

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter Leitung von Univ.-Prof. Dr. R. Mansfeld

# **Der Einfluss des Melkens auf Durchblutung und Morphologie der Rinderzitze untersucht mittels Color Angiographie und B-Mode Sonographie**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde

der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität

München

von

Kathrin Kuchler

aus Königstein i. T.

München 2011



Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. J. Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. R. Mansfeld

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. C. Poulsen Nautrup

Tag der Promotion: 12. Februar 2011

Für meine Familie

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>I.</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT.....</b>	<b>3</b>
<b>1.</b>	<b>Anatomie und Physiologie der Rinderzitze.....</b>	<b>3</b>
1.1.	Aufbau der Zitzenwand.....	3
1.2.	Lymphabfluss aus der Zitze .....	4
1.3.	Gefäßversorgung des Euters.....	4
1.3.1.	Arterien .....	4
1.3.2.	Venen .....	6
1.4.	Gefäßversorgung der Zitzen.....	6
1.4.1.	Arterien .....	6
1.4.2.	Venen .....	7
<b>2.</b>	<b>Belastung der Kuhzitzen durch maschinellen Milchentzug.....</b>	<b>7</b>
2.1.	Aufbau und Funktionsweise von Melkanlagen .....	7
2.2.	Beeinflussung der Zitze durch maschinellen Milchentzug .....	8
<b>3.</b>	<b>Erfassung der Auswirkungen der Zitzenbelastung .....</b>	<b>11</b>
3.1.	Mechanische Verfahren .....	11
3.2.	Röntgentechnik.....	12
3.3.	Klassifizierung der Hyperkeratosen .....	13
3.4.	Sonographie.....	13
3.4.1.	Physikalische Grundlagen der Sonographie (Ultraschall) .....	13
3.4.2.	Technische Grundlagen der Sonographie .....	15
3.4.3.	Einteilung der B-Bildverfahren .....	16
3.4.3.1.	Eindimensionale B-Bildverfahren .....	16
3.4.3.2.	Zweidimensionale B-Bildverfahren.....	16
3.4.3.2.1.	Compound-Verfahren .....	16
3.4.3.2.2.	Zweidimensionales Real-Time-Verfahren .....	17
3.4.4.	Nutzung der Sonographie zur Untersuchung der Zitzenbelastung .....	17
<b>4.</b>	<b>Verfahren zur Untersuchung des Blutflusses .....</b>	<b>17</b>
4.1.	Temperaturmessung.....	17
4.2.	Impedanz-Messung.....	18
4.3.	Dopplersonographie.....	18

4.3.1.	Physikalische Grundlagen: Dopplereffekt .....	18
4.3.2.	Grundlagen der Dopplersonographie.....	19
4.3.3.	Dopplerverfahren.....	20
4.3.3.1.	Kontinuierliches Dopplerverfahren (Continuous-Wave-Doppler).....	20
4.3.3.2.	Gepulstes Dopplerverfahren (Pulsed-Wave-Doppler).....	21
4.3.3.3.	Duplexverfahren.....	21
4.3.3.3.1.	Farbkodiertes Dopplerverfahren.....	22
4.3.3.3.2.	Color Angiographie .....	23
<b>III.</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>27</b>
<b>1.</b>	<b>Material.....</b>	<b>27</b>
1.1.	Versuchstiere.....	27
1.1.1.	Tierzahl und Dauer der Versuche.....	27
1.1.2.	Auswahl der Tiere .....	27
1.2.	Versuchsbetrieb .....	28
1.3.	Melken .....	29
1.4.	Geräte und Software .....	30
1.5.	Probenmaterial.....	30
<b>2.</b>	<b>Methoden .....</b>	<b>31</b>
2.1.	Vorversuche .....	31
2.2.	Vorbereitungen.....	31
2.3.	Messprotokoll.....	31
2.4.	Ablauf der Messungen .....	32
2.4.1.	Messungen zu den Messzeitpunkten -12 bis -2.....	32
2.4.2.	Messungen zu den Messzeitpunkten -1 bis 13 .....	35
2.5.	Feststellung der Eutergesundheit.....	36
2.5.1.	Antiseptische Milchprobenentnahme .....	36
2.5.2.	Mikrobiologische Untersuchung der Milchproben .....	36
2.5.3.	Zytologische Untersuchung der Milch .....	36
2.6.	Auswertung der Bilddateien.....	37
2.6.1.	Auswahl und Auswertung der B-Mode-Bilder .....	37
2.6.2.	Auswahl und Auswertung der Color-Angiographie-Bilder .....	41
2.7.	Bestimmung der Stichprobengröße .....	42
2.8.	Statistische Auswertung.....	42

---

2.8.1.	B-Mode Sonographie.....	42
2.8.2.	Color Angiographie .....	43
<b>IV.</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>45</b>
<b>1.</b>	<b>Ergebnisse der B-Mode Aufnahmen .....</b>	<b>46</b>
1.1.	Längsschnitt (MP 4) .....	46
1.1.1.	Strichkanallänge .....	46
1.1.2.	Zitzenkuppendurchmesser .....	48
1.1.3.	Zisternendurchmesser .....	50
1.1.4.	Sondenferne Zitzenwanddicke .....	52
1.1.5.	Sondennahe Zitzenwanddicke .....	55
1.1.6.	Quotient Zisternendurchmesser zu Zitzenwanddicke.....	57
1.2.	Querschnitt Oben (MP 1).....	59
1.2.1.	Querschnittsfläche der Zitze.....	59
1.2.2.	Umfang Zitze.....	61
1.2.3.	Querschnittsfläche Zisterne.....	64
1.2.4.	Umfang Zisterne .....	66
1.2.5.	Fläche Zitzengewebe .....	68
<b>2.</b>	<b>Ergebnisse der Color Angiographie .....</b>	<b>70</b>
2.1.	Längsschnitt (MP 4) .....	70
2.1.1.	Vor dem Melken.....	70
2.1.1.1.	Intercept des y-Achsenabschnitts .....	70
2.1.1.2.	Differenz der geschätzten und realen Werte .....	72
2.1.1.3.	Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte .....	74
2.1.2.	Nach dem Melken.....	75
2.1.2.1.	Intercept des y-Achsenabschnitts .....	75
2.1.2.2.	Differenz der geschätzten und realen Werte .....	77
2.1.2.3.	Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte .....	78
2.2.	Querschnitt Oben (MP 1).....	79
2.2.1.	Vor dem Melken.....	79
2.2.1.1.	Intercept des y-Achsenabschnitts .....	79
2.2.1.2.	Differenz der geschätzten und realen Werte .....	81
2.2.1.3.	Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte .....	82
2.2.2.	Nach dem Melken.....	84
2.2.2.1.	Intercept des y-Achsenabschnitts .....	84

---

2.2.2.2.	Differenz der geschätzten und realen Werte .....	86
2.2.2.3.	Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte .....	87
2.3.	Vergleich der Ergebnisse an den verschiedenen Messpositionen .....	88
2.3.1.	Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte .....	88
2.3.2.	Intercept .....	90
2.3.2.1.	Vor dem Melken.....	90
2.3.2.2.	Nach dem Melken.....	90
2.3.3.	Differenzen.....	91
2.3.3.1.	Vor dem Melken.....	91
2.3.3.2.	Nach dem Melken.....	92
<b>V.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>93</b>
<b>1.</b>	<b>Diskussion der Methoden .....</b>	<b>93</b>
<b>2.</b>	<b>Diskussion der statistischen Auswertung.....</b>	<b>97</b>
2.1.	Statistische Auswertung der B-Mode Sonographie.....	97
2.2.	Statistische Auswertung der Color Angiographie .....	98
<b>3.</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>99</b>
3.1.	Diskussion der Ergebnisse der B-Mode Sonographie-Messungen .....	99
3.2.	Diskussion der Ergebnisse der Color Angiographie-Messungen.....	101
<b>4.</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>105</b>
<b>VI.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>107</b>
<b>VII.</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>109</b>
<b>VIII.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>111</b>
<b>IX.</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>125</b>

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

A.	Arteria, Arterie
Aa.	Arteriae, Arterien
Abb.	Abbildung
$\alpha$	Alpha, Irrtumswahrscheinlichkeit
B-Mode	Brightness-Mode, Helligkeits-Methode
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CFM	Color Flow Mode
cm <sup>2</sup>	Quadratcentimeter
CMT	California Mastitis Test
cm	Zentimeter, 10 <sup>-2</sup> Meter
CW-Doppler	Continuous-Wave-Doppler, Kontinuierliches Dopplerverfahren
d. h.	das heißt
eCG	Equines Choriogonadotropin
e. V.	Eingetragener Verein
°C	Grad Celsius
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HF	Deutsche Holsteins Farbrichtung Schwarzbunt
kPa	Kilopascal, 10 <sup>3</sup> Pascal
LKV	Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e. V.
Ln.	Lymphonodus, Lymphknoten (Einzahl)
Lnn.	Lymphonodi, die Lymphknoten (Mehrzahl)
µl	Mikroliter, 10 <sup>-6</sup> Liter
MHz	Megahertz, 10 <sup>6</sup> Hertz (1 Hertz = 1/Sekunde)
min	Minuten
ml	Milliliter, 10 <sup>-3</sup> Liter
mm	Millimeter, 10 <sup>-3</sup> Meter
m/s	Meter pro Sekunde
M-Mode	Motion-Mode, Bewegungs-Methode
MP	Messposition
Nr.	Nummer
%	Prozent, vom Hundert
PRF	Pulse repetition frequency, Pulsrepetitionsrate
PW-Doppler	Pulsed-Wave-Doppler, Gepulstes Dopplerverfahren

P-Wert	Probability-Wert, Wahrscheinlichkeits-Wert
®	Registered Trade Mark, Eingetragene Marke
RH	Deutsche Holsteins Farbrichtung Rotbunt
ROI	Region of Interest, Auszuwertender Bereich
T	Eindringtiefe
Tab.	Tabelle
™	Unregistered Trade Mark, Nicht Eingetragene Marke
TM-Mode	Time-Motion-Mode, Zeit-Bewegungs-Methode
V.	Vena, Vene
Vv.	Venae, Venen
<	Kleiner als
>	Größer als
&	Und

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abbildung</b>	<b>Seite</b>
1 Melkzeug	8
2 Standardmessprotokoll in zwei Zeitleisten	31
3 Rechte Bauchzitze mit vier Messpositionen	34
4 Bauchzitze mit Becher mit Messpositionen	35
5 Ultraschallaufnahme Querschnitt Zitze: Übergang Euterviertel zu Zitzenbasis	37
6 Ultraschallaufnahme Querschnitt Zitze: Übergang Euterviertel zu Zitzenbasis mit Linien für die Messung	38
7 Ultraschallaufnahme Querschnitt Zitze: 2,5 cm unter Übergang Euterviertel zu Zitzenbasis	38
8 Ultraschallaufnahme Querschnitt 2,5 cm unter Übergang Euterviertel zu Zitzenbasis mit Linien für die Messung	39
9 Ultraschallaufnahme Zitzenkuppe	39
10 Ultraschallaufnahme Längsschnitt mit Messpositionen	40
11 Strichkanallänge (Boxplots)	48
12 Zitzenkuppendurchmesser (Boxplots)	50
13 Zisternendurchmesser (Boxplots)	52
14 Sondenferne Zitzenwanddicke (Boxplots)	54
15 Sondennahe Zitzenwanddicke (Boxplots)	57
16 Quotient (Zisternendurchmesser durch Zitzenwanddicke) (Boxplots)	59
17 Querschnittsfläche der Zitze (Boxplots)	61
18 Zitzenumfang (Boxplots)	62
19 Querschnittsfläche der Zisterne (Boxplots)	65
20 Zisternenumfang (Boxplots)	68
21 Zitzengewebefläche (Boxplots)	70
22 Blutflussdichte (real und assimiliert) an MP 4 vor dem Melken	71
23 Differenzen der aus den Werten vor dem Melken vorhergesagten und gemessenen Werte zum ersten Messzeitpunkt nach dem Melken an MP 4 (Boxplot)	73
24 Blutflussdichte an MP 4 vor dem Melken mit Median	74
25 Blutflussdichte (real und assimiliert) an MP 4 nach dem Melken	76
26 Differenzen der aus den Werten nach dem Melken vorhergesagten und gemessenen Werte zum ersten Messzeitpunkt nach dem Melken an MP 4 (Boxplot)	78
27 Blutflussdichte an MP 4 nach dem Melken mit Median	79
28 Blutflussdichte (real und assimiliert) an MP 1 vor dem Melken	80

---

29	Differenzen der aus den Werten vor dem Melken vorhergesagten und gemessenen Werte zum ersten Messzeitpunkt nach dem Melken an MP 1 (Boxplot)	82
30	Blutflussdichte an MP 1 vor dem Melken mit Median	84
31	Blutflussdichte (real und assimiliert) an MP 1 nach dem Melken	85
32	Differenzen der aus den Werten nach dem Melken vorhergesagten und gemessenen Werte zum ersten Messzeitpunkt nach dem Melken an MP 4 (Boxplot)	86
33	Blutflussdichte an MP 1 nach dem Melken mit Median	87

## TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tabelle</b>		<b>Seite</b>
1	Vergleichende Zusammenfassung der verschiedenen sonographischen Methoden und Dopplerverfahren	24-25
2	Versuchskühe und ihre wichtigsten Daten	28
3	Standardeinstellungen	33
4	Bezeichnung und Lage der Messpositionen	34
5	Signifikante Unterschiede der Strichkanallänge	46
6	Strichkanallänge (Mittelwert, Median, Einzeltier)	47
7	Zitzenkuppendurchmesser (Mittelwert, Median, Einzeltier)	49
8	Zisternendurchmesser (Mittelwert, Median, Einzeltier)	51
9	Signifikante Unterschiede des Zisternendurchmessers	51
10	Sondenferne Zitzenwanddicke (Mittelwert, Median, Einzeltier)	53
11	Signifikante Unterschiede der sondenfernen Zitzenwanddicke	53
12	Sondennahe Zitzenwanddicke (Mittelwert, Median, Einzeltier)	56
13	Signifikante Unterschiede der sondennahen Zitzenwanddicke	56
14	Quotient des Zisternendurchmessers durch die Zitzenwanddicke (Mittelwert, Median, Einzeltier)	58
15	Querschnittsfläche der Zitze (Mittelwert, Median, Einzeltier)	60
16	Signifikante Unterschiede Querschnittsfläche der Zitze	61
17	Zitzenumfang (Mittelwert, Median, Einzeltier)	63
18	Signifikante Unterschiede des Zitzenumfangs	63
19	Querschnittsfläche der Zisterne (Mittelwert, Median, Einzeltier)	64
20	Signifikante Unterschiede der Querschnittsfläche der Zisterne	65
21	Signifikante Unterschiede des Zisternenumfangs	66
22	Zisternenumfang (Mittelwert, Median, Einzeltier)	67
23	Zitzengewebefläche (Mittelwert, Median, Einzeltier)	69
24	Signifikante Unterschiede der Zitzengewebefläche	69
25	Intercept an MP 4 vor dem Melken	72
26	Differenzen der aus den Daten vor dem Melken geschätzten und realen Werte für die erste Messung nach dem Melken an MP 4	73
27	Blutflussdichte (Median, Minimum und Maximum) an MP 4	75
28	Intercept an MP 4 nach dem Melken	76
29	Differenzen der aus den Daten nach dem Melken geschätzten und realen Werte für die erste Messung nach dem Melken an MP 4	77
30	Intercept an MP 1 vor dem Melken	80

---

31	Differenzen der aus den Daten vor dem Melken geschätzten und realen Werte für die erste Messung nach dem Melken an MP 1	81
32	Blutflussdichte (Median, Minimum und Maximum) an MP 1	83
33	Intercept an MP 1 nach dem Melken	85
34	Differenzen der aus den Daten nach dem Melken geschätzten und realen Werte für die erste Messung nach dem Melken an MP 1	87
35	Vergleich des Medians der Blutflussdichte an MP 1 und MP 4	89
36	Vergleich der Intercepts vor dem Melken an MP 1 und MP 4	90
37	Vergleich der Intercepts nach dem Melken an MP 1 und MP 4	91
38	Vergleich der Differenzen vor dem Melken an MP 1 und MP 4	91
39	Vergleich der Differenzen nach dem Melken an MP 1 und MP 4	92

## I. EINLEITUNG

Die Eutergesundheit ist ein wichtiges Thema im Bereich der Milchviehhaltung. Nur eine gesunde Kuh mit gesundem Euter kann ihre volle Leistung erbringen. Die Kosten für Mastitiden werden für Milchkuhbetriebe mit 65 bis 182 € pro Kuh und Jahr angegeben, für eine klinische Mastitis werden im Durchschnitt 210 € veranschlagt (HUIJPS et al., 2008). Klinische Mastitiden bilden jedoch nur einen kleinen Anteil der Problematik. Längerfristig persistierende subklinische Mastitiden führen zu erheblichen Leistungsverlusten von 10 % und mehr (WORSTORFF, 1994; TESFAYE et al., 2010). Zusätzlich stellen derart erkrankte Tiere eine Infektionsquelle für die Herde dar.

Die Kuhzitze dient als Abflusskanal für die Milch, zugleich aber auch als Eintrittspforte für Krankheitserreger. Schon seit Jahren beschäftigen sich verschiedene Wissenschaftler mit dem Thema der Belastung der Kuhzitze durch das Melken und deren Auswirkungen auf die Eutergesundheit (ISAKSSON & LIND, 1992; ZECCONI et al., 1992; HAMANN & MEIN, 1996; HAMANN et al., 1996; ZECCONI et al., 2000; NAUMANN, 2001; NEIJENHUIS et al., 2001a).

Mit Hilfe verschiedener Verfahren wurden die Zitzenmorphologie dargestellt und ihre Veränderungen durch den maschinellen Milchentzug untersucht. Keine der bisherigen Messungen war in der Lage zu erklären, welche physiologischen oder pathophysiologischen Vorgänge zu den Veränderungen an der Zitze führen.

Die Color Angiographie ist ein Doppler-Sonographieverfahren, bei dem auf dem Bildschirm des Ultraschallgerätes ein Farbfenster über das B-Mode-Bild gelegt wird. Innerhalb dieses Farbfensters wird die Menge an fließenden Blutkörperchen in Blutgefäßen farblich kodiert dargestellt (RUBIN & ADLER, 1993; MARTINOLI et al., 1998a).

In der vorliegenden Arbeit werden die Beeinflussung der Durchblutung sowie die Veränderungen der Morphologie der Zitze von Milchkühen durch den maschinellen Milchentzug mittels Color Angiographie und B-Mode Sonographie untersucht. Ziel ist es, die Color Angiographie als Methode zur Untersuchung der Kuhzitze zu prüfen und mit ihrer Hilfe grundlegende Informationen über den Blutfluss in der Kuhzitze vor und nach dem Melken zu gewinnen. Aus den auftretenden Schwankungen des Blutflusses und der mittels B-Mode Sonographie

erfassten morphologischen Reaktionen, sollen Rückschlüsse bezüglich der Vorgänge innerhalb der Zitze und deren Beeinflussung durch das Melken gezogen werden.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- 1) Ist die Color Angiographie zur Messung der Blutflussdichte an der Kuhzitze geeignet?
- 2) Welche Veränderungen der Blutflussdichte sind in Zusammenhang mit dem Melken festzustellen?
- 3) Welche morphologischen Veränderungen der Kuhzitze sind in Zusammenhang mit dem Melken ultrasonographisch festzustellen?
- 4) Sind Zusammenhänge zwischen Blutflussdichte und morphologischen Parametern erkennbar?

## **II. LITERATURÜBERSICHT**

### **1. Anatomie und Physiologie der Rinderzitze**

Die rechte und linke kraniale Zitze des Rindes werden als Bauchzitzen, die beiden kaudalen als Schenkelzitzen bezeichnet. An der Zitze unterscheidet man die Zitzenkuppe, den Strich- oder Zitzenkanal, die Zitzenzisterne und die Zitzenbasis (HOSPES & SEEH, 1999). Das distale Ende der Zitze wird durch die Zitzenkuppe, in welcher sich die Strichkanalöffnung befindet, gebildet. An den Strichkanal schließt sich im Innern der Zitze die Zitzenzisterne (Pars papillaris) an. Die Drüsenzisterne (Pars glandularis) ist der proximale Bereich der Zisterne, welcher von Drüsengewebe umschlossen wird. In diesem Teil wird die Zisterne zum Teil von mit Schleimhaut überzogenen Gewebestegen durchzogen. Der Übergang zwischen den beiden Zisternenanteilen wird durch eine Ringfalte gebildet.

Die Zitzenbasis stellt den Übergang zwischen Euter und Zitze dar und beinhaltet den Fürstenberg'schen-Venenring.

#### **1.1. Aufbau der Zitzenwand**

Die Zitzenwand ist aus drei Schichten aufgebaut: der Haut, der Muskelbindegewebsschicht und der Zitzenschleimhaut. Die weitgehend unbehaarte Haut (Cutis) ist etwa ein bis zwei mm dick und besteht zu einem hohen Anteil aus elastischen Fasern. Durch diese elastischen Fasern wird eine große Dehnbarkeit des Gewebes gewährleistet. Da eine Subkutis im eigentlichen Sinn fehlt, ist die Haut im Gegensatz zu der im Bereich des Drüsenkörpers nicht von ihrer Unterlage abhebbar (HOSPES & SEEH, 1999).

Die Muskelbindegewebsschicht setzt sich aus kollagen-elastischem Bindegewebe und Muskelfasern zusammen. Die Muskelfasern verlaufen längs, quer (ELLENBERGER & BAUM, 1908 ; ZIEGLER & MOSIMANN, 1960) und radiär (CHRIST, 1905). Im Bereich der inneren Strichkanalmündung bildet die Muskelschicht, durch Zunahme des Muskelfaseranteils, einen kreisförmigen Schließmuskel (Musculus sphincter papillae). Die Muskelbindegewebsschicht stellt den größten Anteil der Zitzenwand dar.

Innerhalb der Muskelbindegewebsschicht, nahe der Schleimhaut, verläuft der venöse Schwellkörper, auf den später genauer eingegangen wird.

Die Schleimhaut (Mucosa) unterscheidet sich im Bereich des Strichkanals von der der Zitzen- und Drüsenzisterne. Sie besteht aus einem mehrschichtigen verhornten Plattenepithel, welches sich aus einem starken Stratum granulosum und Stratum corneum zusammensetzt (HOSPES & SEEH, 1999). Das Stratum lucidum fehlt (MICHEL et al., 1974; SCHULZ et al., 1974). An der inneren Strichkanalmündung bilden die Falten der Mucosa einen Kranz, die Fürstenberg'sche-Rosette.

In der Zitzen- und Drüsenzisterne ist die Schleimhaut dünner als im Strichkanal und besteht aus einem zweischichtigen Zylinderepithel (HOSPES & SEEH, 1999).

## **1.2. Lymphabfluss aus der Zitze**

Die Lymphe wird über ein subkutanes Lymphgefäßnetz zur Euterbasis transportiert und gelangt von hier aus über große oberflächliche Lymphgefäße zu den Euterlymphknoten (Lnn. mammarii), den Darmbeinlymphknoten (Lnn. iliaci mediales) oder dem jeweiligen Kniefaltenlymphknoten (Ln. subiliacus) (HOSPES & SEEH, 1999).

## **1.3. Gefäßversorgung des Euters**

### **1.3.1. Arterien**

Die arterielle Vaskularisation des Rindereuters erfolgt vor allem durch die Arteria (A.) pudenda externa. Daneben gibt es auch einige kleinere Zuflüsse aus der A. pudenda interna.

Nach Passage des Leistenspaltes tritt die A. pudenda externa von dorsal an die Euterbasis heran und teilt sich dort über der Schenkelzitze in eine vordere und hintere Euterarterie, A. mammaria cranialis et caudalis (NICKEL et al., 1997).

Häufig entlässt die A. pudenda externa einen hinteren Ast, den Ramus basalis caudalis, der Anteile der kaudodorsalen Euterabschnitte mit Blut versorgt.

Die Gefäßversorgung des Euters zeigt starke Variationen zwischen einzelnen Rindern (NICKEL et al., 1997).

Die A. mammaria cranialis zieht im Euterparenchym kranioventral und entlässt zunächst eine oder mehrere Aa. laterales sinus caudalis an den kraniolateralen Abschnitt des Schenkelviertels. Diese geben unterwegs zahlreiche Parenchymäste ab. Weiterhin entlässt die A. mammaria cranialis mehrere Aa. laterales sinus cranialis in den seitlichen Bereich des Bauchviertels. Kleinere Dorsaläste, von denen Verbindungsäste an die A. saphena und die A. circumflexa ilium profunda abgegeben werden, versorgen das Parenchym an der Basis des Bauchviertels.

Die A. mammaria caudalis nimmt ihren Verlauf kaudoventral im Schenkelviertel und gibt den Ramus basalis caudalis ab, vorausgesetzt dieser ist nicht aus der A. pudenda externa entsprungen. Durch Dorsaläste versorgt sie das Parenchym der Basis des Schenkelviertels. Mehrere Aa. laterales sinus caudalis ziehen in den ventrolateralen Bereich des Schenkelviertels. Dorsale Äste aus der Endaufteilung der A. mammaria caudalis stellen Anastomosen zum Ramus labialis dorsalis und mammarius der A. pudenda interna her.

Außer der A. mammaria cranialis und caudalis gibt es bei vielen Rindern auch noch die A. mammaria media, die aus der A. mammaria cranialis, der A. mammaria caudalis oder aus dem Teilungswinkel der A. pudenda externa in diese beiden Gefäße entspringen kann (NICKEL et al., 1997). Sie versorgt nach der Aufteilung in einen Ramus cranialis und einen Ramus caudalis die medialen Abschnitte des Bauch- und Schenkelviertels. Fehlt die A. mammaria media, werden diese Äste durch Äste der A. mammaria cranialis und caudalis ersetzt.

Der Ramus cranialis der A. mammaria media gibt mehrere Aa. mediales sinus cranialis für den Medialbereich des Bauchviertels ab. Er setzt sich im Ramus basalis cranialis media entlang der ventralen Bauchwand bis zur Regio umbilicalis fort. Aus dem Ramus caudalis entspringen mehrere Aa. mediales sinus caudalis, die unter anderem den medialen Bereich des Schenkelviertels mit Blut versorgen.

Zwischen Gefäßen derselben Seite kommen arterio-arterielle Anastomosen vor. Die arteriellen Querverbindungen zwischen den beidseitigen Rami basales caudales sind funktionell (NICKEL et al., 1997).

Die linksseitigen Eutergefäße sind meist stärker entwickelt als die der rechten Seite.

### **1.3.2. Venen**

Das von den Zitzen kommende Blut wird über die stark gewundenen Eutervenen, Vv. sinuum superficiales laterales an die Euterbasis herangeführt. Diese Venen verlaufen meist dicht unter der Hautoberfläche.

Im Inneren der Milchdrüse verlaufen die Venen parallel zu den gleichnamigen Arterien bauchwärts und treten an der Euterbasis in die V. mammaria cranialis und caudalis ein. Diese bilden durch Queranastomosen zusammen mit den Gefäßen der Gegenseite den Circulus venosus mammae. Von hier wird das Blut von der V. pudenda externa durch das Spatium inguinale in die V. pudendoepigastrica, durch die Schenkelspaltvene, V. labialis dorsalis und mammaria, kaudodorsal über den Sitzbeinausschnitt in die zur Beckenhöhle ziehende V. pudenda interna oder durch die V. epigastrica cranialis superficialis abgeführt (NICKEL et al., 1997). Von ihr gelangt das Blut über die V. epigastrica cranialis und die V. thoracica interna in die V. cava cranialis.

Nicht selten treten Anastomosen zwischen der V. epigastrica cranialis superficialis und der V. saphena auf.

Das Fassungsvermögen der Eutervenen ist etwa fünfzigmal größer als das der Arterien, wodurch die Blutflussgeschwindigkeit abnimmt und der Stoffaustausch innerhalb des Euters besser erfolgen kann (NICKEL et al., 1997).

## **1.4. Gefäßversorgung der Zitzen**

### **1.4.1. Arterien**

Die arterielle Blutversorgung der Zitzen erfolgt jeweils nur über eine Zitzenarterie, die A. papillaris. Diese A. papillaris kann jedoch von den verschiedensten Blutgefäßen abgezweigt werden. Sie kann bei der Schenkelzitze von einer der Aa. laterales sinus caudalis oder der A. caudalis sinus caudalis stammen. Die A. papillaris der Bauchzitze stammt aus einer der Aa. laterales sinus cranialis oder einer der Aa. mediales sinus cranialis.

Die A. papillaris kann lateral, kaudal oder medial in der Zitzenwand, je nachdem aus welcher Euterarterie, beziehungsweise (bzw.) aus welchem ihrer Äste sie hervorgeht, verlaufen (NICKEL et al., 1997). Sie liegt nahe der Innenfläche der Zitzenwand zwischen den größeren, stark verzweigten Venen, mit denen sie sich im distalen Zitzenbereich verbindet. Sie hat einen geraden Verlauf von der Basis

zur Zitzenspitze. Außer der A. papillaris sind noch weitere, feine Arterien vorhanden, die an die Haut herantreten. Die netzartige Verbindung dieser oberflächlichen Arterien kann im Bereich der Zitzenbasis einen arteriellen Gefäßring vortäuschen (NICKEL et al., 1997).

#### **1.4.2. Venen**

In den Zitzen liegt der Zitzenschwellkörper, Plexus venosus papillaris, der für die Erektionsfähigkeit der Zitze verantwortlich ist (HOSPES & SEEH, 1999). Aus diesem gelangt das Blut in die zahlreichen, dickwandigen, muskelstarken Zitzenvenen, Vv. papillares (NICKEL et al., 1997; HOSPES & SEEH, 1999). Diese Vv. papillares sind in mehreren Lagen in der Gefäßschicht der Zitzenwand miteinander anastomosierend angeordnet. Weiter fließt das Blut in den an der Zitzenbasis gelegenen Gefäßkranz, den Circulus venosus papillae oder auch Fürstenberg'schen-Venenring (NICKEL et al., 1997; HOSPES & SEEH, 1999). Dem Venenring folgen die Vv. sinuum superficiales laterales des Euters (NICKEL et al., 1997).

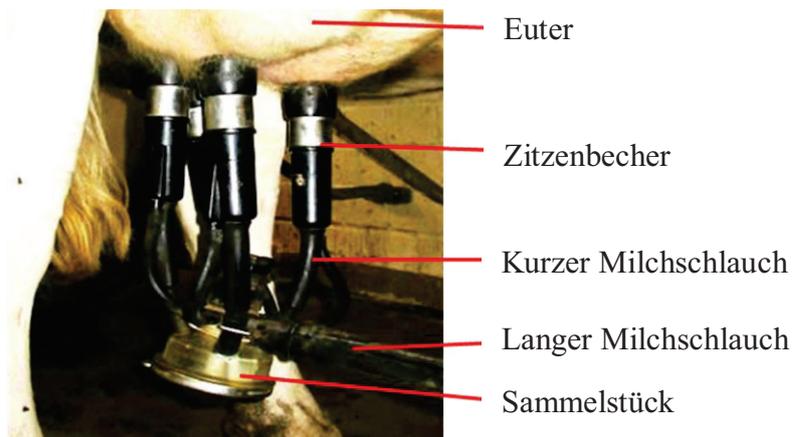
## **2. Belastung der Kuhzitzen durch maschinellen Milchentzug**

### **2.1. Aufbau und Funktionsweise von Melkanlagen**

Heute übliche Melkanlagen, die mit Unterdruck arbeiten, setzen sich aus den Melkzeugen, einer Vakuumpumpe, der Vakuumleitung, der Milchleitung und dem Milchabscheider, der Milchdruckleitung sowie dem Milchtank zusammen. Dazu kommt noch eine Spül- und Reinigungsanlage (DEININGER, 2001). Die Vakuumpumpe erzeugt ein Vakuum, welches über die Vakuumleitung zum Melkzeug gelangt. Das Melkzeug besteht aus vier Zitzen- oder Melkbechern sowie vier kurzen Milchschräuchen, einem Sammelstück und langem Milch- und langem Pulsschlauch (HAMANN, 1989) (Abb. 1).

Der Zweiraumzitzenbecher wird durch ein in die Melkbecherhülse eingezogenes Zitzenkummi in zwei Bereiche unterteilt. Der eine Bereich ist der Pulsraum, der andere der Zitzenkummiinnenraum. Im Zitzenkummiinnenraum besteht ein konstanter, durch ein Regelventil begrenzter Unterdruck. Im Gegensatz dazu wechselt der Druck im Pulsraum des Zitzenbeckers zwischen dem atmosphärischen Druck und dem eingestellten Vakuum (Betriebsvakuum). Liegt das Vakuum vor, ist der Zitzenkummi geöffnet und es kommt zum Milchausstrom

aus dem Strichkanal der Zitze (Saugphase). Liegt der atmosphärische Druck vor, dann ist der Zitzengummi kollabiert und der Strichkanal ist geschlossen (Ruhe- oder Entlastungsphase). Ein Pulszyklus setzt sich aus jeweils einer Saug- und Entlastungsphase zusammen. Die Länge der Saugphase wird in Prozent des Pulszyklus angegeben (HAMANN, 1989). Als Pulszahl wird die Anzahl der Pulszyklen pro Minute bezeichnet. Sie beträgt für den maschinellen Milchentzug bei Kühen üblicherweise 40 bis 60 Zyklen pro Minute (KRÖMKER, 2007).



**Abbildung 1: Melkzeug am Kuheuter**

Die Milch, die im Zitzenbecher gewonnen wird, gelangt in den kurzen Milchschauch und dann über das Sammelstück in den langen Milchschauch. Aus dem langen Milchschauch kommt die Milch in die Milchleitung. Die Milchleitung führt während des Melkens Milch und Luft und hat die doppelte Aufgabe, die Milch in den Milchabscheider zu transportieren und das Vakuum zu erzeugen. Aus dem Milchabscheider fließt die Milch über die Milchdruckleitung in den Milchtank, wo sie gesammelt wird (KRÖMKER, 2007).

## **2.2. Beeinflussung der Zitze durch maschinellen Milchentzug**

Die Kuhzitze dient als Abflusskanal für die Milch, zugleich aber auch als Haupteintrittspforte für euterpathogene Keime (ZECCONI et al., 2000). Während des maschinellen Milchentzugs wird das Zitzengewebe mechanisch beansprucht (HAMANN, 1989). Nachdem die Zitze zu Beginn des Melkakts eine Längsdehnung von etwa 33 bis 50 % erfahren hat, bleibt ihre Position dann über die gesamte Hauptmilchflussphase nahezu unverändert bestehen (MEIN et al., 1973). Diese Längsdehnung kann eine Permeabilitätserhöhung der Kapillarwände

verursachen, durch die es zu einer vermehrten Ansammlung von interstitieller Flüssigkeit kommt (GUYTON, 1976). Die Vakuumbreite nimmt von der Zitzenkuppe bis zur Zitzenbasis ab (MEJER, 1975; TOLLE & HAMANN, 1978), so dass die Zitzenkuppe während der Saugphase die größte Belastung erfährt. Während der Entlastungsphase wirkt ein seitlicher Druck auf die Zitzenkuppe ein und presst diese zusammen (THALHEIM & UHMANN, 1977). Bei einem Vakuum von 50 kPa wirkt ein Druck von 7 bis 12 kPa auf die Zitzenkuppe (WILLIAMS & MEIN, 1982).

In der Hauptmilchflussphase herrscht innerhalb der Zitzenzisterne während der Saugphase ein Druck von 3 bis 10 kPa, der mit nachlassender Füllung der Milchdrüse nahezu atmosphärischen Druck erreicht (THIEL & MEIN, 1977). Bei einer Vakuumbreite von 50 kPa ist während der Saugphase eine aktive Kontraktion der Zitze nicht mehr möglich, damit ist der Abtransport von Lymphe über die Lymphgefäße der Zitze gestört und es kommt innerhalb von etwa 30 Sekunden zu einer Ansammlung von Lymphflüssigkeit an der Zitzenkuppe (WILLIAMS & MEIN, 1982). Als Folge reduziert sich der Durchmesser des Strichkanals um ca. 30 % und die Milchflussrate nimmt ab (THOMPSON, 1978; WILLIAMS & MEIN, 1981; MEIN & WILLIAMS, 1984).

Kommt es während der Entlastungsphase zu einem Druck von ca. 10 kPa auf die Zitzenkuppe, so wird dadurch der Abtransport von venösem Blut und interstitieller Flüssigkeit zur Zitzenbasis ermöglicht (HAMANN, 1989). Gleichzeitig wird jedoch ein Zufluss arteriellen Blutes verhindert, da ein Klemmdruck von 10 kPa ungefähr dem diastolischen arteriellen Blutdruck entspricht (DUKES, 1955; WILLIAMS & MEIN, 1980). Wenn die Zitze sich wieder ausdehnen kann, kann es, im speziellen bei abnehmender Füllung der Milchdrüse, zu einem rückwärts gerichteten Druck kommen, über den Bakterien aus dem Melkzeug in die Zitze gelangen (RASMUSSEN et al., 1994).

Die Hauptmilchflussphase ist dann beendet, wenn der Druck in der Zitzenzisterne Atmosphärendruck erreicht (THOMPSON, 1977; MEIN, 1978), was eine deutliche Umfangsvermehrung der Venen zu Folge hat (HAMANN, 1989). Bei zunehmender Entleerung der Milchdrüse kann es zu Beginn einer Saugphase zum Aufbau eines dynamischen Unterdrucks innerhalb der Zitze kommen (BOTHUR & WEHOWSKY, 1978). Dieser Unterdruck entsteht durch hohe Milchflussgeschwindigkeiten innerhalb der Zitze, also wenn Milch in die fast

leere Zitze einfließt und gleichzeitig Milch durch den Strichkanal abgesaugt wird. Als Folge kann es zum Verschluss des Übergangs von Drüsen- und Zitzenzisterne kommen (THOMPSON, 1977), wodurch es zu einer Übertragung des Unterdrucks im Zitzengummiinnenraum auf die Zitzenzisterne kommt. Das führt zu einem Reibungsverlust zwischen Zitzenwand und Zitzengummi, so dass die Zitze tiefer in den Zitzenbecher eindringt (THIEL & MEIN, 1977). Wenn die Zitze tiefer in den Zitzenbecher rutscht, wird während der Entlastungsphase das Gewebe im Bereich der Zitzenbasis eingeschnürt, so dass Blut- und Lymphfluss unterbrochen sind (HAMANN, 1989). Nach verlängerten Melkzeiten und Blindmelkzeiten kann ein vermehrtes Vorkommen von Zitzenkuppenläsionen nachgewiesen werden (WALSER & WEISS, 1963; PETERSON, 1964; TOLLE & HAMANN, 1975; MEIN et al., 1983; OLNEY & MITCHELL, 1983). Sogar bei normalen Melkzeiten kann durch die Reizung der Haut eine Gefäßerweiterung hervorgerufen werden (KEIDEL, 1970). Auch Veränderungen der Hautfarbe (Rötungen, Hyperämien) wurden beobachtet (ESPE & CANNON, 1942; UDALL, 1947; HAPPEL, 1962; TOLLE & HAMANN, 1975) und Ödeme palpatorisch erfasst (PETERSON, 1964).

Außer den bereits durch einmaliges maschinelles Melken ausgelösten Gewebeveränderungen treten auch Gewebereaktionen an der Zitze auf, die durch mehrmaliges Melken hervorgerufen werden. Man nennt diese „kumulative“ Gewebereaktionen (HAMANN, 1989). Im distalen Zitzenbereich treten petechiale Blutungen, Hautwunden und Verhärtungen auf (WALSER, 1966; MEIN et al., 1983; WORSTORFF et al., 1983; MEIN & WILLIAMS, 1984). Im Bereich der äußeren Strichkanalöffnung kommt es zur Bildung von Hyperkeratosen (WALSER, 1966; MEIN et al., 1983; WORSTORFF et al., 1983; MEIN & WILLIAMS, 1984; NEIJENHUIS et al., 2000).

Mit dem Alter und der Anzahl der Laktationen verändert sich, auch in Abhängigkeit von dem verwendeten Melksystem, die Zusammensetzung des Zitzengewebes (HAMANN, 1989). So verdicken sich alle Epithelschichten der Zitze mit zunehmendem Alter. Zitzen, die noch nicht gemolken wurden, weisen deutlich dünnere zirkuläre Muskelschichten auf, als gemolkene, wobei hier das Melksystem keine Rolle spielt (SAHLIGER, 1977). Laktationsnummer und -stadium, Milchleistung, Euterviertel sowie Tages- und Jahreszeit der Untersuchung haben Einfluss auf die Morphologie der Zitze (KHOL et al., 2006).

