

**Überwachung der Eutergesundheit bei Milchkühen
durch Kombination verschiedener
chemisch-physikalischer Messwerte**

Martin Wiedemann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät *Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt* der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing.habil. Ulrich Kulozik

Prüfer der Dissertation:

1. Hon-Prof. Dr.agr. Dr.h.c.(AE Keszthely) Johann Schön
2. apl. Prof. Dr.agr. Rupert M. Bruckmaier
3. Univ.-Prof. Dr.agr. Dr.agr.habil. Hermann Auernhammer

Die Dissertation wurde am 14.06.2004 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät *Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt* am 06.10.2004 angenommen.

**Meinen
Hainsfarth-Großeltern
und
meinen väterlichen Freunden
Rudl Gottwald & Karl Lindig
gewidmet!**

Diese Arbeit ist auch in der Schriftenreihe
*„FORSCHUNGSBERICHT AGRARTECHNIK des Arbeitskreises Forschung und Lehre
der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG)“* unter der Nummer 422 veröffentlicht.

Diese Arbeit wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten und durch ein Begabtenstipendium der Hanns-Seidel-Stiftung München e.V. aus Mitteln des BMBF gefördert.

	<u>Seite</u>
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Anhangsverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Stand des Wissens	3
2.1 Anforderungen an die Milchproduktion	3
2.1.1 Gesetzliche Anforderungen an die Milcherzeugung	3
2.1.1.1 Allgemeine Anforderungen	3
2.1.1.2 Spezielle Anforderungen bei automatischen Melksystemen	4
2.1.2 Qualitätssicherungssysteme	5
2.2 Eutergesundheit und Veränderung der Milchzusammensetzung	6
2.2.1 Änderungen in der Milchzusammensetzung	7
2.2.2 Einfluss der Stimulation und der Milchejektion auf die Milchinhaltsstoffe	12
2.2.3 Kategorisierung der Eutergesundheit	13
2.2.3.1 Gesamtgemelk	14
2.2.3.2 Viertelgemelk	14
2.3 Erkennung von veränderter Milch und Mastitiserkrankung	16
2.3.1 Beurteilung des Vorgemelkes durch den Melker bei konventioneller Melktechnik	16
2.3.1.1 Visuelle Überprüfung des Vorgemelkes	16
2.3.1.2 Milchzelltest	17
2.3.2 Sensorgestützte Erkennung	19
2.3.2.1 Elektrische Leitfähigkeit	19
2.3.2.2 Erfassung weiterer Milchparameter	24
2.4 Einsatz der Farbmessung zur Milchqualitätsbeurteilung	27
2.4.1 Grundlagen	27
2.4.1.1 Farbwahrnehmung	27
2.4.1.2 Farbmessung	28
2.4.2 Bestimmung der Milchfarbe	31

2.5	Diagnostischer Test zur Bewertung einzelner Parameter	32
2.6	Sensoren in automatischen Melksystemen	36
3	Problemstellung und Zielsetzung	39
4	Material und Methode	41
4.1	Versuchsbetriebe	41
4.1.1	Betrieb A	41
4.1.2	Betrieb B	41
4.2	Vorrichtung zur Probenahme am VMS™	42
4.3	Messverfahren zur Bestimmung der Milchparameter	44
4.3.1	Spektrale Reflexion	44
4.3.2	Elektrische Leitfähigkeit	46
4.3.3	Ionengehalt (Na ⁺ und Cl ⁻)	46
4.3.4	Somatischer Zellgehalt und Milchhaltsstoffe	47
4.3.5	Bakteriologische Untersuchung	47
4.4	Vorversuche	48
4.4.1	Beurteilung der Eutergesundheit durch den Melker	48
4.4.2	Beeinflussung der Farbwerte durch die Milchhaltsstoffe	50
4.5	Hauptversuche	52
4.5.1	Verlauf der gemessenen Milchparameter während der Melkung	52
4.5.2	Erkennung von Eutererkrankungen durch Erfassung der spektralen Reflexion, der elektrischen Leitfähigkeit sowie des Na ⁺ und Cl ⁻ Gehaltes	53
4.6	Einstufung der Eutergesundheit	58
4.7	Verrechnung und statistische Auswertung der Messdaten	59
4.7.1	Verrechnung der Messdaten	59
4.7.1.1	Berechnung der mittleren spektralen Reflexion in einem bestimmten Wellenlängenbereich	59
4.7.1.2	Verrechnung der einzelnen Proben untereinander	59
4.7.1.3	Berechnung der relativen Werte für elektrische Leitfähigkeit sowie für den Na ⁺ und Cl ⁻ Gehalt	60
4.7.2	Statistische Auswertung und Darstellung	60
4.7.3	Verfahren des Diagnostischen Testes	62
5	Ergebnisse und Diskussion	63
5.1	Vorversuche	63

5.1.1	Beurteilung der Eutergesundheit durch den Melker	63
5.1.1.1	Visuelle Überprüfung	63
5.1.1.2	Milchzelltest	67
5.1.1.3	Diskussion	69
5.1.2	Beeinflussung der Farbwerte durch die Milchhaltsstoffe	71
5.1.2.1	Charakteristik der Reflexionskurven von normaler Milch	71
5.1.2.2	Einfluss der Milchhaltsstoffe auf die spektrale Reflexion	72
5.1.2.3	Diskussion	81
5.2	Hauptversuche	82
5.2.1	Verlauf der Milchparameter während der Melkung	82
5.2.1.1	Somatischer Zellgehalt	82
5.2.1.2	Elektrische Leitfähigkeit	84
5.2.1.3	Mittlere spektrale Reflexion im Mastitisband	85
5.2.1.4	Natrium-Gehalt	86
5.2.1.5	Chlorid-Gehalt	87
5.2.1.6	Vergleich des somatischen Zellgehaltes und der Spektralwerte zwischen Viertelanfangsgemelk und Viertelgesamtgemelk	88
5.2.1.7	Diskussion	90
5.2.2	Erkennung von Eutererkrankungen durch Erfassung der spektralen Reflexion, der elektrischen Leitfähigkeit sowie des Na ⁺ und Cl ⁻ Gehaltes im Viertelanfangsgemelk	92
5.2.2.1	Werte der spektralen Reflexion im Viertelanfangsgemelk	92
5.2.2.2	Werte der elektrischen Leitfähigkeit im Viertelanfangsgemelk	95
5.2.2.3	Ionengehalte (Na ⁺ und Cl ⁻) im Viertelanfangsgemelk	96
5.2.2.4	Korrelationsanalyse zwischen Milchhaltsstoffen und gemessenen Parametern im Viertelanfangsgemelk	100
5.2.2.5	Auswertung und Vergleich der Parameter mittels Diagnostischem Test	100
5.2.2.6	Diskussion	104
6	Schlussfolgerung	107
7	Zusammenfassung	111
8	Summary	115
	Literaturverzeichnis	117
	Anhang	129
	Veröffentlichungen	139
	Danksagung	140
	Lebenslauf	141

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung von Ionen- und Laktosebewegung zwischen Blut, Milchdrüsenepithelzelle und Milch.	8
Abbildung 2:	Verlauf des somatischen Zellgehaltes (SCC), der elektrischen Leitfähigkeit (EC) und der Ionenkonzentrationen (Na^+ und Cl^-) in Abhängigkeit der abgelaufenen Zeit nach Beginn der Vorstimulation ($t=0\text{s}$).....	13
Abbildung 3:	Unterschiedliche Nomenklatur und Klassifizierung des Milchzelltestes in Abhängigkeit vom somatischen Zellgehalt (SCC)..	18
Abbildung 4:	Normspektralwerte nach CIE; 10° Normalbeobachter	30
Abbildung 5:	<i>Diagnostischer Test</i> : Berechnung der Sensitivität und Spezifität auf Grundlage der Messgröße und des definierten Gesundheitszustandes.	33
Abbildung 6:	Gesamtansicht der viertelspezifischen Probenahmevorrichtung	42
Abbildung 7:	Detailansicht (1) der viertelspezifischen Probenahmevorrichtung: Anschluss der Probenehmer an den <i>freeflows MM25</i>	43
Abbildung 8:	Detailansicht (2) der viertelspezifischen Probenahmevorrichtung: elektromagnetische Ventile zum Umleiten des Milchflusses in die zwei viertelspezifischen Behälter (1 und 2)	44
Abbildung 9:	Kugel-Messgeometrie $d/8^\circ$ des spectro-color®	45
Abbildung 10:	Messung der Milchproben mit dem spectro-color® im Überkopfverfahren.....	46
Abbildung 11:	Ausschnitt aus dem Protokoll zur Feststellung von Veränderungen im Viertelanfangsgemelk	48
Abbildung 12:	Arbeitsbereich zur visuellen Überprüfung der Vorgemelke.....	49
Abbildung 13:	Probenahme Reihenfolge während des Vorversuches.....	51
Abbildung 14:	Gewinnen der Testportionen zur Bestimmung der Parameter in Viertelanfangsgemelkproben	55
Abbildung 15:	Probenahme Reihenfolge am VMS™ (Hauptversuch)	56
Abbildung 16:	Interpretation einer Boxplot-Darstellung	61
Abbildung 17:	Beurteilung der Milchbeschaffenheit im Vorgemelk nach GRUNERT (1992) [52] und die dazugehörigen Bereiche des somatischen Zellgehaltes (SCC)	65
Abbildung 18:	Beurteilung der Milchfarbe im Vorgemelk und die dazugehörigen Bereiche des somatischen Zellgehaltes (SCC)	67
Abbildung 19:	Klassifizierung des Milchzelltestes und die dazugehörigen Bereiche des somatischen Zellgehaltes (SCC)	69
Abbildung 20:	Reflexionskurven verschiedener Milchsorten	72
Abbildung 21:	Mittlere spektrale Reflexion der Viertelanfangsgemelke im jeweiligen Wellenlängenbereich (WLB) in Abhängigkeit vom Proteingehalt	73
Abbildung 22:	Mittlere spektrale Reflexion der Viertelanfangsgemelke im jeweiligen Wellenlängenbereich (WLB) in Abhängigkeit vom (logarithmierten) Fettgehalt	74

Abbildung 23: Mittlere spektrale Reflexion der Viertelanfangsgemelke im jeweiligen Wellenlängenbereich (WLB) in Abhängigkeit vom Laktosegehalt	75
Abbildung 24: Mittlere spektrale Reflexion der Viertelanfangsgemelke im jeweiligen Wellenlängenbereich (WLB) in Abhängigkeit vom somatischen Zellgehalt (SCC)	76
Abbildung 25: Reflexionslinien von Viertelanfangsgemelken mit unterschiedlichem somatischem Zellgehalt (Vorversuch).....	78
Abbildung 26: Mittlere spektrale Reflexion im Mastitisband der Viertelanfangsgemelke in Abhängigkeit der Zellzahl-Klassen	79
Abbildung 27: Abweichung der mittleren spektralen Reflexion (SR_{mastitis}) im Mastitisband der Viertelanfangsgemelke zum jeweiligen Referenzviertel	80
Abbildung 28: Somatischer Zellgehalt (SCC) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen	83
Abbildung 29: Verteilung des Verhältnisses von $\log SCC$ im Viertelanfangsgemelk (VAG) zu $\log SCC$ im Viertelgesamtgemelk (VGG)	84
Abbildung 30: Elektrische Leitfähigkeit (LF) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen	85
Abbildung 31: Mittlere spektrale Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen	86
Abbildung 32: Na^+ Gehalt (NA) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen	87
Abbildung 33: Cl^- Gehalt (CL) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen.....	88
Abbildung 34: Beziehung zwischen dem somatischen Zellgehalt im Viertelanfangsgemelk (SCC (VAG)) und dem somatischen Zellgehalt im Viertelgesamtgemelk (SCC (VGG)).....	89
Abbildung 35: Somatischer Zellgehalt ($\log SCC$) und Spektralwerte (SR_{mastitis} , $\Delta SR_{\text{mastitis}}$) im Viertelanfangsgemelk (VAG) und Viertelgesamtgemelk (VGG).....	90
Abbildung 36: Reflexionslinien von Viertelanfangsgemelken mit unterschiedlichem somatischem Zellgehalt (Hauptversuch).....	92
Abbildung 37: Häufigkeitsverteilung der relativen Abweichung zum Referenzviertel in Abhängigkeit des somatischen Zellgehaltes (SCC)	94
Abbildung 38: Mittelwerte der spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}), des Na^+ Gehaltes (NA), des Cl^- Gehaltes (CL) und der elektrischen Leitfähigkeit (LF) der Viertelanfangsgemelke der vier SCC-Klassen	99
Abbildung 39: Mittelwerte der relativen Abweichung zum Referenzviertel der spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}), des Na^+ Gehaltes (NA), des Cl^- Gehaltes (CL) und der elektrischen Leitfähigkeit (LF) der Viertelanfangsgemelke der vier SCC-Klassen.....	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einstufung und Grenzwerte der Anlieferungsmilch.....	4
Tabelle 2:	Einflussfaktoren auf den somatischen Zellgehalt (SCC).....	9
Tabelle 3:	Referenzbereich und Konzentrationsänderung von Milchinhaltsstoffen bei Erkrankung der Milchdrüse.....	11
Tabelle 4:	Beurteilung und Kategorisierung der Milchsekretion aufgrund zytologisch-mikrobiologischer Befunde in Viertelanfangsgemelken ..	14
Tabelle 5:	Milchbeurteilung nach GRUNERT (1992) [52]	16
Tabelle 6:	Bewertung und Klassifizierung des Milchzelltestes	17
Tabelle 7:	Einflussfaktoren auf die elektrische Leitfähigkeit (LF).....	21
Tabelle 8:	Grenzwerte für die elektrische Leitfähigkeit (LF) von Milch gesunder Kühe	23
Tabelle 9:	Korrelation zwischen somatischem Zellgehalt (log SCC) und verschiedener Milchparameter	26
Tabelle 10:	<i>Diagnostische Tests</i> verschiedener Verfahren zur Erkennung der Eutergesundheit	35
Tabelle 11:	Parameter zur Erkennung von Eutererkrankungen bzw. abnormaler Milch in automatischen Melksystemen	36
Tabelle 12:	Erkennung von Mastitis bzw. abnormaler Milch in automatischen Melksystemen (Stand der Technik)	38
Tabelle 13:	Daten der im Vorversuch einbezogenen Kühe (Mai 2001)	50
Tabelle 14:	Anzahl der Viertelanfangsgemelk-Proben je Kuh (Vorversuch Farbmessung)	52
Tabelle 15:	Aufteilung des Viertelgesamtgemelkes (VGG) in Fraktionen.....	53
Tabelle 16:	Daten der im Hauptversuch einbezogenen Kühe (März 2003).....	54
Tabelle 17:	Parametererfassung im Hauptversuch	55
Tabelle 18:	Übersicht über die genommenen Viertelanfangsgemelk-Proben je Kuh (Hauptversuch).....	57
Tabelle 19:	Einteilung der Eutergesundheit in Abhängigkeit des somatischen Zellgehaltes (SCC) des Viertelanfangsgemelkes	58
Tabelle 20:	Einteilung der Eutergesundheit in Abhängigkeit des somatischen Zellgehaltes (SCC) und des bakteriologischen Befundes des Viertelanfangsgemelkes	58
Tabelle 21:	Anzahl der sinnfällig unveränderten bzw. veränderten Vorgemelke in den Zellzahl-Klassen (SCC).....	63
Tabelle 22:	Relative Verteilung [%] der als unverändert bzw. verändert eingestuftten Vorgemelke in Abhängigkeit des Zellgehaltes (SCC)....	64
Tabelle 23:	Anzahl der Vorgemelke in den SCC-Klassen in Abhängigkeit der Farbeinstufung.....	66
Tabelle 24:	Relative Verteilung [%] der als farblich unverändert bzw. verändert eingestuftten Vorgemelke in Abhängigkeit des Zellgehaltes (SCC)....	66
Tabelle 25:	Ergebnisse des Milchzelltestes (CMT) in den Zellzahl-Klassen (SCC)	68
Tabelle 26:	Auswertung des Milchzelltestes mittels <i>Diagnostischem Test</i>	69

Tabelle 27:	<i>Diagnostische Tests</i> verschiedener Überprüfungsmethoden des Vormelkes.....	71
Tabelle 28:	Korrelation (nach PEARSON) zwischen den Milchinhaltsstoffen (Protein, Fett, Laktose und SCC) und der mittleren spektralen Reflexion (SR) in den jeweiligen Wellenlängenbereichen (1.033 VAG und 320 GG)	77
Tabelle 29:	Mittelwerte der mittleren spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) und der relativen Abweichung der mittleren spektralen Reflexion ($\Delta SR_{\text{mastitis}}$) der Viertelanfangsgemelke zum jeweiligen Referenzviertel in den SCC-Klassen (Vorversuch).....	80
Tabelle 30:	Mittelwerte der mittleren spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) und der relativen Abweichung der mittleren spektralen Reflexion ($\Delta SR_{\text{mastitis}}$) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den SCC-Klassen (Hauptversuch).....	93
Tabelle 31:	Mittelwerte der mittleren spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) und der relativen Abweichung der mittleren spektralen Reflexion ($\Delta SR_{\text{mastitis}}$) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den erweiterten SCC-Klassen (Hauptversuch, Viertelanfangsgemelke).....	95
Tabelle 32:	Mittelwerte der elektrischen Leitfähigkeit (LF) und der relativen Abweichung der elektrischen Leitfähigkeit (ΔLF_{rel}) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den SCC-Klassen (Hauptversuch, Viertelanfangsgemelke).....	96
Tabelle 33:	Mittelwerte des Na^+ Gehaltes (NA) und der relativen Abweichung des Na^+ Gehaltes ($\Delta \text{NA}_{\text{rel}}$) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den SCC-Klassen (Hauptversuch, Viertelanfangsgemelke).....	97
Tabelle 34:	Mittelwerte des Cl^- Gehaltes (CL) und der relativen Abweichung des Cl^- Gehaltes ($\Delta \text{CL}_{\text{rel}}$) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den SCC-Klassen (Hauptversuch, Viertelanfangsgemelk).....	98
Tabelle 35:	Korrelationskoeffizient (nach PEARSON) zwischen dem logarithmierten somatischen Zellgehalt (logSCC) und der erfassten Parameter im Viertelanfangsgemelk (n=1.120 VAG)	100
Tabelle 36:	Sensitivitätswerte der gemessenen Parameter (absolut und relativ) in Abhängigkeit vom Grenzwert für auffällige bzw. nicht auffällige Viertelanfangsgemelke (angegeben durch den somatischen Zellgehalt) bei einer Spezifität von 95 %	101
Tabelle 37:	Schrittweise Regression zur Bestimmung des logarithmierten somatischen Zellgehaltes (Variante 2)	102
Tabelle 38:	Sensitivitätswerte der Parameterkombinationen (Variante 1 und 2) in Abhängigkeit vom Grenzwert für auffällige bzw. nicht auffällige Viertelanfangsgemelke (angegeben durch den somatischen Zellgehalt) bei einer Spezifität von 95 %	103
Tabelle 39:	Sensitivitätswerte [%] der Parameterkombinationen (Variante 1 und 2) in Abhängigkeit vom Grenzwert für auffällige bzw. nicht auffällige Viertelanfangsgemelke (angegeben durch den (zyto-) bakteriologischen Befund) bei einer Spezifität von 95 %.....	104

Anhangsverzeichnis

Anhang A1:	Bekanntmachung über die Anwendung bestimmter Maßnahmen in Milcherzeugerbetrieben mit automatischen Melkverfahren bis zum Vorliegen entsprechender Rechtsvorschriften	129
Tabelle A2:	Milchparameter in den einzelnen Gemelksfraktionen in Abhängigkeit der Zellzahl-Klassen (SCC) (Vorversuch)	132
Tabelle A3:	Mittlere spektrale Reflexion in den unterschiedlichen Wellenlängenbereichen (WLB) in Abhängigkeit der Zellzahl-Klassen (SCC) (Hauptversuch)	133
Tabelle A4:	Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und gemessenen Parametern im Viertelanfangsgemelk	134
Tabelle A5:	Somatischer Zellgehalt (logSCC) und Spektralwerte (SR_{mastitis} , $\Delta SR_{\text{mastitis}}$) in Abhängigkeit der Zellzahl-Klassen (SCC) im Viertelanfangsgemelk (VAG) und Viertelgesamtgemelk (VGG)	135
Tabelle A6:	Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und Spektralwerten aller Viertelgemelke	136
Tabelle A7:	Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und Spektralwerten der Viertelgemelke der SCC I	136
Tabelle A8:	Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und Spektralwerten der Viertelgemelke der SCC II&III	137
Tabelle A9:	Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und Spektralwerten der Viertelgemelke der SCC IV	137

Abkürzungsverzeichnis

<i>AMS</i>	automatisches Melksystem
<i>bakt.</i>	bakteriologisch
<i>BMVEL</i>	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
<i>CIE</i>	Commission International d'Eclairage (Internationale Beleuchtungskommission)
<i>CL</i>	Chlorid-Gehalt
<i>CMT</i>	California Mastitis Test (Schalm-Test, Milchzelltest)
<i>DVG</i>	Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V., Gießen
<i>LF</i>	Elektrische Leitfähigkeit
<i>GG</i>	Gesamtgemelk
<i>IDF</i>	International Dairy Federation
<i>KON</i>	koagulase negative Staphylococcen
<i>LF</i>	elektrische Leitfähigkeit
<i>lh</i>	links hinten
<i>logSCC</i>	logarithmierter Zellgehalt (\log_{10})
<i>lv</i>	links vorne
<i>MAX</i>	Maximalwert
<i>MilchVO</i>	Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis (Milchverordnung)
<i>MIN</i>	Minimalwert
<i>MPR</i>	Milchprüfring
<i>NA</i>	Natrium-Gehalt
<i>n.s.</i>	nicht signifikant
<i>n.v.</i>	nicht vorhanden
<i>PMN</i>	neutrophil polymorphonuclear (polymorphkernige neutrophile Granulozyten)
<i>p.p.</i>	post partum (nach Geburt)
<i>r</i>	Korrelationskoeffizient
<i>RAL</i>	Reichsausschuss für Lieferbedingungen
<i>rh</i>	rechts hinten
<i>rv</i>	rechts vorne
<i>SCC</i>	Somatic Cell Count (somatischer Zellgehalt)
<i>SD</i>	Standard Deviation (Standardabweichung)
<i>SEM</i>	Standard Error of Means (Standardfehler der Mittelwerte)
<i>Sens</i>	Sensitivität
<i>Spez</i>	Spezifität
<i>SR</i>	spektrale Reflexion
<i>StdAbw</i>	Standardabweichung
<i>Staph.</i>	Staphylococcus
<i>Strep.</i>	Streptococcus
<i>TGD Bayern</i>	Tiergesundheitsdienst Bayern e.V.
<i>VAG</i>	Viertelanfangsgemelk
<i>VEG</i>	Viertelendgemelk
<i>VMG</i>	Viertelmittelgemelk
<i>VGG</i>	Viertelgesamtgemelk
<i>VMSTM</i>	Voluntary Milking System (DeLaval)
<i>WLB</i>	Wellenlängenbereich
<i>ZMZ</i>	Zwischenmelkzeit
<i>zyto-bakt.</i>	zyto-bakteriologisch

1 Einleitung

Mit mehr als 9,65 Mrd. € pro Jahr (2002) stellt die Milcherzeugung eine Haupteinnahmequelle der deutschen Landwirtschaft und die Haupteinnahmequelle der bayerischen Landwirtschaft (2002: 2,67 Mrd. €) dar [11]. Obwohl der Pro-Kopf-Verbrauch an Milchprodukten insgesamt leicht rückläufig ist, wurden im Jahr 2002 vom deutschen Konsumenten 331 kg Milch (ca. 90 l Frischmilch plus weiter verarbeitete Milchprodukte) verzehrt [162]. Die genannten Verbrauchszahlen und eine emnid-Umfrage zeigen, dass der Verbraucher dem Produzenten vertraut und sich auf die Qualität der Milch verlässt [69].

Auf Grund des steigenden Preisdruckes (sinkender Milchauszahlungspreis) sind die Milchproduzenten dazu angehalten, pro eingesetztem Faktor (z.B. Arbeitszeit und Tier) eine höhere Produktivität bei gleichbleibender Qualität zu erzielen. Da die Melkarbeit den größten Zeitaufwand in Milchviehbetrieben in Anspruch nimmt, sehen daher viele Experten eine Chance im automatischen Melken, um die Arbeitsbelastungen für die Landwirte zu senken aber auch die Milchleistung pro Kuh und Jahr durch mehrmaliges Melken pro Tag zu steigern [20], [133], [150].

Die erste Phase, in der es um grundlegende Dinge in der Entwicklung und um die Funktionsfähigkeit von automatischen Melksystemen (AMS) ging, scheint abgeschlossen zu sein. Dies belegen die Zahlen der bis Dezember 2003 verkauften Systeme. Weltweit werden auf über 2.200 Betrieben mit mehr als 3.800 Melkboxen Kühe automatisch gemolken. In Deutschland beläuft sich die Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe, in denen ein AMS installiert ist, auf ca. 200 Betriebe [28]. In Bayern waren in 65 Betrieben im März 2004 automatische Melksysteme eingebaut [81].

Zur Zeit zeichnet sich eine zweite Phase ab, in der erweiterte Funktionen zur Gewährleistung von Qualitätsstandards der Milch wie auch die Prüfung auf sinnfälliger veränderte Milch und die sichere Erkennung von Euter- und Allgemeinerkrankungen der Tiere in den Vordergrund gerückt sind. Diese Fragestellungen sind unter den Aspekten

- der Tiergerechtigkeit → Sicherung der Euter- und Tiergesundheit,
- der gesetzlichen Bestimmungen → Sicherung der Milchqualität und
- der Kosten → Sicherung der Wirtschaftlichkeit

sehr bedeutend und müssen sowohl von der Forschung als auch von den Entwicklern in den Herstellerfirmen im zunehmenden Maße berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse des Ende 2003 abgeschlossenen EU-Projektes „*Implications of the introduction of automatic milking on dairy farms*“ zeigen, dass bei AMS nach einer ungefähr 6-monatigen Umstellungsphase die gleiche Milchqualität wie zuvor erreicht werden konnte. Der Zellgehalt der Tankmilch lag in dieser Periode bei allen Betrie-

ben über dem Mittelwert der konventionell melkenden Betriebe, stabilisierte sich aber nach dieser Umstellungszeit im Bereich der konventionell melkenden [29]. Auf Einzeltierebene konnte gerade bei frischlaktierenden Kühen ein erhöhter Zellgehalt festgestellt werden. Bei Tieren mit mehr als 60 Laktationstagen wurde kein Unterschied im somatischen Zellgehalt im Vergleich zu konventionell gewonnenen Gesamtmelken gefunden [113].

Eutererkrankungen spiegeln sich v.a. in einem erhöhten Zellgehalt wider. Die Diagnose von Eutererkrankungen ohne äußerliche Anzeichen oder Veränderungen der Milch ist durch die Bestimmung verschiedener Milchinhaltstoffe möglich. Stand der Technik zur Überwachung der Eutergesundheit beim automatischen Melken und somit auch in gewissem Maße der Milchqualität stellt momentan die Erfassung der elektrischen Leitfähigkeit der Milch je Euterviertel, zum Teil kombiniert mit einer viertelbezogenen Überwachung der Milchmenge dar. Da aber die Messung dieser beiden Parameter eine ausreichende Erkennungsrate nicht gewährleisten kann, müssen andere Verfahren und Sensoren zusätzlich herangezogen werden. Zwar gibt es hierzu bereits Ansätze, z.B. die Nah-Infra-Rot-Spektroskopie oder die direkte Bestimmung des Zellgehaltes in die Melksysteme zu integrieren, jedoch sind diese sehr aufwändige und kostenintensive Verfahren.

Die Messung der spektralen Reflexion stellt dagegen ein aus der Lebensmittelindustrie bekanntes und kostengünstiges Verfahren dar. Im Rahmen dieser Arbeit soll geklärt werden, ob damit nützliche Informationen über die Eutergesundheit gewonnen werden können, und ob in Kombination mit der bis jetzt eingesetzten Messung der elektrischen Leitfähigkeit und der direkten Bestimmung des Ionengehaltes der Milch eine ausreichend hohe Erkennungsrate erzielt werden kann.

2 Stand des Wissens

2.1 Anforderungen an die Milchproduktion

2.1.1 Gesetzliche Anforderungen an die Milcherzeugung

2.1.1.1 Allgemeine Anforderungen

Der Gesetzgeber hat aufgrund seiner Verantwortung für die gesundheitliche Unbedenklichkeit von Lebensmitteln die „Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis“ (*kurz*: Milchverordnung [17]) erlassen. Sie dient u.a. der Umsetzung der Richtlinien 89/362/ELF und 92/46/ELF der Europäischen Gemeinschaft. In dieser Verordnung werden alle mit der Milcherzeugung verbundenen Begriffe, Anforderungen und Qualitätskriterien geregelt [82].

Zunächst wird in § 2 Abs. 1 der Begriff „Milch“ wie folgt definiert: Milch ist „das durch ein- oder mehrmaliges Melken gewonnene unveränderte Eutersekret von zur Milchgewinnung gehaltenen Kühen“ [17]. Den Milcherzeuger unmittelbar betreffen folgende Paragraphen der Milchverordnung:

- § 3: Gewinnen und Behandeln von Rohmilch: Der Erzeugerbetrieb muss den Anforderungen entsprechen und die Rohmilch darf keine anormalen sensorischen Merkmale aufweisen.
- § 16: Betriebseigene Kontrolle und Nachweise: Milch darf nicht durch Stoffe mit pharmakologischer oder hormonaler Wirkung, sowie nicht mit Antibiotika, Pestiziden, Reinigungsmitteln und anderen Stoffen belastet sein.
- § 16a: Rückstandsuntersuchungen: Ein Eintrag von unerwünschten Stoffen (z.B. Rückstände von Medikamenten) soll unterbunden werden.
- § 17: Nichteinhaltung der Anforderungen an Milch (Keimzahl oder somatischer Zellgehalt), die in der Milch-Güteverordnung geregelt sind.
- § 18: Verkehrsverbote für die ersten Milchstrahlen aus jeder Zitze und für Kolostralmilch bis fünf Tage nach dem Kalben.

In Anlage 3 der Milchverordnung formuliert der Gesetzgeber seine Anforderungen an das Melken, das Behandeln der Milch sowie an die damit befassten Personen. Folgende Punkte sind darin vorgeschrieben:

- Das Euter von Tieren, von denen Milch als Lebensmittel gewonnen wird, muss sauber sein.
- Die ersten Milchstrahlen aus jeder Zitze sind gesondert zu melken, um sich durch Prüfen des Aussehens von der einwandfreien Beschaffenheit der Milch von jedem Tier zu überzeugen (Sichtprüfung durch die melkende Person).

Die Überprüfung der milcherzeugenden Betriebe ist durch ein gesetzlich vorgeschriebenes Probeverfahren in der Milch-Güteverordnung [19] geregelt, das u. a. auch die Basis für den Milchauszahlungspreis bildet. In Tabelle 1 sind für die jeweili-

gen Parameter die Grenzwerte der Güteklassen sowie die gesetzliche Grenze aufgelistet. Die Milchgüte-Verordnung wird in den einzelnen Bundesländern durch Durchführungsverordnungen, in denen auch die Anzahl der monatlichen Mindestuntersuchungen festgeschrieben sind, umgesetzt.

Im Freistaat Bayern wurde der Milchprüfing Bayern e.V. (MPR) vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten mit der Untersuchung, Güteprüfung und Bewertung der Anlieferungsmilch beauftragt. Bei Überschreitung der gesetzlichen Grenzen der Keimzahl (100.000 Keime/ml) bzw. des somatischen Zellgehaltes (400.000 Zellen/ml) erfolgt eine Mitteilung durch den MPR an die zuständige Veterinärbehörde.

Tabelle 1: Einstufung und Grenzwerte der Anlieferungsmilch

Parameter	Güte- klasse	Grenzwert	Bemerkung	Anzahl monatlicher Mindestunter- suchungen (Bayern)
Keimzahl [1/ml] (geom. Mittel über drei Monate)	S	50.000		
	1	100.000		2
	2	>100.000	Abzug von 2 Ct/kg	
Gehalt an somatischen Zellen [1/ml] (geom. Mittel über drei Monate)	S	300.000		
	normal	400.000		2
		>400.000	Abzug von 1 Ct/kg	
Hemmstoffe		keine	bei positivem Befund Abzug von 5 Ct/kg für kompletten Mo- nat	4
Gefrierpunkt [°C]		-0,515	Annahmever- weigerung durch Molkerei	2

Quelle: Milch-Güteverordnung [19] und Informationen von MPR Bayern [92]

2.1.1.2 Spezielle Anforderungen bei automatischen Melksystemen

Die Erfüllung der Forderungen des Gesetzgebers wird beim Einsatz automatischer Melksysteme (AMS) erschwert. Dies betrifft insbesondere die Anforderungen auf Überprüfung der Sauberkeit des Euters vor Melkbeginn und auf Sichtprüfung der

ersten Milchstrahlen durch die melkende Person. Daher wurde vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) am 13.02.2001 die „Bekanntmachung über die Anwendung bestimmter Maßnahmen in Milcherzeugerbetrieben mit automatischen Melkverfahren bis zum Vorliegen entsprechender Rechtsvorschriften“ (*kurz*: Maßnahmenkatalog) im Bundesanzeiger erlassen. Darin ist eine Reihe von Maßnahmen bzw. Vorgaben festgelegt, die sich u.a. auf den somatischen Zellgehalt der Ablieferungsmilch beziehen. Bereits bei zweimaligem aufeinanderfolgendem Überschreiten des Grenzwertes von 300.000 Zellen/ml im arithmetischen Mittel müssen bestimmte Maßnahmen ergriffen werden. Zusätzlich ist der Landwirt verpflichtet, neben den zwei Mal täglichen Routinekontrollen im Stall, die vom AMS aufgezeichneten Informationen zu sichten und auszuwerten. Alle Maßnahmen bezüglich der Tier- und Eutergesundheit sind zu protokollieren und mind. 24 Monate aufzubewahren. Nähere Einzelheiten dazu sind dem Abdruck des Maßnahmenkataloges im Anhang A1 zu entnehmen.

2.1.2 Qualitätssicherungssysteme

Nach LENGERKEN ET AL. (2003) [82] ist die „Good Manufacturing Practice“ (GMP) in der Landwirtschaft das am weitest verbreitete System zur Qualitätssicherung. Die GMP - auch als „gute Herstellungspraxis“ bezeichnet - beschreibt den jeweiligen Stand der Technik von Herstellungs- und Behandlungsverfahren und die Anwendung von Hygiene und sonstige Maßnahmen, durch die ein anerkannter Qualitätsstandard von Lebensmitteln erreicht wird. „Somit beruht die GMP auf dem ureigensten Selbstverständnis eines Berufsstandes“ [82].

Auf Initiative des Deutschen Bauernverbandes, des Deutschen Raiffeisenverbandes und des Milchindustrieverbandes hat eine Arbeitsgruppe die Grundlage für ein bundeseinheitliches Qualitätssicherungssystem „Qualitätsmanagement Milch“ (QM Milch) erarbeitet. Die Lebensmittel-Kette wird von der Erzeugung bis zur Molkerei laufend kontrolliert und dokumentiert. QM Milch dient zur Eigenkontrolle der Milchwirtschaft. Kernelemente sind Rohmilchuntersuchung, Futtermitteldokumentation und betriebliche Dokumentation durch Selbstauskunft des Milcherzeugers (Bestandsregister, Haltung und Management), sowie die unabhängige Kontrolle der Erzeugerbetriebe. Folgende Punkte der QM Milch gehen über die in der Milchverordnung genannten Hygiene- und Qualitätsanforderungen hinaus:

- Nachweis von Zellzahluntersuchungen bei auffälligen Einzeltieren,
- zweijährige Aufbewahrungspflicht der Lieferscheine von Zukauffuttermitteln,
- Vorlage einer Unbedenklichkeitserklärung für zugekaufte Einzelfuttermittel und
- eine regelmäßige Wartung der Melkanlagen.

Verschiedene Gremien erarbeiten zur Zeit - vor dem Hintergrund der Qualitätssicherungssysteme, wie HACCP o.ä., - auf deutscher, europäischer und internationaler Ebene Normen für den Bereich des automatischen Melkens. Neben den technischen Details der Anlagen sollen unter anderem die Begriffe der „abnormalen“ und „nicht lieferfähigen“ Milch definiert und niedergeschrieben werden. Die zur Erkennung von abnormaler bzw. nicht lieferfähiger Milch eingesetzte Sensortechnik muss dabei bestimmte Kriterien erfüllen. Diese Kriterien beruhen auf den berechneten Validitätsmaßen des sog. *Diagnostischen Testes* (Sensitivität und Spezifität). Zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit lagen noch keine endgültigen Aussagen aus den Gremien vor.

2.2 Eutergesundheit und Veränderung der Milchezusammensetzung

Die verlustreichsten Krankheiten im Bereich der Milchviehhaltung stellen die Störungen der Eutergesundheit dar. Die Laktationsleistung euterkranker Tiere kann um mehr als 500 kg Milch und 20 kg Fett gegenüber der Laktationsleistung gesunder Kühe sinken. Insgesamt muss für eine Kuh mit Mastitis mit finanziellen Verlusten von mehr als 500 € pro Jahr gerechnet werden [161]. Eine Auswertung des Eutergesundheitsdienstes Bayern im Winter 1995/96 belegt, dass mehr als 50 % der bayerischen Betriebsleiter Störungen der Eutergesundheit in ihrer Herde erst dann erkannt haben, wenn die Grenze von 400.000 somatischen Zellen/ml in der Anlieferungsmilch überschritten war. Die daraus bedingten finanziellen Ausfälle werden pro erzeugtem kg Milch auf 3,5 Cent geschätzt. Diese theoretischen Kosten setzen sich wie folgt zusammen:

- 70 % Einnahmenausfall durch verringerte Milchleistung,
- 11 % durch nicht verwertbare Milch und
- 19 % durch erhöhten Betreuungsaufwand, erhöhte Tierverluste und Tierarztkosten [1].

Euterentzündungen kommt daher eine erhebliche ökonomische Bedeutung zu.

Probleme in der Eutergesundheit verursachen aber nicht nur Minderleistungen in der Milchproduktion und damit verbundene finanzielle Einbußen, sondern reduzieren auch die Qualität der Ablieferungsmilch, sowohl durch erhöhten Keimgehalt als auch durch eine verkürzte Haltbarkeit auf Grund eines bei erhöhtem Zellgehalt niedrigeren Casein-Gehaltes [128]. Dieser Aspekt darf auch im Hinblick auf einen immer stärker nach Qualität fragenden Konsumenten nicht vernachlässigt werden, auch wenn bisher kein Beweis für einen signifikanten Einfluss eines erhöhten Zellgehaltes auf die menschliche Gesundheit festgestellt werden konnte [142].

2.2.1 Änderungen in der Milchzusammensetzung

Die Bestimmung des Gehalts an somatischen Zellen in der Milch ist seit den 60-er Jahren ein etabliertes Verfahren zur Feststellung der Eutergesundheit [27]. Im englischsprachigen Raum wird die Messung des somatischen Zellgehaltes im Rahmen der Eutergesundheits- und Milchqualitätsüberwachung deshalb auch als „Golden Standard“ bezeichnet [124].

Das Zelldifferentialbild der bovinen Milch setzt sich hauptsächlich aus Makrophagen, Lymphozyten, neutrophilen Granulozyten (PMN) und zu einem geringen Teil aus Epithelzellen zusammen [24], [73], [107]. Das Verhältnis der Zellfraktionen untereinander ist von verschiedenen Faktoren, wie z.B. der Laktationsnummer, dem Laktationsstadium und der Gemelksfraktion abhängig. Hauptsächlich wird die Zusammensetzung stark vom Gesundheitsstatus der Milchdrüse beeinflusst [24], [98].

Eine Erkrankung der Milchdrüse in der Gesamtheit ihrer milchbildenden, -speichernden und -ableitenden Abschnitte wird als Mastitis bezeichnet [137]. Sie entsteht durch Eindringen und Vermehrung pathogener Mikroorganismen in der Milchdrüse. Das natürliche Abwehrsystem wird durch die Anwesenheit dieser körperfremden Mikroorganismen angeregt. Die Aktivierung des Immunsystems führt zu einem Anstieg der Leukozyten, v.a. der neutrophilen Granulozyten (PMN), wodurch der Gehalt an somatischen Zellen in der Milch exponentiell ansteigt [27], [135]. Diese PMN phagozytieren die eingedrungenen Mikroorganismen. Durch verstärkten Eintritt der Zellen in die Milch öffnen sich die tight junctions der Blut-Milch-Schranke und werden somit zu leaky junctions. Dies führt zu einem verstärkten Austausch von Blut- und Milchinhaltsstoffen (Abbildung 1) [93], [145].

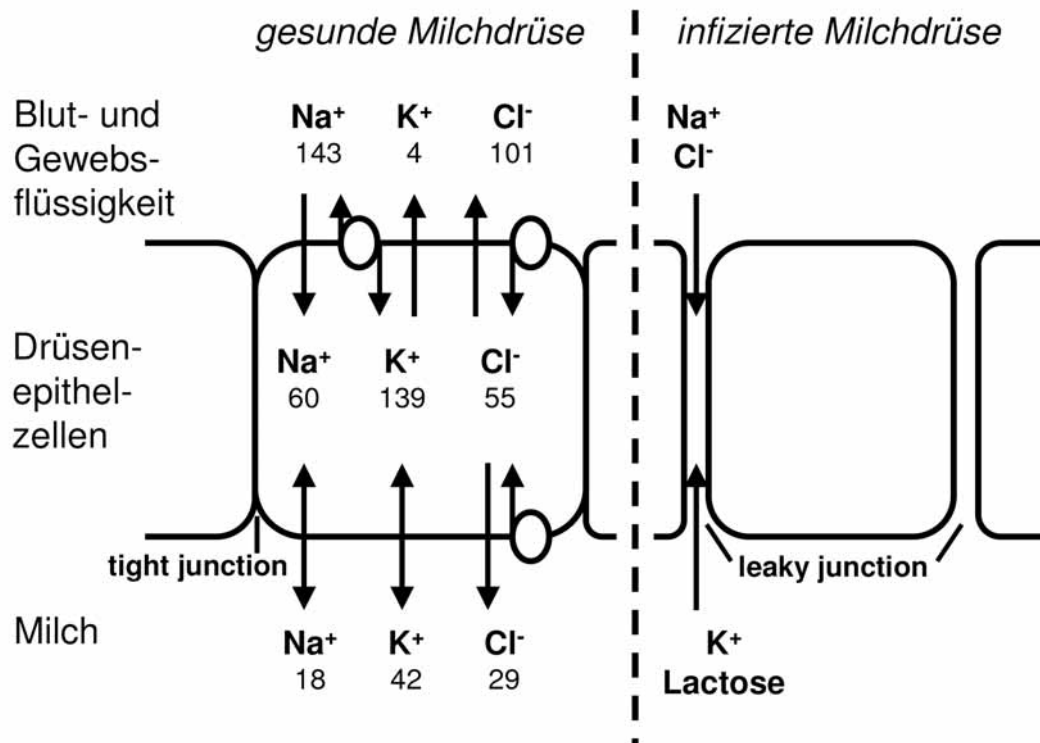


Abbildung 1: Schematische Darstellung von Ionen- und Laktosebewegung zwischen Blut, Milchdrüsenepithelzelle und Milch.

Angabe der Ionenkonzentration in [mmol/l]
nach: PEAKER (1975) [108]

Das Verhältnis der Zellfraktionen und die Gesamtanzahl von somatischen Zellen in Milch wird jedoch nicht nur durch den Gesundheitszustand der Milchdrüse, sondern auch von Laktationsnummer, Laktationstag und teilweise durch die verschiedenen Gemelksfraktionen beeinflusst. Tabelle 2 gibt einen Überblick über tierindividuelle und umweltassoziierte Einflüsse. Auch die einzelnen Fraktionen einer Melkung werden von einigen Autoren als Einflussfaktor auf den somatischen Zellgehalt angegeben [56], [100] (siehe Kap. 2.2.2).

Tabelle 2: Einflussfaktoren auf den somatischen Zellgehalt (SCC)

Faktoren	Beobachtung	Quelle
Laktationsnummer		
	mit zunehmender Laktation Anstieg des durchschnittlichen SCC	DOGGWEILER & HESS (1983) HOLDAWAY ET AL. (1996)
Laktationsstand		
	mit voranschreitender Laktation Anstieg des SCC	DOGGWEILER & HESS (1983)
	hoher SCC in den ersten Tagen der Laktation und Anstieg des SCC bis zum Ende der Laktation	REICHMUTH (1975)
Milch-Fractionen		
	höchster SCC in Zisternen- und Residualmilch	ONTSOUKA ET AL. (2003)
	Anstieg des SCC im Verlauf des Melkvorgangs, höchster Wert im Viertelnachmelk	HAMANN & GYODI (1999)
Umwelteinflüsse (z.B. Fütterung, Stress und Jahreszeit)		
	Einfluss der Futterqualität auf SCC	BARKEMA ET AL. (1999)
	Anstieg des SCC durch Stresseffekt	REICHMUTH (1975)
Melkintervall		
	erhöhter SCC, wenn ZMZ < 4h	ICHIKAWA ET AL. (1985) SMITH & SCHULTZE (1967)
	höherer SCC im Abendmelk (kürzeres Melkintervall)	MARSCHKE ET AL. (1987)
Rasse		
	Unterschied zwischen Rassen	DOGGWEILER & HESS (1983)
	herdenindividuelle Einflüsse	COFFEY ET AL. (1986)

nach: REDETZKY (2000) [120]

Bei einer Erkrankung der Milchdrüse ändert sich nicht nur der Gehalt an somatischen Zellen in der Milch, sondern es kommt auch zu einer Verschiebung der Ionenkonzentration sowohl in der Milch als auch im Blut. Zusätzlich zu diesem Ionenaustausch (v.a. Na^+ , Cl^- und K^+) nimmt bei einer defekten Blut-Milch-Schranke (leaky junction) die Laktose-Konzentration in der Milch ab. Bedingt durch die enge Verknüpfung der Laktosesynthese und der Produktion der wässrigen Phase der Milch im Drüsenepithel, geht auch die Milchproduktion zurück [91]. Die

Aufrechterhaltung des osmotischen Gleichgewichtes wird bei intakter Milchdrüse ebenfalls durch die Laktosesynthese in den Drüsenepithelzellen geregelt. Bei einer Infektion und der dadurch verbundenen Öffnung der tight junctions mit Abwanderung der Laktose in Richtung Blut muss das osmotische Gefälle durch einen Ionenaustausch (Na^+ , Cl^- und K^+) wieder stabilisiert werden.

Wenn bei weiterem Fortgang die Blut-Milch-Schranke mehr und mehr zerstört wird, sind zudem sichtbare Änderungen in der Milch und am Euter zu erkennen. Diese Änderungen zeigen sich als Flocken oder Klumpen in der Milch oder in einer Schwellung des Euters [67].

Tabelle 3 gibt neben den Referenzbereichen für die wichtigsten Milchinhaltstoffe auch die Konzentrationsänderung bei Erkrankung der Milchdrüse wieder. Im oberen Bereich der Tabelle finden sich die Milchinhaltstoffe, deren Konzentration bei Erkrankung im Vergleich zur gesunden Milchdrüse abnimmt, im unteren Bereich die Milchinhaltstoffe, die bei einer Infektion mit einem Konzentrationsanstieg in der Milch zu verzeichnen sind.

So beobachteten BERGLUND ET AL. (2004) [14] bei infizierten Vierteln einen relativen Rückgang des Fettgehaltes in Viertelgesamtgemelken von ca. 4 % und des Laktosegehaltes von ca. 3,5 %. FERNANDO ET AL. (1985) [44] errechneten 6 % weniger Laktose in Milch der Vorgemelke von infizierten Vierteln im Vergleich zur Milch gesunder Euterviertel. Für Kalium konnten FERNANDO ET AL. (1985) [44] nur im Nachgemelk einen signifikanten Rückgang von ca. 8 % ermitteln.

FERNANDO ET AL. (1985) [44] ermittelten einen Anstieg von Na^+ (+30 %) und Cl^- Ionen (+20 %) in Vorgemelken eutererkrankter Kühe. Bei eigenen Untersuchungen ergaben sich sogar Konzentrationsänderungen von mehr als 180 % für Na^+ und 40 % für Cl^- Ionen zwischen Vorgemelken (vor Beginn der Milchejektion), die mehr als 500.000 Zellen/ml bzw. weniger als 100.000 Zellen/ml aufwiesen [155].

Untersuchungen von KRÖMKER ET AL. (1997) [79] haben gezeigt, dass bei entstehender Mastitis die NAGase-Aktivität in Milch um mehr als 2.000 % und die Laktatkonzentration um mehr als 100 % im Vergleich zu gesunden Vierteln zunimmt.

Die LDH-Konzentration von Viertelanfangsgemelken gesunder Euterviertel liegt nach SOMMER ET AL (1986) [144] und ANDERSSON (1991) [2] zwischen 60 und 100 U/l. Für die Mastitisiendiagnose setzte ANDERSSON (1991) [2] den Grenzwert für diesen Parameter im Bereich von 120 bis 150 U/l.

KITCHEN (1981) [75] beobachtete, dass die Konzentration von Lactoferrin und Immunglobulin in erkrankten Milchdrüsen um das 5 bis 6-fache im Vergleich zu Milch mit normalem Zellgehalt ansteigen kann. Einen etwas geringeren Anstieg konnte SCHULTZE (1985) [136] für Serum-Albumin (ca. 250 %) beobachten.

Tabelle 3: Referenzbereich und Konzentrationsänderung von Milchinhaltsstoffen bei Erkrankung der Milchdrüse

Inhaltsstoffe	Referenzbereich (gesunde Milchdrüse)	Konzentrationsänderung (bei Erkrankung der Milchdrüse)	Quelle
Fett [%]	2,9 - 5,0	--	ÖZPINAR (1983)
Laktose [%]	3,9 - 5,7	--	FERNANDO ET AL. (1985) SCHULZ ET AL. (1998)
Calcium [%]	1,2 - 1,4	--	KITCHEN (1981)
Glucose [$\mu\text{mol/l}$]	290 - 500	--	GRABOWSKI (2000)
Galactose [$\mu\text{mol/l}$]	175 - 650	--	GRABOWSKI (2000)
Kalium [mmol/l]	38 - 45	--	FERNANDO ET AL. (1985) BURVENICH (1983)
Protein [%]	3,0 - 3,8	0	WITTKOWSKI (1979)
Natrium [mmol/l]	10 - 25	++	FERNANDO ET AL. (1985) BURVENICH (1983) WIEDEMANN ET AL. (2003)
Chlorid [mmol/l]	20 - 70	++	FERNANDO ET AL. (1985) BURVENICH (1983) WIEDEMANN ET AL. (2003)
Laktat [$\mu\text{mol/l}$]	21 - 54	++	GRABOWSKI (2000)
Pyruvat [$\mu\text{mol/l}$]	4,0 - 6,5	++	GRABOWSKI (2000)
Laktatdehydrogenase (LDH) [U/l]	<100	++	ANDERSSON (1991)
N-acetyl- β -D-glucosaminidase (NAGase) [$\text{mmol ml}^{-1} \text{min}^{-1}$]	1,5 - 4,5	++	BERNING & SHOOK (1992) KRÖMKER ET AL. (1999)
Serum-Albumin [%]	0,02	++	SCHULTZE (1985)
Lactoferrin [%]	0,02	++	KITCHEN (1981)
Immunoglobulin [%]	0,10	++	KITCHEN (1981)

(--) Abnahme, (0) nicht beeinflusst, (++) Anstieg
nach: HARMON (1994) [61] und PYÖRÖLÄ & PYÖRÖLÄ (1997) [115]

Die teilweise großen Spannbreiten der Referenzbereiche ergeben sich dadurch, dass die verschiedenen Autoren einerseits mit unterschiedlichen Messapparaturen, andererseits aber auch mit verschiedenen Gemelksfraktionen gearbeitet haben. Der Einfluss der Stimulation und der einsetzenden Milchejektion auf die Zusammensetzung der Milch Inhaltsstoffe soll im folgenden näher beschrieben werden.

