcaligenes faecalis	9	Alcaligenaceae	1
Alcaligenes xylosoxidans	10	Alcaligenaceae	1
Bacillus spp.	11	Bacillus/aerobe Sporenbildner	3
Burkholdria cepacia	12	sonstiges	1
Camomonas testosteroni	13	sonstiges	1
Citrobakter freundii	14	Enterobacteriaceae	3
E. coli	15	Enterobacteriaceae	4
E. coli mit Hämolyse	16	Enterobacteriaceae	4
E. coli mucoid	17	Enterobacteriaceae	4
Enterobacter cloacae	18	Enterobacteriaceae	2
Enterococcus durans	19	Enterococcaceae	3
Enterococcus faecalis	20	Enterococcaceae	3
Enterococcus spp.	21	Enterococcaceae	3
Ewingella americana	22	Enterobacteriaceae	1
Gemella morbillorum	23	sonstiges	1
Hafnia alvei	24	Enterobacteriaceae	2
Hefen spp.	25	Hefen	3
Klebsiella rhinoscleromatis	26	Enterobacteriaceae	2
KNS	27	Staphylococcaceae	2
Kocuria rosea	28	Micrococcaceae	1
Kryptococcus ozeanae	29	Kryptococcus	2
Kryptococcus spp.	30	Kryptococcus	2
Kytococcus sedintarius	31	Micrococcaceae	2
Leuconostoc citreum	32	Leuconostocaceae	1
Leuconostoc lactis	33	Leuconostocaceae	1
Leuconostoc mesenteroides	34	Leuconostocaceae	1
Macroccoccus caseolyticus	35	sonstiges	1

Moraxella atlantae	36	Moraxellaceae	1
Moraxella lincolnii	37	Moraxellaceae	1
Moraxella osloensis	38	Moraxellaceae	1
Pasteurella multocida	39	Pasteurellaceae	3
Pasteurella pneumotropica	40	Pasteurellaceae	2
Pedococcus pentosaceus	41	sonstiges	1
Proteus mirabilis	42	Enterobacteriaceae	2
Proteus penneri	43	Enterobacteriaceae	2
Proteus spp.	44	Enterobacteriaceae	2
Providencia alcalifaciens	45	Enterobacteriaceae	1
Pseudomonas aeruginosa	46	Pseudomonadaceae	3
Pseudomonas oryzihabitans	47	Pseudomonadaceae	1
Roseomonas	48	sonstiges	1
Salmonella ³	49	Enterobacteriaceae	2
Shigella sonnei	50	Enterobacteriaceae	2
Shigella spp.	51	Enterobacteriaceae	2
Sphingomonas paucimobilis	52	Sphingomonadaceae	1
Staph. aureus	53	Staphylococcaceae	4
Staph. auricularis	54	Staphylococcaceae	1
Staph. capitis	55	Staphylococcaceae	2
Staph. capitis ss capitis	56	Staphylococcaceae	2
Staph. chromogenes	57	Staphylococcaceae	2
Staph. cohnii	58	Staphylococcaceae	2
Staph. cohnii ss cohnii	59	Staphylococcaceae	2
Staph. epidermidis	60	Staphylococcaceae	3
Staph. equorum	61	Staphylococcaceae	2
Staph. felis	62	Staphylococcaceae	2
Staph. gallinarum	63	Staphylococcaceae	2
Staph. haemolyticus	64	Staphylococcaceae	2
Staph. hominis	65	Staphylococcaceae	2
Staph. hyicus	66	Staphylococcaceae	3
Staph. intermedius	67	Staphylococcaceae	4
Staph. kloosii	68	Staphylococcaceae	1
Staph. lentus	69	Staphylococcaceae	1
Staph. lugdunensis	70	Staphylococcaceae	1
Staph. muscae	71	Staphylococcaceae	1
Staph. pasteurii	72	Staphylococcaceae	1
Staph. saprophyticus	73	Staphylococcaceae	1
Staph. sciuri	74	Staphylococcaceae	1
Staph. simulans	75	Staphylococcaceae	1
Staph. vitulinus	76	Staphylococcaceae	1

Staph. warneri	77	Staphylococcaceae	1
Staph. xylosus	78	Staphylococcaceae	1
Str. anginosus	79	Streptococcaceae	1
Str. bovis	80	Streptococcaceae	2
Str. constellatus	81	Streptococcaceae	1
Str. uberis	82	Streptococcaceae	3
Str. salivarius	83	Streptococcaceae	1
Str. sanguis 2	84	Streptococcaceae	1
Tatumella ptyseos	85	Enterobacteriaceae	1
Weisella confusus	86	sonstiges	1
Yersinia enterocolitica	87	Enterobacteriaceae	1
Yersinia kristensenii	88	Enterobacteriaceae	1

Anhang 8: Arbeitsvorlage zur Erstellung des Fuzzy Logic-Regelgerüsts-Muster



Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Silke Krostitz, Ulrike Niebling, Dr. Ralf Fischer, Dr. Ilka Steinhöfel
Dr. Steffen Pache, Dr. Evelin Ullrich
LfULG, Abteilung Tierische Erzeugung
Simone Walther, Hartmut Berger
Sächsischer Landeskontrollverband e.V.

Redaktion:

Silke Krostitz
LfULG, Abteilung Tierische Erzeugung/Referat Tierzucht, Tierhygiene
Am Park 3, 04886 Köllitsch
Telefon: + 49 34222 46-2108
Telefax: + 49 34222 46-2199
E-Mail: silke.krostitz@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

31.12.2010

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.