Wird mit einem Verfahren ohne Pulsation gemolken, so treten vermehrt Mastitiden auf (HAMANN, 1985; CAPUCO et al., 1994). Die Keratinisierung des Strichkanals entspricht vor dem Melken der des Strichkanals einer mittels konventionellem Melkverfahren mit Pulsation gemolkenen Zitze (CAPUCO et al., 1994). Ein niedriges Vakuum zwischen 26 und 39 kPa hat keinen Einfluss auf die Eutergesundheit, führt aber bei hochleistenden Kühen zu einer Reduzierung der gewonnen Milchmenge (RASMUSSEN & MADSEN, 2000).

Die Zitze dient als wichtigstes Abwehrorgan gegen euterpathogene Keime und verhindert so Euterinfektionen (ZECCONI et al., 2000). Dabei stellt der Strichkanal mit seinem Schließmuskel eine mechanische Barriere dar (NAUMANN, 2001) und die Schleimhaut des Strichkanals verfügt über antimikrobielle Substanzen. Gelangen pathogene Keime durch den Strichkanal in die Zitze, so werden sie durch die Leukozyten, welche sich in der Zisternenmilch befinden bekämpft. Die Leukozyten opsonisieren die Bakterien und es kommt zur Lyse. Außerdem neutralisieren sie Toxine und verhindern eine Adhäsion an das Euter- und Zitzenngewebe. Innerhalb des Zitzenngewebes befinden sich besonders viele, Antikörper produzierende Plasmazellen (NICKERSON, 1985). Die durch das Melken ausgelösten lokalen metabolischen Störungen können die Effektivität der Immunmechanismen der Zitze herabsetzen (ZECCONI et al., 2000).

### **3. Erfassung der Auswirkungen der Zitzenbelastung**

Der Versuch, die Zitzenbelastung und die daraus resultierenden Veränderungen an der Zitze sowie deren Auswirkungen auf die Eutergesundheit zu messen, wurde schon mehrfach unternommen. Dieses Kapitel soll einen Überblick über verschiedene Untersuchungsmethoden an der Zitze liefern. Die Sonographie wird genauer betrachtet, da sie in der vorliegenden Studie eingesetzt wurde.

#### **3.1. Mechanische Verfahren**

Für die Erfassung der Längsdehnung der Zitze während des Melkakt es wurden transparente Melkbecher zu Hilfe genommen (MEJER, 1975; RABOLD et al., 1977). Für eine orientierende Bestimmung der Zitzenlänge vor und nach dem Melken wurden Schieblehren verwendet (HAMANN, 1989).

Um Schlüsse auf die Belastung der Zitze durch verschiedene Melksysteme zu ziehen, wurde mit Hilfe eines modifizierten Kutimeters, welches für gewöhnlich

der Hautfaltendickenmessung bei der Tuberkulinprobe dient, die Festigkeit der Zitzenkuppe vor und nach dem Melken gemessen. Diese Messungen wurden bei Kühen durchgeführt, die mit verschiedenen Melksystemen und Vakuumhöhen gemolken wurden. Die Untersuchung der Festigkeit der Zitzenkuppe wurde in Kombination mit einem Infektionsversuch mit euterpathogenen Keimen und einer gleichzeitigen Messung der Zitzenhauttemperatur durchgeführt (HAMANN, 1985). Die Zitzenhauttemperatur direkt nach dem Melken scheint demnach einen geringeren Einfluss auf eine Neuinfektion zu haben, als die Zitzenkuppenfestigkeit. In späteren Versuchen, bei denen die Schwankungen der Zitzenkuppenfestigkeit mit Hilfe eines modifizierten Kutimeters untersucht wurden, traten bei Zitzenkuppenfestigkeitsschwankungen von mehr als fünf Prozent gehäuft Mastitiden auf (HAMANN & MEIN, 1996; HAMANN et al., 1996). Die Besiedelung des Strichkanals mit Keimen nahm bei derartigen Schwankungen der Zitzenkuppenfestigkeit ebenfalls zu (ZECCONI et al., 1992). In einer Feldstudie wurden diese Ergebnisse bestätigt (ZECCONI et al., 2000). Durch eine weitere Feldstudie wurde ausschließlich bei Kühen mit einer Zunahme der Zitzenkuppenfestigkeit von mehr als fünf Prozent, nicht aber bei einer Abnahme, eine signifikante Häufung an Infektionen und Neuinfektionen nachgewiesen. Eine signifikante Infektionshäufung mit Koagulase negativen Staphylokokken trat sowohl bei Zunahme, als auch bei Abnahme der Zitzenkuppenfestigkeit um mehr als fünf Prozent auf (ZECCONI et al., 1996).

Dagegen konnte in einer Studie, in der die Zitzenkuppenfestigkeitmessung mittels modifiziertem Kutimeter zuerst direkt vor, während und nach dem Melken, anschließend nur direkt vor und nach dem Melken durchgeführt wurde, kein erhöhtes Infektionsrisiko festgestellt werden (ISAKSSON & LIND, 1992).

### **3.2. Röntgentechnik**

Die Röntgentechnik wurde angewandt, um die Längenveränderungen der Zitze während der einzelnen Melkphasen darzustellen (MEIN et al., 1973) und die Veränderungen des Strichkanaldurchmessers nach dem Melken zu verfolgen (MCDONALD, 1975). Dabei stellte MCDONALD (1975) fest, dass der Strichkanal bis etwa zwei Stunden nach dem Melken erweitert ist, und durch weite Strichkanäle eine bakterielle Besiedlung von Strichkanal und Zitzenzisterne begünstigt wird. Weiterhin war über die Röntgenanalyse in Kombination mit speziellen Sensoren auch eine radiäre Dehnung des Zitzengewebes von 30 bis

35 % bei einem Vakuum von 50 kPa darstellbar (REITSMA, 1977). Diese ist bei den Bauchzitzen stärker ausgeprägt, als bei den Schenkelzitzen (HAMANN, 1989). Für die Durchführung der radiologischen Untersuchung der Zitze wird ein Kontrastmittel in das Euter infundiert. Deswegen ist diese Technik aufwendig und entspricht nicht den physiologischen Bedingungen (NEIJENHUIS et al., 2001a).

### **3.3. Klassifizierung der Hyperkeratosen**

Die hyperkeratotischen Veränderungen an der Zitzenkuppe wurden auf verschiedene Weise eingeteilt (SIEBER, 1980; NEIJENHUIS et al., 2000), und es wurde ein Verfahren zur Klassifizierung von Zitzenkuppenhyperkeratosen entwickelt (NEIJENHUIS et al., 2000). Auch der Zusammenhang zwischen Zitzenkuppenhyperkeratosen und dem Auftreten klinischer Mastitiden wurde untersucht und beschrieben (NEIJENHUIS et al., 2001b). Bei Kühen mit klinischen Mastitiden ist bereits drei Monate vor dem Ausbruch, sowie während und zwei Monate danach, eine vermehrte Keratinisierung des äußeren Strichkanals festzustellen (NEIJENHUIS et al., 2001b).

### **3.4. Sonographie**

Die Darstellung von biologischen oder medizinischen Strukturen mit Hilfe von hochfrequenten Schallwellen (Ultraschall) wird im deutschsprachigen Raum uneinheitlich als Ultraschalldiagnostik, Sonographie oder Echographie bezeichnet. Sie basiert auf dem Phänomen der Reflexion (POULSEN NAUTRUP, 2007).

#### **3.4.1. Physikalische Grundlagen der Sonographie (Ultraschall)**

Die Ausbreitung einer Schwingung wird Welle genannt (HARMS, 1992). Diese Schwingung ist eine, durch Erregung ausgelöste Zustandsänderung von Materie, bei der Teilchen sich abwechselnd enger zusammen und weiter auseinander bewegen (POULSEN NAUTRUP, 2007). Diese Verdichtung und Verdünnung der Teilchen findet um einen Ruhepunkt herum statt und setzt sich wellenförmig fort. Bei der Fortbewegung der Welle wird nicht die Materie vorwärtsbewegt, sondern ausschließlich Energie weitergegeben. Die Geschwindigkeit dieser Weitergabe hängt von dem Stoff ab, in dem sich die Welle ausbreitet und führt somit zu einer charakteristischen Ausbreitungsgeschwindigkeit für das jeweilige Medium (POULSEN NAUTRUP, 2007).

Im Falle von Ultraschall handelt es sich um Schallwellen in einem Frequenzbereich zwischen 0,02 MHz und 100 MHz. In der medizinischen Diagnostik werden Frequenzen zwischen 1 und 10 MHz, in Sonderfällen auch bis zu 20 MHz eingesetzt (POULSEN NAUTRUP, 2007). Die Erregung wird durch Ultraschall ausgelöst und führt zu elastischen Wellen; in der medizinischen Ultraschalldiagnostik werden ausschließlich Longitudinalwellen (Wellen deren Amplitude sich in Ausbreitungsrichtung befindet) benutzt.

Eine Wellenlänge ( $\lambda$ ) setzt sich aus einer Phase der Teilchenverdichtung und einer Phase der Teilchenverminderung zusammen und verhält sich umgekehrt proportional zur Frequenz ( $f$ ), also den Schwingungen pro Zeiteinheit.

$$\lambda \sim 1/f \quad \lambda = c/f \quad \text{oder} \quad c = \lambda \cdot f$$

$\lambda$ : Wellenlänge,  $f$ : Frequenz,  $c$ : Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle

Die Wellenlängen lassen sich aus dieser Gleichung berechnen und liegen in der medizinischen Diagnostik zwischen 1,5 und 0,15 mm (bei Frequenzen von 1 bis 10 MHz und einer mittleren Schallgeschwindigkeit von 1540 m/s in Weichgeweben) (POULSEN NAUTRUP, 2007).

Durch vermehrte Energiezufuhr kommt es zu einer Vergrößerung der Amplitude, welche bei der Real-Time-Sonographie zu einer hellen Darstellung auf dem Monitor führt.

Die Eigenschaft von Gewebe Ultraschallwellen zu reflektieren und zu streuen, so dass entsprechende Echos auf dem Monitor sichtbar werden, ist die Grundlage der Bildgebung in der Ultraschalltechnik und wird als Echogenität bezeichnet. Akustische Grenzflächen sind Gebiete, wo Stoffe mit unterschiedlichem Schallwellenwiderstand aneinander liegen. Der Schallwellenwiderstand, auch akustische Impedanz genannt, wird durch die Materialeigenschaften, die einer Schallausbreitung entgegenwirken verursacht. Der Schallwellenwiderstand ( $Z$ ) entspricht dem Produkt aus Materiedichte ( $\rho$ ) und Schallwellengeschwindigkeit ( $c$ ) (POULSEN NAUTRUP, 2007):

$$Z = \rho \cdot c$$

$Z$ : Schallwellenwiderstand,  $\rho$ : Dichte,  $c$ : Schallwellengeschwindigkeit

Trifft eine Schallwelle auf eine akustische Grenzfläche, so kann sie reflektiert werden. Liegt ein Eintrittswinkel von  $90^\circ$  vor, so werden die reflektierten Wellen

um  $180^\circ$  zurückgeworfen und können durch den Schallkopf, auch Transducer genannt, registriert werden. Die nicht reflektierten Schallwellen transmittieren in das neue Medium und setzen hier ihren Weg ohne Brechung fort. Ist der Aufttrittswinkel kleiner als  $90^\circ$ , so kommt es ebenfalls zu einer Reflexion der Schallwellen, aber der Winkel ist so verschoben, dass viele der reflektierten Schallwellen den Schallkopf nicht erreichen. Die nicht reflektierten Schallwellen werden an der akustischen Grenzfläche gebrochen und setzen ihren Weg so mit veränderter Richtung fort. Dieses Phänomen führt dazu, dass nur senkrecht getroffene Grenzflächen im Ultraschallbild bezüglich ihrer Dicke und Echogenität sicher beurteilt werden können (POULSEN NAUTRUP, 2007).

Treffen Ultraschallwellen auf sehr kleine, geneigte oder sehr unregelmäßige Grenzflächen, so kommt es zu einer Streuung der Schallwellen. Zusätzlich wird ein Teil der Energie innerhalb der Materie in Wärme umgewandelt (Absorption). Treffen Schallwellen auf Randbereiche von stark absorbierenden Stoffen, so werden sie in den Schallschatten hineingebeugt. Solche Beugung findet z.B. an runden Organen statt und führt so zu einem divergierenden Schallschatten (POULSEN NAUTRUP, 2007).

### **3.4.2. Technische Grundlagen der Sonographie**

Ultraschallwellen werden von in Schwingung versetzten, piezoelektrischen Kristallen erzeugt. Diese Schwingung wird durch hochfrequente Wechselfspannung ausgelöst. Die Echos der Ultraschallwellen treffen mit derselben Frequenz wieder am Ausgangsort ein und werden hier (im B-Mode (B: englisch für brightness = Helligkeit und mode: englisch für Methode)) zum Aufbau eines Bildes verwendet (FLÜCKIGER, 1997), denn die reflektierten Ultraschallwellen erzeugen ihrerseits in dem Kristall messbare Wechselfspannung. Der Kristall im Schallkopf ist also gleichzeitig Sender und Empfänger (POULSEN NAUTRUP, 2007). Die reflektierenden Gewebegrenzflächen werden im B-Mode als Punkte unterschiedlicher Helligkeit auf einem Bildschirm dargestellt. Bedingt durch ihre unterschiedliche Reflexion erscheinen unterschiedliche Gewebe in unterschiedlichen Grautönen.

### **3.4.3. Einteilung der B-Bildverfahren**

Zu den B-Bildverfahren gehören in Abhängigkeit von der Art des entstehenden Bildes ein- und zweidimensionale Methoden (POULSEN NAUTRUP, 2007). Zusätzlich kann man die B-Bildverfahren auch in Aufzeichnungs- und Real-Time-Verfahren (real-time: englisch für Echtzeit) unterscheiden (POULSEN NAUTRUP, 2007).

#### **3.4.3.1. Eindimensionale B-Bildverfahren**

Heute wird vor allem noch das TM- oder M-Mode in der Medizin und hier im speziellen in der Kardiologie genutzt (POULSEN NAUTRUP, 2007). Die Abkürzung TM steht dabei für Time Motion (time: englisch für Zeit, motion: englisch für Bewegung). Es handelt sich dabei um ein Real-Time-Verfahren, bei dem die Abtastung des Gewebes auf einer Linie erfolgt. Empfangene Ultraschallsignale werden als vertikale Bildzeile auf einem Monitor oder einem Papierstreifen in unterschiedlichen Grautönen dargestellt. Während in Y-Achsen-Richtung die durch den Ultraschallstrahl getroffenen Grenzflächen abgebildet werden, ist ihre eventuelle zeitliche Form- oder Lageänderung an dem waagerechten Verlauf der TM-Mode-Kurve in X-Achsen-Richtung abzulesen (POULSEN NAUTRUP, 2007). Somit handelt es sich um ein Struktur-Zeit-Diagramm welches sich vor allem zur Untersuchung von bewegten Strukturen und Bewegungsabläufen anbietet (POULSEN NAUTRUP, 2007).

#### **3.4.3.2. Zweidimensionale B-Bildverfahren**

Sowohl das Compound-Verfahren (compound: englisch für zusammensetzen), als auch das Zweidimensionale Real-Time-Verfahren sind Zweidimensionale B-Bildverfahren (POULSEN NAUTRUP, 2007).

##### **3.4.3.2.1. Compound-Verfahren**

Bei dem Compound-Verfahren werden die Schallreflexionen, wie beim TM-Mode, als vertikale Linie dargestellt. Durch definierte Bewegungen über den Untersuchungsbereich kommt es zu einer Zusammensetzung der eindimensionalen Echogramme und so zu der Erstellung eines zweidimensionalen Bildes (POULSEN NAUTRUP, 2007).

Das Compound-Verfahren besitzt heute keine diagnostische Bedeutung mehr (POULSEN NAUTRUP, 2007).

### **3.4.3.2.2. Zweidimensionales Real-Time-Verfahren**

Das Real-Time-Verfahren beruht auf der Verkürzung der Aufzeichnungszeit, so dass innerhalb von einer Sekunde mehr als 50 zweidimensionale Bilder auf dem Monitor entstehen können, wobei das Scannen (to scan: englisch für abtasten) des Untersuchungsbereichs hier mechanisch oder elektronisch erfolgt. Die zweidimensionale Real-Time-Ultraschalluntersuchung, die Sonographie im engeren Sinne, ist die Methode der Wahl im Rahmen der heutigen echographischen Diagnostik (POULSEN NAUTRUP, 2007).

### **3.4.4. Nutzung der Sonographie zur Untersuchung der Zitzenbelastung**

Die Ultraschalltechnik wurde eingesetzt um Veränderungen der Zitzenwand (HAMANN, 1989) sowie ihre gewebliche Zusammensetzung zu untersuchen (WORSTORFF, 1983). Die anatomischen Strukturen wurden mittels Sonographie dargestellt (CARTEE et al., 1986) und die Zitzen verschiedener Rinderrassen auf anatomische Unterschiede sowie deren Einfluss auf die Eutergesundheit untersucht (KLEIN et al., 2005). Zitzen mit langem, engem Strichkanal erwiesen sich als vorteilhaft für die Eutergesundheit. Die Reaktionen des Euters auf zwei verschiedene Melksysteme sowie der Einfluss von Faktoren wie Rasse, Laktationsnummer und Jahreszeit auf die Zitzenmorphologie wurden ebenfalls mittels Ultraschall untersucht (KHOL et al., 2006). Um Veränderungen der Zitzenstrukturen, wie die Länge des Strichkanals, die Dicke der Zitzenwand sowie den Durchmesser der Zitzenzisterne zu bestimmen, wurden Ultraschallmessungen an der Kuhzitze vor und nach dem Melken durchgeführt (NAUMANN, 2001; NEIJENHUIS et al., 2001a). In diesen Studien kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass die Zitzenkuppe sich während des Melkens leicht verdickt und die Strichkanallänge sowie die Zitzenwandstärke zunehmen.

## **4. Verfahren zur Untersuchung des Blutflusses**

### **4.1. Temperaturmessung**

Ein indirektes Verfahren zur Messung des Blutflusses in der Zitze stellt die Untersuchung der Zitzentemperatur mittels Infrarot-Thermographie dar (HAMANN, 1984; NEIJENHUIS et al., 2001a). Ein Anstieg der Temperatur wird durch eine vermehrte Durchblutung hervorgerufen (HAMANN, 1984). Die Thermographie eignet sich gut, um kurz- und längerfristige, durch das Melken hervorgerufene Beeinflussungen der Zitze zu untersuchen. Mittels Thermographie

wird ein deutlicher Anstieg der Temperatur nach dem Melken gemessen (PAULRUD et al., 2005). Die Thermographie kann aber nur die Hauttemperatur, nicht die Temperatur und damit die Durchblutung des Gewebes innerhalb der Zitze widerspiegeln (MAYNTZ & ALMGREN, 1985).

#### **4.2. Impedanz-Messung**

Die Messung der Impedanz basiert auf der Entdeckung der elektrischen Plethysmographie. Mit diesem Verfahren können Mengenunterschiede der Extra- und Intrazellulärflüssigkeit, sowie der intravaskulären Flüssigkeit gemessen werden. Um die Zitzenkongestion zu bestimmen, wurde eine 4-Elektroden-Impedanz-Messung durchgeführt (MAYNTZ & ALMGREN, 1985). Das Verfahren wurde bisher nur an der Zitzenkuppe durchgeführt (MAYNTZ & ALMGREN, 1985). Dieses Verfahren ist mit sehr großem Aufwand verbunden und daher nur schwer durchführbar (NEIJENHUIS et al., 2001a).

#### **4.3. Dopplersonographie**

##### **4.3.1. Physikalische Grundlagen: Dopplereffekt**

1842 beschrieb der österreichische Naturwissenschaftler Christian Johann Doppler, dass Sterne, welche sich bewegen, je nach Bewegungsrichtung verschiedenfarbiges Licht ausstrahlen. Doppler wusste, dass die Farbe des Lichts von der Wellenfrequenz abhängt und kam so zu dem Schluss, dass die Wellenfrequenz sich ändert, wenn Sender und Empfänger sich relativ zueinander bewegen. Kommen Sender und Empfänger aufeinander zu, wird die Frequenz höher, entfernen sie sich voneinander, sinkt die Frequenz. Dieses Phänomen wurde nach seinem Entdecker als Dopplereffekt benannt (BAUMGARTNER, 1998).

Der Dopplereffekt gilt für jedwede Form von Wellen, also auch für Ultraschallwellen. Dabei ist das Ausmaß der Frequenzänderung abhängig von der Geschwindigkeit mit der sich der Sender und der Empfänger relativ zueinander bewegen (TRAUTWEIN et al., 1986).

Wird der Schall zwischen einer ruhenden Quelle und einem ebenfalls ruhenden Empfänger von einem bewegten Reflektor reflektiert, tritt eine Frequenzverschiebung um den doppelten Betrag auf. Dies kann man sich in der Ultraschalldiagnostik bei der Untersuchung des Blutflusses zunutze machen, da

die ausgesandten Ultraschallwellen von den Membranen der im Gefäß strömenden Blutkörperchen reflektiert werden (DUDWIESUS et al., 1993).

#### 4.3.2. Grundlagen der Dopplersonographie

Wie unter 3.4.1. beschrieben, werden Ultraschallwellen an akustischen Grenzflächen teilweise reflektiert (POULSEN NAUTRUP, 2007). Handelt es sich dabei um sich bewegende Grenzflächen, z.B. die Membranen der durch ein Blutgefäß strömenden Blutkörperchen, so werden die Schallechos mit einer veränderten Frequenz reflektiert. Diese Frequenzverschiebung wird als sogenannter „Dopplershift“ bezeichnet (DUDWIESUS et al., 1993; MARSAL, 1993; POULSEN NAUTRUP, 2007).

Der „Dopplershift“ kann nach folgender Formel errechnet werden:

$$f(d) = \frac{2f \times v \times \cos \alpha}{c}$$

*f(d) = Frequenzverschiebung*

*f = Sendefrequenz des Schallkopfes*

*v = Geschwindigkeit des Reflektors*

*(hier: Membranen der strömenden Blutkörperchen)*

*α = Winkel zwischen dem Ultraschallstrahl und der Richtung*

*des Blutflusses*

*c = Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschalls im Weichteilgewebe*

*(ca. 1540 m/s)*

Wenn die Sendefrequenz  $f$ , der Winkel  $\alpha$  und die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  konstant sind besteht also zwischen der Frequenzverschiebung  $f(d)$  und der Geschwindigkeit  $v$  eine proportionale Abhängigkeit.

Wenn der Winkel zwischen Dopplerstrahl und Blutgefäß größer als  $60^\circ$  ist, kann keine sichere Aussage mehr über die Strömungsgeschwindigkeit getroffen werden (DEANE, 1995; POULSEN NAUTRUP, 2007).

### 4.3.3. Dopplerverfahren

Mit Hilfe der konventionellen Dopplerverfahren werden drei Parameter bestimmt:

- 1) das Frequenzspektrum, d. h. die unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten und –richtungen der Blutkörperchen,
- 2) das Volumen des mit der jeweiligen Geschwindigkeit strömenden Blutes,
- 3) die zeitliche Änderung der Blutströmungsgeschwindigkeit (POULSEN NAUTRUP, 2007).

Die Fließgeschwindigkeit der Flüssigkeitsschichten nimmt meistens von der Gefäßwand zum Zentrum des Blutgefäßes hin zu (SPÖRRI, 1987), das bedeutet der registrierte Dopplershift stellt nicht eine einzelne Frequenz, sondern ein Frequenzspektrum dar. Der Dopplershift kann als Geräusch wiedergegeben werden. Bei einem kleinen Frequenzspektrum tritt ein Pfeifen auf und je größer das Spektrum wird, desto mehr entwickelt sich das Geräusch zum Rauschen (POULSEN NAUTRUP, 2007). Um zu verhindern, dass das Dopplerverfahren die Bewegungen der Gefäßwand wiedergibt, kann ein Hoch-Pass-Filter eingesetzt werden (EIK-NES et al., 1984), der aber so niedrig wie möglich eingestellt werden sollte, um nicht durch das Unterdrücken von geringen Blutflussgeschwindigkeiten einen enddiastolischen Nullfluss vorzutäuschen (CHAOUI et al., 1989).

#### 4.3.3.1. Kontinuierliches Dopplerverfahren (Continuous-Wave-Doppler)

Bei dem Kontinuierlichen Dopplerverfahren (CW-Doppler) werden durch einen piezoelektrischen Kristall kontinuierlich Ultraschallwellen gesendet und durch einen zweiten Kristall die reflektierten Wellen empfangen. Mit diesem Verfahren können sehr hohe Blutflussgeschwindigkeiten dargestellt werden. Ein Nachteil ist die fehlende Tiefenselektion, es werden also Frequenzänderungen aller Blutgefäße im Bereich des Ultraschallstrahls überlagert (MARSAL, 1993). Die Empfangenen Geschwindigkeitsdaten werden auf der Y-Achse, die Zeitdaten auf der X-Achse in schwarz-weiß dargestellt. Die Blutströmungen auf den Schallkopf zu befinden sich oberhalb der Nulllinie, die vom Schallkopf weg unterhalb der Nulllinie (POULSEN NAUTRUP, 2007).

#### 4.3.3.2. Gepulstes Dopplerverfahren (Pulsed-Wave-Doppler)

Das Gepulste Dopplerverfahren (PW-Doppler) benötigt nur einen piezoelektrischen Kristall. Von diesem werden die Ultraschallwellen ausgesendet und alternierend die reflektierten Wellen empfangen. Empfangen werden nur die Signale, die nach einer vorgegebenen Zeitspanne eintreffen. So wird die Entfernung zu dem zu untersuchenden Gefäß in die Messung mit einbezogen und es kommt nicht zu einer Überlagerung der Messwerte von verschiedenen Gefäßen. Der PW-Doppler arbeitet also tiefenselektiv und kann so für die Untersuchung von Einzelgefäßen benutzt werden (DUDWIESUS et al., 1993). Die Einstellung der Entfernung bestimmt die Pulsrepetitionsrate (pulse repetition frequency = PRF), die die Häufigkeit der gesendeten Signale angibt. Die PRF muss mindestens doppelt so groß sein, wie die Dopplerfrequenz, damit die Wellenform exakt aus den einzelnen Impulsen rekonstruiert werden kann (Nyquist-Grenze) (BAUMGARTNER, 1998). Da die Reflexion an sich bewegenden Blutkörperchen nicht kontinuierlich stattfindet, kommen an der Ultraschallsonde nur kurze Signale an. Sind die Abstände zwischen den Signalen zu groß, kommt es zu einem Stroboskop-Effekt, der in der Dopplertechnik als „Aliasing-Phänomen“ bezeichnet wird. Aus diesen Punkten ergibt sich eine Einschränkung auf eine maximal detektierbare Geschwindigkeit. Die Darstellung der empfangenen Signale erfolgt wie beim CW-Doppler (POULSEN NAUTRUP, 2007).

#### 4.3.3.3. Duplexverfahren

Bei einem Duplexdopplerverfahren handelt es sich um eine Kombination aus einem Ultraschall-B-Mode und einem Doppler. Während bei einem mechanischen Duplexsystem entweder der Dopplerbetrieb oder der Schnittbildbetrieb gewählt werden kann, ist bei einem elektronischen System beides gleichzeitig einsetzbar, da eine Vielzahl von piezoelektrischen Kristallen verwendet werden, die sowohl für das B-Mode als auch für den Dopplerbetrieb zur Verfügung stehen (BAUMGARTNER, 1998). Durch die genaue Lokalisation eines Gefäßes im B-Mode, die Ausrichtung des Dopplers auf das Gefäß und die Registrierung der Blutströmungskurve ist eine exakte Messung des Blutflusses möglich (PENSEL & WARNKING, 1993).

#### 4.3.3.3.1. Farbkodiertes Dopplerverfahren

Die Farbdopplersonographie (Color Doppler) bietet die Möglichkeit über das Bild im B-Mode im Duplexsystem ein Farbfenster zu legen. Dieses Farbfenster kann in Größe und Position variiert werden. Innerhalb dieses Fensters werden Bewegungen nach ihrer Richtung farblich kodiert. In der Regel wird ein Gefäß, in dem das Blut auf den Dopplerstrahl zuströmt rot, ein Gefäß dessen Blut in die andere Richtung fließt, blau dargestellt (POULSEN NAUTRUP, 2007). Die Farbe wird umso heller, je höher der Dopplershift ist (DEANE, 1995) und kann so auch zur Darstellung von Turbulenzen innerhalb des Herzens oder in Gefäßen angewandt werden (POULSEN NAUTRUP, 2007). Auch beim farbkodierten Dopplerverfahren sind die Nyquist-Frequenz und das Aliasing-Phänomen zu beachten.

Außer der Anwendung am Herz von Tieren wurde das Color Dopplerverfahren unter anderem zur Darstellung des Blutflusses der Arteria uterina (BOLLWEIN et al., 1998) und der Arteria ovarica (BÜHLMAYER, 1999; WOSCHÉE, 1999), des uterinen Blutfluss in der Frühgravidität (BOLLWEIN et al., 2003b), der Veränderungen des uterinen Blutflusses durch Applikation verschiedener Samenpräparate (BOLLWEIN et al., 2003a) sowie weiterer Untersuchungen am Uterus von Stuten verwendet (BOLLWEIN et al., 2004a, 2004b, 2004c). Bei Hengsten wurde das Color-Dopplerverfahren zur Untersuchung des Blutflusses der Hoden genutzt (SCHEIBENZUBER, 2005; BOLLWEIN et al., 2008). An Kühen wurden Messungen mittels Color Dopplerverfahren unter anderem für die Untersuchung der uterinen Blutversorgung (BOLLWEIN et al., 2000; KÖRTE, 2007; KRUEGER et al., 2009) sowie der ovariellen Blutversorgung und deren praktische Nutzung in der Bestandsbetreuung (MATSUI & MIYAMOTO, 2009) durchgeführt. Ebenfalls an Kühen wurden der Zusammenhang zwischen ovarieller Blutversorgung und equinem Choriongonadotropin (eCG) (HONNENS et al., 2009) und die uterine Blutversorgung in den ersten drei Trächtigtkeitswochen untersucht (HONNENS et al., 2008). Eine Untersuchung des Durchmessers sowie des Blutflusses der Eutervene vor und nach Sedation ergab, dass nur geringe Unterschiede von Durchmesser und Blutflussgeschwindigkeit zwischen sedierten und nicht sedierten Tieren bestanden, aber ein großer Unterschied zwischen den einzelnen Tieren (BRAUN & HOEGGER, 2008).

Die verschiedenen Sonographie- und Dopplersonographie-Verfahren werden in Tabelle 1 miteinander verglichen.

#### **4.3.3.3.2. Color Angiographie**

Die Color Angiographie, auch Power-Doppler, Ultraschall Angiographie, Color Doppler Energy, Color Power Doppler und Color Amplitude Imaging genannt, ist ebenfalls ein farbkodiertes Dopplerverfahren (MARTINOLI et al., 1998a) und basiert auf den Prinzipien des PW-Dopplers. Wie bei dem herkömmlichen Color Dopplerverfahren handelt es sich bei der Color Angiographie um ein Duplexverfahren, bei dem ein Farbfenster über das B-Mode-Bild gelegt wird. Auch hier ist das Farbfenster in seiner Größe und Form variabel. Im Gegensatz zu dem herkömmlichen Color Doppler wird aber die Stärke des Dopplersignals und nicht Richtung und Geschwindigkeit wiedergegeben (RUBIN & ADLER, 1993; BABCOCK et al., 1996; MARTINOLI et al., 1998a; MARTINOLI et al., 1998b). Es wird also nicht die Geschwindigkeit der durch ein Gefäß fließenden Blutkörperchen, sondern die Menge an Blutzellen über Farbpixel dargestellt (MARTINOLI et al., 1998b). Die Darstellung erfolgt farbkodiert, mit einem Spektrum von dunkelrot für ein schwaches Signal bis hellgelb für ein starkes (MARTINOLI et al., 1998a). Je mehr Farbpixel ein Organ aufweist, desto besser ist es durchblutet (BOLLWEIN et al., 2005). Dieses Verfahren hat eine drei Mal höhere Sensitivität bei der Sichtbarmachung des Blutflusses als herkömmliche Verfahren (BABCOCK et al., 1996). Es ist weitgehend winkelunabhängig und das Aliasing-Phänomen tritt nicht auf (BABCOCK et al., 1996; MARTINOLI et al., 1998a).

Die Color Angiographie wird vor allem für die Darstellung der Durchblutung in schwach durchbluteten Organen, zur Darstellung von Infarktgebieten, von inflammatorischer Hyperämie sowie der irregulären Durchblutung in Tumoren genutzt (BABCOCK et al., 1996; MARTINOLI et al., 1998a). In der Veterinärmedizin wurde sie bereits benutzt, um den Blutfluss innerhalb von Corpora lutea (BAUMGARTNER, 1998; BOLLWEIN et al., 2005; BOLLWEIN et al., 2010) und Follikeln (RAUCH et al., 2008; JORDAN et al., 2009; BOLLWEIN et al., 2010) von Kühen darzustellen.

**Tabelle 1: Vergleichende Zusammenfassung der verschiedenen sonographischen Methoden und Dopplerverfahren nach Leistungsfähigkeit, Vor- und Nachteilen sowie hauptsächlichlichen Anwendungsgebieten (POULSEN NAUTRUP, 2007)**

	<b>TM-Mode</b>	<b>Zweidimensionale Real-Time-Sonographie</b>	<b>CW-Dopplerverfahren</b>
<b>Leistung</b>	Darstellung der Morphologie	Darstellung der Morphologie	Darstellung der Blutströmung qualitativ und quantitativ
<b>Vorteile</b>	Beurteilung der zeitlichen Veränderungen von Strukturen Darstellung auch von schlecht anschallbaren Bereichen	Beurteilung der physiologischen sowie pathologischen Gewebe- und Organmorphologie topographische Betrachtung durch Schmittebenendarstellung Darstellung auch von schlecht anschallbaren Bereichen	Darstellung von unbegrenzt hohen Blutfließgeschwindigkeiten Beurteilung der hämodynamischen Bedeutung von pathologischen Veränderungen wie Stenosen, Insuffizienzen oder Gefäßobstruktionen Darstellung auch von schlecht anschallbaren Bereichen
<b>Nachteile</b>	keine Beurteilung von Geweben und unbewegten Organen	keine funktionelle Diagnostik keine Beurteilung von lufthaltigem Lungengewebe und ausschließliche Darstellung von Knochenoberflächen	keine Tiefenselektivität, blinde, aber exakte parallele Anschallung der Herzbereiche
<b>Anwendungsgebiete</b>	fast ausschließlich Echokardiographie, einschließlich der fetalen Herzuntersuchung Darstellung von Kammern und Vorhöfen im Hinblick auf Größe und systolische / diastolische Größenänderung Atrioventrikular- und Gefäßklappen im Hinblick auf Bewegungsmuster und Öffnungsfähigkeit zur Diagnose von z.B. Stenosen	Sonographie aller Weichgewebe des Körpers excl. der lufthaltigen Lunge makroskopische Beurteilung der Morphologie in Abhängigkeit von der Schallbarkeit der Strukturen und der gerätebedingten Auflösung	heute fast ausschließlich Echokardiographie, ursprünglich alle Gefäßbereiche Messung der hohen Geschwindigkeiten bei Stenosen und Insuffizienzen Quantifizierung des Schweregrades einer Stenose durch Bestimmung des Druckgradienten

	<b>PW-Dopplerverfahren</b>	<b>Farbkodiertes Dopplerverfahren</b>
<b>Leistung</b>	Darstellung der Blutströmung qualitativ und quantitativ	Darstellung der Blutströmung qualitativ
<b>Vorteile</b>	Bestimmung eines Messbereichs Möglichkeit der Winkelkorrektur, dadurch nicht unbedingt exakt parallele Anschallung erforderlich Beurteilung des Verlaufs der Maximalgeschwindigkeit (Ableitung der Flussmuster) Darstellung auch von schlecht anschallbaren Bereichen	Exakte Zuordnung der Blutströmungen durch Simultandarstellung von TM-Mode oder Echotomogramm und Blutströmung sehr sensitives Verfahren, dadurch Differenzierung von Gefäßen, die auch im zweidimensionalen Bild nicht erkannt werden können Erkennung von Turbulenzen Einfache schnelle Methode
<b>Nachteile</b>	nur relativ niedrige Geschwindigkeiten detektierbar langwierig durch Ausmessen der Blutströmungen in mehreren Bereichen	keine quantitative Bestimmung von Strömungsgeschwindigkeiten Nur relativ langsame Blutströmungen exakt erfassbar Geringe zeitliche Auflösung, zur Zeit noch relativ teures Equipment
<b>Anwendungsgebiete</b>	alle Bereiche der kardialen und vaskulären Diagnostik funktionelle Perfusionsdiagnostik	alle Bereiche der kardialen Diagnostik funktionelle Perfusionsdiagnostik Orientierungshilfe für die Platzierung des Messvolumens beim PW-Dopplerverfahren

**Fortsetzung Tabelle 1: Vergleichende Zusammenfassung der verschiedenen sonographischen Methoden und Dopplerverfahren nach Leistungsfähigkeit, Vor- und Nachteilen sowie hauptsächlichen Anwendungsgebieten (POULSEN NAUTRUP, 2007)**



### **III. MATERIAL UND METHODEN**

#### **1. Material**

##### **1.1. Versuchstiere**

Für die Untersuchungen wurden Milchkühe der Rassen Deutsche Holsteins Farbrichtung Rotbunt und Deutsche Holsteins Farbrichtung Schwarzbunt (HF) verwendet. Die Tiere befanden sich in der 2. bis 7. Laktation und zwischen dem 62. und 158. Laktationstag. Ihre Tages-Milchleistung lag zwischen 22,2 und 43,1 Liter. Alle Tiere stammten aus dem Staatsgut Hirschau der Technischen Universität München.

##### **1.1.1. Tierzahl und Dauer der Versuche**

Die Datenerfassung erfolgte zwischen Januar und März 2010. Es wurden 14 eutergesunde Milchkühe jeweils über sechs Stunden mittels Ultrasonographie und Color Angiographie untersucht. Alle Versuchskühe waren Deutsche Holsteins, neun der Farbrichtung Rotbunt (RH) und fünf der Farbrichtung Schwarzbunt (HF).

Die Kühe gaben beim Abendmelken des Versuchstages durchschnittlich 13,5 Liter Milch (genauere Daten zu den Versuchskühen siehe Tab. 2). Sie hatten eine durchschnittliche Zitzenlänge von 5,6 cm (Tab.2).

##### **1.1.2. Auswahl der Tiere**

Die Auswahl der Tiere erfolgte nach Laktationsnummer, Laktationstagen und Eutergesundheit. Für die Messungen wurden Milchkühe ab der zweiten Laktation, die sich zwischen dem 60. und 160. Tag der Laktation befanden und eutergesund waren benutzt. Die Tiere wurden als eutergesund eingestuft, wenn die Ergebnisse aller Probemelken der aktuellen Laktation im Rahmen der Milchleistungsprüfung (LKV, Zentrallabor des Milchprüfrings Bayern e. V. in Wolnzach) Milchzellgehalte von unter 100 000 Zellen pro ml aufwiesen (Tab. 2). Der am Tag der Messungen durchgeführte California-Mastitis-Test (CMT) und die mikrobiologische Untersuchung einer am Tag der Messungen entnommenen Milchprobe mussten negativ ausfallen.