2.2.2 Einfluss der Stimulation und der Milchejektion auf die Milch Inhaltsstoffe

Bei Kühen ist der größte Anteil der Milch in den Alveolarzellen gespeichert und steht erst nach Beginn der Milchejektion zur Verfügung [76], [111]. Jedoch ist ungefähr 20 % der produzierten Milch im Zisternenbereich gelagert, so dass sie sofort zu Melkbeginn - vor dem Start der Milchejektion - abgemolken werden kann [21].

Die Änderungen der Milchzusammensetzung, speziell aber die Änderungen der Leitfähigkeitswerte in den einzelnen Milchfraktionen wurden von verschiedenen Autoren beschrieben [56], [85], [100], [157]. Sie kamen zu den Ergebnissen, dass während des Melkprozesses die höchsten Leitfähigkeitswerte vor Beginn der Milchejektion beobachtet werden konnten und diese kontinuierlich abnahmen. Teilweise konnten im Nachgemelk wieder ansteigende Werte ermittelt werden.

WIEDEMANN ET AL. (2003) [155] überprüften darüber hinaus die Veränderungen der Milch Inhaltsstoffe während der Vorstimulation. Dabei wurden im 20 s Abstand sieben Proben von jeweils 35 ml Portionen abgemolken. Außer diesen Probemengen wurde keine weitere Milch während der Vorstimulation ermolken. Hiermit wurde überprüft, inwieweit sich eine Reinigung der Zitzen und die damit verbundene Vorstimulation auf die erfassten mastitisdiagnostizierenden Parameter auswirkte. Die Ergebnisse zeigten, dass alle erfassten Parameter wie SCC, LF, sowie NA und CL erst im Bereich von 60 s nach Beginn der Vorstimulation in allen drei SCC-Klassen (SCC I <100.000 Zellen/ml, SCC II&III 100.000-500.000 Zellen/ml, SCC IV >500.000 Zellen/ml) abnahmen (Abbildung 2). Die durch das Abmelken der Milchproben induzierte Milchejektion verursachte eine Durchmischung der Zisternenmilch mit Teilen der Alveolarmilch, was zu einer extremen Änderung der Ionenkonzentrationen und somit auch der Leitfähigkeitswerte führte. BRUCKMAIER UND HILGER (2001) [22] ermittelten, dass die Milchejektion im Bereich 50 bis 100 s nach Beginn der Vorstimulation einsetzte und vom Grad der Euterfüllung abhängig war. Dies wurde auch von WIEDEMANN ET AL. (2003) in diesen Untersuchungen beobachtet. Auf Grund der einsetzenden Milchejektion nahm die Aussagekraft der Parameter LF, NA und CL für eine Mastitisdiagnose ab, obwohl die logarithmierten Zellgehalte nur geringfügig in den unterschiedlichen Klassen abnahmen.

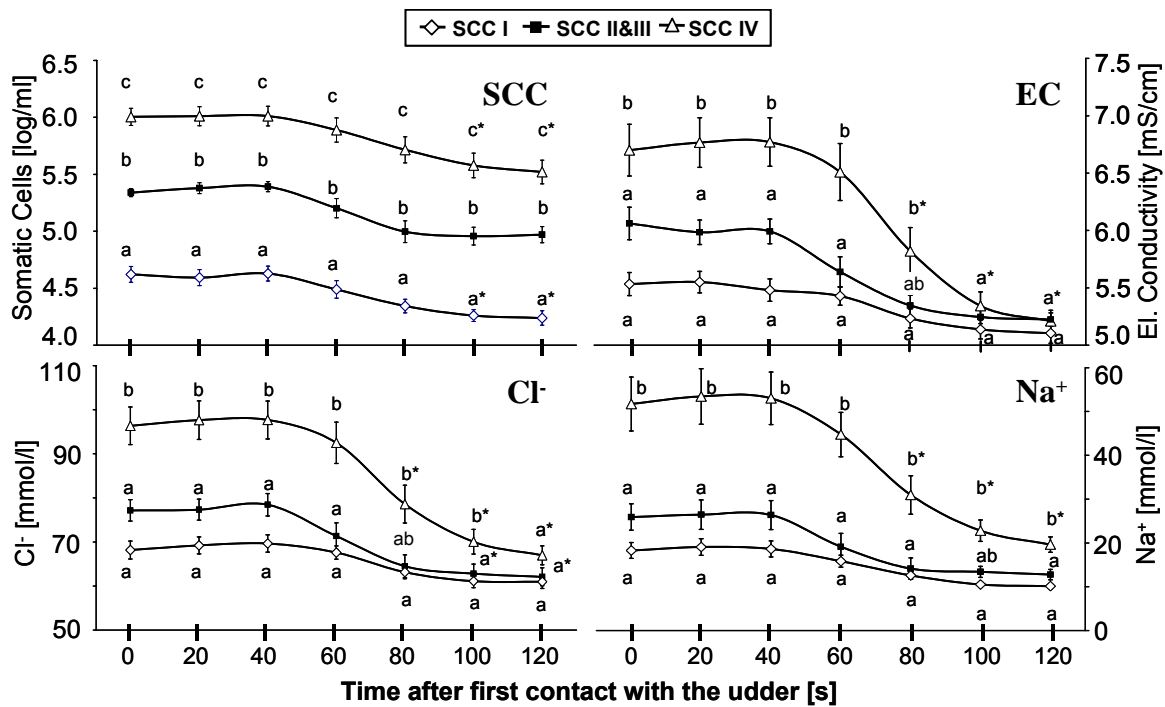


Abbildung 2: Verlauf des somatischen Zellgehaltes (SCC), der elektrischen Leitfähigkeit (EC) und der Ionenkonzentrationen (Na^+ und Cl^-) in Abhängigkeit der abgelaufenen Zeit nach Beginn der Vorstimulation ($t=0\text{s}$)

Mittelwerte \pm SEM; $n=20$ Kühe; 3 Wiederholungen je Kuh

a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zwischen den SCC-Klassen ($P<0,05$)

*: Mittelwert unterscheidet sich signifikant vom Mittelwert zu Beginn der Vorstimulation ($P<0,05$)

Quelle: [155]

Diese Tatsachen der Milchinhaltstoffänderung zu Beginn des Melkprozesses müssen gerade bei einer Online-Ermittlung der Leitfähigkeitswerte berücksichtigt werden. Ohne zusätzliche Informationen, wie z.B. dem Euterfüllungsgrad, können reine Vormilchproben somit nur in den ersten 40-60 s nach Beginn der Vorstimulation erwartet werden.

2.2.3 Kategorisierung der Eutergesundheit

Eine Kategorisierung der Eutergesundheit, d.h. eine Differenzierung zwischen normaler und nicht normaler Milchsekretion ist anhand scharfer Grenzen des somatischen Zellgehaltes - bei Berücksichtigung aller oben genannten Einflüsse (vgl. Tabelle 2) - nicht ohne weiteres möglich [35]. Diese Grenzen müssen die jeweiligen Einflussfaktoren berücksichtigen. Hier spielt v.a. die Beprobungsgrundlage, d.h. Gesamtgemelk, Viertelgemelk oder Viertelanfangsgemelk, eine bedeutende Rolle.

2.2.3.1 Gesamtgemelk

Der somatische Zellgehalt des Gesamtgemelkes einer Kuh wird bei der Leistungsprüfung neben Laktose- und Fettgehalt im Labor mit ermittelt. Von verschiedenen Autoren werden als tolerierbarer Bereich Werte von 200.000 Zellen/ml [1] bis 250.000 Zellen/ml [18] genannt. Bei Überschreiten der 200.000 Zellen/ml wird konventionell melkenden Betrieben empfohlen, diese Tiere näher zu untersuchen. Beim Einsatz eines AMS ist durch den Maßnahmenkatalog eine zyto-bakteriologische Untersuchung der Tiere vorgeschrieben, wenn bei mehr als 30 % aller laktierenden Kühe ein Zellgehalt von mehr als 250.000 Zellen/ml auftritt [18].

Der somatische Zellgehalt gibt zwar Hinweise und zusätzliche Informationen, ist aber für eine zuverlässige Diagnose der Eutergesundheit nicht ausreichend [35]. So kann der somatische Zellgehalt des Gesamtgemelks weniger als 200.000 Zellen/ml aufweisen, obwohl ein Viertel Milch mit mehr als 500.000 Zellen/ml produziert, wenn in der Milch der verbleibenden drei Viertel weniger als 100.000 Zellen/ml nachgewiesen werden können.

2.2.3.2 Viertelgemelk

Bereits 1967 bzw. 1971 wurde durch die International Dairy Federation (IDF) für veterinärmedizinische Untersuchungen eine Kategorisierung der Milchsekretion vorgenommen, die auf einer Kombination vom somatischen Zellgehalt und mikrobiologischer Befunde in Viertelanfangsgemelkproben beruht (Tabelle 4). Der anfangs festgelegte kritische Grenzwert des somatischen Zellgehaltes von 500.000 Zellen/ml wurde nach neuem Kenntnisstand auf 100.000 Zellen/ml gesenkt [36], [58].

Tabelle 4: Beurteilung und Kategorisierung der Milchsekretion aufgrund zytologisch-mikrobiologischer Befunde in Viertelanfangsgemelken

SCC [Zellen/ml]	Euterpathogene Mikroorganismen	
	nicht nachgewiesen	nachgewiesen
< 100.000	<i>normale Sekretion</i>	<i>latente Infektion</i>
> 100.000	<i>unspezifische Mastitis</i>	<i>Mastitis</i>

Quelle: [35], [71]

Die DVG [35] beschreibt die einzelnen Kategorien wie folgt:

Normale Sekretion:

Gesunde Euterviertel sind solche, die keine äußerlichen pathologischen Veränderungen zeigen und deren Milch keine euterpathogene Mikroorganismen und einen normalen Zellgehalt aufweisen.

Latente Infektion:

Eine latente Infektion liegt vor, wenn sich die Zellzahl in der Norm bewegt, jedoch Mastitiserreger nachgewiesen werden.

Unspezifische Mastitis:

Werden keine Infektionserreger nachgewiesen und liegen subklinische oder klinische Symptome vor, so spricht man von unspezifischer Mastitis.

Mastitis: Werden gleichzeitig Mastitiserreger und erhöhte Zellzahlen in Viertel-anfangsgemelken festgestellt, handelt es sich um eine Mastitis.

Sowohl die unspezifische als auch die spezifische Mastitis kann unterschiedliche klinische Symptome und Verlaufsformen aufweisen [35]:

- Entzündungen des Euters ohne äußerlich erkennbare Symptome werden als *subklinische Mastitiden* bezeichnet. Der Gehalt an somatischen Zellen der Milch ist erhöht, und Mastitiserreger v.a. koagulase-negative Staphylococccen und äskulin-positive Streptococccen [110] können in zwei von drei aufeinanderfolgenden Proben nachgewiesen werden. Diese klinisch nicht auffallenden (subklinischen) Euterentzündungen werden öfters als vermutet nicht erkannt und führen teilweise zu beachtlichen Ausfällen [1].
- Treten zusätzlich Flocken speziell im Vorgemelk auf, dann wird dies als *geringgradige klinische Mastitis* bezeichnet.
- Ist die Milch makroskopisch verändert und sind bei den Tieren zudem erhöhte Temperaturen, Schmerzen und Schwellungen am Euter zu erkennen, wird dies mit *mittel- bis hochgradige klinische Mastitis* beschrieben.

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass auch bei Zellgehalten zwischen 100.000 und 200.000 Zellen/ml noch keine mikrobiologischen Befunde zu diagnostizieren waren und somit die Milchsekretion noch als „normal“ eingestuft werden kann [61], [63], [140], [142]. Nach SMITH ET AL. (2001) [142] und nach HILLERTON (1999) [63] werden Viertel erst als „subklinisch infiziert“ bezeichnet, wenn der somatische Zellgehalt die Grenze von 200.000 Zellen/ml überschreitet. Liegt zudem noch ein positiver mikrobiologischer Befund vor, ohne dass klinische Veränderungen zu erkennen sind, dann sprechen SMITH ET AL. (2001) [142] von *subklinischer Mastitis*.

Zur Vollständigkeit sei auch noch der Grenzwert des somatischen Zellgehaltes der Ablieferungsmilch (d.h. der Tankmilch) erwähnt, der in der Richtlinie 92/46/EWG des Europäischen Rates [40] und in der nationalen Milchverordnung [17] auf 400.000 Zellen/ml festgelegt ist und ein Kriterium für den Milchauszahlungspreis darstellt. Allerdings gibt dieser Wert mehr Informationen über die Melkhygiene des jewei-

ligen Betriebes und über die Prävalenz der Herde als über die Eutergesundheit der Einzeltiere [141].

2.3 Erkennung von veränderter Milch und Mastitiserkrankung

2.3.1 Beurteilung des Vorgemelkes durch den Melker bei konventioneller Melktechnik

Bei konventioneller Melktechnik hat der Melker mindestens zwei Mal pro Tag direkten Kontakt zum Tier, kennt dessen Eigenheiten und ist somit in der Lage, sie zu beurteilen. Durch diesen häufigen Kontakt ist es dem Melker möglich, die Entwicklung der Eutergesundheit in gewissem Maße zu verfolgen. Treten Anormalitäten wie z.B. Trippeln oder Schlagen im Melkstand auf, sollte dies den Melker veranlassen, das Tier näher zu beobachten. Dazu stehen ihm folgende Überprüfungsmethoden zur Verfügung, die ohne großen Aufwand direkt vor Ort durchgeführt werden können.

2.3.1.1 Visuelle Überprüfung des Vorgemelkes

Eine einfache und vom Gesetzgeber vorgeschriebene Methode ist die visuelle Überprüfung des Vorgemelkes. Hierzu wird empfohlen die ersten Milchstrahlen auf eine schwarze Platte oder ein schwarzes feines Sieb (Vormelkbecher) zu melken und nach folgendem Schema von GRUNERT (1992) [52] zu beurteilen:

Tabelle 5: Milchbeurteilung nach GRUNERT (1992) [52]

Klasse	Beurteilung der Vorgemelkprobe
0	Sekret sinnfällig unverändert
A	Milchcharakter erhalten, wässrige Konsistenz, ohne Flocken
B	Milchcharakter erhalten, wässrig mit kleinen Flocken
C	Milchcharakter erhalten, einige grobe Flocken
D	Milchcharakter erhalten, viele grobe Flocken
E	Milchcharakter weitgehend verloren, vorwiegend Flocken
F	Milchcharakter völlig aufgehoben, stattdessen Eiter und Blut

Positive Befunde nach diesem Schema treten häufig erst dann auf, wenn sich der Eutergesundheitszustand schon im Bereich der *geringgradig klinischen Mastitis* befindet, so dass sofortige Handlungen durch den Tierhalter erforderlich sind. Diese

Methode ist somit in Bezug auf die Diagnose von subklinischen Mastitiden nicht effizient und sicher genug.

2.3.1.2 Milchzelltest

Der Milchzelltest, auch California-Mastitis-Test (CMT) oder Schalmtest (nach dem Mitentwickler) genannt, ist momentan die am häufigsten angewandte Methode, um direkt am Tier - ohne Technik und großen Aufwand - den somatischen Zellgehalt und damit den Gesundheitszustand einzelner Euterviertel zu beurteilen. Dabei werden die Milchstrahlen viertelspezifisch auf eine Testplatte gemolken und in einem Verhältnis von 1:1 mit der Testflüssigkeit (u.a Bromcresol-Blau) vermischt. Das Ergebnis der ablaufenden Reaktion ist abhängig von der Anzahl der Leukozyten (v.a PMN), die bei einer Entzündung der Milchdrüse drastisch ansteigt. Die Klassifizierung des Testergebnisses erfolgt nach den aus Tabelle 6 ersichtlichen Beurteilungskriterien.

Tabelle 6: Bewertung und Klassifizierung des Milchzelltestes

Nomen- klatur	Klassifizierung			Beurteilung des Test-Gemisches
	SCHALM	RASMUSSEN	SCHAEREN & SCHÄLLIBAUM	
negativ	0	1	-	unverändert flüssig
zweifelhaft	0,5	2	+/-	leichte Konsistenzänderung oder leichte Schlierenbildung
schwach positiv	1	3	+	Gemisch wird schlierig
positiv	2	4	++	Gemisch wird schleimig und bewegt sich nur langsam
stark positiv	3	5	+++	Gemisch ist zähschleimig, fließt nicht mehr auseinander, Klumpenbildung

nach: SCHALM (1960) [131], RASMUSSEN [117], SCHAEREN & SCHÄLLIBAUM [130]

Nach SCHALM (1960) [131] ist ein somatischer Zellgehalt von mehr als 400.000 Zellen/ml mit diesem Test sehr sicher zu erkennen. Dennoch variieren die Angaben des somatischen Zellgehaltes in den einzelnen Klassen von Autor zu Autor [117], [130], [131]. Einen wesentlichen Einfluss haben hier die Herkunft der Testflüssigkeit, ein exakt eingehaltenes Mischungsverhältnis und die Erfahrung des Melkers, der den Milchzelltest anwendet. Auch die Klassifizierung wurde im Laufe der Zeit

modifiziert. Aus Abbildung 3 sind die zu den jeweiligen Klassen gehörenden Bereiche des somatischen Zellgehaltes zu entnehmen. Die unterschiedliche Klassifizierung und Nomenklatur beruht auf den oben erwähnten Unterschieden. Aus allen Klassifizierungen resultiert, dass ein somatischer Zellgehalt von ungefähr 500.000 Zellen/ml vom Melker ohne weiteres mit dem Milchzelltest festgestellt werden kann.

SCC [1/ml]	Schalm (1960)	Rasmussen (2002)	Schaeren/Schällibaum (2000)
100.000	-	1	-
150.000			
200.000	+/-	2	+/-
250.000			
300.000			
350.000			
400.000	+	3	+
450.000			
500.000			
550.000			
600.000			
650.000			
700.000			
750.000			
800.000			
850.000			
900.000	++	4	++
950.000			
1.000.000			
1.100.000			
1.200.000			
1.300.000			
1.400.000			
1.500.000			
2.000.000			
3.000.000		+++	
4.000.000			
5.000.000			
>5.000.000			

Abbildung 3: Unterschiedliche Nomenklatur und Klassifizierung des Milchzelltestes in Abhängigkeit vom somatischen Zellgehalt (SCC)

Quelle: [117], [130], [131]

Eine Untersuchung von REDEZKY & HAMANN (2003) [121] zeigt, dass eine geübte Person unter Laborbedingungen und strenger Einhaltung des Mischungsverhältnisses (Milch-Testflüssigkeit) sogar 95 % aller Viertel, die einen Zellgehalt von mehr als 100.000 Zellen/ml haben, richtig einordnen kann.

2.3.2 Sensorgestützte Erkennung

Die Erkrankung der Milchdrüse beeinflusst auch die Körpertemperatur und die Milchproduktionsrate. Beide Parameter können physikalisch beim Melken erfasst werden [88], [149]. Da diese auch durch andere Krankheiten der Milchkuh oder durch den Brunstzyklus beeinflusst werden, ist eine Interpretation der gemessenen Werte im Hinblick auf die Erkennung von Eutererkrankungen problematisch. Verschiedene Autoren stellten einen Rückgang der viertelspezifischen Milchproduktionsrate bei auftretender subklinischer Mastitis im Bereich von 10-22 % fest [51], [58], [146], der jedoch durch die anderen Viertel kompensiert werden kann [46], [159]. Erst eine viertelspezifische Erfassung der Milchmenge kann Informationen zu einer entstehenden Mastitis geben [51], [60]. Rückschlüsse anhand der Milchttemperatur auf die Eutergesundheit zu ziehen, gestaltet sich eher problematisch, da durch exogene Einflüsse wie Stalltemperatur und Luftgeschwindigkeit oder der Weglänge von Zitzenspitze bis Temperatursensor eine exakte Erfassung der Milchttemperatur nur schwer möglich ist [132].

Änderungen der Milchezusammensetzung bei entstehender Mastitis erlauben es dagegen, den Status der Eutergesundheit indirekt über eine Vielzahl von sich ändernden Parametern zu ermitteln. Dazu werden Methoden benötigt, die auf chemisch oder physikalischen Analysen beruhen. Mit diesen Verfahren soll eine Online-Erkennung von Mastitiden, v.a. auch subklinischer Mastitiden möglich sein. Nachfolgend soll näher auf die Messung der elektrischen Leitfähigkeit, als momentanes Standardverfahren, eingegangen werden.

2.3.2.1 Elektrische Leitfähigkeit

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit einer Flüssigkeit ist ein Maß für Konzentration und Art der in ihr enthaltenen Ionen. In Flüssigkeiten gelöste Salze liegen als Ionen vor (z. B. Natriumchlorid: $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$), die Strom leiten können, d.h. je höher die Konzentration der Ionen und je höher ihre Beweglichkeit, desto höher ist die spezifische elektrische Leitfähigkeit der Flüssigkeit. Die spezifische Leitfähigkeit ist durch Siemens je Zentimeter [S/cm] definiert. In den weiteren Ausführungen wird auf den Zusatz „spezifisch“ in Anlehnung an die Literatur verzichtet und die Abkürzung LF verwendet. Alle gemessenen Werte haben aber nur mit der Angabe der Temperatur eine Aussagekraft, wobei sich jedes Medium (z. B. Milch oder Wasser) anders verhält. Mit zunehmender Temperatur steigt die LF an; hierzu geben mehrere Autoren verschiedene Temperaturkoeffizienten an. Im Temperaturbereich von 15-40°C variieren diese Temperaturkoeffizienten der LF zwischen 0,0146 und 0,0241 pro Grad Celsius [104], [114].

Bedingt durch eine Erkrankung der Milchdrüse verschiebt sich das Ionenverhältnis in der Milch. Speziell durch die Erhöhung von Natrium- und Chlorid-Ionen in der Milch erhöht sich die LF und der Aschegehalt der Milch [75], [158]. Somit ist die LF ein indirektes Maß für den Grad der Infektion der Milchdrüse. Der Referenzwert der LF für Milch aus einer gesunden Milchdrüse wird zwischen 4 und 6 mS/cm bei 25°C angegeben [109]. Wie der somatische Zellgehalt der Milch ist auch die LF stark von tier- und umweltspezifischen Faktoren beeinflusst (Tabelle 7).

Tabelle 7: Einflussfaktoren auf die elektrische Leitfähigkeit (LF)

Faktoren	Beobachtung	Quelle
Laktationsnummer		
	Anstieg der LF mit zunehmender Laktationsnummer	MAATJE ET AL. (1983) SHELDRAKE ET AL. (1983) ROSSING ET AL. (1987)
Laktationsstand		
	Anstieg der LF mit fortschreitendem Laktationstag, wegen sich ändernder Milchezusammensetzung	MAATJE ET AL. (1983) SHELDRAKE ET AL. (1983) ROSSING ET AL. (1987)
Milch-Fractionen		
	Höchste Werte vor Milchejektion	BARTH & GRAUPNER (1999) WIEDEMANN ET AL. (2003)
	Während Melkverlauf kontinuierliche Abnahme der LF, niedrigste LF-Werte in Residualmilch	HAMANN & GYODI (2000)
	Höchste Werte bei gesunden Kühen in Zisternenmilch, kontinuierliche Abnahme bis Melkende	WITTKOWSKI ET AL. (1979) ONTSOUKA ET AL. (2003)
Umwelteinflüsse, wie Fütterung und Haltung		
	Jahreszeitspezifische Fütterung, Weidengang: großer Einfluss	LINZELL & PEAKER (1972) MAATJE ET AL. (1983)
	Haltung: nur geringer Einfluss	ROSSING ET AL. (1987)
Melkintervall		
	Sehr große Einflüsse des Melkintervalls auf LF, da mit zunehmendem Melkintervall der Euterinnendruck steigt und das sekretorische Epithel durchlässiger wird	FERNANDO ET AL. (1981) MAATJE ET AL. (1983) ROSSING ET AL. (1987) BARTH & WORSTORFF (2000)
Einzel tier und Rasse		
	Starke Variationen zwischen den Tieren und von Tag zu Tag	SHELDRAKE ET AL. (1983) ROSSING ET AL. (1987)
	Große Unterschiede zwischen den Rassen	PINKERTON & PETERS (1958) MAATJE ET AL. (1983)
Milchfett-Gehalt		
	Verringerung der LF mit zunehmendem Milchfettgehalt	FERNANDO ET AL. (1981) LINZELL & PEAKER (1975)

nach: SCHÖNE (1993) [134]

Da sich das Euter aus vier unabhängigen Einheiten (den Vierteln) zusammensetzt und eine Erkrankung oder Entzündung nicht immer unbedingt in allen vier Einheiten gleichzeitig vorliegt [90], ist nach BAUER (1990) [10] nur eine viertelspezifische Messung der LF sinnvoll.

Im gesunden Euter sind die LF-Werte der einzelnen Viertelgemelke nahezu gleich, auch wenn von Melkung zu Melkung Schwankungen zu verzeichnen sind, während die elektrische Leitfähigkeit der Milch erkrankter Viertel erhöht ist.

Da auch die Einflussfaktoren große Schwankungen des absoluten Wertes der LF bewirken, sollten nicht nur die absoluten Werte, sondern auch das Verhältnis zwischen den einzelnen Vierteln und deren Entwicklung in Betracht gezogen werden [8] [59]. Die gemessenen LF-Werte können entweder durch

- den Vergleich der Viertelgemelkswerte eines Tieres untereinander, oder
- die Überprüfung auf Überschreitung eines absoluten Grenzwertes

für die Erkennung von Eutererkrankungen genutzt werden [2].

Beim Vergleich der LF-Werte der vier Viertel untereinander, können folgende Methoden angewandt werden:

Differenzmethode:

Es wird die Differenz aus dem niedrigsten viertelspezifischen LF-Wert eines Gemelkes und den verbleibenden Vierteln desselben Euters gebildet [8].

$$(1) \quad \Delta LF_{abs} = LF_a - LF_{min}$$

wobei: ΔLF_{abs} : abs. Abweichung der aktuellen Probe zur Referenz [mS/cm]
 LF: : elektrische Leitfähigkeit [mS/cm]
 a : aktuelles Viertel
 min : Minimalwert der aktuellen Melkung (=Referenz)

Quotientenmethode:

Hier wird der Quotient aus dem niedrigsten viertelspezifischen LF-Wert eines Gemelkes und den verbleibenden Vierteln desselben Euters gebildet (inter-quarter-ratio) [59].

$$(2) \quad \Delta LF_{rel} = \frac{LF_a}{LF_{min}} * 100$$

wobei: ΔLF_{rel} : rel. Abweichung der aktuellen Probe zur Referenz [%]
 LF : elektrische Leitfähigkeit [mS/cm]
 a : aktuelles Viertel
 min : Minimalwert der aktuellen Melkung (=Referenz)

Der Hinweis HAMANNS (1986) [54], dass mit absoluten Grenzen nahezu das gleiche Ergebnis erreicht werden könne, wurde durch eine weitere Veröffentlichung von HAMANN UND ZECCONI (1998) [59] relativiert. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass mit einem Vergleich der Viertelmesswerte innerhalb einer Melkung die besten Resultate erzielt werden können.

Bei den verschiedenen Methoden zur Verrechnung der LF-Werte wird deutlich, dass auch hier wieder der Probenahmezeitpunkt eine große Rolle spielt (Tabelle 8). Die daraus resultierende Aussagekraft der LF-Werte kann somit sehr unterschiedlich sein.

Tabelle 8: Grenzwerte für die elektrische Leitfähigkeit (LF) von Milch gesunder Kühe

Methode	Gemelk	Grenzwert	Quelle
<i>absolute LF</i>		<i>[mS/cm]</i>	
		5,5	FERNANDO ET AL. (1985)
	VAG	5,6	WIEDEMANN ET AL. (2003)
		5,8	HAMANN (1986)
	VEG	5,5	FERNANDO ET AL. (1982)
		5,8	FERNANDO ET AL. (1985)
	VGG	6,9	MIELKE ET AL. (1981)
<i>Differenzmethode</i>		<i>[mS/cm]</i>	
		0,6	MIELKE ET AL. (1981)
	VAG	0,56	OSHIMA (1985)
		0,5	BARTH & GRAUPNER (1999)
	VGG	0,24	OSHIMA (1977)
<i>Quotientenmethode</i>		<i>[%]</i>	
	VAG	116	LINZELL & PEAKER (1975)
		108	FERNANDO ET AL. (1982)
	VEG	106	FERNANDO ET AL. (1982)
	VGG	120	GEBRE-EGZIABHER ET AL. (1979)

nach: ANDERSSON (1991) [2]

VAG: Viertelanfangsgemelk

VGG: Viertelgesamtgemelk

VEG: Viertelendgemelk

BARTH (2001) [6] weist darauf hin, dass die beste Aussagekraft bei Messungen im Vorgemelk - also vor Beginn der Milchejektion - zu finden ist. Eigene Untersuchungen belegen ebenfalls, dass zu Beginn der Vorstimulation signifikante Unterschiede der LF-Werte zwischen Milch mit mehr als 500.000 Zellen/ml und weniger als 100.000 Zellen/ml vorliegen, diese aber mit fortschreitender Stimulation zurückgehen. Im Bereich 80 - 100 s nach Beginn der Vorstimulation war kein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Zellzahlgruppen mehr zu erkennen [155]. Demnach sollten die Proben für die LF-Messung zur Bestimmung der Eutergesund-

heit vor Beginn der Milchejektion genommen werden. Nach BRUCKMAIER & BLUM (1998) [21] sind ca. 20 % des Milchertrages im Bereich der Zisterne gespeichert, die somit zur Verfügung stehen würden. BRUCKMAIER & HILGER (2001) [22] ermittelten in ihren Untersuchungen, dass die Milchejektion im Durchschnitt 40 - 80 s nach Beginn der Vorstimulation stattfindet. Die zeitliche Verzögerung wird maßgeblich durch die Zwischenmelkzeit und somit durch den Füllungsgrad des Euters beeinflusst.

► *Absätzliche Verfahren*

Die meisten wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Messung der LF beruhen auf Ergebnissen des absätzigen Messverfahrens. Dabei werden Proben aus den verschiedenen Milchfraktionen genommen und anschließend unter konstanten Laborbedingungen (v.a. konstante Temperatur) gemessen.

Des Weiteren wurden auch Handmessgeräte entwickelt, die bei der routinemäßigen Melkvorbereitung direkt am Euter eingesetzt werden können. Diese Geräte sind entweder so ausgelegt, dass alle vier Zitzen gleichzeitig in getrennte Messbehältnisse oder alle vier Zitzen nacheinander in eine einzige Messschale gemolken werden können. Die Information wird sofort nach der Beprobung dem Melker durch absolute oder schon verrechnete LF-Werte übermittelt. Nähere Details hierzu sind bei BARTH (2000) [5] beschrieben.

► *Kontinuierliche Verfahren*

Kontinuierliche Verfahren haben den Vorteil, dass während des gesamten Melkvorganges viertelindividuell die LF-Werte protokolliert werden können. Bei konventionellen Melkverfahren werden Elektroden entweder im Sammelstück oder im kurzen Milchschauch platziert. In automatischen Melksystemen finden sich diese Elektroden im viertelspezifischen Milchschauch oder in speziellen Sensoreinheiten. Die Probleme der kontinuierlichen Messung beruhen meist auf Ablagerungen und Verschmutzungen der Elektroden, aber auch auf Turbulenzen, die im Milchfluss auftreten und zur Verschäumung der Milch führen [134].

Selbst wenn die Präzision von Leitfähigkeitsmessungen inzwischen ausreichend genau erscheint, so ist ihre Interpretation hinsichtlich der Erkennung infizierter Viertel nach HAMANN & GYODI (2000) [56] immer noch offen.

2.3.2.2 *Erfassung weiterer Milchparameter*

► *Bestimmung des Gehaltes an Na⁺ und Cl⁻ Ionen der Milch*

Während der Entstehung einer Infektion der Milchdrüse und der damit verbundenen Permeabilitätsstörung des Drüsenepithels ändert sich die Konzentration der Ionen (Na⁺, Cl⁻, K⁺) (siehe Kap. 2.2.1), die entweder indirekt über die elektrische Leitfähig-

keit aber auch direkt ermittelt werden kann. Hierzu können u.a. die folgenden Verfahren verwendet werden.

Die am häufigsten eingesetzten Methoden zur Bestimmung des Ionengehaltes sind die Gravimetrie und die Flammenphotometrie. Aktuellere Untersuchungsmethoden stellen die Atomemissionsspektrometrie und die Atomabsorptionsspektroskopie dar [96]. Speziell im Bereich der Cl^- Ionenkonzentrationsbestimmung kommt das Coulometrische Verfahren zum Einsatz, das den geflossenen Strom für die Ermittlung der Cl^- Konzentration ermittelt. Im medizinischen Bereich, v.a. in der Hämatologie werden seit einiger Zeit auch die sog. ionenselektiven Elektroden, die auf dem potentiometrischen Messprinzip beruhen, eingesetzt. Diese ermöglichen eine schnelle Messung (10-20 s) in zum Teil kleinen Probenvolumina. Diese Verfahren werden als Zweistabmessketten (spezifische Elektrode und Referenzelektrode getrennt) oder als Einstabmessketten (alles in einer Elektrode) angeboten, wobei die meist sehr sensiblen und anfälligen Elektroden nur eine Haltbarkeit von einigen Monaten (4 - 12 Monate) aufweisen [86], [97].

Neben der direkten oder indirekten Messung der Ionengehalts-Änderungen in der Milch können auch andere Milchinhaltstoffe, die Rückschlüsse auf die Eutergesundheit erlauben, ermittelt werden.

► *Biosensoren*

Dabei wurden in den letzten Jahren intensiv die Veränderungen der Aktivität verschiedener Enzyme bei Erkrankung der Milchdrüse, wie z.B. Laktatdehydrogenase (LDH) oder N-acetyl- β -D-glucosamidase (NAGase) erforscht [2], [120], [123]. Diese Sensoren ermöglichen eine frühe Erkennung von Veränderungen der Eutergesundheit. Bedingt durch die empfindliche und teilweise sehr zeitaufwändige Technik können sie bis jetzt nur unter Laborbedingungen angewendet werden.

► *Direkte Bestimmung des somatischen Zellgehaltes*

Weiterhin wird an zwei unterschiedlichen Verfahren zur Online-Zählung des somatischen Zellgehaltes gearbeitet. Diese Methoden basieren dabei auf dem Prinzip der Nah-Infra-Rot-Spektroskopie (NIRS) [127], [147], [152], oder auf einer Kombination aus Fluoreszenzverfahren und Bildverarbeitung (DeLaval *direct cell counter*) [57]. Die NIR-Methode bietet den Vorteil, dass gleichzeitig Milchinhaltstoffe wie Fett, Protein oder Laktose bestimmt werden können [152].

Werden die verschiedenen Parameter der Milch in Korrelation zum logarithmierten somatischen Zellgehalt dargestellt (Tabelle 9), so ist ersichtlich, dass gerade in der Änderung der Milchinhaltstoffe wie z.B. Laktose, aber auch der Enzymaktivitäten (NAGase, LDH) ein großes Potenzial für die Erkennung von Eutererkrankungen liegen könnte [14], [57]. Diese Verfahren benötigen aber sehr empfindliche und kosten-

intensive Techniken, die bis jetzt noch nicht in Online-Prozesse implementiert werden konnten.

Tabelle 9: Korrelation zwischen somatischem Zellgehalt (log SCC) und verschiedener Milchparameter

Gemelk	Korrelationskoeffizient (r)	Quelle
Elektrische Leitfähigkeit		
VAG	0,55 bis 0,62	HAMANN (1986)
	0,59	GEDEK ET AL. (1977)
	0,36 bis 0,45	ANDERSSON (1991)
	0,46	ORDOLFF (2003)
VEG	0,21	FERNANDO ET AL. (1985)
VGG	0,56	MAATJE ET AL. (1983)
	0,58	BARTH & GRAUPNER (1995)
	0,26	UMSTÄTTER (2002)
Natrium		
VGG	0,45	KRÖMKER ET AL. (1997)
Chlorid		
VGG	0,54	KRÖMKER ET AL. (1997)
pH-Wert		
VAG	0,55	GEDEK ET AL. (1977)
VGG	0,16	KRÖMKER ET AL. (1997)
Laktose		
VAG	-0,46	ORDOLFF (2003)
VGG	-0,29 bis -0,56	BAUER (1990)
	-0,60	KRÖMKER ET AL. (1997)
Laktatdehydrogenase (LDH)		
VAG	0,48-0,72	ANDERSSON (1991)
N-acetyl-β-D-glucosaminidase (NAGase)		
VGG	0,63	KRÖMKER ET AL. (1997)
Milchmenge, viertelspezifisch		
VGG	-0,36	KRÖMKER ET AL. (1997)

Wie Tabelle 9 zu entnehmen ist, schwanken die Korrelationskoeffizienten nicht nur zwischen den einzelnen Parametern, sondern es treten auch sehr große Abweichungen zwischen den einzelnen Gemelksfraktionen und den genannten Quellen auf.

2.4 Einsatz der Farbmessung zur Milchqualitätsbeurteilung

2.4.1 Grundlagen

Mit der Frage, ob die visuelle Beurteilung der Vorgemelke, wie sie der Gesetzgeber in der Milch-VO vorschreibt, auch von Sensoren übernommen werden kann, soll an dieser Stelle auf die Grundlagen der Farbwahrnehmung und -messung eingegangen werden. Eine Vielzahl verschiedener Messtechniken wird schon in der Überwachung bei der Lebensmittelproduktion eingesetzt. Hier werden die Vorteile einer berührungslosen und teilweise günstigen Messtechnik seit einiger Zeit genutzt [45].

2.4.1.1 Farbwahrnehmung

Obwohl das menschliche Auge in der Lage ist mehr als eine Million Farbtöne zu unterscheiden, kann es wegen der ständigen Konfrontation mit Farben im Alltag sehr schwierig sein, Farben zu beschreiben. Deshalb werden oft Vergleiche wie z. B. blutrot oder eitergelb herangezogen. Da die Farbwahrnehmung von

- der Lichtquelle,
- deren Wirkung auf die Probe,
- der Beschaffenheit der Probe und
- den biologischen Gegebenheiten des Beobachters

abhängt, nehmen zwei Personen die gleiche Farbe nicht in gleicher Art und Weise wahr [47]. Die Verarbeitung diese Farbreize durch den Menschen führt zu vielfältigen Problemen bei der Beschreibung von Farbeindrücken, da jeder Mensch eine Farbwahrnehmung mit folgenden subjektiven Merkmalen beschreibt [37], [156]:

<i>Helligkeit:</i>	physiologisch-psychologisches Maß für die Stärke des durch den Beobachter wahrgenommenen Gesamtenergieflusses;
<i>Farbton:</i>	physiologisch-psychologischer Begriff zur Unterscheidung verschiedener charakteristischer Spektralmuster;
<i>Sättigung:</i>	physiologisch-psychologisches Maß für den Grad, in dem der wahrgenommene Farbton eines Lichtes von dem Farbton eines weißen Lichtes gleicher Luminanz abweicht.

DIN 5033 Teil 1 [31] gibt folgende Definition für „Farbe“:

„Die Farbe ist diejenige Gesichtsempfindung eines dem Auge strukturlos erscheinenden Teiles des Gesichtsfeldes, durch die sich dieser Teil bei einäugiger Betrachtung mit unbewegtem Auge von einem gleichzeitig gesehenen, ebenfalls strukturlosen angrenzenden Bereich allein unterscheiden kann.“

Die Aufgabe der Farbmeterik (= Lehre der Maßbeziehungen der Farben untereinander) besteht deshalb darin, den objektiven Zusammenhang zwischen den spektralen Strahlungsverteilungen eines Selbstleuchters oder der remittierten Strahlung einer

beleuchteten Körperfarbe und dem dadurch beim Beobachter ausgelösten Farbreiz zu bestimmen.

2.4.1.2 *Farbmessung*

Die Grundlagen der Farbmessung wurden 1931 auf internationaler Ebene (CIE: Commission International d'Eclairage) definiert, indem sowohl

- die Strahlenverteilung $S(\lambda)$ des Lichtes, mit dem die Proben beleuchtet werden (Normlichtarten),
- die indirekt ermittelte Empfindlichkeit des Beobachters (Normalbeobachter), als auch
- die Farbkennzeichnungssysteme als CIE-Farbsysteme

normiert wurden.

Durch die moderne Farbmetrik kann demnach eine Messbarkeit von Farbe erreicht werden. Dazu gibt es verschiedene Farbmessverfahren mit unterschiedlichen Zielen, die bereits in einigen Bereichen der Lebensmittelindustrie im Rahmen der Qualitätssicherung zum Einsatz kommen [3], [12], [72], [156]. Die folgenden zwei Messverfahren sind u.a. in der DIN 5033 beschrieben [31]:

- die Photometrie oder Spektralphotometrie (Spektralverfahren) und
- die Colorimetrie (Dreibereichsverfahren).

► *Spektralphotometrie*

Die Spektralphotometrie ist eine vielfach angewandte, vergleichsweise kostengünstige, schnelle und einfache Analysenmethode in modernen Laboratorien. Dabei wird das Verhältnis der Strahldichte des Materials zu der Strahldichte eines vollkommen mattweißen Materials bei Reflexion, das in gleicher Weise bestrahlt wird, gemessen. Mit dem Reflexionsgrad (kurz: Reflexion) wird das Verhältnis der reflektierten Strahlungsleistung zu der einfallenden Strahlungsleistung bezeichnet [32]. Die Reflexion wird häufig in Prozent angegeben. Da Reflexionswerte unabhängig von einer konkreten Beleuchtungsstärke sind, können sie mit Werten aus anderen Messungen mit schwächerer oder hellerer Beleuchtung direkt verglichen werden [125].

Mit Hilfe von Spektralphotometern können über den ganzen Bereich des sichtbaren Spektrums die Reflexionsgrade aller Wellenlängen kontinuierlich gemessen werden. Diese „echten“ Spektralphotometer werden sehr häufig in der Forschung eingesetzt. In der Praxis kommen sog. verkürzte oder „abridged“ Spektralphotometer zum Einsatz. Diese Spektralphotometer messen die Reflexionsgrade nur bei bestimmten Wellenlängen. Dabei wird das Spektrum in Abschnitte geteilt, deren Bandbreite in der Regel 10 bis 20 nm beträgt. Für jeden Abschnitt ergibt sich ein Reflexionswert. Die Zerlegung des von der Probe reflektierten Messlichtes erfolgt häufig durch ein Gitter-

Dioden-Modul oder ein Filter-Dioden-Modul. Das vom Beugungsgitter des Gitter-Dioden-Moduls zerlegte Licht wird auf Dioden projiziert. Dadurch erhält man nach Verstärkung und Verrechnung der Signale die Reihe der Reflexionswerte und somit die Reflexionskurve, die die vollständige Information der gemessenen Farbe widerspiegelt. Daraus können über die valenzmetrische Auswertung die Normfarbwerte XYZ errechnet werden [13], [37].

Eine Unterscheidung der angebotenen Spektralphotometer kann aufgrund der Kriterien Messgeometrie, Beleuchtungsart (Lichtquelle) und Beobachter getätigt werden. Diese drei Kriterien sind durch die DIN 5033 [33] und durch CIE -Veröffentlichungen [25] festgelegt: So werden in der DIN 5033 für Messungen von Körperfarben zwei Messgeometrien beschrieben [32], [37]:

Messgeometrie 45°/0°:

Die Probenbeleuchtung findet unter einem Einfallswinkel von 45° zur Probensenkrechten statt. Die Beobachtung des reflektierten Lichtes erfolgt mit gerichteter Beobachtung unter 0°, also senkrecht zur Probenoberfläche.

Messgeometrie d/8°:

Die Probe wird mit Hilfe einer Ulbricht'schen Kugel beleuchtet. Die Beobachtung der Probe findet unter 8° gegenüber der Probensenkrechten statt. Bei diesem Verfahren wird anders als bei der 45°/0°-Geometrie die Oberflächenreflexion mit erfasst.

Die Messgeometrie d/8° bietet aufgrund der diffusen Bestrahlung der Probe den Vorteil, dass Materialstrukturen und Glanzunterschiede den Messwert nicht beeinflussen.

Um die Beleuchtungsbedingungen für Farbmessungen eindeutig zu definieren, muss die spektrale Zusammensetzung der Lichtquellen bekannt sein und diese Zusammensetzung als konstanter Wert in die Messung einfließen. Da je nach Einsatzgebiet von Messgeräten unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen gefordert sind, wurde die spektrale Zusammensetzung einiger typischer Lichtquellen analysiert und durch die CIE als sogenannte Normlichtarten wie folgt definiert.

Normlichtart A: normiertes Glühlampenlicht (2856 K),

Normlichtart C: mittleres Tageslicht, ohne UV-Anteil (6750 K),

Normlichtart D65: mittleres Tageslicht, mit UV-Anteil (6500 K).

Sehr häufig wird die Normlichtart D65 verwendet. Sie entspricht der spektralen Zusammensetzung des mittleren Tageslichtes und berücksichtigt auch den entsprechenden UV-Lichtanteil dieses Lichtes [25].

Der „CIE-Normalbeobachter“ definiert sich zunächst dadurch, dass er Farben ohne Störungen wahrnimmt. Des Weiteren wird berücksichtigt, dass der Mensch Farben am besten erkennt, wenn sie auf den Bereich der Fovea (= Ort des schärfsten Se-

hens im Auge) treffen. Da dieser Bereich bei normaler Betrachtung einer Farbprobe um 2° von der optischen Achse des Auges abweicht, wurde der Winkel für den Normalbeobachter eben genau auf diese 2° festgelegt. Bei weiter entfernten Objekten vergrößert sich dieser Winkel auf 10° . Diese Winkelangaben müssen vor der Messung im Spektralphotometer berücksichtigt werden [25].

► Colorimetrie

Die Colorimetrie, die auch als Dreibereichsverfahren bezeichnet wird, arbeitet nach dem Prinzip des menschlichen Auges, d.h. die Farbanteile von Rot, Grün und Blau werden von drei Sensoren erfasst.

Das von einer Normlichtquelle ausgestrahlte Licht wird an der Probe reflektiert und von drei Sensoren empfangen. Den drei Sensoren sind Filter vorgeschaltet, die eine Empfindlichkeit in den drei Farbkanälen erzeugen, die den Normspektralwertfunktionen entsprechen. Die Auswertung der von den Sensoren kommenden Signale ergibt unmittelbar die Normfarbwerte XYZ für Rot, Grün und Blau. Der Verlauf der Normspektralkurven eines Drei-Element-Sensors ist der Abbildung 4 zu entnehmen.

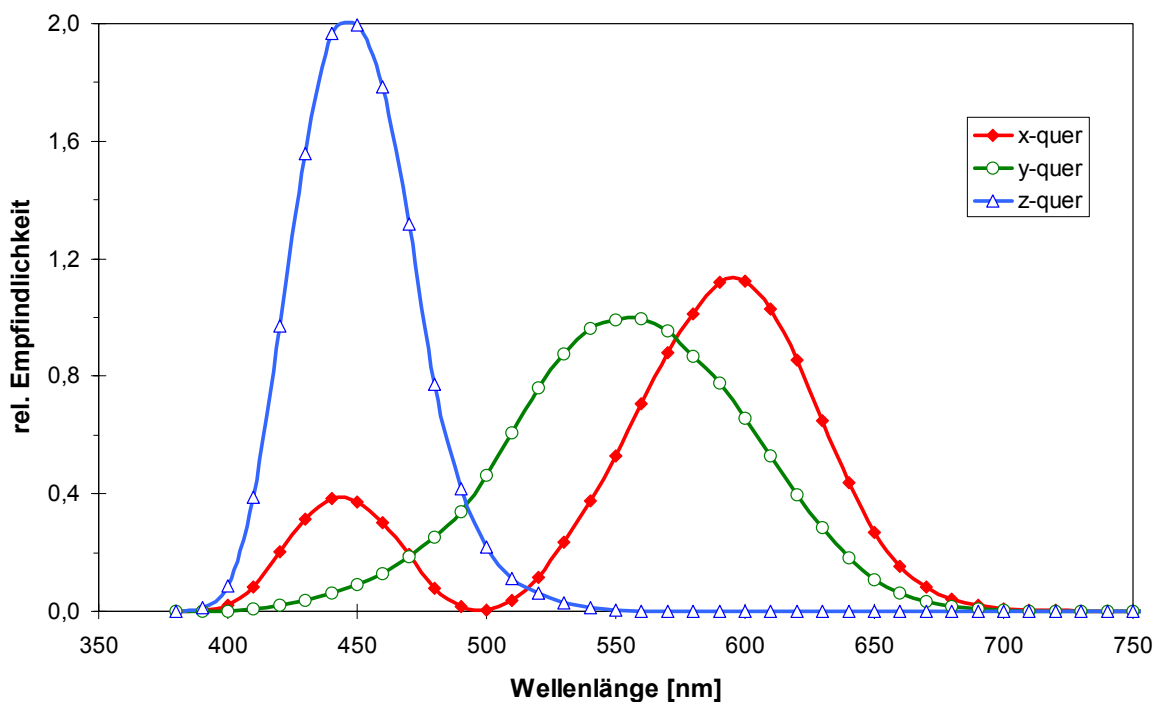


Abbildung 4: Normspektralwerte nach CIE; 10° Normalbeobachter

Quelle: [25]

Dieses einfache Messprinzip ermöglicht preiswerte Messgeräte, die aber nicht die Messgenauigkeit von Spektralphotometern erreichen können. Für Vergleichsmessungen sind sie jedoch gut geeignet [13].

2.4.2 Bestimmung der Milchfarbe

Die Milch wird durch den Menschen als weiße Flüssigkeit wahrgenommen. Dies beruht darauf, dass die wichtigen Bestandteile der Milch (Fett und Protein) als kleine Kügelchen mit 0,1 bis 15 μm Durchmesser vorliegen (Emulsion). Die weiße Farbe ist deshalb die Konsequenz der Lichtstreuung an diesen kleinen Kügelchen.

