

Humboldt-Universität zu Berlin

DISSERTATION

# **Tier-Technik-Beziehung bei der automatischen Milchgewinnung**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor Rerum Agriculturae  
(Dr. rer.agr.)

vorgelegt der  
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät

von Dipl.-Ing. agr Christina Umstätter,  
geb. am 06.08.1973 in Berlin

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin:

Prof. Dr. Jürgen Mlynek

Dekan der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät:

Prof. Dr. Uwe Jens Nagel

Gutachter: 1. Prof. Dr. Otto Kaufmann  
2. Prof. Dr. Reiner Brunsch

eingereicht: 08. April 2002

Datum der Promotion: 04. Juni 2002

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ERKENNTNISSTAND</b>	<b>5</b>
2.1	Tier-Technik-Beziehung	5
2.2	Tier	8
2.2.1	Verhalten	9
2.2.1.1	Motivation	9
2.2.1.2	Lernen	13
2.2.1.3	Tiergerechtigkeit	16
2.3	Technik	17
2.3.1	Entwicklung und Stand der Technik	17
2.3.2	Prozesskontrolle	20
2.3.2.1	Leitfähigkeit	23
2.3.2.2	Herzfrequenz	24
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODE</b>	<b>26</b>
3.1	Material	26
3.1.1	Betriebe	26
3.1.2	Versuche	27
3.2	Methode	30
3.2.1	Milchflussmessung	30
3.2.2	Formel für die Zulassung der Kühe zum Melken	30
3.2.3	Herzfrequenzmessung	32
3.2.4	Statistische Analyse	33
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>35</b>
4.1	Melkparameter	35
4.2	Milchparameter	38
4.2.1	Milchinhaltsstoffe	39
4.2.2	Leitfähigkeit	47
4.3	Verhaltensparameter	51
4.3.1	Besuchsfrequenzen beim Melken	52
4.3.2	Herzfrequenzmessungen	62
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>69</b>
5.1	Melk- und Milchparameter in der Prozesskontrolle	69
5.2	Verhaltensparameter beim AMS	81
5.2.1	Besuchsfrequenzen beim Melken	83
5.2.2	Herzfrequenzmessungen	90
5.3	Tiergerechtigkeit	95
<b>6</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>101</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>108</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>110</b>

# 1 Einleitung

Durch die zunehmende Automatisierung der Tierhaltung, den rasanten Informationsgewinn der technischen Systeme mit ihrer hochentwickelten Sensorik und die damit verbundene Effizienzsteigerung der Prozesskontrolle gewinnt der Aspekt der Tiergerechtigkeit und die Einbeziehung des Tierverhaltens in das Gesamtkonzept der Tier-Technik-Beziehung einen immer größeren Einfluss. Dabei darf die Verantwortung des Menschen weiterhin nicht außer Acht gelassen werden. Die Kühe beispielsweise, sind bezüglich ihrer kognitiven Fähigkeiten und ihres Lernverhaltens bei Automatischen Melksystemen (AMS) stärker als bisher ins Kalkül zu ziehen.

AMS haben bei der Technisierung in den letzten Jahren eine Vorreiterrolle gespielt, da gerade das Melken einen großen Arbeitszeitbedarf erfordert und das Melkpersonal mit mindestens zwei Melkzeiten fest an einen Tagesablauf gebunden ist. Schon beim konventionellen Melken sind viele Teilroutinen automatisiert worden, wobei in diesem Zusammenhang nur an die Abnahmeautomatik oder die Stimulation erinnert werden soll. Die technische Problematik lag zu Beginn der Entwicklung des AMS vor allem im Ansetzen des Melkzeugs. Aber auch dieser Bereich ist bereits recht gut gelöst. Schon in den 90er Jahren konnten die ersten automatischen Melksysteme in die Praxis eingeführt werden. Die Auswirkungen der Technik auf das einzelne Tier und die Reaktionen der Tiere auf die Technik sind seitdem stärker in das Zentrum der Betrachtungen gerückt. Dabei ist hier nicht nur das Verhalten der Kühe im direkten Zusammenhang mit der Milchproduktion von Interesse, sondern beispielsweise auch die Verhaltensparameter, wie die Besuchsfrequenz an der Melkbox oder die Herzfrequenz, zur Beurteilung von Stress.