**Tabelle 2: Versuchskühe und ihre wichtigsten Daten (RH = Deutsche Holsteins Farbrichtung Rotbunt, HF = Deutsche Holsteins Farbrichtung Schwarzbunt)**

Nummer des Tieres und Trächtigkeit (ja = +/ nein = -)	Rasse	Laktationsnummer	Zellzahl des letzten Probemelkens (* 10 <sup>3</sup> /ml)	Tage post partum	Abend-Milchleistung am Tag der Messung (Liter)	Tages-Milchleistung am Tag der Messung (Liter)	Zitzenlänge der rechten Bauchzitze vor Beginn der Ultraschallmessungen (cm)	In den Ergebnisteil einbezogen
<b>Tiere ab der dritten Laktation</b>								
1 (+)	RH	7	30	118	/	29,0	/	Nein
2 (-)	RH	4	91	105	19,7	43,1	9,0	Nein
3 (-)	RH	3	40	93	14,3	32,5	5,9	Ja
4 (-)	RH	4	75	62	15,3	39,9	4,5	Ja
5 (-)	RH	3	38	105	11,3	32,0	3,8	Nein
6 (-)	RH	3	43	140	10,2	24,3	3,8	Ja
7 (+)	RH	3	35	82	13,2	30,8	3,6	Ja
<b>Tiere in der zweiten Laktation</b>								
8 (+)	RH	2	41	95	16,4	38,2	5,5	Ja
9 (+)	HF	2	47	158	12,1	31,4	6,4	Ja
10 (+)	RH	2	47	154	10,0	22,2	5,5	Ja
11 (-)	HF	2	10	89	11,6	39,9	4,7	Ja
12 (-)	HF	2	15	103	16,3	30,6	6,7	Ja
13 (-)	HF	2	10	118	10,8	28,5	7,8	Ja
14 (-)	HF	2	27	108	14,3	30,1	5,1	Nein

## 1.2. Versuchsbetrieb

Das Staatsgut Hirschau der Technischen Universität München ist ein Betrieb mit einer Milchviehherde bestehend aus 95 Tieren der Rassen RH und HF. Die Kühe hatten im Jahr 2009 eine durchschnittliche Jahresmilchleistung von 8181 Litern pro Kuh mit 4,34 % Fett, 3,41 % Eiweiß und einem mittleren Zellgehalt von 114 000 Zellen/ml. Bei dem Milchviehstall handelt es sich um einen vierreihigen Liegeboxenlaufstall mit 100 Liegeplätzen in Hochboxen, sowie 20 Liegeplätzen mit Stroheinstreu im Abkalbestall. Der Stall beinhaltet vier Krafftterstationen

und 50 elektrische Wiegetröge für das Grundfutter im Außenlaufhof. Die Laufgänge bestehen aus Gussasphalt und werden mittels Klappschieber entmistet. Der Abkalbe- und Krankbereich besteht aus Gruppenbuchten, die durch Metalltore voneinander abgetrennt werden können. Die Leistungskraftfutterzuteilung erfolgt Transponder gesteuert an den Kraftfutterstationen. Gefüttert wird eine hofeigene Mischung (Weizenschrot, Sojaschrot, Zuckerrübenschnitzel, Körnermais, Mineralfutter und Sojaöl). Die tägliche Grundfuttermischung besteht aus 33,7 % Grassilage, 44,9 % Maissilage, 14,9 % Ausgleichskraftfutter (Weizenschrot, Sojaschrot, Mineralfutter, Viehsalz und Futterkalk) und 6,4 % Heu.

### 1.3. Melken

Das Melken erfolgt in einem Doppelsechser Fischgrätenmelkstand von DeLaval® (Gent) mit Vorwartebereich. Gemolken wird mit einer Melkanlage Alfa Laval Agri mit Alfa-Dast®-Nachmelkautomatik mit Abnahmeautomatik und den Harmony®-Melkzeugen. Aufgestellt wurde die Melkanlage im März 1996. Die Steuerung der Melkanlage erfolgt über das Alpro®-System mit Hilfe der Flowmaster 350®. Das Vakuum beträgt 42 kPa, die Pulszahl 60 Doppeltakte pro Minute und das eingestellte Pulsverhältnis ist 65:35. Die Reinigung der Melkanlage erfolgt mittels alkalischem Spezialreinigungsmittel Premium® und saurem Flüssigprodukt Cidmax® von DeLaval (Gent).

Die Melkzeiten beginnen morgens um fünf Uhr und nachmittags um 15 Uhr. Die Tiere werden entweder von einem Melker oder vom Hilfspersonal in den Vorwartebereich und von dort in den Melkstand getrieben. Gemolken wird immer von zwei Melkern. Die Reinigung des Euters erfolgt je nach Verschmutzungsgrad nass oder trocken. Bei der Nassreinigung werden Euter und Zitzen, nachdem sie mittels Wasserschlauch und Düse abgespritzt wurden, mit einem weichen Einmalpapiertuch abgetrocknet und nachgereinigt. Die Trockenreinigung erfolgt mittels Einmalpapiertuch. Am Tag der Messungen wurden die Kühe trocken gereinigt.

Die Zitzendesinfektion erfolgt mit dem jodhaltigen Dippmittel Blockade® von DeLaval (Gent) in Sprayform direkt nach Abnahme des Melkzeugs an allen vier Zitzen.

#### **1.4. Geräte und Software**

Für alle Messungen wurden das Ultraschallgerät MyLab30Vet XVISION® und eine 12 MHz Linear Array Sonde LA 523® der Firma Esaote Biomedica Deutschland GmbH (Köln) verwendet.

Für die Auswertung der B-Mode Bilder wurde das Computerprogramm MyLab™Desk® der Firma Esaote Biomedica Deutschland GmbH (Köln) und für die Color-Angiographie Aufnahmen die Software Pixel-Flux® der Firma Chameleon-Software (Freiburg) genutzt.

Zur Erzeugung einer konstanten Temperatur von 37,3 °C des Ultraschallgels wurde der Babykostwärmer Basic® der Firma Reer GmbH (Leonberg) eingesetzt.

#### **1.5. Probenmaterial**

Für den CMT wurden eine Vier-Felder-Schale® von Kruuse (Langeskov) und die Testreagenz California Mastitis Test® von WDT (Garbsen), bestehend aus Alkyl-Arylsulfonat und Bromcresolpurpur, benutzt.

Für die Gewinnung der sterilen Milchproben wurden Alkohol, Zellstoff und sterile Milchprobenröhrchen verwendet.

Weiterhin wurde Zellstoff für die Reinigung der Zitze nach jeder Messung und für die Reinigung der Ultraschallsonde benutzt.

Das Ultraschallgel (Ultraschall-Gel®, Seidel Medizin GmbH (Buchendorf)) wurde in einen viereckigen Becher (Höhe 10 cm, Breite 6 cm und Tiefe 4 cm), dessen obere Kante mit weichem Klebeband gepolstert wurde, gefüllt und als Vorlaufstrecke benutzt. Für das Erwärmen des Ultraschallgels wurden zwei Babyflaschen NUK FIRST CHOICE Polypropylen-Flasche 300 ml® von NUK (Darmstadt) verwendet.

Das Ausmessen der Zitzenlänge erfolgte mittels Maßband. Ein Permanentmarker diente zum Markieren der Messpositionen auf dem viereckigen Becher.

## 2. Methoden

### 2.1. Vorversuche

Vorversuche wurden an einer Versuchskuh (erste Laktation) in der Klinik für Wiederkäuer der Ludwig Maximilians Universität München und vier Kühen (zweite und dritte Laktation) im Staatsgut Hirschau der Technischen Universität München durchgeführt.

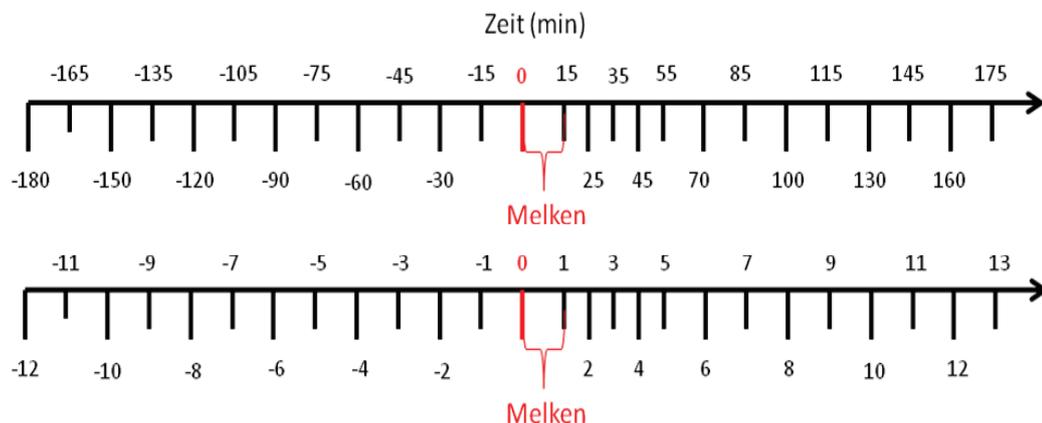
### 2.2. Vorbereitungen

Mit Hilfe der gesammelten Milchleistungsdaten sowie Abkalbeterminen und Laktationsnummern der Kühe wurden am Computer Versuchstiere aus der Milchviehherde ausgewählt. Bei den ausgewählten Tieren durfte an der rechten Bauchzitze keine Anomalie vorliegen.

Nach dem Morgenmelken des Versuchstages wurde die jeweils ausgewählte Kuh in den Abkalbbereich umgestallt. Sie hatte hier freien Zugang zu Wasser, Silage, Heu und Stroh. Gegen Mittag, etwa eine Stunde vor Beginn der Messungen, wurde sie von den anderen Kühen im Abkalbbereich durch das Schließen eines der Metalltore abgesondert.

### 2.3. Messprotokoll

Die Messungen erfolgten über einen Zeitraum von sechs Stunden (Abb. 2) und wurden in vier verschiedenen Ebenen durchgeführt (Tab. 4). Null ist in beiden Darstellungsvarianten die Messung direkt vor dem Beginn des Melkens. Die Zeitangaben in Minuten nach dem Melken werden immer auf den Beginn des Melkens bezogen.



**Abbildung 2: Standardmessprotokoll: obere Zeitleiste in Minuten bezogen auf den Melkbeginn, untere Zeitleiste mit den korrespondierenden Messzeitpunkten**

## **2.4. Ablauf der Messungen**

### **2.4.1. Messungen zu den Messzeitpunkten -12 bis -2**

Die Versuchskuh wurde etwa zehn Minuten vor Beginn der ersten Messung in ein Fressgitter gesperrt.

Die Kuh, ihr Euter und die rechte Bauchzitze wurden fotografiert und erster manueller Kontakt zum Tier aufgenommen. Euter und Zitze wurden adspektorisch auf Verletzungen und Hyperkeratosen untersucht.

Mittels Maßband wurde die Länge der rechten Bauchzitze bestimmt. Die Messpositionen wurden auf dem Becher markiert. Da Euter und Zitze bei allen Versuchstieren sauber waren, konnte auf eine, die Durchblutung möglicher Weise beeinflussende Reinigung verzichtet werden.

Die Untersuchungen wurden unter standardisierten Einstellungen des Ultraschallgerätes durchgeführt. Die Standardparameter wurden in den Vorversuchen ermittelt und so gewählt, dass sie klare, deutliche B-Mode Aufnahmen und die Messung einer geringen Blutflussdichte ohne ausgeprägte Artefaktbildung ermöglichten (Tab. 3).

Direkt vor Beginn der Messungen wurde der Becher mit dem erwärmten Ultraschallgel gefüllt. Anschließend wurde der Kopf der 12 MHz Linearsonde mit Ultraschallgel benetzt und die Sonde an die Messposition (MP) 1 (Tab. 4 und Abb. 3 und 4) des Bechers gelegt. In dieser Haltung wurde der Becher von unten über die Zitze geschoben. Nachdem im Querschnitt ein scharfes Bild der Zitze zu sehen war, wurden rückwirkend die letzten 45 Sekunden der Untersuchung als Videosequenz aufgezeichnet. Anschließend wurde die Sonde an MP 2 auf dem Becher angesetzt und der Vorgang wie bei MP 1 wiederholt. Der gleiche Ablauf wurde an MP 3 wiederholt.

Für MP 4 wurde die Ultraschallsonde an eine Linie in der Medianen des Bechers angesetzt und anschließend der Becher von unten über die Zitze geschoben. Der Becher wurde so positioniert, dass der distale Bereich der Zitze und der Strichkanal vollständig im Längsschnitt dargestellt werden konnten. Anschließend wurde wieder wie bei den Messpositionen 1 bis 3 verfahren.

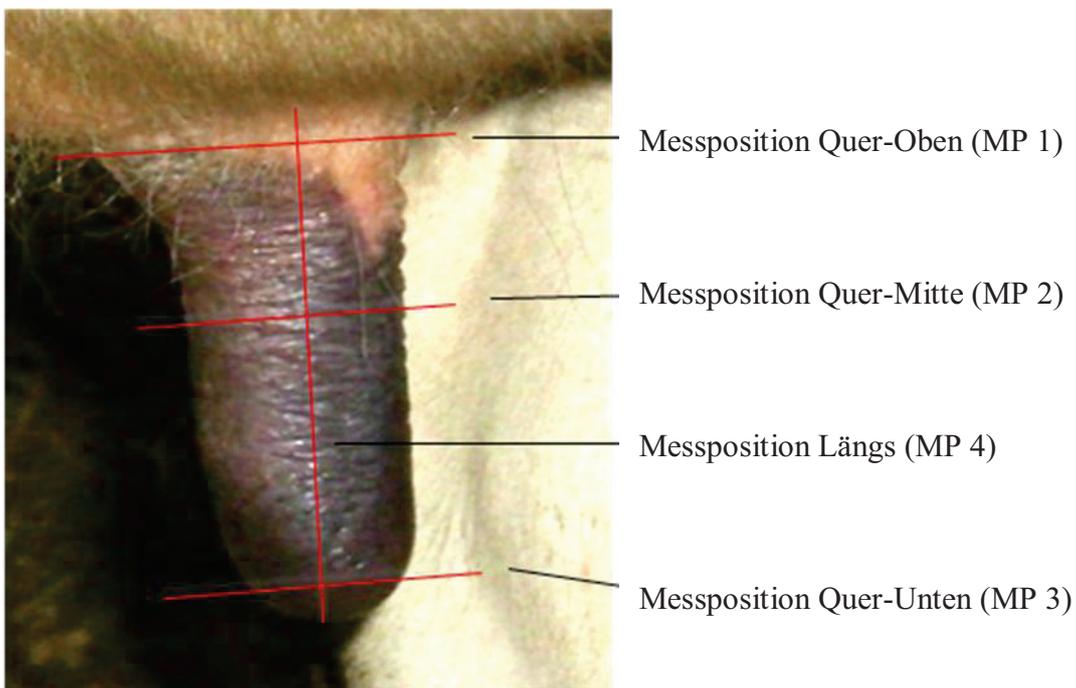
**Tabelle 3: In Vorversuchen ermittelte Standardeinstellungen für B-Mode und Color Angiographie Aufnahmen**

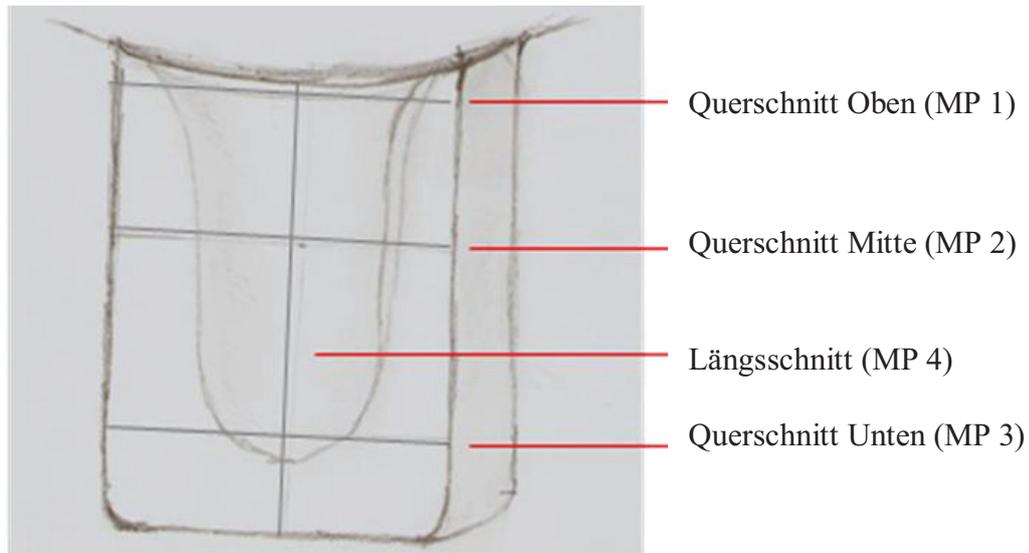
Parameter	Einstellung	Nutzen
<b>B-Mode</b>		
Frequenz (F)	12 MHz	Je höher die Frequenz, desto besser das Auflösungsvermögen und desto niedriger die Penetrationstiefe.
Tiefe (T)	6 cm	Die Eindringtiefe gibt an, wie tief die Ultraschallwellen in das Gewebe eindringen.
Verstärkung (V)	70 %	Die Einstellung der Verstärkung ermöglicht ein homogenes Ultraschallbild.
X-View (XV)	C	Diese Software führt zu einer Verfeinerung des Bildes (Spektral Reduktion).
Preprocessing (PRC)	7-5-H	Preprocessing (Vorbehandlung): 1. Zahl: gibt Dynamik an, die den Abstand zwischen größtem und kleinstem Echo, welches registriert wird beeinflusst. Je höher die Dynamik, desto mehr Graustufen beinhaltet das Bild. 2. Zahl steht für die Schärfe des Ultraschallbildes. Sie akzentuiert die Ränder und kleine Unterschiede im Gewebe. Der Buchstabe steht für die Bilddichte (H = hoch), welche die Bildqualität optimiert.
Persistenz (PERS)	5	Eine hohe Persistenzebene verbessert die Wahrnehmung des statischen Bildes, verschlechtert aber die Darstellung von Strukturen in Bewegung.
Postprocessing (POST)	4	Das Postprocessing dient zur Einstellung der Grauskala (in vier Stufen).
<b>Color Flow Mode (CFM)</b>		
Frequenz (F)	6,6 MHz	Siehe B-Mode
Verstärkung (V)	60 %	Die Verstärkung beeinflusst die Farbintensität im Color Angio-Mode.
Pulse Repetition Frequency (PRF)	3,3 kHz	Die PRF gibt die Pulsanzahl pro Zeit wieder. Ist sie hoch eingestellt, werden die Wellen in kurzen Abständen ausgesandt, und es kommt durch kleine Bewegungen zur Entstehung starker Artefakte.
Preprocessing (PRC)	3-N-H	Die Zahl steht für die Sensitivität. Der 1. Buchstabe steht für die Bilddichte (N = niedrig). Der 2. Buchstabe steht für das Glätten der Farben (H = hoch).
Persistenz (PERS)	4	Die Persistenzebene verbessert die Wahrnehmung des Bildes, verschlechtert aber die Darstellung von Strukturen in Bewegung.
Wandfilter (WF)	AS	Der Wandfilter ist ein High pass Filter, welcher Signale, die durch Bewegungen der Gefäßwände oder bei dieser Untersuchung auch Bewegungen der Zitze, also Wellen mit niedrigen Frequenzen herausfiltert, aber die mit hohen Frequenzen durchlässt. Die Abkürzung AS steht für „Artefakte Supprimiert“ und bedeutet, dass der Filter eingeschaltet ist.

**Tabelle 4: Bezeichnung und Lage der Messpositionen an der Zitze**

Messposition	Lagebeschreibung
1	Querschnitt am Übergang zwischen Euterviertel und Zitze
2	Querschnitt 2,5 cm unterhalb von Messposition 1
3	Querschnitt direkt oberhalb der Zitzenkuppe
4	Längsschnitt in der Verlängerung vom Strichkanal

Nach der letzten Messung einer jeden Messreihe wurde die Zitze vorsichtig mit Zellstoff abgetrocknet, um eine Beeinflussung der Durchblutung durch die kalte Witterung zu verhindern. Das restliche Ultraschallgel wurde verworfen.

**Abbildung 3: Rechte Bauchzitze mit vier Messpositionen**



**Abbildung 4: Kraniale Ansicht der rechten Bauchzitze im Becher mit eingezeichneten Messpositionen**

#### 2.4.2. Messungen zu den Messzeitpunkten -1 bis 13

Die Messung 15 Minuten vor dem Melken wurde wie die übrigen Messungen durchgeführt. Anschließend wurde die Kuh aus dem Fressgitter entlassen. Das Metalltor zu den anderen Kühen blieb geschlossen.

Vor dem Melken wurde die Kuh aus dem Abkalbebereich in den Melkstand getrieben. Alle Kühe wurden an demselben Melkplatz gemolken und untersucht. Die Messung im Melkstand erfolgte wie im Abkalbebereich an den vier Messpositionen der Zitze. Nach Fertigstellung der Messung wurden CMT und Milchprobenentnahme durchgeführt (siehe 2.5.1.).

Während des Melkens wurde der Milchfluss beobachtet, um ein Blindmelken der Euterviertel zu verhindern. Die Abnahme des Melkzeugs erfolgte daher automatisch oder bei Bedarf manuell. Direkt nach der Abnahme des Melkzeugs wurde der, mit frischem Ultraschallgel gefüllte Becher angesetzt und es wurden erneut die vier Messpositionen untersucht. Die rechte Bauchzitze wurde anschließend nicht mittels Sprühdesinfektion behandelt, die drei anderen Zitzen wurden desinfiziert. Die Versuchskuh wurde aus dem Melkstand wieder in ihren abgetrennten Bereich des Abkalbestalls getrieben.

Die Milchproben wurden im klinikeigenen Labor der Klinik für Wiederkäuer direkt im Anschluss an die letzten Messungen mikrobiologisch untersucht.

## **2.5. Feststellung der Eutergesundheit**

Zu Beginn des Morgenmelkens des Versuchstages wurde das Euter der ausgewählten Kuh von den Melkern auf äußere Verletzungen und Anzeichen einer Mastitis untersucht. Zusätzlich erfolgte eine adspektorische Untersuchung des Vorgemelks.

Durch eine Adspektion des Euters und der Zitzen vor Beginn der Messungen wurden Verletzungen an Euter und Zitze, sowie Hyperkeratosen an der Zitzenkuppe ausgeschlossen.

### **2.5.1. Antiseptische Milchprobenentnahme**

Die Probenentnahme erfolgte im Melkstand direkt nach der Messung und vor dem Anrücken der Kuh in folgenden Schritten:

- 1) Trockenreinigung aller vier Zitzen mittels Zellstoff
- 2) Vormelken aller Zitzen in einen Vormelkbecher
- 3) CMT aller Zitzen
- 4) Desinfektion der rechten Bauchzitze mittels Zellstoff und 70 prozentigem Alkohol
- 5) Milchprobengewinnung aus der rechten Bauchzitze in sterile Milchprobenröhrchen

Es wurden zwei Milchprobenröhrchen gefüllt. Der Inhalt des einen Röhrchens wurde mikrobiologisch untersucht, das andere Röhrchen diente als Rückstellprobe.

### **2.5.2. Mikrobiologische Untersuchung der Milchproben**

Die Milchproben wurden am Tag der Entnahme, mittels steriler Impföse, auf drei verschiedenen Agarplatten ausgestrichen. Bei den Agarplatten handelte es sich um Columbia-Agar (anspruchsvolle Bakterien), Gassner-Agar (Coliforme Keime) und Edwards-Agar (Streptokokken). Auf keiner der drei Platten durften Keime wachsen.

### **2.5.3. Zytologische Untersuchung der Milch**

Die Milch der Versuchskühe durfte am Tag der Messungen keinen erhöhten Zellzahlgehalt aufweisen. Zur Untersuchung erfolgte vor dem Melken ein CMT.

## 2.6. Auswertung der Bilddateien

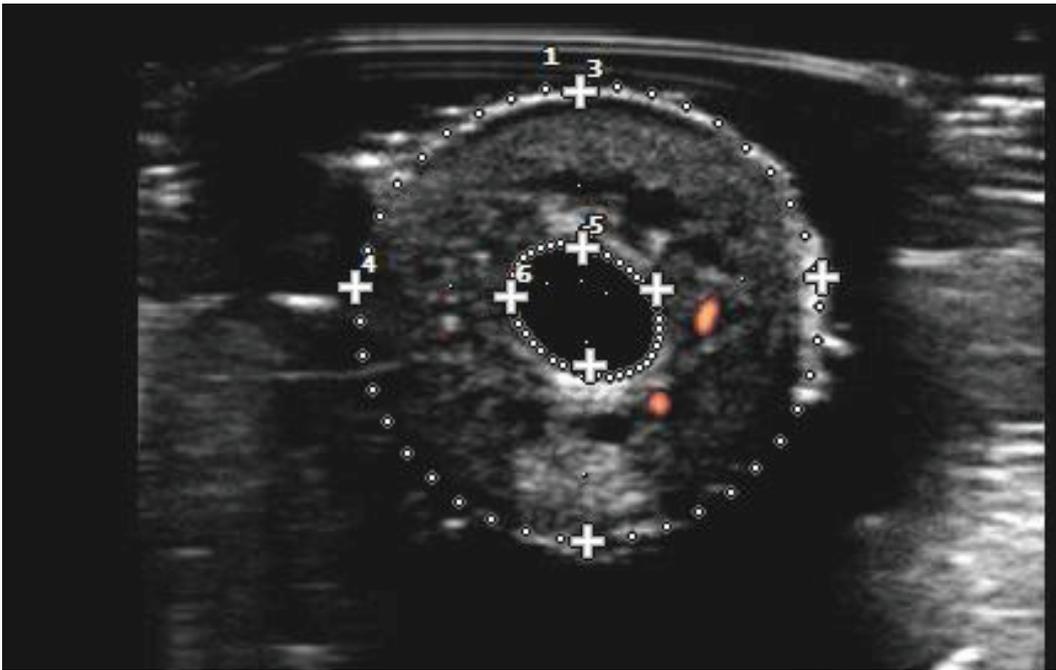
### 2.6.1. Auswahl und Auswertung der B-Mode-Bilder

Die aufgezeichneten Filmsequenzen wurden mittels des Computerprogramms MyLab<sup>TM</sup>Desk® der Firma Esaote Biomedica Deutschland GmbH (Köln) abgespielt und anschließend zu jeder Messposition ein passendes Bild ausgewählt und abgespeichert. Danach erfolgte die Auswertung der Einzelbilder.

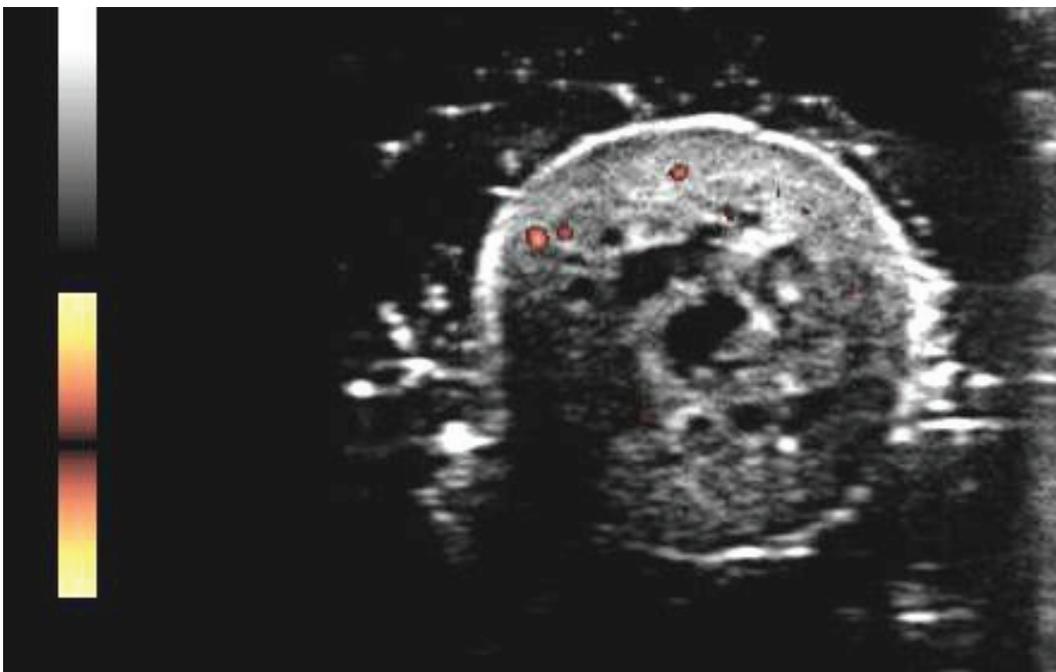
Für die Messpositionen 1 bis 3 wurden jeweils der Umfang und die Querschnittsfläche der gesamten Zitze sowie der Umfang und die Querschnittsfläche der Zitzenzisterne (siehe Abb. 6 und 8) gemessen. Die Fläche des Zitzengewebes wurde durch die Subtraktion der Querschnittsfläche der Zisterne von der Querschnittsfläche der Zitze berechnet.



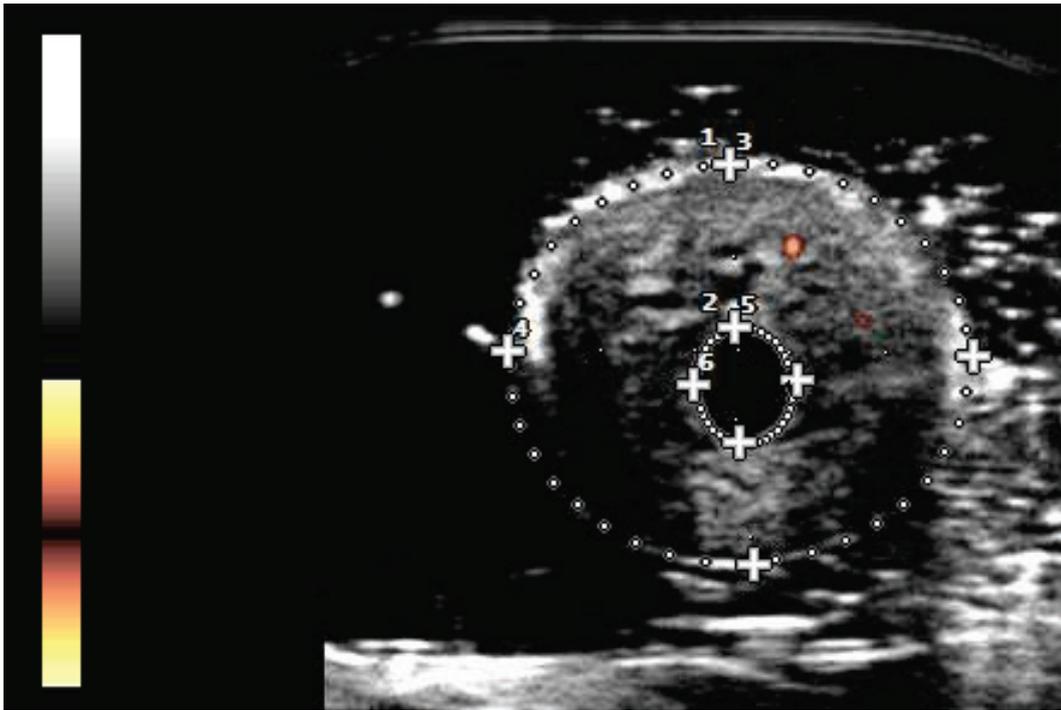
**Abbildung 5: Ultraschallaufnahme des Querschnitts der Zitze am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis (MP 1) mit Blutgefäß (hellgelb, rot umrandet)**



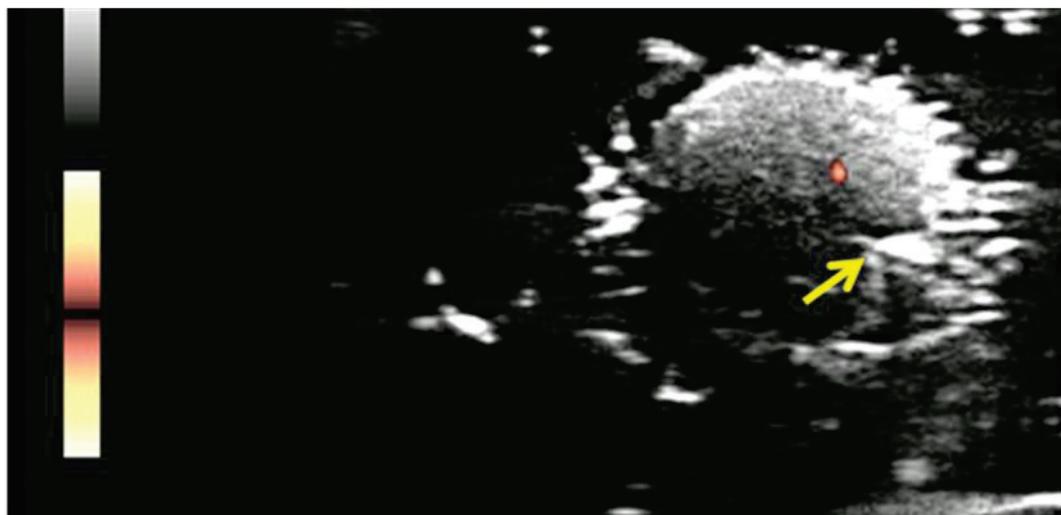
**Abbildung 6:** Ultraschallaufnahme des Querschnitts der Zitze am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis (MP 1) mit zwei Blutgefäßen (rot-orange) und eingezeichneten Linien für die Messung der Querschnittsfläche sowie des Umfangs von Zitze und Zisterne



**Abbildung 7:** Ultraschallaufnahme des Querschnitts der Zitze 2,5 cm unterhalb des Übergangs von Euterviertel zu Zitzenbasis (MP 2) mit drei größeren und einigen kleineren Blutgefäßen (rot) sowie der Farbskala (rot = wenig Blutzellen, hellgelb = viele Blutzellen)



**Abbildung 8:** Ultraschallaufnahme des Querschnitts der Zitze 2,5 cm unterhalb des Übergangs von Euterviertel zu Zitzenbasis (MP 2) mit einem größeren und einem kleineren Blutgefäß (rot-orange) sowie Farbskala und Linien für die Messung der Querschnittsfläche sowie des Umfangs von Zitze und Zisterne



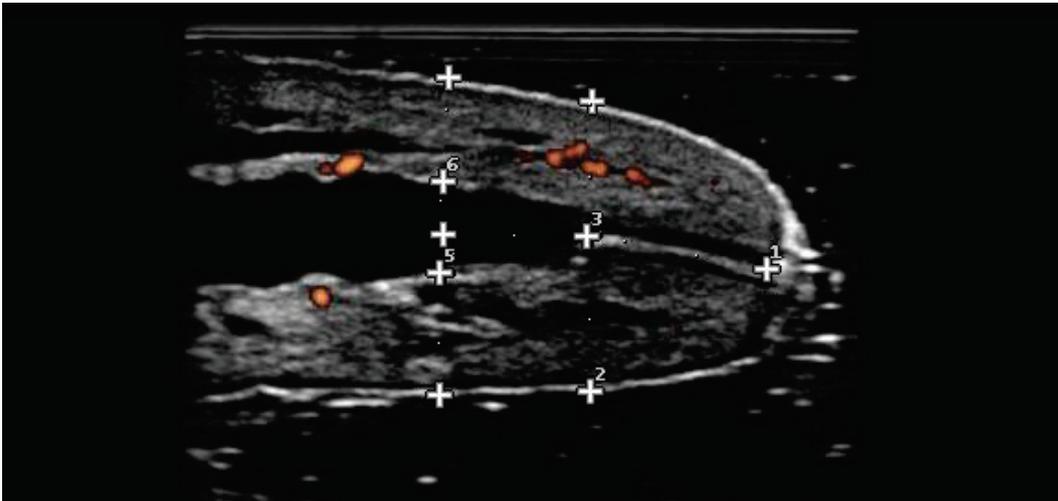
**Abbildung 9:** Ultraschallaufnahme der Zitzenkuppe (MP 3) mit einem Blutgefäß (gelb, rot umrandet) und schräg angeschnittenem Strichkanal (Pfeil)

An den Aufnahmen des Längsschnitts der Zitze wurden die folgenden Daten erhoben:

- 1) Länge des Strichkanals
- 2) Zitzenkuppeldurchmesser am proximalen Ende des Strichkanals
- 3) Zitzenzysternendurchmesser (1 cm vom inneren Ende des Strichkanals entfernt)
- 4) Zitzenwanddicke sondenfern (1 cm vom inneren Ende des Strichkanals entfernt)
- 5) Zitzenwanddicke sondennahe (1 cm vom inneren Ende des Strichkanals entfernt)

Berechnet wurde zusätzlich der Quotient des Zisternendurchmessers geteilt durch sondenferne und sondennahe Zitzenwanddicke, welcher das Verhältnis von Zisternendurchmesser zu Zitzenwanddicke verdeutlicht.

$$\text{Quotient} = \frac{\text{Zisternendurchmesser}}{\text{sondenferne Zitzenwanddicke} + \text{sondennahe Zitzenwanddicke}}$$



**Abbildung 10: Ultraschallaufnahme im Längsschnitt mit den Messpositionen der Strichkanallänge (+1 bis +3), des Zitzenkuppeldurchmessers am distalen Ende des Strichkanals (+2 bis + oberhalb von +3), der Zisternenbreite 1 cm vom distalen Ende des Strichkanals entfernt +5 bis +6) und der sondenfernen (+5 bis zum + unterhalb) und der sondennahen (+6 bis zum + oberhalb) Wanddicke, Blutkörperchen (farbige Gebiete)**

### 2.6.2. Auswahl und Auswertung der Color-Angiographie-Bilder

Für die Auswertung der Color Angiographie wurden dieselben Bilder benutzt, die auch für die B-Mode Auswertung dienten. Diese Bilder wurden mittels der Software Pixel-Flux® ausgewertet. Nach Kalibrierung der Software wurde das auszuwertende Bild ausgewählt und eine zu untersuchende Fläche, die Region of Interest (ROI), bestimmt. Das Programm berechnet mittels Pixelzahl und Farbkodierung der durch die Color Angiographie bunt eingefärbten Gebiete des Ultraschallbildes die Blutflussdichte in dem ausgewählten Bereich. Die Farbkodierung reicht von dunkelrot bis hellgelb. Je mehr hellgelbe Pixel vorhanden sind, desto mehr Blutkörperchen sind in dem Blutgefäß vorhanden, je mehr dunkelrote, desto weniger.

Die Blutflussdichte ist eine Größe ohne Einheit und wird von der Software Pixel-Flux® nach folgender vereinfachter Formel berechnet:

$$\bar{f} = \frac{n_r \times f_r + n_o \times f_o + n_g \times f_g}{N}$$

$$\bar{f} = \frac{\text{Anzahl Teilchen}}{\text{Fläche}} = \text{Durchschnittliche Flussdichte}$$

$f_r$  = Flussrate rot

$f_o$  = Flussrate orange

$f_g$  = Flussrate gelb

$n_r$  = rot eingefärbte Pixel

$n_o$  = orange eingefärbte Pixel

$n_g$  = gelb eingefärbte Pixel

Die jeweilige Flussrate berechnet die Software mit Hilfe von Informationen, die sie aus der Farbskala des Ultraschallgerätes gewinnt.

Als ROI wurde bei den Messpositionen 1 bis 3 immer der gesamte Querschnitt, bei MP 4 der Längsschnitt der Zitze ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass in dem ausgewählten Bereich keine Artefakte vorkamen.

## **2.7. Bestimmung der Stichprobengröße**

Daten aus einem Vorversuch ergaben an MP 1 eine mittlere Blutflussdichte von 146 mit einer Standardabweichung von 1,39 bis 4,14 innerhalb eines Einzeltieres.

Eine Stichprobenberechnung wurde mittels gepaartem T-Test durchgeführt. Die Berechnung erfolgte mit einer angenommenen Standardabweichung von 8, einer Power von 99 %,  $\alpha$  von 5 % und einem nachzuweisenden Unterschied der Blutflussdichte von 31. Um diesen Unterschied nachzuweisen benötigt man 4 Tiere.

Aus demselben Vorversuch ergaben die Daten an MP 4 eine mittlere Blutflussdichte von 129 mit einer Standardabweichung von 1,09 bis 2,00 innerhalb eines Einzeltieres.

Eine Stichprobenberechnung wurde mittels gepaartem T-Test durchgeführt. Die Berechnung erfolgte mit einer angenommenen Standardabweichung von 8, einer Power von 99%,  $\alpha$  von 5% und einem nachzuweisenden Unterschied der Blutflussdichte von 9. Um diesen Unterschied nachzuweisen benötigt man 4 Tiere.

Für die B-Mode Sonographie wurde eine Stichprobenberechnung mittels gepaartem T-Test durchgeführt. Die Berechnung erfolgte mit einer, aus dem Vorversuch bestimmten angenommenen Standardabweichung von 0,01, einer Power von 99 %,  $\alpha$  von 5 % und einem kleinsten nachzuweisenden Unterschied von 0,31. Um diesen Unterschied nachzuweisen benötigt man 3 Tiere.

Die an den Messpositionen 2 und 3 erhobenen Daten ergaben eine erforderliche Stichprobengröße von über 100 Tieren. Deshalb wurden diese im Ergebnisteil nicht berücksichtigt.