Die Milchbeschaffenheit, insbesondere die weiße Milchfarbe, kann sich während einer entstehenden Mastitis ändern. Ob dies mit Farbsensoren zu erkennen ist, wurde u.a. von ORDOLFF (2001) [101] und ESPADA & VIJVERBERG (2002) [38] untersucht. Beide Untersuchungen basieren auf unterschiedlichen Messungen mit dem Dreibeereichsverfahren im sichtbaren Wellenlängenbereich. In beiden Arbeiten kamen die Autoren zu dem Schluss, dass Veränderungen in den Farbwerten bei auftretenden Eutererkrankungen festgestellt werden können und somit die Farbmessung zusätzliche Informationen bei der Eutergesundheitsüberwachung liefern kann. ORDOLFF (2001) [38] konnte mit den CIE-L*a*b*-Werten 80 % aller Vorgemelke mit positivem bakteriologischem Befund und/oder einer SCC von mehr als 200.000 Zellen/ml detektieren, wobei die Spezifität mit 34 % sehr niedrig war. Beide Literaturstellen [38], [101] geben an, dass sich die mastitisbedingten Änderungen der Milchfarbe v.a. im blauen Bereich des sichtbaren Spektrums abzeichnen.

OUWELTJES & HOGEVEEN (2001) [106] konnten Veränderungen in der Milch, wie z.B. Blutbeimischungen, und Kolostralmilch mit einem Farbsensor erkennen. Diese Ergebnisse zeigten, dass sich bei allen Milchproben mit erkennbaren Veränderungen deutlich niedrigere Farbwerte im Vergleich zur normalen Milch ergaben.

Die Untersuchungen von WHYTE ET AL. (2004) [153] zeigten, dass der eingesetzte Blutsensor - ein optischer In-line Sensor - alle Milchproben mit mehr als 10 Mio. Erythrozyten (ca. 0,1 % Blut in Milch) eindeutig identifizieren konnte.

Ebenfalls zeigen die Ergebnisse eigener Untersuchungen [154], dass sich Milch mit mehr als 0,02 % Blutbeimischung bei Messungen mit dem Spektralverfahren in den Wellenlängen 400 - 420 nm eindeutig von normaler Milch unterschieden hat. Auch wichen die Spektrallinien von Kolostralmilch im Bereich 430 - 480 nm von den Reflexionslinien der in diesem Zeitraum beprobten Tankmilch in größerem Maße ab.

Beachtet werden muss jedoch bei diesen Verfahren, dass der Milchfettgehalt großen Einfluss auf die Ergebnisse der Farbmessung hat. So fanden BERGANN & SCHICK (1998) [12] bei Untersuchungen zur Beurteilung der Milchqualität während des Verarbeitungsprozesses in Molkereien eine nahezu lineare Beziehung zwischen den gemessenen Farbparametern (CIE-L*a*b*) und dem Fettgehalt ultrahocherhitzter Milch ($R^2=0,886$ bis $0,992$).

2.5 Diagnostischer Test zur Bewertung einzelner Parameter

Um verschiedene Testparameter miteinander vergleichen zu können, hat sich als Hilfsmittel zur Auswertung der „*Diagnostische Test*“ etabliert. Das Verfahren ist u.a. bei GUGGENMOOS-HOLZMANN & WERNECKE (1996) [53] beschrieben. Beispielhaft soll der *Diagnostische Test* anhand der Eutergesundheitseinstufung erläutert werden:

Der Gesundheitszustand der Milchdrüse wird meist durch den somatischen Zellgehalt (evtl. kombiniert mit bakteriologischen Untersuchungen) beschrieben. Dadurch ist eine Einteilung der Euter bzw. Viertel in jene, welche wirklich erkrankt sind und jene, die gesund sind, möglich [53]. Bei Anwendung des *Diagnostischen Tests* wird das Ergebnis durch die beiden Validitätsmaße *Sensitivität* und *Spezifität* beschrieben. Dabei beschreibt die *Sensitivität* den Anteil erkrankter Viertel bzw. Euter, der mit dem zu überprüfenden Parameter auch als krank erkannt wurde. Oftmals wird mit der *Sensitivität* auch der Begriff „Erkennungsrate“ in Verbindung gebracht. Die *Spezifität* gibt dagegen den Anteil an, bei dem gesunde Viertel bzw. Euter auch als gesund eingestuft wurden (Abbildung 5).

Soll der Test dem Erkennen einer Eutererkrankung dienen, so wird größerer Wert auf eine hohe Sensitivität gelegt, da kein erkranktes Viertel bzw. Euter übersehen werden darf (richtig positiv). In diesem Zusammenhang spielt der gewählte Grenzwert (cut-off point) eine große Rolle. Wird ein niedriger Grenzwert gewählt, wird dies dazu führen, dass auch viele falsch positive Meldungen erscheinen. Das bedeutet, dass im Fall des Erkennens von Milch erkrankter Milchdrüsen auch mehr Milch von gesunden Vierteln bzw. Eutern als auffällig eingestuft würde.

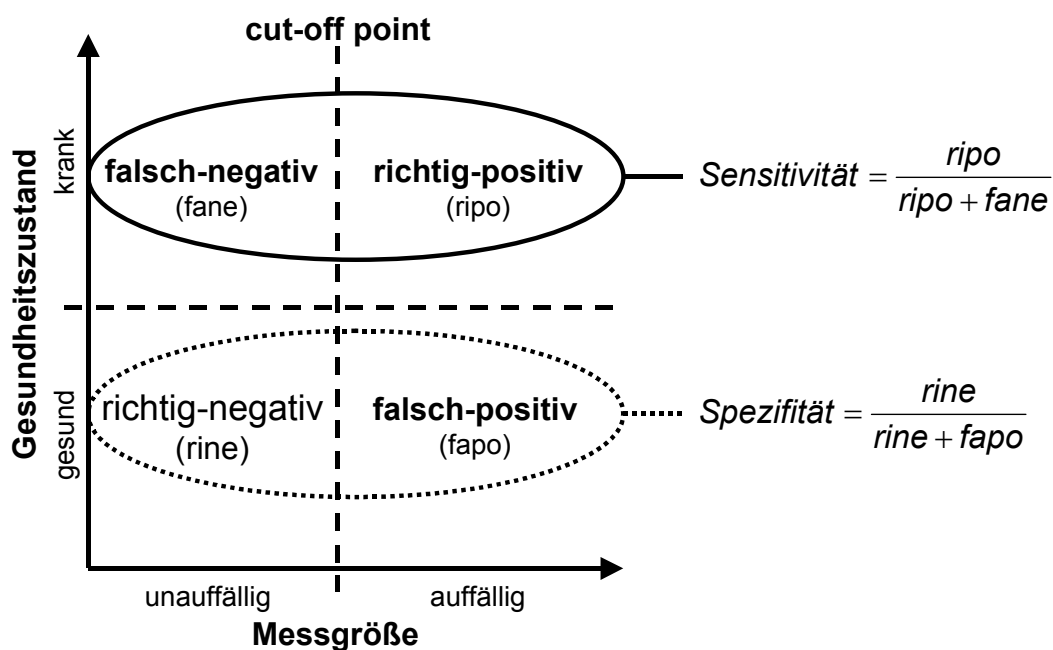


Abbildung 5: *Diagnostischer Test*: Berechnung der Sensitivität und Spezifität auf Grundlage der Messgröße und des definierten Gesundheitszustandes.

Es ist offensichtlich, dass selten für beide Validitätsmaße 100 % erreicht werden können, da die Zunahme eines Maßes die Abnahme des anderen mit sich zieht. Das heißt, dass sich Sensitivität und Spezifität gegenläufig verhalten.

Deshalb muss in der jeweiligen Testsituation die Optimierung eines Maßes im Vordergrund stehen. Ist mit dem gesetzten Grenzwert ein finanzieller Verlust, d.h. in diesem Beispiel fälschliches Verwerfen von normaler Milch verbunden, sollte der Grenzwert so gesetzt werden, dass der Test eine hohe Spezifität aufweist, was eine geringe Anzahl an falsch positiven Testergebnissen bedeutet. Prinzipiell werden beide Validitätsmaße entscheidend vom gewählten cut-off point (Trennkriterium für unauffällig <-> auffällig) bestimmt.

Tabelle 10 gibt einen Überblick über Verfahren, die zur Erkennung von Eutererkrankungen geeignet sind, sowie die dazugehörigen Ergebnisse der *Diagnostischen Tests* in Abhängigkeit der Messmethode und des jeweiligen Grenzwertes für normale bzw. gestörte Milchsekretion.

Die Zusammenstellung zeigt, dass bei einem Grenzwert von 100.000 Zellen/ml die höchsten Sensitivitäten mit dem Milchzelltest (95 - 98 %) erreicht werden konnten, wobei jedoch die Spezifität sehr niedrig war [121]. Messverfahren, die direkt oder indirekt auf Änderungen der Ionenkonzentration reagieren, hatten die beste Aussagekraft, wenn das VAG als Probe untersucht wurde. Hier fällt v.a. das Handmessgerät für die Bestimmung der LF im Vorgemelk (Sens: 70 - 100 %, Spez: 95 %) auf [64].

Vergleichbar hohe Sensitivitäten wurden auch bei der Messung der Enzymaktivitäten erreicht. ANDERSSON (1991) [2] errechnete bei einem Grenzwert von 500.000 Zellen/ml eine Sensitivität von 96 % (Spez: 90 %), während KRÖMKER ET AL. (1997) [79] mit der Messung der NAGase-Aktivität und mit einem Grenzwert von 400.000 Zellen/ml im VAG eine Erkennungsrate von 68 % bei einer Spezifität von 92 % erreichte.

Auffallend hoch sind die ermittelten Validitätsmaße des fuzzy-Models von DE MOL & OUWELTJES (2001) [30]. Hier ist zu beachten, dass die Autoren den Grenzwert erst beim Auftreten klinischer Symptome setzten. Dagegen detektierte KÖHLER (2002) [77] mit seiner Modellierung 78 % aller Mastitisfälle (nach DVG) bei einer Spezifität von 95,6 %.

Des Weiteren ist der Tabelle zu entnehmen, dass mit nur einem Parameter die Eutergesundheit nicht ausreichend beschrieben werden kann. Erst durch Kombination mehrerer Parameter konnten ansehnliche Validitätsmaße erreicht werden.

Tabelle 10: *Diagnostische Tests* verschiedener Verfahren zur Erkennung der Euter-
tergesundheit

	Sensitivität [%]	Spezifität [%]	Grenzwert	Quelle
Milchzelltest (CMT)				
VAG	95	68	100.000 Zellen/ml	REDETSKY & HAMANN (2003)
	98	51	400.000 Zellen/ml	
VAG	50 - 67	55 - 56	Infektion	SARGEANT ET AL. (2001)
Elektrische Leitfähigkeit (LF)				
VAG	36	95	100.000 Zellen/ml	KRÖMKER ET AL. (1997)
	28	97	400.000 Zellen/ml	
	76 - 77	92 - 94	200.000 Zellen/ml	NIELEN ET AL. (1995)
	90	93	Staph. aureus	WOOLFORD ET AL. (1998)
VMG	40	99	Staph. aureus	WOOLFORD ET AL. (1998)
Handmessgerät	70 - 100	95	k.A.	HILLERTON (2000)
Mittelwerte aus Meta-Analyse (n=77)	66	94	k.A.	NIELEN ET AL. (1992)
Natrium-Gehalt (NA)				
VAG	54	90	200.000 Zellen/ml	WIEDEMANN ET AL. (2003)
Chlorid-Gehalt (CL)				
VAG	34	95	100.000 Zellen/ml	KRÖMKER ET AL. (1997)
	25	98	400.000 Zellen/ml	
	52	90	200.000 Zellen/ml	WIEDEMANN ET AL. (2003)
Laktose-Gehalt				
VAG	61	81	100.000 Zellen/ml	KRÖMKER ET AL. (1997)
	57	90	400.000 Zellen/ml	
Laktatdehydrogenase (LDH)				
VAG	96	90	500.000 Zellen/ml	ANDERSSON (1991)
N-acetyl-β-D-glucosaminidase (NAGase)				
VAG	73 - 75	78 - 81	Staph. aureus	PYÖRÄLA & PYÖRÄLA (1997)
	27 - 32	89	Staph. koag. neg.	
	72	80	100.000	KRÖMKER ET AL. (1997)
	68	92	400.000	
Milchmenge, viertelspezifisch				
	20 - 40	niedrig	k.A.	HILLERTON (2000)
LF kombiniert mit viertelspezifischer Milchmenge (fuzzy-Model)				
	100	99,8	klinische Mastitis	DE MOL & OUWELTJES (2001)
	78,0	95,6	DVG-Kriterien siehe S.14, Tabelle 4	KÖHLER (2002)

2.6 Sensoren in automatischen Melksystemen

Da beim automatischen Melken keine Person mehr anwesend ist, müssen Sensorensysteme darüber entscheiden, ob die Milch aus einem gesunden oder kranken Euter stammt und ob diese verkehrsfähig ist oder nicht. In Tabelle 11 sind die von den Herstellern während des Melkens erfassten Parameter zur Erkennung der Eutergesundheit zusammengestellt. Dieser Übersicht ist zu entnehmen, dass alle Hersteller die Gesamtmilchmenge der Melkung ermitteln und serienmäßig die Messung der elektrischen Leitfähigkeit zur Erkennung von Eutererkrankungen erfassen. Da sich bei allen Fabrikaten die eingesetzten Sensoren zur Bestimmung der Parameter in den viertelspezifischen Milchsschläuchen/-leitungen oder in dort implementierten Sensoreinheiten befinden, kann die Beprobung erst während des Melkprozesses, also nach Euterreinigung und auch nach der Vorstimulation, durchgeführt werden.

Tabelle 11: Parameter zur Erkennung von Eutererkrankungen bzw. abnormaler Milch in automatischen Melksystemen

Hersteller	Fabrikat	erfasste Parameter	Bemerkung
DeLaval	VMS	Milchmenge gesamt, Viertelspezifische Leitfähigkeits- und Milchmengenmessung (<i>freeflow FF4/VC</i>)	Hinweise werden über die separate Software <i>CowMon</i> ausgegeben
Fullwood	Merlin	Milchmenge gesamt, Viertelspezifische Leitfähigkeitsmessung (Blutsensor z. Zt. als Option)	Entwicklung eines Blutsensors und eines Zellzahl-Sensors durch <i>Sensortec</i>
Gascoigne-Melotte	Zenith	Milchmenge gesamt, Viertelspezifische Leitfähigkeitsmessung	Hinweise können über das Herdenmanagementprogramm abgerufen werden
Insentec	Galaxy	Milchmenge gesamt, Viertelspezifische Leitfähigkeitsmessung	Hinweise können über das Herdenmanagementprogramm abgerufen werden
Lely	Astronaut	Milchmenge gesamt, Viertelspezifische Leitfähigkeits- und Farbmessung (<i>MQC</i>)	Hinweise können im Herdenmanagementprogramm <i>Xpert</i> abgerufen werden
Westfalia	LEONARDO	Milchmenge gesamt, Viertelspezifische Leitfähigkeitsmessung	Hinweise werden im Herdenmanagementprogramm <i>dairyplan</i> angezeigt

Stand: März 2004

Der Hersteller DeLaval nutzt neben der modifizierten Messung der elektrischen Leitfähigkeit zusätzlich Informationen aus der viertelspezifischen Milchmengenmessung, um Eutererkrankungen zu erkennen. Mit der neuen Software *CowMon* (Version 2) und den dazugehörigen Milchmengenmessgeräten *FF4/VC* sollen mastitiserkrankte Tiere über die Abweichung der viertelspezifischen Milchmenge und der Abweichung der Leitfähigkeit erkannt werden. Die für das VMS eigens gefertigten Free-Flows *FF4/VC* (S.C.R.-Engineers LTD) ermitteln den momentanen Milchfluss über eine Transmissionsmessung auf Nah-Infra-Rot (NIR)-Basis und die elektrische Leitfähigkeit über zwei - nicht direkt dem Milchfluss ausgesetzten – Elektroden.

Die Firma LELY bietet als Option für den *Astronaut* das Milk-Quality-Control (MQC)-System an. Kernstück dieses Sensors ist - neben der viertelspezifischen Messung der elektrischen Leitfähigkeit - ein Farbsensor, der Veränderungen in der Milch erkennen soll. Dazu befindet sich in jedem viertelspezifischen Milchschauch eine Anordnung bestehend aus einer Lichtquelle (LED) und einem Detektor (Photodiode). Je nach Färbung der Milch werden die Farben rot, grün und blau (RGB) des ausgesendeten Lichtes in unterschiedlich starkem Maße reflektiert und so von einem optischen Sensor (Photodiode) registriert. Alle viertelspezifischen Messwerte (ein Wert pro ~100ml) der aktuellen Melkung werden gemittelt und mit den Durchschnittswerten der letzten 100 Melkungen verglichen. Abhängig von den Abweichungen der RGB-Farbwerte wird eine Information vom MQC erzeugt, die den Grund der Abweichung beschreibt (Blut, Kolostrum oder Mastitis). Dieser Hinweis erscheint neben dem Leitfähigkeitshinweis in der Software *Xpert*.

Für das AMS *Merlin* der Firma Fullwood sind zur Zeit zwei Sensoren in Entwicklung: Ein auf dem Milchzelltest (CMT) basierender Zellzahlsensor soll neben der Messung der elektrischen Leitfähigkeit Informationen über die Eutergesundheit liefern, und ein Blutsensor soll Hinweise über evtl. Veränderungen der Milchfarbe (Blut, Kolostrum, usw.) geben [139].

Der Übersicht in Tabelle 12 ist zu entnehmen, dass die Erkennungsraten (=Sensitivität) bezüglich Mastitis und abnormaler Milch in automatischen Melksystemen noch nicht zufriedenstellend sind. RASMUSSEN (2004) [119] differenzierte seine Auswertung über sechs verschiedene Herden dahingehend, dass er nicht nur die aktuellen Hinweise der Systeme dem Ist-Zustand der ermolkenen Milch gegenüberstellte, sondern auch noch die Hinweise, die entweder am selben Tag oder in der vergangenen Woche gegeben wurden, mit einbezogen hat. Ebenfalls ist zu erwähnen, dass RASMUSSEN (2004) [119] „abnormale Milch“ wie folgt definiert hat: Anwesenheit von Flocken ($\varnothing > 0,1$ mm), Farbveränderung aufgrund von Erythrozyten und positives Milchzelltest-Ergebnis von größer gleich drei auf der fünfstufigen Skala (siehe S.17, Tabelle 6 RASMUSSEN (2002)).

Tabelle 12: Erkennung von Mastitis bzw. abnormaler Milch in automatischen Melksystemen (Stand der Technik)

erfasste Parameter Zeitpunkt des Warnhinweises	Sensitivität [%]	Spezifität [%]	Grenzwert	Quelle
Leitfähigkeit (LF)	40 - 46	87 - 92	200.000 Zellen/ml	BIGGADIKE ET AL. (2002)
- aktuelle Melkung	51 - 54	85 - 91	400.000 Zellen/ml	
LF und Milchfarbe	17	99	Mastitis nach DVG (siehe Tabelle 4)	KÖHLER (2002)
LF und Milchmenge	12 - 31	k.A.	400.000 Zellen/ml (im VAG)	HOVINEN ET AL. (2004)
- aktuelle Melkung	24 - 36	k.A.		
- innerhalb der letzten 10 Melkungen				
LF und Milchfarbe	2 - 8	k.A.	400.000 Zellen/ml (im VAG)	
- aktuelle Melkung	5 - 10	k.A.		
- innerhalb der letzten 10 Melkungen				
Leitfähigkeit (LF)	13 - 50	87 - 100		RASMUSSEN (2004)
- aktuelle Melkung				
- am gleichen Tag	22 - 100	85 - 100	abnormale Milch	
- innerhalb der vergan- genen Woche	43 - 100	35 - 100		

Aus den Untersuchungen von KÖHLER (2002) [77] geht hervor, dass bei einer Spezifität von 99 % nur jede fünfte der klinischen oder subklinischen Erkrankungen durch das System zur aktuellen Melkung detektiert wurde. HOVINEN ET AL (2004) [66] ermittelten zwar höhere, aber dennoch nicht zufriedenstellende Erkennungsraten, die aber aufgrund fehlender Spezifitäten nicht korrekt interpretiert werden können. Bei den AMS, bei denen sowohl die viertelspezifischen Leitfähigkeits- als auch die Milchmengenmessung integriert ist, konnten bei HOVINEN ET AL (2004) [66] die besten Ergebnisse erzielt werden (Sens: 12 - 36 %). BIGGADIKE ET AL (2002) [16] errechneten teilweise höhere Sensitivitäten für eine alleinige Leitfähigkeitsmessung in einer 2-Boxen-Anlage, bei jedoch nicht ausreichenden Spezifitäten.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass mit den derzeit installierten Techniken noch keine ausreichend sichere Erkennung von Eutererkrankungen erzielt werden kann.

3 Problemstellung und Zielsetzung

Der Einsatz automatischer Melksysteme (AMS) stellt große Herausforderungen an die Überwachung der Eutergesundheit und der Milchqualität. Es bieten sich aber auch neue Chancen, da an einem Melkplatz bis zu 60 Tiere gemolken werden können, und somit die empfindliche und meist sehr teure Sensortechnik kostengünstig eingesetzt werden kann. Mit den bisher implementierten Sensortechniken konnten für die Erkennung von Tieren mit gestörter Milchsekretion noch keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden. Trotzdem muss der Forderung des Gesetzgebers nachgekommen werden, dass sich die melkende Person durch Prüfen des Aussehens von der einwandfreien Beschaffenheit der Milch von jedem Tier überzeugen muss und dass die Milch von Kühen mit klinischer Eutererkrankung nicht abgegeben werden darf [17], [40]. Dies bedeutet im Falle von automatischen Melksystemen, dass technische Systeme die bisher menschliche Tätigkeit der Sinnfälligkeitsprüfung der Milch zuverlässig ersetzen müssen.

Daraus leitet sich die generelle Zielstellung dieser Arbeit ab, nämlich an Hand von verschiedenen chemisch-physikalischen Parametern die Detektion von Eutererkrankungen zu verbessern.

Dazu sollte im Vorversuch die Zuverlässigkeit der visuellen Kontrolle des Vorgemelkes und dessen Überprüfung mit dem Milchzelltest in Bezug auf die Eutergesundheit, die durch den somatischen Zellgehalt eingestuft wurde, evaluiert werden. Außerdem sollte im Vorversuch geprüft werden, ob mit dem Verfahren der Spektralphotometrie - ein bekanntes Verfahren zur Qualitätsbeurteilung [45] - die durch Eutergesundheitsstörungen verursachten Änderungen in der Milchezusammensetzung erkannt werden können und inwieweit dieses Verfahren durch andere Milchhaltsstoffe beeinflusst wird.

Im anschließenden Hauptversuch sollte schwerpunktmäßig geklärt werden, inwieweit die Parameter

- elektrische Leitfähigkeit, deren Messung standardmäßig in den AMS integriert ist,
- spektrale Reflexion und
- die direkte Ermittlung des Ionengehaltes von Na^+ und Cl^-

einzelnen oder in Kombination zur Überwachung der Eutergesundheit genutzt werden können und welche Erkennungsraten im Rahmen von *Diagnostischen Tests* (Sensitivität und Spezifität) erreicht werden können. Dazu musste zuvor aber überprüft werden, wann der optimale Probenahmezeitpunkt bezüglich der Aussagekraft über die Eutergesundheit der erwähnten chemisch-physikalischen Parameter ist.

Die Untersuchungen sollen einen Beitrag dazu leisten, in Zukunft Milch von nicht einwandfreier Beschaffenheit automatisch absondern zu können.

4 Material und Methode

4.1 Versuchsbetriebe

4.1.1 Betrieb A

Der Großteil der Versuche wurde auf dem Versuchsgut „Hirschau“ der Technischen Universität München (TUM) durchgeführt. Es liegt in der Gemeinde Marzling im Landkreis Freising in Oberbayern.

Der Milchviehstall wurde 1996 von einem Anbindestall zu einem vierreihigen Laufstall mit Hochboxen und außenliegendem Fressbereich umgebaut und war zunächst nur mit einem 2x6 Fischgrätenmelkstand (Nachmelk- und Abnahmeautomatik) der Firma DeLaval ausgestattet. Im September 2001 wurde zusätzlich das automatische Melksystem VMS™ der Firma DeLaval in Betrieb genommen. Im Zuge dieser Veränderungen wurde die Herde unterteilt. 40-50 laktierende Tiere wurden am AMS, die restlichen 50-60 weiterhin konventionell im Fischgrätenmelkstand gemolken.

Die Fütterung einer aufgewerteten Mischration (PMR) erfolgte einmal täglich zwischen 07:00 und 08:00 Uhr. Die aus 30 % Gras-, 50 % Maissilage und 20 % hofei- genem Kraffutter bestehende Mischration hatte einen Energiegehalt von ca. 6,2 - 6,7 MJ NEL/kg TM. Bedingt durch Fütterungsversuche wurde im Zeitraum des Hauptversuches für einen Teil der Herde der Anteil der Maissilage zu Gunsten von Wiesenheu und Grassilage auf 20 % bzw. später sogar auf 0 % reduziert. Ein Einfluss auf die Fragestellung war durch die Änderung der Futtermischung nicht zu erwarten.

Die Herde besteht aus Tieren der Kreuzungszüchtung Red Holstein (80 %) x Fleckvieh (20 %). Die durchschnittliche Milchleistung der gesamten Herde lag im Mai 2001 bei 7.100 kg/Kuh u. Jahr und im März 2003 bei 8.400 kg/Kuh u. Jahr.

4.1.2 Betrieb B

Der zweite Betrieb war ein Familienbetrieb, der im westlichen Teil des Landkreises Freising liegt.

Im dreireihigen Laufstall mit Tiefboxen wurde im Frühjahr 2001 ein automatisches Melksystem Astronaut der Firma LELY installiert. Die 75 Tiere umfassende Herde wurde ab April 2001 ausschließlich im AMS gemolken. Im Durchschnitt waren 60-63 Tiere laktierend. Während der eigenen Untersuchungen im September 2002 war der Stall teilweise mit 65 laktierenden Tieren belegt. Die Auslastung des AMS war somit zu diesem Zeitpunkt sehr hoch.

Die durchschnittliche Milchleistung dieser Fleckvieh-Herde lag vor der Umstellung auf das AMS bei knapp 8.000 kg/Kuh u. Jahr. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen wurden durchschnittlich 7.500 kg/Kuh u. Jahr gemolken.

Auf diesem Betrieb wurde ein Teil der Vorversuche durchgeführt.

4.2 Vorrichtung zur Probenahme am VMS™

Um ohne Störung des Melkbetriebes am VMS™ (Betrieb A) viertelspezifische Proben entnehmen zu können, war eine eigens konstruierte Vorrichtung (Abbildung 6) notwendig. Die für die *freeflow MM25* konstruierten Fettprobenehmer wurden so in die Probenahmeverrichtung integriert, dass während der Melkung eine stetige Probenahme möglich war. Durch eine zusätzliche Vakuumpumpe und einen 5l-Vakuum-Ausgleichsbehälter konnten ca. 10 % des viertelspezifischen Milchflusses für die Untersuchungen abgezweigt werden.



Schalter zur Steuerung der Elektromagnete in den Viertelabzweigen

pro Viertel zwei Probenahmebehälter

Vakuumausgleichsbehälter

zusätzliche Vakuumpumpe

Abbildung 6: Gesamtansicht der viertelspezifischen Probenahmeverrichtung

In die seitliche Bohrung des *MM25* wurde ein Entnahmeröhrchen mit Milchschauch eingeführt, um kontinuierlich aus dem viertelspezifischen Milchfluss Proben abzuzweigen (Abbildung 7).

Die zwei gekoppelten Elektromagnete pro Viertelabzweig ermöglichten es, den abgeleiteten Milchstrom entweder in den Behälter 1 oder Behälter 2 zu leiten (Abbildung 8).

Mit dieser Probenahmeverrichtung war es möglich, repräsentative Viertelgesamtmelk-Proben und Proben aus den unterschiedlichen viertelspezifischen Milchfraktionen während der Melkung zu gewinnen.



Abbildung 7: Detailansicht (1) der viertelspezifischen Probenahmeverrichtung: Anschluss der Probennehmer an den *freeflows* MM25

Die repräsentativen Proben des Gesamtmelkes wurden mit dem für das VMS™ gefertigten und amtlich zugelassenen Fettprobennehmer, der am MM15 angeschlossen war, genommen.



Abbildung 8: Detailansicht (2) der viertelspezifischen Probenahmevorrichtung: elektromagnetische Ventile zum Umleiten des Milchflusses in die zwei viertelspezifischen Behälter (1 und 2)

4.3 Messverfahren zur Bestimmung der Milchparameter

4.3.1 Spektrale Reflexion

Die Farbmessung und somit die Ermittlung der spektralen Reflexion der Milchproben wurde mit dem Farbmessgerät *spectro-color*[®] der Fa. Dr. Lange GmbH durchgeführt. Das Gerät misst in 5 nm Schritten die Reflexionskurve im sichtbaren Bereich (400 - 700 nm), dabei werden die Reflexionslinien jeder Probe in 10 nm-Schritten in der Software *spectral-qc* abgespeichert und graphisch dargestellt.

Die Proben wurden mit der Normlichtart D65, definiert durch CIE, bestrahlt (Halogenlichtquelle). Für die Messung wurde die Kugelmessgeometrie $d/8^\circ$ nach DIN 5033 angewendet (Abbildung 9). Dadurch konnten Einflüsse von Glanz und Struktur der Probe nahezu ausgeschlossen werden.

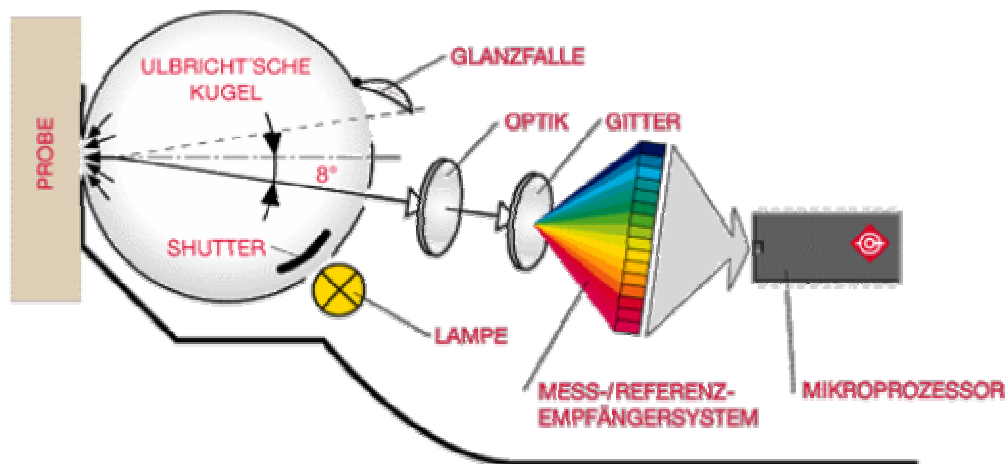


Abbildung 9: Kugel-Messgeometrie $d/8^\circ$ des spectro-color®
Quelle: [37]

Vor Beginn der Messungen wurde das Gerät auf die Standard-Farben (RAL) Weiß und Schwarz kalibriert (mindestens ein Mal pro Tag). Um reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurden die Milchproben auf 37°C erwärmt und vor dem Abfüllen in die zur Messung vorbereitete Cuvette kräftig geschüttelt. Die anschließende Messung der Milchproben fand im Überkopfverfahren statt. Dies bedeutet, dass nicht die spektrale Reflexion der Oberfläche der Milchproben, sondern die der an die Unterseite der Cuvetten anliegenden Milch gemessen wurde (Abbildung 10). Dadurch konnte ein Einfluss der auf der Oberfläche der Milchprobe durch Schaum o.ä. gebildeten Strukturunebenheiten gänzlich ausgeschlossen werden.

Der Ausschluss von Fremdlicht während der Messung erfolgte durch Aufsetzen einer schwarzen Kappe über die mit Milch gefüllte Cuvette. Ein Messvorgang pro Probe setzte sich aus drei Einzelmessungen zusammen, die im Anschluss zum Mittelwert verrechnet wurden. Die Angabe der absoluten Messwerte der spektralen Reflexion erfolgte in Prozent [%]. Ein mittlerer Reflexionsgrad über den gesamten Wellenlängenbereich von 100 % würde eine rein weiße Probe, ein Reflexionsgrad von 0 % eine tief schwarze Probe widerspiegeln.



Abbildung 10: Messung der Milchproben mit dem spectro-color® im Überkopfverfahren

4.3.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit (LF) der Milch erfolgte mit der Messelektrode LDM 130 der Wissenschaftlich-Technischen Werkstätten (WTW) Weilheim. Vor jeder Messreihe wurde die Elektrode mit einer 0,1M KCl-Lösung kalibriert. Um konstante Bedingungen zu erhalten, wurde die Messzelle mit 25°C warmem Wasser umspült. Die Milchproben (2 ml) wurden ebenfalls im Wasserbad auf 25°C erwärmt und vor der Messung durchgemischt. Die Ermittlung des LF-Wertes der einzelnen Proben erfolgte durch Mittelwertbildung von drei Messungen. Die Werte der elektrischen Leitfähigkeit werden in Millisiemens pro Zentimeter [mS/cm] angegeben.

4.3.3 Ionengehalt (Na⁺ und Cl⁻)

Die Bestimmung des Na⁺ und Cl⁻ Ionengehaltes (NA bzw. CL) erfolgte mit zwei ionenselektiven Elektroden der Firma Orion Research (USA). Beide Elektroden waren als Einstabmessketten konzeptioniert.

Der Gehalt an Na⁺ Ionen wurde mit dem Model 9811 und der von Cl⁻ Ionen mit dem Model 9617BN ermittelt. Vor Beginn der Messungen (mind. ein Mal täglich) wurden beide Elektroden durch eine 2-Punkt-Kalibrierung richtig eingestellt. Zur Messung des Cl⁻ Gehaltes wurden 0,2 ml der Milchprobe auf eine Keramik-Platte gegeben. Für die Bestimmung des NA⁺ Gehaltes wurde die Elektrode direkt in die Milchprobe (2 ml Eppendorf®-Cup) gestellt. Die Milchproben wurden vor den Messungen im Wasser-

bad auf 25°C erwärmt und durchgemischt. Die Angabe der Ionengehalte der Milch erfolgt in Millimol pro Liter [mmol/l].

4.3.4 Somatischer Zellgehalt und Milchinhaltstoffe

Der somatische Zellgehalt der Milchproben wurde im Labor Wolnzach des Milchprüfung (MPR) Bayern e.V. ermittelt. Mit dem verwendeten *Kombi*-Gerät, bestehend aus Fossomatic 5000 und MilcoScan-FT-6000, konnten neben dem somatischen Zellgehalt (SCC) auch die weiteren Milchinhaltstoffe (Laktose, Fett, Eiweiß und Harnstoff) bestimmt werden. Der Erfassungsbereich für den SCC lag zwischen 1.000 und 10 Mio. Zellen/ml.

Die Anzahl der somatischen Zellen wird pro Milliliter [1/ml] angegeben. Für die bessere Auswertung wurden die Zellzahlwerte durch Logarithmieren (\log_{10}) transformiert.

4.3.5 Bakteriologische Untersuchung

Die mikrobiologische Untersuchung der Viertelanfangsgemelkproben wurde durch den Eutergesundheitsdienst des Tiergesundheitsdienstes (TGD) Bayern e.V. vorgenommen. Grundlage für die in allen Labors nach gleichen Voraussetzungen durchgeführten Untersuchungen sind eigene Arbeitsanweisungen des TGD sowie die Leitlinien der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG) zur Isolierung und Identifizierung von Mastitiserregern. Die Milchproben werden dazu auf einer Columbia-Agarplatte mit Blut- und Äskulinzusatz (10% Blut- und 0,1% Äskulinzusatz) überimpft und für mindestens 36 Stunden bei $36\pm 1^\circ\text{C}$ aerob bebrütet. Alle vier Proben werden jeweils auf einer Agarplatte ausgestrichen. Nach einer definierten Inkubationszeit erfolgt die Differenzierung der gewachsenen Bakterienkulturen unter Beurteilung der Kolonienmorphologie, des Hämolyseverhaltens und der Äskulinspaltung [34] [41]. Die Auswertung schließt die umweltassoziierten Erreger wie *Streptococcus uberis* und *Enterococcus*, sowie die kuhassoziierten wie *Staphylococcus aureus* und *Streptococcus agalactiae* mit ein. Die dritte Erregergruppe bilden die koagulate negativen Staphylococci (KNS).

4.4 Vorversuche

4.4.1 Beurteilung der Eutergesundheit durch den Melker

Die Beurteilung der Eutergesundheit durch den Melker erfolgte innerhalb von zwei Versuchsperioden. An jeweils 12 Tagen wurde im September 2002 (Betrieb B) und im August bzw. September 2003 (Betrieb A) bei insgesamt 1.510 Melkungen das Vorgemelk der Tiere gewonnen. Hier wurde analysiert, inwieweit festgestellte Auffälligkeiten im Vorgemelk mit der Eutergesundheit übereinstimmen. Der Status der Eutergesundheit wurde hierfür durch den somatischen Zellgehalt der Milch (jede Melkung) und durch bakteriologische Untersuchungen (an drei Terminen) beschrieben.

Das Vorgemelk jedes Viertels wurde in ein Probefläschchen (ca. 40 ml) gemolken. Bei jeder viertelspezifischen Probe wurde sofort im Anschluss an die Probenahme nach vorgegebener Reihenfolge

- der Milchzelltest (CMT) durchgeführt,
- die Milchbeschaffenheit und die Milchfarbe auf einer schwarzen Vormelkplatte bestimmt, sowie
- festgestellte Veränderungen am Euterviertel oder an der Zitze (schon während des Probenehmens) erfasst.

Die visuelle Überprüfung der Vorgemelkproben fand unter optimalen Lichtverhältnissen an einer nahe dem AMS platzierten Arbeitsfläche statt (Abbildung 12). Die Ergebnisse und Auffälligkeiten wurden von der melkenden Person in einem vorgegebenen Protokoll erfasst (Abbildung 11).

Ifd. Nr.	Kuh	Viertel	Milchzell-Test	Milch-Beschaffenheit	Milch-Farbe	Viertel-Zustand	Zitzen-Zustand	Bemerkung
A001		RV						
A002		RH						
A003		LV						
A004		LH						
A005		RV						
A006		RH						
A007		LV						
A008		LH						
A009		RV						
A010		RH						
A011		LV						
A012		LH						
A013		RV						
A014		RH						
A015		LV						
A016		LH						

Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Protokoll zur Feststellung von Veränderungen im Viertelanfangsgemelk



Abbildung 12: Arbeitsbereich zur visuellen Überprüfung der Vorgemelke

Die Einstufung des Milchzelltestes - als Testflüssigkeit wurde das Konzentrat „Calgonit“ der Fa. Kleencare Hygiene GmbH verwendet - und die Einstufung der Milchbeschaffenheit wurde nach den bekannten Klassen bzw. Kategorien, wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben, vorgenommen. Die Einteilung der Milchfarbe erfolgte in vier Kategorien (weiß, wässrig, gelb und rot).

Wurden schon während der Probenahme Veränderungen an der Zitze (z. B. Schnitte, Ausfransungen, usw.) oder Auffälligkeiten am Viertel (Erwärmung, Verhärtung, usw.) festgestellt, waren auch diese im Protokoll zu vermerken.

Nach dem Ziehen einer Rückstellprobe (2 ml) für evtl. weitere Untersuchungen wurde die restliche Probe durch Natrium-Acid-Tabletten konserviert und an das Labor des Milchprüfrings Bayern e.V. (MPR) zur standardmäßigen Beprobung weitergeleitet.

Waren zusätzliche Proben für bakteriologische Untersuchungen notwendig, wurden diese als erstes genommen. Hierzu wurden die Zitzenspitzen mit einem in Alkohol (70 %) getränktem Tuch gereinigt und jeweils der zweite Milchstrahl pro Viertel in ein steriles Reagenzglas gemolken.

Die sieben melkenden Personen, hauptsächlich Agrarstudenten und Techniker, hatten alle Erfahrung im Melkbetrieb und waren mit den anzuwendendem Beurteilungs-

schema vertraut. Insgesamt standen für diese Untersuchung 5.900 Vorgemelkproben zur Verfügung.

4.4.2 Beeinflussung der Farbwerte durch die Milchhaltsstoffe

Die Vorversuche für die Farbmessung fanden in der Herde des Betriebs A im Zeitraum Mai bis Juni 2001 statt. Hierzu wurden 13 Tiere aus der Herde ausgewählt (Tabelle 13), wobei

- eine Tagesmilchmenge von mehr als 20 kg erreicht sein musste und
- Tiere mit klinischen und subklinischen Mastitisfällen in die Untersuchung aufgenommen wurden (Basis: LKV-Daten der letzten Probemelkung).

Tabelle 13: Daten der im Vorversuch einbezogenen Kühe (Mai 2001)

Kuh	Laktation	Laktationstag [d]	Milchmenge [kg/d]	viertelspezifischer SCC [1.000 Zellen/ml]			
				rv	rh	lv	lh
249	4	155	23,7	682	86	100	55
285	3	194	29,3	60	440	12	76
311	3	154	36,6	61	91	153	7
324	3	134	29,9	100	15	15	14
336	3	135	30,3	60	119	13	11
351	2	139	30,4	60	20	19	10
352	2	211	20,5	62	133	87	72
354	2	211	19,5	79	82	25	14
365	2	122	44,0	38	7	8	13
369	2	195	19,9	211	106	177	37
391	2	133	26,5	27	371	81	78
408	1	120	30,4	383	800	177	5
425	1	175	k.A.	103	16	36	39

alle Daten vom 21.05.01

Die Tiere wurden im konventionellen Melkstand zwei Mal täglich gemolken. Die Morgenmelkzeit lag zwischen 05:00 und 07:00 Uhr, die Abendmelkzeit zwischen 15:30 und 17:30 Uhr. Folglich wurden durchschnittliche Zwischenmelkzeiten von 11 bis 13 Stunden erreicht.

Die Tiere wurden ab der Abendmelkzeit am Montag, 21.05.2001, bis einschließlich Freitag, 01.06.2001, zu jeder Melkzeit beprobt, wobei unmittelbar nach Betreten des

Melkstandes die Viertelanfangsgemelkproben (40-60 ml) genommen wurden. Da der Probenahme keine Vorstimulation durch Euterreinigung oder sonstiger taktiler Reize vorangestellt war, wurde der Beginn der Probenahme und somit auch der Vorstimulation als Zeitpunkt $t=0$ s definiert. Die Gemelksproben wurden in der Reihenfolge

Viertel rechts vorne ($t=0$ s) → Viertel rechts hinten ($t\approx 25$ s) →
Viertel links vorne ($t\approx 50$ s) → Viertel links hinten ($t\approx 70$ s)

genommen (Abbildung 13).

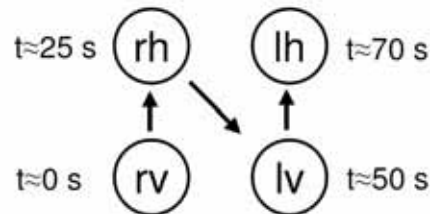


Abbildung 13: Probenahme Reihenfolge während des Vorversuches

Die Zeitangaben entsprechen dem jeweils ersten Kontakt an der Zitze

Die Milch wurde in PE-Flaschen gemolken. Nach Beendigung der Probenahme wurde die normale Melkroutine fortgesetzt.

Die Beprobungen für die bakteriologische Untersuchung wurden am 16.05., 23.05 und am 30.05.01 durch Mitarbeiter des TGD Bayern e.V. durchgeführt.

Für diesen Versuch konnten pro Kuh bis zu 80 Viertelanfangsgemelke (VAG) aus 20 Melkungen gewonnen werden. Insgesamt standen 1.033 VAG-Proben zur Auswertung zur Verfügung (Tabelle 14).

Die Messungen zur Bestimmung der spektralen Reflexion fanden im Anschluss an die jeweilige Melkzeit statt. Für evtl. weitere Untersuchungen wurde pro Anfangsgemelk eine Rückstellprobe tiefgefroren.

Tabelle 14: Anzahl der Viertelanfangsgemelk-Proben je Kuh (Vorversuch Farbmessung)

Datum	Melkzeit	Kuh-Nr.												Σ
		249	285	311	324	336	351	352	354	365	369	391	408	
21.05.01	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48
22.05.01	morgens	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
23.05.01	morgens	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
24.05.01	morgens	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
25.05.01	morgens	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
26.05.01	morgens	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
27.05.01	morgens													
	abends													
28.05.01	morgens	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
29.05.01	morgens	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	51
	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
30.05.01	morgens	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	51
	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
31.05.01	morgens	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	51
	abends	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
01.06.01	morgens	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
Summe		80	80	79	80	80	79	79	80	80	80	80	76	1.033

4.5 Hauptversuche

4.5.1 Verlauf der gemessenen Milchparameter während der Melkung

Um Veränderungen der Milchparameter während des Melkens zu erfassen, wurden einzelne Fraktionen der Viertelgemelke genommen und auf die Parameter spektrale Reflexion (SR), elektrische Leitfähigkeit (LF), Na⁺ und Cl⁻ Gehalt (NA, CL) sowie somatischer Zellgehalt (SCC) untersucht. Die Versuche wurden Anfang März 2003 über zwei Tage bei 42 Tieren der VMS-Herde des Betriebs A durchgeführt.

Dazu musste das VMS so eingestellt werden, dass nach dem Eintritt des Tieres in die Melkbox das System in den manuellen Modus wechselte. Auf die Reinigung der Zitzen mit dem Vorbereitungsbecher wurde verzichtet. Waren jedoch größere Verschmutzungen am Euter vorhanden, wurden diese mit einem angefeuchteten Euter-

papier entfernt. Die Zitzenbecher wurden ohne weitere taktile Stimulation, d.h. ohne Vorstimulation, manuell angesetzt. Im Anschluss wurde das VMS™ in den automatischen Modus versetzt.

Die eigens entwickelte Vorrichtung (siehe Kap. 4.2) ermöglichte eine Probenahme der einzelnen Fraktionen der Viertelmelke. Die ersten 500 ml eines jeden Viertelgemelkes bildeten die erste Fraktion und wurden mit Viertelanfangsgemelk (VAG) bezeichnet (Tabelle 15). Im weiteren Verlauf der Beprobung wurden Milchproben (Fraktion 2 bis (n-1)) im 500 ml bzw. 1.000 ml-Schritt genommen. Sie bildeten in der Summe das Viertelmitelgemelk (VMG). Das Viertelendgemelk (VEG) setzte sich aus den letzten 300-500 ml Milch eines jeden Viertels zusammen. Das Umschalten zwischen den einzelnen Fraktionen erfolgte an Hand der viertelspezifischen Milchmengenanzeige der *freeflow MM25*.

Tabelle 15: Aufteilung des Viertelgesamtemelkes (VGG) in Fraktionen

Fraktion	Menge [ml]	Bezeichnung	
1	0-500	Viertelanfangsgemelk (VAG)	Viertelgesamtemelk (VGG)
2	500-1.000		
3	1.000-1.500	Viertelmitelgemelk (VMG)	
n-1			
n	letzten 300-500	Viertelendgemelk (VEG)	

Die Messung der spektralen Reflexion (SR) erfolgte innerhalb von fünf Stunden nach der Probenahme. Für die spätere Messung der elektrischen Leitfähigkeit und der Ionengehalte wurden die Rückstellproben sofort nach der Messung der spektralen Reflexion in 2 ml Eppendorf®-Cups tiefgefroren (-10° bis -18°C).

Die Auswertungen umfassten das VAG, das VMG - wobei hier die Messwerte für die Milchparameter der einzelnen Fraktionen durch Mittelwertbildung zu einem Wert zusammengefasst wurden - und das VEG. Auch für das Viertelgesamtemelk (VGG) wurden die Parameter bestimmt.

4.5.2 Erkennung von Eutererkrankungen durch Erfassung der spektralen Reflexion, der elektrischen Leitfähigkeit sowie des Na⁺ und Cl⁻ Gehaltes

Basierend auf den Ergebnissen der Vorversuche wurden im Hauptversuch zur Beurteilung der Eutergesundheit die Parameter spektrale Reflexion (SR), elektrische Leit-

fähigkeit (LF), Na⁺ und Cl⁻ Gehalt (NA, CL) durch eigene Messwerterfassung, sowie der somatische Zellgehalt (SCC) und zusätzlich der Laktose-, Fett- und Proteingehalt der Milch durch das MPR-Labor erfasst. Hierzu wurden im Zeitraum von 11 Tagen (11. - 21.03.03) bei 16 Tieren der VMS-Herde des Betriebs A (Tabelle 16) die Viertelanfängsgemelke (VAG), Viertelgesamtemelke (VGG) und die Gesamtemelke (GG) genommen und auf diese Parameter hin untersucht (Tabelle 17).

Tabelle 16: Daten der im Hauptversuch einbezogenen Kühe (März 2003)

Kuh	Laktation	Laktationstag [d]	Milchmenge [kg/d]	viertelspezifischer SCC [1.000 Zellen/ml]			
				rh	lh	rv	lv
288	5	139	18,3	156	141	112	179
356	4	88	35,8	34	22	70	34
367	4	100	31,9	18	44	373	35
382	3	262	22,0	79	24	1.000	58
396	3	281	19,3	1.000	32	36	63
425	3	119	28,2	101	904	105	350
436	2	250	18,6	19	14	13	72
441	2	244	21,5	36	10	13	17
461	2	168	30,8	33	12	12	9
516	1	133	31,9	17	8	8	10
521	1	184	17,5	47	27	42	36
523	1	118	22,7	13	17	55	14
529	1	125	25,9	19	36	19	27
531	1	137	21,0	23	38	23	33
533	1	76	30,3	42	26	13	13
537	1	70	23,1	142	56	22	44

alle Daten vom 11.03.03

Repräsentative Proben der Viertelgemelke wurden wieder mit Hilfe der Probenahmeverrichtung (vgl. Kap. 4.2) gewonnen. Zusätzliche Proben des Gesamtemelkes wurden durch den Fettprobenehmer genommen.

Tabelle 17: Parametererfassung im Hauptversuch

Parameter	VAG	VGG	GG	Bestimmung
elektrische Leitfähigkeit	x			eigene
spektrale Reflexion	x	x	x	eigene
Na ⁺ und Cl ⁻ Ionengehalt	x			eigene
Milchinhaltstoffe (SCC, Laktose, Fett u. Protein)	x	x	x	MPR-Labor Wolnzach

VAG: Viertelanfängsgemelk
VGG: Viertelgesamtgemelk
GG: Gesamtgemelk

Für die Messungen der Parameter elektrische Leitfähigkeit, spektrale Reflexion sowie für die Bestimmung des Gehaltes an Na⁺ und Cl⁻ Ionen im Viertelanfängsgemelk wurden repräsentative Milchproben (Testportion A = ca. 30 ml) aus den jeweils ersten 300 ml jeder Zitze genommen. Um eine ausreichende Menge an Milch für die späteren Untersuchungen im MPR-Labor zu erhalten, wurden zusätzlich weitere 15-20 ml (Testportion B) der folgenden 200 ml aufgefangen. Die Trennung zwischen den einzelnen Testportionen erfolgte auf Grund der Anzeigenwerte der *freeflow MM25* für die gemolkene Milchmenge durch Umschalten der Elektromagnete in den Viertelabzweigen.