Die aus Aktion und Reaktion der Tiere in Bezug auf den Melkroboter anfallenden Daten können und sollten in Zukunft direkt in der Prozesskontrolle genutzt werden, um die Produktion, die Tiergesundheit, den Kuhkomfort und nicht weniger das Arbeitsklima für den Menschen zu verbessern. Ziel ist es daher, durch die Vernetzung leicht ermittelbarer und möglichst differenzierter Daten ein Gesamtbild zu gewinnen, das zuverlässig bzw. selbstkorrigierend ist.

Nach eingehender Analyse dieser sehr komplexen Beziehung zwischen Tier und Technik haben sich drei besonders relevante Bereiche herauskristallisiert, die in der vorliegenden Arbeit gezielt untersucht werden sollen. Zunächst ist der Komplex Melkparameter zu nennen, der unterteilt werden kann in die Parameter: Viertelverteilung der Milch, Blindmelken und Zwischenmelkzeiten. Diese Aspekte können eine direkte Auswirkung auf die Eutergesundheit haben. Außerdem spielen die Zwischenmelkzeiten eine wichtige Rolle bei den Automatischen Melksystemen, da die Milchmenge durch sie direkt beeinflusst wird. Die Milchparameter, als zweiter wichtiger Komplex, sind untersucht worden, um herauszufinden, ob und welche Auswirkungen das AMS auf die Milchmenge, die Inhaltsstoffe, den Harnstoffgehalt, die somatische Zellzahl und nicht zuletzt die Leitfähigkeit hat.

Das Verhalten der Kühe spielt eine entscheidende Rolle bei der Besuchsfrequenz. Dabei war darauf zu achten, dass möglichst leicht messbare und aussagekräftige Verhaltensparameter heranzuziehen und in Relation zu setzen waren. Das trifft zum einen auf die Melkfrequenz und die Besuchshäufigkeit zu, die automatisch vom Prozessrechner gespeichert werden, und zum anderen auf die Herzfrequenz, wobei man hier feststellen muss, dass dies zumindest momentan noch kein Messparameter ist, der vom System automatisch erfasst wird. Diese Parameter wurden auf ihren Einfluss hinsichtlich der Tier-Technik-Beziehung untersucht. Die Ergebnisse können einen entscheidenden Einfluss auf die zukünftige Gestaltung der Prozesskontrolle haben.

## 2 Erkenntnisstand

### 2.1 Tier-Technik-Beziehung

Die Tier-Technik-Beziehung ist in erster Linie ein Kommunikationsproblem. Die Grundlagen der Kommunikation haben zum ersten Mal umfassend Shannon, C. und Weaver, W. 1949 in ihrer Veröffentlichung „The Mathematical Theory of Communication“ dargestellt. Diese Theorie hat bekanntlich als Informationstheorie seit Ludwig Boltzmann das gesamte letzte Jahrhundert grundlegend geprägt. Abbildung 1 stellt das Grundprinzip dar:

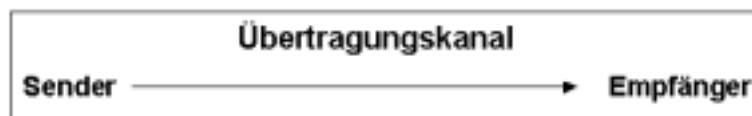


Abb. 1: Allgemeines Modell der Information und Kommunikation.

Bei der Kommunikation gibt es einen Sender, der eine Nachricht bzw. Signale abgibt. Diese werden durch den Übertragungskanal geleitet und vom Empfänger aufgenommen. Sender und Empfänger sind alle Partner, vom Molekül bis zu den komplexesten sozialen Strukturen, die eine jeweils gemeinsame Codierung verwenden.

In der Tierhaltung war es bisher so, dass die Technik die Rolle des Senders übernahm. Sie gab die Signale ab, während die Tiere immer auf der Empfängerseite standen (Abb. 2).

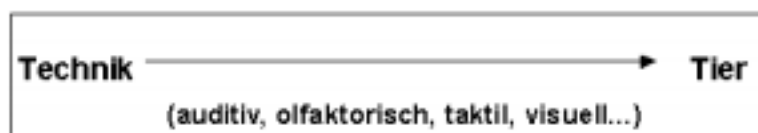


Abb. 2: Bisherige Kommunikationsrichtung zwischen Maschine und Tier.

Dabei können Übertragungskanäle genutzt werden, die das Tier nach einer Einteilung TEMBROCKS, G. (S. 292, 1987) in chemischer, elektrischer, mechanischer und optischer Codierung ansprechen.