## **2.8. Statistische Auswertung**

### **2.8.1. B-Mode Sonographie**

Die statistische Auswertung der B-Mode Ergebnisse erfolgte mittels der Predictive Analytics Software® (PASW® Statistics) 18 von IBM® SPSS® Statistics (Chicago). Dabei wurden die Ergebnisse der Messungen zum Zeitpunkt null mittels Wilcoxon-Test mit den Ergebnissen aller Messzeitpunkte auf einen statistisch signifikanten Unterschied ( $P < 0,05$ ) untersucht. Das Gleiche wurde

auch für die Ergebnisse der ersten Messung nach dem Melken durchgeführt. Die Ergebnisse der zweiten Messung nach dem Melken wurden auf einen signifikanten Unterschied zu den Ergebnissen aller Messungen nach dem Melken untersucht.

### 2.8.2. Color Angiographie

Die Ergebnisse der Color Angiographie wurden unter Nutzung des Open Source Statistikprogramms R Version 2.11.1 durch Anwendung eines gemischten Modells untersucht. Diese Untersuchung erfolgte für den Zeitraum vor dem Melken (Messzeitpunkt -12 bis null) und den Zeitraum nach dem Melken (Messzeitpunkt zwei bis 13) getrennt. Sie wurde für jede einzelne Versuchskuh durchgeführt. Die Formel für dieses Modell ist im Folgenden aufgeführt:

$$y_{ij} = \alpha + \delta_j + \beta_1 \times t_i + \beta_2 \times t_i^2 + \varepsilon_{ij}$$

$$y_{ij} = \text{Blutflussdichte von Kuh } j \text{ zum Zeitpunkt } i$$

$$\alpha = y - \text{Achsenabschnitt über alle Kühe}$$

$$\delta_j = y - \text{Achsenabschnitts} - \text{Veränderung für Kuh } j \text{ gegenüber dem mittleren } y - \text{Achsenabschnitt } \alpha$$

$$\beta_1 = \text{Parameter für lineare Zeit } t_i$$

$$\beta_2 = \text{Parameter für quadrierte Zeit } t_i^2$$

$$\varepsilon_{ij} = \text{Fehlerterm von Kuh } j \text{ zum Zeitpunkt } t_i$$

Die aus den Messdaten geschätzten gemischten Modelle lassen sich als an die Daten angepasste Kurven visualisieren und interpretieren.

Als zweiter Schritt wurde durch die errechnete Kurve für jede Kuh eine zu erwartende Blutflussdichte für die erste Messung nach dem Melken bestimmt. Aus diesem Schätzwert und dem tatsächlichen Wert wurde die Differenz für jede Kuh berechnet. Dasselbe Verfahren wurde auch für die Ergebnisse der Messungen nach dem Melken durchgeführt.



## IV. ERGEBNISSE

Für die Auswertung der B-Mode und Color Angiographie Aufnahmen wurden die Daten von zehn der 14 Tiere verwendet. Nicht in die Auswertung einbezogen wurden die Daten von Kuh Nr. 1 (Tab. 2), da sie austrat und so nicht alle Messreihen durchgeführt und Daten erhoben werden konnten. Bei Kuh Nr. 2 (Tab. 2) trat am Tag der Messung eine erhöhte Zellzahl (140 000 Zellen pro ml) auf. Die Kühe Nr. 5 und Nr. 14 (Tab. 2) waren so unruhig, dass die Color Angiographie nicht auswertbar war.

Die Versuchskühe, deren Daten in die Auswertung einbezogen wurden (Tab. 2), hatten eine mittlere Tages-Milchleistung von 31,8 Liter und eine durchschnittliche Länge der rechten Bauchzitze von 5,4 cm.

In den Ergebnisteil flossen die Auswertungen der Aufnahmen der Messpositionen 1 und 4 (Tab. 4 und Abb. 3) ein. Die durch Messungen an den Messpositionen 2 und 3 erhobenen Daten wiesen, wie unter III.2.6. beschrieben bereits in den Vorversuchen eine sehr schlechte Wiederholbarkeit auf. Durchgeführt wurden die Messungen trotzdem, um zu überprüfen, ob sich bei einer großen Anzahl von Aufnahmen ein spezifisches Verlaufsmuster herausbildet. Dieses Verlaufsmuster konnte nicht identifiziert werden.

Bei Kuh Nr. 7 (Tab. 2) wurde durch die Messungen der Milcheinschuss ausgelöst. Diese Kuh musste bereits 45 Minuten früher als üblich gemolken werden, weil sich die Milch mit dem Ultraschallgel vermischte und so die Aufnahmequalität stark beeinträchtigte. Insgesamt konnten 91 von 2860 B-Mode Aufnahmen an den Messpositionen eins und vier nicht ausgewertet werden. Bei einigen dieser Aufnahmen waren die Kühe zu unruhig, so dass es nicht möglich war, eine gute Ankopplung zwischen Ultraschallsonde und Becher herzustellen oder die gewünschte Messposition zu erreichen. Bei anderen traten Artefakte auf, die die Auswertung beeinträchtigten.

Acht der Color Angiographie Aufnahmen an MP 4 und vier der Color Angiographie Aufnahmen an MP 1 konnten nicht ausgewertet werden. Dies ist vor allem durch eine Artefaktbildung bei Bewegung zu begründen.

## 1. Ergebnisse der B-Mode Aufnahmen

### 1.1. Längsschnitt (MP 4)

#### 1.1.1. Strichkanallänge

Die mittlere Strichkanallänge (Abb. 10) beträgt direkt vor dem Melken 12,9 mm.

Direkt nach dem Melken ist die mittlere Strichkanallänge mit 14,3 mm um 1,4 mm länger als direkt vor dem Melken, so dass ein signifikanter Unterschied ( $P < 0,05$ ) zwischen der Länge des Strichkanals vor dem Melken und der nach dem Melken besteht (Tab. 5 und Tab. 6).

Die Strichkanallänge nimmt bis zum Ende der Messungen im Mittel auf 13,7 mm ab (Tab. 6) und erreicht bei keiner Kuh die Länge zum Zeitpunkt der ersten Messung. Durch die Verkürzung des Strichkanals nach dem Melken kommt es zu einem signifikanten Unterschied zwischen den Ergebnissen der ersten Messung nach dem Melken und denen 115 (Messzeitpunkt 9) und 175 (Messzeitpunkt 13) Minuten nach Beginn des Melkens ( $P < 0,05$ ) (Tab. 5).

**Tabelle 5: Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) der Strichkanallänge (n = 10)**

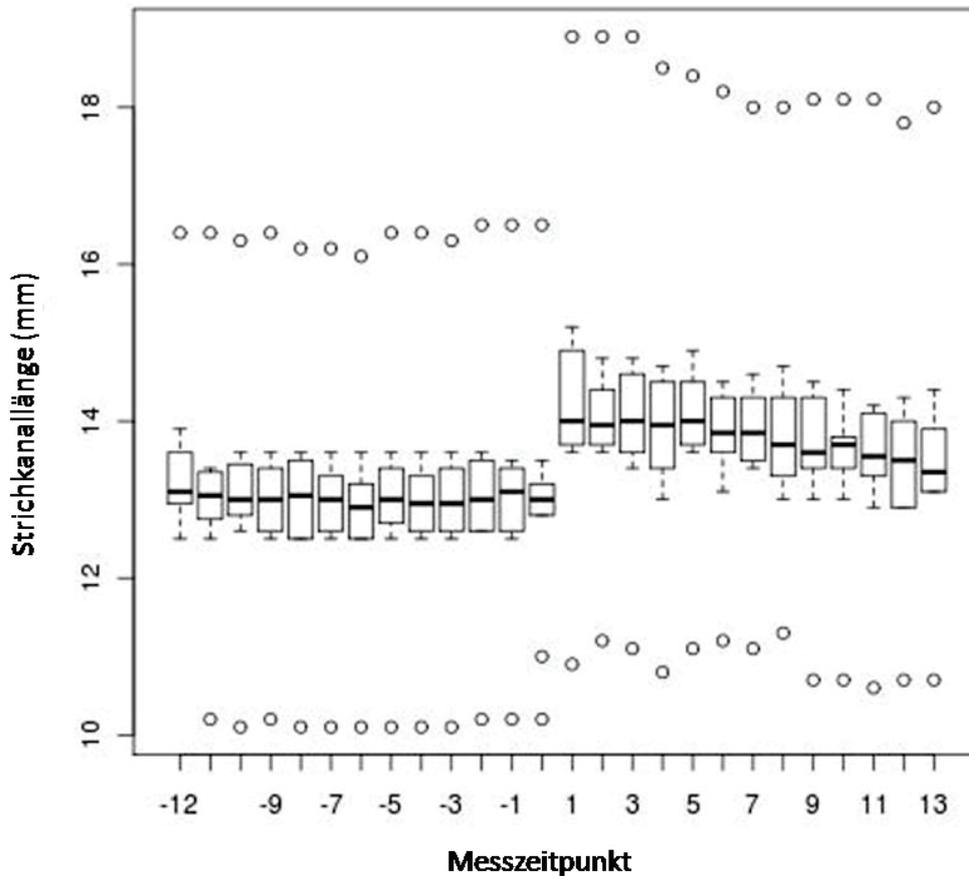
Messzeitpunkt (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	Messzeitpunkte mit signifikanten Abweichungen ( $P < 0,05$ ) (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	
	Vor dem Melken: Messzeitpunkte -12 bis 0	Nach dem Melken: Messzeitpunkte 1 bis 13
0 (0)		Alle
1 (15)	Alle	9 (115) und 13 (175)
2 (25)		9 (115) und 13 (175)

Abbildung 11 verdeutlicht, dass die Strichkanallänge der einzelnen Kühe jeweils in dem Zeitraum vor und dem Zeitraum nach dem Melken weitgehend konstant ist. Durch das Melken wird eine starke Längenzunahme ausgelöst.

Vergleicht man die Strichkanallänge der einzelnen Kühe miteinander, zeigt sich, dass vor dem Melken die rechten Bauchzitzen von acht der zehn Kühe ähnlich lange Strichkanäle haben. Die Zitzen zweier Kühe haben einen deutlich kürzeren bzw. längeren Strichkanal (Abb. 11). Direkt nach dem Melken bestehen größere Unterschiede zwischen den Strichkanälen der Kühe, als direkt vor dem Melken (Abb. 11).

**Tabelle 6: Mittlere Strichkanallänge, Median der Strichkanallänge sowie Minimum und Maximum der Strichkanallänge (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlere Strichkanallänge (in mm)	Median der Strichkanallänge (in mm)	Strichkanallänge beim Einzeltier (in mm)
-12	13,6	13,1	9,4 – 16,4
-11	13,1	13,1	10,2 – 16,6
-10	13,1	13,0	10,1 – 16,3
-9	13,1	13,0	10,2 – 16,4
-8	13,0	13,1	10,1 – 16,2
-7	13,0	13,0	10,1 – 16,2
-6	13,0	12,9	10,1 – 16,1
-5	13,1	13,0	10,1 – 16,4
-4	13,0	13,0	10,1 – 16,4
-3	13,1	13,0	10,1 – 16,3
-2	13,1	13,0	10,2 – 16,5
-1	13,1	13,1	10,2 – 16,5
0	12,9	13,0	10,2 – 16,5
1	14,3	14,0	10,9 – 18,9
2	14,2	14,0	11,2 – 18,9
3	14,2	14,0	11,1 – 18,9
4	14,1	14,0	10,8 – 18,5
5	14,2	14,0	11,1 – 18,4
6	14,1	13,9	11,2 – 18,2
7	14,0	13,9	11,1 – 18,0
8	14,0	13,7	11,3 – 18,0
9	13,9	13,6	10,7 – 18,1
10	13,8	13,7	10,7 – 18,1
11	13,8	13,6	10,6 – 18,1
12	13,7	13,5	10,7 – 17,8
13	13,7	13,4	10,7 – 18,0



**Abbildung 11: Strichkanallänge in mm (Boxplots mit Median) (n = 10) (Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) siehe Tab. 5)**

### 1.1.2. Zitzenkuppendurchmesser

Der Mittelwert des im Bereich des proximalen Endes des Strichkanals gemessenen Zitzenkuppendurchmessers (Abb. 10) beträgt vor dem Melken 21,5 mm (Tab. 7).

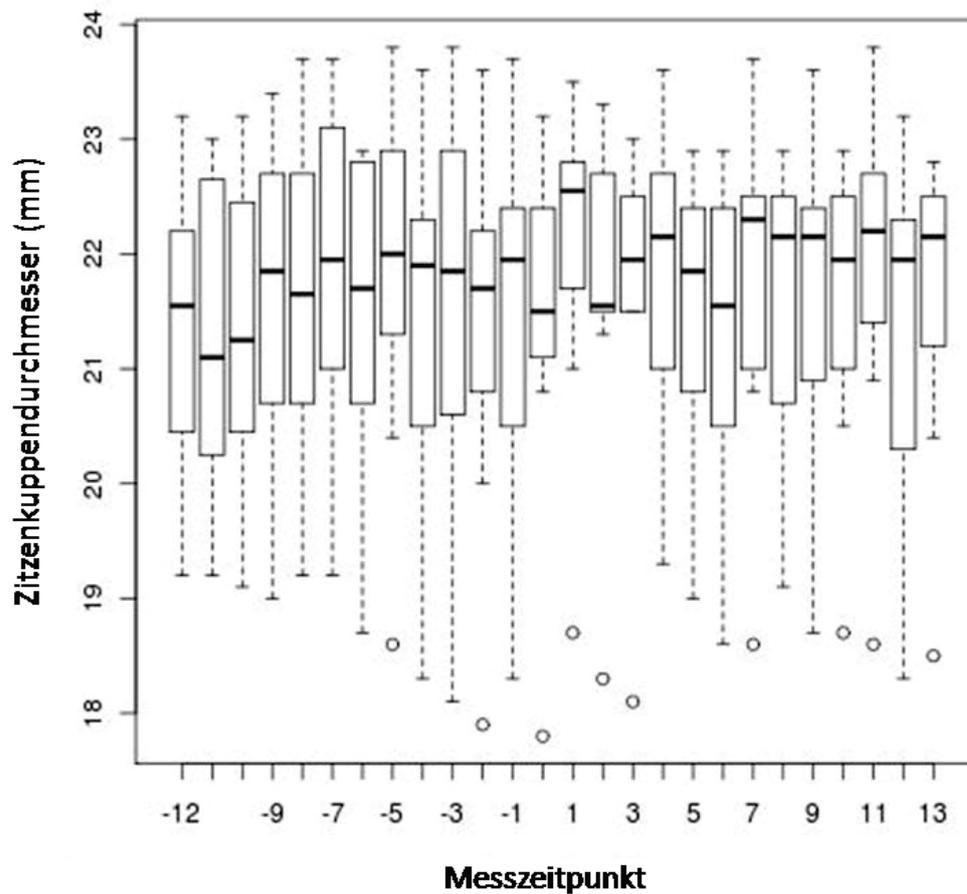
Die Messung direkt nach dem Melken ergibt als Mittelwert 22,1 mm. Es kommt also zu einer mittleren Zunahme von 0,6 mm. Bei zwei Kühen erfolgt an der rechten Bauchzitze keine Zunahme des Zitzenkuppendurchmessers. Eine dieser Kühe hat an der rechten Bauchzitze direkt nach dem Melken denselben Zitzenkuppendurchmesser wie direkt davor, der Zitzenkuppendurchmesser der rechten Bauchzitze der anderen Kuh ist um 0,2 mm geringer als vor dem Melken.

Es ist bei keinem der Tiere eine signifikante ( $P < 0,05$ ) Vergrößerung oder Verkleinerung des Zitzenkuppendurchmessers der rechten Bauchzitze in Verbindung mit dem Melken nachzuweisen.

Der unregelmäßige Verlauf der Ergebnisse der Messungen des Zitzenkuppendurchmessers, sowie die großen Differenzen zwischen den einzelnen Kühen werden durch Abbildung 12 verdeutlicht

**Tabelle 7: Mittlerer Zitzenkuppendurchmesser, Median des Zitzenkuppendurchmessers sowie Minimum und Maximum des Zitzenkuppendurchmessers (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlerer Zitzenkuppendurchmesser (in mm)	Median des Zitzenkuppendurchmessers (in mm)	Zitzenkuppendurchmesser beim Einzeltier (in mm)
-12	21,4	21,6	19,2 – 23,2
-11	21,3	21,1	19,2 – 23,0
-10	21,3	21,3	19,1 – 23,2
-9	21,6	21,9	19,0 – 23,3
-8	21,6	21,7	19,2 – 23,7
-7	21,8	22,0	19,2 – 22,9
-6	21,5	21,7	18,7 – 23,3
-5	21,8	22,0	18,6 – 23,6
-4	21,6	21,9	18,3 – 23,8
-3	21,6	21,85	18,1 – 23,6
-2	21,4	21,7	17,9 – 23,7
-1	21,5	22,0	18,3 – 23,2
0	21,5	21,5	17,8 – 23,2
1	22,1	22,6	18,7 – 23,5
2	21,7	21,6	18,3 – 22,8
3	21,7	22,0	18,1 – 23,0
4	21,9	22,2	19,3 – 23,6
5	21,5	21,9	19,0 – 22,9
6	21,3	21,6	18,6 – 23,7
7	21,8	22,3	18,6 – 23,2
8	21,6	22,2	19,1 – 22,6
9	21,7	22,2	18,7 – 23,6
10	21,6	22,0	18,7 – 22,9
11	21,9	22,2	18,6 – 23,8
12	21,3	22,0	18,3 – 23,2
13	21,6	22,2	18,5 – 22,8



**Abbildung 12: Zitzenkuppendurchmesser in mm (Boxplots mit Median) (n = 10) (Keine signifikanten Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen Ergebnissen einzelner Messzeitpunkte)**

### 1.1.3. Zisternendurchmesser

Der einen cm proximal des inneren Strichkanalendes gemessene Zisternendurchmesser (Abb. 10) beträgt 180 Minuten vor Beginn des Melkens im Mittel 6,2 mm (Tab. 8). Bis zum Melken vergrößert er sich im Mittel um 4,0 mm auf 10,2 mm. Dieser Unterschied ist signifikant ( $P < 0,05$ ) (Tab. 9).

Direkt nach dem Melken ist der mittlere Zisternendurchmesser signifikant um 6,1 mm auf 4,1 mm reduziert ( $P < 0,05$ ). Danach folgt eine relativ konstante Vergrößerung bis auf 8,1 mm bei der letzten Messung (Tab. 8).

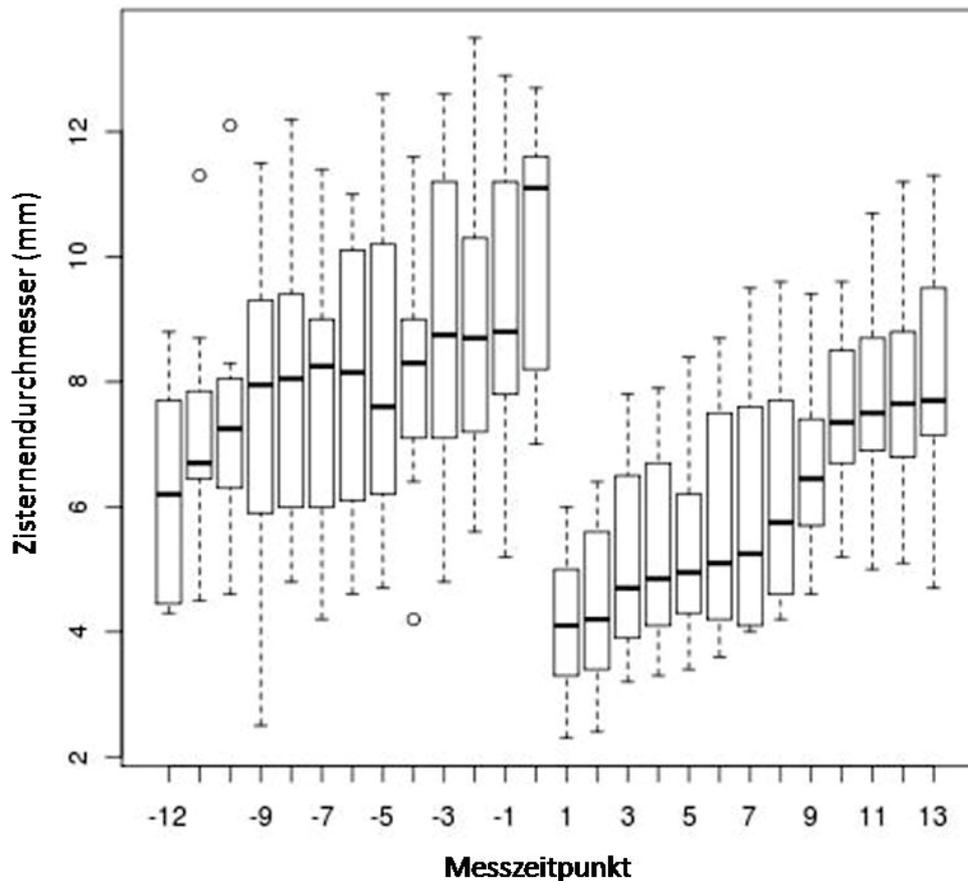
Der Mittlere Zisternendurchmesser ist zum Messzeitpunkt 13 größer als zum Messzeitpunkt -12.

**Tabelle 8: Mittlerer Zisternendurchmesser, Median des Zisternendurchmessers sowie Minimum und Maximum des Zisternendurchmessers (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlerer Zisternendurchmesser (in mm)	Median des Zisternendurchmessers (in mm)	Zisternendurchmesser beim Einzeltier (in mm)
-12	6,2	6,2	2,5 – 9,3
-11	7,2	6,7	4,5 – 11,3
-10	7,5	7,3	4,6 – 12,1
-9	7,5	8,0	4,3 – 11,5
-8	8,0	8,1	4,8 – 12,2
-7	8,0	8,3	4,2 – 11,4
-6	8,0	8,2	4,6 – 11,0
-5	8,1	7,6	4,7 – 12,6
-4	8,0	8,3	4,2 – 11,6
-3	9,0	8,8	4,8 – 12,6
-2	9,0	8,7	5,6 – 13,5
-1	9,4	8,8	5,2 – 12,7
0	10,2	11,1	7,0 – 12,7
1	4,1	4,1	2,3 – 6,0
2	4,4	4,2	2,4 – 6,4
3	5,1	4,7	3,2 – 7,8
4	5,3	4,9	3,3 – 7,9
5	5,4	5,0	3,4 – 8,4
6	5,8	5,1	3,6 – 8,7
7	6,0	5,3	4,0 – 9,5
8	6,2	5,8	4,2 – 9,6
9	6,6	6,5	4,6 – 9,4
10	7,4	7,4	5,2 – 9,6
11	7,8	7,5	5,0 – 10,7
12	8,0	7,7	5,1 – 11,2
13	8,1	7,7	4,7 – 11,3

**Tabelle 9: Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) des Zisternendurchmessers (n = 10)**

Messzeitpunkt (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	Messzeitpunkte mit signifikanten Abweichungen ( $P < 0,05$ ) (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	
	Vor dem Melken: Messzeitpunkte -12 bis 0	Nach dem Melken: Messzeitpunkte 1 bis 13
0 (0)	Alle	Alle
1 (15)	Alle	Alle bis auf 2 (25)
2 (25)	Alle	Alle bis auf 1 (15)



**Abbildung 13: Zisternendurchmesser in mm (Boxplots mit Median) (n = 10) (Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) siehe Tab. 9)**

Abbildung 13 verdeutlicht die starke Zunahme des Zisternendurchmessers bis zum Melken. Die starke Abnahme, die durch das Melken ausgelöst wird sowie die folgende Zunahme bis zum Ende der Messungen sind zu erkennen.

#### 1.1.4. Sondenferne Zitzenwanddicke

Die erste Messung der sondenfernen Zitzenwand (Abb. 10) ergibt eine mittlere Wandstärke von 8,0 mm (Tab. 10). Die sondenferne Zitzenwand wird innerhalb der nächsten 45 Minuten im Mittel 0,5 mm dicker.

Bis zum Melken nimmt die mittlere Zitzenwanddicke um 1,9 mm auf 6,6 mm ab. Die Ergebnisse der Messungen direkt vor dem Melken unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) (Tab. 11) von den Ergebnissen aller anderen Messungen.

**Tabelle 10: Mittlere sondenferne Zitzenwanddicke, Median der sondenfernen Zitzenwanddicke sowie Minimum und Maximum der sondenfernen Zitzenwanddicke (n = 10)**

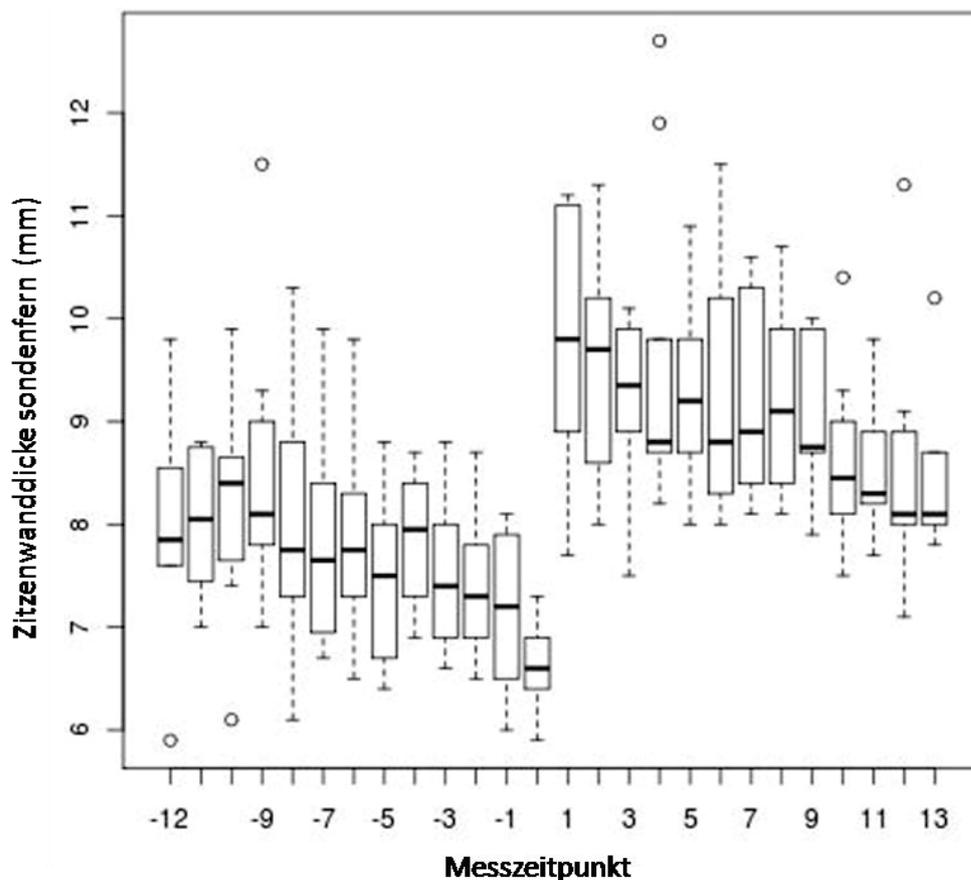
Messzeitpunkt	Mittlere sondenferne Zitzenwanddicke (in mm)	Median der sondenfernen Zitzenwanddicke (in mm)	Sondenferne Zitzenwanddicke beim Einzeltier (in mm)
-12	8,0	7,9	5,9 – 9,8
-11	8,0	8,1	7,0 – 8,8
-10	8,2	8,4	6,1 – 9,9
-9	8,5	8,1	7,0 – 11,5
-8	8,0	7,8	6,1 – 10,3
-7	7,8	7,7	6,7 – 9,9
-6	7,8	7,8	6,5 – 9,8
-5	7,5	7,5	6,7 – 8,8
-4	7,9	8,0	6,9 – 8,4
-3	7,5	7,4	6,6 – 8,8
-2	7,4	7,3	6,5 – 7,8
-1	7,2	7,2	6,0 – 8,0
0	6,6	6,6	5,9 – 7,3
1	9,8	9,8	7,7 – 11,2
2	9,6	9,7	8,0 – 11,3
3	9,3	9,4	7,5 – 10,1
4	9,6	8,8	8,2 – 12,7
5	9,3	9,2	8,0 – 10,9
6	9,2	8,8	8,1 – 11,5
7	9,2	8,9	8,1 – 10,6
8	9,2	9,1	7,9 – 10,7
9	9,1	8,8	8,1 – 10,0
10	8,7	8,5	7,5 – 10,4
11	8,5	8,3	7,7 – 9,8
12	8,5	8,1	7,1 – 11,3
13	8,4	8,1	7,8 – 10,2

**Tabelle 11: Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) der sondenfernen Zitzenwanddicke (n = 10)**

Messzeitpunkt (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	Messzeitpunkte mit signifikanten Abweichungen ( $P < 0,05$ ) (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	
	Vor dem Melken: Messzeitpunkte -12 bis 0	Nach dem Melken: Messzeitpunkte 1 bis 13
0 (0)	Alle	Alle
1 (15)	Alle bis auf -12 (-180) und -10 (-150)	10 (130), 12 (160) und 13 (175)
2 (25)		9 (115) bis 13 (175)

Direkt nach dem Melken beträgt die mittlere Wandstärke 9,8 mm; sie ist somit über den Melkvorgang im Mittel um 3,2 mm dicker geworden. Die sondenerne Zitzenwand ist zu allen Zeitpunkten vor dem Melken, bis auf 180 und 150 Minuten vor dem Melken signifikant dünner ( $P < 0,05$ ), als direkt nach dem Melken. Bis zum Ende der Messungen nimmt die sondenerne Zitzenwanddicke wieder ab und erreicht bei der letzten Messung eine mittlere Dicke von 8,4 mm. Dieses Ergebnis unterscheidet sich signifikant ( $P < 0,05$ ) von dem direkt nach dem Melken.

Bei fünf der zehn untersuchten Tiere treten im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken weitere Zunahmen der Zitzenwand von bis zu 2,3 mm auf. Bei einem Tier ist diese Verdickung so stark ausgeprägt, dass am Ende der Messungen die Zitzenwanddicke der ersten Messung nach dem Melken nicht erreicht wird. Bis auf zwei Kühe, deren sondenerne Zitzenwand der rechten Bauchzitze ihre Ausgangsmesswerte erreichen oder unterschreiten, ist die Wandstärke bei allen Kühen am Ende der Messungen größer als zu Beginn.



**Abbildung 14: Sondenerne Zitzenwanddicke in mm (Boxplots mit Median) (n = 10) (Signifikante Unterschiede siehe Tab. 11)**

Abbildung 14 verdeutlicht den leicht unregelmäßigen Verlauf der Abnahme der Dicke der sondenfernen Zitzenwand vor dem Melken sowie die deutliche Verdickung direkt nach dem Melken.

#### **1.1.5. Sondennahe Zitzenwanddicke**

Zu Beginn der Messungen liegt ein Mittelwert der sondennahen Zitzenwanddicke (Abb. 10) von 8,1 mm vor (Tab. 12). Innerhalb der folgenden 45 Minuten steigt die Zitzenwanddicke auf 8,4 mm an. Der Mittelwert der sondennahen Zitzenwanddicke sinkt bis direkt vor dem Melken, um durchschnittlich 1,0 mm auf 7,4 mm ab (Tab. 12). Die Ergebnisse der Messungen direkt vor dem Melken unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) von denen aller Messungen nach dem Melken (Tab. 13).

Direkt nach dem Melken ist die sondennahe Zitzenwanddicke durchschnittlich 2,1 mm größer als direkt vor dem Melken und erreicht somit eine Dicke von 9,5 mm (Abb. 15).

In der rechten Bauchzitze von sechs der zehn Kühe kommt es im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken innerhalb der folgenden sechs Messungen zu einer weiteren Verdickung der sondennahen Zitzenwand um bis zu 4,5 mm. Die mittlere Zitzenwanddicke nimmt bis zur letzten Messung auf 9,0 mm ab. Bei neun der zehn Kühe ist die sondennahe Zitzenwanddicke der rechten Bauchzitze zum Ende der Messungen geringer, als direkt nach dem Melken. Bei einer Kuh ist die Dickenzunahme im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken so stark ausgeprägt, dass sie die Dicke der Messung direkt nach dem Melken zum Ende der Messungen nicht erreicht.

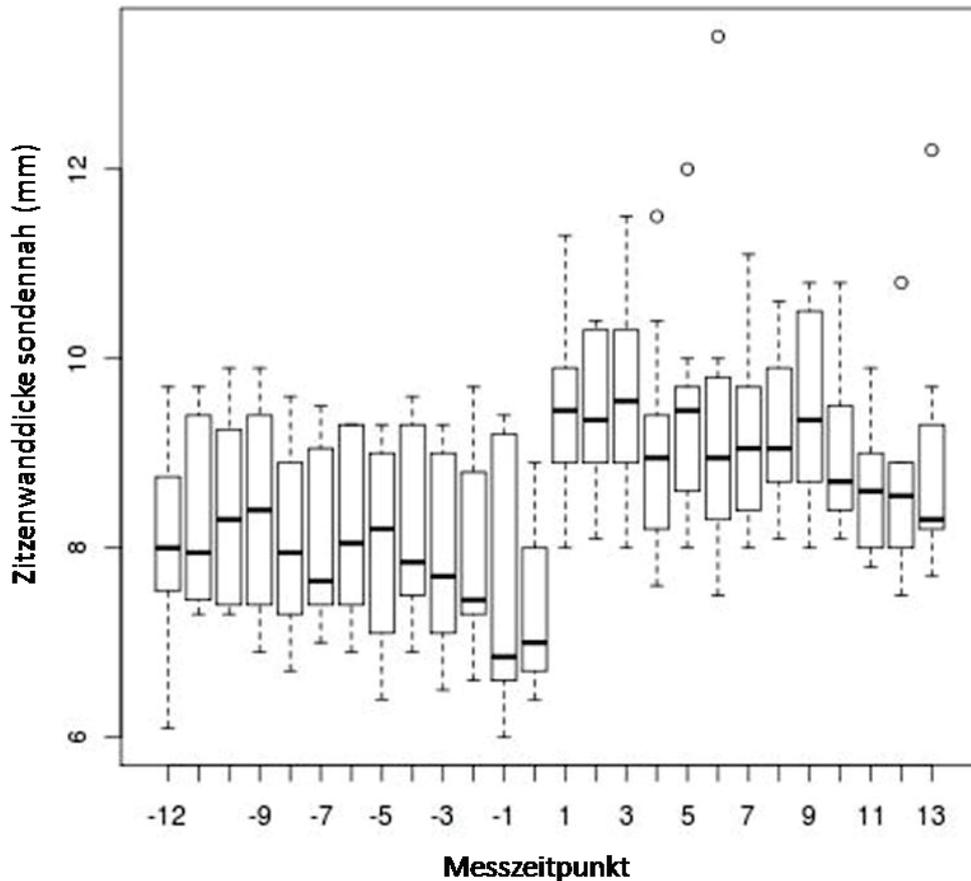
Bei fünf der zehn Kühe stimmen die Endwerte mit den Ausgangsmesswerten überein oder unterschreiten sie, bei den anderen Kühen ist die Zitzenwand am Ende der Messungen dicker, als zu Beginn.

**Tabelle 12: Mittlere sondennahe Zitzenwanddicke, Median der sondennahen Zitzenwanddicke sowie Minimum und Maximum der sondennahen Zitzenwanddicke (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlere sondennahe Zitzenwanddicke (in mm)	Median der sondennahen Zitzenwanddicke (in mm)	Sondennahe Zitzenwanddicke beim Einzeltier (in mm)
-12	8,1	8,0	7,5 – 9,7
-11	8,3	8,0	7,3 – 9,7
-10	8,4	8,3	7,3 – 9,9
-9	8,4	8,4	6,9 – 9,9
-8	8,1	8,0	6,7 – 9,6
-7	8,1	7,7	7,0 – 9,5
-6	8,2	8,1	6,9 – 9,3
-5	8,0	8,2	6,4 – 9,3
-4	8,2	7,9	6,9 – 9,6
-3	7,9	7,7	6,5 – 9,3
-2	8,0	7,5	6,6 – 9,7
-1	7,5	6,9	6,0 – 9,4
0	7,4	7,0	6,4 – 8,9
1	9,5	9,5	7,7 – 11,2
2	9,5	9,4	8,1 – 10,4
3	9,6	9,6	8,0 – 10,6
4	9,1	9,0	7,6 – 11,5
5	9,4	9,5	8,0 – 12,0
6	9,2	9,0	7,5 – 13,4
7	9,2	9,1	8,0 – 11,1
8	9,2	9,1	8,1 – 10,6
9	9,5	9,4	8,0 – 10,8
10	9,1	8,7	8,1 – 10,8
11	8,6	8,6	7,8 – 9,9
12	8,6	8,6	7,5 – 10,8
13	9,0	8,3	7,7 – 12,2

**Tabelle 13: Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) der sondennahen Zitzenwanddicke (n = 10)**

Messzeitpunkt (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	Messzeitpunkte mit signifikanten Abweichungen ( $P < 0,05$ ) (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	
	Vor dem Melken: Messzeitpunkte -12 bis 0	Nach dem Melken: Messzeitpunkte 1 bis 13
0 (0)	Alle bis auf -8 (-120), -5 (-75), -3 (-45) und -1 (-15)	Alle
1 (15)	Alle	11(145) und 12 (160)
2 (25)		11 (145) und 12 (160)



**Abbildung 15: Sondennahe Zitzenwanddicke in mm (Boxplots mit Median) (n = 10) (Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) siehe Tab. 13)**

#### 1.1.6. Quotient Zisternendurchmesser zu Zitzenwanddicke

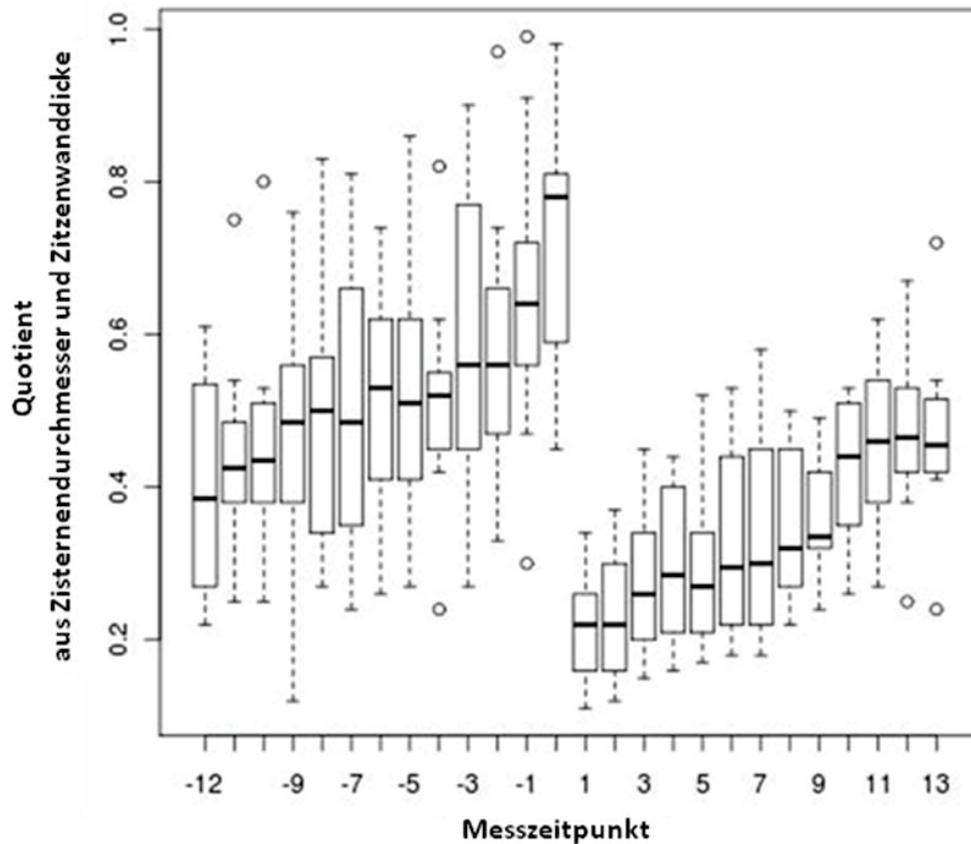
Der mittlere Quotient von Zisternendurchmesser und Zitzenwanddicke (bestehend aus sondenferner und sondennaher Zitzenwanddicke), beträgt zu Beginn der Messungen 0,4 (Tab. 14) und steigt bis direkt vor dem Melken auf 0,7 an.