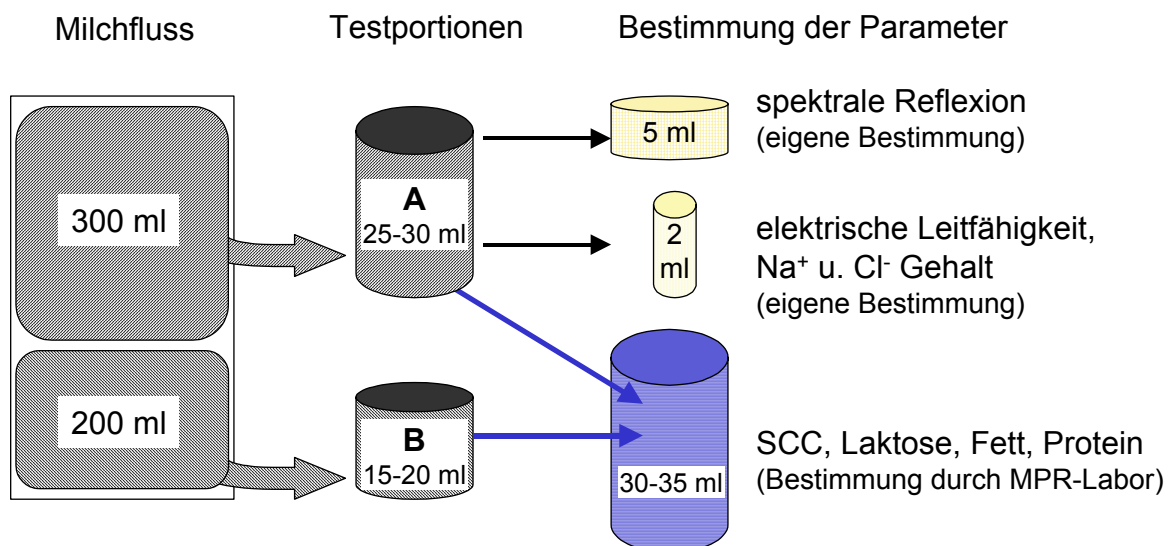


Abbildung 14: Gewinnen der Testportionen zur Bestimmung der Parameter in Viertelanfängsgemelkproben

Nach der Bestimmung der spektralen Reflexion mit Milch aus Testportion A wurden Rückstellproben für die weiteren Messungen in 2 ml Eppendorf[®]-Cups gezogen und bei -10° bis -18°C tiefgefroren. Die verbliebene Menge der Testportion A wurde so-

weit mit der Testportion B aufgemischt, dass ein Minimum von 35 ml zur Beprobung im MPR-Labor zur Verfügung stand.

Für die Messung der Parameter in den Viertelgesamtmelken und im Gesamtgemelk wurden ebenfalls 5 ml und 2 ml aus repräsentativen Proben abgefüllt, der Rest diente als Grundlage für die MPR-Labor-Untersuchung.

In dieser Untersuchung sollte die Aussagekraft der gemessenen Parameter in Bezug auf gestörte Milchsekretion beurteilt werden. Da aus der Literatur [22], [56], [85], [100], [155], [157] und den vorhergehenden Untersuchungen bekannt ist, dass die Aussagekraft der chemisch-physikalischen Parameter vor Beginn der Milchejektion am höchsten ist, wurden die Melkbecher ohne maschinelle Vorreinigung der Zitzen angesetzt. Die Reihenfolge und die berücksichtigte durchschnittliche Dauer für den Ansetzvorgang, die der Zeit des optimalen automatischen Ansetzens eines AMS entspricht, ist der Abbildung 15 zu entnehmen.

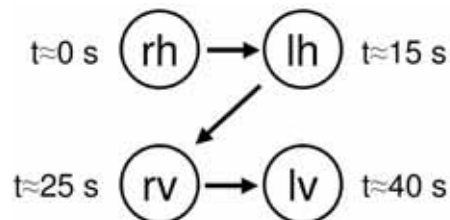


Abbildung 15: Probenahme Reihenfolge am VMS™ (Hauptversuch)

Die Zeitangaben entsprechen der aufsummierten Ansetzzeit an der jeweiligen Zitze.

Da beim automatischen Melken die Melkfrequenz variieren kann, wurden die Kühe in diesem Versuch unterschiedlich oft beprobt. Eine Übersicht über die jeweilige Anzahl an Melkungen pro Kuh, die Melkzeit sowie die durchgeführte Beprobung zeigt Tabelle 18. Von insgesamt 280 Melkungen konnten die entsprechenden Gemelkproben (1.123 VAG und 1.100 VGG) in die Auswertung einbezogen werden.

Tabelle 18: Übersicht über die genommenen Viertelanfängsgemelk-Proben je Kuh (Hauptversuch)

Datum	Melkzeit	Kuh-Nr.															Σ	
		288	356	367	382	396	425	436	441	461	516	521	523	529	531	533		537
11.03.03	0-6			nb			nb								nb	nb	nb	39
	6-12	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	
	12-18		b	b	b	b	b	b	b	b		b	b	b	b	b	b	
	18-24	b	b					b			b		b	b	b	b	b	
12.03.03	0-6													nb		nb		36
	6-12	b		b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	nb	
	12-18		b	b	b	nb	b	nb	b	b	b	b		b	b	b	b	
	18-24	b	b	b		b		b		b	b		nb	b		b	b	
13.03.03	0-6																	37
	6-12	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	nb		b	b	b	b	
	12-18		b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	
	18-24	b	b	b						b	b			b		b	b	
14.03.03	0-6							nb					nb				nb	21
	6-12	b	b	b	b	b	nb		b	b	b	b	b	b	b	b	b	
	12-18	nb	b	b		nb	nb		nb	b	b	nb	nb	b	nb	b	b	
	18-24			nb	nb			nb		nb	nb					nb	nb	
15.03.03	0-6		nb			nb		nb	nb	nb		nb			nb			20
	6-12	nb		nb			nb				nb	nb	nb	nb	nb			
	12-18		nb		nb	nb	nb	nb	nb	nb		nb		nb		nb	nb	
	18-24	nb	nb	nb			nb			nb	nb		nb		nb	nb		
16.03.03	0-6		nb	nb	nb	nb		nb		nb		nb		nb			nb	20
	6-12	nb		nb			nb		nb		nb	nb		nb		nb		
	12-18	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb			nb		nb	nb	
	18-24		nb					nb		nb		nb	nb	nb	nb	nb		
17.03.03	0-6			nb	nb	nb	nb		nb			nb			nb		nb	37
	6-12	nb					nb			nb	nb			nb		nb		
	12-18	b	nb	b	b	b	b	b	b	b		b	nb	b	b	nb	b	
	18-24		b	b			b			b	b			b		b	b	
18.03.03	0-6								nb				nb					37
	6-12	b	b	b	b	b	b	b		b	b	b		b	b	b	b	
	12-18	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	
	18-24		b	b			b			b				b		b	b	
19.03.03	0-6															nb		38
	6-12	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	
	12-18		b	b	b	b	b	b	b	b		b		b	b	b	b	
	18-24	b	b	b			b			b	b		nb	b		b	b	
20.03.03	0-6																	37
	6-12	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	nb	b	b	b	b	
	12-18	b	b	b	b	b	b	b	b	b		b		b	b	b	b	
	18-24	nb	b	b			b			b	b		nb	b		b	b	
21.03.03	0-6	nb			nb													15
	6-12	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	nb	b	b	b	b	
Summe		15	21	22	15	15	18	15	14	22	18	14	8	23	16	22	22	280

b: beprobte, nb: nicht beprobte Melkungen

4.6 Einstufung der Eutergesundheit

Die Einteilung der Eutergesundheit erfolgte auf Basis des Zellgehaltes des Viertelanfängsgemelkes. Für die statistischen Auswertungen fand eine 4-stufige Klassifizierung statt (Tabelle 19). Die Grenzen der jeweiligen Klassen wurden so gewählt, dass ein Großteil der unterschiedlichen Literaturangaben (vgl. Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) bezüglich der Zellzahlgrenzen für normale Milchsekretion berücksichtigt werden konnte.

Tabelle 19: Einteilung der Eutergesundheit in Abhängigkeit des somatischen Zellgehaltes (SCC) des Viertelanfängsgemelkes

Klasse	SCC [1/ml]
SCC I	<100.000
SCC II	100.000-200.000
SCC III	200.000-500.000
SCC IV	>500.000

Für einen Teil der Auswertungen wurde zusätzlich der Befund der bakteriologischen Beprobung mit berücksichtigt, so dass hier die in Tabelle 20 dargestellte Klassifizierung zugrunde gelegt wurde.

Tabelle 20: Einteilung der Eutergesundheit in Abhängigkeit des somatischen Zellgehaltes (SCC) und des bakteriologischen Befundes des Viertelanfängsgemelkes

Klasse	SCC [1/ml]	bakteriologischer Befund
SCC 1	<100.000	<i>negativ</i>
SCC 2	100.000-200.000	<i>negativ</i>
SCC 3	200.000-500.000	<i>negativ</i>
SCC 4	>500.000	<i>negativ</i>
SCC 11	<100.000	<i>positiv</i>
SCC 12	100.000-200.000	<i>positiv</i>
SCC 13	200.000-500.000	<i>positiv</i>
SCC 14	>500.000	<i>positiv</i>

4.7 Verrechnung und statistische Auswertung der Messdaten

4.7.1 Verrechnung der Messdaten

Die für die verschiedenen Parameter aus den jeweiligen Messverfahren ausgegebenen Ergebnisse wurden im Tabellenkalkulationsprogramm MS-EXCEL[®] zusammengeführt und verrechnet.

Dabei mussten die Spektrallinien der Reflexionsmessung so aufbereitet werden, dass absolute Werte für die Berechnung zur Verfügung standen. Neben den absoluten Messwerten wurden auch relative Werte in die Berechnungen mit einbezogen. Im Folgenden werden die verschiedenen Berechnungsarten näher beschrieben.

4.7.1.1 Berechnung der mittleren spektralen Reflexion in einem bestimmten Wellenlängenbereich

Aus den Rohdaten der Spektrallinien wurde der mittlere spektrale Reflexionsgrad (SR) aus den zu den einzelnen Wellenlängen dazugehörigen Reflexionsgraden (ASR) nach Formel (3) berechnet.

$$(3) \quad SR(\lambda_s; \lambda_e) = \frac{\sum_{\lambda_s}^{\lambda_e} ASR}{[(\lambda_e - \lambda_s) / i] + 1}$$

wobei: SR : mittlere spektrale Reflexion [%]
 ASR : absoluter Reflexionsgrad [%]
 λ_s : Startpunkt des Wellenlängenbereiches [nm]
 λ_e : Endpunkt des Wellenlängenbereiches [nm]
 i : Messintervall [nm]

Mit Hilfe dieser Berechnung war es möglich, jeder gemessenen Probe in den ausgewählten Wellenlängenbereichen den mittleren Reflexionsgrad (SR) zuzuweisen.

4.7.1.2 Verrechnung der einzelnen Proben untereinander

Um die Proben miteinander vergleichen zu können, wurde die Differenzmethode (vgl. Kap. 2.3.2.1), auch „inter quarter comparison“ genannt, verwendet. Dabei wird die Differenz der mittleren spektralen Reflexion (ΔSR_{abs}) der aktuellen Probe zur Referenzprobe nach Formel (4) berechnet. Bei viertelspezifischen Milchproben wurde die Probe mit der höchsten Reflexionslinie als Referenzprobe definiert.

$$(4) \quad \Delta SR_{abs}(\lambda_s; \lambda_e) = SR_a(\lambda_s; \lambda_e) - SR_{ref}(\lambda_s; \lambda_e)$$

wobei: ΔSR_{abs} : Differenz der mittleren spektralen Reflexion [%]
 a : aktuelle Probe
 ref : Referenzprobe
 λ_s : Startpunkt des Wellenlängenbereiches [nm]
 λ_e : Endpunkt des Wellenlängenbereiches [nm]

Des Weiteren wurden die absoluten Differenzen durch die Quotientenmethode („inter quarter ratio“) beschrieben in Formel (5) relativiert.

$$(5) \quad \Delta SR_{rel}(\lambda_s; \lambda_e) = \frac{\Delta SR_{abs}(\lambda_s; \lambda_e)}{SR_{ref}(\lambda_s; \lambda_e)} * 100$$

wobei: ΔSR_{rel} : rel. Abweichung der aktuellen Probe zur Referenzprobe [%]
 SR : mittlere spektrale Reflexion [%]
 ΔSR_{abs} : absolute Differenz der mittleren spektralen Reflexion [%]
 ref : Referenzprobe
 λ_s : Startpunkt des Wellenlängenbereiches [nm]
 λ_e : Endpunkt des Wellenlängenbereiches [nm]

4.7.1.3 Berechnung der relativen Werte für elektrische Leitfähigkeit sowie für den Na^+ und Cl^- Gehalt

Die Werte der elektrischen Leitfähigkeit sowie die Werte des Na^+ und Cl^- Gehaltes wurden wie die Farbwerte nicht nur absolut, sondern auch als Relativwerte verrechnet. Das Vorgehen entspricht den in (4) und (5) dargestellten Formeln. Jedoch wurde beim Vergleich innerhalb einer Melkung das Viertel mit dem geringsten Messwert als Referenz herangezogen.

4.7.2 Statistische Auswertung und Darstellung

Die statistische Analyse der Daten wurde mit dem SAS Programm-Paket durchgeführt. Die Berechnung der deskriptiven Statistik erfolgte mit der PROC MEANS, die der Korrelationen mit der PROC CORR. Die Varianzanalyse mit Mittelwertsvergleichen wurde mit der PROC MIXED und der darin enthaltenen *repeated measure analysis* und dem *Least Significance Difference Test* (LSD) durchgeführt. Dabei ging das Einzeltier als Wiederholung in das Model ein. Die weiteren Variablen wie Zellzahlklassifizierung, Milchfraktion oder Zwischenmelkzeit wurden als fixe Effekte behandelt (Formel (6)).

$$(6) \quad Y = \mu + HC + MF + ZMZ + e$$

wobei: Y : abhängige Variable
 μ : Mittelwert
 HC : Zellzahlklasse (SCC I bis IV)
 MF : Milchfraktion (VAG, VMG, VEG, VGG)
 ZMZ : Zwischenmelkzeit
 e : zufälliger Effekt

dabei waren abhängige Variablen:

SCC : somatischer Zellgehalt
 LF : elektrische Leitfähigkeit (absolut und relativ)
 SR : spektrale Reflexion (absolut und relativ)
 NA : Na^+ Gehalt (absolut und relativ)
 CL : Cl^- Gehalt (absolut und relativ)
 lact : Laktose Gehalt
 fat : Fett Gehalt

Das Testniveau wurde bei allen Untersuchungen auf 1 % ($P < 0,01$) festgelegt.

Die Ergebnisse sind entweder als Mittelwerte mit dem Standardfehler der Mittelwerte (SEM) oder als Boxplot-Grafiken (Abbildung 16) dargestellt.

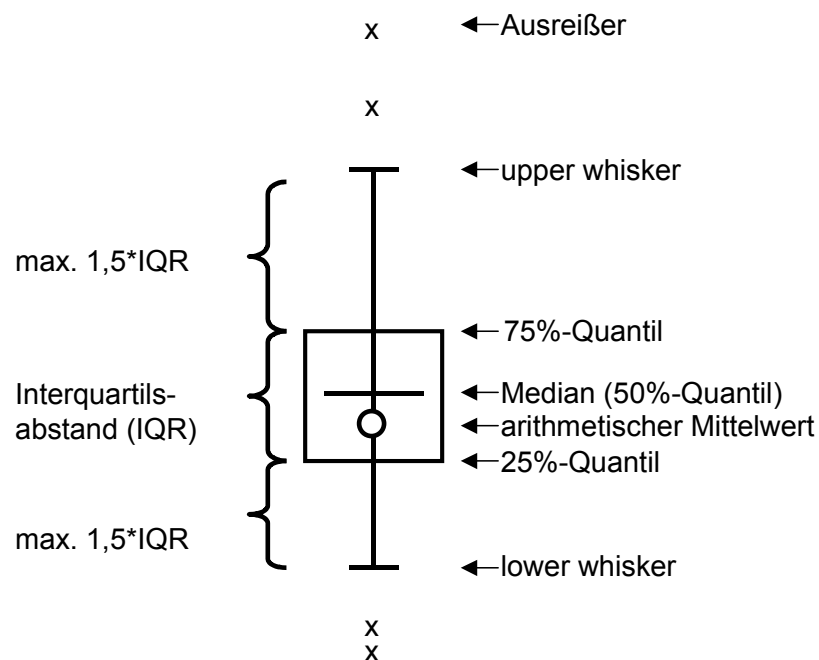


Abbildung 16: Interpretation einer Boxplot-Darstellung

4.7.3 Verfahren des Diagnostischen Testes

Die Beurteilung der überprüften Parameter bezüglich der Erkennung von Eutererkrankungen erfolgte mit dem Verfahren des *Diagnostischen Testes*. Das Vorgehen und die Interpretation der Testergebnisse wurde bereits in Kapitel 2.5 ausführlich beschrieben.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse der jeweiligen Parameter mit den Validitätsmaßen (Sensitivität und Spezifität) berechnet. Da beide Validitätsmaße voneinander abhängen, jedoch eine Vergleichbarkeit der gemessenen Parameter erzielt werden musste, wurde in der vorliegenden Untersuchung von einer Spezifität von mindestens 95 % ausgegangen. So konnte die Aussagekraft (hier: die Erkennungsrate) der einzelnen oder miteinander kombinierten Parameter verglichen werden. Somit ergaben sich auch die cut-off points der einzelnen Parameter dort, wo die Spezifität des einzelnen Parameters oder der Kombinationen gleich 95 % war.

Bei der Kombination mehrerer Parameter wurde eine ODER-Verknüpfung verwendet. Das bedeutet, dass bei Grenzwertüberschreitung schon eines Parameters das Ergebnis als *positiv* (d.h. Hinweis oder Alarmierung) eingestuft wurde.

Die erste Parameterkombination im Hauptversuch (Variante 1) wurde in Anlehnung an ein auf dem Markt befindliches AMS ausgewählt, das sowohl die elektrische Leitfähigkeit als auch die Farbänderungen in der Milch misst und registriert. Die Erfassung der Milchfarbe erfolgt aber in diesem AMS nicht mit dem Spektral- sondern mit dem Dreibereichsverfahren (RGB). Die Grundlage der Variante 2 bildeten die Parameter, die bei einer schrittweisen Regression in das Modell aufgenommen wurden, wobei der somatische Zellgehalt (SCC) die abhängige Variable bildete. Als unabhängige Variablen standen dem Modell folgende acht Parameter zur Verfügung:

- elektrische Leitfähigkeit (LF und ΔLF_{rel})
- spektrale Reflexion im Mastitisband ($SR_{mastitis}$ und $\Delta SR_{mastitis}$)
- Na^+ Gehalt (NA und ΔNA_{rel})
- Cl^- Gehalt (CL und ΔCL_{rel})

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Vorversuche

5.1.1 Beurteilung der Eutergesundheit durch den Melker

5.1.1.1 Visuelle Überprüfung

► Milchbeschaffenheit

Die 5.894 gewonnenen Vorgemelke aus zwei unterschiedlichen Herden (Betrieb A und Betrieb B) wurden zuerst basierend auf der Bestimmung des somatischen Zellgehaltes durch den MPR in die jeweiligen Zellzahl-Klassen eingestuft (Tabelle 21). Dabei hatten 57,8 % aller Vorgemelke einen somatischen Zellgehalt von weniger als 100.000 Zellen/ml (SCC I), bei 16,2 % wurden mehr als 500.000 Zellen/ml (SCC IV) im Vorgemelk gezählt.

Tabelle 21: Anzahl der sinnfällig unveränderten bzw. veränderten Vorgemelke in den Zellzahl-Klassen (SCC)

SCC	[Zellen/ml]	Auffälligkeiten im Vorgemelk					
		gesamt		Sekret sinnfällig			
		n	[%]	unverändert (0)		verändert (A-F)	
		n	[%]	n	[%]	n	[%]
SCC I	<100.000	3.408	57,8	3.391	99,5	17	0,5
SCC II	100.000-200.000	795	13,5	776	97,6	19	2,4
SCC III	200.000-500.000	737	12,5	692	93,9	45	6,1
SCC IV	>500.000	954	16,2	671	70,3	283	29,7
gesamt		5.894	100	5.530	93,8	364	6,2

Werden die Auswertungen der Aufzeichnungen der Melkpersonen mit diesen Einstufungen verglichen, so wurde in der SCC I-Klasse bei 99,5 % aller Vorgemelke das Sekret als sinnfällig unverändert eingestuft. Nur 0,5 % der Vorgemelke wurden hier als sinnfällig verändert angegeben.

Als „sinnfällig verändert“ sind die bei GRUNERT (1992) [46] angegebenen sechs Einstufungen von „Milchcharakter erhalten, wässrig ohne Flocken“ (A) bis „Milchcharakter völlig aufgehoben, stattdessen Eiter und Blut“ (F) zusammengefasst worden.

Der Anteil an Vorgemelken mit sinnfällig unverändertem Sekret nahm mit zunehmendem SCC ab, dementsprechend stieg der Anteil mit sinnfällig verändertem Sekret an. Allerdings deklarierten die melkenden Personen im Bereich SCC III (200.000 -

500.000 Zellen/ml) nur jede 16. Melkung als sinnfällig verändert. Der Fehler, dass eine Vormilchprobe mit 100.000 - 200.000 Zellen/ml (SCC II) als verändert eingestuft wurde, fiel dagegen relativ gering aus. Hier wurden lediglich 2,4 % der Vorgemelkproben fälschlich eingeordnet.

Insgesamt wurden bei den 5.894 Vorgemelkproben 93,8 % ohne Auffälligkeiten notiert. Bei 6,2 % wurden sinnfällige Veränderungen beobachtet. Die relative Verteilung dieser Einstufung in Bezug zu den Zellzahl-Klassen zeigt, dass 75,4 % aller Vorgemelke, die als unverändert eingestuft wurden, weniger als 200.000 Zellen/ml (SCC I und II) aufwiesen (Tabelle 22). 12,4 % der durch den Melker als sinnfällig verändert eingestufte Vormilchproben hatten einen somatischen Zellgehalt zwischen 200.000 und 500.000 Zellen/ml (SCC III). Allerdings konnten bei 24,6 % der als unverändert eingestuften Vorgemelkproben mehr als 200.000 Zellen/ml gezählt werden. 60,1 % aller als verändert eingestuften Vormilchproben lagen über einem Zellgehalt von 1 Mio. Zellen/ml.

Tabelle 22: Relative Verteilung [%] der als unverändert bzw. verändert eingestuften Vorgemelke in Abhängigkeit des Zellgehaltes (SCC)

SCC [Zellen/ml]	Sekret sinnfällig	
	unverändert (0) n=5.530	verändert (A - F) n=364
<100.000	61,3	4,6
100.000-200.000	14,1	5,2
200.000-500.000	12,4	12,4
500.000-1.000.000	5,9	17,7
>1 Mio.	6,3	60,1
gesamt	100	100

Ausgehend davon, dass der jeweilige Melker schon bei den ersten erkennbaren Änderungen der Milchzusammensetzung (Milchbeschaffenheit=A) reagieren würde, errechnete sich bei einem Grenzwert von 500.000 Zellen/ml somit eine Sensitivität von 29,7 % bei einer Spezifität von 98,4 %. Das heißt, dass in diesem Fall nur jede dritte Melkung mit mehr als 500.000 Zellen/ml durch den Melker als sinnfällig verändert eingestuft wurde. Bei einer Auflockerung des Zellzahlkriteriums auf 1 Mio. Zellen/ml errechnete sich eine Erkennungsrate von 39,0 % (Spez=97,3 %).

Insgesamt konnte jedoch festgestellt werden, dass mit zunehmenden Auffälligkeiten des Vorgemelkes (A→F) auch der durchschnittliche somatische Zellgehalt höher war (Abbildung 17).

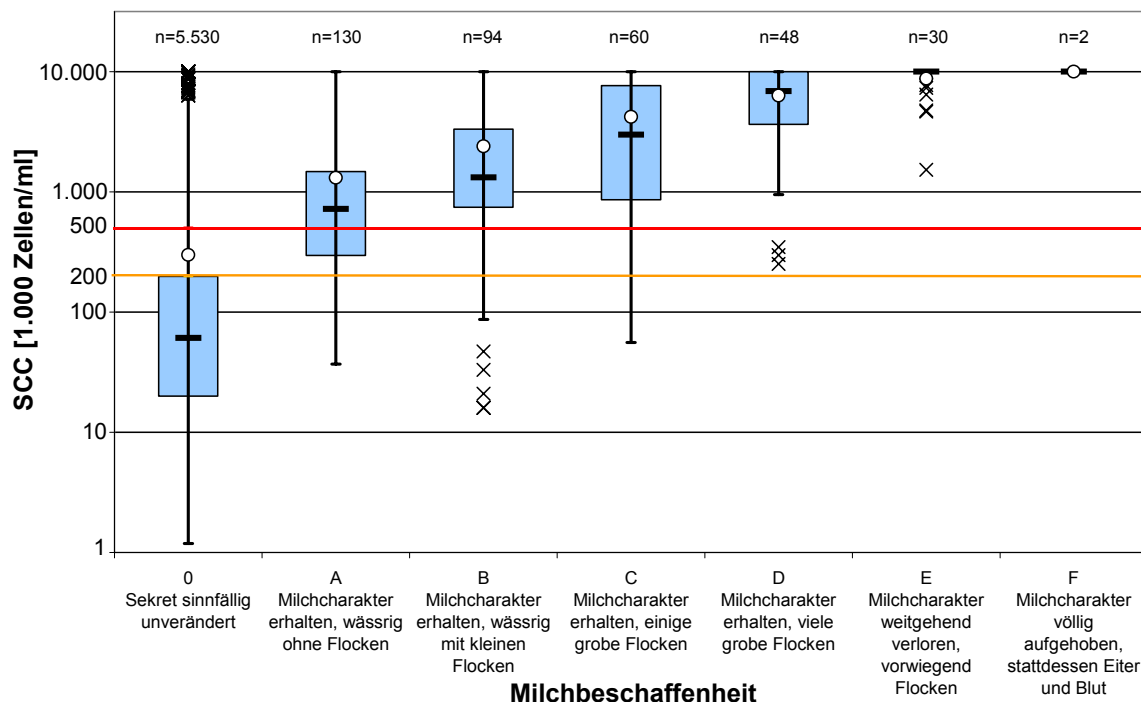


Abbildung 17: Beurteilung der Milchbeschaffenheit im Vorgemelk nach GRUNERT (1992) [52] und die dazugehörigen Bereiche des somatischen Zellgehaltes (SCC)
n=5.894 Vorgemelke

► Milchfarbe

Die Einstufung der Milchfarbe erfolgte in den Kategorien „weiß“, „wässrig“, „gelblich“ und „rot“. Die Ergebnisse dieser Einstufung durch die Melker in Bezug zu den SCC-Klassen sind in Tabelle 23 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass 99,3 % der insgesamt 3.408 Vormilchproben mit weniger als 100.000 Zellen/ml mit der Farbe weiß beschrieben wurden. Eine Farbwahrnehmung für wässrig, gelblich oder rot (Milchfarbe ist verändert) wurde für 0,7 % der Vorgemelke aus der SCC I-Klasse angegeben. Auch hier nahm der Anteil der Farbkategorie „weiß“ mit steigender SCC-Klasse ab, der Anteil Proben mit Farbveränderungen zu. Allerdings gab es in den Klassen SCC II und III kaum Unterschiede. Obwohl sich die Anteile in SCC IV-Vormilchproben nochmals stark änderten, konnten lediglich 15,1 % der Vorgemelkproben durch die Farbveränderung vom Melker erkannt werden.

Tabelle 23: Anzahl der Vorgemelke in den SCC-Klassen in Abhängigkeit der Farbeinstufung

SCC	Farbänderungen im Vorgemelk						
	Milchfarbe ist						
	SCC [Zellen/ml]	gesamt		weiß		wässrig, gelblich oder rot	
	n	[%]	n	[%]	n	[%]	
SCC I	<100.000	3.408	57,8	3.384	99,3	24	0,7
SCC II	100.000-200.000	795	13,5	777	97,7	18	2,3
SCC III	200.000-500.000	737	12,5	717	97,3	20	2,7
SCC IV	>500.000	954	16,2	810	84,9	144	15,1
gesamt		5.894	100	5688	96,4	206	3,6

Insgesamt hatten 73,1 % der als weiß eingestuften Vormilchproben einen Zellgehalt von weniger als 200.000 Zellen/ml (SCC I und II) (Tabelle 24). Bei 14,3 % aller als „weiß“ beurteilten Vorgemelke überstieg der somatische Zellgehalt sogar die Anzahl von 500.000 Zellen/ml. Dagegen wiesen 22,7 % der als verändert eingestuften Vormilchproben einen Zellgehalt von weniger als 200.000 Zellen/ml auf. 65,2 % aller als farblich verändert eingestuften Proben zählten mehr als 500.000 Zellen/ml.

Tabelle 24: Relative Verteilung [%] der als farblich unverändert bzw. verändert eingestuften Vorgemelke in Abhängigkeit des Zellgehaltes (SCC)

SCC [Zellen/ml]	Milchfarbe ist	
	unverändert (weiß)	verändert (wässrig, gelblich, rot)
	n=5.688	n=206
<100.000	59,5	13,2
100.000-200.000	13,6	9,5
200.000-500.000	14,6	12,1
500.000-1.000.000	4,0	16,8
>1 Mio.	8,3	48,4
gesamt	100	100

Der *Diagnostische Test* für das Merkmal Milchfarbe ergab bei einem Grenzwert von 500.000 Zellen/ml eine Sensitivität von 15,1 % und eine Spezifität von 98,7 %. Damit konnten aufgrund der Milchfarbe weniger Vorgemelke mit mehr als 500.000 Zellen/ml

als solche erkannt werden als bei der Beurteilung der Milchbeschaffenheit nach GRUNERT.

Dennoch konnte auch bei der Milchfarbe tendenziell eine größere Farbveränderung bei höheren somatischen Zellgehalten ermittelt werden (Abbildung 18).

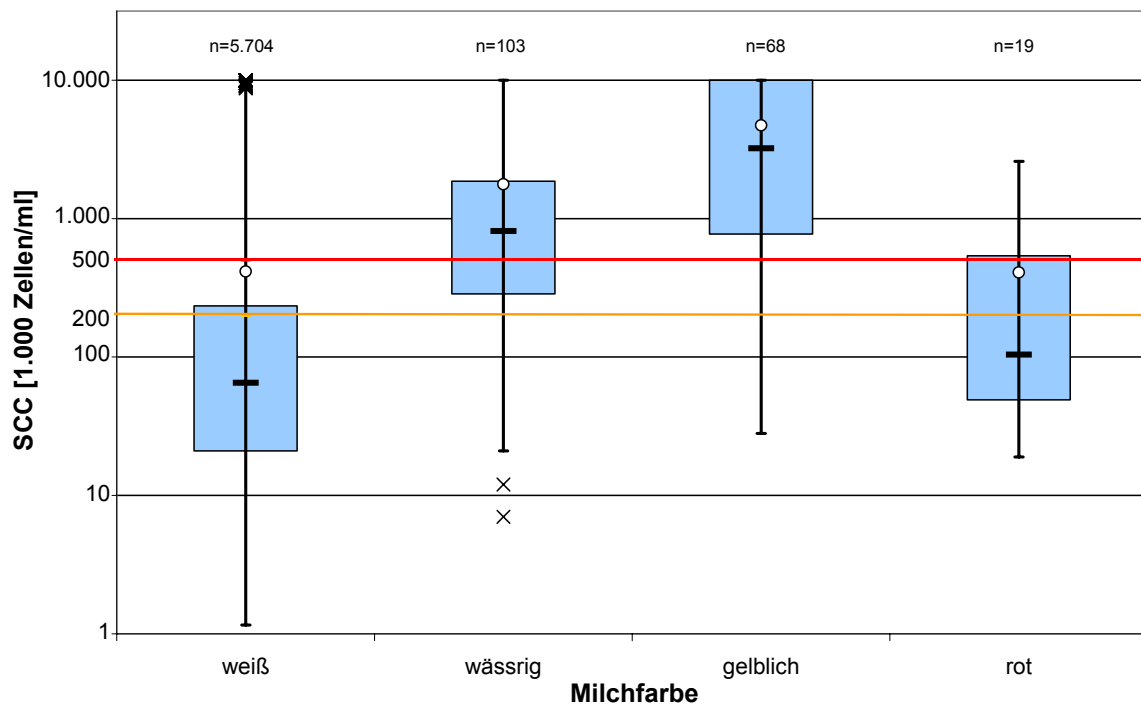


Abbildung 18: Beurteilung der Milchfarbe im Vorgemelk und die dazugehörigen Bereiche des somatischen Zellgehaltes (SCC)
n=5.894 Vorgemelke

Die große Varianz im somatischen Zellgehalt bei den als „rot“ beurteilten Milchproben beruht darauf, dass sich durch äußerliche Zitzenverletzungen, wie Risse oder Warzen, teilweise Blut in die Milch mischte und somit die Milchfarbe veränderte.

5.1.1.2 Milchzelltest

Bei Beurteilung der Eutergesundheit mit dem Milchzelltest (CMT) wurden 97,5 % aller Proben mit weniger als 100.000 Zellen/ml (SCC I) mit einem negativen Milchzelltest (CMT<1) bewertet (Tabelle 25). Nur 2,5 % der Vorgemelkproben, die weniger als 100.000 Zellen/ml hatten, fielen als positive Testergebnisse auf. Der Milchzelltest lieferte mit zunehmendem SCC auch mehr positive Ergebnisse, wobei jedoch auch in der SCC III nur die Hälfte als positiv eingestuft wurde. In der SCC IV (>500.000 Zellen/ml) wurden auch nur 88,8 % der Fälle mit einem positiven CMT beobachtet.

Tabelle 25: Ergebnisse des Milchzelltestes (CMT) in den Zellzahl-Klassen (SCC)

SCC	Milchzelltest						
	[Zellen/ml]	gesamt		negativ (CMT<1)		positiv (CMT≥1)	
		n	[%]	n	[%]	n	[%]
SCC I	<100.000	3.408	57,8	3.323	97,5	85	2,5
SCC II	100.000-200.000	795	13,5	643	80,9	152	19,1
SCC III	200.000-500.000	737	12,5	363	49,3	374	50,7
SCC IV	>500.000	954	16,2	107	11,2	847	88,8
gesamt		5.894	100	4.436	75,3	1.458	24,7

Auch beim Einsatz des Milchzelltestes wird deutlich, dass mit zunehmender Einstufung von „*leichter Schlierenbildung*“ (CMT=0,5) bis zu einem „*Gemisch, das nicht mehr auseinander fließt und Klumpen bildet*“ (CMT=3) ein höherer Zellgehalt bestimmt wurde (Abbildung 19). Die arithmetischen Mittelwerte lagen alle weit über den Medianwerten. So wurde für CMT=0 ein Mittelwert von 75.000 Zellen/ml, für CMT=0,5 ein Mittelwert von 260.000 Zellen/ml und für CMT=1 von 745.000 Zellen/ml ermittelt.

Bereits bei einem gewählten Grenzwert von 100.000 Zellen/ml im Vorgemelk konnten 55,4 % aller Vorgemelke, die sich darüber befanden, bei einer Spezifität von 98,1 % als auffällig eingestuft werden (

Tabelle 26). Wird ein Grenzwert von 200.000 Zellen/ml festgelegt, so wurden 72,2 % aller Vorgemelke, die den Grenzwert überschritten, mit einem positiven Milchzelltest (CMT≥1) nachgewiesen. Bei Erhöhung des Grenzwertes auf 500.000 Zellen/ml stieg die Sensitivität auf 88,8 % an, die Spezifität dagegen fiel auf 87,6 % ab. Eine weitere Erhöhung des Zellzahlgrenzwertes auf 1 Mio. Zellen/ml brachte eine Steigerung der Sensitivität auf 94,7 % und einen Rückgang der Spezifität auf 82,5 % mit sich.

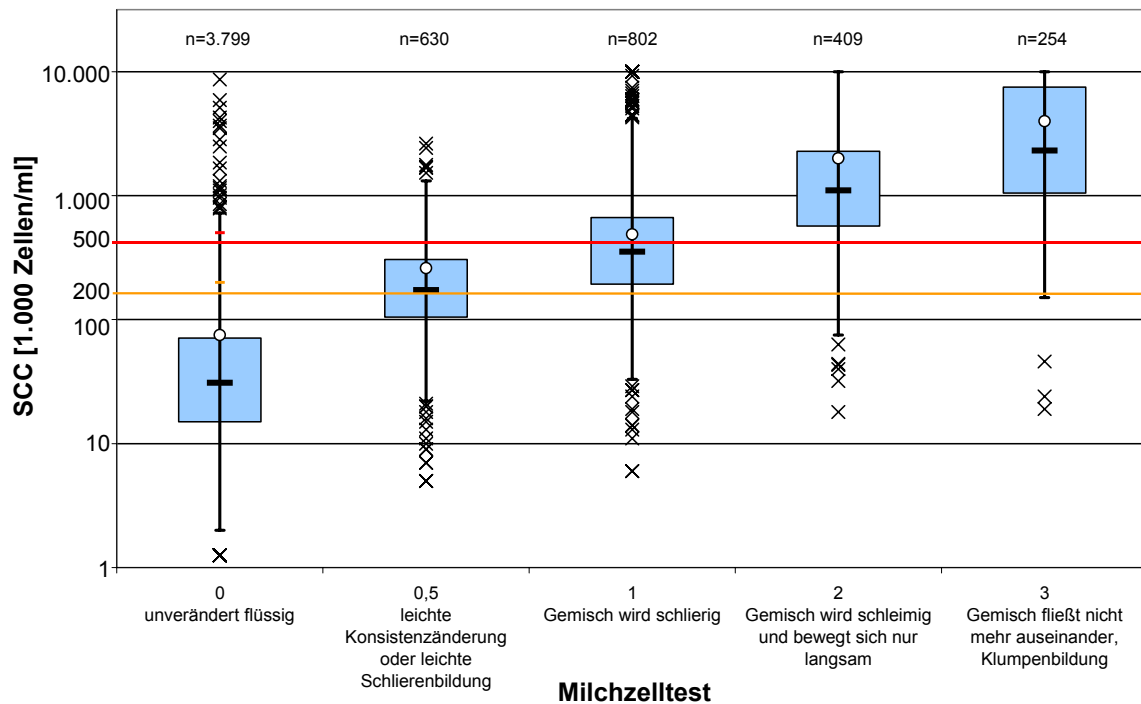


Abbildung 19: Klassifizierung des Milchzelltestes und die dazugehörigen Bereiche des somatischen Zellgehaltes (SCC)
n=5.894 Vorgemelke

Tabelle 26: Auswertung des Milchzelltestes mittels *Diagnostischem Test*

SCC-Grenzwert [Zellen/ml]	Anzahl	Sensitivität [%]	Spezifität [%]
100.000	2.495	55,4	98,1
200.000	1.705	72,2	94,3
500.000	963	88,8	87,6
1.000.000	323	94,7	82,5

alle CMT \geq 1 („Gemisch wird schlierig“) wurden als positiv gewertet;
n=5.894 Vorgemelke

5.1.1.3 Diskussion

Die Durchführung der in der Milch-VO vorgeschriebenen Auflagen und somit die Anwendung der guten fachlichen Praxis beim Melken setzt voraus, dass die ersten Milchstrahlen einer jeden Melkung durch die melkende Person visuell beurteilt werden. Die Auswertungen des umfangreichen Datenmaterials von 5.800 Vorgemelkproben zeigten jedoch die Grenzen der visuellen, nicht sensorunterstützten Kontrolle der Vormilch bezüglich der Erkennung von Eutererkrankungen auf.

So konnten erst Vorgemelke, die schon Anzeichen einer klinischen Mastitis aufwiesen als solche erkannt werden. Insgesamt wurden nur 6,2 % aller Vorgemelke als auffällig eingestuft, obwohl 16,2 % einen somatischen Zellgehalt von mehr als 500.000 Zellen/ml aufwiesen. Der Zellgehalt dieser vom Melker als auffällig eingestuftem Vorgemelke lag bei 60,1 % bereits schon über 1 Mio. Zellen/ml.

Bei Betrachtung der einzelnen Zellzahl-Klassen stellte sich heraus, dass nur 29,7 % der Vorgemelke mit mehr als 500.000 Zellen/ml als auffällig eingestuft wurden (Tabelle 27). Anzumerken ist hier, dass im Rahmen dieser Untersuchung eingewiesene Melker arbeiteten und die Proben bei optimalen Lichtbedingungen beobachtet wurden.

Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den Resultaten von RASMUSSEN (2003) [118], der 1.400 Vorgemelke visuell beurteilte und davon ca. 4 % als sinnfällig verändert einstuft, zeigt, dass die Anzahl auffälliger Vorgemelke in den jeweiligen Zellzahl-Klassen in gleicher Größenordnung vorlagen.

Zur Beurteilung der Eutergesundheit ist ebenfalls der Milchzelltest herangezogen wurden. Die Auswertung erfolgte an Hand der Beurteilung des Testgemisches und der Klassifizierung nach SCHALM (1960) [131]. Im Gegensatz zur visuellen Überprüfung konnte durch die Anwendung des Milchzelltestes eine Erkennungsrate von 72 % der Proben mit mehr als 200.000 Zellen/ml, 89 % mit mehr als 500.000 Zellen/ml bzw. 95 % aller Vorgemelke, deren Zellgehalt bei mehr als 1 Mio. Zellen/ml lag, erreicht werden. Bei den berechneten Sensitivitäten in den jeweiligen Zellzahl-Klassen ergaben sich abnehmende Spezifitäten in Höhe von 94 % bei 200.000 Zellen/ml, 88 % bei 500.000 Zellen/ml und 83 % bei 1 Mio. Zellen/ml.

Die durch das Labor des MPR Bayern e.V. ermittelten Zellzahlwerte lagen bei den jeweiligen Milchzelltest-Kategorien nach SCHALM (1960) [131] in CMT=0 bei 75.000 Zellen/ml, in CMT=0,5 bei 260.000 Zellen/ml und in der CMT=1 bei 745.000 Zellen/ml. Diese berechneten arithmetischen Mittelwerte entsprechen der gleichen Größenordnung wie bei SCHAEREN & SCHAELLIBAUM (2000) [130] ermittelt. Die Mittelwerte für die CMT-Klassen CMT=2 (2,0 Mio. Zellen/ml) und CMT=3 (3,99 Mio. Zellen/ml) lagen in der hier vorliegenden Arbeit über den von SCHAEREN & SCHAELLIBAUM (2000) [130] angegebenen Mittelwerten in Höhe von 753.000 bzw. 2,15 Mio Zellen/ml.

Obwohl in dieser Untersuchung optimale Praxisbedingungen vorlagen, konnte die von REDEZKY & HAMANN (2003) [121] unter Laborbedingungen bestimmte Sensitivität von 95 % für Milchproben mit mehr als 100.000 Zellen/ml nicht erreicht werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Einstufung der Eutergesundheit durch die bloße visuelle Überprüfung nicht uneingeschränkt möglich war. Auch der Milchzelltest - unter optimalen Praxisbedingungen - lieferte erst bei Proben mit einem Zellgehalt

von mehr als 200.000 Zellen/ml aussagekräftige Resultate. Eine Verifizierung bzw. eine Bestätigung der Milchzelltest-Ergebnisse erhält der Landwirt aber meist erst später durch die Ergebnisse der Milchleistungsprüfung oder durch extra zur Untersuchung eingeschickte Milchproben.

Sehr viele Eutererkrankungen werden also erst durch ansteigenden Zellgehalt in der Tankmilch oder aus den Ergebnissen der Milchleistungsprüfung sehr spät erkannt [1]. Erst dann werden auffällige oder in Frage kommende Tiere vom Landwirt näher untersucht. Zwar hat der alleinig erhöhte Zellgehalt der Konsummilch keine negativen Einflüsse auf die menschliche Gesundheit [142], er bringt aber trotzdem vermehrt Probleme für die verarbeitende Molkerei und den Milchproduzenten mit sich. So nimmt auf Grund der veränderten Milchzusammensetzung bei auftretender Mastitis die Käseausbeute pro kg Milch ab. Ein fortschreitender Leistungsrückgang und die steigenden Behandlungskosten wirken sich deshalb auch finanziell negativ aus.

Tabelle 27: *Diagnostische Tests* verschiedener Überprüfungsverfahren des Vormelkes

Überprüfung des Vormelkes an Hand	Sensitivität [%]	Spezifität [%]
Milchbeschaffenheit	29,7 (39,0)	98,4 (97,3)
Milchfarbe	15,1 (16,3)	98,7 (98,6)
Milchzelltest	88,8 (94,7)	87,6 (82,5)

Grenzwert: SCC>500.000 Zellen/ml;
Werte in Klammern geben Ergebnisse bei SCC-Grenzwert>1 Mio. Zellen/ml;
n=5.894 Vormelke

5.1.2 Beeinflussung der Farbwerte durch die Milch Inhaltsstoffe

5.1.2.1 Charakteristik der Reflexionskurven von normaler Milch

Zu Beginn der spektral-photometrischen Untersuchungen wurde anhand verschiedener Tankmilchproben untersucht, ob es einen typischen Verlauf der Reflexionskurven für Milch gibt. In Abbildung 20 sind die Reflexionslinien der Tankmilch vom Mai 2001 (\emptyset 3,9 % Fett, \emptyset 3,3 % Protein) abgebildet. Die Kurven unterscheiden sich zwar in ihren absoluten Reflexionswerten, weisen aber alle die gleiche Charakteristik auf. Das Minimum der jeweiligen Reflexionslinie im sichtbaren Wellenlängenbereich findet sich zwischen 450 und 460 nm, das Maximum zwischen 530 und 540 nm und der erste Wendepunkt im Bereich von 500 bis 510 nm.

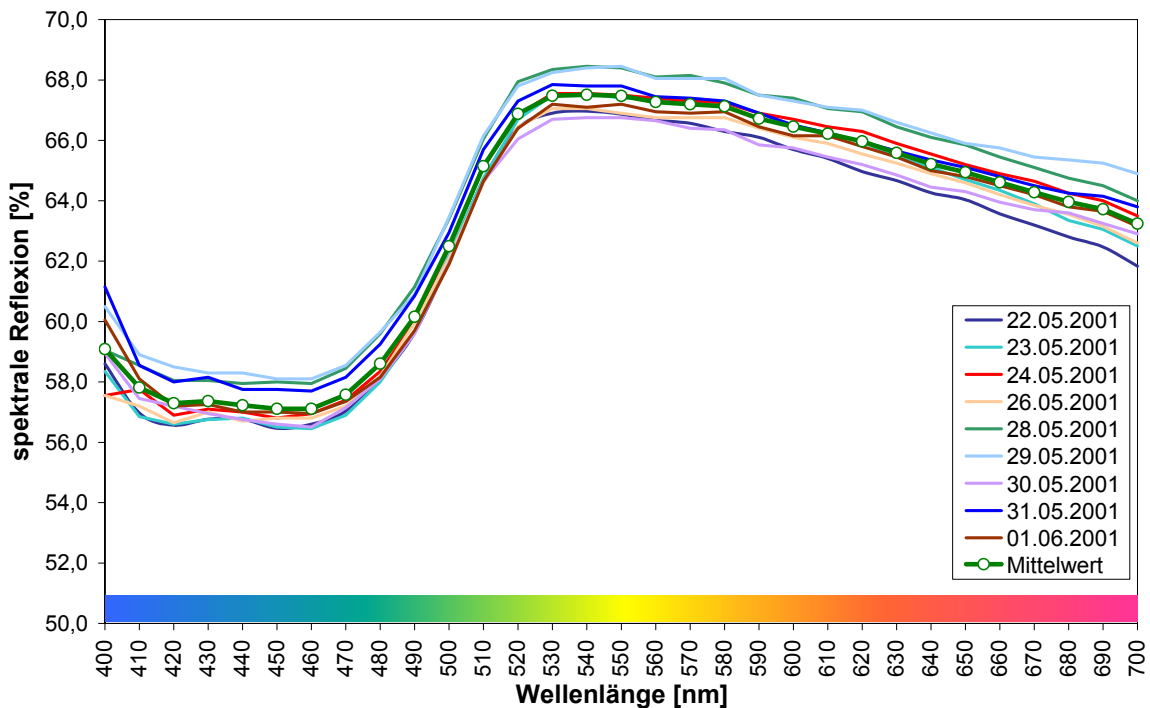


Abbildung 20: Reflexionskurven verschiedener Milchsorten
(9 Tankmilchproben Ø 3,9 % Fett, Ø 3,3 % Protein)

Inwieweit die einzelnen Milch Inhaltsstoffe die Reflexionslinien beeinflussen können, soll im folgenden Unterkapitel dargestellt werden.

5.1.2.2 Einfluss der Milch Inhaltsstoffe auf die spektrale Reflexion

In einer weiteren Analyse von 1.033 Viertelanfängsgemelken (VAG) (Mai 2001) und 325 Gesamtgemelken (GG) (März 2003) wurden neben der spektralen Reflexion auch die Milch Inhaltsstoffe somatischer Zellgehalt, Fett, Protein und Laktose erfasst. Zur vereinfachten Darstellung der Ergebnisse wurden die Wellenlängenbereiche (WLB) in Anlehnung an die Farbabgrenzungen in folgende Abschnitte aufgeteilt:

- WLB 1: 400-520 nm (blau bis grün)
- WLB 2: 530-610 nm (grün bis orange)
- WLB 3: 620-700 nm (orange bis rot)

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 21 bis Abbildung 24) ist die mittlere spektrale Reflexion (SR) im jeweiligen Wellenlängenbereich (WLB) über die Konzentration der Milch Inhaltsstoffe aufgetragen.

► Proteingehalt

Der mittlere Proteingehalt aller untersuchten VAG lag bei 3,47 % (StdAbw 0,25). Eine signifikante Korrelation zum logarithmierten (log) somatischen Zellgehalt - als Maß der Eutergesundheit - konnte nicht festgestellt werden.

Abbildung 21 sind die mittleren spektralen Reflexionsgrade (SR) in den drei definierten Banden zu entnehmen. Im Bereich des WLB 1 konnte keine signifikante Korrelation zwischen der SR und dem Proteingehalt ermittelt werden. In den höheren Wellenlängenbereichen (WLB 2 und 3) konnte jedoch ein hoch signifikanter Einfluss des Proteingehaltes auf die SR beobachtet werden ($P < 0,01$, PEARSON), der sich darin widerspiegelt, dass mit ansteigendem Eiweißgehalt die SR in den Wellenlängenbereichen, die größer als 520 nm sind, zunahm ($r = 0,31$ bzw. $r = 0,32$).