Erst durch die schnell fortschreitende Entwicklung der technischen Sensorik ist ein Rollentausch möglich geworden, wie er in Abbildung 3 skizziert ist. Die Technik ist nun in der Lage als Empfänger zu fungieren, da sie mit Hilfe von Sensoren die Signale auch empfangen, entschlüsseln und verarbeiten kann.

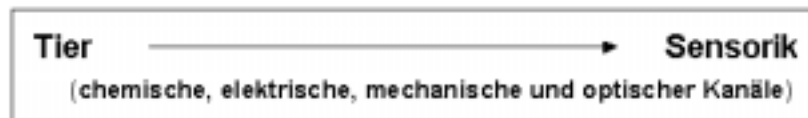


Abb. 3: Mit Hilfe moderner Sensorik kann nun auch die Kommunikationsrichtung vom Tier in Richtung Maschine laufen.

Durch diesen entscheidenden Schritt ist aus der einfachen, einseitigen Kommunikation zwischen Technik und Tier, ein komplexes kybernetisches System entstanden, das in Abbildung 4 schematisch dargestellt ist (WIENER, N.; 1969).

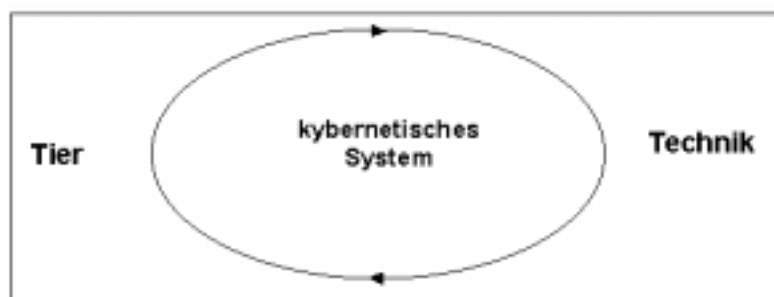


Abb. 4: Schema eines kybernetischen Systems in der technisierten Tierhaltung.

Für die Rückkopplungen, die in solch einem kybernetischen System möglich geworden sind, kann nun Software entwickelt werden, die zu einem sich selbst optimierenden oder auch selbstlernenden System führen.

Die Individualisierung der Technik, die heutzutage angestrebt wird, ist erst durch die Einzeltieridentifikation in den 70er Jahren möglich geworden. Die historische Entwicklung der zunehmend miniaturisierten Bauteile und der gleichzeitigen steigenden Informationskapazität ist bei SCHÖN, H. und ARTMANN, R. (1993) in ihrer Relation dargestellt. Eine Verkleinerung der Systeme vom Halsbandsender bis zum Implantat konnte so erreicht werden. Solche Systeme sind die Grundlage für eine speziell auf das Individuum ausgerichtete Tierhaltung in größeren Beständen, die für den Menschen nicht mehr überschaubar sind. Die verschiedensten Sensoren können in der

Landwirtschaft und in der agrarwissenschaftlichen Forschung zur Anwendung kommen. Eine Übersicht über heutzutage nutzbare Sensoren ist aus Tabelle 1 zu ersehen.

Tab. 1: Übersicht über heute gebräuchliche Sensoren

Sensoren	Messgrößen Beispiele
Abstandssensoren	Mikrometer bis Kilometer
Akustische Sensoren	Geräusch Ultraschall
Biosensorik	z.B. Biologisch-immunologische-Erkennungskomponenten z.B. Biochips
Chemosensorik	Gas Geruch
Elektrische Sensoren	Leitfähigkeit
Feuchtigkeitssensoren	Betauung Luftfeuchte
Geschwindigkeitssensoren	z.B. Kilometer pro Stunde z.B. Meter pro Sekunde
Mechanische Sensoren	Beschleunigung Bewegung Druck Füllstand Kraft Taktile Reize
Optische Sensoren	Helligkeit CCD (Charge Coupled Device) Licht Fluoreszenz Infrarot
Temperatursensoren	z.B. Grad Celsius