Direkt nach dem Melken sinkt er im Mittel auf 0,2 und steigt anschließend im Mittel auf 0,5 zur letzten Messung an.

Abbildung 16 verdeutlicht die großen Differenzen die zwischen einzelnen Kühen bestehen und dass diese vor dem Melken stärker ausgeprägt sind, als danach.

**Tabelle 14: Mittlerer Quotient (Zisternendurchmesser zu Zitzenwanddicke), Median des Quotienten sowie Minimum und Maximum des Quotienten (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlerer Quotient	Median des Quotienten	Quotient beim Einzeltier
-12	0,4	0,4	0,2 – 0,6
-11	0,5	0,4	0,3 – 0,5
-10	0,5	0,4	0,3 – 0,5
-9	0,5	0,5	0,1 – 0,7
-8	0,5	0,5	0,3 – 0,8
-7	0,5	0,5	0,2 – 0,8
-6	0,5	0,5	0,3 – 0,7
-5	0,5	0,5	0,3 – 0,8
-4	0,5	0,5	0,2 – 0,6
-3	0,6	0,6	0,3 – 0,9
-2	0,6	0,6	0,3 – 0,7
-1	0,7	0,6	0,3 – 1,0
0	0,7	0,8	0,5 – 1,0
1	0,2	0,2	0,1 – 0,3
2	0,2	0,2	0,1 – 0,3
3	0,3	0,3	0,2 – 0,5
4	0,3	0,3	0,2 – 0,4
5	0,3	0,3	0,2 – 0,5
6	0,3	0,3	0,2 – 0,5
7	0,3	0,3	0,2 – 0,6
8	0,3	0,3	0,2 – 0,5
9	0,4	0,3	0,3 – 0,5
10	0,4	0,4	0,3 – 0,5
11	0,5	0,5	0,3 – 0,6
12	0,5	0,5	0,3 – 0,7
13	0,5	0,5	0,2 – 0,7



**Abbildung 16: Quotient des Zisternendurchmessers zur Zitzenwanddicke (Boxplots mit Median) (n = 10)**

## 1.2. Querschnitt Oben (MP 1)

### 1.2.1. Querschnittsfläche der Zitze

180 Minuten vor Beginn der Messungen ist die Querschnittsfläche der Zitze inklusive Zisterne (Abb. 6) im Mittel 4,99 cm<sup>2</sup> groß (Tab. 15). Sie wird bis zu der Messung direkt vor dem Melken signifikant ( $P < 0,05$ ) um 0,55 cm<sup>2</sup> größer (Tab. 15 und Tab. 16).

Direkt nach dem Melken ist die mittlere Querschnittsfläche der Zitze mit 4,53 cm<sup>2</sup> signifikant kleiner ( $P < 0,05$ ), als die Flächen aller Messungen vor dem Melken (Tab. 15). Die Differenz ist in Abbildung 17 ersichtlich.

An der rechten Bauchzitze von fünf der zehn Kühe kommt es nach der ersten Messung nach dem Melken innerhalb von bis zu sechs Messintervallen zu einer weiteren Verkleinerung der Querschnittsfläche der Zitze um bis zu 0,54 cm<sup>2</sup>. Drei Messungen nach dem Melken ist die Querschnittsfläche der Zitze mit einem Mittelwert von 4,52 cm<sup>2</sup> am kleinsten (Tab. 15).

Im Anschluss an die Reduktion der Querschnittsfläche der Zitze kommt es an der rechten Bauchzitze aller zehn Kühe zu einer Vergrößerung der Fläche. Im Mittel nimmt sie bis zur letzten Messung auf 4,95 cm<sup>2</sup> zu. Diese mittlere Querschnittsfläche der Zitze entspricht nahezu der mittleren Fläche der ersten Messung (Tab. 15). Die nach dem Melken gemessenen Größenveränderungen sind nicht signifikant ( $P > 0,05$ ).

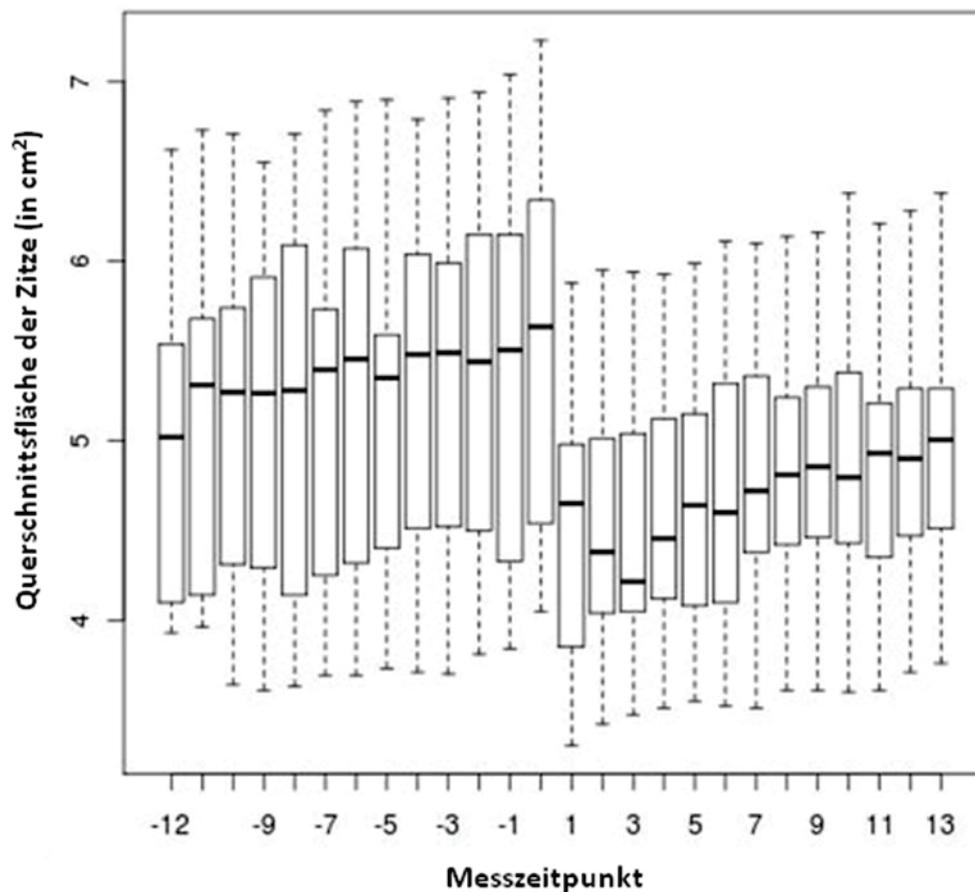
Es bestehen deutliche Unterschiede der Größe der Querschnittsfläche der Zitze an der rechten Bauchzitze zwischen den einzelnen Kühen (Abb. 17).

**Tabelle 15: Mittlere Querschnittsfläche der Zitze, Median der Querschnittsfläche der Zitze sowie Minimum und Maximum der Querschnittsfläche der Zitze (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlere Querschnittsfläche der Zitze (in cm <sup>2</sup> )	Median der Querschnittsfläche der Zitze (in cm <sup>2</sup> )	Querschnittsfläche der Zitze beim Einzeltier (in cm <sup>2</sup> )
-12	4,99	5,02	3,93 – 6,62
-11	5,08	5,31	3,96 – 6,73
-10	5,08	5,27	3,64 – 6,71
-9	5,11	5,27	3,61 – 6,55
-8	5,13	5,28	3,63 – 6,71
-7	5,14	5,40	3,69 – 6,84
-6	5,21	5,46	3,69 – 6,89
-5	5,15	5,35	3,73 – 6,90
-4	5,24	5,48	3,71 – 6,79
-3	5,30	5,49	3,70 – 6,91
-2	5,33	5,44	3,81 – 6,94
-1	5,38	5,51	3,84 – 7,04
0	5,54	5,64	4,05 – 7,23
1	4,53	4,65	3,30 – 5,88
2	4,54	4,38	3,42 – 5,95
3	4,52	4,22	3,47 – 5,94
4	4,59	4,46	3,51 – 5,93
5	4,63	4,64	3,55 – 5,99
6	4,68	4,60	3,52 – 6,11
7	4,75	4,72	3,51 – 6,10
8	4,80	4,81	3,61 – 6,14
9	4,81	4,86	3,61 – 6,16
10	4,85	4,80	3,60 – 6,38
11	4,80	4,93	3,61 – 6,21
12	4,86	4,9	3,71 – 6,28
13	4,95	5,01	3,76 – 6,38

**Tabelle 16: Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) der Querschnittsfläche der Zitze ( $n = 10$ )**

Messzeitpunkt (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	Messzeitpunkte mit signifikanten Abweichungen ( $P < 0,05$ ) (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	
	Vor dem Melken: Messzeitpunkte -12 bis 0	Nach dem Melken: Messzeitpunkte 1 bis 13
0 (0)	-12 (-180) bis -2 (-30)	Alle
1 (15)	Alle	6 (70), 7 (85) und 10 (130) bis 13 (175)



**Abbildung 17: Querschnittsfläche der Zitze in  $\text{cm}^2$  (Boxplots mit Median) ( $n = 10$ ) (Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) siehe Tab. 16)**

### 1.2.2. Umfang Zitze

Im Mittel beträgt der Umfang (Abb. 6) aller Zitzen bei der ersten Messung 79,4 mm. Bis zum Melken vergrößert er sich signifikant ( $P < 0,05$ ) um 4,1 mm auf 83,5 mm (Tab. 17). Bei zwei der Versuchskühe kommt es zu keiner Vergrößerung des Umfangs, sondern zu einer Verkleinerung um 0,1 und 0,7 mm.

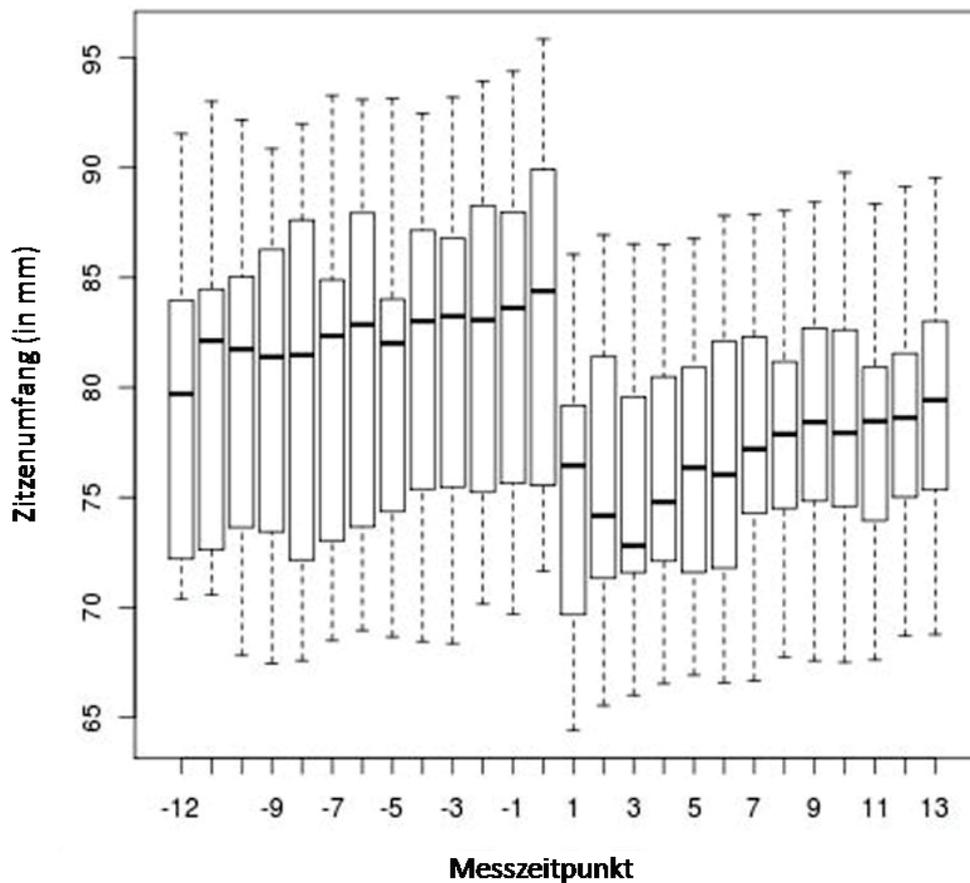
Die Werte der Messungen direkt vor dem Melken unterscheiden sich signifikant von allen Werten der Messungen vor und nach dem Melken (Tab. 18).

Direkt nach dem Melken ist der Umfang der Zitze mit 75,4 mm im Mittel um 8,1 mm kleiner als zuvor (Tab. 17).

Mit 75,3 mm besteht der geringste mittlere Zitzenumfang 35 Minuten nach Beginn des Melkens (Tab. 17).

Bis zur letzten Messung vergrößert sich der Umfang um durchschnittlich 3,7 mm auf 79,0 mm. Somit erreicht der mittlere Zitzenumfang bei der letzten Messung nach dem Melken nicht die Größe des mittleren Zitzenumfangs zu Beginn der Messungen.

Die Veränderungen des Zitzenumfangs über den gesamten Messzeitraum, sowie die Differenzen der Größe des Zitzenumfangs zwischen den einzelnen Kühen werden durch Abbildung 18 verdeutlicht.



**Abbildung 18: Zitzenumfang in mm (Boxplots mit Median) (n = 10) (Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) siehe Tab. 18)**

**Tabelle 17: Mittlerer Zitzenumfang, Median des Zitzenumfangs sowie Minimum und Maximum des Zitzenumfangs (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlerer Zitzenumfang (in mm)	Median des Zitzenumfangs (in mm)	Zitzenumfang beim Einzeltier (in mm)
-12	79,4	79,7	70,4 – 91,5
-11	79,9	82,1	70,6 – 93,0
-10	79,9	81,7	67,8 – 92,2
-9	80,0	81,4	67,5 – 90,9
-8	80,2	81,5	67,6 – 92,0
-7	80,3	82,4	68,5 – 93,3
-6	80,8	82,9	69,0 – 93,1
-5	80,2	82,0	68,7 – 93,2
-4	80,9	83,0	68,5 – 92,5
-3	81,5	83,3	68,4 – 93,2
-2	82,0	83,1	70,2 – 93,9
-1	82,3	83,6	69,7 – 94,4
0	83,5	84,4	71,7 – 95,8
1	75,4	76,5	64,4 – 86,1
2	75,6	74,2	65,5 – 86,9
3	75,3	72,8	66,0 – 86,5
4	75,9	74,8	66,5 – 86,8
5	76,3	76,4	66,9 – 87,8
6	76,6	76,0	66,6 – 87,9
7	77,2	77,2	66,7 – 88,0
8	77,7	77,9	67,7 – 88,4
9	77,9	78,4	67,6 – 88,4
10	78,1	77,9	67,5 – 89,8
11	77,6	78,5	67,6 – 88,3
12	78,3	78,6	68,7 – 89,1
13	79,0	79,4	68,8 – 89,6

**Tabelle 18: Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) des Zitzenumfangs (n = 10)**

Messzeitpunkt (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	Messzeitpunkte mit signifikanten Abweichungen ( $P < 0,05$ ) (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	
	Vor dem Melken: Messzeitpunkte -12 bis 0	Nach dem Melken: Melkzeitpunkte 1 bis 13
0 (0)	Alle	Alle
1 (15)	Alle	8 (100) bis 10 (130), 12 (160) und 13 (175)
2 (25)		6 (70) bis 13 (175)

### 1.2.3. Querschnittsfläche Zisterne

Die mittlere Querschnittsfläche der Zisterne (Abb. 6) beträgt bei der ersten Messung 0,44 cm<sup>2</sup> und vergrößert sich bis zum Melken signifikant ( $P < 0,05$ ) um durchschnittlich 0,95 cm<sup>2</sup> auf 1,39 cm<sup>2</sup> (Tab. 19).

**Tabelle 19: Mittlere Querschnittsfläche der Zisterne, Median der Querschnittsfläche der Zisterne sowie Minimum und Maximum der Querschnittsfläche der Zisterne (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlere Querschnittsfläche der Zisterne (in cm <sup>2</sup> )	Median der Querschnittsfläche der Zisterne (in cm <sup>2</sup> )	Querschnittsfläche der Zisterne beim Einzeltier (in cm <sup>2</sup> )
-12	0,44	0,24	0,18 – 1,03
-11	0,48	0,36	0,15 – 1,32
-10	0,56	0,40	0,15 – 1,67
-9	0,63	0,44	0,20 – 1,61
-8	0,72	0,46	0,21 – 1,89
-7	0,88	0,65	0,21 – 2,04
-6	0,92	0,74	0,23 – 1,91
-5	1,05	0,92	0,24 – 2,11
-4	1,11	0,83	0,25 – 2,81
-3	1,02	0,69	0,33 – 2,37
-2	1,20	1,05	0,38 – 2,51
-1	1,32	1,07	0,45 – 2,65
0	1,39	1,22	0,52 – 2,85
1	0,69	0,71	0,13 – 1,25
2	0,37	0,21	0,02 – 1,21
3	0,35	0,20	0,02 – 1,02
4	0,38	0,21	0,06 – 0,98
5	0,36	0,21	0,05 – 0,97
6	0,44	0,30	0,07 – 1,14
7	0,46	0,36	0,10 – 1,04
8	0,51	0,38	0,09 – 1,21
9	0,54	0,40	0,08 – 1,38
10	0,60	0,41	0,10 – 1,68
11	0,62	0,46	0,10 – 1,72
12	0,63	0,53	0,10 – 1,64
13	0,66	0,62	0,12 – 1,65

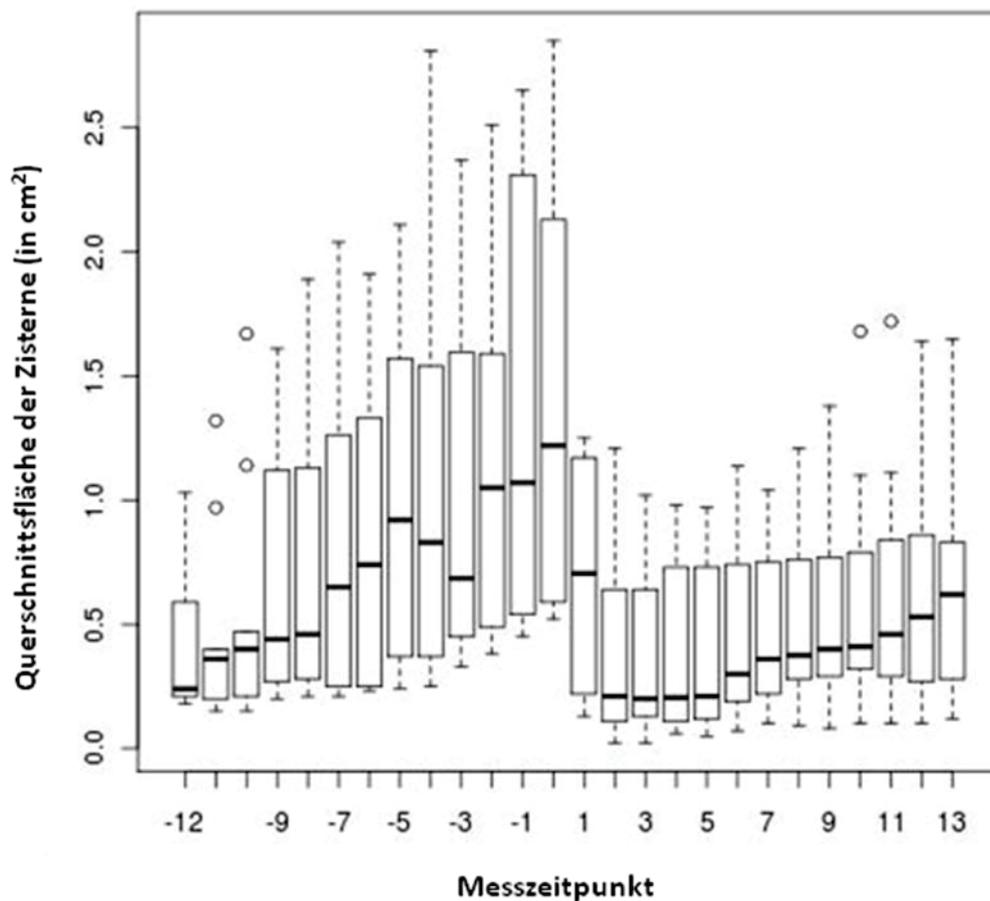
Die mittlere Querschnittsfläche der Zisterne ist direkt nach dem Melken mit 0,69 cm<sup>2</sup> signifikant um mehr als 50 % kleiner als direkt davor ( $P < 0,05$ ) (Tab. 19 und Tab. 20). Bei neun der zehn Kühe reduziert sich die Querschnittsfläche der Zisterne der rechten Bauchzitze nach dem Melken über bis zu vier Messintervalle

um bis zu 0,84 cm<sup>2</sup>. Anschließend kommt es bei allen Tieren zu einer Vergrößerung der Querschnittsfläche; im Mittel bis auf 0,66 cm<sup>2</sup>. Die Größe der Fläche bei der letzten Messung überschreitet die der ersten Messung.

Die Unterschiede der Größe der Zisternenfläche werden zwischen den Kühen von Beginn der Messungen bis zum Melken größer. Nach dem Melken sind sie deutlich geringer ausgeprägt, als direkt vor dem Melken (Abb. 19).

**Tabelle 20: Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) der Querschnittsfläche der Zisterne ( $n = 10$ )**

Messzeitpunkt (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	Messzeitpunkte mit signifikanten Abweichungen ( $P < 0,05$ ) (Minuten im Bezug auf das Melken)	
	Vor dem Melken: Messzeitpunkte -12 bis 0	Nach dem Melken: Messzeitpunkte 1 bis 13
0 (0)	-12 (-180) bis -6 (-90)	Alle bis auf 6 (70)
1 (15)	-2 (-30) bis 0 (0)	



**Abbildung 19: Querschnittsfläche der Zisterne in cm<sup>2</sup> (Boxplots mit Median) ( $n = 10$ ) (Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) siehe Tab. 20)**

#### 1.2.4. Umfang Zisterne

Die Zisterne weist bei der ersten Messung einen mittleren Umfang (Abb. 6) von 22,8 mm auf (Tab. 22). Der mittlere Zisternenumfang wird bis zum Melken um 17,6 mm signifikant größer (Tab. 21 und Tab. 22). Diese Vergrößerung wird durch Abb. 20 verdeutlicht.

Direkt nach dem Melken ist der Zisternenumfang mit 28,1 mm (Tab. 22) signifikant kleiner ( $P < 0,05$ ), als direkt vor dem Melken (Tab. 21).

Der Mittelwert des Zisternenumfangs sinkt innerhalb der ersten drei Messungen nach dem Melken bis auf 19,3 mm ab. Dieser Abfall führt zu einem signifikanten Unterschied ( $P < 0,05$ ) zwischen den Werten der ersten Messung und denen der zweiten und dritten Messung nach dem Melken.

Im Anschluss steigt der Mittelwert des Zisternenumfangs bis zur letzten Messung auf eine Länge von 27,5 mm an. Damit übersteigt er den Wert der ersten Messung (Tab. 22).

Die beschriebene schrittweise Verkleinerung sowie die folgende Vergrößerung des Zisternenumfangs werden durch Abbildung 20 verdeutlicht.

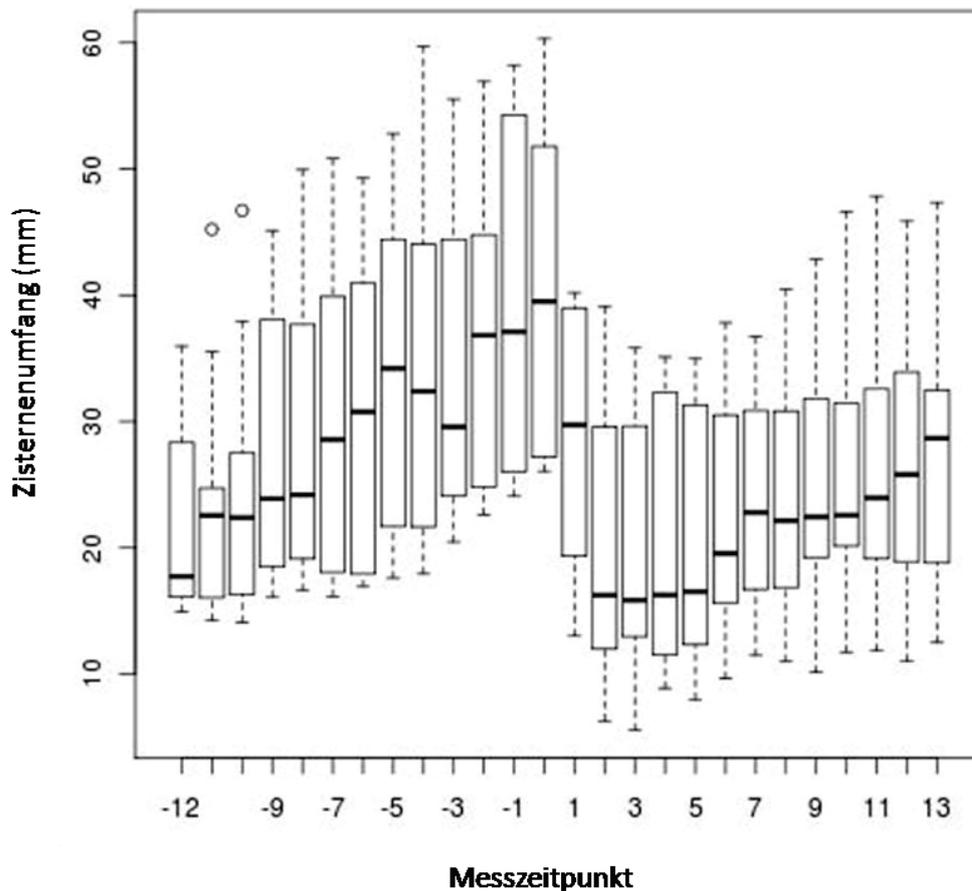
Insgesamt unterscheidet sich die Größe des Zisternenumfangs der rechten Bauchzitze deutlich zwischen den einzelnen Kühen (Abb. 20).

**Tabelle 21: Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) des Zisternenumfangs**

Messzeitpunkt (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	Messzeitpunkte mit signifikanten Abweichungen ( $P < 0,05$ ) (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	
	Vor dem Melken: Messzeitpunkte -12 bis 0	Nach dem Melken: Messzeitpunkte 1 bis 13
0 (0)	Alle bis auf -1 (-15)	Alle
1 (15)	-12 (-180), -5 (-75), -4 (-60), -2 (-30) bis 0 (0)	2 (25) und 3 (35)
2 (25)		1 (15) und 9 (115) bis 13 (175)

**Tabelle 22: Mittlere Zisternenumfang, Median des Zisternenumfangs sowie Minimum und Maximum des Zisternenumfangs (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlerer Zisternenumfang (in mm)	Median des Zisternenumfangs (in mm)	Zisternenumfang beim Einzeltier (in mm)
-12	22,8	17,7	14,9 – 38,3
-11	24,3	22,6	14,2 – 45,2
-10	25,2	22,4	14,1 – 46,7
-9	26,7	23,9	16,1 – 45,1
-8	28,4	24,2	16,6 – 50,0
-7	31,1	28,6	16,1 – 50,8
-6	32,2	30,8	16,9 – 49,3
-5	34,4	34,2	17,6 – 52,8
-4	35,1	32,4	17,9 – 59,7
-3	34,0	29,6	20,5 – 55,5
-2	37,6	36,8	22,6 – 56,9
-1	39,1	37,1	24,1 – 58,2
0	40,4	39,5	26,1 – 60,3
1	28,1	29,7	13,0 – 40,2
2	19,4	16,3	6,3 – 39,1
3	19,3	15,8	5,5 – 35,8
4	20,2	16,3	8,9 – 35,1
5	19,6	16,5	8,0 – 35,0
6	21,8	19,6	9,6 – 37,8
7	23,4	22,8	11,5 – 36,7
8	23,7	22,1	11,0 – 40,5
9	25,0	22,4	10,1 – 42,8
10	26,0	22,6	11,7 – 46,6
11	26,4	24,0	11,8 – 47,9
12	26,8	25,8	11,1 – 45,9
13	27,5	28,7	12,5 – 47,3



**Abbildung 20: Zisternenumfang in mm (Boxplots mit Median) (n = 10) (Signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) siehe Tab. 21)**

### 1.2.5. Fläche Zitzengewebe

Die mittlere Zitzengewebe­fläche beträgt zu Beginn der Messungen 4,55 cm<sup>2</sup> (Tab. 23). Diese nimmt innerhalb des ersten Messintervalls auf 4,60 cm<sup>2</sup> zu. Bei drei der zehn Kühe kommt es nicht zu einer Zunahme sondern zu einer Reduktion der Zitzengewebe­fläche zwischen der ersten und der zweiten Messung. Die Ergebnisse der Messungen direkt vor dem Melken unterscheiden sich nicht signifikant von denen der Messungen vor und nach dem Melken ( $P > 0,05$ ).

Direkt nach dem Melken ist die Zitzengewebe­fläche mit einem Mittelwert von 3,84 cm<sup>2</sup> am kleinsten (Tab. 23). Sie unterscheidet sich von den Ergebnissen zum Zeitpunkt -3 signifikant ( $P < 0,05$ ) (Tab. 24).

Bei der letzten Messung besteht eine mittlere Zitzengewebe­fläche von 4,28 cm<sup>2</sup> (Tab. 23). Somit wird die bei der ersten Messung ermittelte Größe mit Ende der Messungen nicht erreicht.

Zwischen der Zitzengewebebläche der einzelnen Kühe bestehen signifikante Unterschiede (Abb. 21).

**Tabelle 23: Mittlere Zitzengewebebläche, Median der Zitzengewebebläche sowie Minimum und Maximum der Zitzengewebebläche (n = 10)**

Messzeitpunkt	Mittlere Zitzengewebebläche (in cm <sup>2</sup> )	Median der Zitzengewebebläche (in cm <sup>2</sup> )	Zitzengewebebläche beim Einzeltier (in cm <sup>2</sup> )
-12	4,55	4,34	3,74 – 5,67
-11	4,60	4,34	3,76 – 5,72
-10	4,53	4,34	3,43 – 5,82
-9	4,48	4,28	3,41 – 5,61
-8	4,41	4,11	3,42 – 5,72
-7	4,27	4,21	3,44 – 5,61
-6	4,29	4,16	3,44 – 5,46
-5	4,10	4,02	3,47 – 4,89
-4	4,13	4,02	3,44 – 5,32
-3	4,48	4,39	3,35 – 5,40
-2	4,13	4,23	3,24 – 5,05
-1	4,07	4,03	3,20 – 5,13
0	4,15	4,28	3,29 – 5,20
1	3,84	3,96	2,94 – 4,75
2	4,18	4,19	3,15 – 4,99
3	4,17	4,03	3,14 – 5,02
4	4,21	4,08	3,18 – 5,06
5	4,27	4,23	3,21 – 5,24
6	4,25	4,15	3,20 – 5,30
7	4,29	4,23	3,20 – 5,28
8	4,29	4,31	3,30 – 5,26
9	4,27	4,31	3,27 – 5,35
10	4,25	4,24	3,19 – 5,45
11	4,18	4,22	3,21 – 5,26
12	4,23	4,16	3,34 – 5,23
13	4,28	4,32	3,31 – 5,22

**Tabelle 24: Signifikante Unterschiede (P < 0,05) der Zitzengewebebläche (n = 10)**

Messzeitpunkt (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	Messzeitpunkte mit signifikanten Abweichungen (P < 0,05) (Minuten im Bezug auf den Melkbeginn)	
	Vor dem Melken: Messzeitpunkte -12 bis 0	Nach dem Melken: Messzeitpunkte 1 bis 13
1 (15)	-3 (-45)	Alle nach dem Melken bis auf 2 (25), 3 (35), 11 (145) und 13 (175)

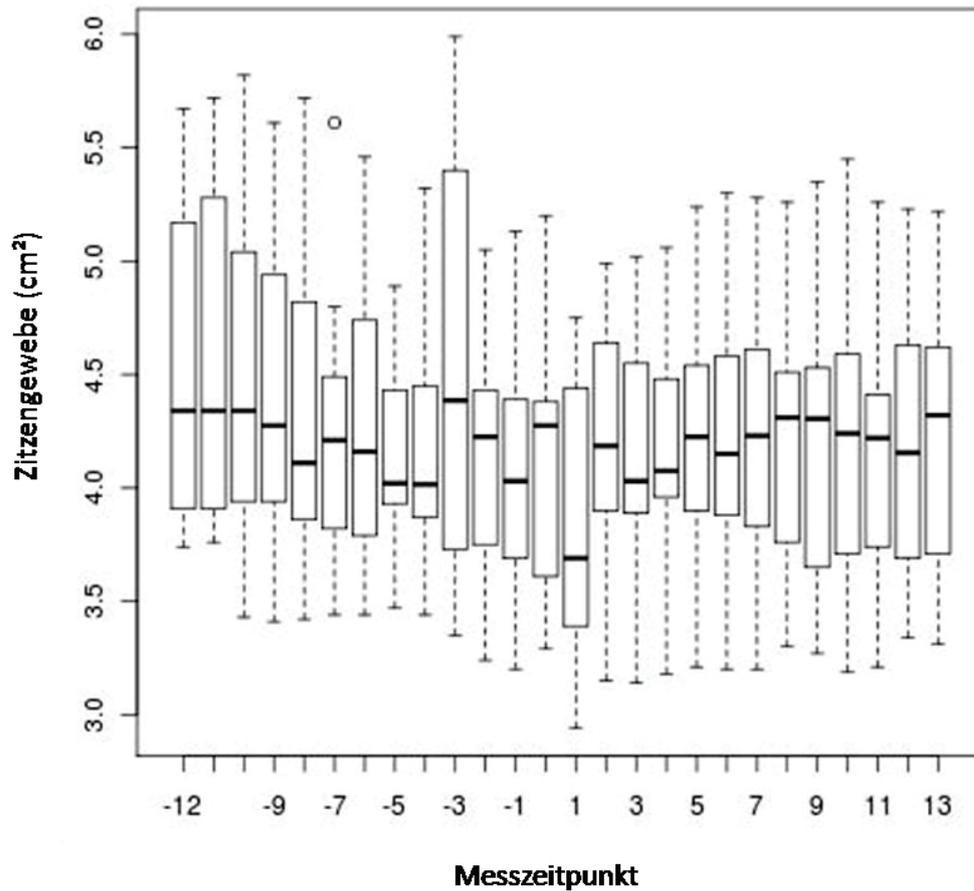


Abbildung 21: Zitzengewebebefläche in cm<sup>2</sup> (Boxplots mit Median) (n = 10) (Signifikante Unterschiede (P < 0,05) siehe Tab. 24)

## 2. Ergebnisse der Color Angiographie

### 2.1. Längsschnitt (MP 4)

#### 2.1.1. Vor dem Melken

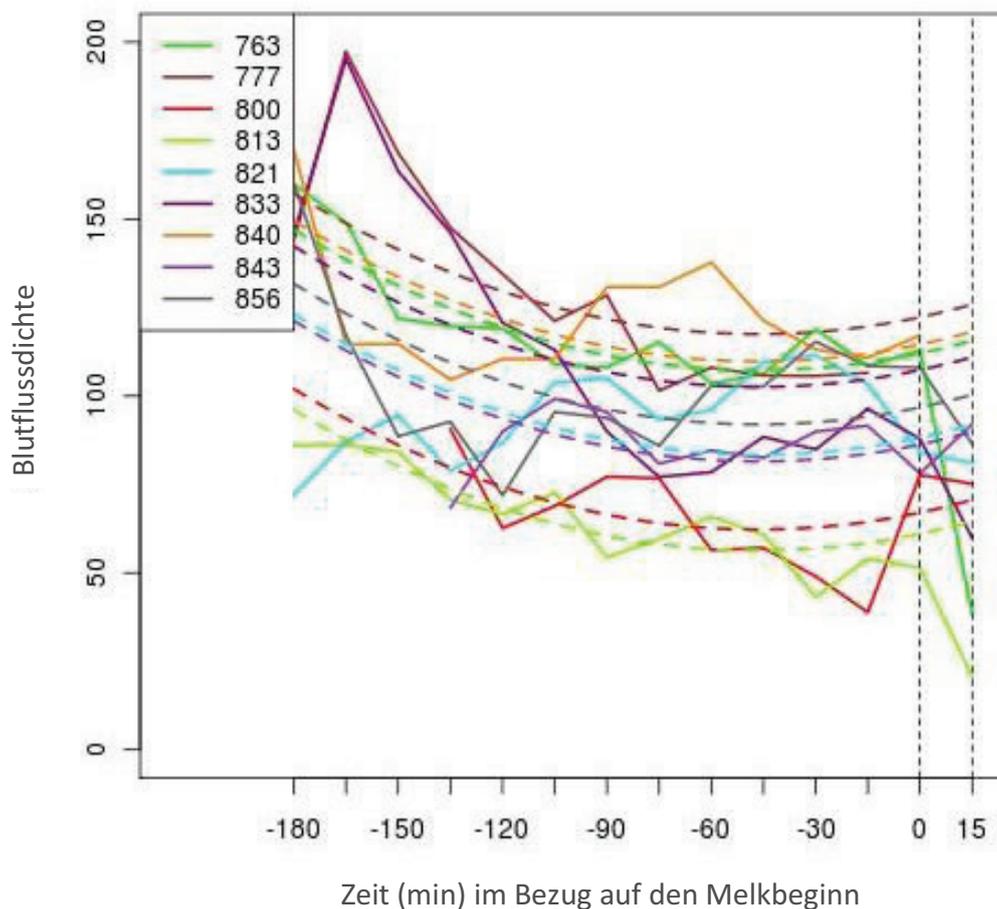
Bis auf Kuh Nr. 3 (Stallnummer 760) haben alle Kühe vor dem Melken an MP 4 (Abb. 3) einen ähnlichen Verlauf der aus den Werten der Blutflussdichte der rechten Bauchzitze erstellten Kurven (Abb. 24). Kuh Nr. 3 wurde aus diesem Grund nicht in die Auswertungen der Messungen vor dem Melken an MP 4 einbezogen.

##### 2.1.1.1. Intercept des y-Achsenabschnitts

Der y-Achsenabschnitts-Unterschied (Intercept) gibt den Unterschied zwischen dem Niveau der Blutflussdichte der rechten Bauchzitze jeder einzelnen Kuh und dem mittleren Niveau der Blutflussdichte der rechten Bauchzitzen aller Kühe an.

Das Intercept besagt also, ob die Zitze der jeweiligen Kuh insgesamt eine Blutflussdichte aufweist, die größer oder kleiner, als die mittlere Blutflussdichte aller Kühe ist. Da der Verlauf aller geschätzten Kurven parallel ist, besteht ein über sämtliche Messzeitpunkte konstanter Abstand zwischen den Kurven der einzelnen Kühe. Für die Berechnung des Intercepts wird wie unter III.2.7. beschrieben verfahren.

Aus den Daten (Tab. 25) ist zu erkennen, dass das Niveau der Blutflussdichte an MP 4 (Abb. 3) vor dem Melken, mit Intercepts im Bereich zwischen  $-33,99$  und  $27,21$  relativ weit variiert. Dieses wird durch Abbildung 22 verdeutlicht.



**Abbildung 22: Blutflussdichte (durchgezogen real, gestrichelt assimiliert) im Längsschnitt (MP 4) 180 min vor dem Melken bis zur ersten Messung nach dem Melken (n = 9)**

**Tabelle 25: Y-Achsenabschnitts-Unterschied (Intercept) zum mittleren y-Achsenabschnitt der im Längsschnitt (MP 4) gemessenen Blutflussdichte vor dem Melken für jede Kuh**

Kuh	Stallnummer	Intercept
4	763	16,98
6	777	27,21
7	800	-28,04
8	813	-33,99
9	821	-6,88
10	833	12,29
11	840	19,49
12	843	-8,77
13	856	1,70

### 2.1.1.2. Differenz der geschätzten und realen Werte

Die Differenz zwischen dem, durch die vor dem Melken erfassten Werte geschätzten Wert und dem realen Wert der Blutflussdichte für die Messung direkt nach dem Melken gibt an, wie stark der reale Wert der Blutflussdichte zu diesem Zeitpunkt von den Werten vor dem Melken abweicht (Abb. 22 und Tab. 26). Die Differenz verdeutlicht also, wie stark die Blutflussdichte durch das Melken beeinflusst wird.