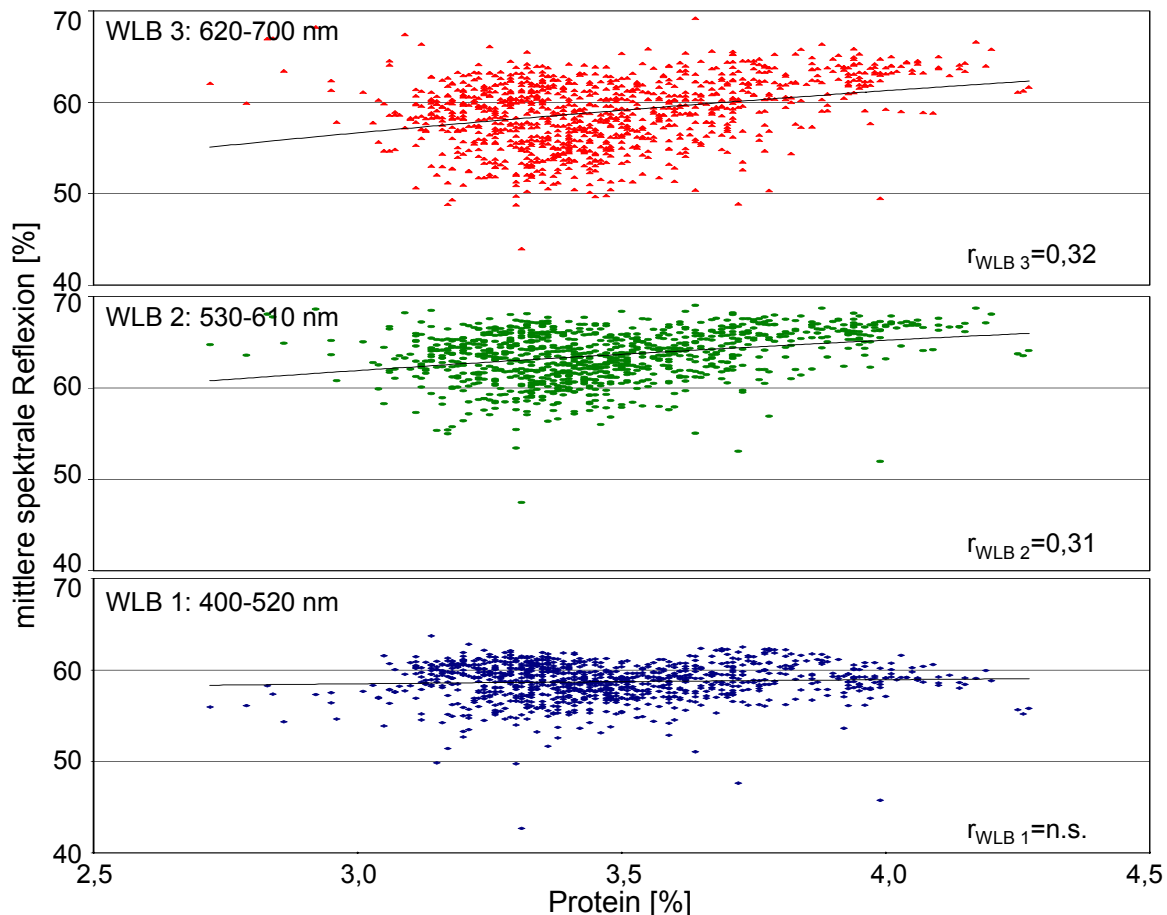


Abbildung 21: Mittlere spektrale Reflexion der Viertelanzgangsmelke im jeweiligen Wellenlängenbereich (WLB) in Abhängigkeit vom Proteingehalt
 $n = 1.033$ VAG, $P < 0,01$

Für die untersuchten Gesamtgemelke konnte in keinem Wellenlängenbereich eine signifikante Beziehung des Proteingehaltes zur mittleren spektralen Reflexion ermittelt werden (S. 77, Tabelle 28).

► Fettgehalt

Für die 1.033 VAG wurde ein Fettgehalt von durchschnittlich 1,90 % (StdAbw 0,96) ermittelt. Die Korrelationsanalyse gab einen leicht positiven Korrelationskoeffizienten ($r = 0,20$) zwischen dem logarithmierten (\log) somatischen Zellgehalt und dem logarithmierten (\ln) Fettgehalt an ($P < 0,01$, PEARSON). Ein signifikanter Unterschied zwi-

schen den Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) bezüglich des Fettgehaltes konnte aber nicht ermittelt werden.

Abbildung 22 zeigt die Abhängigkeit der mittleren spektralen Reflexion (SR) in den jeweiligen WLB in Abhängigkeit des logarithmierten (ln) Milchfettgehaltes. Während für den WLB 1 ein minimal negativer Korrelationskoeffizient ($r=-0,20$) errechnet wurde, ist mit fortschreitender Wellenlänge festzustellen, dass der Fettgehalt einen immer größer werdenden Einfluss auf die SR ausübt. In WLB 2 beträgt die Korrelation $r=0,44$, in WLB 3 sogar $r=0,59$.

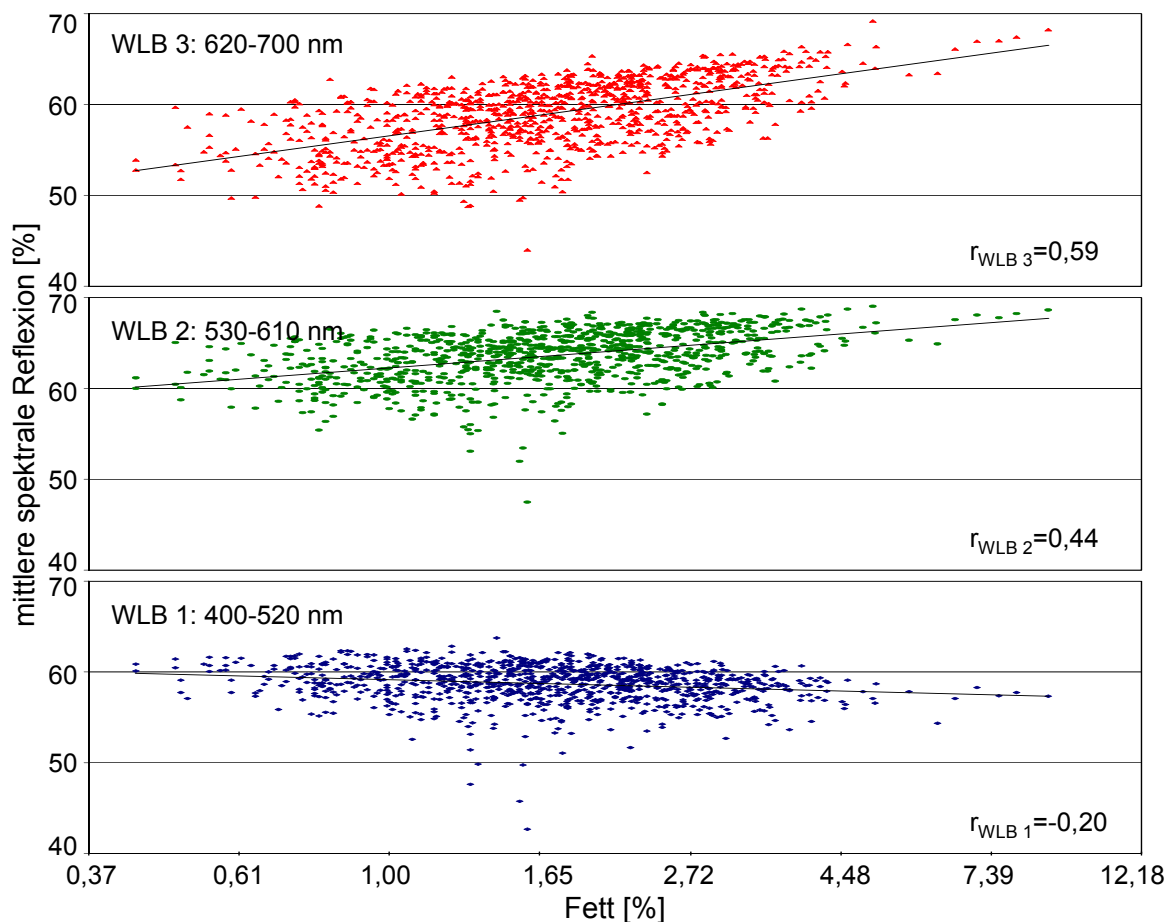


Abbildung 22: Mittlere spektrale Reflexion der Viertelanfängsgemelke im jeweiligen Wellenlängenbereich (WLB) in Abhängigkeit vom (logarithmierten) Fettgehalt
 $n=1.033$ VAG, $P<0,01$

Für die Gesamtgemelke ergaben sich ähnliche Korrelationskoeffizienten wie für die Viertelanfängsgemelke. Sie können der Tabelle 28 auf S. 77 entnommen werden.

► Laktosegehalt

Über die 1.033 VAG errechnete sich ein Mittelwert für den Laktose-Gehalt von 4,66 % (StdAbw 0,28). Aus der Korrelationsanalyse resultierte, dass eine negative

Wechselbeziehung zwischen dem logarithmierten (log) somatischen Zellgehalt und dem Laktosegehalt ($r=-0,44$) vorlag und sich zudem alle Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) bezüglich des Laktosegehaltes hoch signifikant unterschieden.

Die Beziehung zwischen dem mittleren spektralen Reflexionsgrad (SR) und dem Laktosegehalt ist für die drei Wellenlängenbereiche in Abbildung 23 dargestellt. Im Bereich 400-520 nm (WLB 1) ist nur eine geringere Streuung der Messwerte zu beobachten. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r=0,48$. In größeren Wellenlängenbereichen vergrößert sich die Variation der Messwerte und der Korrelationskoeffizient nimmt stetig ab.

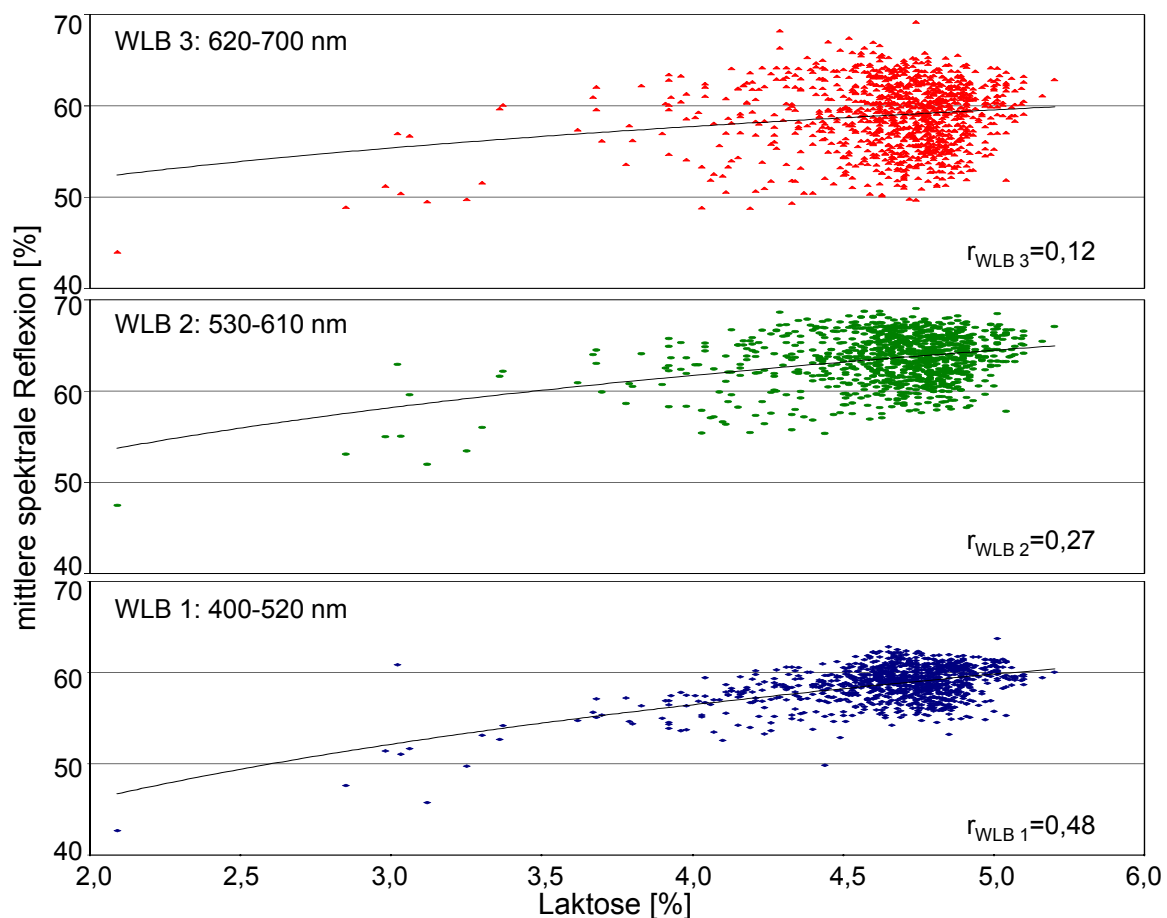


Abbildung 23: Mittlere spektrale Reflexion der Viertelanfangsgemelke im jeweiligen Wellenlängenbereich (WLB) in Abhängigkeit vom Laktosegehalt
 $n=1.033$ VAG, $P<0,01$

Eine signifikante Beziehung zwischen den mittleren spektralen Reflexionsgraden in den drei Wellenlängenbereichen und dem Laktosegehalt der Geamtgemelke war nicht gegeben (S. 77, Tabelle 28).

► Somatischer Zellgehalt

Die Auswertungen haben ergeben, dass speziell die VAG mit hohem Zellgehalt eine höhere mittlere Reflexion (SR) im WLB 1 aufweisen; mit zunehmendem Zellgehalt nimmt die SR ab (Abbildung 24). Daraus errechnet sich für den WLB 1 ein negativer Korrelationskoeffizient zwischen logarithmiertem (log) Zellgehalt und SR von $r=-0,31$. In größeren Wellenlängenbereichen wird die Beziehung dieser Parameter immer schwächer. Im WLB 3 konnte keine signifikante Korrelation mehr ermittelt werden.

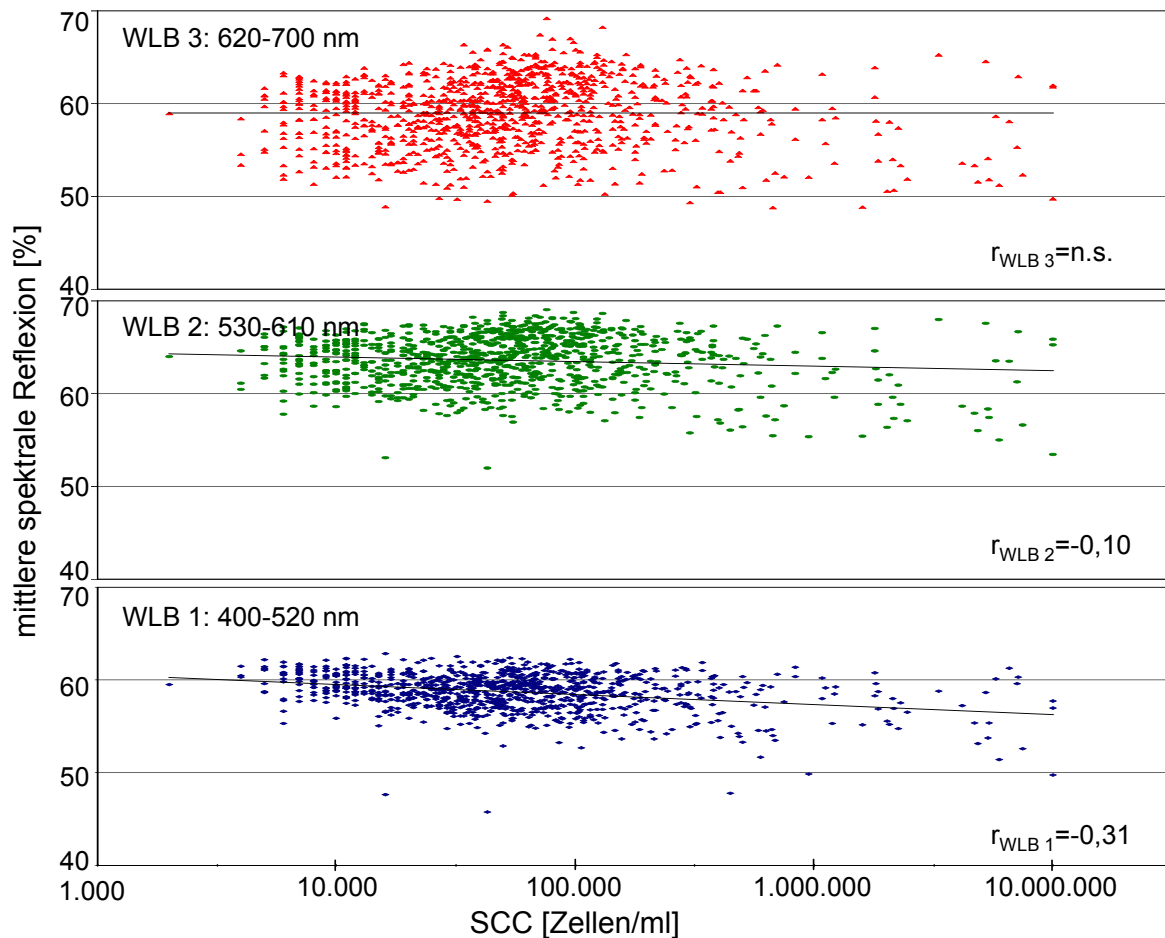


Abbildung 24: Mittlere spektrale Reflexion der Viertelanfangsgemelke im jeweiligen Wellenlängenbereich (WLB) in Abhängigkeit vom somatischen Zellgehalt (SCC)

$n=1.033$ VAG, $P<0,01$

Für die Korrelation der Milchinhaltstoffe und der spektralen Reflexion hat sich ergeben, dass bei höheren Wellenlängenbereichen im sichtbaren Licht v.a. der Fettgehalt sehr großen Einfluss auf die spektralen Reflexionsgrade ausübt. Im Gegensatz dazu hatte der Laktose-Gehalt und der SCC in zunehmenden Wellenlängenbereichen nur geringen Einfluss auf die spektrale Reflexion. Der Laktosegehalt und der SCC wiesen dafür höhere Korrelationen im niedrigen Wellenlängenbereich auf. Im WLB 400 -

520 nm bestand in VAG eine Korrelation zwischen der spektralen Reflexion und dem SCC von $r=-0,31$ (Tabelle 28).

Tabelle 28: Korrelation (nach PEARSON) zwischen den Milch Inhaltsstoffen (Protein, Fett, Laktose und SCC) und der mittleren spektralen Reflexion (SR) in den jeweiligen Wellenlängenbereichen (1.033 VAG und 320 GG)

	Viertelanfangsgemelk				Gesamtgemelk			
	Protein	Fett(In)	Laktose	SCC(log)	Protein	Fett(In)	Laktose	SCC(log)
SR ₄₀₀₋₅₂₀	n.s.	-0,20	0,48	-0,31	n.s.	-0,24	n.s.	-0,18
SR ₅₃₀₋₆₁₀	0,31	0,44	0,27	-0,10	n.s.	0,51	n.s.	n.s.
SR ₆₂₀₋₇₀₀	0,32	0,59	0,12	n.s.	n.s.	0,59	n.s.	n.s.

n.s.: nicht signifikant $P < 0,01$

Da die Bestimmung des SCC eine Standardmethode zur Beurteilung der Eutergesundheit darstellt, wurde im Rahmen dieser Arbeit schwerpunktmäßig der Zusammenhang zwischen der spektralen Reflexion und dem somatischen Zellgehalt betrachtet.

Um zu überprüfen, bei welchen Wellenlängen mit der Spektralphotometrie zwischen VAG mit normaler und erhöhter Zellzahl unterschieden werden kann, wurden alle Reflexionslinien in 10 nm-Schritte zerlegt und die einzelnen Messpunkte statistisch miteinander verglichen (PROC MIXED). Dabei unterscheiden sich im Wellenlängenbereich 430-510 nm alle einzelnen Mittelwerte der VAG mit weniger als 100.000 Zellen/ml hoch signifikant von denen der VAG mit mehr als 100.000 Zellen/ml (Abbildung 25). Für die mittleren Zellzahlbereiche (SCC II und III) konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich der spektralen Reflexion festgestellt werden. Im Bereich 520-530 nm näherten sich die Reflexionslinien der SCC I bis III soweit an, dass sich in der Bande ab 540 nm nur noch die VAG mit mehr als 500.000 Zellen/ml hoch signifikant unterschieden.

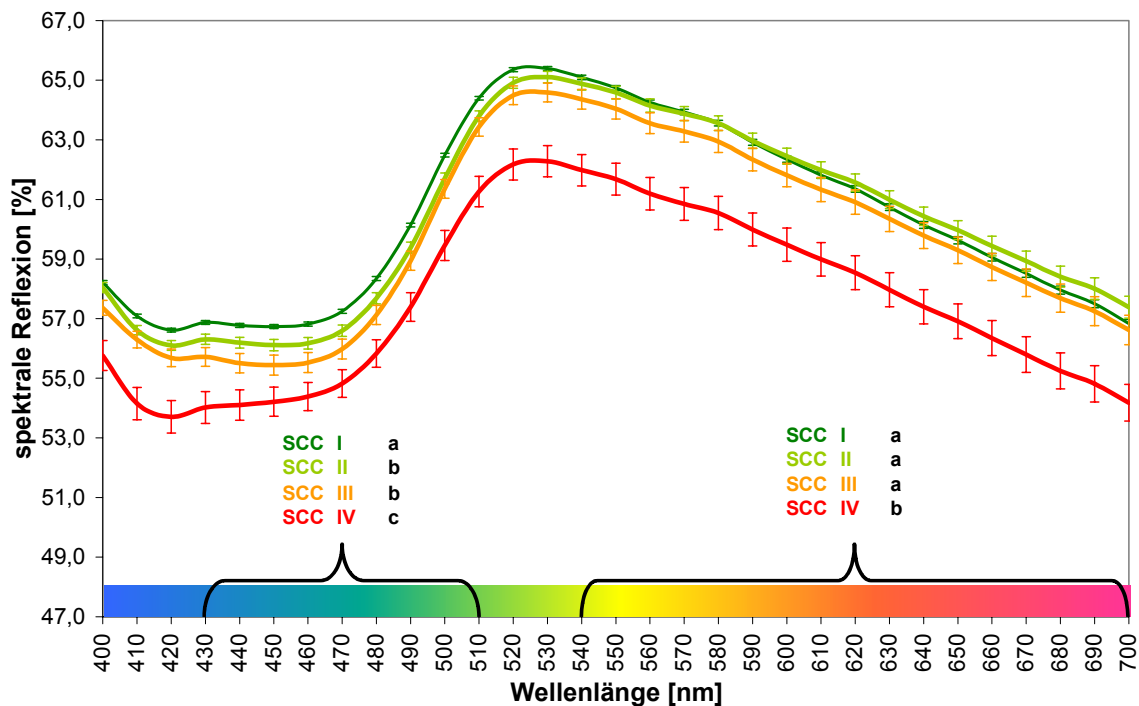


Abbildung 25: Reflexionslinien von Viertelanfängsgemelken mit unterschiedlichem somatischem Zellgehalt (Vorversuch)

SCC I: <100.000/ml (n=766)

SCC II: 100.000-200.000/ml (n=134)

SCC III: 200.000-500.000/ml (n=66)

SCC IV: >500.000/ml (n=67)

a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant ($P < 0,01$)

Da sowohl der Einfluss des Fettgehaltes als auch des Proteingehaltes im WLB 430 - 510 nm eher gering ist und hier gleichzeitig gute Ergebnisse mit der Messung der spektralen Reflexion zwischen den unterschiedlichen SCC-Klassen erzielt wurden, wird in der vorliegenden Arbeit der Wellenlängenbereich 430 - 510 nm als Mastitisband definiert. Für alle weiteren Auswertungen bezüglich der Erkennung von Eutererkrankungen wird deswegen nur noch die mittlere spektrale Reflexion in diesem Bereich (SR_{mastitis}) betrachtet.

Abbildung 26 verdeutlicht nochmals, dass bei SCC I-VAG im Durchschnitt die höchste SR_{mastitis} ermittelt wurde. Es zeigte sich, dass sich auch die Mittelwerte der SR_{mastitis} der VAG mit mehr als 100.000 Zellen/ml hoch signifikant von den Mittelwerten der SR_{mastitis} in SCC I-VAG unterscheiden. So wurden für VAG der Klasse SCC I ein Mittelwert der SR_{mastitis} von 59,26 % (SEM=0,074) ermittelt, während VAG mit mehr als 500.000 Zellen/ml nur eine SR_{mastitis} von 56,32 % (SEM=0,249) aufwies (Tabelle 29).

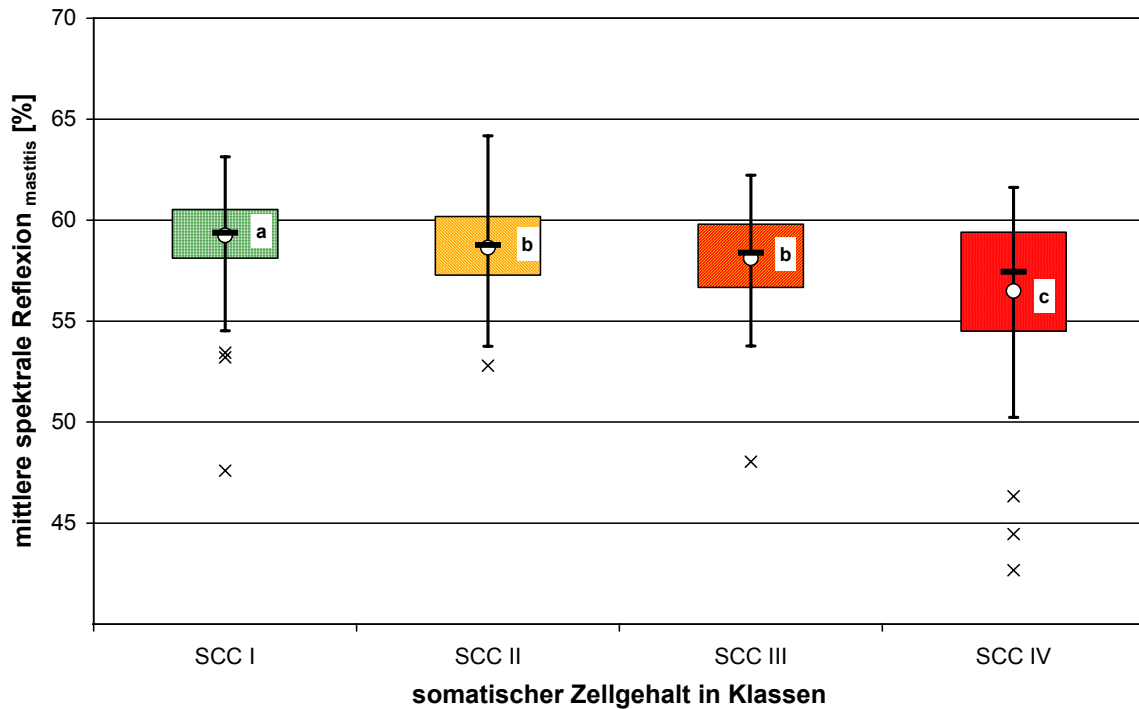


Abbildung 26: Mittlere spektrale Reflexion im Mastitisband der Viertelanfangsgemelke in Abhängigkeit der Zellzahl-Klassen

SCC I: <100.000/ml (n=766)

SCC II: 100.000-200.000/ml (n=134)

SCC III: 200.000-500.000/ml (n=66)

SCC IV: >500.000/ml (n=67)

a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant ($P < 0,01$)

Wird nun das Viertel mit der höchsten SR_{mastitis} als Referenz herangezogen und mit der Quotientenmethode die relative Abweichung der drei anderen Viertel zum Referenzviertel berechnet ($\Delta SR_{\text{mastitis}}$), so konnten auch hier hoch signifikante Unterschiede zwischen VAG der SCC I und VAG mit mehr als 100.000 Zellen/ml festgestellt werden (Abbildung 27). Wenn das Referenzviertel auf Null gesetzt wird, weisen alle anderen Viertel demgegenüber negative Werte (relative Abweichung) auf. Die Quotientenmethode, durch die die Umwelteinflüsse und andere Störgrößen fast gänzlich ausgeschaltet werden können, bewies sich auch hier als sehr hilfreiche Methode.

Somit haben die Auswertungen ergeben, dass die SR_{mastitis} der Viertelanfangsgemelke der SCC II Klasse durchschnittlich um 1,8 % (SEM=0,21) von der Referenz, die der SCC III um 2,7 % (SEM=0,27) und die der SCC IV um 5,8 % (SEM=0,28) abweichen (Tabelle 29).

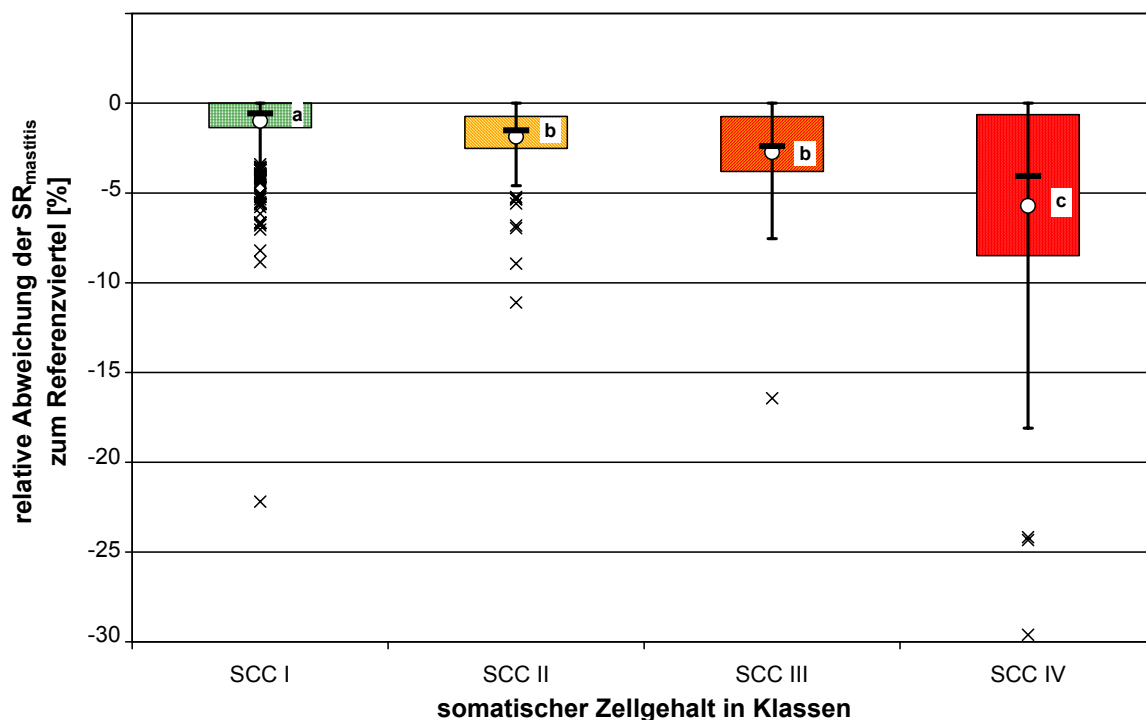


Abbildung 27: Abweichung der mittleren spektralen Reflexion ($SR_{mastitis}$) im Mastitisband der Viertelanfängsgemelke zum jeweiligen Referenzviertel

SCC I: <100.000/ml (n=766) SCC II: 100.000-200.000/ml (n=134)

SCC III: 200.000-500.000/ml (n=66) SCC IV: >500.000/ml (n=67)

a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant ($P < 0,01$)

Tabelle 29: Mittelwerte der mittleren spektralen Reflexion im Mastitisband ($SR_{mastitis}$) und der relativen Abweichung der mittleren spektralen Reflexion ($\Delta SR_{mastitis}$) der Viertelanfängsgemelke zum jeweiligen Referenzviertel in den SCC-Klassen (Vorversuch)

	SCC [Zellen/ml]	Anzahl	$SR_{mastitis}$ [%]		$\Delta SR_{mastitis}$ [%]	
			\bar{X}	+/- SEM	\bar{X}	+/- SEM
SCC I	<100.000	766	59,26	+/- 0,074 ^a	-1,0	+/- 0,10 ^a
SCC II	100.000-200.000	134	58,52	+/- 0,176 ^b	-1,8	+/- 0,21 ^b
SCC III	200.000-500.000	66	58,26	+/- 0,251 ^b	-2,7	+/- 0,27 ^c
SCC IV	>500.000	67	56,32	+/- 0,249 ^c	-5,8	+/- 0,28 ^d

SCC I: <100.000/ml (n=766) SCC II: 100.000-200.000/ml (n=134)

SCC III: 200.000-500.000/ml (n=66) SCC IV: >500.000/ml (n=67)

a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant ($P < 0,01$)

5.1.2.3 Diskussion

Die Analysen der spektralen Reflexion bezüglich der Milchinhaltsstoffe haben gezeigt, dass die Milchfarbe am stärksten durch den Milchfettgehalt beeinflusst wurde. Der Korrelationskoeffizient zwischen der spektralen Reflexion im WLB 620 - 700 nm (orange bis rot) und dem Fettgehalt von $r_{620-700}=0,59$ wurde sowohl für Viertelangemelte als auch für Gesamtgemelte ermittelt. In dem niedrigeren WLB (blau bis grün und grün bis orange) war in den VAG der Einfluss des Fettgehaltes nicht so groß ($r_{400-520}=-0,20$; $r_{530-610}=0,44$).

Auch BERGANN UND SCHICK (1998) [12] führten Farbmessungen in Milch durch. Sie untersuchten ultrahoherhitzte Konsummilch mit dem CIE-L*a*b*-Verfahren. Die vorliegenden Ergebnisse bezüglich des Fettgehaltes wurden auch von diesen Autoren festgestellt. Mit zunehmendem Wellenlängenbereich wurde auch von ihnen ein zunehmender Einfluss des Fettgehaltes auf die Farbmessung ermittelt. Dabei wurden Bestimmtheitsmaße für den a*-wert von $R^2=0,886$, für den b*-Wert $R^2=0,980$ und für den L*-Wert $R^2=0,992$ ermittelt. Hierzu sei zu erwähnen, dass der a*-Wert die sichtbare, durch den Menschen wahrnehmbare Veränderung der Farbe von grün nach rot, der b*-Wert von blau nach gelb und der L*-Wert von schwarz nach weiß angibt [37].

Das CIE-L*a*b*-Verfahren wurde ebenfalls von ORDOLFF (2001) [101] für die Erkennung von Eutererkrankungen angewendet. Dabei wurden neben dem bakteriologischen Befund auch der Zellgehalt betrachtet. In diesem Zusammenhang ermittelte ORDOLFF (2001) [101], dass zwischen dem b*-Wert, der sich v.a. aus den Normspektralwerten über den Wellenlängen 400 - 550 nm errechnet, und dem Zellgehalt ein signifikanter Zusammenhang besteht. Die eigenen Resultate bezüglich der Erkennung von Vierteln mit erhöhtem Zellgehalt im sichtbaren Spektrum können mit den Ergebnissen von ORDOLFF (2001) [101] verglichen werden. Für die Beziehung zwischen der mittleren spektralen Reflexion im WLB 400 - 520 nm und dem somatischen Zellgehalt in VAG ergab sich ein Korrelationskoeffizient von $r=-0,31$, der mit zunehmender Wellenlänge immer geringer wurde. Auch zum Laktosegehalt der Milch, der bei zunehmender Eutergesundheitsstörung abnimmt, konnte ein Korrelationskoeffizient von $r=0,48$ errechnet werden.

ESPADA & VIJVERBERG (2002) [38] führten Messungen mit einem ungenaueren Farbmessverfahren (Dreibereichsverfahren, RGB) durch. Dabei fanden auch sie heraus, dass sich die Milchfarbe bei Erkrankung der Milchdrüse speziell im Blau-Wert verändert.

Bei der genaueren Analyse der Spektrallinien der VAG konnte der Bereich für die Erkennung von Eutererkrankungen (erhöhter SCC) sogar noch weiter auf die Wellenlängen 430 - 510 nm eingegrenzt werden. Damit konnte auch der Einfluss von ande-

ren Faktoren, wie z.B. des Fettgehaltes, nahezu ausgeschlossen werden. Deshalb wurde für die weiteren Untersuchungen bezüglich der Eutergesundheit nur noch die mittlere spektrale Reflexion im definierten Mastitisband (430 - 510 nm) betrachtet.

5.2 Hauptversuche

5.2.1 Verlauf der Milchparameter während der Melkung

Von der Online-Messung der Leitfähigkeit ist bekannt, dass die Werte während der Melkung stark schwanken. Inwieweit sich auch die Ergebnisse der Farbmessung und der Ionengehaltmessung während der Melkverlaufes verändern, wird im Folgenden geklärt. Hierzu wurden die Werte des somatischen Zellgehaltes (SCC), der elektrischen Leitfähigkeit (LF), der mittleren spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}), des Natrium-Gehaltes (NA) und des Chlorid-Gehaltes (CL) der drei viertelspezifischen Gemelksfraktionen - Viertelanfängsgemelk (VAG), Viertelmittegemelk (VMG) und Viertelendgemelk (VEG) - und die des Viertelgesamtemelkes (VGG) von insgesamt 64 Melkungen untereinander verglichen.

Für diese Auswertungen wurden die mittleren SCC-Klassen (II&III) zu einer zusammengefasst, um für die statistischen Untersuchungen eine ausreichende Anzahl an Proben in jeder Klasse zu erhalten. Somit befanden sich in SCC I (<100.000 Zellen/ml) 106 Viertelanfängsgemelke in SCC II&III (100.000-500.000 Zellen/ml) 20 und in SCC IV (>500.000 Zellen/ml) 11 Viertelanfängsgemelke. Die Einordnung in die SCC-Klassen erfolgte aufgrund des somatischen Zellgehaltes im Viertelanfängsgemelk.

Eine Übersicht aller ermittelten Messwerte kann der Tabelle A3 im Anhang entnommen werden.

5.2.1.1 Somatischer Zellgehalt

Die Analyse des Verlaufes des somatischen Zellgehaltes (SCC) über die drei Fraktionen zeigt, dass innerhalb der einzelnen Fraktionen auch hier der hoch signifikante Unterschied zwischen den Mittelwerten der einzelnen SCC-Klassen bestehen blieb (Abbildung 28). Im Vergleich zum VAG nahm der SCC in allen Klassen während des Melkvorganges zuerst ab (VMG hoch signifikant) erreichte aber später im Viertelendgemelk (VEG) wieder ein Niveau, das sich vom VAG nicht mehr unterschied.

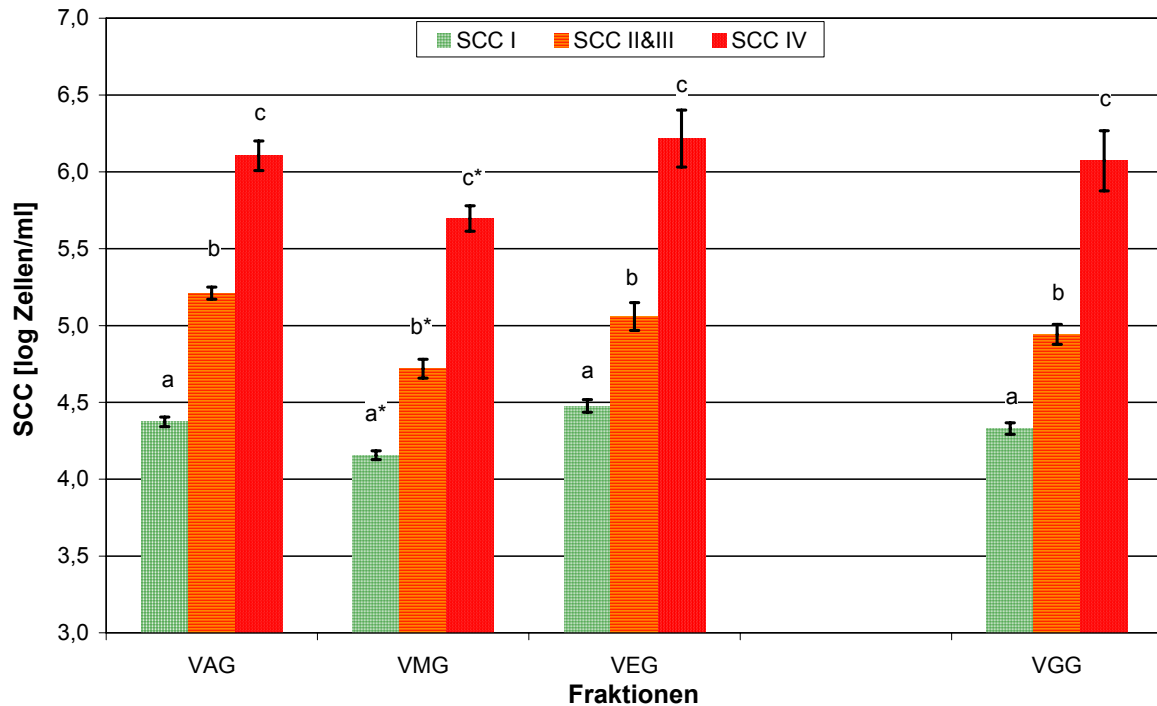


Abbildung 28: Somatischer Zellgehalt (SCC) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen

VAG: Viertelanfangsgemelk

VMG: Viertelmittegemelk

VEG: Viertelendgemelk

VGG: Viertelgesamtemelk

SCC I: <100.000/ml (n=106)

SCC II&III: 100.000-500.000/ml (n=20)

SCC IV: >500.000/ml (n=11)

a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich innerhalb einer Fraktion hoch signifikant ($P < 0,01$)

*: Mittelwert unterscheidet sich hoch signifikant vom Mittelwert in Fraktion VAG ($P < 0,01$)

Bei Betrachtung des Verhältnisses des logSCC (VAG) zum logSCC (VGG) lässt sich feststellen, dass das Verhältnis nur in einem geringen Bereich von 0,86 bis 1,16 schwankte (Abbildung 29). Obwohl kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten des logSCC im VAG und im VGG in den jeweiligen SCC-Klassen bestand, wurde bei 35 % der Proben ein geringerer SCC im VAG als im VGG beobachtet. 65 % der VAG wiesen einen geringfügig höheren SCC im Vergleich zum jeweiligen VGG auf.

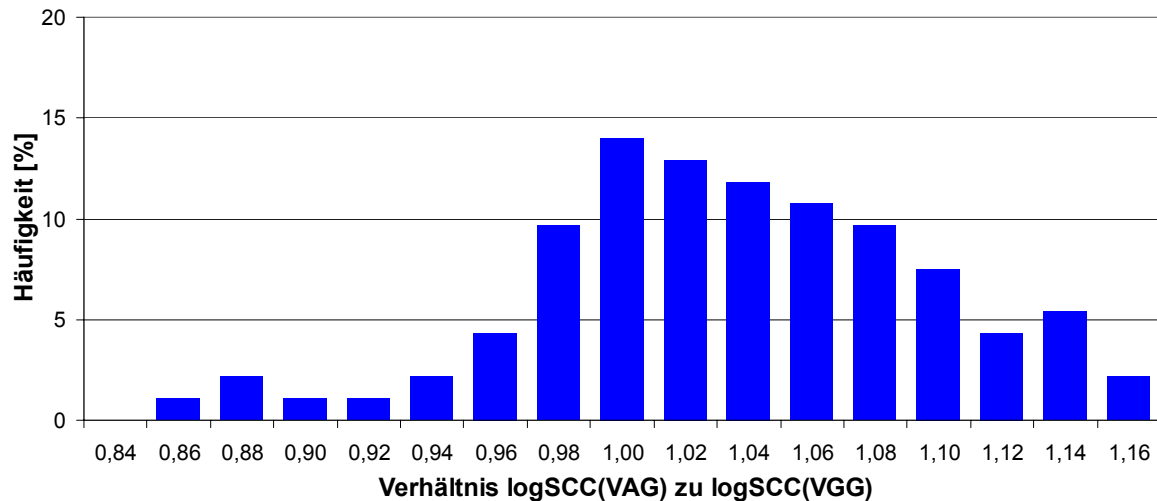


Abbildung 29: Verteilung des Verhältnisses von logSCC im Viertelanfangsgemelk (VAG) zu logSCC im Viertelgesamtgemelk (VGG)

5.2.1.2 Elektrische Leitfähigkeit

Der Mittelwert der elektrischen Leitfähigkeit (LF) von Milch mit weniger als 100.000 Zellen/ml in Höhe von 4,62 mS/cm unterschied sich im VAG hoch signifikant von den Mittelwerten der LF von Milch mit mehr als 100.000 Zellen (5,17 bzw. 5,40 mS/cm) (Abbildung 30). Im Verlauf der Melkung näherten sich die Mittelwerte soweit an (4,36 - 4,61 mS/cm), so dass im Viertelmittelgemelk kein signifikanter Unterschied mehr zu beobachten war. Erst im VEG war wieder ein hoch signifikanter Unterschied zwischen Milch mit weniger und Milch mit mehr als 100.000 Zellen/ml zu verzeichnen. Im VGG war nur eine Unterscheidung zwischen Milch der Viertel aus SCC I und SCC IV auf hoch signifikantem Niveau möglich.

Die LF-Werte der Milch von Vierteln der SCC II & III lagen im VAG durchschnittlich um 12 % über den Mittelwerten der SCC I, die Milch der Viertel in SCC IV wies im Durchschnitt um 17 % höhere Werte auf als die Viertel in SCC I. Diese Differenzen verkleinerten sich im VMG auf 4 bzw. 6 %. Erst später im VEG wurde wieder ein Unterschied von 16 % zwischen Vierteln der SCC I und SCC IV erfasst.

Somit wurden insgesamt im VAG jeweils die höchsten LF-Werte ermittelt.

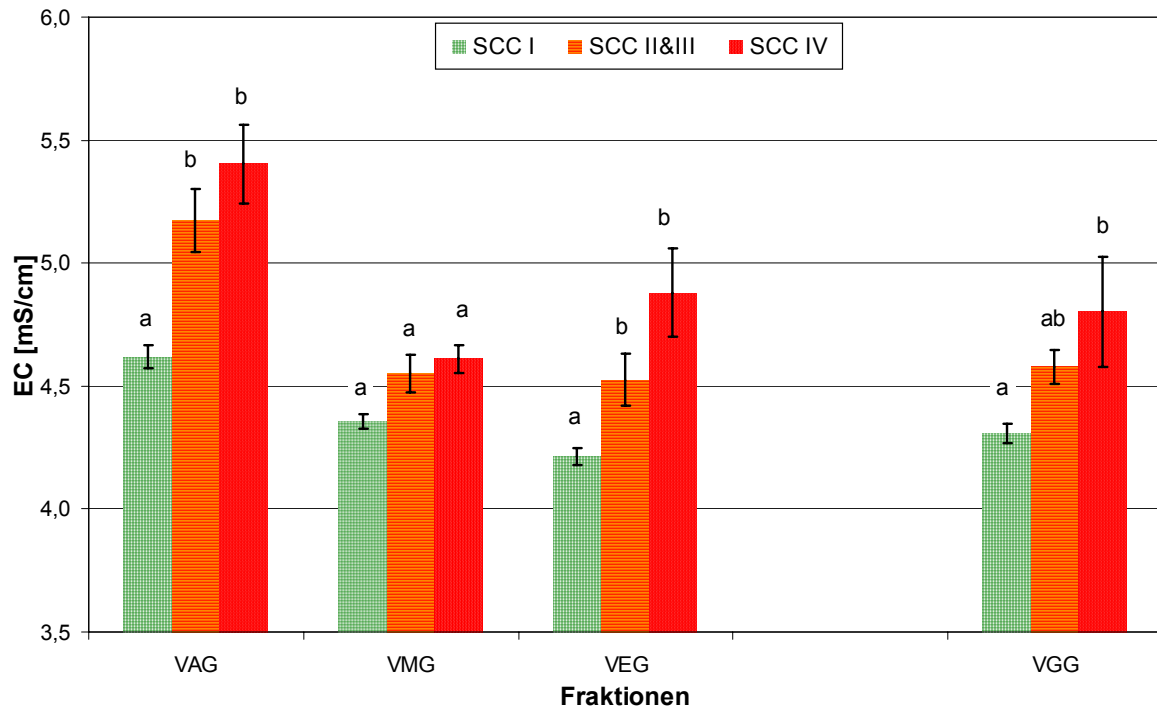


Abbildung 30: Elektrische Leitfähigkeit (LF) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen

VAG: Viertelanfangsgemelk

VMG: Viertelmittegemelk

VEG: Viertelendgemelk

VGG: Viertelgesamtemelk

SCC I: <100.000/ml (n=106)

SCC II&III: 100.000-500.000/ml (n=20)

SCC IV: >500.000/ml (n=11)

a,b: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich innerhalb einer Fraktion hoch signifikant ($P < 0,01$)

5.2.1.3 Mittlere spektrale Reflexion im Mastitisband

Ein hoch signifikanter Unterschied bezüglich der mittleren spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) zwischen Milch mit weniger als 100.000 Zellen/ml (44,32 %) und mehr als 100.000 Zellen/ml (43,40 bzw. 42,96 %) konnte nur im VAG festgestellt werden (Abbildung 31). Die Mittelwerte der Viertel aus SCC II & III lagen im Durchschnitt um relativ 2,1 %, die der Viertel aus SCC IV um relativ 3,1 % unter den Werten der Viertel aus SCC I.

Auch in den weiteren Milchfraktionen (VMG und VEG) und im VGG wiesen die Melkungen mit erhöhtem Zellgehalt geringere Werte für die spektrale Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) auf, jedoch unterschieden sich alle SCC-Klassen nicht mehr signifikant voneinander. Aus Abbildung 31 ist ersichtlich, dass während der Melkung tendenziell ein Anstieg der SR_{mastitis} festgestellt wurde. So lagen die absoluten Messwerte des VGG um relativ 1,4 - 2,7 % über denen des VAG.

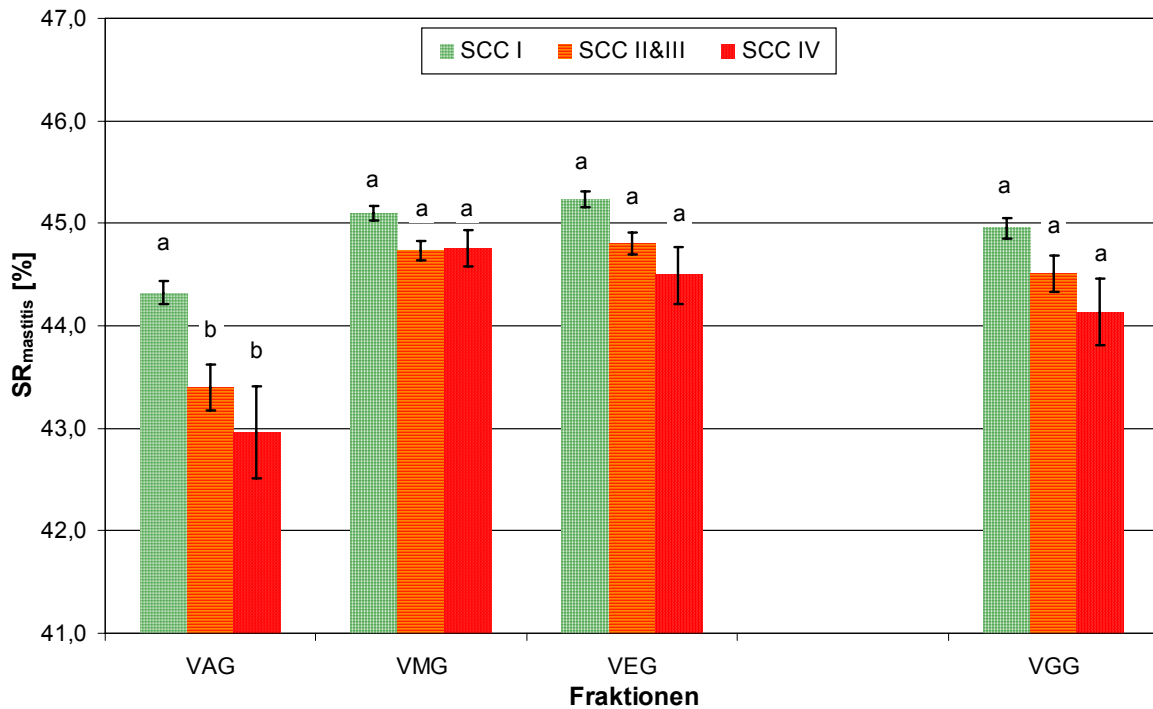


Abbildung 31: Mittlere spektrale Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen

VAG: Viertelanfangsgemelk

VMG: Viertelmitelgemelk

VEG: Viertelendgemelk

VGG: Viertelgesamtemelk

SCC I: <100.000/ml (n=106)

SCC II&III: 100.000-500.000/ml (n=20)

SCC IV: >500.000/ml (n=11)

a,b: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich innerhalb einer Fraktion hoch signifikant ($P < 0,01$)

5.2.1.4 Natrium-Gehalt

Die Entwicklung des Natrium-Gehaltes (NA) ist mit den Ergebnissen der Leitfähigkeitsmessung vergleichbar.