In vielen Fällen kommt es dabei zu indirekten Messungen. Drucksensoren werden z.B. bei den verschiedensten Wiegemöglichkeiten eingesetzt, die bei der Lebendmasseentwicklung, beim Futtermischen oder auch bei der Milchmengenerfassung nützlich sein können. Volumenmessungen sind ebenfalls bei der Milchmengenerfassung zu finden. Mit Hilfe der Leitfähigkeit sind beschränkt Aussagen über die Milchqualität zu gewinnen. Messungen der Beschleunigung können unter anderem auch zu Lahmheitsdiagnostik eingesetzt werden (FALATURI, P. 1998) oder in Kombination mit einem Positionssensor zu Verhaltensbeobachtungen. Hier sei nur an das System „Ethosys“ erinnert (SCHEIBE, K. et al.1998). Darüber hinaus gibt es auch schon seit langem den Einsatz von Bewegungssensoren, um beispielsweise die Brunst mit Pedometern zu überwachen. Dabei ist auffällig, dass auch an dieser Methode schon seit vielen Jahren gearbeitet wird (u.a. PENNINGTON, J.A. et al. 1986; MAATJE, K. et al. 1997), ohne dass der entscheidende Durchbruch gelungen ist, da keine der einzelnen Datenerfassungen ausreicht, um zuverlässige Aussagen machen zu können. Erst im Kontext mehrerer Parameter können ausreichend zuverlässige Schlüsse gezogen werden.

## **2.2 Tier**

In der Tier-Technik-Beziehung können, trotz der starken Interdependenz, das Tier und die Technik jeweils für sich auch getrennt betrachtet werden, um ein besseres Verständnis für die komplexe Wechselbeziehung zu erlangen. Dabei ist der tierische Bereich in seiner Komplexität für den Menschen schwieriger zu verstehen, als der technische, da dieser vom Menschen selbst erzeugt wurde. Das Wissen über die kognitiven Fähigkeiten der Tiere ist bis zum heutigen Tag noch äußerst lückenhaft und hat sich nicht zuletzt durch die Verhaltensanalysen der letzten Jahrzehnte und die Informationstheorie im letzten Jahrhundert etwas konkretisiert. Durch den mittlerweile schon mehrjährigen Praxiseinsatz von Automatischen Melksystemen zeigt sich immer stärker, dass der Part „Tier“ bei solchen Systemen unzureichend beachtet wurde, wobei die Lernfähigkeit der Technik völlig neue Ansätze bietet.

## 2.2.1 Verhalten

Um das Verhalten von Tieren untersuchen zu können muss zunächst der Begriff genau definiert werden. Dies hat TINBERGEN, N. (S. 17-18, 1979) mit seinem allgemeingültigen Ansatz getan, nach dem Verhalten Reaktion ist "soweit, wie es äußere Reize beantwortet" und spontane Aktion insofern, als es zugleich auch auf inneren Kausalfaktoren, nämlich einstimmenden Faktoren, beruht, die einen Drang, einen Trieb aufrufen.

Auf die Situation dieser Arbeit bezogen, würde sich ein entsprechendes Schema wie in Abbildung 5 darstellen lassen. Die Aktion geht vom handelnden Tier als Sender aus. Danach folgt zunächst die Reaktion der Technik, wobei sich nun diese ihrerseits auf der Senderseite befindet und das Tier zu einer rückgekoppelten Reaktion führt.

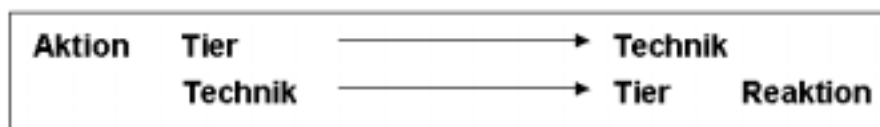


Abb. 5: Die rückgekoppelten Kommunikationsrichtungen bei Aktion und Reaktion im Sinne Tinbergens.

### 2.2.1.1 Motivation

Die Motivationsforschung ist ein Teilbereich der Verhaltenswissenschaften. Sie sucht nach den Signalen, die zu den Aktionen bzw. Reaktionen des Verhaltens führen.

Das Wort **Motiv** kommt vom spätlateinischen Wort *motivus* = bewegend, antreibend. Verwandte Worte sind *Emotion*, *Motor*, *Motorik* oder auch das englische Wort „*motion*“. Motiviertes Verhalten hat daher nach TEMBROCK, G. einen „inneren Antrieb“ (S. 123, 1987).