Sechs der acht Kühe haben eine positive Differenz, zwei eine negative. Die positive Differenz bedeutet, dass der reale Wert der Blutflussdichte unter dem geschätzten Wert liegt, dass also die Blutflussdichte während des Melkens kleiner geworden ist (Abb. 22). Für die negativen Differenzen gilt das Gegenteil.

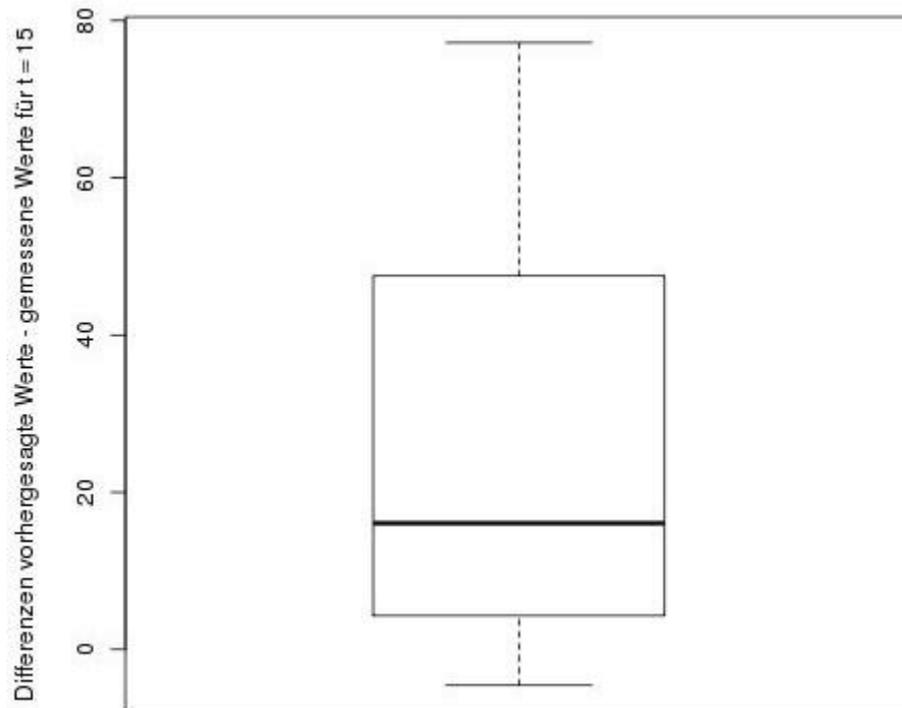
An MP 4 liegt vor dem Melken eine Große Varianz der Differenzen zwischen den Kühen vor (Abb. 22 und 23). Bei drei Kühen sind die Differenzen mit 43,99, 51,02 und 77,18 relativ groß. Ihre Blutflussdichte ist direkt nach dem Melken, im Vergleich zu ihrer Blutflussdichte vor dem Melken niedrig (Abb. 24).

Drei weitere Kühe haben direkt nach dem Melken ebenfalls eine verminderte Blutflussdichte, die Reduktion ist aber bei ihnen mit 10,72, 13,81 und 18,32 nicht so stark ausgeprägt.

Die Blutflussdichte zweier Kühe sinkt direkt nach dem Melken nicht ab, sondern steigt geringfügig an (Tab. 26).

**Tabelle 26: Differenzen der aus den Daten vor dem Melken geschätzten Werte und der realen Werte für die erste Messung nach dem Melken (15 min) im Längsschnitt (MP 4)**

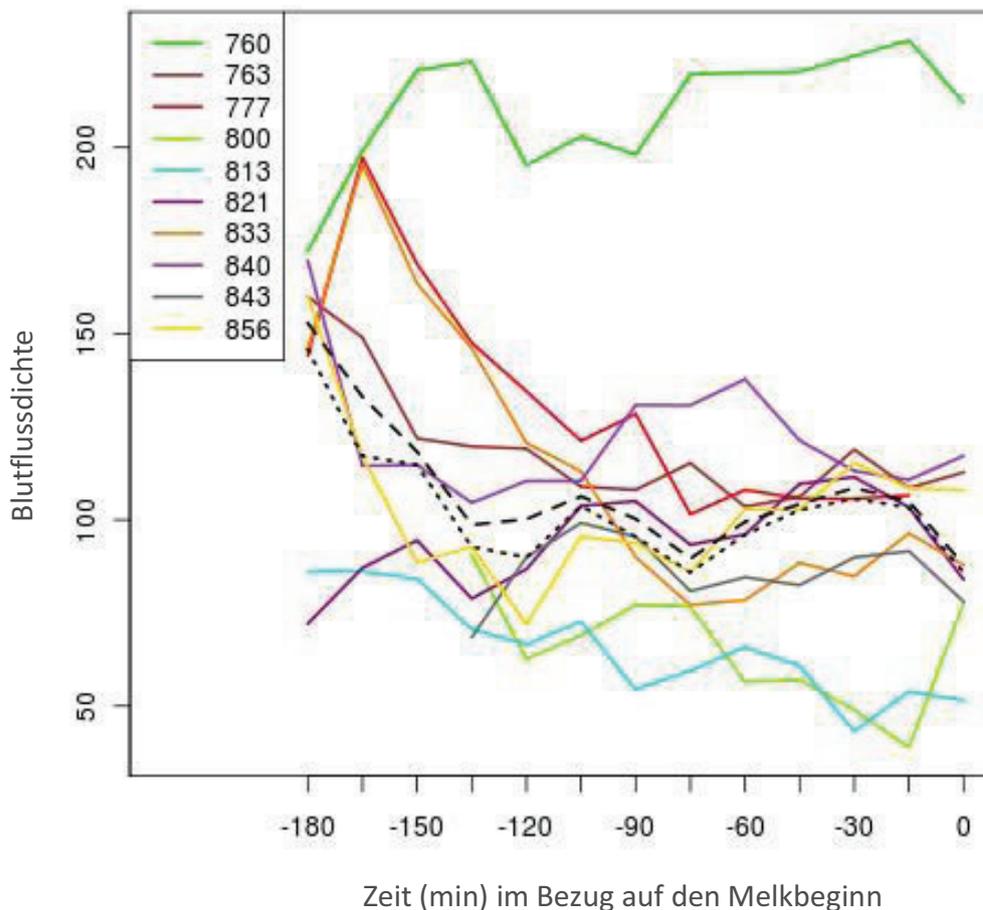
Kuh	Stallnummer	Differenz
4	763	77,18
6	777	18,32
7	800	-4,55
8	813	43,99
9	821	10,72
10	833	51,02
12	843	-2,12
13	856	13,81



**Abbildung 23: Differenzen der aus den Daten vor dem Melken vorhergesagten und gemessenen Werte zum ersten Messzeitpunkt (15 min) nach dem Melken im Längsschnitt (MP 4) (n = 8)**

### 2.1.1.3. Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte

180 Minuten vor Beginn des Melkens beträgt der Median der Blutflussdichte 152,85 (Tab. 27 und Abb. 24). Bei sechs der zehn Kühe kommt es zu einem Anstieg der Blutflussdichte in der rechten Bauchzitze innerhalb des ersten Messintervalls (Abb. 24). Anschließend kommt es bei allen zehn Kühen zu einer Reduktion der Blutflussdichte.



**Abbildung 24: Blutflussdichte im Längsschnitt (MP 4) vor dem Melken mit Median, einmal mit (obere gestrichelte Linie) und einmal ohne (untere gestrichelte Linie) Kuh Nr. 3 (Stallnummer 760) (n = 10)**

Bis 75 Minuten vor dem Melken sinkt der Median der Blutflussdichte auf 89,58 (Tab. 27). 60 Minuten vor Beginn des Melkens kommt es bei acht der zehn Kühe zu einem Anstieg der Blutflussdichte, welcher zu einem Median von 108,55 führt. Innerhalb der beiden letzten Messintervalle vor dem Melken sinkt der Median der Blutflussdichte bis auf 87,34 (Tab. 27).

**Tabelle 27: Median der Blutflussdichte sowie Minimum und Maximum der Blutflussdichte bei den einzelnen Kühen im Längsschnitt (MP 4) (n = 10)**

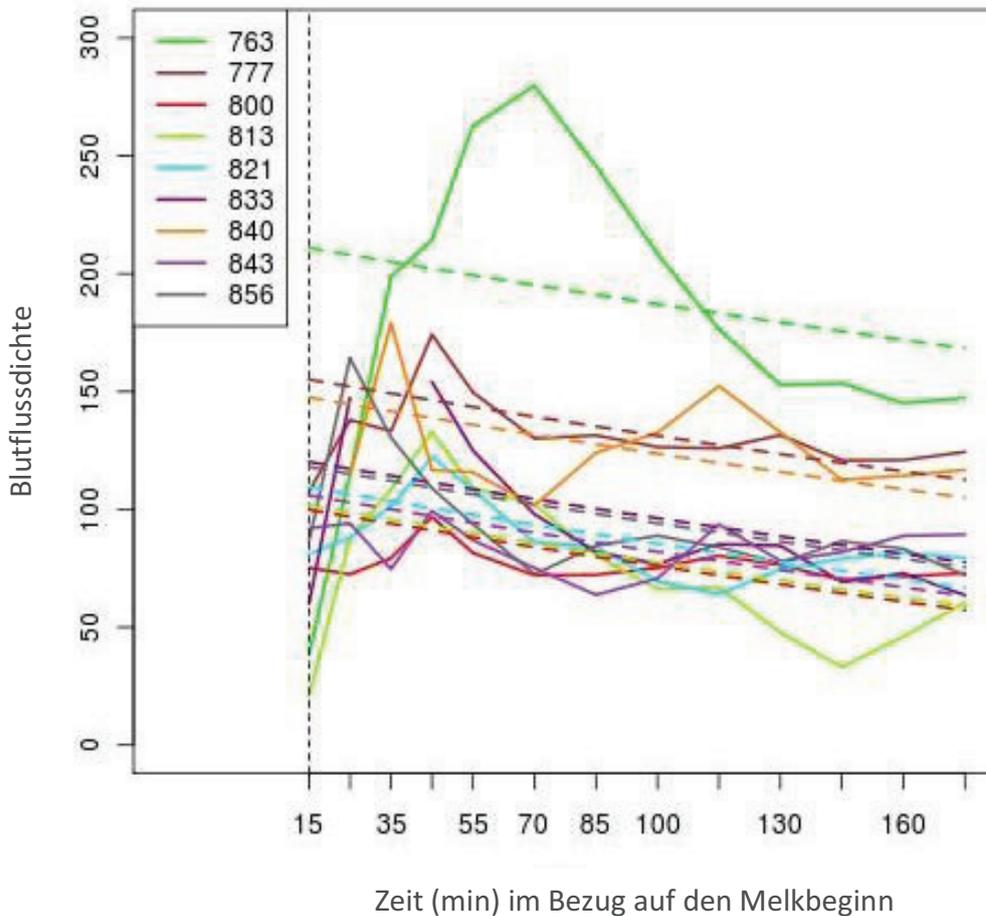
Messzeitpunkt	Median der Blutflussdichte	Blutflussdichte beim Einzeltier
-12	152,85	72,08 – 172,18
-11	133,03	86,11 – 199,04
-10	118,30	84,17 – 220,80
-9	98,64	70,60 – 223,01
-8	100,17	62,62 – 195,19
-7	106,30	68,87 – 202,95
-6	100,23	54,39 – 198,05
-5	89,58	59,50 – 219,54
-4	99,43	56,41 – 220,10
-3	104,19	57,04 – 220,30
-2	108,55	43,18 – 224,51
-1	87,84	38,84 – 228,79
0	87,34	51,42 – 211,99
1	75,16	20,66- 107,54
2	113,75	72,41 – 147,22
3	117,15	74,66 – 198,51
4	122,10	96,78 – 214,23
5	112,46	81,51 – 262,65
6	99,75	72,04 – 279,83
7	84,27	63,70 – 245,76
8	82,82	66,12 – 208,32
9	89,46	64,05 – 176,38
10	81,34	47,78 – 152,78
11	84,16	33,06 – 153,48
12	86,03	46,05 – 145,01
13	84,40	60,42 – 147,73

### 2.1.2. Nach dem Melken

#### 2.1.2.1. Intercept des y-Achsenabschnitts

Die Werte für das Intercept der Messungen an MP 4 (Abb. 3) nach dem Melken können Tabelle 28 entnommen werden. Aus den Daten wird deutlich, dass acht der neun ausgewerteten Kühe Intercepts in einem Bereich zwischen -29,97 und 25,29 aufweisen. Nur bei einer Kuh liegt das Niveau der Blutflussdichte in der rechten Bauchzitze mit einem Intercept von 81,13 weit über dem der übrigen Kühe (Abb. 25). Sechs der Kühe haben ein negatives Intercept, welches

verdeutlicht, dass ihre Blutflussdichte am Tag der Messung an MP 4 geringer war, als die mittlere Blutflussdichte an MP 4. Bei drei Kühen liegt das Niveau der Blutflussdichte höher, als das Niveau der mittleren Blutflussdichte.



**Abbildung 25: Blutflussdichte (durchgezogene Linien real, gestrichelte assimiliert) im Längsschnitt (MP 4) nach dem Melken (15 bis 175 min) (n = 9)**

**Tabelle 28: Y-Achsenabschnitts-Unterschied (Intercept) zum mittleren y-Achsenabschnitt der im Längsschnitt (MP 4) gemessenen Blutflussdichte nach dem Melken für jede Kuh**

Kuh	Stallnummer	Intercept
4	763	81,13
6	777	25,29
7	800	-29,97
8	813	-28,32
9	821	-20,50
10	830	-9,65
11	840	17,71
12	843	-23,88
13	856	-11,81

### 2.1.2.2. Differenz der geschätzten und realen Werte

Die Differenz zwischen dem geschätzten Wert für die Messung direkt nach dem Melken und dem real zu diesem Zeitpunkt gemessenen Wert verdeutlicht, wie stark sich die Blutflussdichte direkt nach dem Melken bei jeder Kuh von der, aus den übrigen Werten nach dem Melken geschätzten Blutflussdichte unterscheidet. Die Differenz beschreibt also die Veränderungen der Blutflussdichte im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken. Die Werte der Differenzen können Tabelle 29 entnommen werden.

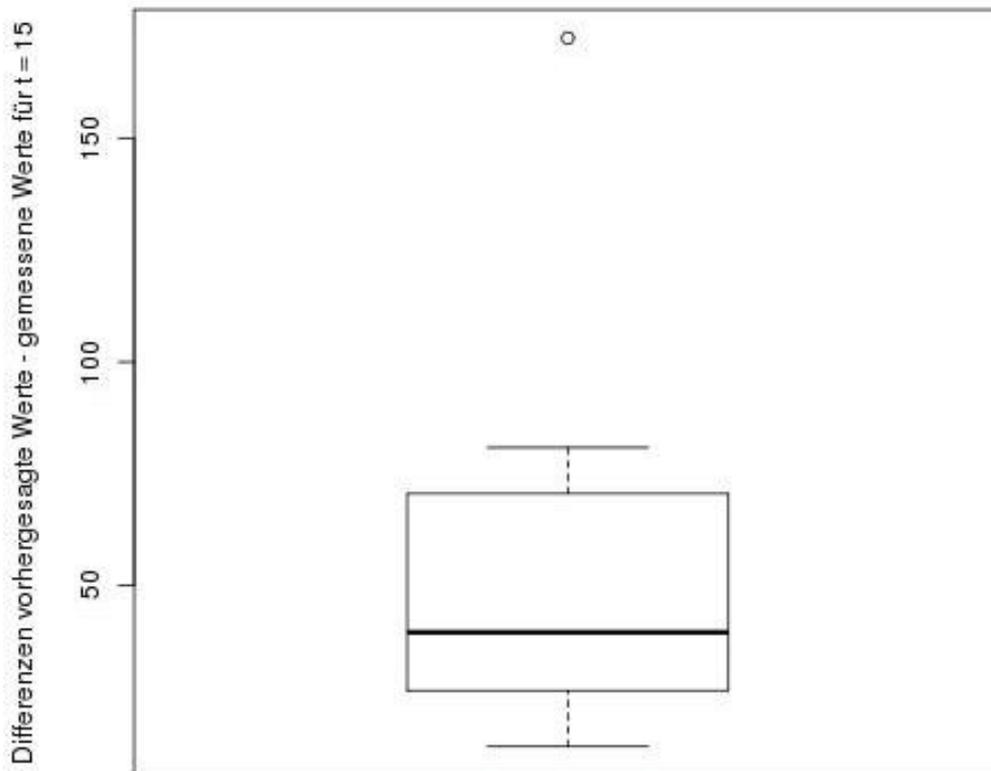
Die Differenz ist bei allen Kühen positiv. Dieses besagt, dass der geschätzte Wert über dem errechneten liegt. Die Blutflussdichte der Kühe steigt also im Anschluss an die Messung direkt nach dem Melken an.

Die Blutflussdichte der Zitze von Kuh Nr. 4 (Stallnummer 763) weicht mit einer Differenz von 172,49 weit von denen der anderen Kühe ab (Abb. 27). Das beweist, dass ihre Blutflussdichte im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken sehr stark ansteigt. Aber auch bei den übrigen sieben Kühen sind die Differenzen deutlich ausgeprägt. Die Blutflussdichte ihrer rechten Bauchzitzen steigt also im Anschluss an die Messung direkt nach dem Melken deutlich an.

Untereinander differieren die Blutflussdichten der verschiedenen Kühe ebenfalls deutlich (Abb. 26).

**Tabelle 29: Differenzen der aus den Daten nach dem Melken geschätzten Werte und der realen Werte für die Messungen direkt nach dem Melken im Längsschnitt (MP 4)**

Kuh	Stallnummer	Differenz
4	763	172,49
6	777	47,55
7	800	24,67
8	813	80,82
9	821	28,25
10	833	60,24
12	840	13,92
13	856	31,46

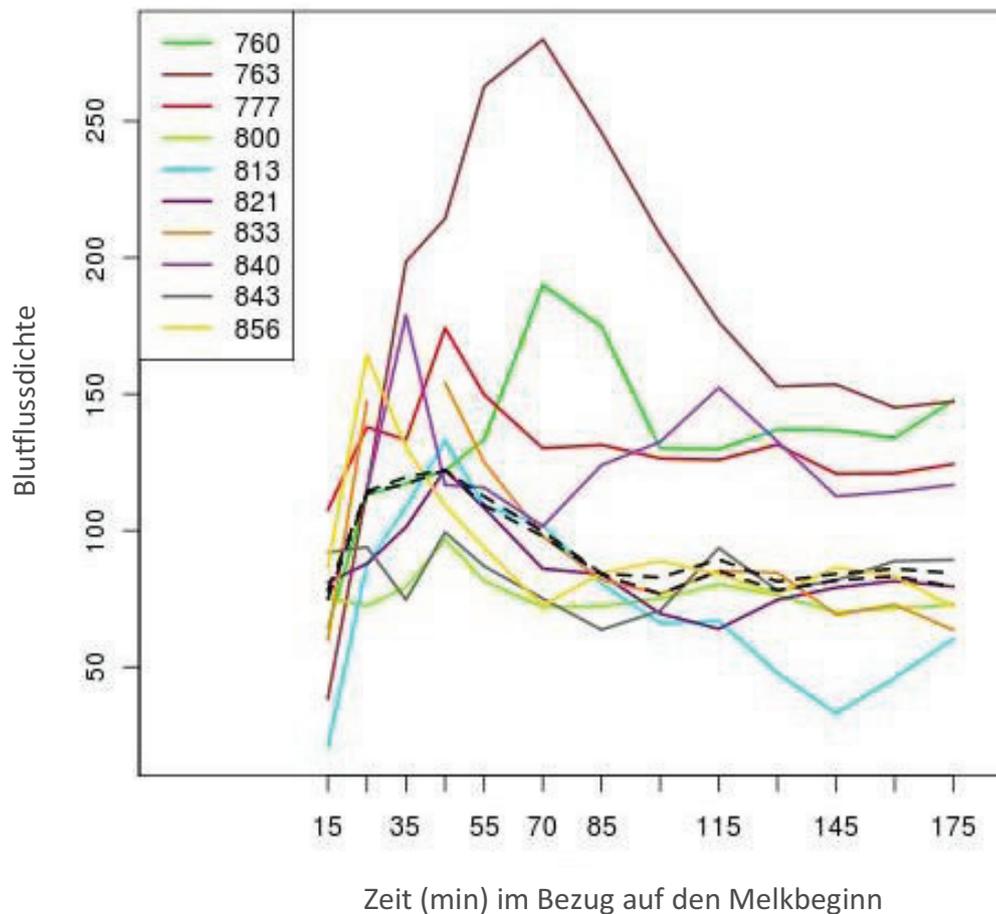


**Abbildung 26: Differenzen der aus den Daten nach dem Melken vorhergesagten und gemessenen Werte zum ersten Messzeitpunkt (15 min) nach dem Melken im Längsschnitt (MP 4) (n = 8)**

### 2.1.2.3. Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte

Unmittelbar nach dem Melken beträgt der Median der Blutflussdichte der rechten Bauchzitzen an MP 4 (Abb. 3) 75,16 (Tab. 27 und Abb. 27). Damit ist er 12,18 kleiner, als direkt vor dem Melken. Beim Einzeltier kommt es zu einem Absinken der Blutflussdichte um bis zu 147,70. Bei zwei Kühen kommt es nicht zu einer Reduktion der Blutflussdichte bei der ersten Messung nach dem Melken, sondern zu einer Vergrößerung um 1,01 und 13,93.

Innerhalb der folgenden drei Messungen steigt die Blutflussdichte signifikant bis auf einen Median von 122,10 an ( $P < 0,05$ ). Anschließend nimmt der Median der Blutflussdichte innerhalb von drei Messintervallen auf 84,27 ab (Tab. 27). Dieser Wert bleibt bis zum Ende der Messungen weitgehend konstant.



**Abbildung 27: Blutflussdichte im Längsschnitt (MP 4) nach dem Melken mit Median, einmal mit (obere gestrichelte Linie) und einmal ohne (untere gestrichelte Linie) Kuh Nr. 4 (Stallnummer 763) (n = 10)**

## 2.2. Querschnitt Oben (MP 1)

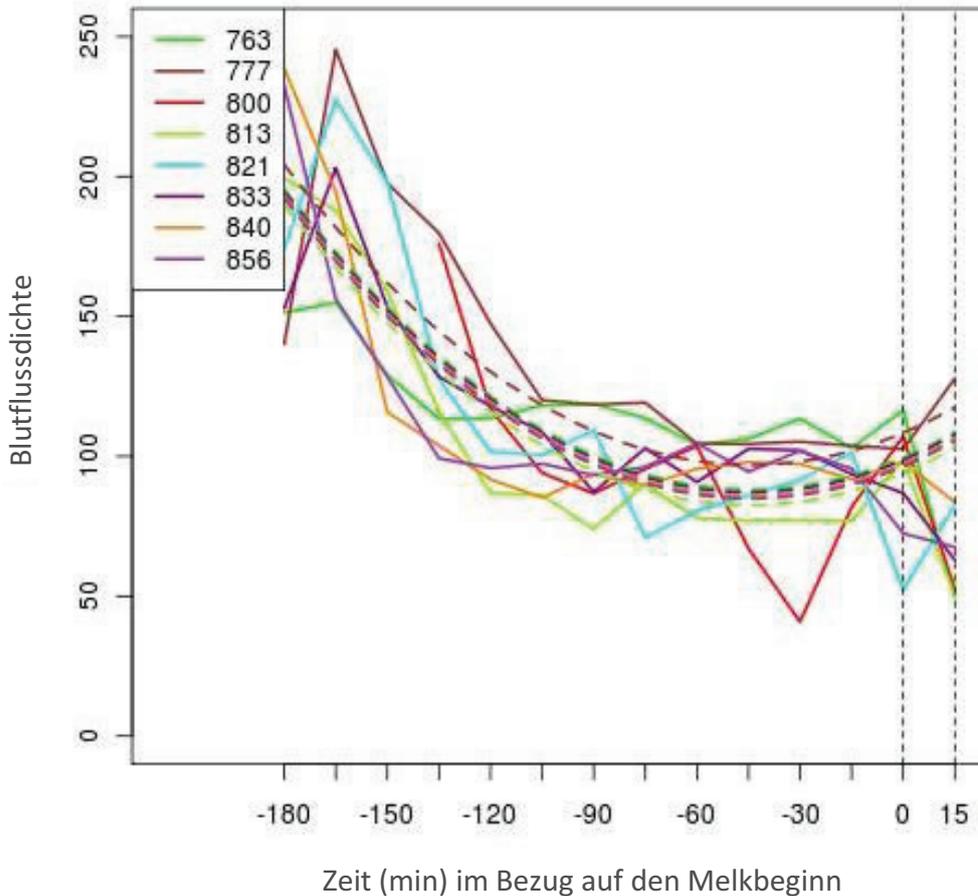
### 2.2.1. Vor dem Melken

Bei acht der zehn Kühe zeigen die Werte der Blutflussdichte der rechten Bauchzitze vor dem Melken an MP 1 (Abb. 3) einen sehr ähnlichen Verlauf. Die Daten von Kuh Nr. 3 (Stallnummer 760) und Kuh Nr. 12 (Stallnummer 843) weichen stark davon ab (Abb. 30). Aus diesem Grund werden diese beiden Kühe nicht in die Betrachtungen der Intercepts und der Differenzen einbezogen.

#### 2.2.1.1. Intercept des y-Achsenabschnitts

Die Werte der Intercepts der Messungen an MP 1 (Abb. 3) vor dem Melken variieren nur geringfügig (Tab. 30). Dieses wird durch Abbildung 28 verdeutlicht. Bei sechs der acht Kühe liegt das Niveau der Blutflussdichte mit Intercepts

zwischen -4,66 und -0,02 unter dem errechneten Mittelwert. Bei den zwei übrigen Kühen liegt das Niveau der Blutflussdichte mit 9,65 und 0,94 über dem Mittelwert (Tab. 30).



**Abbildung 28: Blutflussdichte (durchgezogene Linien real, gestrichelte assimiliert) im Querschnitt (MP 1) 180 min vor dem Melken bis zur ersten Messung nach dem Melken (n = 8)**

**Tabelle 30: Y-Achsenabschnitts-Unterschied (Intercept) zum mittleren y-Achsenabschnitt der im Querschnitt (MP 1) gemessenen Blutflussdichte vor dem Melken für jede Kuh**

Kuh	Stallnummer	Intercept
4	763	0,94
6	777	9,65
7	800	-1,79
8	813	-4,66
9	821	-0,38
10	833	-0,02
11	840	-1,40
13	856	-2,35

### 2.2.1.2. Differenz der geschätzten und realen Werte

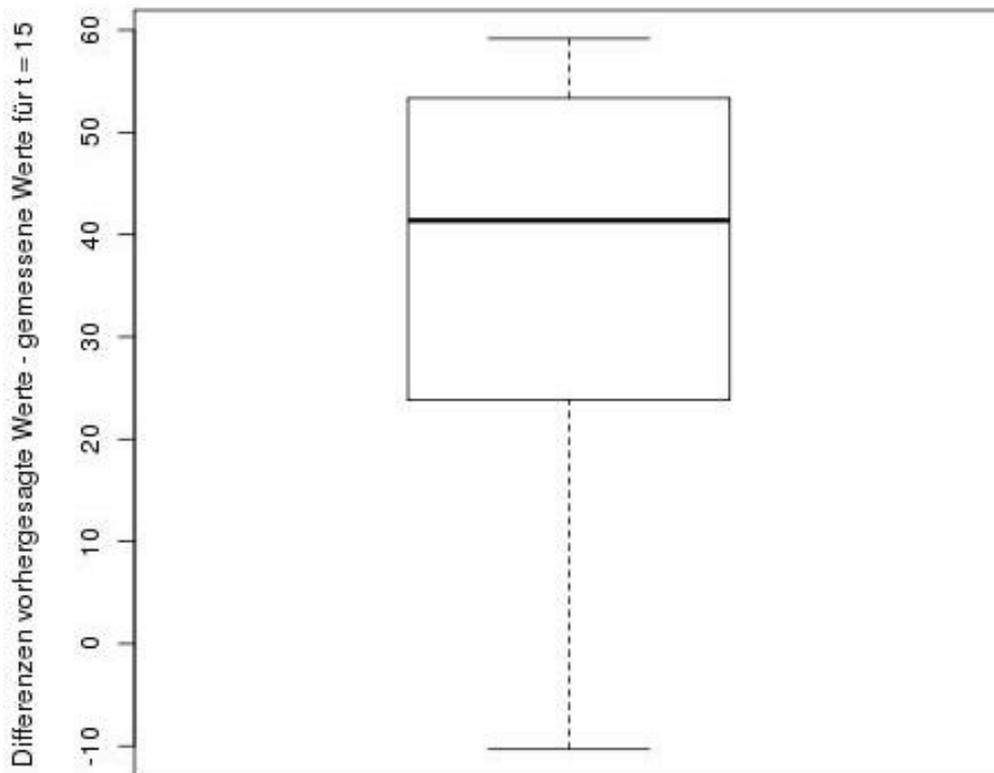
Bei sieben der acht Kühe ist die Differenz zwischen dem geschätzten und dem realen Wert der Messung direkt nach dem Melken positiv, bei einer negativ (Tab. 31 und Abb. 28). Bei sieben Kühen ist somit der geschätzte Wert größer, als der reale. Das beweist, dass bei diesen sieben Kühen die Blutflussdichte in der Zitze an der MP 1 direkt nach dem Melken kleiner geworden ist.

Bei einer Kuh ist die Blutflussdichte direkt nach dem Melken im Vergleich zu vor dem Melken größer geworden (Abb. 28).

**Tabelle 31: Differenzen der aus den Daten vor dem Melken geschätzten Werte und der realen Werte für die Messungen im Querschnitt (MP 1) direkt nach dem Melken**

Kuh	Stallnummer	Differenz
4	763	59,16
6	777	-10,32
7	800	53,44
8	813	53,25
9	821	24,79
10	833	44,84
11	840	22,92
13	856	37,92

Die Differenzen haben bei drei Tieren eine ähnliche Größe, die der übrigen Tiere divergieren deutlich (Abb. 28 und Abb. 29). Nachdem die Unterschiede der Intercepts vor dem Melken sehr gering ausfallen, also die Blutflussdichte aller Tiere vor dem Melken ähnlich groß ist bedeutet das, dass die Blutflussdichte der einzelnen Kühe durch das Melken unterschiedlich stark beeinflusst wird.



**Abbildung 29: Differenzen der aus den Daten vor dem Melken vorhergesagten und gemessenen Werte zum ersten Messzeitpunkt (15 min) nach dem Melken im Querschnitt (MP 1) (n = 8)**

### 2.2.1.3. Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte

Der Median der Blutflussdichte, die im Querschnitt am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis gemessen wurde (Abb. 3) beträgt zu Beginn der Messungen 164,50 (Tab. 32 und Abb. 30).

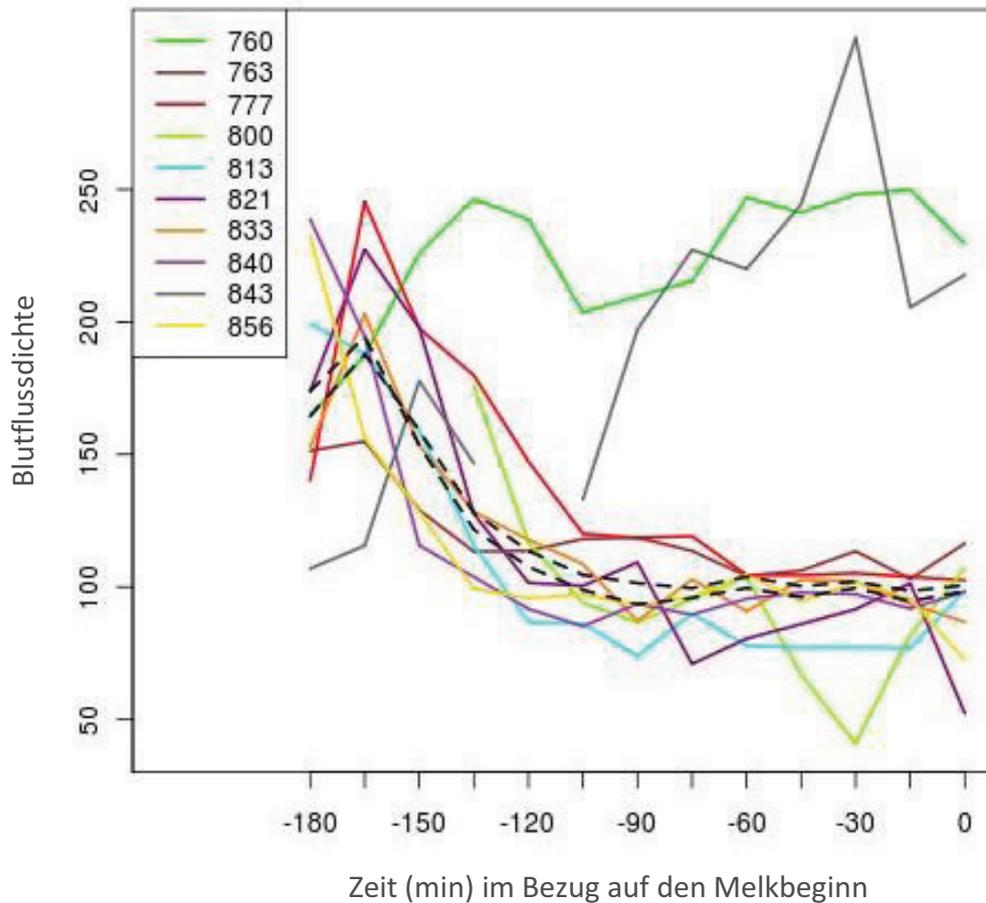
Innerhalb eines Messintervalls steigt er auf 187,86 an. Bei sechs der zehn Kühe steigt die Blutflussdichte innerhalb von maximal drei Messintervallen an. Bei den anderen vier Kühen kommt es von Beginn an zu einer Reduktion der Blutflussdichte.

Anschließend sinkt der Median der Blutflussdichte bis zu der Messung 75 Minuten vor dem Melken um 88,33 auf 99,53 ab. Nach diesem Abfall folgt ein schwacher Anstieg innerhalb eines Messintervalls auf 103,09. Anschließend tritt eine erneute Reduktion auf, so dass der Median der Blutflussdichte direkt vor dem Melken 100,63 beträgt. (Tab. 32 und Abb. 30).

Bei fünf der zehn Kühe kommt es 45 Minuten vor dem Melken zu einem leichten Anstieg der Blutflussdichte der rechten Bauchzitze, bei den übrigen fünf Tieren sinkt sie ab. Bei drei der Kühe mit Anstieg der Blutflussdichte der rechten Bauchzitze sowie bei zwei der anderen Kühe kommt es direkt vor dem Melken noch einmal zu einem Anstieg der Blutflussdichte, bei den anderen fünf Kühen kommt es zu einem deutlichen Absinken der Blutflussdichte direkt vor dem Melken (Abb. 30).

**Tabelle 32: Median der Blutflussdichte der rechten Bauchzitze sowie Minimum und Maximum der Blutflussdichte der Messungen im Querschnitt (MP 1) bei den einzelnen Kühen (n = 10)**

Messzeitpunkt	Median der Blutflussdichte	Blutflussdichte beim Einzeltier
-12	164,50	106,94 – 238,69
-11	187,86	115,60 – 245,34
-10	158,96	128,36 – 225,86
-9	128,03	99,26 – 246,43
-8	113,59	86,89 – 238,65
-7	104,55	85,17 – 203,63
-6	101,43	86,67 – 209,66
-5	99,53	70,94 – 215,39
-4	103,90	77,73 – 246,89
-3	100,29	40,83 – 248,04
-2	102,03	40,83 – 307,19
-1	98,48	76,79 – 249,84
0	100,62	52,34 – 229,52
1	72,84	49,59 – 127,78
2	141,51	55,15 – 205,53
3	142,86	103,37 – 174,73
4	125,97	83,79 – 268,18
5	124,90	69,73 – 197,69
6	117,78	76,70 – 178,27
7	103,54	71,50 – 147,87
8	106,27	60,73 – 135,25
9	99,27	66,60 – 132,91
10	93,93	72,99 – 126,59
11	97,77	60,18 – 136,32
12	100,08	73,46 – 139,67
13	94,03	67,19 – 140,38

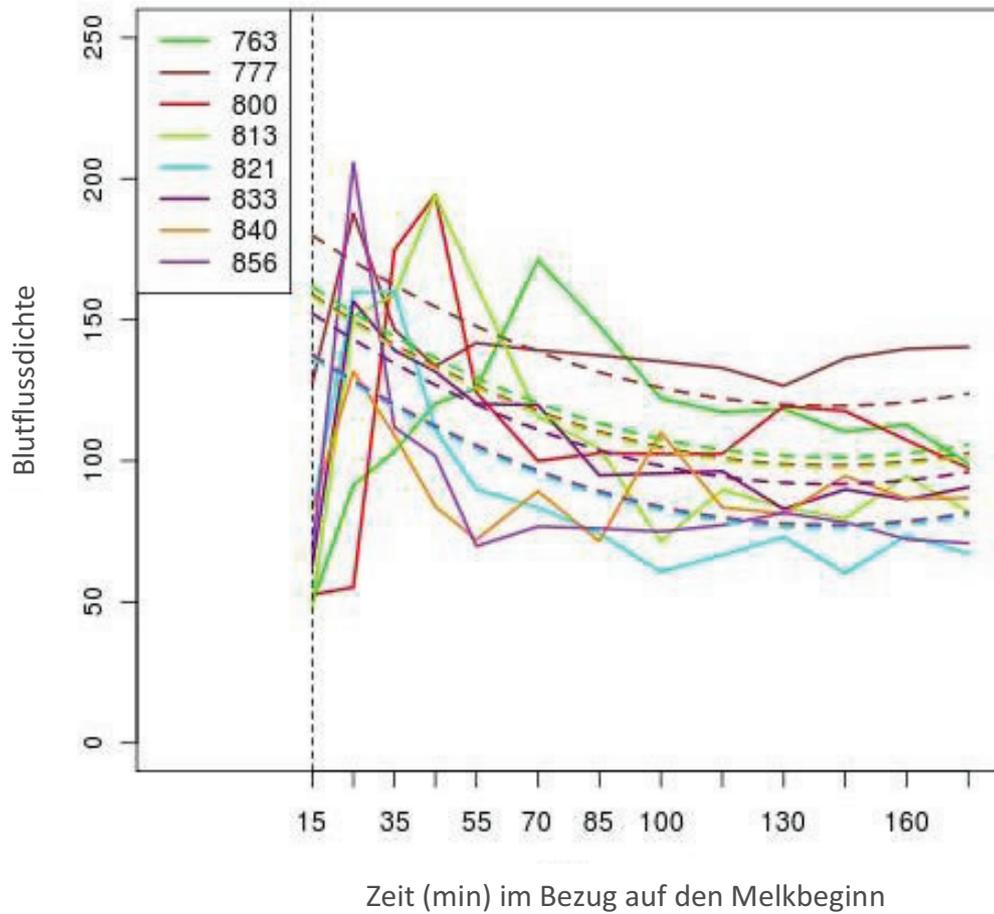


**Abbildung 30: Blutflussdichte im Querschnitt (MP 1) vor dem Melken mit Median, einmal mit (obere gestrichelte Linie) und einmal ohne (untere gestrichelte Linie) die Kühe Nr. 3 (Stallnummer 760) und Nr. 12 (Stallnummer 843) (n = 10)**

## 2.2.2. Nach dem Melken

### 2.2.2.1. Intercept des y-Achsenabschnitts

Bei drei der acht Milchkühe ist das Niveau der Blutflussdichte der rechten Bauchzitze mit einem Intercept von -14,97, -15,23 und -16,43 (Tab. 33) in einem sehr ähnlichen Maß niedriger, als das mittlere Niveau (Abb. 31). Bei vier weiteren Kühen liegt ebenfalls eine große Ähnlichkeit des Niveaus der Blutflussdichte vor. Es weicht mit Intercept von -0,63, 5,28, 5,99 und 8,91 nur geringfügig von dem mittleren Niveau der Blutflussdichte der rechten Bauchzitzen aller Kühe ab. Bei einer Kuh ist das Intercept mit 27,09 etwas größer als bei den übrigen Kühen (Abb. 31). Insgesamt ist das Niveau der Blutflussdichte an MP 1 nach dem Melken bei den acht Kühen sehr ähnlich (Tab. 33 und Abb. 32).