Zu Beginn der Melkung (VAG) unterscheiden sich die Mittelwerte des NA der Milchproben mit weniger als 100.000 Zellen/ml mit 20,3 mmol/l hoch signifikant von denen mit mehr als 100.000 Zellen/ml (30,3 bzw. 31,7 mmol/l). Im mittleren Bereich der Melkung (VMG) war nur noch eine Unterscheidung zwischen Proben mit weniger als 100.000 Zellen/ml und mehr als 500.000 Zellen/ml auf hoch signifikantem Niveau möglich. Die Proben des VEG unterschieden sich aber wieder wie bei den VAG. Aus der Bestimmung des NA in VGG konnten keine Informationen bezüglich des Status der Eutergesundheit abgeleitet werden, da sich die Werte der drei SCC-Klassen nicht signifikant unterschieden.

Die Veränderung der Mittelwerte des NA während der Melkung war in allen Zellzahl-Klassen gleich zu beobachten: Nach hohen Werten im VAG nahmen die Werte in der Mitte der Melkung stark ab und stiegen zum Ende der Melkung hin wieder leicht an.

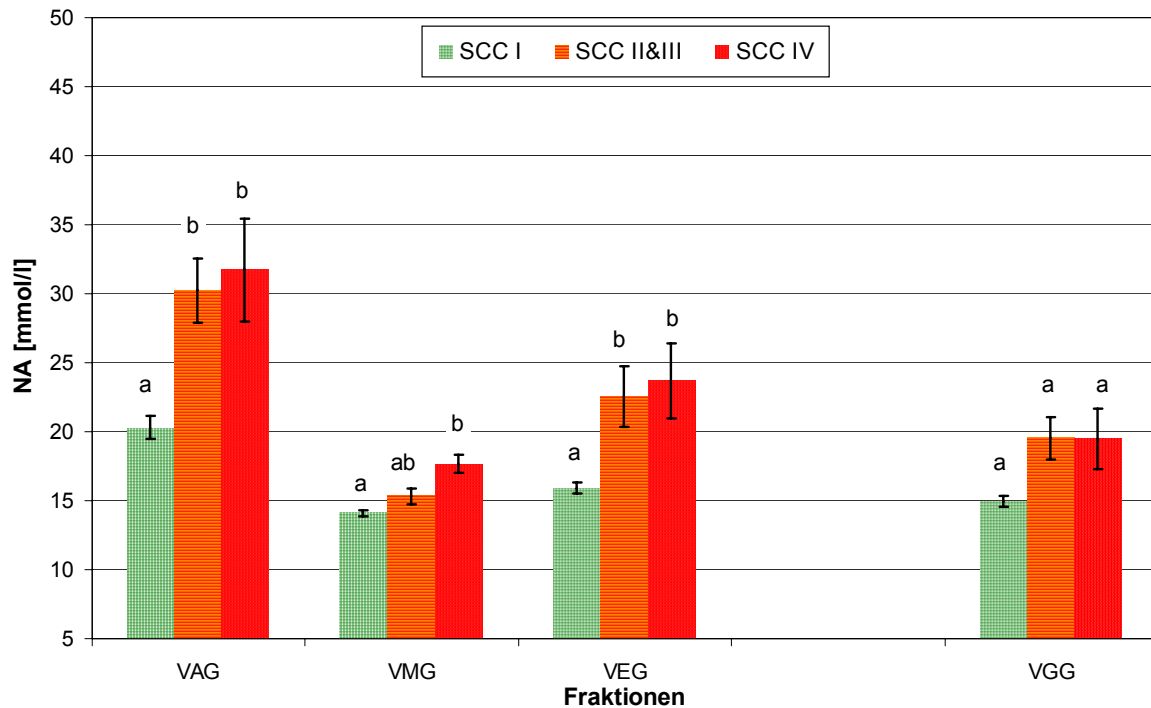


Abbildung 32: Na⁺ Gehalt (NA) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen

VAG: Viertelanzfangsgemelk

VMG: Viertelmittegemelk

VEG: Viertelendgemelk

VGG: Viertelgesamtemelk

SCC I: <100.000/ml (n=106)

SCC II&III: 100.000-500.000/ml (n=20)

SCC IV: >500.000/ml (n=11)

a,b: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich innerhalb einer Fraktion hoch signifikant (P<0,01)

5.2.1.5 Chlorid-Gehalt

Mit steigendem Zellgehalt der Milch wurden auch erhöhte Chlorid-Gehalte (CL) in der Milch ermittelt. Dies trifft besonders im VAG und VEG zu (Abbildung 33) Die CL-Mittelwerte der VAG mit mehr als 100.000 Zellen/ml unterschieden sich um ca. 20 % hoch signifikant von den VAG mit weniger als 100.000 Zellen/ml. Der Mittelwert der SCC I Klasse lag bei 49,1 mmol/l, der von SCC II&III bei 58,1 mmol/l und der von SCC IV bei 59,1 mmol/l.

Die Entwicklung der CL-Werte während der Melkung machte deutlich, dass auch hier in allen SCC-Klassen die höchsten Werte zu Beginn der Melkung gemessen wurden. In der Mitte der Melkung (VMG) wurden geringere CL-Werte registriert, die um ca. 8 - 16 % unter denjenigen im VAG lagen. Am Ende der Melkung (VEG) konnte wieder-

um ein Anstieg verzeichnet werden, wobei die Werte unter denen im VAG lagen. Die Mittelwerte der Proben mit erhöhtem Zellgehalt lagen im VGG etwa 10 % über den Werten der SCC I. Dieser Unterschied konnte jedoch statistisch nicht abgesichert werden.

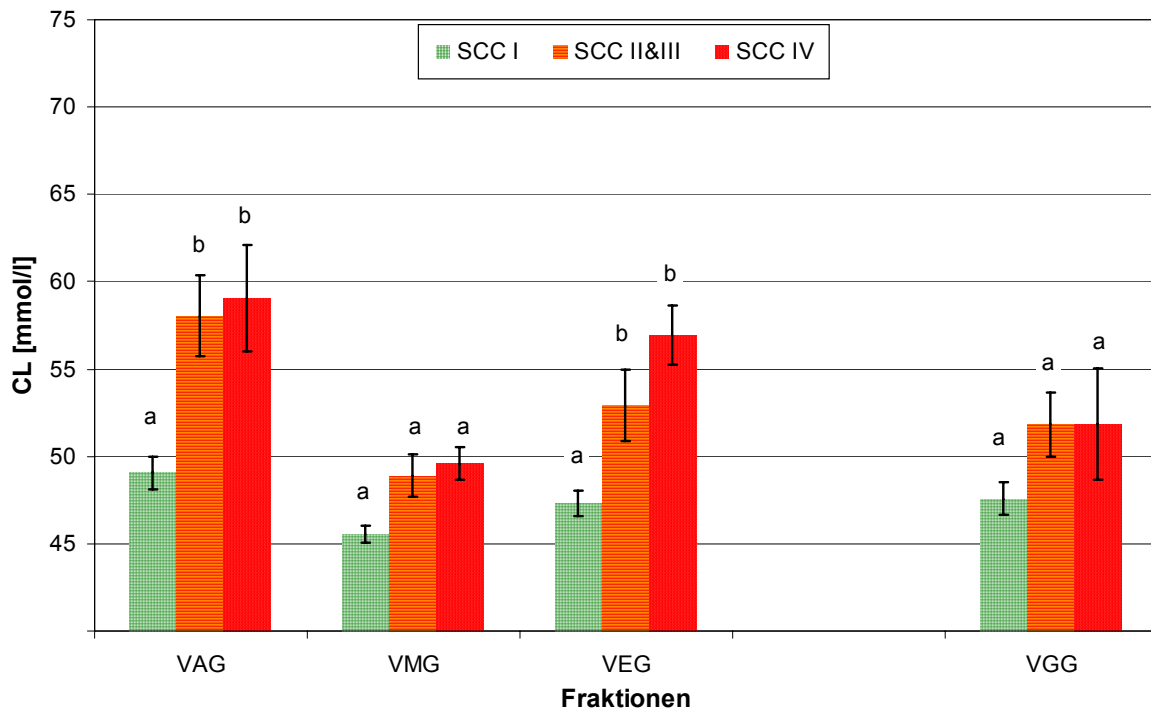


Abbildung 33: Cl⁻ Gehalt (CL) in Abhängigkeit der somatischen Zellzahl-Klassen (SCC I bis IV) und der Gemelksfraktionen

VAG: Viertelanfangsgemelk

VMG: Viertelmittegemelk

VEG: Viertelendgemelk

VGG: Viertelgesamtemelk

SCC I: <100.000/ml (n=106)

SCC II&III: 100.000-500.000/ml (n=20)

SCC IV: >500.000/ml (n=11)

a,b: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich innerhalb einer Fraktion hoch signifikant (P<0,01)

5.2.1.6 Vergleich des somatischen Zellgehaltes und der Spektralwerte zwischen Viertelanfangsgemelk und Viertelgesamtemelk

Die Analyse der 1.100 Paare aus VAG und VGG der Versuchsreihe vom März 2003 ergab, dass 92 % der Viertel, die im VAG in die Zellzahlklasse SCC I eingestuft wurden, auch im VGG einen Zellgehalt von weniger als 100.000 Zellen/ml aufwiesen.

Die Beziehung zwischen dem SCC im VAG und dem SCC im VGG der Melkungen ist der Abbildung 34 zu entnehmen. Hier ist zu erkennen, dass bei VAG mit weniger als 100.000 Zellen/ml der SCC im Vergleich zu den jeweiligen VGG niedriger ist ($r=0,76$), bei Vierteln mit mehr als 100.000 Zellen/ml das VGG im Mittel weniger somatische Zellen aufweist als das VAG.

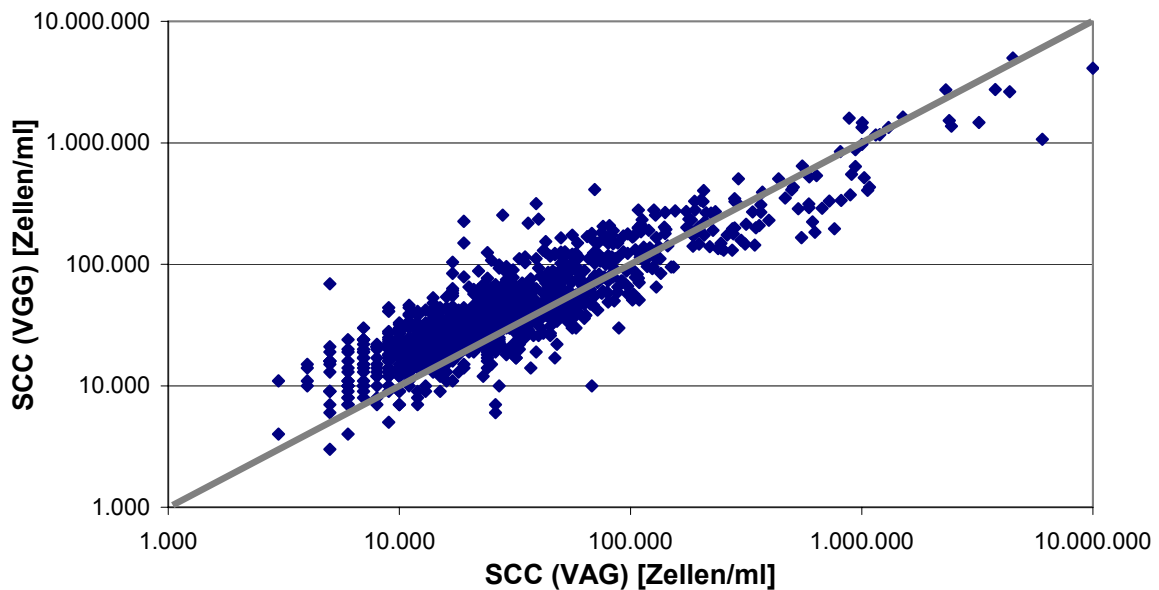


Abbildung 34: Beziehung zwischen dem somatischen Zellgehalt im Viertelanfängsgemelk (SCC (VAG)) und dem somatischen Zellgehalt im Viertelgesamtgemelk (SCC (VGG))
n=1.100 Viertelgemelke

Der Korrelationskoeffizient zwischen SCC (VAG) und SCC (VGG) bei Vierteln mit 100.000 bis 500.000 Zellen/ml liegt bei $r=0,64$, bei Vierteln der SCC IV (>500.000 Zellen/ml) wird der mit $r=0,80$ angegeben (Anhang Tabelle A6 bis Tabelle A9).

Beim statistischen Vergleich des SCC zwischen VAG und VGG konnte ein hoch signifikanter Unterschied nur bei Viertelgemelken mit niedrigem (SCC I) oder sehr hohem Zellgehalt (SCC IV) beobachtet werden (Abbildung 35). Bei Vierteln aus SCC I lag der SCC im VGG über dem SCC der VAG, bei den Vierteln aus SCC IV wurde das Gegenteil beobachtet. Keinerlei signifikante Änderungen wurden jedoch bei den Vierteln im mittleren Zellzahlbereich beobachtet (Anhang Tabelle A5). Obwohl sich der Mittelwert des SCC der VGG der SCC I und SCC IV hoch signifikant zum VAG dieser SCC-Klassen unterscheiden, bleibt festzuhalten, dass die Klassifizierung der Viertelanfängsgemelke auch im Gesamtgemelk fast unverändert bestehen bleibt.

Anders dagegen verhielten sich die Werte der spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}). Die Mittelwerte der SR_{mastitis} und der relativen Abweichung zum Referenzviertel ($\Delta SR_{\text{mastitis}}$) von VGG mit mehr als 200.000 Zellen/ml (SCC III und IV) unterschieden sich zwar hoch signifikant von den Mittelwerten mit weniger als 200.000 Zellen/ml (SCC I und II), die Abstände zwischen den SCC-Klassen sind jedoch viel geringer. Auch die Ergebnisse aus Kap. 5.2.1.3 zeigten, dass die beste Aussagekraft der Spektralwerte bezüglich einer Erkennung von Eutererkrankungen in den Messwerten im VAG lagen.

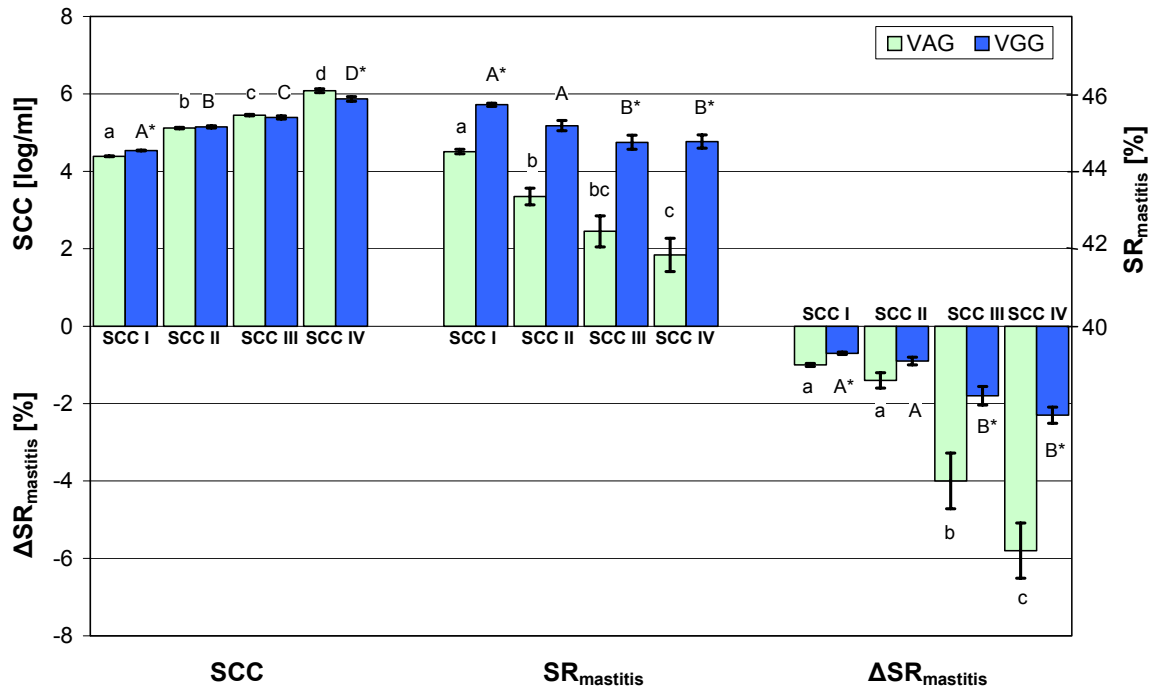


Abbildung 35: Somatischer Zellgehalt (logSCC) und Spektralwerte (SR_{mastitis}, ΔSR_{mastitis}) im Viertelanfangsgemelk (VAG) und Viertelgesamtemelk (VGG)

- a,b,c,d, Mittelwerte innerhalb einer Gemelksfraktion mit unterschiedlichen
 A,B,C,D: Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant (P<0,01)
 *: Mittelwerte zwischen VAG und VGG unterscheiden sich hoch signifikant (P<0,01)

5.2.1.7 Diskussion

Aus Untersuchungen von ONTSOUKA ET AL. (2003) [100] und von weiteren Autoren [8], [56], [155], [157] geht hervor, dass die Werte der elektrischen Leitfähigkeit (LF) vor der Milchejektion am höchsten sind und bei gesunden Kühen während der Melkung kontinuierlich abnehmen. Auch hatten die Untersuchungen von WIEDEMANN ET AL. (2003) [155] gezeigt, dass allein die Milchejektion ohne kontinuierliches Abmelken eine drastische Verringerung der LF-Werte bewirkte. Um sowohl die Ansetzroutine der AMS aber auch die in der Literatur beschriebenen Problematiken zu berücksichtigen, wurde in der vorliegenden Untersuchung der Ansetzmechanismus durch manuelles Ansetzen optimal gestaltet.

Diese in der Literatur beschriebenen Änderungen der LF-Werte während der Melkung werden auch durch die vorliegende Arbeit bestätigt. Bedingt durch verschiedene Euterfüllungsgrade fand bei einem Teil der Melkungen bereits in den ersten 500 ml Proben eine Durchmischung von Alveolar- und Zisternenmilch statt. Deshalb fielen bei manchen Proben mit erhöhtem Zellgehalt im Vergleich zu den anderen

Proben die LF-Werte und Ionengehalte etwas niedriger, die Werte der SR_{mastitis} etwas höher aus. Insgesamt wurden aber im VAG die höchsten (LF, NA, CL) bzw. niedrigsten (SR_{mastitis}) Werte ermittelt. Da eine hohe LF der Milch auf Erkrankungen des Euterviertels schließen lässt, hat die LF-Messung diesbezüglich im VAG die höchste Aussagekraft. Zwar führte auch die Bestimmung der LF im VEG zu einer Erkennung von Eutererkrankungen, wobei jedoch nur Viertel mit mehr als 500.000 Zellen/ml von denen mit weniger als 100.000 Zellen/ml hoch signifikant zu unterscheiden waren. Dieser Aspekt ist auch wieder im Zusammenhang mit dem automatischen Melken relevant, da bei einigen momentan im Einsatz befindlichen AMS der Mittelwert der LF über die gesamte Melkung gebildet wird, um Informationen über die Eutergesundheit zu geben. Die Aussagekraft der aufgezeichneten LF-Werte kann, wie die vorliegende Arbeit zeigt, durch diese Mittelwertbildung sehr stark dezimiert werden.

Teilweise konnte auch nochmals eine größere Differenz der Messwerte von erkrankten Vierteln zum Melkende bestimmt werden.

Die Auswertungen des Zellgehaltes haben gezeigt, dass die im VAG vorgenommene Klassifizierung nahezu mit den Zellgehalten in den VGG identisch ist und keine statistischen Unterschiede vorlagen. Das bedeutet, dass zwar die erfassten chemisch-physikalischen Parameter einer großen Schwankung während der Melkung unterlegen waren, der Zellgehalt, als Maß zur Einstufung der Eutergesundheit, aber im VGG die gleiche Aussagekraft hat wie im VAG.

Ein zusätzlicher Vergleich von spektraler Reflexion und somatischem Zellgehalt zwischen VAG und VGG (insgesamt 1.100 Viertelgemelke) ergab, dass Aussagen bezüglich der Eutergesundheit mit SR_{mastitis} -Werten aus dem VGG nicht oder nur bedingt möglich waren. Bei Mittelwertbildung über das gesamte Viertelgemelk, wie es in einigen AMS bei der LF-Messung geschieht, würde sehr viel Information aus dem VAG verloren gehen.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass alle Melkungen ohne jegliche taktile Vorstimulation abgelaufen sind und die taktile Stimulation erst durch das Ansetzen der Melkbecher begonnen wurde. So setzte sich das VAG zum größten Teil aus Milch der Zisterne und zu einem kleinen Anteil aus Alveolarmilch (nach Milchejektion) zusammen. Die sehr großen Unterschiede zwischen Alveolarmilch und Zisternenmilch bezüglich der Milchinhaltsstoffe, besonders aber des Ionengehaltes, wurden von anderen Autoren, wie ONTSOUKA ET AL. (2003) [100] und bereits in eigenen Untersuchungen [155] näher beschrieben, und auch in dieser Untersuchung bestätigt.

5.2.2 Erkennung von Eutererkrankungen durch Erfassung der spektralen Reflexion, der elektrischen Leitfähigkeit sowie des Na⁺ und Cl⁻ Gehaltes im Viertelanfangsgemelk

Auf Grund der in den vorhergehenden Versuchen erzielten Resultate beschränkten sich die Messungen der Parameter SR_{mastitis}, LF, NA und CL zur Erkennung von Eutererkrankungen in dieser Untersuchung nur auf die Viertelanfangsgemelke (VAG).

5.2.2.1 Werte der spektralen Reflexion im Viertelanfangsgemelk

Die Auswertung der Spektrallinien - gruppiert nach Zellzahl-Klassen - lieferte nahezu das gleiche Ergebnis wie im Vorversuch. In Bezug auf die mittlere spektrale Reflexion unterschieden sich die Proben mit mehr als 100.000 Zellen/ml hoch signifikant von den Proben mit weniger als 100.000 Zellen/ml im Wellenlängenbereich 430 - 510 nm (Abbildung 36 und Anhang Tabelle A3). Mit fortschreitender Wellenlänge wurden die Varianzen der mittleren spektralen Reflexion innerhalb der Zellzahl-Klassen (SCC I - IV) größer, so dass ab 670 nm kein statistisch abzusichernder Unterschied mehr vorlag.

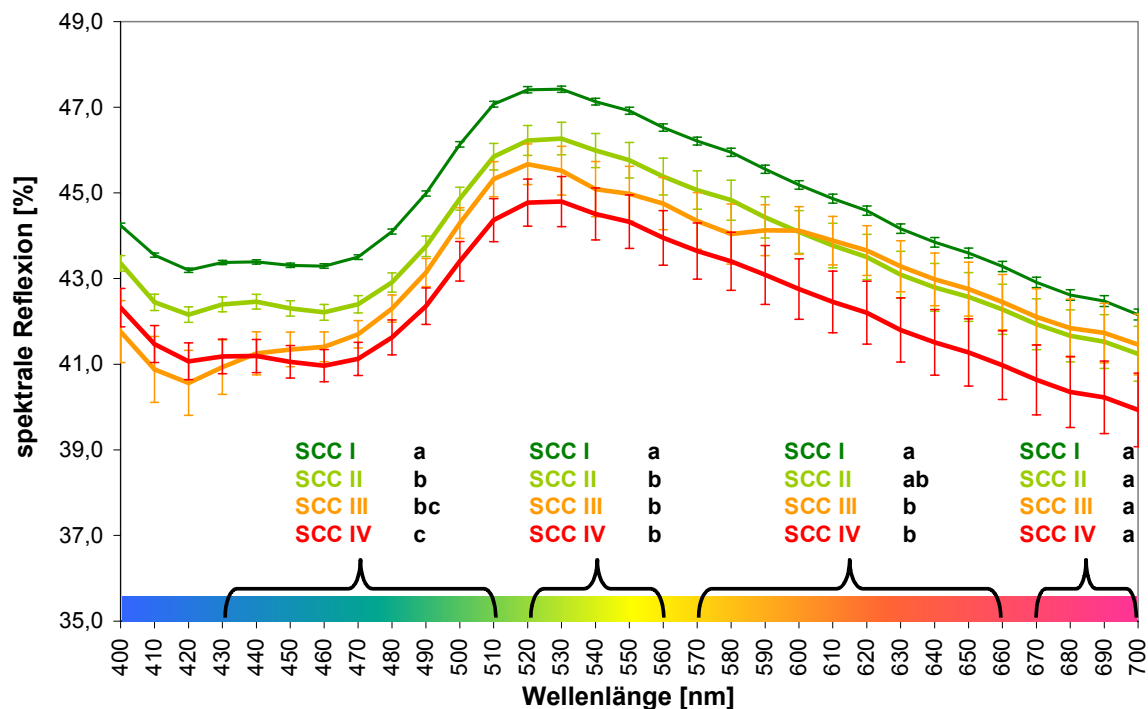


Abbildung 36: Reflexionslinien von Viertelanfangsgemelken mit unterschiedlichem somatischem Zellgehalt (Hauptversuch)

SCC I: <100.000/ml (n=973)

SCC II: 100.000-200.000/ml (n=56)

SCC III: 200.000-500.000/ml (n=46)

SCC IV: >500.000/ml (n=45)

a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant (P<0,01)

Nach Berechnung der mittleren spektralen Reflexion im WLB 430 - 510 nm (SR_{mastitis}) und der Abweichung der mittleren spektralen Reflexion zum Referenzviertel ($\Delta SR_{\text{mastitis}}$) ergaben sich abhängig vom somatischen Zellgehalt die in Tabelle 30 dargestellten Mittelwerte. Der Mittelwert der SR_{mastitis} über alle VAG-Proben betrug 44,27 % (SEM=0,058). Im Durchschnitt wichen die Werte aller Viertel um 1,4 % (SEM=0,06) vom Referenzviertel ab.

Tabelle 30: Mittelwerte der mittleren spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) und der relativen Abweichung der mittleren spektralen Reflexion ($\Delta SR_{\text{mastitis}}$) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den SCC-Klassen (Hauptversuch)

	SCC [Zellen/ml]	Anzahl	SR_{mastitis} [%]			$\Delta SR_{\text{mastitis}}$ [%]		
			\bar{X}	+/-	SEM	\bar{X}	+/-	SEM
SCC I	<100.000	973	44,51	+/-	0,056 ^a	-1,0	+/-	0,04 ^a
SCC II	100.000-200.000	56	43,35	+/-	0,216 ^b	-1,4	+/-	0,20 ^a
SCC III	200.000-500.000	46	42,45	+/-	0,402 ^{bc}	-4,0	+/-	0,72 ^b
SCC IV	>500.000	45	41,84	+/-	0,428 ^c	-5,8	+/-	0,71 ^c
	gesamt	1.120	44,27	+/-	0,058	-1,4	+/-	0,06

a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant ($P < 0,01$)

Dabei waren die Werte der Viertel der SCC II im Durchschnitt um 1,4 % geringer als die der SR_{mastitis} des Referenzviertels. Ein signifikanter Unterschied zur SCC I Klasse konnte hier nicht ermittelt werden. Dagegen wichen VAG mit 200.000 - 500.000 Zellen/ml im Durchschnitt um 4,0 %, VAG mit mehr als 500.000 Zellen/ml um 5,8 % vom jeweiligen Referenzviertel ab ($P < 0,01$). Die graphische Darstellung dieser Ergebnisse erfolgt zusammen mit den weiteren Parametern am Ende des Kapitels 5.2.2.3 (Abbildung 38 und Abbildung 39, S. 99).

In Abbildung 37 sind für die vier SCC-Klassen die kumulierten Häufigkeiten der relativen Abweichung der SR_{mastitis} zum Referenzviertel dargestellt.

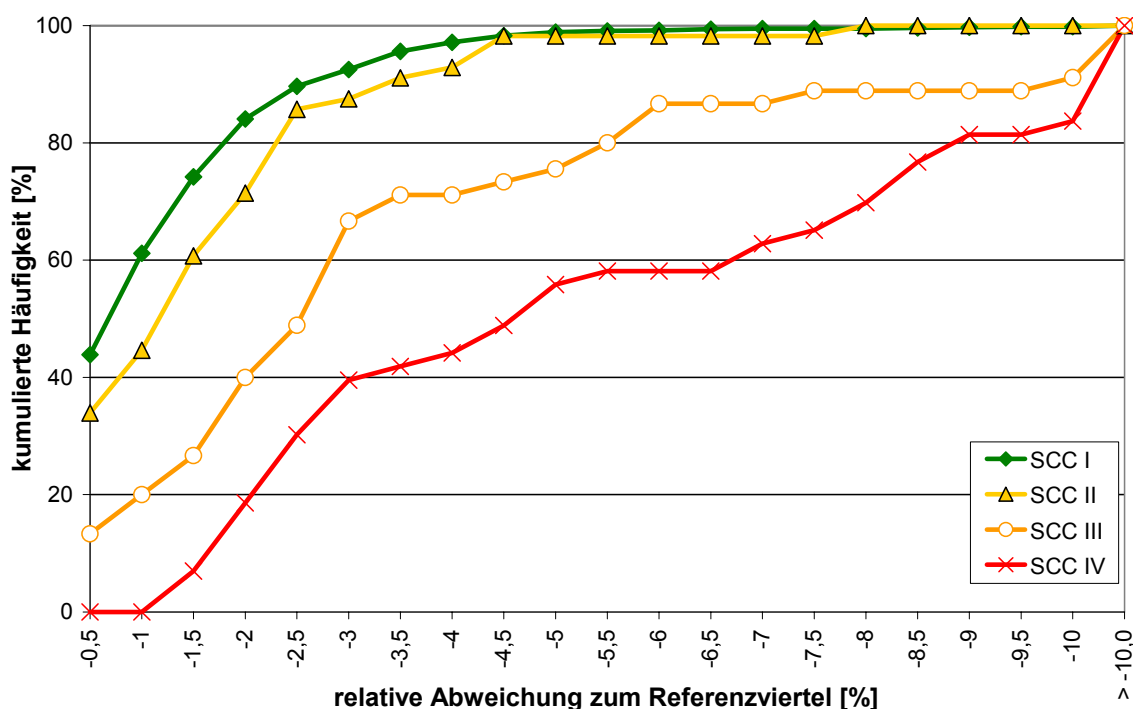


Abbildung 37: Häufigkeitsverteilung der relativen Abweichung zum Referenzviertel in Abhängigkeit des somatischen Zellgehaltes (SCC)

SCC I: <100.000/ml (n=973) SCC II: 100.000-200.000/ml (n=56)
 SCC III: 200.000-500.000/ml (n=46) SCC IV: >500.000/ml (n=45)

Daraus wird ersichtlich, dass 92,5 % aller VAG der SCC I bis -3,0 % Abweichung zum Referenzviertel aufwiesen. 33,3 % aller Viertel mit mehr als 200.000 Zellen/ml aber weniger als 500.000 Zellen/ml hatten eine Abweichung der mittleren spektralen Reflexion im Mastitisband von über -3,0 %. Werden nur die VAG-Proben betrachtet, bei denen ein somatischer Zellgehalt von mehr als 500.000 Zellen/ml festgestellt wurde, so stieg der Anteil der Proben mit $\Delta SR_{\text{mastitis}}$ über -3,0 % auf 60,5 % an.

Bei der Berechnung der relativen Abweichung der spektralen Reflexion stellten in 94,2 % aller Melkungen die Werte der SR_{mastitis} der Viertel in SCC I den Referenzwert dar, da hier der höchste SR_{mastitis} bei der jeweiligen Melkung ermittelt wurde. Die SR_{mastitis} von VAG aus SCC II wurden in 5,4 % der Melkungen als Referenz herangezogen, während sich nur bei einer einzigen Melkung der Referenzwert aus einem VAG mit mehr als 200.000 Zellen/ml bildete.

Für eine detailliertere Untersuchung wurden nicht nur die SCC-Klassen, sondern auch die bakteriologischen Befunde berücksichtigt. Daraus ergab sich für die Klassifizierung der Milchproben ein neues achtstufiges Raster (vgl. Kap. 4.6). Die bakteriologischen Befunde ergaben, dass während des Untersuchungszeitraumes nur Erreger der Stämme *koagulase negative Staphylococce*n sowie *Staphylococcus aureus* bei drei der untersuchten Tiere zu finden waren.

Die Milchproben dieser infizierten Viertel wurden in SCC 13 (200.000 - 500.000 Zellen/ml und pos. bakteriologischer Befund) und SCC 14 (<500.000 Zellen/ml und pos. bakteriologischer Befund) eingestuft. Die Mittelwerte der SR_{mastitis} dieser Viertel lagen im Durchschnitt um 6,8 - 8,0 % niedriger als die SR_{mastitis} des jeweiligen Referenzviertels (Tabelle 31). Die Mittelwerte der SR_{mastitis} aller Milchproben mit mehr als 200.000 Zellen/ml und zusätzlich positivem bakteriologischen Befund (SCC 13 und SCC 14) waren signifikant niedriger als die Mittelwerte der Milchproben ohne bakteriologischen Befund (SCC 1 bis SCC 4).

Tabelle 31: Mittelwerte der mittleren spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) und der relativen Abweichung der mittleren spektralen Reflexion ($\Delta SR_{\text{mastitis}}$) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den erweiterten SCC-Klassen (Hauptversuch, Viertelanfangsgemelke)

	Anzahl	SR_{mastitis} [%]		$\Delta SR_{\text{mastitis}}$ [%]	
		\bar{X}	+/- SEM	\bar{X}	+/- SEM
SCC 1	968	44,50	+/- 0,055 ^a	-1,0	+/- 0,04 ^a
SCC 2	56	43,35	+/- 0,216 ^b	-1,4	+/- 0,20 ^a
SCC 3	34	43,19	+/- 0,301 ^b	-2,5	+/- 0,31 ^b
SCC 4	18	42,93	+/- 0,567 ^b	-4,3	+/- 0,94 ^c
SCC 11	5	46,34	+/- 0,847 ^a	-0,9	+/- 0,38 ^a
SCC 12	n.v.				
SCC 13	12	40,43	+/- 0,087 ^c	-8,0	+/- 2,25 ^d
SCC 14	27	41,12	+/- 0,571 ^c	-6,8	+/- 0,97 ^d

a,b,c,d: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant ($P < 0,01$)

n.v.: keine Proben in dieser Klasse

5.2.2.2 Werte der elektrischen Leitfähigkeit im Viertelanfangsgemelk

Die gemessenen Werte der elektrischen Leitfähigkeit lagen bei dieser Versuchsreihe zwischen 3,8 und 8,2 mS/cm. Der Mittelwert betrug 4,81 mS/cm (SEM=0,015). Die Mittelwerte der elektrischen Leitfähigkeit und die Mittelwerte der Abweichungen der elektrischen Leitfähigkeit zum Referenzviertel, dem Viertel mit dem niedrigsten LF-Wert der aktuellen Melkung, (ΔLF) sind für die einzelnen SCC-Klassen in Tabelle 32 zusammengestellt.

Tabelle 32: Mittelwerte der elektrischen Leitfähigkeit (LF) und der relativen Abweichung der elektrischen Leitfähigkeit (ΔLF_{rel}) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den SCC-Klassen (Hauptversuch, Viertelanfängsgemelke)

	SCC [Zellen/ml]	Anzahl	LF [mS/cm]			ΔLF_{rel} [%]		
			\bar{X}	+/-	SEM	\bar{X}	+/-	SEM
SCC I	<100.000	973	4,71	+/-	0,013 ^a	3,0	+/-	0,11 ^a
SCC II	100.000-200.000	56	4,92	+/-	0,058 ^b	5,1	+/-	0,59 ^b
SCC III	200.000-500.000	46	5,26	+/-	0,099 ^c	8,5	+/-	1,30 ^c
SCC IV	>500.000	45	5,98	+/-	0,129 ^d	21,9	+/-	2,47 ^d
	gesamt	1.120	4,81	+/-	0,015	4,1	+/-	0,19

a,b,c,d: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant ($P < 0,01$)

Die statistische Auswertung ergab, dass sich die Mittelwerte der absoluten Messwerte und der relativen Werte aller SCC-Klassen hoch signifikant unterschieden. VAG mit mehr als 200.000 Zellen/ml aber weniger als 500.000 Zellen/ml (5,26 mS/cm) wiesen im Durchschnitt einen um 0,55 mS/cm höheren Mittelwert auf als die VAG mit weniger als 100.000 Zellen/ml (4,71 mS/cm). LF-Werte der VAG in SCC IV unterschieden sich durchschnittlich um 1,27 mS/cm von den LF-Werten der Viertel aus SCC I. Speziell bei der Betrachtung der Abweichungen zum Referenzviertel fallen auch hier die VAG mit mehr als 500.000 Zellen/ml auf. Hier betrug die prozentuale Abweichung zum Referenzviertel im Durchschnitt 21,9 %, während für die drei anderen SCC-Klassen mittlere Abweichungen im Bereich von 3,0 bis 8,5 % ermittelt wurden.

Die detaillierte Datenanalyse ergab, dass bei 95,3 % aller Melkungen das Referenzviertel einen somatischen Zellgehalt von weniger als 100.000 Zellen/ml hatte. Viertel mit mehr als 500.000 Zellen/ml bildeten dagegen nur bei 2 von 280 Melkungen das Referenzviertel.

5.2.2.3 Ionengehalte (Na^+ und Cl^-) im Viertelanfängsgemelk

Die Werte des Na^+ Gehaltes (NA) aller VAG-Proben lagen in einem Bereich von 7,4 bis 92,8 mmol/l, der Mittelwert betrug 18,3 mmol/l (SEM=0,31) (Tabelle 33). VAG aus SCC I hatten durchschnittlich einen Gehalt an Na^+ Ionen von 16,4 mmol/l (SEM=0,22). Mit ansteigendem Gehalt an somatischen Zellen erhöhte sich auch der NA-Wert auf 21,0 mmol/l (SEM=0,86) in VAG der SCC II bzw. auf 28,1 mmol/l (SEM=2,00) in VAG der SCC III. Die NA-Werte der VAG-Proben aus SCC IV lagen im Mittel mit 44,4 mmol/l (SEM=3,18) um das 2,7-fache über den Werten der Proben

aus SCC I. Die Mittelwerte der einzelnen SCC-Klassen unterschieden sich dabei hoch signifikant.

Bei Anwendung der Quotientenmethode, bei der das VAG mit dem niedrigsten NA-Wert das Referenzviertel bildete, wurde für die relative Abweichung der SCC III vom jeweiligen Referenzviertel ein Mittelwert von 36,5 % (SEM=5,64) bzw. für SCC IV ein Mittelwert von 96,0 % (SEM=11,01) berechnet. Beide Mittelwerte unterschieden sich hoch signifikant vom Mittelwert der VAG mit weniger als 100.000 Zellen/ml.

Tabelle 33: Mittelwerte des Na^+ Gehaltes (NA) und der relativen Abweichung des Na^+ Gehaltes ($\Delta\text{NA}_{\text{rel}}$) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den SCC-Klassen (Hauptversuch, Viertelanfangsgemelke)

	SCC [Zellen/ml]	Anzahl	NA [mmol/l]		$\Delta\text{NA}_{\text{rel}}$ [%]	
			\bar{X}	+/- SEM	\bar{X}	+/- SEM
SCC I	<100.000	973	16,4	+/- 0,22 ^a	17,2	+/- 0,69 ^a
SCC II	100.000-200.000	56	21,0	+/- 0,86 ^b	20,2	+/- 2,84 ^a
SCC III	200.000-500.000	46	28,1	+/- 2,00 ^c	36,5	+/- 5,64 ^b
SCC IV	>500.000	45	44,4	+/- 3,18 ^d	96,0	+/- 11,01 ^c
	gesamt	1.120	18,3	+/- 0,31	21,4	+/- 0,92

a,b,c,d: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant ($P < 0,01$)

Bei 92,6 % aller Melkungen hatte das Referenzviertel weniger als 100.000 Zellen/ml. 3,9 % aller Referenzviertel wiesen einen Zellgehalt zwischen 100.000 und 200.000 Zellen/ml auf, während bei 10 Melkungen (3,5 %) das als Referenz herangezogene VAG mehr als 200.000 Zellen/ml zählte.

Der Mittelwert des Cl^- Gehaltes (CL) aller VAG lag bei 49,4 mmol/l (SEM=0,36) und variierte zwischen 26,7 und 102,0 mmol/l (Tabelle 34). Bei Milch von unauffälligen Viertelanfangsgemelken (SCC I) wurde ein Mittelwert von 47,8 mmol/l (SEM=0,34) errechnet. Die durchschnittliche Abweichung des CL zum Referenzviertel lag hier bei 6,2 % (SEM=0,24). Mit zunehmendem Zellgehalt stiegen auch die Werte des CL an. So wurde in den Vierteln des SCC II ein CL von 52,1 mmol/l (SEM=1,36) festgestellt, der sich aber nicht signifikant vom Mittelwert der Viertel der SCC I unterschied. Bei den Mittelwerten der Zellzahl-Klassen über 200.000 Zellen/ml konnte statistisch ein hoch signifikanter Unterschied zu den VAG mit weniger als 100.000 Zellen/ml ermittelt werden. Die Mittelwerte der VAG in SCC III und SCC IV lagen hier bei 58,5 mmol/l (SEM=1,92), bzw. bei 71,3 mmol/l (SEM=2,35). Die relative Abweichung der Mittelwerte des CL vom jeweiligen Referenzviertel schwankte in einem Bereich

von 6,2 bis 30,6 %. Dabei nahm die relative Abweichung mit zunehmenden SCC-Klassen zu, der höchste Wert wurde bei VAG der SCC IV (30,6 %) ermittelt.

Alle Mittelwerte der relativen Abweichung der VAG mit erhöhtem Zellgehalt (SCC II-IV) waren hoch signifikant vom Mittelwert der VAG der SCC I zu unterscheiden.

Tabelle 34: Mittelwerte des Cl^- Gehaltes (CL) und der relativen Abweichung des Cl^- Gehaltes ($\Delta\text{CL}_{\text{rel}}$) des jeweiligen Viertels zum Referenzviertel in den SCC-Klassen (Hauptversuch, Viertelanzfangsgemelk)

	SCC	Anzahl	CL [mmol/l]	$\Delta\text{CL}_{\text{rel}}$ [%]
	[Zellen/ml]		\bar{X} +/- SEM	\bar{X} +/- SEM
SCC I	<100.000	973	47,8 +/- 0,34 ^a	6,2 +/- 0,24 ^a
SCC II	100.000-200.000	56	52,1 +/- 1,36 ^{ab}	10,1 +/- 1,27 ^b
SCC III	200.000-500.000	46	58,5 +/- 1,92 ^b	11,2 +/- 1,61 ^b
SCC IV	>500.000	45	71,3 +/- 2,35 ^c	30,6 +/- 3,32 ^c
	gesamt	1.120	49,4 +/- 0,36	7,6 +/- 0,30

a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant ($P < 0,01$)

Als Referenzviertel konnten in 94,1 % der Fälle diejenigen VAG herangezogen werden, bei denen ein Zellgehalt von weniger als 100.000 Zellen/ml gezählt wurde. 2,5 % aller als Referenz fungierenden VAG hatten zwischen 100.000 und 200.000 Zellen/ml, 3,5 % mehr als 200.000 Zellen/ml.

Die vorgestellten Ergebnisse zur $\text{SR}_{\text{mastitis}}$, LF sowie zum NA und CL (Mittelwerte und die relativen Abweichungen) sind abschließend in Abbildung 38 und Abbildung 39 zusammen graphisch dargestellt. Die Graphiken zeigen, dass die relativen Abweichungen zum Referenzviertel mit ansteigendem Zellgehalt speziell bei der direkten Bestimmung des Ionengehaltes, und hier v.a. beim NA, sehr große Werte erreichen konnten. Dagegen waren die prozentualen Unterschiede zwischen den SCC-Klassen beim spektralphotometrischen Verfahren nicht so stark ausgeprägt.

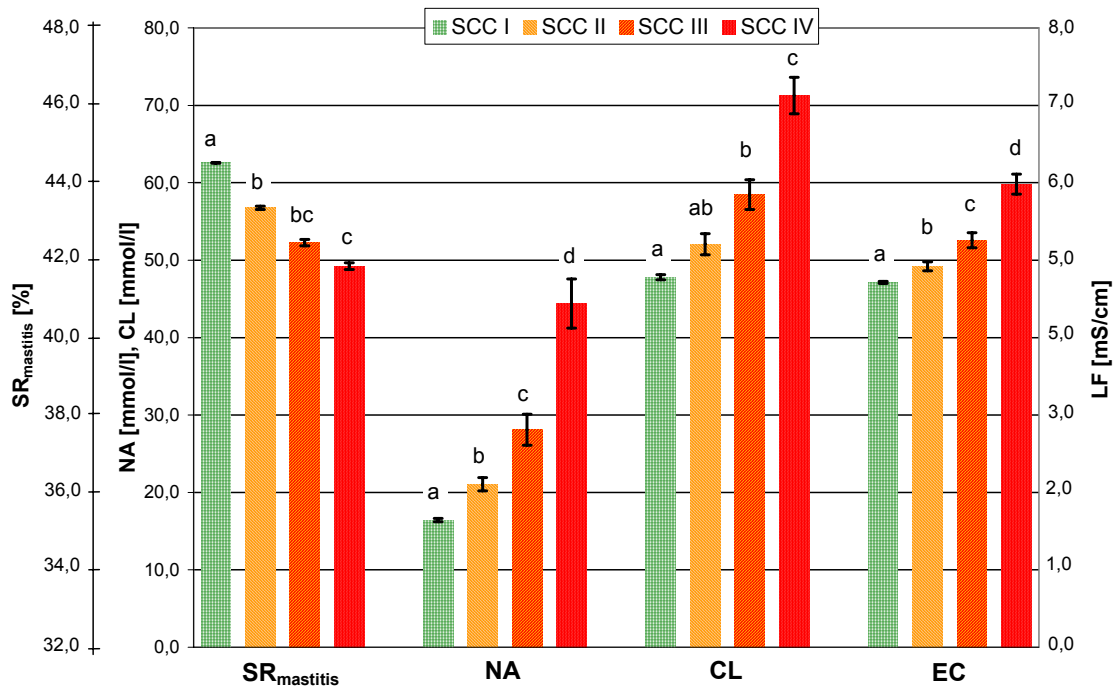


Abbildung 38: Mittelwerte der spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}), des Na⁺ Gehaltes (NA), des Cl⁻ Gehaltes (CL) und der elektrischen Leitfähigkeit (LF) der Viertelanfängselme der vier SCC-Klassen

SCC I: <100.000/ml (n=976) SCC II: 100.000-200.000/ml (n=56)
 SCC III: 200.000-500.000/ml (n=46) SCC IV: >500.000/ml (n=45)

a,b,c,d: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant (P<0,01)

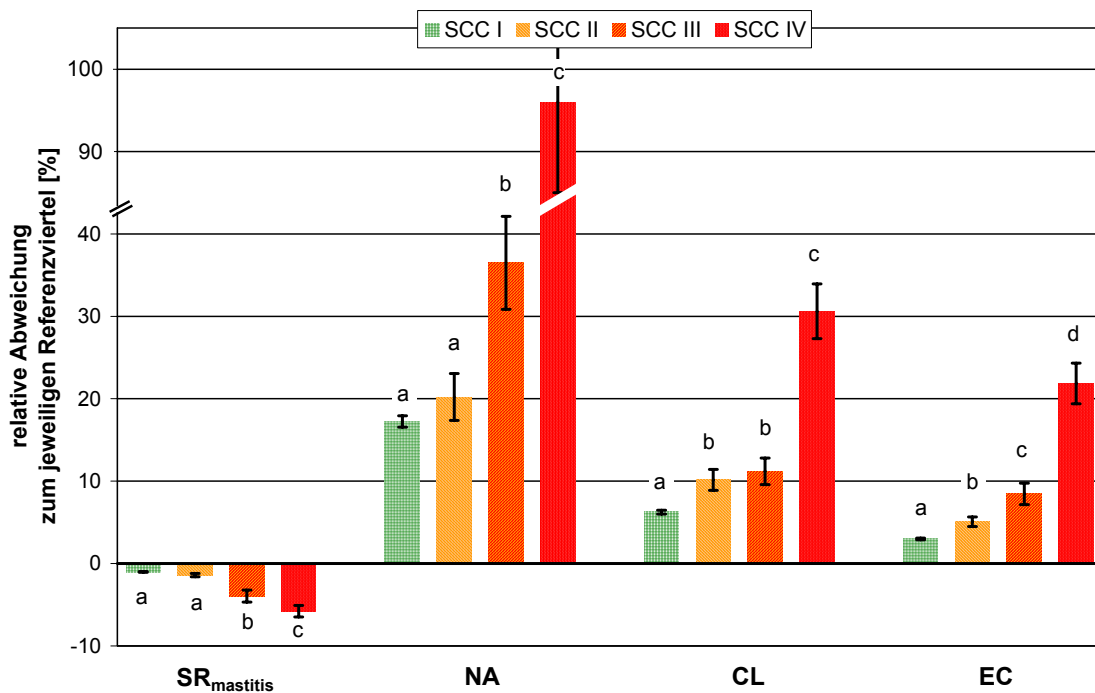


Abbildung 39: Mittelwerte der relativen Abweichung zum Referenzviertel der spektralen Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}), des Na⁺ Gehaltes (NA), des Cl⁻ Gehaltes (CL) und der elektrischen Leitfähigkeit (LF) der Viertelanfängselme der vier SCC-Klassen

5.2.2.4 Korrelationsanalyse zwischen Milchinhaltstoffen und gemessenen Parametern im Viertelanfangsgemelk

Alle erfassten Parameter der Viertelanfangsgemelkproben wurden einer Korrelationsanalyse nach PEARSON unterzogen. Die hoch signifikant abgesicherten Korrelationskoeffizienten ($P < 0,01$) aller Parameter enthält Tabelle A4. Ein Ausschnitt der Korrelationstabelle, die Beziehung zwischen dem logarithmierten somatischen Zellgehalt und der gemessenen Parameter, ist in Tabelle 35 dargestellt. Für alle Parameter - mit Ausnahme des NA - wurde ein besserer Korrelationskoeffizient zwischen dem logSCC und der relativen Abweichung der Parameter zum Referenzviertel als zu den Absolutwerten berechnet. Die höchste Korrelation wurde zum Na^+ Gehalt ($r=0,61$) ermittelt. Die Korrelation des logSCC zur relativen Abweichung der LF (ΔLF) und zu den absoluten Leitfähigkeitswerten (LF) lag auch über $r=0,50$. Für die Abweichung der $\text{SR}_{\text{mastitis}}$ zum Referenzviertel wurde in VAG eine Beziehung zum logSCC von $r=-0,48$ ermittelt

Tabelle 35: Korrelationskoeffizient (nach PEARSON) zwischen dem logarithmierten somatischen Zellgehalt (logSCC) und der erfassten Parameter im Viertelanfangsgemelk ($n=1.1120$ VAG)

	absolut				relativ			
	$\text{SR}_{\text{mastitis}}$	LF	NA	CL	$\Delta\text{SR}_{\text{mastitis}}$	ΔLF	ΔNA	ΔCL
logSCC	-0,36	0,51	0,61	0,43	-0,48	0,54	0,49	0,47

5.2.2.5 Auswertung und Vergleich der Parameter mittels Diagnostischem Test

Zur Überprüfung der Aussagekraft der gemessenen Parameter wurden diese Parameter zuerst einzeln, später auch in Kombination (ODER-Verknüpfung) dem *Diagnostischen Test* unterzogen. Dazu wurden drei verschiedene Grenzwerte für auffällige Viertelanfangsgemelke (VAG) festgelegt (Tabelle 36). Der cut-off point (vgl. Kap. 2.5) für den jeweiligen gemessenen Parameter wurde dort festgelegt, wo der Wert der Spezifität mind. 95,0 % erreicht hatte.