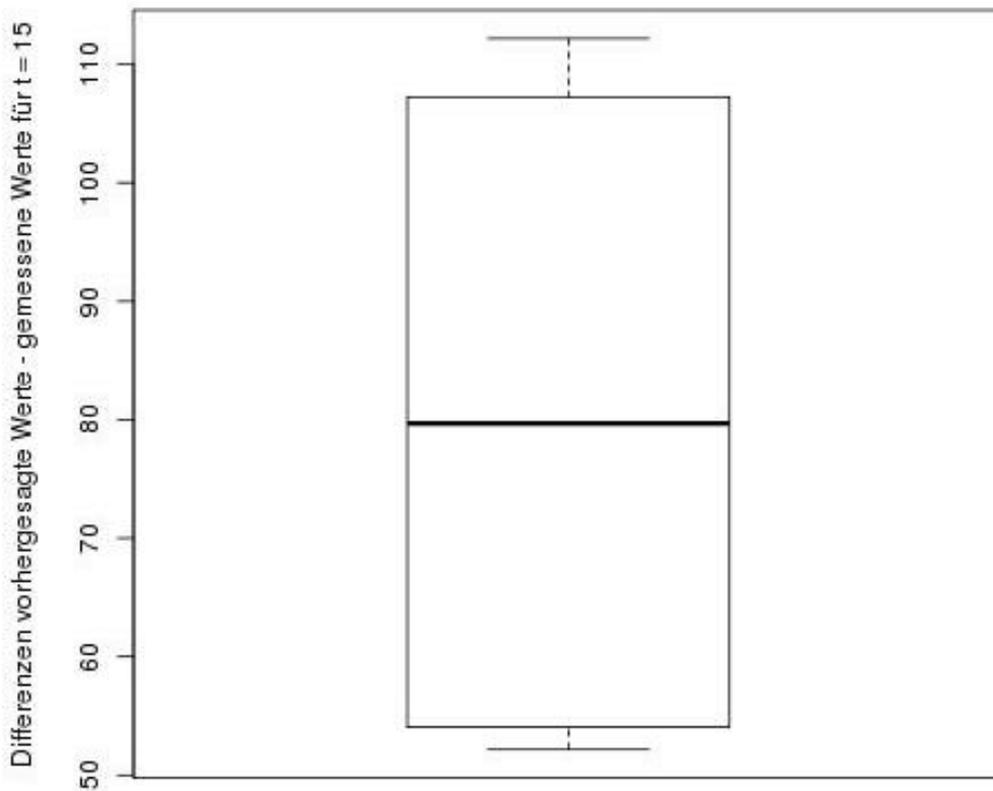
**Abbildung 31: Blutflussdichte (durchgezogene Linien real, gestrichelte assimiliert) im Querschnitt (MP 1) nach dem Melken**

**Tabelle 33: Y-Achsenabschnitts-Unterschied (Intercept) zum mittleren y-Achsenabschnitt der im Querschnitt (MP 1) gemessenen Blutflussdichte nach dem Melken für jede Kuh**

Kuh	Stallnummer	Intercept
4	763	8,91
6	777	27,09
7	800	5,99
8	813	5,28
9	821	-16,43
10	833	-0,63
11	840	-14,97
13	856	-15,23

### 2.2.2.2. Differenz der geschätzten und realen Werte

Die Differenzen zwischen den geschätzten und den realen Werten für die Messungen im Querschnitt am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis (MP 1) direkt nach dem Melken sind alle deutlich positiv ausgeprägt (Abb. 32 und Tab. 34). Das bedeutet, dass der reale Wert weit unter dem geschätzten Wert liegt und somit, dass die Blutflussdichte im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken stark ansteigt.



**Abbildung 32: Differenzen der aus den Daten nach dem Melken vorhergesagten und gemessenen Werte zum ersten Messzeitpunkt nach dem Melken im Querschnitt (MP 1) (n = 8)**

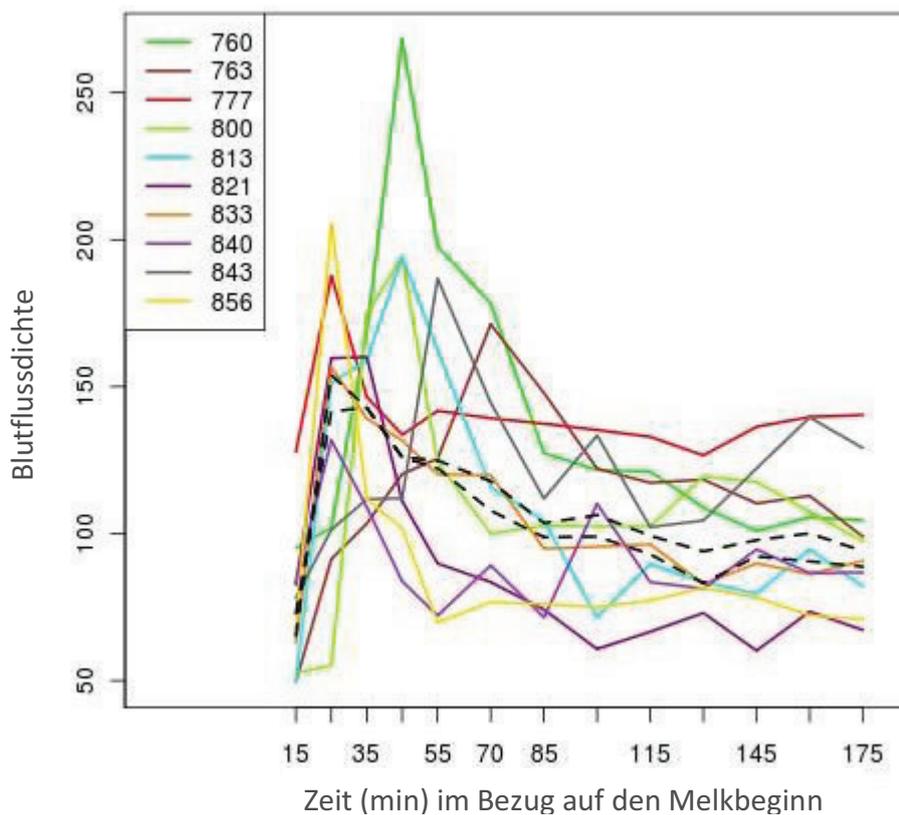
Die Differenzen der Kühe Nr. 4, 7, 8 und 10, deren Intercepts sich kaum voneinander unterscheiden, ähneln sich (Tab. 33 und Tab. 34). Sie sind mit 89,28, 106,25, 108,22 und 112,18 stark ausgeprägt (Tab. 34 und Abb. 31). Die Differenzen der Kühe Nr. 9 und 11, die auch ein sehr ähnliches Intercept haben, ähneln sich ebenfalls.

Insgesamt besteht aber bei den Differenzen zwischen den Kühen eine weite Spanne (Abb. 32).

**Tabelle 34: Differenzen der aus den Daten nach dem Melken geschätzten Werte und der realen Werte für die Messungen direkt nach dem Melken im Querschnitt (MP 1)**

Kuh	Stallnummer	Differenz
4	763	112,18
6	777	52,16
7	800	106,25
8	813	108,22
9	821	53,78
10	833	89,28
11	840	54,38
13	856	70,083

### 2.2.2.3. Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte



**Abbildung 33: Blutflussdichte der Zitzen aller Kühe im Querschnitt (MP 1) nach dem Melken mit Median, einmal mit (obere gestrichelte Linie) und einmal ohne (untere gestrichelte Linie) Kuh Nr. 3 (Stallnummer 760) (n = 10)**

Der Median der an MP 1 (Abb. 3) gemessenen Blutflussdichte beträgt direkt nach dem Melken 72,84 (Tab. 32) und ist somit um 27,79 kleiner, als direkt vor dem Melken (Abb. 33).

Im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken steigt die Blutflussdichte bei allen zehn Kühen signifikant an ( $P < 0,05$ ) (Abb. 33). Innerhalb der ersten zwei Messintervalle nach dem Melken steigt der Median auf 142,86. Im Anschluss sinkt der Median der Blutflussdichte bis zum Ende der Messungen auf 94,03 (Tab. 32 und Abb. 33).

### **2.3. Vergleich der Ergebnisse an den verschiedenen Messpositionen**

#### **2.3.1. Beschreibung des Kurvenverlaufs der Blutflussdichte**

Der Median der Blutflussdichte liegt zu Beginn der Messungen am Querschnitt der Zitze am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis (MP 1) (Abb. 3) mit 164,50 höher, als der am Längsschnitt der Zitze in Verlängerung zum Strichkanal (MP 4) mit 153,85. An MP 1 steigt der Median der Blutflussdichte innerhalb eines Messintervalls an und fällt anschließend ab. An MP 4 sinkt der Median der Blutflussdichte von der ersten Messung an ab. Dieser Abfall erfolgt langsamer, als der an MP 1, so dass zum Messzeitpunkt -7 an MP 4 ein geringfügig höherer Median der Blutflussdichte besteht, als an MP 1 (Tab. 35).

Im Anschluss an die Messung 75 Minuten vor dem Melken kommt es an beiden Messpositionen zu einem Anstieg der Blutflussdichte, welcher aber an MP 4 stärker ausgeprägt ist (Tab. 35).

Direkt nach dem Melken sinkt der Median der Blutflussdichte an MP 1 mit einer Differenz von 29,79 von vor zu nach dem Melken stärker ab, als der an MP 4 mit 12,68. Auch der folgende Anstieg ist an MP 1 deutlicher und verläuft schneller, als an MP 4 (Tab. 35).

Zusammenfassend ist für den Vergleich der Ergebnisse der Color Angiographie an zwei unterschiedlichen Messpositionen an der rechten Bauchzitze von zehn Kühen zu sagen, dass die Blutflussdichte an MP 1 (Querschnitt der Zitze am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis) stärkeren Schwankungen unterliegt, als an MP 4 (Längsschnitt der Zitze in Verlängerung zum Strichkanal), dass aber die Verläufe der aus den Daten erstellten Kurven Ähnlichkeiten aufweisen (Tab. 35).

**Tabelle 35: Vergleich des Medians der Blutflussdichte an beiden Messpositionen (MP 1 und MP 4) zu bestimmten Messzeitpunkten (n = 10)**

Messzeitpunkt	Querschnitt Oben (MP 1)	Längsschnitt (MP 4)
-12	164,50	152,85
-11	187,86	133,03
-10	158,96	118,30
-9	128,03	98,64
-8	113,59	100,17
-7	104,55	106,30
-6	101,43	100,23
-5	99,53	89,58
-4	103,90	99,43
-3	100,29	104,19
-2	102,03	108,55
-1	98,48	104,92
0	100,63	87,84
1	70,84	75,16
2	141,51	113,75
3	142,86	117,15
4	125,97	122,10
5	124,90	112,46
6	117,78	99,75
7	103,54	84,27
8	106,27	82,82
9	99,27	89,46
10	93,93	81,34
11	97,77	84,16
12	100,08	86,03
13	94,03	84,40

### 2.3.2. Intercept

#### 2.3.2.1. Vor dem Melken

Vergleicht man das Intercept einer Kuh vor dem Melken an MP 1 (Querschnitt der Zitze am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis) mit dem an MP 4 (Längsschnitt der Zitze in Verlängerung zum Strichkanal), so wird deutlich, dass das Intercept an MP 1 geringer ausgeprägt ist, als an MP 4 (Tab. 36).

Nur bei vier Kühen ist das Intercept vor dem Melken an MP 4 ebenfalls gering ausgeprägt. An MP 4 sind die Intercepts von vier Kühen negativ, an MP 1 von sechs Kühen. Das bedeutet, dass an MP 4 mehr Kühe ein Niveau der Blutflussdichte über der mittleren Blutflussdichte aller Kühe haben, als an MP 1.

Bei Kuh Nr. 9 und Kuh Nr. 13 unterscheiden sich die Ergebnisse von MP 1 und MP 4 nur geringfügig, bei den anderen Kühen liegt keine Übereinstimmung vor (Tab. 36).

**Tabelle 36: Vergleich des y-Achsenabschnitt-Unterschieds (Intercept) von jeder Kuh an beiden Messpositionen (MP 1 und MP 4) vor dem Melken**

Kuh (Stallnummer)	Intercept MP 1 vor dem Melken	Intercept MP 4 vor dem Melken
4 (763)	0,94	16,98
6 (777)	9,65	27,21
7 (800)	-1,79	-28,04
8 (813)	-4,66	-33,99
9 (821)	-0,38	-6,88
10 (833)	-0,02	12,29
11 (840)	-1,40	19,49
12 (843)	/	-8,77
13 (856)	-2,35	1,70

#### 2.3.2.2. Nach dem Melken

Nach dem Melken gibt es zwei Kühe, bei denen das Intercept an MP 4 (Längsschnitt der Zitze in Verlängerung zum Strichkanal) kleiner ausgeprägt ist, als an MP 1 (Querschnitt der Zitze am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis) (Tab. 37). Insgesamt sind aber die Intercepts an MP 4 stärker ausgeprägt und weisen deutlichere Unterschiede untereinander auf. Dies weist auf größere individuelle Variation der Blutflussdichte der Zitzen der einzelnen Kühe im Längsschnitt gegenüber dem Querschnitt hin.

Bei den Kühen Nr. 6, 9 und 13 sind die Intercepts an beiden Messpositionen nach dem Melken ähnlich groß, bei den anderen Kühen divergieren sie deutlich (Tab. 37).

**Tabelle 37: Vergleich des y-Achsenabschnitts-Unterschied (Intercept) von jeder Kuh an beiden Messpositionen (MP 1 und MP 4) nach dem Melken**

Kuh (Stallnummer)	Intercept an MP 1 nach dem Melken	Intercept an MP 4 nach dem Melken
4 (763)	8,91	81,13
6 (777)	27,09	25,29
7 (800)	5,99	-29,97
8 (813)	5,28	-28,32
9 (821)	-16,43	-20,50
10 (833)	-0,63	-9,65
11 (840)	-14,97	17,71
12 (843)	/	-23,88
13 (856)	-15,23	-11,81

### 2.3.3. Differenzen

#### 2.3.3.1. Vor dem Melken

Die Differenz der realen und geschätzten Werte für die erste Messung nach dem Melken ist an beiden Messpositionen stark ausgeprägt. Kuh Nr. 4 hat an beiden Messpositionen den höchsten Wert (Tab. 38). Auch Kuh Nr. 8 und Kuh Nr. 10 haben ähnliche Differenzen an beiden Messpositionen. Bei den anderen Kühen bestehen zum Teil große Unterschiede.

**Tabelle 38: Vergleich der Differenzen des geschätzten und realen Wertes für die Blutflussdichte bei der ersten Messung vor dem Melken an MP 1 und MP 4**

Kuh (Stallnummer)	Differenz an MP 1 vor dem Melken	Differenz an MP 4 vor dem Melken
4 (763)	59,16	77,18
6 (777)	-10,32	18,32
7 (800)	53,44	-4,55
8 (813)	53,25	43,99
9 (821)	24,79	10,71
10 (833)	44,84	51,02
11 (840)	22,92	/
12 (843)	/	-2,12
13 (856)	37,92	13,81

### 2.3.3.2. Nach dem Melken

Die Differenzen der geschätzten und realen Werte für die erste Messung nach dem Melken sind an beiden Messpositionen nach dem Melken stark ausgeprägt. Das bedeutet, dass die Blutflussdichte im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken an beiden Messpositionen stark ansteigt.

Zwischen den einzelnen Tieren ist der Unterschied der Differenz an MP 4 (Längsschnitt der Zitze in Verlängerung des Strichkanals) wesentlich größer, als an MP 1 (Querschnitt am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis) (Tab. 39).

**Tabelle 39: Vergleich der Differenzen des geschätzten und realen Wertes für die Blutflussdichte bei der ersten Messung nach dem Melken an MP 1 und MP 4**

Kuh (Stallnummer)	Differenz an MP 1 nach dem Melken	Differenz an MP 4 nach dem Melken
4 (763)	112,18	172,49
6 (777)	52,16	47,55
7 (800)	106,25	24,67
8 (813)	108,22	80,82
9 (821)	53,78	28,25
10 (833)	89,28	60,24
12 (840)	54,38	13,92
13 (856)	70,08	31,46

## **V. DISKUSSION**

Ziel dieser Studie ist es, die Eignung der Color Angiographie an der Kuhzitze zu erproben und durch die Kombination der Color Angiographie mit der B-Mode Sonographie Informationen über die Durchblutung und die Morphologie der Zitzen von Milchkühen und deren Beeinflussung durch das Melken zu gewinnen.

### **1. Diskussion der Methoden**

Bildgebende Techniken werden seit langem für die Untersuchung der Zitzen von Milchkühen genutzt (WITZIG & HUGELSHOFER, 1984; CARTEE et al., 1986; ALACAM et al., 1990; MEDL et al., 1994; SEEH et al., 1996; SEEH & HOSPES, 1998).

Die B-Mode Sonographie eignet sich gut zur Darstellung morphologischer Strukturen innerhalb der Zitze (ROSNER et al., 2000; NAUMANN, 2001) und der Auswirkungen des Melkens auf diese Strukturen (KHOL et al., 2006). Sie kann ausschließlich Informationen über die Morphologie innerhalb der Zitze liefern.

Mit Hilfe der Color Angiographie kann eine im B-Mode abgebildete Flüssigkeit durch die Farbkodierung als fließendes Blut identifiziert werden. Die Color Angiographie wird im Gegensatz zu den in Tabelle 1 aufgeführten Dopplerverfahren weder durch Aliasing noch durch eine Winkelabhängigkeit beeinträchtigt und ist sehr sensitiv (RUBIN & ADLER, 1993; BABCOCK et al., 1996; MARTINOLI et al., 1998a; EVANS & MCDICKEN, 2000). Sie eignet sich gut zur Darstellung kleiner Gefäße, ihrer Durchblutung und ihrer Kontinuität in Geweben (MARTINOLI et al., 1998b). Da das Blut in der Zitze vor allem in sehr kleinen Gefäßen mit vielen Winkeländerungen fließt, ist eine Untersuchung mittels eines der ursprünglichen, im Literaturteil beschriebenen Dopplerverfahren nicht oder nur sehr schwer möglich. Um mit der Color Angiographie den zum Teil sehr schwachen Blutfluss innerhalb der Zitze darstellen zu können, muss die Empfindlichkeit am Ultraschallgerät möglichst hoch eingestellt werden. Wird diese zu empfindlich eingestellt, wird die Color Angiographie technisch bedingt schon durch leichte Bewegungen stark beeinträchtigt. Das führt zu einer Verzerrung der Messergebnisse (ESAOTE, 2007). Deshalb kann die Color

Angiographie nur an ruhigen Tieren mit einer geeigneten Vorlaufstrecke durchgeführt werden. Die Vorlaufstrecke wird benötigt, um eine Beeinflussung von Gewebestrukturen (HOSPES & SEEH, 1999; NEIJENHUIS et al., 2001a) und Blutfluss durch die direkte Berührung und den, für die Ankopplung zwischen Ultraschallsonde und Gewebe nötigen Druck auf die Zitze zu vermeiden. Durch die Erwärmung des Ultraschallgels wird eine Beeinflussung der Durchblutung durch wechselnde Temperaturen vermieden und eine weitgehende Standardisierung der Messmethode erzielt. Die Zitze nach jeder Messung vorsichtig abzutrocknen ist essentiell, da eine starke Beeinflussung der Zitzentemperatur und damit der Durchblutung der Zitzenhaut, durch verschiedene Flüssigkeiten und Dippmittel erfolgt (PAULRUD et al., 2005).

Der in dieser Studie angewandte viereckige Becher für die Vorlaufstrecke, ermöglicht eine wesentlich bessere Ankopplung der Sonde an den Becher, als Becher mit abgerundeten Seiten. Die Größe des Bechers muss so bemessen sein, dass innerhalb des Bechers keine Kompression der Kuhzitze erfolgt.

Wasser eignet sich als Vorlaufstrecke für B-Mode Aufnahmen (HOSPES & SEEH, 1999; NAUMANN, 2001), aber es gerät durch Bewegung von Zitze oder Untersucher leicht in Schwingung und führt dadurch zu Artefakten bei der Color Angiographie. Dickflüssiges, jodhaltiges Dippmittel, welches eine Infektion durch Verschleppung von Keimen bei der Ultraschalluntersuchung verhindern könnte und nur durch starke Bewegungen in Schwingung versetzt wird, bildet jedoch beim Erwärmen Blasen und führt so zu Schallstörungen. Mit erwärmtem Ultraschallgel entstehen klare B-Mode Aufnahmen, und es kommt nur bei starken Bewegungen zu Artefakten bei Durchführung der Color Angiographie. Weil eine Sedation der zu untersuchenden Kühe zu einer Beeinträchtigung der Durchblutung der Zitzen führen kann, muss diese Möglichkeit zur Reduktion von Artefakten ausgeschlossen werden.

Die Kombination aus B-Mode Sonographie und Color Angiographie wurde vor Beginn dieser Arbeit noch nicht an der Kuhzitze durchgeführt, erwies sich aber bereits während der Vorversuche als praktikabel. Durch die farbliche Darstellung der Blutgefäße konnte die Wiederholbarkeit der B-Mode Messungen verbessert werden, weil der Untersucher sich zusätzlich an der Lage der Gefäße orientieren konnte. Die Blutflussdichte wechselt zwischen den einzelnen Messungen, aber die Lage der Gefäße bleibt bestehen.

Ein Nachteil der Color Angiographie ist bisher, dass erst durch eine Nachbearbeitung der aufgezeichneten Untersuchungen eine Interpretation und Auswertung der Messergebnisse ermöglicht wird.

Bedingt durch die aktiven Kontraktionen der Zitze (SAMBRAUS, 1971; WILLIAMS & MEIN, 1981; HAMANN, 1989) und die passive Veränderung der Zitzenlänge während und zwischen den einzelnen Messungen und die abgerundete Form der Zitzenkuppe ist die Wiederholbarkeit der Messungen an den Messpositionen zwei (Querschnitt der Zitze 2,5 cm unterhalb des Übergangs von Euterviertel zu Zitzenbasis) und drei (Querschnitt an der Zitzenkuppe) sehr schlecht (Abb. 3). Über die Wiedererkennung der Blutgefäßstrukturen wäre eine Verbesserung der Wiederholbarkeit an Position zwei möglich, doch sollten in der vorliegenden Studie die Messungen möglichst zeitnah und gleichmäßig erfolgen, um die Ergebnisse an den verschiedenen Messpositionen miteinander vergleichen zu können und die Durchblutung der Zitze nicht durch langwierige Manipulationen zu beeinflussen. Die Messungen an Position drei werden durch die abgerundete Form der Zitzenkuppe negativ beeinflusst. Bei einem Teil der ausgesandten Ultraschallwellen kommt es statt Reflexion zu Beugung und Brechung. Durch die Brechung der Schallwellen kommt es im Randbereich von abgerundeten Oberflächen zu einem schmalen, divergierenden, meist inkompletten Schallschatten (POULSEN NAUTRUP, 2007), der besonders im Querschnitt im Bereich der stark abgerundeten Zitzenkuppe die Messungen beeinträchtigt. Für die Messung der Kongestion innerhalb der Zitzenkuppe wäre aus diesem Grund eventuell die von MAYNTZ & ALMGREN (1985) durchgeführte Impedanzmessung eine interessante Alternative. Diese ist aber in der Auswertung problematisch (MAYNTZ & ALMGREN, 1985) und in der Durchführung sehr aufwändig (NEIJENHUIS et al., 2001a).

In den Vorversuchen stellte sich heraus, dass der Gebrauch einer 12 MHz Linearsonde sehr viel klarere und genauere Aufnahmen ermöglicht, als die Nutzung einer 7,5 MHz Rektalsonde. Auch HOSPES & SEEH (1999) sowie NAUMANN (2001) stellten fest, dass Sonden mit höherer Frequenz an der Zitze sehr gut einsetzbar sind. Sie verwendeten 10 MHz Linearsonden. Die in der vorliegenden Studie eingesetzte 12 MHz Sonde ermöglicht eine noch deutlichere Darstellung der Strukturen. Die verminderte Eindringtiefe durch die hohe Frequenz stellt kein Problem dar, da Zitzen eine sehr schmale Struktur aufweisen

und somit keine hohe Eindringtiefe erforderlich ist (POULSEN NAUTRUP, 2007).

Für alle Messungen wurde die rechte Bauchzitze verwendet, da bei vorangegangenen Untersuchungen nur geringe Unterschiede zwischen Bauch- und Schenkelzitzen festzustellen waren (NEIJENHUIS et al., 2001a; SEKER et al., 2009). Außerdem ist an den Bauchzitzen eine bessere Reproduzierbarkeit zu erwarten, da die Messpositionen konstanter eingehalten werden können.

Die Messungen sollten einen möglichst normalen Tagesablauf der Milchkuh zur Grundlage haben. Aus diesem Grund wurden die Messungen weitestgehend im Stall, dem alltäglichen Umfeld der Kuh durchgeführt. Im Melkstand wären die Messungen für die Untersucherin leichter durchzuführen gewesen, hätten aber durch die fehlende Bewegung vor und nach dem Melken, sowie die ungewohnte Situation zu einer Beeinflussung der Messergebnisse führen können, da die Durchblutung der Zitzen von Milchkuhen vermutlich auch durch konditionierte Reflexe beeinflusst wird (MAYNTZ & ALMGREN, 1985). Für alle Versuchskühe waren Umgebung und Abläufe sowie Melker und die übrigen Kühe vertraut.

Der Zeitraum von drei Stunden vor dem Melken bis drei Stunden nach Beginn des Melkens wurde festgesetzt, da in der Studie von NEIJENHUIS et al. (2001a) nach acht Stunden nach dem Melken Strichkanallänge, Zitzenkuppelndurchmesser und der Zitzenzisternendurchmesser noch nicht ihre direkt vor dem Melken gemessenen Ausgangswerte erreicht hatten. Mit einem Beginn der Messungen drei Stunden vor dem Melken fand, auch wenn die Versuchskuh am Morgen der Messung als erste gemolken wurde, die erste Messung innerhalb dieser acht Stunden statt. Somit konnten in kleinen Schritten die weiteren Reaktionen des Zitengewebes, welche in der Studie von NEIJENHUIS et al. (2001a) berücksichtigt wurden, untersucht werden. Die drei Stunden nach dem Melken wurden gewählt, da innerhalb von zwei Stunden nach dem Melken keine Rückkehr zu den 120 Minuten vor dem Melken gemessenen Werten der Zitzenkuppenkongestion beschrieben wurde (MAYNTZ & ALMGREN, 1985) und um die Veränderungen von Durchblutung und Morphologie der Kuhzitze, die direkt mit dem Melken zusammenhängen, in kurzen Zeitintervallen zu dokumentieren. Die kurzen Abstände zwischen den einzelnen Messungen wurden ausgewählt, da Temperaturunterschiede der Zitzenhaut innerhalb von drei

Minuten nach dem Melken beschrieben wurden (HAMANN, 1984). Kürzere Intervalle zwischen den Messungen im Anschluss an die Messung direkt nach dem Melken waren aus technischen Gründen nicht durchführbar.

Die Berechnung des Quotienten aus Zisternendurchmesser und Zitzenwanddicke (Summe von sondenferner und sondennahe Zitzenwanddicke) wurde durchgeführt, um Messfehler, die durch eine Abweichung von einem 90°-Winkel zwischen Zitzenverlauf und Messrichtung entstanden, zu eliminieren und um das Verhältnis von Zisternendurchmesser und Zitzenwanddicke zu dokumentieren.

Auf eine zusammengefasste Betrachtung der Zitzenwandstärke wurde verzichtet, da hierdurch bei einem gegensätzlichen Verhalten beider Anteile eine Verzerrung der Ergebnisse hätte ausgelöst werden können.

Die Auswahl von Kühen mit einem Milchzellgehalt von unter 100 000 Zellen pro ml in allen, den sonographischen Untersuchungen vorausgegangenem Probemelken im Rahmen der Milchleistungsprüfung (LKV, Zentrallabor des Milchprüfrings Bayern e. V. in Wolnzach) führte zu einem Ausschluss von Tieren mit subklinischen Mastitiden (DOGGWEILER, 1982; HAMANN, 1992; SANDHOLM, 1995). Durch die Durchführung des CMT, sowie die mikrobiologische Untersuchung einer sterilen Milchprobe wurde eine Euterinfektion am Tag der Messung ausgeschlossen.

Durch die Darstellung der Ergebnisse der Color Angiographie mittels Median wird eine Verfälschung der Ergebnisse durch die Ausreißer verhindert. Da bei der Auswertung der B-Mode Sonographie eine Normalverteilung festgestellt wurde, wurde das arithmetische Mittel zur Beschreibung der Veränderungen benutzt.

## **2. Diskussion der statistischen Auswertung**

### **2.1. Statistische Auswertung der B-Mode Sonographie**

Die Untersuchung auf statistische Signifikanz der Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Messungen direkt vor dem Melken sowie direkt nach dem Melken mittels Wilcoxon-Test ermöglicht eine Aussage darüber, ob sich die Messergebnisse dieser beiden Zeitpunkte signifikant ( $P < 0,05$ ) von denen anderer Messzeitpunkte und untereinander unterscheiden.

Die Messergebnisse der zweiten Messung nach dem Melken wurden auf signifikante Unterschiede zu den Messungen nach dem Melken ausgewertet. Diese Ergebnisse sind interessant, um Veränderungen zwischen der ersten und der zweiten Messung im Bezug auf die übrigen Messungen nach dem Melken zu beurteilen.

## 2.2. Statistische Auswertung der Color Angiographie

Das gemischte Modell zur statistischen Bewertung der Daten der Color Angiographie wurde auf Grundlage der Messergebnisse entwickelt. Es ermöglicht eine differenzierte Betrachtung, wie sich die Blutflussdichte zum Messzeitpunkt eins zu den Messungen vor dem Melken und zu den übrigen Messungen nach dem Melken verhält. Die Veränderungen zu ihrer zu erwartenden Größe spiegeln den Einfluss des Melkens auf die Blutflussdichte und somit auf die Durchblutung der Zitze wider.

Die geschätzten Kurven jedes Modells haben jeweils die gleiche Krümmung, da die Parameter  $\beta_1$  und  $\beta_2$  über alle Kühe geschätzt wurden. Jedoch sind sie durch die, für jede Kuh individuell geschätzten, zufälligen y-Achsenabschnitte  $\alpha$  plus  $\delta_j$  horizontal verschoben. Es handelt sich also um parallel verlaufende Kurven. Das ermöglicht einen Vergleich der Blutflussdichten untereinander.

Das Modell ist für die Auswertung der Ergebnisse der Messungen an MP 1 (Querschnitt am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis) (Abb. 3) vor dem Melken für den linearen Anteil mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit mit  $P < 0,05$  signifikant und für den quadratischen Anteil mit  $P = 0$  hochsignifikant. Für MP 4 (Längsschnitt in Verlängerung zum Strichkanal) vor dem Melken ist der lineare Anteil des Modells mit  $P > 0,05$  nicht signifikant, für den quadratischen Anteil ist es mit  $P < 0,05$  signifikant.

An MP 1 ist das Modell für die Ergebnisse nach dem Melken mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit mit  $P < 0,05$  für den linearen und den quadratischen Anteil signifikant. Für die MP 4 sind beide Anteile des Modells nicht signifikant ( $P > 0,05$ ).

Damit ist das Modell für die Auswertung der Messergebnisse an MP 1 sehr gut geeignet. Für die Auswertung der Messergebnisse an MP 4 (Abb. 3) ist es weniger gut geeignet. Letzteres ist auf die größeren Abweichungen des Verlaufs der Blutflussdichte an MP 4 zwischen den Kühen zurückzuführen.

### **3. Diskussion der Ergebnisse**

Das erste Ergebnis der vorliegenden Studie wurde durch die Vorversuche gewonnen, die eine sehr gute Wiederholbarkeit der Color Angiographie an der Kuhzitze ergaben (siehe III.2.6.). Somit ist die Color Angiographie an der Kuhzitze gut durchführbar. Dadurch, dass die Vorversuche an zwei verschiedenen Standorten und an Kühen unterschiedlicher Laktationsnummern durchgeführt wurden und bei allen Kühen an MP 1 und MP 4 (Abb. 3) eine ähnliche Wiederholbarkeit der Ergebnisse erbrachten, wird ihre Aussagekraft bestärkt.

#### **3.1. Diskussion der Ergebnisse der B-Mode Sonographie-Messungen**

Die Messergebnisse bezüglich der Strichkanallänge stimmen nur zum Teil mit den Ergebnissen von NEIJENHUIS et al. (2001a) überein.

Der Strichkanal wird nach der Studie von NEIJENHUIS et al. (2001a) über das Melken 1,2 mm länger, in der vorliegenden Arbeit sind es 1,4 mm. NEIJENHUIS et al. (2001a) beschreiben eine Verlängerung des Strichkanals innerhalb von einer Stunde nach der ersten Messung nach dem Melken. Diese Verlängerung war in der vorliegenden Studie nicht zu beobachten. In der durchgeführten Studie kommt es bei allen Kühen zu einer Reduktion der Strichkanallänge vom Zeitpunkt der ersten Messung nach Melkzeugabnahme bis zur letzten Messung.

In Übereinstimmung mit NEIJENHUIS et al. (2001a) konnten nur geringe Unterschiede des Zitzenkuppendurchmessers zwischen den Messungen direkt vor und nach dem Melken festgestellt werden. Der Unterschied von 0,6 mm steht im Einklang mit den von NEIJENHUIS et al. (2001a) erfassten 0,5 mm. Ein beschriebener Anstieg des Zitzenkuppendurchmessers bis sechs Stunden nach dem Melken (NEIJENHUIS et al., 2001a) konnte innerhalb des Messzeitraums von drei Stunden nicht dargestellt werden.

Wie bei NEIJENHUIS et al. (2001a) beschrieben, kommt es durch das Melken zu einer Reduktion des Zisternendurchmessers von über 50 %. Interessant ist die Beobachtung, dass der Zisternendurchmesser sich von der ersten, bis zur zweiten Messung nach dem Melken weiter verkleinert. Es wird angenommen, dass das Gewebe etwas Zeit braucht, um sich dem verminderten Druck anzupassen.

Der Zisternendurchmesser der Bauchzitzen erlangt bis zum Ende der Messungen nicht die direkt vor dem Melken erfasste Größe. Er übersteigt aber den

Ausgangswert der Messungen. Dass die Zisternengröße bereits nach drei Stunden über dem Ausgangswert liegt, könnte ein Hinweis darauf sein, dass es durch die Messungen und die damit verbundene Beeinflussung der Kuh zu einer verminderten Milchabgabe kam und somit die Zisterne nach dem Melken schneller wieder gefüllt wurde (NAUMANN, 2001). Ebenso wäre es möglich, dass durch die Messungen der Milcheinschuss stimuliert wurde und deshalb die Milchmenge in der Zisterne schneller anstieg.

Der Zisternendurchmesser war acht Stunden nach dem Melken kleiner, als direkt vor dem Melken (NEIJENHUIS et al., 2001a). Dies stimmt mit den Beobachtungen überein, dass der Zitzenzisternendurchmesser ab der ersten Messung, drei Stunden vor dem Melken, bis zum Melken kontinuierlich zunimmt. Diese Größenzunahme ist durch die kontinuierliche Milchproduktion, ihre Speicherung in der Zitzenzisterne und den Milcheinschuss in die Zitzenzisterne zu erklären. Vergleicht man die Veränderungen des Zisternendurchmessers im Längsschnitt (MP 4) mit den Veränderungen an der Zitzenbasis im Querschnitt (MP 1) wird deutlich, dass der Verlauf grundsätzlich übereinstimmt, die Veränderungen an der Zitzenbasis aber wesentlich schwächer ausgeprägt sind. Die geringere Ausprägung der Veränderungen kann durch eine größere Dehnbarkeit der Zitze im distalen Bereich und eine stärkere Beeinflussung durch das Melkvakuum im distalen Zitzenabschnitt begründet werden (MEJER, 1975; TOLLE & HAMANN, 1978; HAMANN, 1989).

Die Ergebnisse der Messungen der Zitzenwandstärke zeigen, dass diese bei allen Versuchskühen durch das Melken stark beeinflusst wird. In dieser Studie beträgt die mittlere Zunahme direkt nach dem Melken auf der sondenernen Seite 3,2 mm, auf der sondennahen 2,1 mm. Bei NEIJENHUIS et al. (2001a) sind es für die gesamte Zitzenwand 2,3 mm. Diese relativ starken Zunahmen der Wandstärke können durch Belastungen der Zitze während des Melkens erklärt werden (MEJER, 1975; THALHEIM & UHMANN, 1977; TOLLE & HAMANN, 1978; HAMANN, 1989), welche zur Ansammlung von Lymphflüssigkeit (WILLIAMS & MEIN, 1982) sowie einer Verdickung der zirkulären Muskelschicht führen können (SAHLIGER, 1977). Eventuell kommt es aber auch durch den abnehmenden Druck der Milch dazu, dass die Zitzenwand weniger unter Spannung steht und sich ausdehnen kann. Gegen letztere Überlegung spricht allerdings, dass die Dicke der sondennahen Zitzenwand bei sechs der zehn Kühe

im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken weiter zunimmt.

Der aus Zisternendurchmesser und sondenferner sowie sondennahe Zitzenwanddicke berechnete Quotient verdeutlicht durch seinen Anstieg vor dem Melken, die Vergrößerung der Zisterne im Verhältnis zu der geringfügigen Abnahme der Zitzenwanddicke. Das starke Absinken über den Melkzeitraum wird durch die Verkleinerung der Zisterne, sowie die Zunahme der Wanddicke hervorgerufen.

Querschnittsfläche der Zitze, Zitzenumfang, Querschnittsfläche der Zisterne, Zisternenumfang und die berechnete Zitzengewebefläche an der Zitzenbasis wurden in keiner der vorherigen Studien im Bezug auf das Melken untersucht (NAUMANN, 2001; NEIJENHUIS et al., 2001a).

Die Vergrößerung der Querschnittsfläche der Zitze (im Querschnitt am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis gemessen) bis zum Melken kann durch die größere Milchmenge in Euter und Zitze erklärt werden. Ebenso kann die Größenreduktion nach dem Melken durch die verminderte Milchmenge in der Zisterne erklärt werden. Das Gleiche gilt auch für den Umfang der Zitze, sowie Querschnittsfläche und Umfang der Zisterne. Die Tatsache, dass es nur zu geringen Größenveränderungen der Gewebefläche kommt, spricht dafür, dass die Morphologie der Zitzenbasis durch den korrekt ausgeführten Melkprozess nur in geringem Maß beeinflusst wird. Die geringfügige Reduktion der mittleren Gewebefläche an MP 1 bis zum Melken wird auf einen Anstieg des Milchdrucks, sowie auf das Anschwellen der Zitzenwand zurückgeführt.

Eine zweite mögliche Ursache für die geringen Veränderungen an der Zitzenbasis besteht darin, dass durch die Messungen an der Zitze Milcheinschuss und –ejektion so stark beeinflusst werden, dass es an der Zitzenbasis nur zu geringen Schwankungen kommt.

### **3.2. Diskussion der Ergebnisse der Color Angiographie-Messungen**

Zwischen den Ergebnissen der einzelnen Color Angiographie-Messungen an der Zitzenbasis im Querschnitt (MP 1) bestehen beim Einzeltier größere Unterschiede als im Längsschnitt (MP 4) der Zitze. Die Gefäße der Zitzenbasis sind direkt mit den größeren Gefäßen des Euters verbunden. Ihre venösen Gefäße leiten das venöse Blut aus den vielen kleinen Zitzengefäßen in die größeren venösen Blutgefäße des Euters (NICKEL et al., 1997; HOSPES & SEEH, 1999). In der

Zitzenbasis verläuft der Fürstenberg'sche-Venenring, der wesentlich stärker ausgebildet ist als die venösen Gefäße der distalen Zitzenbereiche (NICKEL et al., 1997; HOSPES & SEEH, 1999). Durch diese anatomischen Gegebenheiten können hier schneller deutlichere Durchblutungsschwankungen auftreten als an den kleinen distalen Blutgefäßen in der Zitze. Die Durchblutung der Zitzenbasis ist nicht so stark von den Zitzenkontraktionen abhängig, wie die der distalen Zitzenbereiche (LEFCOURT, 1982b). Dadurch wird sie durch einen Anstieg des Sympathikotonus stärker beeinflusst (LEFCOURT, 1982a). Ein Anstieg des Sympathikotonus zeigt also stärkere Auswirkungen an der Zitzenbasis, als an der Zitzenkuppe.

Durch die vielen Gefäße in unterschiedlichen Zitzenbereichen, die durch den Längsschnitt (MP 4) angeschnitten werden, kommt hierbei ein umfassenderes Bild der Durchblutung der Zitze zustande als im Querschnitt (MP 1), der nur die Durchblutung in den Gefäßen der Zitzenbasis widerspiegelt.

Die Ergebnisse der Interceptbestimmung verdeutlichen, dass an MP 1 wesentlich weniger Unterschiede der Blutflussdichte zwischen den Kühen bestehen, als an MP 4. Das spricht dafür, dass die Durchblutung der Zitzenbasis bei allen Kühen ein ähnliches Niveau hat aber die Durchblutung der restlichen Zitze bei dem jeweiligen Einzeltier unterschiedlich stark davon abweichen kann.

Die hohe Blutflussdichte an beiden Messpositionen zu Beginn der Messungen und die Tatsache, dass es bei einer Versuchskuh zum Milcheinschuss kam, deuten darauf hin, dass es bei den Kühen durch die, mit den Messungen verbundenen Berührungen zu einem Anstieg des Sympathikotonus (LEFCOURT, 1982a) und einem Oxytocinanstieg kam (BRUCKMAIER & WELLNITZ, 2008). Anschließend beruhigten sich die Versuchskühe und gewöhnten sich an die Berührungen während der Messungen.

Der Anstieg der Blutflussdichte einiger Kühe 60 Minuten vor dem Melken wird auf das Einschalten der Melkanlage zu diesem Zeitpunkt und die akustische Wahrnehmung dieses Ereignisses zurückgeführt. Er bestärkt die These von MAYNTZ & ALMGREN (1985), dass die Durchblutung durch konditionierte Reflexe beeinflusst wird.

Der Abfall der Blutflussdichte, der bei einigen Kühen direkt vor dem Melken auftrat, könnte darauf zurück zu führen sein, dass der Milchdruck in der Zitze

durch den Milcheinschuss gestiegen war. Eventuell wird dadurch der Einfluss der Zitzenkontraktionen auf die Durchblutung des Zitzengewebes (LEFCOURT, 1982b) reduziert. Aber auch die Ruhepause der Tiere vor dem Gang in den Melkstand könnte zu einem weiteren Abfall des Sympathikotonus geführt haben. In Erwägung zu ziehen ist auch, dass bei diesen Kühen bereits die Entleerung der Zitzenvenen, die normalerweise durch manuelles Anrücken ausgelöst wird, durch die akustische Wahrnehmung der Melkanlage und die Manipulationen während der Messungen ausgelöst wurde und so eine geringere Durchblutung der Zitze bedingte (RÜBELI, 1916; ZIEGLER & MOSIMANN, 1960).

Die reduzierte Blutflussdichte direkt nach dem Melken spricht dafür, dass der Blutfluss durch das Melkvakuum unterbrochen oder jedenfalls stark vermindert wird (HAMANN et al., 1994). Der folgende deutliche Anstieg deutet auf eine reaktive Hyperämie hin, die durch die starke Reizung des Gewebes und den, während des Melkens ausgelösten Blutstau hervorgerufen wurde (MEJER, 1975; THALHEIM & UHMANN, 1977; TOLLE & HAMANN, 1978; HAMANN, 1989). Erst ungefähr 40 Minuten nach dem Melken erlangt die Blutflussdichte einen konstanten Wert. Dieser Wert könnte einen Basalwert der Blutflussdichte der jeweiligen Kuh bei Ruhe darstellen.

Die Differenzen der aus den Ergebnissen der Messungen vor dem Melken errechneten Werte zum Zeitpunkt eins zu den realen Werten der Messungen zu diesem Zeitpunkt sowie die Differenzen der aus den Messungen nach der ersten Messung nach dem Melken berechneten Werte und den realen Werten zum Zeitpunkt eins verdeutlichen, dass die Beeinflussung der Blutflussdichte durch das Melken nicht bei allen Kühen gleichstark ausgeprägt ist. Dies spricht dafür, dass Faktoren, wie z.B. die Melkdauer oder die Zitzenform einen Einfluss auf die Veränderungen der Blutflussdichte haben. In dieser Studie wurde keine Abhängigkeit der Blutflussdichte von diesen oder weiteren möglichen Faktoren untersucht.

Bei Kuh Nr. 3 (Stallnummer 760) und Kuh Nr. 12 (Stallnummer 843) zeigte sich vor dem Melken an der Zitzenbasis (MP 1) (Abb. 3) ein, von den Messergebnissen der anderen Kühe stark abweichender Verlauf der aus den Messergebnissen der Blutflussdichte erstellten Kurven (Abb. 30). Kuh Nr. 12 war am Tag der Messungen brünstig, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Durchblutung dadurch beeinflusst wurde. Sie war am Tag der Messung vor

dem Melken sehr unruhig. Nach dem Melken beruhigte sich das Tier. Die Messergebnisse nach dem Melken ähneln denen der übrigen Tiere. Bei Kuh Nr. 3 ist der Verlauf der aus den Messergebnissen erstellten Kurven auch an MP 4 stark von denen der anderen Kühe abweichend. Ihre Milch wies bei dem, nach den Messungen stattgefundenen Probemelken im Rahmen der Milchleistungsprüfung mit 111 000 Zellen pro ml einen leicht erhöhten Milchzellgehalt auf (DOGGWEILER, 1982; HAMANN, 1992; SANDHOLM, 1995). Obwohl am Tag der Messungen keinerlei Auffälligkeiten auftraten, könnten die abweichenden Ergebnisse der Blutflussdichte mit einer Immunreaktion des Euters zusammenhängen (THIEME & HAASMANN, 1978; MIELKE, 1994).

Die von einigen Autoren beschriebenen Einlagerungen von Gewebeflüssigkeit in die Zitzenwand nach dem Melken konnten nicht dargestellt werden (NAUMANN, 2001; NEIJENHUIS et al., 2001a). Flüssigkeitsgefüllte Bereiche, welche nicht durch die Color Angiographie eingefärbt wurden, gab es sowohl vor, als auch nach dem Melken. Es kann sich dabei um Bereiche der Zisterne handeln, die durch Gewebefalten im Ultraschallbild aussehen, als gehörten sie nicht zu der Zisterne. Eine andere Erklärung für diese Bereiche sind Flüssigkeitseinlagerungen in die Zitzenwand, die durch die wiederholte Belastung des Zitzengewebes während der Laktation vor und nach dem Melken entstehen (GUYTON, 1976). Nach dem Melken waren im Längsschnitt zum Teil Unterbrechungen der Zitzenzisterne zu erkennen, welche auf entstehenden Falten der Zitzenwand zurückzuführen sind.

Die von HAMANN et al. (1994) untersuchte Gewebefestigkeit konnte mit Hilfe der Sonographie nicht gemessen werden. Die beschriebenen direkten Zusammenhänge zwischen Gewebeveränderungen und Blutfluss waren mit Hilfe der Sonographie und Color Angiographie nicht erkennbar.

#### 4. Schlussfolgerungen

Abschließend ist festzustellen, dass die Color Angiographie ein sehr gut geeignetes, wenig invasives Verfahren zur Darstellung der Blutflussdichte in der Kuhzitze ist.

Die Blutflussdichte ist bei der Mehrheit der Kühe unmittelbar nach dem Melken vermindert und steigt im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken bei allen Kühen signifikant an.

Die Untersuchungen der Zitzenmorphologie mittels B-Mode Sonographie führten zu folgenden Erkenntnissen:

Der Strichkanal ist nach dem Melken deutlich länger als zuvor und verkürzt sich anschließend wieder. Er erreicht innerhalb des Messzeitraums von 175 Minuten nach Beginn des Melkens nicht seine Ausgangslänge. Der Zitzenkuppeldurchmesser verändert sich über den gesamten Messzeitraum nicht signifikant. Der Zisternendurchmesser nimmt bis zum Melken zu und ist im Anschluss an das Melken deutlich kleiner. Ab der ersten Messung nach dem Melken nimmt er wieder zu. Die Zitzenwand ist nach dem Melken signifikant dicker als zuvor. Die Querschnittsfläche der Zitze und der Zitzenumfang sind direkt nach dem Melken signifikant kleiner als vor dem Melken. Sie nehmen im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken weiter ab und erst ab der dritten Messung nach dem Melken wieder zu. Die Querschnittsfläche der Zisterne und der Zisternenumfang sind direkt nach dem Melken ebenfalls signifikant kleiner als direkt zuvor. Sie nehmen im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken weiter ab und im Anschluss an die dritte Messung nach dem Melken wieder zu. Die Größe der Zitzengewebefläche verändert sich über den Messzeitraum nur geringfügig.

Um eine gute Wiederholbarkeit der mit Hilfe der Color Angiographie gewonnen Untersuchungsergebnisse zu erreichen, sollten die Messungen immer von derselben Person durchgeführt werden. Interessant wäre eine Untersuchung der Beeinflussung der Blutflussdichte der Zitzen von Kühen durch weitere Faktoren wie z.B. Melkdauer und Vakuumstärke.

Die Strichkanallänge scheint von allen mittels B-Mode Sonographie untersuchten Parametern am ehesten zur Untersuchung der Zitzenbelastung von Milchkühen

geeignet zu sein. Um genauere Aussagen zu treffen sollten Messungen mit verschiedenen Belastungsstärken an einer größeren Tierzahl durchgeführt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen sind keine Zusammenhänge zwischen Blutflussdichte und morphologischen Parametern erkennbar. Für eine genauere Untersuchung dieser Zusammenhänge müssten jedoch eine größere Tierzahl untersucht und Korrelationen berechnet werden.

Untersuchungen an der Kuhzitze einer größeren Tierzahl und mit unterschiedlichen Belastungsstärken sollten mit Hilfe von Color Angiographie und B-Mode Sonographie durchgeführt werden, um weitere Informationen über die Beeinflussung der Kuhzitze durch das Melken zu gewinnen.

## VI. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Durchblutung sowie die Morphologie der Zitzen von Milchkühen zu untersuchen und Erkenntnisse über deren Beeinflussung durch das Melken zu gewinnen. Die Messungen wurden mittels Color Angiographie und Sonographie durchgeführt.

Für die Untersuchungen wurden zehn eutergesunde laktierende Kühe der Rasse Deutsche Holsteins ab der zweiten Laktation ausgewählt. Die Tiere wurden als eutergesund eingestuft, wenn die Milchproben aller während der aktuellen Laktation stattgefundenen Probemelken im Rahmen der Milchleistungsprüfung Zellgehalte von unter 100 000 Zellen/ml aufwiesen, und der California-Mastitis-Test sowie die mikrobiologische Untersuchung vom Tag der Messung negativ ausfielen.

Die Messungen erfolgten mit dem Ultraschallgerät MyLab30Vet XVISION® und einer 12 MHz Linear Sonde. Für die Auswertung der B-Mode Aufnahmen wurde das Computerprogramm MyLab™Desk® und für die Color Angiographie Aufnahmen die Software PixelFlux® verwendet. Unter Zuhilfenahme eines rechteckigen, mit erwärmtem Ultraschallgel gefüllten Bechers, wurde jeweils die rechte Bauchzitze untersucht. Die sonographischen Aufnahmen erfolgten im Querschnitt der Zitze am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis und im Längsschnitt in Verlängerung zum Strichkanal. Ausgewertet wurden an den Aufnahmen des Querschnitts Umfang und Querschnittsfläche der Zitze sowie der Zisterne. Die Fläche des Zitzengewebes wurde durch die Subtraktion der Querschnittsfläche der Zisterne von der Querschnittsfläche der Zitze berechnet. An den Aufnahmen des Längsschnitts wurden die Länge des Strichkanals, der Zitzenkuppeldurchmesser am proximalen Ende des Strichkanals und der Zisternendurchmesser sowie die sondenferne und sondennahe Zitzenwanddicke jeweils einen cm vom inneren Ende des Strichkanals entfernt ausgemessen.

Die Messungen begannen 180 Minuten vor dem Abendmelken und wurden bis zum Melken alle 15 Minuten wiederholt. Die ersten 40 Minuten nach dem Melken erfolgten die Messungen im 10 Minuten Takt, im Folgenden wieder in Abständen von 15 Minuten. Die letzte Messung erfolgte 175 Minuten nach Beginn des Melkens.

**Ergebnisse:**

- Direkt nach dem Melken ist die Blutflussdichte bei sieben (Querschnitt am Übergang zwischen Euterviertel und Zitzenbasis = MP 1) bzw. acht (Längsschnitt in Verlängerung zum Strichkanal = MP 4) der zehn Kühe vermindert.
- Bei allen Kühen kommt es im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken zu einer signifikanten Zunahme der Blutflussdichte.
- Die Strichkanallänge ist nach dem Melken signifikant größer als direkt davor und verkürzt sich anschließend wieder. Sie erreicht innerhalb des Messzeitraums ihre Ausgangslänge nicht.
- Der Zitzenkuppeldurchmesser verändert sich über den gesamten Messzeitraum nicht signifikant.
- Der Zisternendurchmesser nimmt bis zum Melken zu und ist im Anschluss an das Melken signifikant kleiner. Ab der ersten Messung nach dem Melken nimmt er wieder zu.
- Die Zitzenwanddicke ist nach dem Melken signifikant größer als zuvor.
- Die Querschnittsfläche der Zitze und der Zitzenumfang sind direkt nach dem Melken signifikant kleiner als vor dem Melken. Sie nehmen im Anschluss an die erste Messung nach dem Melken weiter ab.
- Die Querschnittsfläche der Zisterne und der Zisternenumfang sind direkt nach dem Melken signifikant kleiner als direkt zuvor. Sie nehmen innerhalb eines Messintervalls weiter ab, so dass signifikante Unterschiede zwischen der ersten Messung nach dem Melken und den folgenden zwei Messungen bestehen. Anschließend nehmen sie wieder zu.
- Die Größe der Zitzengewebefläche verändert sich über den Messzeitraum nur geringfügig.

Color Angiographie und B-Mode Sonographie sind sehr gut geeignete, wenig invasive Verfahren zur Darstellung der Blutflussdichte und der Morphologie der Kuhzitze.

## VII. SUMMARY

### **“Investigation of the effects of milking on the teat tissue and the teat blood flow using ultrasonographic scanning and color angiography”**

The aim of this study was to investigate the effects of milking on the teat blood flow and the teat tissue of dairy cows using color angiography and ultrasonographic scanning.

10 udder healthy lactating Holstein-Friesian cows from the second lactation were selected for the study. The selected cows had a milk cell concentration below 100 000 cells/ml in the course of every probation milking during the cow milk recording enquiry of the current lactation. In addition California-Mastitis-Test and microbiological analysis had been negative at the day of measurement.

The measurements were carried out using a MyLab30Vet XVISION® ultrasound scanner with a linear array probe. The analysis was supported by MyLab™Desk® as well as PixelFlux® software.

During ultrasound scanning the right front teat was immersed in warmed contact jelly in an angled bowl. Measurements in cross section at the changeover of udder quarter and the teat as well as in longitudinal cut were made. Circumference and area of the teat and of the teat-cistern at the cross section and teat-canal length, teat-wall thickness, teat-end width and teat cistern width at the longitudinal cut were evaluated. The teat-tissue area at the cross section was calculated.

Measurements were started three hours before afternoon milking and were repeated every 15 minutes until milking. Directly after the removal of the milking cluster an additional measurement was performed. Subsequently, measurements took place every 10 minutes for the next 40 minutes. Thereafter, measurements were done every 15 minutes until 175 minutes after milking.

**Results:**

- Color Angiography is suited for measuring the blood flow of the teats of dairy cows.
- Directly after the removal of the milking cluster, the blood flow density of seven (MP 1) respectively eight (MP 4) out of the ten selected cows was reduced.
- All cows showed a high significant increase of blood flow density after the first measurement following milking.
- Teat channel length upon milking is significantly longer than immediately before milking and is reduced again afterwards. It does not reach its original length during the measuring period.
- The teat end width does not change significantly during the whole measurement period.
- Up to milking the cistern width increases, and after milking it is significantly reduced. From the first measurement after milking it starts increasing again.
- The teat wall is significantly thicker after milking than before.
- Teat area and teat width are significantly smaller directly after milking than before. Following the first measurement after milking, they are reduced.
- Cistern area and cistern width are significantly smaller after milking than immediately before. During a measuring interval they decrease so that there is a significant difference between the first measurement after milking and the two following measurements. Subsequently, they increase again.
- The size of the teat tissue area changes only slightly during the period of measurements.

## VIII. LITERATURVERZEICHNIS

Alacam E, Dinc DA, Güler M, Elma E. Vorkommen und röntgenologische Untersuchungen verschiedener Zitzenveränderungen bei Milchkühen. Dtsch Tierarztl Wochenschr 1990; 97: 523-5.

Babcock DS, Patriquin H, LaFortune M, Dauzat M. Power doppler sonography: basic principles and clinical applications in children. *Pediatr Radiol* 1996; 26: 109-15.

Baumgartner UM (1998) Farbdopplersonographische Untersuchung der Arteria uterina und des Corpus luteum beim Rind. Ludwig Maximilians Universität, München

Bollwein H, Maierl J, Mayer R, Stolla R. Transrectal color Doppler sonography of the A. uterina in cyclic mares. *Theriogenology* 1998; 49: 1483-8.

Bollwein H, Meyer HH, Maierl J, Weber F, Baumgartner U, Stolla R. Transrectal Doppler sonography of uterine blood flow. *Theriogenology* 2000; 53: 1541-52.

Bollwein H, Sowade C, Stolla R. The effect of semen extender, seminal plasma and raw semen on uterine and ovarian blood flow in mares. *Theriogenology* 2003a; 60: 607-16.

Bollwein H, Mayer R, Stolla R. Transrectal Doppler sonography of uterine blood flow during early pregnancy in mares. *Theriogenology* 2003b; 60: 597-605.

Bollwein H, Kolberg B, Stolla R. The effect of exogenous estradiol benzoate and altrenogest on uterine and ovarian blood flow during the estrous cycle in mares. *Theriogenology* 2004a; 61: 1137-46.

Bollwein H, Weber F, Woschee I, Stolla R. Transrectal Doppler sonography of uterine and umbilical blood flow during pregnancy in mares. *Theriogenology* 2004b; 61: 499-509.

Bollwein H, Weber F, Steffen S, Stolla R. The effect of acetylsalicylic acid and captopril on uterine and ovarian blood flow during the estrous cycle in mares. *Theriogenology* 2004c; 61: 301-9.

Bollwein H, Herzog K, Schmauder S, Baumgartner U, Rath D, Niemann H (2005) Einsatz der Farbdopplersonographie in der Gynäkologie des Rindes. In: Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Forschung fürs Leben 2005. Der Präsident der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

Bollwein H, Schulze JJ, Miyamoto A, Sieme H. Testicular blood flow and plasma concentrations of testosterone and total estrogen in the stallion after the administration of human chorionic gonadotropin. *J Reprod Dev* 2008; 54: 335-9.

Bollwein H, Prost D, Ulbrich SE, Niemann H, Honnens A. Effects of a shortened preovulatory follicular phase on genital blood flow and endometrial hormone receptor concentrations in Holstein-Friesian cows. *Theriogenology* 2010; 73: 242-9.

Bothur D, Wehowsky G. Untersuchung über die Ursache und Wirkung des Hochgleitens der Melkbecher an den Zitzen in der Endphase des Melkprozesses. *Mh. Vet. Med.* 1978; 33: 217-22.

Braun U, Hoegger R. B-mode and colour Doppler ultrasonography of the milk vein in 29 healthy Swiss braunvieh cows. *Vet Rec* 2008; 163: 47-9.

Bruckmaier RM, Wellnitz O. Induction of milk ejection and milk removal in different production systems. *J Anim Sci* 2008; 86: 15-20.

Bühlmeyer MG (1999) Farbdopplersonographische Untersuchung der Arteria uterina und der Arteria ovarica der Stute im Verlauf spontaner und hormonell induzierter Ovulationen. Ludwig Maximilians Universität, München

Capuco AV, Mein GA, Nickerson SC, Jack LJ, Wood DL, Bright SA, Aschenbrenner RA, Miller RH, Bitman J. Influence of pulsationless milking on teat canal keratin and mastitis. *J Dairy Sci* 1994; 77: 64-74.

Cartee RE, Ibrahim AK, McLeary D. B-mode ultrasonography of the bovine udder and teat. *J Am Vet Med Assoc* 1986; 188: 1284-7.

Chaoui R, Hoffmann H, Bollmann K, Bayer H. Die Dopplersonographie in der geburtshilflichen Diagnostik: Allgemeine physikalische und klinische Grundlagen. *Zentralbl Gynakol* 1989; 111: 1141-51.

Christ F (1905) Untersuchung über die Muskulatur und das elastische Gewebe in der Milchdrüse der Haussäugetiere. Justus Liebig Universität, Gießen

Deane C. Doppler ultrasound: physical principles. In: *A Colour Atlas of Doppler Ultrasonography in Obstetrics (an introduction to its use in Maternal Fetal Medicine)*. Harrington K, Campbell S, eds. London: Edward Arnold 1995: 1 - 11.

Deiningner A. Technik des maschinellen Milchentzugs-Aufbau von Melksystemen und Grundsätze einer fachgerechten Anlagenplanung. Kassel: 2001: <http://www.uni-kassel.de/fb11/agrartechnik/Fachgebiet/pdf/melktechnik.pdf>.

Doggweiler R (1982) Zellgehalt in der Milch ungeschädigter Euter. Universität Zürich, Zürich

Dudwiesus H, Krieg R, Schmidt KJ. Physikalisch - technische Grundlagen der Dopplersonographie. In: *Dopplerultrasonographie in der Gynäkologie und Geburtshilfe*. Sohn CS, W.; Bastert, G., ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1993: 1 - 11.

Dukes HH (1955) *The physiology of domestic animals*. Tindal and Cox, London

Eik-Nes SH, Marsal K, Kristoffersen K. Methodology and basic problems related to blood flow studies in the human fetus. *Ultrasound Med Biol* 1984; 10: 329-37.

Ellenberger W, Baum H (1908) *Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere*, 12 edn. Verlag A. Hirschwald, Berlin

Esaote SpA (2007) *Bedienanleitung ML30 + 40*

Espe D, Cannon CY. Anatomy and physiology of the teat sphincter. *J Dairy Sci* 1942; 25: 155-60.

Evans DH, McDicken WN (2000) *Doppler Ultrasound: Physics, Instrumentation and Signal Processing*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester

Flückiger M. Grundlagen der Ultraschall Diagnostik. In: *Atlas und Lehrbuch der Ultraschall Diagnostik beim Rind*, 1-8. Braun U, ed. Berlin: Paul Parey Verlag 1997: 227-52.

Guyton AC. Physics of blood flow and pressure: Haemodynamics. In: *Textbook of medical physiology*, 5 edn Philadelphia, P. A.: W. B. Saunders 1976: 130-99.

Hamann J. Preliminary report on measurement of teat skin temperature using infrared thermography. *Milchpraxis* 1984; 22: 148-52.

Hamann J (1985) Infection rate as affected by teat tissue reactions due conventional and non-conventional milking systems. In: *IDF Seminar "Progress in the Control of Bovine Mastitis"*, Kiel, F. R. Germany. 426-30

Hamann J (1989) *Maschineller Milchentzug und Mastitis:*

*Zum Einfluss des maschinellen Milchentzuges auf die Infektionsgefahr für die bovine Milchdrüse*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

Hamann J. Zum Einfluss von Stresssituationen auf die Anzahl somatischer Zellen in der Milch. *Colloquium Veterinarum* 1992; 28: 38-41.

Hamann J, Burvenich C, Mayntz M, Osteras O. Machine-induced changes in the status of the bovine teat with aspect to the new infection risk. *Bull Int Dairy Fed* 1994; 297: 13-22.

Hamann J, Mein GA, Nipp B. Recommended method for measuring changes in thickness of the bovine teat with spring-loaded calipers. *J Dairy Res* 1996; 63: 309-13.

Hamann J, Mein GA. Teat thickness changes may provide biological test for effective pulsation. *J Dairy Res* 1996; 63: 179-89.

Happel F. Untersuchung der pneumatischen und mechanischen Belastung der Zitze beim natürlichen Milchentzug durch das Kalb als Grundlage zur Beurteilung des Maschinenmelkens. *Tierarzt Umschau* 1962; 18: 439-500.

Harms V (1992) *Physik für Mediziner und Pharmazeuten*, 12 edn. Harms Verlag, Kiel. 287

Honnens A, Voss C, Herzog K, Niemann H, Rath D, Bollwein H. Uterine blood flow during the first 3 weeks of pregnancy in dairy cows. *Theriogenology* 2008; 70: 1048-56.

Honnens A, Niemann H, Herzog K, Paul V, Meyer HH, Bollwein H. Relationships between ovarian blood flow and ovarian response to eCG-treatment of dairy cows. *Anim Reprod Sci* 2009; 113: 1-10.

Hospes R, Seeh C (1999) *Sonographie und Endoskopie an der Zitze des Rindes*. Schattauer Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart

Huijps K, Lam TJ, Hogeveen H. Costs of mastitis: facts and perception. *J Dairy Res* 2008; 75: 113-20.

Isaksson A, Lind O. Teat Reactions in Cows Associated with Machine Milking. *Journal of Veterinary Medicine Series a-Zentralblatt Fur Veterinarmedizin Reihe a-Physiology Pathology Clinical Medicine* 1992; 39: 282-8.

Jordan A, Herzog K, Ulbrich SE, Beindorff N, Honnens A, Kruger L, Miyamoto A, Bollwein H. Genital blood flow and endometrial gene expression during the preovulatory period after prostaglandin f(2alpha)-induced luteolysis in different luteal phases in cows. *J Reprod Dev* 2009; 55: 309-15.

Keidel WD (1970) *Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie* Georg Thieme, Stuttgart

Khol JL, Franz S, Klein D, Lexer D, Waiblinger S, Luger K, Baumgartner W. Influence of milking technique and lactation on the bovine teat by means of ultrasonographic examination. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 2006; 119: 68-73.

Klein D, Flock M, Khol JL, Franz S, Stuger HP, Baumgartner W. Ultrasonographic measurement of the bovine teat: breed differences, and the significance of the measurements for udder health. *J Dairy Res* 2005; 72: 296-302.

Körte J (2007) *Fardopplersonographische Studien zur uterinen Blutversorgung in der zweiten Hälfte der Gravidität bei laktierenden Holstein Friesian Kühen.* Tierärztliche Hochschule, Hannover

Krömker V (2007) *Kurzes Lehrbuch Milchkunde und Milchhygiene.* Parey, Stuttgart

Krueger L, Koerte J, Tsousis G, Herzog K, Flachowsky G, Bollwein H. Transrectal Doppler sonography of uterine blood flow during the first 12 weeks after parturition in healthy dairy cows. *Anim Reprod Sci* 2009; 114: 23-31.

Lefcourt AM. Effect of teat stimulation on sympathetic tone in bovine mammary gland. *J Dairy Sci* 1982a; 65: 2317-22.

Lefcourt AM. Rhythmic contractions of the teat sphincter in bovines: an expulsion mechanism. *Am J Physiol* 1982b; 242: R181-4.

Marsal K. Doppler ultrasonography: techniques. In: *The circulation*. Hanson A, Spencer JAD, Rodeck CH, eds. Cambridge: Cambridge University Press 1993: 296-322.

Martinoli C, Derchi LE, Rizzatto G, Solbiati L. Power Doppler sonography: general principles, clinical applications, and future prospects. *Eur Radiol* 1998a; 8: 1224-35.

Martinoli C, Pretolesi F, Crespi G, Bianchi S, Gandolfo N, Valle M, Derchi LE. Power Doppler sonography: clinical applications. *Eur J Radiol* 1998b; 27 Suppl 2: S133-40.

Matsui M, Miyamoto A. Evaluation of ovarian blood flow by colour Doppler ultrasound: practical use for reproductive management in the cow. *Vet J* 2009; 181: 232-40.

Mayntz M, Almgren P. Development of a measuring method for teat end congestion. *Kieler Milchwissenschaftliche Forschungsberichte* 1985; 37: 431-4.

McDonald JS. Radiographic method for anatomic study of the teat canal: changes between milking periods. *Am J Vet Res* 1975; 36: 1241-2.

Medl M, Querengässer K, Wagner C, Paarmann S, Rüschi P. Zur Abklärung und Behandlung von Zitzenstenosen mittels Endoskopie. Tierärztliche Praxis 1994; 22: 532-7.

Mein EA (1978) Action of conventional milking units. In: Symp. mach milk, Louisville, Ky. 107-14

Mein GA, Thiel CC, Akam DN. Mechanics of the teat and teatcup liner during milking: information from radiographs. J Dairy Res 1973; 40: 179-89.

Mein GA, Brown MR, Williams DM. Pulsation failure as a consequence of milking with short teat cup liners. J Dairy Res 1983; 50: 249-58.

Mein GA, Williams DM (1984) Liner message and teat condition. In: Proc 23rd US Natn Mastitis Counc Ann Meet, Kansas City. 4-18

Mejer GJ. Grundsätzliche physikalische Vorgänge beim pulsierenden und nicht pulsierenden Milchentzug. Ber Landw. 1975; 190: 93-118.

Michel G, Seffner W, Schulz J. Zur Frage der Hyperkeratose des Strichkanalepithels der Zitze des Rindes. Mh. Vet. Med. 1974; 29: 570-4.

Mielke H. Physiologie der Laktation. In: Euter- und Gesäugekrankheiten. Wendt K, Bostedt H, Mielke H, Fuchs HW, eds. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag Jena 1994: 17-63.

Naumann I (2001) Milchabgabe und Eutergesundheit von Viertel- und Gesamtgemelken bei Kühen. Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg

Neijenhuis F, Barkema HW, Hogeveen H, Noordhuizen JP. Classification and longitudinal examination of callused teat ends in dairy cows. J Dairy Sci 2000; 83: 2795-804.

Neijenhuis F, Klungel GH, Hogeveen H. Recovery of cow teats after milking as determined by ultrasonographic scanning. *J Dairy Sci* 2001a; 84: 2599-606.

Neijenhuis F, Barkema HW, Hogeveen H, Noordhuizen JP. Relationship between teat-end callosity and occurrence of clinical mastitis. *J Dairy Sci* 2001b; 84: 2664-72.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E (1997) *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane*. Parey Buchverlag, Berlin

Nickerson SC. Immune mechanisms of the bovine udder: an overview. *J Am Vet Med Assoc* 1985; 187: 41-5.

Olney GR, Mitchell RK. Effect of milking machine factors on the somatic cell count of milk from cows free of infection. II. Vacuum level and overmilking. *J Dairy Res* 1983; 50: 141-8.

Paulrud CO, Clausen S, Andersen PE, Rasmussen MD. Infrared Thermography and Ultrasonography to Indirectly Monitor the Influence of Liner Type and Overmilking on Teat Tissue Recovery. *Acta Vet Scand.* 2005; 46: 137-47.

Pensel J, Warnking R. Gerätetechnologie. In: *Dopplerultrasonographie in der Gynäkologie und Geburtshilfe*. Sohn C, Stolz W, Bastert G, eds. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1993: 11-5.

Peterson KJ. Mammary tissue injury resulting from improper machine milking. *Am J Vet Res* 1964; 25: 1007-9.

Poulsen Nautrup C (2007) *Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze*, 4 edn. Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Hannover

Rabold K, Buchholz C, Mayntz M, Huck P. Über die Ausprägung von Maschinennachgemelken und ihre Auswirkungen beim maschinellen Milchentzug. *Milchpraxis* 1977; 15: 28-33.

Rasmussen MD, Frimer ES, Decker EL. Reverse pressure gradients across the teat canal related to machine milking. *J Dairy Sci* 1994; 77: 984-93.

Rasmussen MD, Madsen NP. Effects of milklane vacuum, pulsator airline vacuum, and cluster weight on milk yield, teat condition, and udder health. *J Dairy Sci* 2000; 83: 77-84.

Rauch A, Kruger L, Miyamoto A, Bollwein H. Colour Doppler sonography of cystic ovarian follicles in cows. *J Reprod Dev* 2008; 54: 447-53.

Reitsma SY (1977) Dynamic responses of the dairy cow's teat to linerless milking. Cornell University, Ithaca

Rosner F, Naumann I, Fahr RD, Thielebein J, Lengerken Gv. Ultrasonographische Untersuchungen an der Zitzenspitze bei Rind und Ziege. *Ultraschall Med* 2000; 21: 72.

Rübeli D. Über einige anatomische Verhältnisse des Rindereuters und deren Bedeutung für die Physiologie und Pathologie. *Schweiz Arch Tierheilkd* 1916; 58: 357-69.

Rubin JM, Adler RS. Power Doppler expands standard color capability. *Diagn Imaging (San Franc)* 1993; 15: 66-9.

Sahliger S (1977) Zum Einfluss der Art des Milchentzuges auf den histologischen Aufbau der Rinderzitze. Tierärztliche Hochschule, Wien

Sambras HH. Rhythmische Kontraktionen der Rinderzitze. *Zbl Vet Med A* 1971; 18: 335-40.

Sandholm M. Detection of inflammatory changes in milk. In: The bovine udder and mastitis. Sandholm M, Honkanen-Buzalski L, Pyörälä S, eds. Helsinki: Gummerus kirjapaino Oy 1995: 89-104.

Scheibenzuber EM (2005) Testikulärer Blutfluss beim Hengst: Fardopplersonographische Untersuchungen. Tierärztliche Hochschule, Hannover

Schulz J, Michel G, Seffner W. Zur Abwehrfunktion der Zitze des Rindes. Mh. Vet. Med. 1974; 29: 662-7.

Seeh C, Hospes R, Bostedt H. Einsatz bildgebender Verfahren (Sonographie/Endoskopie) zur Diagnose der Beizitze beim Rind. Tierärztliche Praxis 1996; 24: 438-42.

Seeh C, Hospes R. Erfahrungen mit einem Theloresektoskop im Vergleich zur konventionellen Zitzenendoskopie bei der Diagnose und Therapie gedeckter Zitzenverletzungen. Tierärztliche Praxis 1998; 26: 110-8.

Seker I, Risvanli A, Yuksel M, Saat N, Ozmen O. Relationship between California Mastitis Test score and ultrasonographic teat measurements in dairy cows. Aust Vet J 2009; 87: 480-3.

Sieber RL (1980) The relationship of bovine teat end lesions to mastitis and machine milking. In: Int Congr Dis Cattle, Tel Aviv. 189-99

Spörri H. Blutkreislauf. In: Lehrbuch der Veterinärphysiologie Scheunert/Trautmann, 7 edn. Wittke G, ed. Berlin, Hamburg: Paul Parey 1987: 209-301.

Tesfaye GY, Regassa FG, Kelay B. Milk yield and associated economic losses in quarters with subclinical mastitis due to *Staphylococcus aureus* in Ethiopian crossbred dairy cows. Trop Anim Health Prod 2010; 42: 925-31.

Thalheim C, Uhmann F. Laboruntersuchungen zur Optimierung von Zitzengummieigenschaften. *Agrartechnik* 1977; 27: 169-71.

Thiel CC, Mein GA. Action of the cluster during milking. In: *Machine milking* Shinfield: Nat. Natn. Inst. Res. Dairy. 1977: 122-3.

Thieme D, Haasmann S. Der Zellgehalt der Milch als Kriterium bei der Eutergesundheitsüberwachung. *Mh. Vet. Med.* 1978; 33: 226-32.

Thompson PD. Effects of physical characteristics of milking machines on teats and udders. *J Am Vet Med Assoc* 1977; 170: 1150-4.

Thompson PD (1978) Measurement for studying machine milking. In: *Proc Int Symp Mach Milk*, Louisville, Ky. 176-85

Tolle A, Hamann J. Der pulsierende Milchentzug mit Mantelluftstrompolster im Einraumsaugbecher (PME-System). *Ber Landw.* 1975; 190: 72-92.

Tolle A, Hamann J (1978) Operational characteristics of non-conventional systems using constant vacuum. In: *Proc. Int. Symp. Mach. Milk.* , Louisville, Ky. 150-61

Trautwein A, Kreibig U, Oberhausen E (1986) *Physik für Mediziner, Biologen und Pharmazeuten*, 4 edn. De Gruyter Verlag Berlin, New York

Udall DH. Teat erosions. *Cornell Vet* 1947; 37: 73-7.

Walser K, Weiss E. Untersuchungen über pathologisch-anatomische und histologische Veränderungen im Kuheuter nach Blindmelkversuchen. *Zbl Vet Med A* 1963; 19: 475-84.

Walser K (1966) Melkmaschinen und Mastitis. Untersuchungen über die Beeinflussung der Eutergesundheit durch die Melkmaschine. Paul Parey, Berlin und Hamburg

Williams DM, Mein GA (1980) Effects of Pulsation failure on the bovine teat canal. In: Int Workshop Milk Mach Mastitis, Fermoy, Ireland. 73-81

Williams DM, Mein GA. Biological responses of the bovine teat to milking: Informations from measurement of milk flowrate within single pulsation cycles. J Dairy Res 1981; 48: 7-21.

Williams DM, Mein GA. Physical and physiological factors affecting milk flow rate from bovine teat during machine milking. Proc Conf Dairy Prod Pasture 1982: 42-74.

Witzig P, Hugelshofer J. Abklärung von Zitzenstenosen beim Rind mit Hilfe des Doppelkontraströntgens. Schweiz Arch Tierheilkd 1984; 126: 155-63.

Worstorff H, Prediger A, Auernhammer H. Effect of periodical air inlet cluster on teat condition, milk yield and udder health of cows. Milchwissenschaft 1983; 38: 280-3.

Worstorff H. Zur Gestaltung von Saug- und Entlastungsphase beim maschinellen Milchentzug. Landtechnik 1983; 5: 203-5.

Worstorff H (1994) Melktechnik. In: top agrar extra. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster Hiltrup

Woschè I (1999) Farbdopplersonographische Untersuchung der Arteria uterina, Arteria ovarica und Arteria umbilicalis während der Gravidität und des Puerperiums der Stute. Ludwig Maximilians Universität, München

Zecconi A, Hamann J, Bronzo V, Ruffo G. Machine-induced teat tissue reactions and infection risk in a dairy herd free from contagious mastitis pathogens. *J Dairy Res* 1992; 59: 265-71.

Zecconi A, Bronzo V, Piccinini R, Moroni P, Ruffo G. Field study on the relationship between teat thickness changes and intramammary infections. *J Dairy Res* 1996; 63: 361-8.

Zecconi A, Hamann J, Bronzo V, Moroni P, Giovannini G, Piccinini R. Relationship between teat tissue immune defences and intramammary infections. *Adv Exp Med Biol* 2000; 480: 287-93.

Ziegler H, Mosimann W (1960) *Anatomie und Physiologie der Rindermilchdrüse*. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

## IX. DANKSAGUNG

Herrn Professor Dr. R. Mansfeld möchte ich an dieser Stelle sehr herzlich für die gute Betreuung, die jederzeit freundlich gewährte Unterstützung und die Korrektur meiner Arbeit danken.

Ganz herzlich möchte ich auch Dr. S. Schmauder danken, die mir trotz der vielen Arbeit in der Ambulanz immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

Bei Professor Dr. H. Küchenhoff, Dr. C. Sauter-Louis und Herrn H. Reulen möchte ich mich sehr für die Hilfe bei der statistischen Auswertung dieser Arbeit bedanken.

Danken möchte ich Dr. R. Martin, der mir meine Probanden beschaffte und mir bei ihrer Auswahl half.

Mein Besonderer Dank gilt Herrn Kammermeier, der seine Zustimmung für die Messungen an „seinen“ Kühen gab und vor allem Frau Ochsendorf, die mir durch die Kenntnis der Charaktereigenschaften der Kühe sehr bei der Auswahl half! Allen Melkern, Mitarbeitern und Doktoranden, die mir beim Treiben und Einsperren der Kühe sowie bei der Milchprobenentnahme geholfen haben und meinerwegen häufiger etwas verspätet Feierabend hatten möchte ich danken.

Liebes Laborteam, danke für die Hilfe bei der Auswertung meiner Milchproben.

Danken möchte ich auch Herrn Pütz der mir die Ultraschallsonde zur Verfügung stellte und die Bedienung des Ultraschallgerätes näher brachte. Auch ohne Ihn wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Dr. B. Kolberg und Dr. M. Metzner danke ich für die Hilfe bei der Einarbeitung in die Ultraschalldiagnostik.

Vielen Dank meinem Umzugsteam, das während der Fertigstellung dieser Arbeit so fleißig Kisten geschleppt hat, dass ich bald wieder Zeit zum Schreiben hatte und allen Freunden, die mir trotz meines fortwährenden Zeitmangels die Treue gehalten haben.

Ein besonderer Dank geht an meine Eltern, meine Brüder und meinen Freund, die mir immer den Rücken freigehalten haben und mich aufbauten, wenn es nötig war.