Bei Festlegung des Grenzwertes von 100.000 Zellen/ml für normalen Zellgehalt wurde die höchste Erkennungsrate für Viertel mit erhöhtem Zellgehalt mit der Messung der absoluten LF-Werte erreicht (35,9 %), wenn hier der cut-off point bei 5,4 mS/cm lag. Wird die Sensitivität für die relative Abweichung der LF-Werte zum Referenzviertel ($\Delta\text{LF}_{\text{rel}}$) bestimmt, so konnten 31,7 % der Viertel mit erhöhtem Zellgehalt erkannt werden (cut-off point: $\Delta\text{LF}_{\text{rel}}=10$ %). Die Sensitivitäten der weiteren gemessenen Pa-

parameter lagen bei diesem Grenzwert von 100.000 Zellen/ml in einem Bereich von 20,5 bis 32,4 %.

Einer Erhöhung des Grenzwertes für auffällige Viertel auf 500.000 Zellen/ml folgte bei den LF-Werten eine Sensitivitätssteigerung auf 61,4 %. Dieser Wert wurde sowohl durch einen cut-off point der absoluten LF von 5,5 mS/cm als auch der relativen LF (11 %) erreicht. Auch mit der Messung des NA war es möglich, diese Sensitivität zu erreichen. Die Werte der übrigen Parameter lagen bei diesem Zellzahlgrenzwert von 500.000 Zellen/ml nur leicht darunter.

Tabelle 36: Sensitivitätswerte der gemessenen Parameter (absolut und relativ) in Abhängigkeit vom Grenzwert für auffällige bzw. nicht auffällige Viertelanfängemelke (angegeben durch den somatischen Zellgehalt) bei einer Spezifität von 95 %

		100.000 Zellen/ml		200.000 Zellen/ml		500.000 Zellen/ml	
		cut-off point	Sens [%]	cut-off point	Sens [%]	cut-off point	Sens [%]
SR_{mastitis}	absolut [%]	41,0	20,5	41,0	28,9	40,8	33,3
	relativ [%]	-3,4	29,5	-3,4	42,2	-3,8	55,6
LF	absolut [mS/cm]	5,4	35,9	5,4	43,8	5,5	61,4
	relativ [%]	10	31,7	10	43,8	11	61,4
NA	absolut [mmol/l]	31	32,4	32	47,2	32	61,4
	relativ [%]	60	26,2	60	39,3	65	56,8
CL	absolut [mmol/l]	68	26,2	68	38,2	69	59,1
	relativ [%]	20	25,5	20	36,0	20	59,1

Sens: Sensitivität
SR_{mastitis}: spektrale Reflexion
LF: elektrische Leitfähigkeit
NA: Na⁺ Gehalt
CL: Cl⁻ Gehalt

Für die Messung der spektralen Reflexion als Hilfsmittel zur Erkennung von Eutererkrankungen bleibt festzuhalten, dass dieser Parameter jeweils 5 - 6 % unter der jeweils besten Sensitivität lag.

Im Weiteren sollte geklärt werden, ob mit einer Kombination der Parameter die Sensitivitäten gesteigert werden können. Hierzu wurden zwei verschiedene Varianten untersucht:

- *Variante 1:* Kombination der Parameter in Anlehnung an ein - bereits in automatischen Melksystemen eingesetztes - Sensorsystem, das auf der Messung der elektrischen Leitfähigkeit (LF) und der Farbveränderung basiert.
- *Variante 2:* Berücksichtigung der Parameter, die bei einer schrittweisen Regression aufgenommen wurden (vgl. Kap. 4.7.3). Die abhängige Variable bildete der logarithmierte Zellgehalt. Die aufgenommenen unabhängigen Variablen waren der absolute Wert des Na^+ Gehaltes (NA), der absolute Wert sowie die Abweichung der spektralen Reflexion ($\text{SR}_{\text{mastitis}}$, $\Delta\text{SR}_{\text{mastitis}}$) und die Abweichung der elektrischen Leitfähigkeit zum Referenzviertel ($\Delta\text{LF}_{\text{rel}}$) (Tabelle 37).

Tabelle 37: Schrittweise Regression zur Bestimmung des logarithmierten somatischen Zellgehaltes (Variante 2)

Schritt	aufgenommene Variable	R^2 (partial)	R^2 (Model)	F-Wert	P
1	NA	0,3690	0,3690	623,5	<0,0001
2	$\Delta\text{SR}_{\text{mastitis}}$	0,0456	0,4146	82,9	<0,0001
3	$\text{SR}_{\text{mastitis}}$	0,0076	0,4222	13,9	0,0002
4	$\Delta\text{LF}_{\text{rel}}$	0,0066	0,4288	12,4	0,0005

Auch bei diesen Betrachtungen musste eine Spezifität von mindestens 95 % gegeben sein. Die Ergebnisse zeigten, dass durch die Kombination mehrerer Parameter die Sensitivität bei den jeweiligen Zellzahlgrenzwerten gesteigert werden konnte (Tabelle 38). So war bei einem Grenzwert von 100.000 Zellen/ml durch Variante 1 im Gegensatz zur Einzelbetrachtung der Parameter eine Erhöhung der Erkennungsrate von 35,9 % auf 40,8 % und durch Variante 2 auf 43,5 % möglich. Beide Varianten erzielten bei einem Zellzahlgrenzwert von 200.000 Zellen/ml eine um 12,1 % höhere Erkennungsrate (59,3 %) als der beste Einzelparameter mit 47,2 %. Mit der Kombination von Leitfähigkeits- und Spektralmessung konnten 73,3 % der VAG mit mehr als 500.000 Zellen/ml sicher als auffällig eingestuft werden. Dies entspricht einer absoluten Steigerung der Sensitivität von nahezu 12 % im Vergleich zur alleinigen Leitfähigkeits- oder Natrium-Messung.

Tabelle 38: Sensitivitätswerte der Parameterkombinationen (Variante 1 und 2) in Abhängigkeit vom Grenzwert für auffällige bzw. nicht auffällige Viertelanfängselmelke (angegeben durch den somatischen Zellgehalt) bei einer Spezifität von 95 %

	100.000 Zellen/ml		200.000 Zellen/ml		500.000 Zellen/ml	
	cut-off point 1	Sens [%]	cut-off point 2	Sens [%]	cut-off point 3	Sens [%]
Variante 1						
LF [mS/cm]	5,6		5,6		5,6	
ΔLF_{rel} [%]	12,0	40,8	12,0	59,3	15,0	73,3
SR _{mastitis} [%]	39,5		39,0		39,0	
$\Delta SR_{mastitis}$ [%]	-4,0		-4,5		-4,7	
Variante 2						
ΔLF_{rel} [%]	12,0		12,0		15,0	
SR _{mastitis} [%]	39,0	43,5	39	59,3	39,0	71,1
$\Delta SR_{mastitis}$ [%]	-4,5		-4,5		-4,7	
NA [mmol/l]	34		38		38	
Sens: Sensitivität						
SR _{mastitis} : spektrale Reflexion im Mastitisband						
NA: Na ⁺ Gehalt						
LF: elektrische Leitfähigkeit						
ΔLF_{rel} : rel. Abweichung der LF zum Referenzviertel						
$\Delta SR_{mastitis}$: rel. Abweichung der SR _{mastitis} zum Referenzviertel						

Mit dem Ziel, dass max. 5 % aller VAG mit weniger als 100.000 Zellen/ml als falsch positiv (Spezifität ≥ 95 %), aber die wenigsten aller VAG mit mehr als 500.000 Zellen/ml als falsch negativ eingestuft werden sollten, wurden die in Tabelle 38 genannten cut-off points für 100.000 Zellen/ml herangezogen.

Für die praktische Umsetzung bedeutete dies, dass nur ein geringer Anteil (max. 5 %) aller VAG mit weniger als 100.000 Zellen/ml fälschlicherweise verworfen werden durften. Des Weiteren sollten aber die meisten VAG mit mehr als 500.000 Zellen/ml angezeigt werden. Der Zellzahlbereich 100.000 - 500.000 Zellen/ml wurde dagegen so behandelt, als ob diese Werte nicht mit in die Berechnung der Validitätsmaße eingeflossen sind (sog. „Graubereich“). Dieser Bereich kann auch vom Landwirt mit den einfachen Testmethoden, wie visuelle Überprüfung oder Milchzelltest, nicht eindeutig zugeordnet werden.

Nach Anwendung der soeben beschriebenen Methode errechnete sich für Variante 1 eine absolute Erhöhung der Erkennungsrate von VAG mit mehr als 500.000 Zellen/ml von 2,3 % auf 75,6 %, für Variante 2 eine absolute Steigerung von 6,7 % auf 77,8 %.

Die weitere Untersuchung ergab, dass mit dem cut-off point 1 der Variante 1, 85,2 % aller VAG, die sowohl einen SCC von mehr als 500.000 Zellen/ml als auch einen positiven bakteriologischen Befund aufwiesen (SCC 14; n=27), erkannt wurden (Tabelle 39). Nach Heranziehen der Variante 2 (cut-off point 1) erhöhte sich diese Erkennungsrate auf 88,8 %. Mit beiden Varianten wurden 75,4 % aller Viertel, welche in der Praxis vom Tierhalter als problematisch eingestuft werden, erkannt (SCC 4, 13, 14; n=57).

Tabelle 39: Sensitivitätswerte [%] der Parameterkombinationen (Variante 1 und 2) in Abhängigkeit vom Grenzwert für auffällige bzw. nicht auffällige Viertelanfängsgemelke (angegeben durch den (zyto-) bakteriologischen Befund) bei einer Spezifität von 95 %

	cut-off point	entweder SCC>500.000 oder SCC>200.000 plus pos. bakter. Befund (SCC 4, 13, 14)	SCC>500.000 plus pos. bakter. Befund (SCC 14)
Variante 1		n=57	n=27
LF [mS/cm]	5,6		
ΔLF_{rel} [%]	12,0	75,4	85,2
SR _{mastitis} [%]	39,5		
$\Delta SR_{mastitis}$ [%]	-4,0		
Variante 2			
ΔLF [%]	12,0		
SR _{mastitis} [%]	39,0	75,4	88,8
$\Delta SR_{mastitis}$ [%]	-4,5		
NA [mmol/l]	34		

NA: Na⁺ Gehalt

SR_{mastitis}: spektrale Reflexion im Mastitisband

LF: elektrische Leitfähigkeit

ΔLF_{rel} : rel. Abweichung der LF zum Referenzviertel

$\Delta SR_{mastitis}$: rel. Abweichung der SR_{mastitis} zum Referenzviertel

5.2.2.6 Diskussion

Bei der Einzelbetrachtung der Parameter konnte bei einem Grenzwert von 500.000 Zellen/ml die beste Sensitivität (61,4 %) durch die Messung der LF, aber auch durch die Bestimmung des NA erreicht werden, wobei eine Spezifität von 95 % vorlag. Zwar wurde für die Korrelation zwischen logSCC und NA ein höherer Koeffi-

zient ($r=0,61$) als zwischen logSCC und LF ($r=0,51$) ermittelt, jedoch konnte diese höhere Korrelation nicht zu einer Steigerung der Erkennungsrate beitragen.

Untersuchungen hinsichtlich der LF in VAG und daraus resultierende Validitätsmaße führten auch KRÖMKER ET AL. (1997) [79], NIELEN ET AL. (1995) [95], und WOOLFORD (1985) [159] durch. Je nach gewähltem Grenzwert (SCC) wurden dabei Sensitivitäten in einem Bereich von 36 - 90 % erreicht. Bei allen Untersuchungen lag die Spezifität immer über 90 %. Bei fast vergleichbarem Grenzwert von 400.000 Zellen/ml im VAG und vergleichbaren Spezifitäten von 97 % findet sich bei KRÖMKER ET AL. (1997) [79] eine Sensitivität von 28 %.

Insgesamt lag der in der eigenen Untersuchung ermittelte Korrelationskoeffizient zwischen logSCC und LF auf gleichem Niveau, wie in der Literatur allgemein angegeben wird. Dabei gibt HAMANN (1986) [54] in seiner Zusammenstellung eine Korrelation zwischen logSCC und LF mit $r=0,55$ bis $r=0,62$ an. Auch GEDEK ET AL. (1977) [50] geben einen Korrelationskoeffizienten in dieser Größenordnung an ($r=0,59$), während ANDERSSON (1991) [2] und ORDOLFF (2003) [102] geringere Korrelationskoeffizienten im Bereich von $r=0,36$ bis $r=0,46$ bestimmten.

In der vorliegenden Untersuchung war der ermittelte Korrelationskoeffizient zwischen logSCC und NA ($r=0,61$) höher als der Koeffizient zwischen logSCC und CL ($r=0,43$). In gleicher Größenordnung lagen die von KRÖMKER ET AL. (1997) [79] bestimmten Korrelationskoeffizienten, wobei jedoch eine höhere Korrelation zwischen logSCC und CL als zwischen logSCC und NA berechnet wurde. Anzumerken ist hier, dass KRÖMKER ET AL. (1997) [79] ihre Messungen im Gegensatz zu den eigenen Untersuchungen im VGG durchgeführt haben.

Im Vergleich zu den Korrelationskoeffizienten und zu den Validitätsmaßen der LF-Messung und der Bestimmung des NA konnte für die Abweichung der spektralen Reflexion zum Referenzviertel lediglich ein Korrelationskoeffizient zum logSCC von $r=-0,48$ und eine Sensitivität von 55,6 % bei einem Grenzwert von 500.000 Zellen/ml und einer Spezifität von 95 % bestimmt werden (Grenzwert 200.000 Zellen/ml: Sens=42,2 %, Spez=95 %). Bei ORDOLFF (2001) [101] lässt sich aus den angegebenen Werten bei einem Grenzwert von 200.000 Zellen/ml eine Sensitivität von 80 % errechnen. Die damit verbundene niedrige Spezifität von lediglich 34 % zeigt aber, dass bei diesen Auswertungen sehr viele gesunde Viertel als krank, also falsch positiv, eingestuft wurden.

In einem weiteren Schritt wurde die Kombination der LF-Werte mit den SR-Werten überprüft. Die LF-Messung wurde als Basis gewählt, da sie momentan den Stand der Technik im AMS darstellt. Aus anderen Arbeiten, wie KÖHLER (2002) [77] oder DEMOL & OUWELTJES (2001) [30] ist bekannt, dass durch Kombination mehrerer Parameter die Sensitivität bei gleichbleibender Spezifität gesteigert werden kann. So

konnte in der vorliegenden Arbeit durch Kombination von absoluten und relativen LF- und SR-Werten eine Sensitivität von 73,3 % bei einem Grenzwert von 500.000 Zellen/ml und einer Spezifität von 95 % erreicht werden. Auch hier liegen Ergebnisse von ORDOLFF (2001) [101] vor, die auf einer Kombination von CIE-L*a*b*-Farbwerten und elektrischer Leitfähigkeit beruhen. Die für einen Grenzwert von 500.000 Zellen/ml resultierende Sensitivität lag hier bei 95 %, mit einem wiederum sehr niedrigen Spezifitätswert von 59 %. Selbst bei einem Grenzwert von 200.000 Zellen/ml im VAG hat die kombinierte Messung von LF und SR in der hier vorliegenden Arbeit eine Sensitivität von 59,3 % erbracht (Spez: 95 %).

Bei einer Kombination der Parameter, die bei schrittweiser Regression aufgenommen wurden (ΔLF , SR_{mastitis} , $\Delta SR_{\text{mastitis}}$, NA), berechnete sich eine etwas schlechtere Sensitivität von 71,1 % bei gleichem Zellzahlgrenzwert und bei gleicher Spezifität. Die Erkennungsraten der einzelnen Parameter wurden aber auch hier übertroffen.

Obwohl in dieser Arbeit nahezu 75 % aller Viertel mit mehr als 500.000 Zellen/ml und 88,8 % der Viertel, die sowohl 500.000 Zellen/ml als auch einen bakteriologisch positiven Befund aufwiesen, detektiert werden konnten (Spez: 95 %), wurde nur eine geringfügige Verbesserung der Erkennungsrate durch die direkte Ionenmessung (Na^+ und Cl^-) erreicht. In diesem Zusammenhang bleibt die Frage offen, inwieweit mit anderen Parametern, z.B. Aktivität von Enzymen (Biosensoren) [2], [123] in Kombination mit den untersuchten relevanten Parametern (LF, SR, NA) eine Steigerung der Sensitivität aber auch der Spezifität erzielt werden kann.

6 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass der Melker zwar durch Überprüfung des Vorgemelkes sinnfällig veränderte Milch erkennen kann, aber die Feststellung von Eutererkrankungen im subklinischen Bereich nicht gewährleistet ist. Mit dem nicht rechtzeitigen Erkennen dieser Eutererkrankungen sind Milchleistungseinbußen verbunden, die zur Folge haben, dass somit nicht das volle Potenzial der Milchproduktion ausgenutzt werden kann. Durch tägliche Beobachtungen des Tieres im Melkstand kann ein Melker evtl. auch Veränderungen feststellen, die ihm Rückschlüsse auf das Allgemeinbefinden des Tieres geben können. Gerade aber im Hinblick auf wachsende Milchviehbestände und der Beschäftigung von wechselndem Personal (Lohnarbeit und Schichtdienst) im Melkstand ist es möglich, dass wichtige Informationen über den (Euter-) Gesundheitszustand der Tiere verloren gehen. Ein zuverlässiges Sensorsystem ist nicht nur für AMS ein „Muss“, sondern könnte auch beim konventionellen Melken die Möglichkeit bieten, die Effizienz der Milchproduktion zu steigern.

Als zusätzliches Sensorsystem zur bereits in der Praxis etablierten Leitfähigkeitsmessung wurde das Verfahren der Spektralphotometrie gewählt, da es in einigen Bereichen der Lebensmittelindustrie zur Qualitätskontrolle eingesetzt wird und hier bereits gute Erfahrungen vorliegen. Zudem ist die Farbmessung ein Verfahren, das nicht im direkten Kontakt mit dem zu messenden Medium steht. Somit werden die Sensoren nicht durch Verunreinigungen und Ablagerungen beeinträchtigt.

Anders als die bisher untersuchten Farbmessverfahren (RGB, CIE-L*a*b*), die bereits verrechnete Werte (XYZ, L*a*b*, o.ä.) ausgeben, erfasst das eingesetzte Spektralverfahren kontinuierlich die Reflexionslinien im sichtbaren Spektrum. Somit konnten hier auch die Einflüsse der Milch Inhaltsstoffe in den einzelnen Wellenlängenbereichen untersucht werden. Da mit ansteigender Wellenlänge im sichtbaren Spektrum v.a. der Milchfettgehalt die Reflexionswerte beeinflusst, jedoch die Korrelationen der spektralen Reflexion zum logSCC und zum Laktose-Gehalt im niedrigen Wellenlängenbereich am höchsten waren, wurde der Wellenlängenbereich von 430 - 510 nm als Mastitisband definiert. Dadurch konnten die für die Erkennung von Eutererkrankungen relevanten Wellenlängen herausgearbeitet, definiert und Einflüsse von anderen Milch Inhaltsstoffen, wie z.B. dem Milchfettgehalt, nahezu ausgeschlossen werden. In den Versuchsreihen konnte für die spektrale Reflexion in diesem Mastitisband (SR_{mastitis}) ein statistisch abzusichernder Unterschied zwischen Viertel-anfangsgemelken (VAG) mit erhöhtem und normalem Zellgehalt errechnet werden. Der Wert der spektralen Reflexion des Viertelgesamtgemelkes konnte dagegen keine statistisch abzusichernde Information über den Gesundheitszustand, beurteilt an Hand des SCC, geben. Inwieweit die Farbänderung in den Viertel-anfangsgemelken

durch die Anwesenheit von Bakterien wie Staphylococcus oder Streptococcus, dem niedrigeren Laktosegehalt oder dem Gehalt an somatischen Zellen hervorgerufen wird, muss in weiteren Untersuchungen noch herausgearbeitet werden.

Die Auswertung der Parameter elektrische Leitfähigkeit (LF), Na^+ Gehalt (NA) und Cl^- Gehalt (CL) zeigten, dass bezüglich der Eutergesundheit nur aussagekräftige Werte im VAG zu finden waren. Da in dieser Untersuchung die VAG ohne jegliche taktile Vorstimulation, aber unter Berücksichtigung der Ansetzmechanismen eines AMS gewonnen wurden, würde eine ähnliche Probenahmeroutine bereits bei in der Praxis befindlichen AMS die Aussagekraft der jeweils gemessenen Parameter (z.B. LF und Farbe) erhöhen. Da der Beginn der Milchejektion 40 - 80 s nach Beginn der taktilen Vorstimulation zu erwarten ist [22], bestünde auch mit laufenden AMS (z.B. VMS™) die Möglichkeit, diese ersten Gemelksfraktionen eines jeden Viertels zu erhalten. Dies bedeutet, dass vor dem Melkbeginn mit einem separaten Probenahmebecher die Milchproben eines jeden Euterviertels genommen werden müssten. Anschließend kann die normale Melkroutine mit Reinigung und Ansetzen der Melkbecher durchgeführt werden (Dauer: Ø 3 - 7 Minuten), während die gewonnenen Viertelproben analysiert werden könnten. Am Ende des Melkprozesses könnte nicht nur die Information über den Eutergesundheitsstatus ausgegeben werden, sondern das Gesamtgemelk - auf Grundlage der Analysenwerte und einer entsprechenden Verrechnung in der Software - entweder in verkehrsfähige Milch (Ableitung in den Milchtank) oder in nicht verkehrsfähige Milch (Verwerfen der Milch) eingestuft werden. Bei dieser absätzigen Analyse der Milchproben könnten auch Störgrößen, wie v.a. das Aufschäumen der Milch, das Schwierigkeiten bei der LF-Messung verursacht [134], vermieden werden.

Die errechneten Validitätsmaße bei Kombination der absoluten und relativen Messwerte der $\text{SR}_{\text{mastitis}}$ und der LF haben gezeigt, dass zwar im Vergleich zu anderen Verfahren eine höhere, aber immer noch nicht ausreichende Erkennungsrate erreicht wurde. Viertelanfangsgemelke mit mehr als 500.000 Zellen/ml und gleichzeitig positivem bakteriologischem Befund wurden zwar zu 85,2 % mit dieser Parameterkombination detektiert. Allerdings wurden alle Viertelanfangsgemelke, ungeachtet des bakteriologischen Befundes, aber mit mehr als 500.000 Zellen/ml nur zu 73,3 % als auffällig erkannt (Spez: 95 %). Insgesamt müssen aber für eine ausreichend hohe Sensitivität und eine ebenso hohe Spezifität noch weitere Parameter, die den Gesundheitszustand der Milchdrüse beschreiben, mit einbezogen werden. Die zusätzliche direkte Messung der Ionenkonzentrationen von Na^+ und Cl^- in Milch führte nur zu einer minimalen Erhöhung der Sensitivität. Da sich momentan die Handhabung und Kalibrierung der Elektroden, im Vergleich zur LF-Messung, sehr viel schwieriger und aufwändiger gestaltet, scheint diese Methode für den Online-Prozess derzeit nicht geeignet zu sein.

Eine Überlegung besteht darin, die bereits im Labor eingesetzten Messverfahren zur Bestimmung der Enzymaktivitäten oder des Zelldifferentialbildes in der Praxis zu evaluieren. Der Frage, inwieweit diese Verfahren im Online-Prozess eingesetzt werden können, muss aber noch nachgegangen werden.

Da in der Praxis bereits die Leitfähigkeitsmessung im AMS vorgenommen wird, erscheint es sinnvoll, das verfügbare Verfahren der Spektralphotometrie zu integrieren, um die Erkennung von Eutererkrankungen zu verbessern. Durch die Erfassung der Farbänderungen (hier: der spektralen Reflexion) und der damit verbundenen Dokumentation ist auch ein Zusatznutzen im Hinblick auf die Qualitätssicherung gegeben. Andere Untersuchungen haben nämlich gezeigt, dass eine Erkennung von Kolostralmilch und Blutbeimischungen durch die Farbänderung mit hoher Sicherheit möglich war und somit in Zukunft diese Milch auch automatisch abgetrennt werden könnte [38], [101], [106], [153], [154].

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene chemisch-physikalische Parameter hinsichtlich ihrer Eignung zur sensorgestützten Überwachung der Eutergesundheit bei Milchkühen untersucht. Dabei wurde das Verfahren der Spektralphotometrie besonders betrachtet. Der im Labor bestimmte viertelspezifische somatische Zellgehalt (SCC) und die daraus resultierende Klassifizierung bildeten in dieser Arbeit die Basis für die Bewertung aller Ergebnisse.

Beim konventionellen Melken steht dem Melker zur Einschätzung der Eutergesundheit neben der gesetzlich vorgeschriebenen visuellen Überprüfung des Vorgemelkes v.a. der Milchzelltest zur Verfügung. Diese beiden Verfahren wurden im Vorversuch zunächst auf ihre Aussagekraft bezüglich einer Erkennung von Eutererkrankungen hin untersucht. Hierzu wurden 1.510 Melkungen in zwei unterschiedlichen Herden über einen Zeitraum von jeweils zwölf Tagen beprobt und analysiert. Die gewonnenen 5.894 Vorgemelke wurden unter optimalen (Licht-) Bedingungen an Hand der Milchbeschaffenheit, -farbe und des Milchzelltestes eingestuft. Dabei stellte sich heraus, dass durch die vom Gesetzgeber vorgeschriebene Sinnfälligkeitsprüfung alleine keine ausreichende Aussage über die Eutergesundheit getroffen werden konnte. Bei lediglich 15,1 % bzw. 29,7 % aller Vorgemelke mit mehr als 500.000 Zellen/ml zeigten sich Veränderungen in der Milchfarbe bzw. in der Milchbeschaffenheit. Eine zusätzliche Überprüfung mit dem Milchzelltest ermöglichte eine Erkennung von 88,8 % aller Vorgemelke mit mehr als 500.000 Zellen/ml. Die Festlegung des Grenzwertes auf 1 Mio. Zellen/ml ergab eine Sensitivität von 94,7 % bei einer Spezifität von 82,5 %.

Im zweiten Teil des Vorversuches wurde an Hand von 1.033 Viertelanfangsgemelken (13 Tiere, 280 Melkungen) überprüft, ob die spektrale Reflexion (SR) der Milch Hinweise über die Eutergesundheit liefern kann. Dazu wurden die Zusammenhänge zwischen den Milchinhaltsstoffen und den SR-Werten in den verschiedenen Wellenlängenbereichen im sichtbaren Spektrum analysiert. Diese Überprüfung ergab, dass größere Korrelationen zwischen den Milchinhaltsstoffen Fett und Protein und der SR im Wellenlängenbereich von mehr als 520 nm aufgetreten sind. Die höchste Korrelation der SR zum SCC, aber auch zum Laktosegehalt, wurde im Band 400 - 520 nm ermittelt. Zudem unterschieden sich die Viertelanfangsgemelke mit erhöhtem SCC (>100.000 Zellen/ml) im Wellenlängenbereich 430 - 510 nm in ihrem Mittelwert hoch signifikant von den Viertelanfangsgemelken mit weniger als 100.000 Zellen/ml. Deshalb wurde der Bereich 430 - 510 nm als Mastitisband definiert und für die weiteren Auswertungen zu Grunde gelegt (SR_{mastitis}), da somit auch der störende Einfluss des Milchfettgehaltes ausgeschlossen werden konnte.

Weil in automatischen Melksystemen (AMS) eine kontinuierliche Erfassung der Milchparameter möglich ist, musste als Grundlage des Hauptversuches zunächst über den optimalen Zeitpunkt der Milchprobenahme entschieden werden, um mit den aussagekräftigsten Werten für die Erkennung von Eutererkrankungen weiter arbeiten zu können. Dazu wurde bei 64 Melkungen die viertelspezifischen Gemelksfraktionen gewonnen, um sie anschließend auf elektrische Leitfähigkeit (LF), spektrale Reflexion (SR_{mastitis}) und Na^+ und Cl^- Gehalt (NA, CL) zu analysieren. Zusätzlich wurden die Werte der SR_{mastitis} und der SCC von weiteren 1.100 Viertelanfangsgemelken und Viertelgesamtgemelken gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigten, dass für die erfassten chemisch-physikalischen Parameter im Viertelanfangsgemelk die beste Aussagekraft bezüglich einer Erkennung von Eutererkrankungen zu finden war. Die Werte des Viertelgesamtgemelkes erbrachten nahezu keine Informationen über den Gesundheitszustand der Milchdrüse, obwohl beim SCC keine hoch signifikante Differenz zwischen dem Viertelgesamtgemelk und dem Viertelanfangsgemelk ermittelt werden konnte.

Im Hauptversuch der Arbeit wurde überprüft, ob durch eine Kombination der chemisch-physikalischen Parameter (LF, SR_{mastitis} , NA, CL) eine Verbesserung der Erkennung von Eutererkrankungen erreicht werden kann. Für diese Untersuchungen wurde das Viertelanfangsgemelk von 280 Melkungen, gewonnen von 16 im AMS gemolkenen Tieren, herangezogen. Die Aussagekraft der Parameter wurde durch den *Diagnostischen Test* berechnet. Dabei wurde die Sensitivität und der dazugehörige cut-off point bei einer Spezifität von 95 % sowohl für jeden einzelnen Parameter als auch in Kombination bestimmt. Mit der Messung der SR_{mastitis} und der anschließenden Berechnung der Abweichungen zum Referenzviertel konnten 55,6 % aller Viertelanfangsgemelke mit mehr als 500.000 Zellen/ml erkannt werden. Wurden zusätzlich die Messwerte der LF in den *Diagnostischen Test* einbezogen, konnte durch diese Kombination bei gleichbleibender Spezifität eine Steigerung der Sensitivität auf 73,3 % erreicht werden. Der Parameter LF alleine betrachtet, lieferte nur eine Sensitivität von 61,4 %. Mit der gleichen Parameterkombination (LF und SR_{mastitis}) wurden 85,2 % aller Viertelanfangsgemelke, die zusätzlich zum erhöhten Zellgehalt (>500.000 Zellen/ml) einen positiven bakteriologischen Befund aufwiesen, erkannt. Nur in diesem Fall brachte die zusätzliche Bestimmung des Ionengehaltes von Na^+ und Cl^- eine geringfügige Steigerung der Erkennungsrate auf 89,0 %.

Diese Arbeit zeigte, dass die einfachen Methoden zur Überprüfung der Vorgemelke beim konventionellen Melken nicht ausreichen, um Eutererkrankungen frühzeitig, d.h. im subklinischen Stadium, zu erkennen. Bessere Werte konnten durch eine sensorgestützte Überwachung der Eutergesundheit erreicht werden. Dazu sollten die chemisch-physikalischen Parameter vor dem Beginn der Milchejektion ermittelt werden, da hier die höchsten Aussagewerte zu erzielen sind. Die Messung der spektralen

Reflexion liefert zusätzliche Informationen über den Gesundheitszustand der Milchdrüse und verbessert in Kombination mit der elektrischen Leitfähigkeit die Überwachung der Eutergesundheit.

Um zukünftig eine noch bessere Überwachung der Eutergesundheit und eine automatische Trennung von verkehrsfähiger und nicht verkehrsfähiger Milch zu gewährleisten, muss überprüft werden, ob die sensiblen und kostenintensiven Techniken, wie z.B. Biosensoren oder die Bestimmung des Zelldifferentialbildes, in zuverlässige Online-Systeme umgesetzt werden können.

8 Summary

In the present exposition different chemical-physical parameters were evaluated for their sensor-controlled use to detect udder diseases in dairy cows having a special regard on spectral photometry. The appraisal of all results was done based upon the laboratory determined quarter specific somatic cell count (SCC) and the corresponding classification.

First of all the expressiveness of the simple methods to describe the composition of foremilk (visual inspection by law and CMT) was evaluated under excellent artificial light conditions. For that altogether 1,510 milkings were sampled and evaluated in two herds over a period of 12 days each. These foremilkings were analysed considering the milk consistence, milk colour and the CMT-value. It was found that the sole use of visual inspection (milk consistence and -colour), stipulated by law, allows no accurate statement about the udder health. In merely 15.1 % (29.7 %) of all foremilkings with more than 500,000 cells/ml a change in the milk-colour (-consistence) could be detected. Only the additional use of the CMT made a detection rate of 88.8 % of all foremilkings with more than 500,000 cells/ml possible. By changing the threshold up to 1 Mio. cells/ml the sensitivity went up to 94.7 %.

In order to investigate the possibility to detect udder diseases by using the spectral photometry in milk, 1,033 quarter first milk samples (13 cows, 280 milkings) were evaluated. This examination resulted an increased correlation between milk ingredients like fat and protein and spectral reflectance (SR) in wave lengths with more than 530 nm. The highest correlation between SR and SCC and also to the lactose content was found in the band of 400 - 520 nm. Moreover there was a high significant difference between the average value of SR in the band of 430 - 510 nm of quarter foremilk with raised SCC (>100,000 cells/ml) and samples with less than 100,000 cells/ml. Therefore that range was defined as mastitis-band and was solely used for all further analyses.

Due to the possibility of using an AMS (automatic milking system) to record relevant parameters during the milking, the optimal point in time for sampling is important to get the most expressive values of the recorded parameters. Consequently the quarter specific milk fractions from 64 milkings were collected. They were analysed on electrical conductivity (EC), spectral reflectance in the mastitis band (SR_{mastitis}) and the Na^+ and Cl^- content (NA, CL). In addition the significance of the SR_{mastitis} of the quarter first milk and the quarter composite milk was compared. The results revealed that the best values for all tested chemical-physical parameters regarding the udder health status were found in the quarter first milk. There was almost no information about the udder health in the quarter composite milk, even though no significant dif-

ference between SCC in the quarter foremilk and the quarter composite milk could be detected.

The main part of this study was to verify an improved detection of udder diseases by combining the chemical-physical parameters (EC, SR_{mastitis} , NA, CL). For this research the quarter first milk samples of 280 milkings were collected from 16 cows, which were automatically milked. The informational value of the parameters was calculated in diagnostic tests (sensitivity and specificity). The sensitivities and the associated cut-off points for the individual and combined parameters were determined at a specificity of at least 95 %. By measuring the values of SR_{mastitis} resp. EC and the calculated values to the reference quarters (inter quarter comparison), 55.6 % resp. 61.4 % of all quarter first milk samples with more than 500,000 cells/ml were detected (specificity=95 %). With the combination of both parameters it was possible to increase the sensitivity up to 73.3 % at the same specificity and threshold. This parameter combination enabled an identification of 85.2 % of all quarter milkings with both, more than 500,000 cells/ml and a positive bacteriological finding. In this case a marginal increased detection rate up to 89.0 % could be reached using an additional combination with direct ion measurement (NA, CL).

Altogether it was not possible to detect udder diseases, i.e. subclinical mastitis, prematurely by solely checking the visual appearance of foremilk without any sensor system. In case of using a sensor system, based on chemical-physical parameters, the most meaningful values concerning the udder health status can be gained in the quarter first milk ideally before milk ejection starts. The measurement of milk colour based on spectral reflectance gives some useful information and improves the detection rate of udder diseases in combination with the measurement of EC. For a further essential improvement of sensitivity-quotes additional sensors (e.g. bio-sensors or direct count of the different cells in milk) have to be evaluated and checked in online-systems.

Literaturverzeichnis

- [1] AID (Hrsg.) (2001): Eutergesundheit – Grundlage der Qualitätsmilcherzeugung. 2. überarbeitete Vorlage, Bonn, 52 S.
- [2] ANDERSSON, R. (1991): Die Diagnose der bovinen subklinischen Mastitis mittels Laktatdehydrogenase-Aktivität und Leitfähigkeit. Dissertation: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, 111 S.
- [3] BALABAN, O. M. (2001): Measuring Color in Foods. In: Resource: Engineering & Technology for a Sustainable World (8), S. 10-11.
- [4] BARKEMA, H. W.; Y. H. SCHUKKEN, T. J. G. M. LAM, M. L. BEIBOER, G. BENEDICTUS AND A. BRAND (1999): Management practices associated with the incidence rate of clinical mastitis. In: Journal of Dairy Science (82), S. 1643-1654.
- [5] BARTH, K. (2000): Euterkontrolle zum in die Hand nehmen. In dlz 11/2000, S. 90-94.
- [6] BARTH, K. (2001): Messen alleine reicht nicht – automatische Leitfähigkeitsmessung beim Melken hat noch Tücken. In: dlz 2/2001, S. 122-125.
- [7] BARTH, K. UND M. GRAUPNER (1995): Die elektrische Leitfähigkeit der Milch als mastitisanzeigender Parameter und ihre Benutzung zur Beeinflussung der Tankmilchqualität. In: Collection of Scientific Works, Riga, S. 15-23.
- [8] BARTH, K. UND M. GRAUPNER (1999): Experimentelle Untersuchungen zur Eutergesundheits- und Milchqualitätskontrolle auf der Basis der Leitfähigkeitsmessung während des Melkens. In: Milchwissenschaft (54), S. 66-69.
- [9] BARTH, K. AND H. WORSTORFF (2000): Influence of different milking intervals on electrical conductivity before alveolar milk ejection in cows. In: Milchwissenschaft (55), S. 363-365.
- [10] BAUER, R. (1990): Ermittlung geeigneter Parameter für eine rechnergestützte Früherkennung von Eutererkrankungen und Stoffwechselstörungen bei Milchkühen. Sonderheft 112, Landbauforschung Völkenrode (Hrsg.), 195 S.
- [11] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, INSTITUT FÜR ERNÄHRUNGSWIRTSCHAFT UND MARKT (2004): Umsatzerlöse der Milchproduktion bei natürlichem Fett- u. Proteingehalt inkl. MwSt. für das Jahr 2003. persönliche Mitteilungen.
- [12] BERGANN, T. UND M. SCHICK (1998): Signifikante Beziehungen – Farbmessung beschreibt den Milchfettgehalt. In: Lebensmitteltechnik 6, S. 52-53.
- [13] BERGER-SCHUNN, A. (1994): Praktische Farbmessung. 2. überarbeitete Auflage, Göttingen-Zürich: Muster-Schmidt Verlag, 196 S.
- [14] BERGLUND, I.; G. PETERSSON, K. ÖSTENSSON AND K. SVENNERSTEN-SJAUNJA (2004): Quarter milking - a possibility for detection of udder quarters with elevated SCC. In: Proceedings of the International Symposium on "Automatic Milking", Wageningen, S. 321-328.
- [15] BERNING, L. AND G. SHOOK (1992): Prediction of mastitis using milk somatic cell count, N-acetyl- β -D-glucosaminidase and lactose. In: Journal of Dairy Science (75), S. 1840-1848.

- [16] BIGGADIKE, H. J.; I. OHNSTAD, R. A. LAVEN AND E. HILLERTON (2002): Evaluation of measurements of the conductivity of quarter milk samples for early diagnosis of mastitis. In: The Veterinary Record (150), S. 655-658.
- [17] BMVEL (2000): Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis (*kurz*: Milchverordnung). Neufassung vom 20.07.2000, BGBl. I, S. 1180.
- [18] BMVEL (2001): Bekanntmachung über die Anwendung bestimmter Maßnahmen in Milcherzeugerbetrieben mit automatischen Melkverfahren bis zum Vorliegen entsprechender Rechtsvorschriften (*kurz*: Maßnahmenkatalog). Veröffentlicht im Bundesanzeiger vom 13.02.2001, S. 2183.
- [19] BMVEL (2003): Verordnung über die Güteprüfung und Bezahlung der Anlieferungsmilch (*kurz*: Milch-Güteverordnung). Änderungsverordnung vom 30.10.2003, BGBl. I S. 878.
- [20] BMVEL (2004): Ernährungs- und agrarpolitischer Bericht 2004 der Bundesregierung. Berlin, 192 S.
- [21] BRUCKMAIER, R. M. AND J. W. BLUM (1998): Oxytocin release and milk removal in ruminants. In: Journal of Dairy Science (81), S. 939-949.
- [22] BRUCKMAIER, R. M. AND M. HILGER (2001): Milk ejection in dairy cows at different degrees of udder filling. In: Journal of Dairy Research (68), S. 369-376.
- [23] BURVENICH, C. (1983): Bloedvloeï door de melkklier van lacterende geiten onder verschillende fysiologische en pathologische (mastitis) omstandigheden (Euterblutfluss laktierender Ziegen unter Berücksichtigung verschiedener physiologischer und pathologischer Einflüsse (Mastitis)). Dissertation: Rijksuniv., Gent.
- [24] BURVENICH, C.; A. J. GUIDRY AND M. J. PAAPE (1995): Natural defence mechanisms of the lactating and dry mammary gland. In: Proceedings of the "3. IDF International Mastitis Seminar", Tel Aviv, S: 3-13.
- [25] COMMISSION INTERNATIONALE D'ÉCLAIRAGE (1987): CIE-Publikation 17.4 - Internationales Wörterbuch der Lichttechnik. Genf, 365 S.
- [26] COFFEY, E. M.; W. E. VINSON AND R. E. PEARSON (1986): Somatic cell counts and infection rates for cows of varying somatic cell counts in initial test of first lactation. In: Journal of Dairy Science (69), S. 552-555.
- [27] CULLEN, G. A. (1966): Cells in milk. In: Veterinary Bulletin (36), S. 337-346.
- [28] DE KONING, K. AND J. RODENBURG (2004): Automatic milking: state of the art in Europe and North America. In: Proceedings of the International Symposium on "Automatic Milking", Wageningen, S. 27-37.
- [29] DE KONING, K.; B. SLAGHUIS AND Y. V. D. VORST (2004): Milk quality on farms with an automatic milking system. In: Proceedings of the International Symposium on "Automatic Milking", Wageningen, S. 311-320.
- [30] DEMOL, R. M. AND W. OUWELTJES (2001): Detection model for mastitis in cows milked in an automatic milking system. In: Preventive Veterinary Medicine (49), S. 71-82.
- [31] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1979^a): DIN 5033 Teil 1, Farbmessung, Grundbegriffe der Farbmetrik.

- [32] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1979^b): DIN 5036 Teil 3, Bewertung und Messung der lichttechnischen Eigenschaften von Werkstoffen; Lichttechnische Stoffkennzahlen, Messverfahren.
- [33] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1992): DIN 5033 Teil 4, Farbmessung, Spektralverfahren.
- [34] DEUTSCHE VETERINÄRMEDIZINISCHE GESELLSCHAFT E.V. (DVG) (2000): Leitlinien zur Entnahme von Milchproben unter antiseptischen Bedingungen und Leitlinien zur Isolierung und Identifizierung von Mastitiserregern. Gießen: Verlag der DVG.
- [35] DEUTSCHE VETERINÄRMEDIZINISCHE GESELLSCHAFT E.V. (DVG) (2002): Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. 4. Auflage, Gießen: Verlag der DVG, 126 S.
- [36] DOGGWEILER, R. UND E. HESS (1983): Zellgehalt in der Milch ungeschädigter Euter. In: *Milchwissenschaft* (38), S. 5-8.
- [37] DR. LANGE (2001): Grundlagen der Farbmessung. Anwendungsbericht Nr. 10d, Düsseldorf.
- [38] ESPADA, E. AND H. VIJVERBERG (2002): Milk Colour Analysis as a Tool for the Detection of Abnormal Milk. In: Proceedings of "The First North American Conference on Robotic Milking", Wageningen, S. IV29 - IV38.
- [39] EUROPÄISCHE KOMMISSION (1989): Richtlinie 89/362/EWG der Kommission vom 26. Mai über die allgemeinen Hygienevorschriften für Milcherzeuger-betriebe.
- [40] EUROPÄISCHER RAT (1992): Richtlinie 92/46/EWG des Rates vom 16. Juni 1992 mit Hygienevorschriften für die Herstellung und Vermarktung von Rohmilch, wärmebehandelter Milch und Erzeugnissen auf Milchbasis.
- [41] FEHLINGS, K. (2004): Mikrobiologische Untersuchungsmethode beim TGD Bayern e.V.. Persönliche Mitteilungen.
- [42] FERNANDO, R.; R. B. RINDSIG AND E. H. JASTER (1981): Effect of length of milking intervall and fat content on milk conductivity and its use for detecting mastitis. In: *Journal of Dairy Science* (64), S. 678-682.
- [43] FERNANDO, R.; R. B. RINDSIG AND S.L. SPAHR (1982): Electrical conductivity of milk for detection of mastitis. In: *Journal of Dairy Science* (65), S. 659-664.
- [44] FERNANDO, R.; S. SPAHR AND E. JASTER (1985): Comparison of electrical conductivity of milk with other indirect methods for detection of subclinical mastitis. In: *Journal of Dairy Science* (68), S. 449-456.
- [45] FINN, H. (2003): Food quality sensors. Document of the Flair-Flow 4 synthesis report, Paris: INRA, <http://www.flair-flow.com>.
- [46] FORSTER, T. L.; U. S. ASHWORTH AND L. O. LUEDECKE (1967): Relationship between California Mastitis Test reaction and production and composition of milk from opposite quarter. In: *Journal of Dairy Science* (50), S. 675-682.
- [47] GALL, L. (2003): Farbmessung und Farbrezeptierung. In: Kittel, H. (Hrsg.): *Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen - Band 5*, Stuttgart (u.a.): Hirzel, 491 S.
- [48] GAUGLITZ, G. AND T. VO-DINH (HRSG.) (2003): *Handbook of spectroscopy*. Weinheim: Wiley-VCH-Verlag, 599 S.

- [49] GEBRE-EGZIABHER, A.; H. C. WOOD, J. D. ROBAR AND G. BLANKENAGEL (1979): Evaluation of automatic mastitis detection equipment. In: *Journal of Dairy Science* (62), S. 1108-1114.
- [50] GEDEK, W.; H. MAIER, O. RICHTER, H. SCHUMANN UND J. DENEKE (1977): Zur Beurteilung der Eutergesundheit durch automatisierte Laktosegehaltsbestimmung des Einzelgemelkes. In: *Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift*. S. 349-352.
- [51] GRABOWSKI, N. (2000): Körpergewichtsentwicklung, Milchinhaltstoffe und Milchmengenleistung als Kriterien zur laktationsbegleitenden Beurteilung des Gesundheitszustandes hochleistender DSB – Kühe in Laufstallhaltung. Dissertation: TiHo Hannover, 230 S.
- [52] GRUNERT, E. (1990): Weiblicher Geschlechtsapparat und Euter. In: Rosenberger, G.: *Die klinische Untersuchung des Rindes*. 3. Auflage, Berlin und Hamburg: Paul Parey, S. 472-548.
- [53] GUGGENMOOS-HOLZMANN, I. UND K.-D- WERNECKE (1996): *Medizinische Statistik*. Berlin: Blackwell Wissenschaftsverlag, 220 S.
- [54] HAMANN, J. (1986): Vergleichende Untersuchungen von Zellgehalt und Leitfähigkeit in Viertelanfangsgemelkproben. In: *Milchwissenschaft* (41), S. 8-11.
- [55] HAMANN, J. AND P. GYODI (1999): Electrical conductivity in fraction-collected quarter milk samples with low somatic cell counts. In: *Milchwissenschaften* (54), S. 487-491.
- [56] HAMANN, J. AND P. GYODI (2000): Somatic cells and electrical conductivity in relation to milking frequency. In: *Milchwissenschaft* (55), S. 303-307.
- [57] HAMANN, J.; R. REDETZKY AND N. GRABOWSKI (2004): Cow-side mastitis tests – possibilities and limitations. In: *Proceedings of the “43rd National Mastitis Council Annual Meeting”*, Charlotte, S. 60-77.
- [58] HAMANN, J. UND J. REICHMUTH (1990): Exogene Einflüsse auf den Zellgehalt der Milch unter Berücksichtigung des Gesundheitszustandes der Milchdrüse. In: *Milchwissenschaften* (45), S. 286-290.
- [59] HAMANN, J. AND A. ZECCONI (1998): Evaluation of the electrical conductivity of milk as a mastitis indicator. In: *Bulletin of the International Dairy Federation* 334, Brüssel, S. 5-22.
- [60] HARMS, J. UND G. WENDL (2003): Viertelspezifische Milchmengenmessung in AMS unter Praxisbedingungen. In: *Landtechnik* (58), S. 268-269.
- [61] HARMON, R. J. (1994): Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell count. In: *Journal of Dairy Science* (77), S. 2103-2112.
- [62] HARMON, R. J. (2001): Somatic cell counts: a primer. In: *Proceedings of the “National Mastitis Council Annual Meeting”*, Madison, S. 3-9.
- [63] HILLERTON, J. E. (1999): Redefining mastitis based on somatic cell count. In: *Bulletin of the International Dairy Federation* 345, S. 4-6.
- [64] HILLERTON, J. E. (2000): Detecting mastitis cow-side. In: *Proceedings of the “39th National Mastitis Council Annual Meeting”*, S. 48-53.

- [65] HOLDAWAY, R.; C. HOLMES AND I. STEFFERT (1996): A comparison of indirect methods for diagnosis of subclinical intramammary infection in lactating dairy cows. Part 1: The effects of bacterial infection, stage of lactation and age of cow on eight parameters in foremilk from individual quarters, with an initial study of differences between milk fractions. In: Australian Journal of Dairy Technologies (51), S. 64-71.
- [66] HOVINEN, M.; A.-M. AISLA, P. ANTTILA AND S. PYÖRÄLÄ (2004): Detection of mastitis and poor milk quality in automatic milking. In: Proceedings of the International Symposium on "Automatic Milking", Lelystad, S. 247-248.
- [67] HUTH, F. W. (1995): Die Laktation des Rindes, Analyse, Einfluss, Korrektur. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 295 S.
- [68] ICHIKAWA, T.; I. NOTSUKI UND T. NAKANO (1985): Variation in several mastitis indicators in relation to sampling time. In: Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte (37), S. 370-374.
- [69] I.M.A. - INFORMATION.MEDIEN.AGRAR E.V. (2002): Verbraucher vertrauen Landwirten heute mehr als vor fünf Jahren. Kurzreport über emnid-Studie.
- [70] INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION (IDF) (1967): Mastitis diagnosis. Annual Bulletin, part 3.
- [71] INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION (IDF) (1971): A monograph on bovine mastitis. Annual Bulletin, part 1.
- [72] JOSHI, P. (2002): Colour measurement for process control. In: Business Briefing: Innovative food ingredients, Nestlé Research Center, Lausanne, S.37-40.
- [73] KELLY, A.L.; D. TIERNAN, C. O'SULLIVAN AND P. JOYCE (2000): Correlation between bovine milk somatic cell count and polymorphonuclear leukocyte level for samples of bulk milk and milk from individual cows. In: Journal of Dairy Science (83), S. 300-304.
- [74] KITCHEN, B. J.; G. MIDDLETON, I. G. DURWARD, R. J. ANDREWS AND M. C. SALMON (1980): Mastitis diagnostic tests to estimate mammary gland epithelial cell damage. In: Journal of Dairy Science (63). S 978-983.
- [75] KITCHEN, B. J. (1981): Review of progress of dairy science: bovine mastitis: milk compositional changes and related diagnostic tests. In: Journal of Dairy Research (48). S. 167-188.
- [76] KNIGHT, C. H.; D. HIRST AND R. J. DEWHURST (1994): Milk accumulation and distribution in the bovine udder during the interval between milkings. In: Journal of Dairy Research (61), S. 167-177.
- [77] KÖHLER, S. (2002): Nutzung von Prozessparametern automatischer Melksysteme für die Erkennung von Eutererkrankungen unter Verwendung der Fuzzy Logic. Dissertation: Humboldt-Universität zu Berlin, 117 S.
- [78] KRAFT, M. (1996): Messtechniken zur Erfassung der spektralen Reflexionssignatur von Pflanzenbeständen. In: Computerbildanalyse in der Landwirtschaft, Bornimer Agrartechnische Berichte. ATB Potsdam-Bornim (Hrsg.), Heft 11, S. 23-36.

- [79] KRÖMKER, V.; J. HAMANN, H. STAHLHUT-KLIPP UND K. NOGAI (1997): Physiologische Variation majorer und minorer Milchhaltsstoffe in bovinen Viertelgemelken. In: Tagungsband „Milchkonferenz 1997“, Berlin, S.
- [80] KRÖMKER, V.; J. HAMANN; M. SCHÜTTEL UND K. NOGAI (1999): Zum Vergleich der NAGase - Aktivitäten in Milch und Blut beim laktierenden Rind. In: 40. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes „Lebensmittelhygiene“ der DVG, Garmisch-Partenkirchen, S. 203-208.
- [81] LANDESKURATORIUM DER ERZEUGERRINGE FÜR TIERISCHE VEREDELUNG IN BAYERN E.V. (LKV) (2004): Verteilung der Melkroboter auf die Verwaltungsstellen. Stand: 22.03.04.
- [82] LENGERKEN V., G.; R.-D. FAHR UND L. DÖHRING (2003): Milchqualität. In: Fahr, R.-D. und G. v. Lengerken (Hrsg.): Milcherzeugung, Grundlagen-Prozesse-Qualitätssicherung. Frankfurt a. M.: Deutscher Fachverlag, S. 499-528.
- [83] LINZELL, J. L. AND M. PEAKER (1972): Day-to-day variations in milk in the goat and cow as a guide of detection of subclinical mastitis. In: British Veterinary Journal (128), S. 284-294.
- [84] LINZELL, J. L.; M. PEAKER AND J. G. ROWELL (1974): Electrical conductivity of foremilk for detecting subclinical mastitis in cows. In: Journal of Agriculture Science (83), S. 309-325.
- [85] LINZELL, J. L. AND M. PEAKER (1975): Efficacy of the measurement of electrical conductivity of milk for detection of subclinical mastitis in cows: detection of infected cows at a single visit. In: British Veterinary Journal (131), S. 447-461.
- [86] LUTZ, H.; R. HOFMANN UND K.-L. BAUER-PHAM (2003): Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin. Vorlesungsskript für Studierende (22. Auflage): Veterinärmedizinisches Labor der Universität Zürich, 142. S.
- [87] MAATJE, K.; W. ROSSING, G. J. GARSSSEN AND H. G. PLUYGERS (1983): Automation of electrical conductivity measurements during milking. In: Proceedings of the symposium „Automation in Dairying“, IMAG (Hrsg.), Wageningen, S. 89-100.
- [88] MAATJE, K.; P. H. HOGWERF, W. ROSSING AND R. T. VAN ZONNEVELD (1992): Measuring quarter milk electrical conductivity, milk yield and milk temperature for detection of mastitis. In: Proceedings of the „International Symposium on Prospects for Automatic Milking“, Wageningen, S. 119-125.
- [89] MARSCHKE, R. J.; R. ROBERTS AND B. J. KITCHEN (1987): The effect of sampling time on NAGase levels in bovine milk and its relevance to mastitis diagnosis. In: Australian Journal of Dairy Technology (42), S. 3-6.
- [90] MICHEL, G. (1994): Anatomie der Milchdrüse. In: Wendt, K. (Hrsg.): Euter- und Gesäugekrankheiten. Jena: Gustav Fischer Verlag, S. 17-63.
- [91] MIELKE, H. (1994): Physiologie der Laktation. In: Wendt, K. (Hrsg.): Euter- und Gesäugekrankheiten. Jena: Gustav Fischer Verlag, S. 64-137.
- [92] MILCHPRÜFRING BAYERN E.V. (MPR) (2004): persönliche Mitteilungen und <http://www.mpr-bayern.de>
- [93] NGUGYEN, D. D. AND M. C. NEVILLE (1998): Tight junction regulation in the mammary gland. In: Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia (3), S. 233-273.

- [94] NIELEN, M.; H. DELUYKER, Y. H. SCHUKKEN AND A. BRAND (1992): Electrical conductivity of milk: Measurement, modifiers and meta analysis of mastitis detection performance. In: *Journal of Dairy Science* (75), S. 606-614.
- [95] NIELEN, M.; Y. H. SCHUKKEN, A. BRAND AND S. HARING (1995): Comparison of analysis techniques for on-line detection of clinical mastitis. In: *Journal of Dairy Science* (78), S. 1050-1061.
- [96] NÓBREGA, J. A.; Y. GÉLINAS, A. KRUSHEVSKA AND R. M. BARNES (1997): Direct determination of major and trace elements in milk by inductively coupled plasma atomic emission and mass spectrometry. In: *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* (12), S. 1243-1246.
- [97] NOGAI, K.; V. KRÖMKER UND J. HAMANN (1998): Zur selektiven und Flammenphotometrischen Bestimmung von Natrium und Kalium in Milch - ein Methodenvergleich. In: *Tagungsband der 39. Arbeitstagung des Arbeitskreises „Lebensmittelhygiene“ der DVG, Garmisch-Partenkirchen, S. 500-505.*
- [98] ÖSTENSSON, K. (1993): Trafficking of leukocytes and immunoglobulin isotypes in the bovine udder. Dissertation: Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- [99] ÖZPINAR, H. (1983): Einfluss der subklinischen Mastitis auf den β -Carotingehalt der Milch bei Kühen. Dissertation: LMU München.
- [100] ONTSOUKA, C. E.; R. M. BRUCKMAIER AND J. W. BLUM (2003): Fractionized milk composition during removal of colostrum and mature milk. In: *Journal of Dairy Science* (86), S. 2005-2011.
- [101] ORDOLFF, D. (2001): Einsatz von Farbmessung zur Bewertung von Vorgemelken. In: *Tagungsband zur 5. Internationalen Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“, Stuttgart-Hohenheim, S. 218-223.*
- [102] ORDOLFF, D. (2003): Veränderung der Milchbeschaffenheit zu Laktationsbeginn. In: *Tagungsband zur 6. Internationalen Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“, Vechta, S. 130-133.*
- [103] OSHIMA, M. (1977): Detection of abnormal quarter milk by difference of the electrical conductivity and its theoretical basis. In: *Japanese Agricultural Research Quarterly* (11), S. 239-245.
- [104] OSHIMA, M. (1978): Empirical formula for correcting electrical conductivity values of milk in relation to temperature. In: *Japanese Journal of Zootechnologies* (49), S. 180-188.
- [105] OSHIMA, M. (1985): On the electrical conductivity criteria to be used to detect compositionally abnormal milk due to presumed subclinical mastitis. In: *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* (37), S. 360-363.
- [106] OUWELTJES, W. AND H. HOGVEEN (2001): Detecting abnormal milk through colour measuring. In: *Proceedings of the “40th National Mastitis Council Annual Meeting”, Madison, S. 217-219.*
- [107] PAAPE, M. J.; W. P. WERGIN, A. J. GUIDRY AND W. D. SCHULTZE (1981): Phagocytic defense of the ruminant mammary gland. In: *Advances in experimental medicine and biology* (137), S. 555-578.

- [108] PEAKER, M. (1975): Recent advances in the study of monovalent ion movements across the mammary epithelium: relation to onset of lactation. In: *Journal of Dairy Science* (58), S. 1042-1047.
- [109] PEAKER, M. (1978): The electrical conductivity of milk for detection of subclinical mastitis in cows: comparison of various methods of handling conductivity data with the use of cell counts and bacteriological examination. In: *British Veterinary Journal* (134), S. 308-314.
- [110] PETERMANN, M.; W. WOLTER, C. RITTERSHAUS, B. KLOPPERT, M. ZSCHÖCK UND H. SEUFERT (2001): Automatische Melkverfahren im Praxiseinsatz: Entwicklung der Eutergesundheit und Interpretation von Milchabgabeprofilen. In: Tagungsband „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“, Stuttgart-Hohenheim, S. 442-444.
- [111] PFEILSTICKER, H. U.; R. M. BRUCKMAIER AND J. W. BLUM (1996): Cisternal milk in the dairy cow during lactation and after preceding teat stimulation. In: *Journal of Dairy Research* (63), S. 509-515.
- [112] PINKERTON, F. UND I. I. PETERS (1958): Conductivity, per cent lactose and freezing point of milk. In: *Journal of Dairy Science* (41), S. 392-397.
- [113] POEALARENDS, J. J.; O. C. SAMPIMON, F. NEIJENHUIS, J. D. H. M. MILTENBURG, J. E. HILLERTON, J. DEARING AND C. FOSSING (2004): Cow factors related to the increase of somatic cell count after introduction of automatic milking. In: *Proceedings of the International Symposium on "Automatic Milking"*, Wageningen, S. 148-154.
- [114] PRENTICE, J. H. (1972): The temperature coefficient of electrolytic conductivity of milk. In: *Journal of Dairy Research* (39), S. 275-278.
- [115] PYÖRÖLÄ, S. AND E. PYÖRÖLÄ (1997): Accuracy of methods using somatic cell count and N-Acetyl- β -D-Glucosaminidase activity in milk to assess the bacteriological cure of bovine clinical mastitis. In: *Journal of Dairy Science* (80), S. 2820-2825.
- [116] RASMUSSEN, M. D. (2001): Automatic milking, how to define a threshold for dumping mastitic milk. In: *Proceedings of the "2nd International Symposium on Mastitis and Milk Quality"*, Vancouver, S. 401-404.
- [117] RASMUSSEN, M. D. (2002): Defining Acceptable Milk Quality at Time of Milking. In: *Proceedings of "The First North American Conference on Robotic Milking"*, Wageningen, S. IV9 – IV16.
- [118] RASMUSSEN, M. D. (2003): Definition of normal and abnormal milk at time of milking. Deliverable D6 of the EU-project „Implications of the introduction of automatic milking on dairy farms“, 20 S.
- [119] RASMUSSEN, M. D. (2004): Detection and separation of abnormal milk in automatic milking systems. In: *Proceedings of the International Symposium on "Automatic Milking"*, Wageningen, S. 189-197.
- [120] REDETZKY, R. (2000): Biochemisches Blutprofil, Milchinhaltstoffe und Milchmengenleistung als Kriterien zur laktationsbegleitenden Beurteilung des Gesundheitszustandes hochleistender HF-Kühe in Anbindehaltung. Dissertation: TiHo Hannover, 329 S.

- [121] REDETSKY, R. UND J. HAMANN (2003): Zur Aussagefähigkeit des California-Mastitis-Tests im Vergleich zur elektronisch bestimmten Zellzahl. In: Tagungsband „Milchkonferenz 2003“, Kiel, H8.
- [122] REICHMUTH, J. (1975): Somatic cell counting – interpretation of results. In: IDF-Bulletin 85, S. 93-109.
- [123] REINECKE, F. (2002): Untersuchungen zu Zellgehalt und NAGase in Viertelanfängsgemelken sowie zur Leistungsentwicklung von Kühen bei Anwendung eines konventionellen oder eines automatischen Melkverfahrens. Dissertation: TiHo Hannover, 209 S.
- [124] RENEAU, J. K. (2001): Somatic cell counts: measures of farm management and milk quality. In: Proceedings of the “40th National Mastitis Council Annual Meeting”, Madison, S. 29-37.
- [125] RÖSLER, G. (1979): Schnelle Farbmessung nach dem Spektralverfahren. Dissertation: Ruhr-Universität Bochum, 177 S.
- [126] ROSSING, W. E.; E. BENDERS, P. H. HOGEWERF, H. HOPSTER AND K. MAATJE (1987): Practical experiences with real-time measurements of milk conductivity for detecting mastitis. In: Proceedings of the “3rd symposium Automation in Dairying”, Wageningen, S. 138-146.
- [127] RUDZIK, L. AND E. WÜST (1998): New development in on-/in-line systems using infrared and raman spectroscopy. In: Proceedings of the “25th International Dairy Congress”, Aarhus, S. 338-343.
- [128] SANTOS, M. V.; Y. MA AND D. M. BARBANO (2003): Effect of somatic cell count on proteolysis and lipolysis in pasteurized fluid milk during shelf life storage. In: Journal of Dairy Science (86), S. 2491-2503.
- [129] SARGEANT, J. M.; K. E. LESLIE, J. E. SHIRLEY, B. J. PULKRABEK AND G. H. LIM (2001): Sensitivity and specificity of somatic cell count and california mastitis test for identifying intramammary infection in early lactation. In: Journal of Dairy Science (84), S. 2018-2024.
- [130] SCHAEREN, W. UND M. SCHÄLLIBAUM (2000): Euterentzündungen: Empfehlungen für die Prophylaxe und die Behandlung. Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Bern, 30 S.
- [131] SCHALM, O. W. (1960): Ein neuer Mastitis-Test. In: Tierärztliche Umschau (15), S. 151-154.
- [132] SCHÖN, H.; R. ARTMANN UND D. SCHLÜNSEN (1993): Rechnergestützte Produktionssteuerung in der Milchviehhaltung. In: Schön, H. (Hrsg.): Elektronik und Computer in der Landwirtschaft. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, S. 165-220.
- [133] SCHÖN, H. (HRSG.) (2000): Automatische Melksysteme. KTBL-Schrift 395, Darmstadt, 148 S.
- [134] SCHÖNE, A. (1993): Experimentelle Untersuchungen zur Schaumentwicklung und zum Leitfähigkeitsverlauf der Milch beim maschinellen Melken. Dissertation: TUM-Weihenstephan. 153 S.
- [135] SCHRÖDER, A. (2003): Untersuchungen zum Zelldifferentialbild in Milch und Blut unter Berücksichtigung des Gesundheitsstatus der bovinen Milchdrüse. Dissertation: TiHo Hannover, 167 S.

- [136] SCHULTZE, W. D. (1985): Developments in the identification of diseased udder quarters or cows. In: Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte (37), S. 319-328.
- [137] SCHULZ, J. (1994): Erkrankungen der Milchdrüse des Rindes. In: Wendt, K. (Hrsg.): Euter- und Gesäugekrankheiten. Jena: Gustav Fischer Verlag, S. 226-434.
- [138] SCHULZ, J.; T. HANISCH, S. DUMKE, S. SPRINGER UND K. BECK (1998): Abfall der Laktosekonzentration in der Kuhmilch als Ausdruck erhöhter Permeabilität der Schranken zwischen Hohlraumssystem des Euters und Blut. In: Praktischer Tierarzt (79), S. 657-665.
- [139] SENSORTEC (2003): Firmeninformation.
- [140] SHELDRAKE; R. F.; R. J. T. HOARE AND J. D. MCGREGOR (1983): Lactation Stage, Parity and Infection affecting somatic cells, electrical conductivity and serum albumin in milk. In: Journal of Dairy Science (66), S. 542-547.
- [141] SMITH, K. L. (1996): Standards for somatic cells in milk: physiological and regulatory. In: IDF Mastitis News (21), S. 7-9.
- [142] SMITH, K. L.; J. E. HILLERTON AND R. J. HARMON (2001): Guidelines on normal and abnormal raw milk based on somatic cell counts and signs of clinical mastitis. Madison: National Mastitis Council.
- [143] SMITH, J. W. AND W. D. SCHULTZE (1967): Variation in cell content of milk associated with time of sample collection. In: Journal of Dairy Science (50), S. 1083-1087.
- [144] SOMMER, H.; R. HAMBITZER AND I. AYDIN (1986): LDH-activity and correlation to pathogenic and non-pathogenic microorganisms in dairy-milk. In: Israel Journal of Veterinary Medicine (42), S. 373-375.
- [145] STELWAGEN, K.; V. C. FARR, H. A. MCFADDEN, C. G. PROSSER AND S. R. DAVIS (1997): Time course of milk accumulation-induced opening of mammary tight junctions, and blood clearance of milk components. In: American Journal of Physiology (273), R379-R386.
- [146] TOLLE, A.; W. HEESCHEN, J. REICHMUTH AND H. ZEIDLER (1971): Counting of somatic cells in milk and possibilities of automation. In: Dairy Science Abstracts (33), S. 875-879.
- [147] TSENKOVA, R. (1998): Near infrared spectroscopy: a uniform measuring technology for a sustainable dairy production system. In: Journal of Near Infrared Spectroscopy (6), A45-A51.
- [148] UMSTÄTTER, C. (2002): Tier-Technik-Beziehung bei der automatischen Milchgewinnung. Dissertation: Humboldt-Universität zu Berlin, 121 S.
- [149] VEGRICHT, J.; P. AMBROZ AND A. MACHALEK (1992): Measuring milk conductivity and temperature during milking. In: Proceedings of the "International Symposium on Prospects for Automatic Milking", Wageningen, S. 134-140.
- [150] WENDL, G. UND H. SCHÖN (2002): Technik in der Tierhaltung. In: Matthies, H. J. und F. Meier (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, S 175-181.
- [151] WENDT, K., K.-H. LOTTHAMMER, K. FEHLINGS UND M. SPOHR (1998): Handbuch Mastitis. Osnabrück: Kamlage Verlag, 300 S.

- [152] WHYTE, D.; R. CLAYCOMB AND R. KÜNNEMEYER (2000): Measurement of somatic cell count, fat and protein in milk using visible to near infra-red spectroscopy. In: Presentation at 93rd Annual International Meeting of ASAE, paper no. 00-3010.
- [153] WHYTE, D.; R. G. ORCHARD, P. CROSS, A. WILSON, R. W. CLAYCOMB AND G. A. MEIN (2004): Seeing red: automated detection of blood in milk. In: Proceedings of the International Symposium on "Automatic Milking", Wageningen, S. 241-242.
- [154] WIEDEMANN, M. UND G. WENDL (2003): Untersuchungen zur Erkennung von Veränderungen in Milch mit Hilfe der Farbmessung. In: Tagungsband zur 6. Internationalen Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“, Vechta, S. 124-129.
- [155] WIEDEMANN, M.; D. WEISS, G. WENDL AND R. M. BRUCKMAIER (2003): The importance of sampling time for online mastitis detection by using the electrical conductivity or measuring the Na⁺ and Cl⁻ content in milk. In: Proceedings of the „1st European Conference on Precision Livestock Farming“, Berlin, S. 173-178.
- [156] WINZIG, M. (2002): Die objektive Bestimmung der Farbe des Fettgewebes von Schweineschlachttierkörpern durch Farbmessung mit dem Minolta Chromameter CR300. Dissertation: FU Berlin, 89 S.
- [157] WITTKOWSKI, G.; W. GEDEK UND E. KLEINSCHROTH (1979): Mastitisiagnostisch wichtige Messwerte von fraktioniert gewonnenen Milchproben vom Rind. In: Archiv für Lebensmittelhygiene (30), S. 19-22.
- [158] WOLFE, R.; S. C. SHARMA AND G. E. WARD (1972): A method for electronic detection of bovine mastitis. In: Transactions of the ASAE (15), S. 500-503.
- [159] WOOLFORD, M. W. (1985): The relationship between mastitis and milk yield. In: Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte (37), S. 224-232.
- [160] WOOLFORD, M. W.; J. H. WILLIAMSON AND H.V. HENDERSON (1998): Changes in electrical conductivity and somatic cell count between milk fractions from quarters subclinically infected with particular mastitis pathogens. In: Journal of Dairy Research (65), S. 187-198.
- [161] WORSTORFF, H. (1999): Wo die Wissenschaft noch Probleme sieht. In: „Melkroboter für Ihren Betrieb?“ top agrar extra. Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 80-83.
- [162] ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE GMBH (ZMP) (2003): Agrarmärkte in Zahlen, Deutschland 2003. Bonn, 24 S.

Anhang

Anhang A1: Bekanntmachung über die Anwendung bestimmter Maßnahmen in Milcherzeugerbetrieben mit automatischen Melkverfahren bis zum Vorliegen entsprechender Rechtsvorschriften

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft

Bekanntmachung über die Anwendung bestimmter Maßnahmen in Milcherzeugerbetrieben mit automatischen Melkverfahren bis zum Vorliegen entsprechender Rechtsvorschriften Vom 1. Februar 2001

(veröffentlicht im Bundesanzeiger vom 13.02.2001 S. 2183)

Für Milcherzeugerbetriebe sind in den Anlagen 1, 2 und 3 zu § 3 der Milchverordnung Anforderungen an den Tierbestand, den Erzeugerbetrieb und an das Melken festgelegt. Die Anlage 2 ist insgesamt auch in Betrieben, die mit automatischen Melkverfahren (AMV) arbeiten, AMV-spezifisch zu erfüllen. In den Anlagen 1 und 3 sind insbesondere die folgenden Punkte zu beachten:

Anlage 1 (Auszug)

- 1 Kühe, Büffel, Schafe, Ziegen und Stuten, von denen Milch als Lebensmittel gewonnen wird, müssen folgende Anforderungen erfüllen:
 - 1.1 Sie dürfen keine Anzeichen von ansteckenden, durch die Milch auf Menschen übertragbare Krankheiten aufweisen;
 - 1.2 sie dürfen keine erkennbaren Anzeichen einer Störung des allgemeinen Gesundheitszustandes aufweisen und nicht an Krankheiten der Geschlechtsorgane mit Ausfluss, Magen-Darm-Krankheiten mit Durchfall und Fieber oder einer erkennbaren Entzündung des Euters oder der Haut des Euters leiden;
 - 1.3 sie müssen von Tieren abgedrennt sein, die von einer ansteckenden, durch die Milch auf Menschen übertragbaren Krankheit befallen sind oder bei denen ein entsprechender Verdacht besteht, die erkennbaren Anzeichen einer Störung des allgemeinen Gesundheitszustandes aufweisen oder die, an Krankheiten der Geschlechtsorgane mit Ausfluss, an Magen-Darm-Krankheiten mit Durchfall und Fieber oder einer erkennbaren Entzündung des Euters oder der Haut des Euters leiden;
 - 1.4 sie dürfen keine Wunden am Euter aufweisen, die die Milch verunreinigen könnten.

Anlage 3 (Auszug)

- 2 Das Euter von Tieren, von denen Milch als Lebensmittel gewonnen wird, muss zu Beginn des Melkens sauber sein.
- 3 Personen, die melken, haben
 - 3.3 die ersten Milchstrahlen aus jeder Zitze gesondert zu melken, um sich durch Prüfen des Aussehens von der einwandfreien Beschaffenheit der Milch von jedem Tier zu überzeugen.

- 4 Tiere, die keine einwandfreie Milch geben und solche, die nach Anlage 1 Nr. 1.3 von der übrigen Herde getrennt wurden, sind gesondert und nach den anderen zu melken. Diese Anforderungen sind wegen des fehlenden direkten Kontaktes des Landwirtes mit den Kühen in Verbindung mit dem Melkvorgang in AMV-Betrieben gegenwärtig nicht bzw. nicht ohne besondere Maßnahmen erfüllbar. Insbesondere kann der Ausschluss des Einbringens sinnfällig veränderter Milch in die Anlieferungsmilch in Verbindung mit der konventionell durchgeführten Vormelkprobe beim Einsatz von AMV nicht erfolgen.

Die Anwendung der im nachstehenden Katalog aufgeführten Maßnahmen ist erforderlich, um den Einsatz automatischer Melkverfahren unter der geltenden Rechtslage zu ermöglichen.

Maßnahmenkatalog

1. Bei Installation eines AMV in einem landwirtschaftlichen Betrieb ist die Eutergesundheit 4-6 Wochen vor der geplanten Inbetriebnahme des Systems und nochmals 1-2 Wochen vor Einbringen der Herde durch eine zyto-bakteriologische Untersuchung der Viertelanfangsgemelke zu überprüfen. Die zuständigen Behörden sind über Installation eines AMV und die Ergebnisse der zyto-bakteriologischen Untersuchung zu informieren.
2. AMV-Betriebe nehmen an einer Prüfung in Anlehnung an die Milchleistungsprüfung teil. Im Mittel des Jahres sind einmal monatlich die Gesamtgemelke (GM) mindestens auf die Anzahl der somatischen Zellen und, die Tagesleistung der Kühe zu prüfen. Beim aktuellen Probemelken darf der Anteil an Kühen mit Zellgehalten über 250 000 Zellen/ml Milch im Gesamtgemelk (GG) nicht über 30% aller laktierenden Kühe liegen.
3. Zusätzlich zu Abschnitt 2 wird zweimal im Monat eine Untersuchung der Tankmilch auf die Anzahl somatischer Zellen durchgeführt. Hierbei dürfen bei 2 aufeinanderfolgenden Proben im arithmetischen Mittel nicht mehr als 300.000 Zellen/ml Tankmilch und bei keiner Probe mehr als 400.000 Zellen/ml Tankmilch festgestellt werden.
4. Im Falle einer Überschreitung der unter den Nummern 2 und 3 angeführten Richtwerte müssen folgende Maßnahmen durchgeführt werden:

Kategorie	Prozentsatz der Einzelgemelke über 250.000 Zellen/ml	Tankmilchzellzahl (nach Nr. 3)	Maßnahmen
I	unter 30 %	unter den Richtwerten	nicht erforderlich
II	unter 30 %	über den Richtwerten	Kontrolle aller verdächtigen Kühe (GG > 250.000 Zellen/ml) mittels Sekretbeurteilung oder CMT
III	über 30 %	unter den Richtwerten	Kontrolle aller verdächtigen Kühe und zyto-bakteriologische Untersuchung dieser Kühe
IV	über 30 %	über den Richtwerten	Kontrolle aller Kühe der Herde und zyto-bakteriologische Untersuchung

5. Zweimal am Tag hat eine Begehung des Stalles mit gezielter Beobachtung der Gesundheit der Tiere sowie deren Sauberkeit, insbesondere der Euter (Wunden, Entzündungen, Sauberkeit) zu erfolgen.
6. Mindestens zweimal täglich wird eine Kontrolle der beim AMV automatisch erfassten Daten (Warnliste) vorgenommen, um Hinweise auf Gesundheitsstörungen zu erhalten, z. B. aus Daten über Zwischenmelkzeiten, über Milchmengen, über die elektrische Leitfähigkeit der Milch, über Tieraktivitäten, über erfolglose Melkversuche und über die Futteraufnahme.
7. Tiere, bei denen sich Hinweise auf Gesundheitsstörungen ergeben, werden unverzüglich auf das Vorliegen von Erkrankungen untersucht; bzw. werden bis zur Überprüfung von der Milchlieferung ausgeschlossen.
8. Eine Dokumentation der unter den Nummern 1 bis 6 aufgeführten Maßnahmen inklusive Markierung bzw. gesonderter Angabe auffälliger Befunde und daraus abgeleiteter spezifischer Maßnahmen im Betrieb wird durchgeführt. Insbesondere sind Erkrankungen der Tiere, Behandlungen und Ausschluss von der Milchlieferung festzuhalten. Die Nachweise sind mindestens 24 Monate aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen.
9. Vor dem Melken muss das Euter sauber sein. Flankierende, zur Sauberhaltung der Euter geeignete Maßnahmen sind vorzunehmen: Diese Maßnahmen beziehen sich auf das Reinigen von Zitzen und Zitzenbasis, das mindestens tägliche Reinigen der Liegeboxen und der Laufwege und das Enthaaren der Euter (in angemessenen zeitlichen Abständen).

Alle Maßnahmen sind in Kombination miteinander zu bewerten. Werden auffällige Befunde festgestellt, ergibt sich ein innerbetrieblicher Handlungsbedarf.

Bonn, den 1. Februar 2001
422-7510-305 / 3

Bundesministerium für Verbraucherschutz,
Ernährung und Landwirtschaft
Im Auftrag
Dr. Haubenreiser

Tabelle A2: Milchparameter in den einzelnen Gemelksfraktionen in Abhängigkeit der Zellzahl-Klassen (SCC) (Vorversuch)

SCC-Klasse	Gemelksfraktion			
	VAG	VMG	VEG	VGG
	\bar{X} +/- SEM	\bar{X} +/- SEM	\bar{X} +/- SEM	\bar{X} +/- SEM
somatischer Zellgehalt (SCC) [log/ml]				
I	4,37 +/- 0,03 ^a	4,16 +/- 0,03 ^{*a}	4,48 +/- 0,04 ^a	4,33 +/- 0,04 ^a
II&III	5,21 +/- 0,04 ^b	4,72 +/- 0,06 ^{*b}	5,06 +/- 0,09 ^b	4,94 +/- 0,06 ^b
IV	6,11 +/- 0,10 ^c	5,70 +/- 0,08 ^{*c}	6,22 +/- 0,19 ^c	6,07 +/- 0,20 ^c
elektrische Leitfähigkeit (LF) [mS/cm]				
I	4,62 +/- 0,05 ^a	4,36 +/- 0,03 ^{*a}	4,21 +/- 0,04 ^{*a}	4,31 +/- 0,04 ^{*a}
II&III	5,17 +/- 0,13 ^b	4,55 +/- 0,08 ^{*a}	4,53 +/- 0,11 ^{*b}	4,58 +/- 0,07 ^{*ab}
IV	5,40 +/- 0,16 ^b	4,61 +/- 0,06 ^{*a}	4,47 +/- 0,42 ^{*b}	4,80 +/- 0,22 ^{*b}
mittlere spektrale Reflexion im Mastitisband (SR_{mastitis}) [%]				
I	44,3 +/- 0,12 ^a	45,1 +/- 0,07 ^{*a}	45,2 +/- 0,08 ^{*a}	45,0 +/- 0,10 ^{*a}
II&III	43,4 +/- 0,22 ^b	44,7 +/- 0,09 ^{*a}	44,8 +/- 0,11 ^{*a}	44,5 +/- 0,18 ^{*a}
IV	43,0 +/- 0,45 ^b	44,8 +/- 0,18 ^{*a}	44,5 +/- 0,27 ^{*a}	44,1 +/- 0,32 ^a
Natrium-Gehalt (NA) [mmol/l]				
I	20,3 +/- 0,83 ^a	14,1 +/- 0,21 ^{*a}	15,9 +/- 0,41 ^{*a}	15,0 +/- 0,36 ^{*a}
II&III	30,3 +/- 2,32 ^b	15,3 +/- 0,57 ^{*ab}	22,5 +/- 2,19 ^{*b}	19,5 +/- 1,51 ^{*a}
IV	31,7 +/- 3,71 ^b	17,7 +/- 0,64 ^{*b}	23,7 +/- 2,68 ^{*b}	19,5 +/- 2,17 ^{*a}
Chlorid-Gehalt (CL) [mmol/l]				
I	49,1 +/- 0,93 ^a	45,5 +/- 0,51 ^{*a}	47,3 +/- 0,75 ^{*a}	47,6 +/- 0,92 ^{*a}
II&III	58,1 +/- 2,34 ^b	48,9 +/- 1,22 ^a	52,9 +/- 2,05 ^b	51,8 +/- 1,82 ^a
IV	59,1 +/- 3,05 ^b	49,6 +/- 0,92 ^a	56,9 +/- 1,70 ^b	51,8 +/- 3,18 ^a
VAG: Viertelanfangsgemelk		VMG: Viertelmittegemelk		
VEG: Viertelendgemelk		VGG: Viertelgesamtemelk		
SCC I: <100.000/ml (n=106)		SCC II&III: 100.000-500.000/ml (n=20)		
SCC IV: 500.000/ml (n=11)				
a,b: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich innerhalb einer Fraktion hoch signifikant (P<0,01)				
*: Mittelwert unterscheidet sich hoch signifikant vom Mittelwert in Fraktion VAG (P<0,01)				

Tabelle A3: Mittlere spektrale Reflexion in den unterschiedlichen Wellenlängenbereichen (WLB) in Abhängigkeit der Zellzahl-Klassen (SCC) (Hauptversuch)

WLB [nm]	SCC I		SCC II		SCC III		SCC IV	
	\bar{X}	+/- SEM	\bar{X}	+/- SEM	\bar{X}	+/- SEM	\bar{X}	+/- SEM
400-420	43,66	+/- 0,051 ^a	42,65	+/- 0,181 ^b	41,07	+/- 0,750 ^c	41,62	+/- 0,435 ^{bc}
430-510 (mastitis)	44,52	+/- 0,058 ^a	43,41	+/- 0,221 ^b	42,54	+/- 0,427 ^{bc}	42,10	+/- 0,423 ^c
520-560	47,08	+/- 0,079 ^a	45,93	+/- 0,394 ^b	45,20	+/- 0,585 ^b	44,47	+/- 0,599 ^b
570-660	44,72	+/- 0,104 ^a	43,64	+/- 0,520 ^{ab}	43,56	+/- 0,595 ^b	42,31	+/- 0,727 ^b
670-700	42,54	+/- 0,126 ^a	41,59	+/- 0,618 ^a	41,78	+/- 0,687 ^a	40,29	+/- 0,838 ^a

SCC I: <100.000/ml (n=969) SCC II: 100.000-200.000/ml (n=54)
 SCC III: 200.000-500.000/ml (n=42) SCC IV: >500.000/ml (n=42)
 a,b,c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant innerhalb des WLB (P<0,01)

Tabelle A4: Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und gemessenen Parametern im Viertelanfangsgemelk

	Fett	Prot	Lakt	SCC	SCC (log)	SR 400-420	SR 430-510	SR 520-560	SR 570-660	SR 670-700	EC	NA	CL	Δ SR mastitis	Δ EC	Δ NA	Δ CL
Fett	n.s.	-0,22	n.s.	0,29	0,14	0,21	0,41	0,53	0,59	-0,17	0,09	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Protein	n.s.	-0,28	0,17	0,28	-0,12	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	0,18	0,15	0,22	0,22	-0,15	0,09	n.s.	0,07
Laktose	-0,22	-0,28	-0,47	-0,62	0,18	0,25	0,09	n.s.	-0,08	-0,78	-0,68	-0,65	0,33	0,33	-0,50	-0,48	-0,41
SCC	n.s.	0,17	-0,47	0,56	-0,22	-0,24	-0,18	-0,12	-0,09	0,42	0,46	0,28	-0,44	0,50	0,50	0,47	0,40
SCC (log)	0,29	0,28	-0,62	0,56	-0,28	-0,17	-0,06	n.s.	0,51	0,61	0,61	0,43	-0,48	0,54	0,49	0,47	0,47
SR₄₀₀₋₄₂₀	0,14	-0,12	0,18	-0,22	-0,28	0,91	0,82	0,70	0,63	-0,29	-0,18	-0,15	0,60	-0,21	-0,17	-0,16	-0,16
SR₄₃₀₋₅₁₀ (mastitis)	0,21	-0,20	0,25	-0,24	-0,32	0,91	0,92	0,83	0,77	-0,35	-0,20	-0,17	0,53	-0,26	-0,21	-0,21	-0,21
SR₅₂₀₋₅₆₀	0,41	-0,20	0,09	-0,18	-0,17	0,82	0,92	0,97	0,94	-0,26	-0,08	n.s.	0,48	-0,19	-0,14	-0,16	-0,16
SR₅₇₀₋₆₆₀	0,53	-0,20	-0,02	-0,12	-0,06	0,70	0,83	0,97	0,99	-0,18	n.s.	n.s.	0,36	-0,12	-0,08	-0,11	-0,11
SR₆₇₀₋₇₀₀	0,59	-0,20	-0,08	-0,09	n.s.	0,63	0,77	0,94	0,99	-0,15	0,07	0,05	0,30	-0,09	n.s.	-0,08	-0,08
EC	-0,17	0,18	-0,78	0,42	0,51	-0,29	-0,35	-0,26	-0,18	-0,15	0,79	0,75	-0,43	0,69	0,61	0,61	0,57
NA	0,09	0,15	-0,68	0,46	0,61	-0,18	-0,20	-0,08	n.s.	0,07	0,79	0,73	0,73	-0,44	0,72	0,68	0,61
CL	n.s.	0,22	-0,65	0,28	0,43	-0,15	-0,17	-0,06	n.s.	n.s.	0,75	0,73	-0,29	0,48	0,47	0,47	0,47
ΔSR_{mastitis}	n.s.	-0,15	0,33	-0,44	-0,46	0,60	0,53	0,48	0,36	-0,43	-0,44	-0,29	-0,56	-0,46	-0,46	-0,44	-0,44
ΔEC	n.s.	0,09	-0,50	0,50	0,54	-0,21	-0,26	-0,19	-0,12	-0,09	0,69	0,72	0,48	-0,56	0,83	0,87	0,87
ΔNA	n.s.	n.s.	-0,48	0,47	0,49	-0,17	-0,21	-0,14	-0,08	n.s.	0,61	0,68	-0,46	0,83	0,83	0,83	0,83
ΔCL	n.s.	0,07	-0,41	0,40	0,47	-0,16	-0,21	-0,16	-0,11	-0,08	0,57	0,61	-0,44	0,87	0,87	0,87	0,83

n=1.120 VAG; P<0,01; n.s.: nicht signifikant

Tabelle A5: Somatischer Zellgehalt (logSCC) und Spektralwerte (SR_{mastitis} , $\Delta SR_{\text{mastitis}}$) in Abhängigkeit der Zellzahl-Klassen (SCC) im Viertelanfangsgemelk (VAG) und Viertelgesamtgemelk (VGG)

SCC-Klasse	logSCC $\bar{X} \pm \text{SEM}$	SR_{mastitis} $\bar{X} \pm \text{SEM}$	$\Delta SR_{\text{mastitis}}$ $\bar{X} \pm \text{SEM}$
VAG	[log/ml]	[%]	[%]
SCC I	4,39 +/- 0,01 ^a	44,51 +/- 0,056 ^a	99,0 +/- 0,04 ^a
SCC II	5,12 +/- 0,02 ^b	43,35 +/- 0,216 ^b	98,6 +/- 0,20 ^a
SCC III	5,45 +/- 0,02 ^c	42,45 +/- 0,402 ^{bc}	96,0 +/- 0,72 ^b
SCC IV	6,08 +/- 0,05 ^d	41,84 +/- 0,428 ^c	94,2 +/- 0,71 ^c
VGG			
SCC I	4,54 +/- 0,01 ^{a*}	45,72 +/- 0,044 ^{a*}	99,3 +/- 0,03 ^{a*}
SCC II	5,15 +/- 0,03 ^b	45,18 +/- 0,131 ^a	99,1 +/- 0,10 ^a
SCC III	5,39 +/- 0,04 ^c	44,75 +/- 0,183 ^{b*}	98,2 +/- 0,24 ^{b*}
SCC IV	5,87 +/- 0,06 ^{d*}	44,77 +/- 0,172 ^{b*}	97,7 +/- 0,21 ^{b*}

SCC I: <100.000/ml (n=973) SCC II: 100.000-200.000/ml (n=56)
 SCC III: 200.000-500.000/ml (n=46) SCC IV: >500.000/ml (n=45)
 a,b,c,d: Mittelwerte innerhalb einer Gemelksfraktion mit unterschiedlichen
 Buchstaben unterscheiden sich hoch signifikant (P<0,01)
 *: Mittelwerte zwischen VAG und VGG unterscheiden sich hoch signifikant
 (P<0,01)

Tabelle A6: Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und Spektralwerten aller Viertelgemelke

	logSCC (VAG)	Fett (VGG)	Prot (VGG)	Lakt (VGG)	SR (VGG)	dSR (VGG)
logSCC (VAG)		0,17	0,32	-0,38	-0,22	-0,28
Fett (VAG)	0,26	0,42	<i>n.s.</i>	-0,15	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Prot (VAG)	0,28	0,21	0,97	-0,38	-0,08	-0,12
Lakt (VAG)	-0,63	-0,11	-0,33	0,79	0,15	0,18
SR (VAG)	-0,36	0,06	-0,24	0,17	0,77	0,23
dSR (VAG)	-0,48	<i>n.v.</i>	-0,19	0,16	0,22	0,38
logSCC (VGG)	0,89	0,28	0,38	-0,31	-0,21	-0,25
Fett (VGG)	0,17		0,18	-0,24	0,09	0,09
Prot (VGG)	0,32			-0,35	-0,09	-0,11
Lakt (VGG)	-0,38				0,12	0,15
SR (VGG)	-0,22					0,34
dSR (VGG)	-0,28					

VAG: Viertelanfangsgemelk, n.s.: nicht signifikant
VGG: Viertelgesamtemelk n=1.100

Tabelle A7: Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und Spektralwerten der Viertelgemelke der SCC I

	logSCC (VAG)	Fett (VGG)	Prot (VGG)	Lakt (VGG)	SR (VGG)	dSR (VGG)
logSCC (VAG)		0,23	0,11	-0,25	-0,11	<i>n.s.</i>
Fett (VAG)	0,36	0,43	<i>n.s.</i>	-0,17	<i>n.s.</i>	0,04
Prot (VAG)	0,08	0,20	0,96	-0,35	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Lakt (VAG)	-0,42	-0,14	-0,26	0,82	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
SR (VAG)	-0,09	0,12	-0,10	<i>n.v.</i>	0,81	0,09
dSR (VAG)	-0,15	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	0,09	0,21
logSCC (VGG)	0,76	0,37	0,19	-0,14	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Fett (VGG)	0,23		0,17	-0,27	0,12	<i>n.s.</i>
Prot (VGG)	0,11			-0,30	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Lakt (VGG)	-0,25				<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
SR (VGG)	-0,11					0,27
dSR (VGG)	-0,04					

VAG: Viertelanfangsgemelk n.s.: nicht signifikant
VGG: Viertelgesamtemelk n=963

Tabelle A8: Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und Spektralwerten der Viertelgemelke der SCC II&III

	logSCC (VAG)	Fett (VGG)	Prot (VGG)	Lakt (VGG)	SR (VGG)	dSR (VGG)
logSCC (VAG)		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	-0,38
Fett (VAG)	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	-0,29	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Prot (VAG)	<i>n.s.</i>	0,31	0,97	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Lakt (VAG)	-0,41	<i>n.s.</i>	<i>n.v.</i>	0,59	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
SR (VAG)	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	-0,30	<i>n.s.</i>	0,65	0,31
dSR (VAG)	-0,35	<i>n.s.</i>	<i>n.v.</i>	<i>n.s.</i>	0,49	0,60
logSCC (VGG)	0,64	<i>n.s.</i>	0,44	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Fett (VGG)	<i>n.s.</i>		0,33	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Prot (VGG)	<i>n.s.</i>			<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Lakt (VGG)	<i>n.s.</i>				<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
SR (VGG)	<i>n.s.</i>					0,50
dSR (VGG)	<i>n.s.</i>					

VAG: Viertelanfangsgemelk
n.s.: nicht signifikant

VGG: Viertelgesamtgemelk
n=95

Tabelle A9: Korrelation (nach PEARSON) von Milchinhaltstoffen und Spektralwerten der Viertelgemelke der SCC IV

	logSCC (VAG)	Fett (VGG)	Prot (VGG)	Lakt (VGG)	SR (VGG)	dSR (VGG)
logSCC (VAG)		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	-0,52	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Fett (VAG)	<i>n.s.</i>	0,45	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Prot (VAG)	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	0,97	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Lakt (VAG)	-0,60	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	0,68	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
SR (VAG)	-0,39	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	0,53	<i>n.s.</i>
dSR (VAG)	-0,45	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
logSCC (VGG)	0,80	<i>n.s.</i>	0,70	-0,60	-0,42	<i>n.s.</i>
Fett (VGG)	<i>n.s.</i>		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	0,48
Prot (VGG)	<i>n.s.</i>			<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Lakt (VGG)	-0,52				<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
SR (VGG)	<i>n.s.</i>					0,61
dSR (VGG)	<i>n.s.</i>					

VAG: Viertelanfangsgemelk
n.s.: nicht signifikant

VGG: Viertelgesamtgemelk
n=42

Veröffentlichungen

Erstautor:

- WIEDEMANN, M., G. WENDL (2002): Effects of energy and protein content in basic feed on milking and cow behaviour in automatic milking systems. In: Proceedings of the "1st North American conference on robotic milking", Toronto, S. III-93, (Poster).
- WIEDEMANN, M., G. WENDL (2002): Einfluss der Grundfütterration auf Tier- und Melkverhalten beim automatischen Melken. In: Landtechnik (57) H. 4, S. 232-233.
- WIEDEMANN, M., G. WENDL (2003): Untersuchungen zur Erkennung von Veränderungen in Milch mit Hilfe der Farbmessung. In: Tagungsband zur 6. Internationalen Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“, Vechta, S. 124-129, (Vortrag).
- WIEDEMANN, M., D. WEISS, G. WENDL UND R. M. BRUCKMAIER (2003): The importance of sampling time for online mastitis detection by using the electrical conductivity or measuring the Na⁺ and Cl⁻ content in milk. In: Proceedings of the „1st European Conference on Precision Livestock Farming“, Berlin, S. 173-178, (Vortrag).
- WIEDEMANN, M., G. WENDL (2003): Einsatz der Farbmessung zur Online-Erkennung der Milchqualität beim Melken. In: Landtechnik (58) H. 4, S. 272-273.
- WIEDEMANN, M., G. WENDL (2004): The use of spectral photometry for detection of mastitis milk. In: Proceedings of the International Symposium on "Automatic Milking", Wageningen, S. 228-234, (Vortrag).

Coautor:

- WENDL, G., M. WIEDEMANN UND J. HARMS (2003): Untersuchungen zur Eutergesundheit: Tendenziell sehr gute Ergebnisse möglich. In: Profi, H. 5, S. 51.
- BRUCKMAIER, R. M., D. WEISS, M. WIEDEMANN, S. SCHMITZ UND G. WENDL (2004): Changes of physicochemical indicators during mastitis and the effects of milk ejection on their sensitivity. In: Journal of Dairy Research, in press.

Danksagung

Abschließend möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben.

Insbesondere danke ich Herrn Prof. Dr.agr. Dr.h.c. J. Schön für die Überlassung des hochinteressanten Themas. Mein besonderer Dank gilt Herrn apl. Prof. Dr.agr. R. M. Bruckmaier, der mir während der gesamten Arbeit mit Rat und Tat „rund ums Euter und die Milch“ informativ und hilfreich zur Seite stand und sehr spontan das Amt des zweiten Prüfers übernommen hat. Danken möchte ich ferner Herrn Univ.-Prof. Dr.agr. Dr.agr.habil. H. Auernhammer für die Übernahme des zweiten Koreferates sowie Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing.habil. U Kulozik für den Prüfungsvorsitz.

Allen Mitarbeitern der Landtechnik Weihenstephan möchte ich für ihre Unterstützung danken. In ganz besonderem Maße möchte ich meinem Chef Herrn Dr. G. Wendl herzlich danken, der - trotz eines vollen Terminkalenders - immer ein offenes Ohr für meine Anliegen hatte und die gesamte Arbeit wissenschaftlich betreute: Vergelt's Gott, lieber Schorsch!

Dank auch meinen Kollegen und den studentischen Hilfskräften des Arbeitsbereiches „Verfahrenstechnik in der Nutztierhaltung“ und des Landtechnischen Vereins in Bayern e.V. (Frau H. Schöngarth und Herr W. Krauß). Für ihre kooperative Zusammenarbeit möchte ich auch der Werkstatt (Herrn M. Wildgruber) und der Abteilung „Messtechnik“ (Herrn Dr. H. Stanzel) meinen Dank aussprechen.

Ein Dank gebührt auch den Betrieben, auf denen ich meine Versuche durchführen konnte. Hier sei stellvertretend für das Versuchsgut Hirschau der TUM-Weihenstephan der Verwalter Herr G. Kammermeier und das Ehepaar K. & R. Ochsendorf genannt. Ebenfalls danke ich der Familie Schwarz aus Jarzt, die mir Untersuchungen in ihrer Herde ermöglichte.

Zwei ehemaligen Kollegen und guten Freunden, dem Ehepaar Michael und Klaudia Klindtworth, sei an dieser Stelle außerordentlich gedankt. Sie haben mich immer wieder während unserer gemeinsamen Zeit an der Landtechnik neu motiviert und mir durch gemeinsame Diskussionen einige Lösungsansätze aufgezeigt. Frau Klindtworth habe ich zu danken, dass diese Arbeit mit einem zeitlich nicht zu langem Endspurt fertiggestellt werden konnte: Vergelt's Gott, liebe Klaudia!

Auf diesem Wege möchte ich mich auch einmal bei all' meinen Bundesbrüdern der ISARIA bedanken. Die gemeinsame Zeit hat in gewisser Weise meine Persönlichkeit und mein Handeln und Tun stark geprägt.

Dank auch an die verantwortlichen Personen der Hanns-Seidel-Stiftung München e.V., deren finanzielle aber auch ideelle Förderung meine Zeit als Promotionsstipendiat sehr bereicherte.

Am Ende meiner Ausbildung möchte ich mich ganz herzlich bei meinen Eltern Friedrich und Margot Wiedemann, die mir meine Schul- und Hochschulbildung ermöglichten und bei meinen beiden Schwestern Anette und Uta sowie meinen Schwägern Joachim und Uwe, die mich durch ihre Erfahrungen immer mit Rat und Tat unterstützen, bedanken.

Mein herzlichster Dank gilt schließlich Anja Kowalkowski, die mir nicht nur praktisch, sondern auch „seelisch und moralisch“ während der letzten zwei Jahre meiner Promotionszeit zur Seite stand: Danke liebe Anja, für Dein mir immer wieder entgegengebrachtes Verständnis!

Freising-Weihenstephan, im Mai 2004

Martin Wiedemann