Man kann bei der Motivation nun zwei Klassen von Unterscheidungen vornehmen:

1. Unterscheidung: Signale von innen, Signale von außen
2. Unterscheidung: Bewusste, unbewusste Motivation

Zu 1.: Innere Signalen können z.B. aus Mangelsituationen im Körper entstehen. Gemeint sind damit Hunger, Durst, Sexualtrieb etc. Bei äußeren Signalen kommen beispielsweise Lockstoffe, wie Geruch des Futters, Wassers oder eines potentiellen Sexualpartners in Frage. Daneben wären aber beispielsweise auch akustische oder optische Signale denkbar.

Zu 2.: Die bewusste Motivation spielt bei den Tieren keine Rolle, da diese nach unserem heutigen Wissensstand auf den Menschen beschränkt ist. Diese Unterscheidung entsteht somit aus humaner Sicht und beschränkt sich auf die Fähigkeit des Menschen bewusste Begründungen für seine Handlungen zu gewinnen. Der unbewusste Antrieb hingegen ist für die Untersuchungen bei den Tieren in den folgenden Bereichen von grundlegender Bedeutung.

Die Motivation betrifft die Gesamtheit der Triebe, die ein Individuum zu einer Handlung veranlassen. Innerhalb der Triebe unterscheiden wir:

Sexual-, Pflege-, Macht-, Hunger- und Fluchttrieb, wobei die ersten vier vorwiegend endogen sind, während der Fluchttrieb weitestgehend exogen ausgelöst wird.

Dass alle diese Triebe von äußeren Bedingungen und auch von Stimmungen abhängig sind, liegt an der Handlungsbereitschaft, die ihrerseits vom Aktionspotential des Zentralnervensystems abhängig sind.

Instinkte müssen in diesem Zusammenhang nach TINBERGEN, N. (S. 104, 1979) als hierarchisch organisierte, nervöse Mechanismen verstanden werden. Während die Triebe auf die bestimmten vorwarnenden, auslösenden oder richtenden Impulse ansprechen, und damit die Instinkte auslösen, folgen die weiteren Abläufe wohlkoordiniert und lebens- bzw. arterhaltend.

Bezüglich der motorischen und trophischen Reflexe ist hier nur am Rande zu bemerken, dass diese nicht zu den Motivationen gezählt werden können, da sie unmittelbar

re Reaktionen eines Effektors auf eine Erregung sind. Ihnen fehlt das variable Aktionspotential des Zentralnervensystems.

Innerhalb der Reflexe unterscheidet man:

- a) den bedingten Reflex : ein Reflex der durch Erfahrung modifiziert werden kann.
- b) den unbedingten Reflex: ein Reflex der durch Erfahrung nicht modifizierbar ist.

Für die vorliegenden Untersuchungen ist in Abbildung 6 die motivationsauslösende Signalrichtung zu entnehmen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Erinnerungsvermögen der Tiere keinen unmittelbaren Signal-Reaktions-Zusammenhang erfordert. Gerade die Assoziation des Melkroboters mit Elementen wie Futterangebot, Körperpflege, Melkung oder Wasserversorgung einerseits, aber auch mit Stress oder Schmerz andererseits führen zu Reizen mit differenzierter Langzeitwirkung.

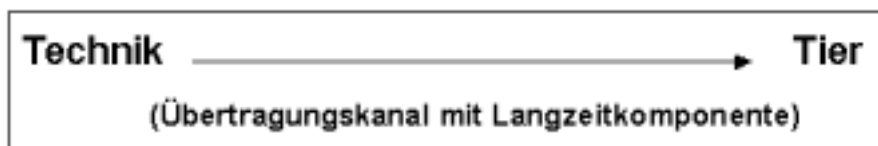


Abb. 6: Die Signalrichtung bei der Motivation von außen erfolgt von der Technik in Richtung Tier über eine zeitliche Verzögerung des Lernvorgangs.

Dabei kommt von der Technikseite ein Signal, im Falle des AMS ist das das Angebot von Lockfutter in Form von Konzentraten, um die Tiere zum Besuch der Melkbox zu bewegen. Sobald sie sich daran erinnern, suchen sie das AMS auf.

Schon zu Beginn der Entwicklung des AMS wurden eingehende Versuche zur Motivation durchgeführt. Es galt dabei zu ergründen, welche Motive hinter dem Besuch in der Melkbox standen. In Vorversuchen veränderte man die Aufstellung der Krafffutterautomaten dahingehend, dass die Tiere an diesen von Melkern über den gesamten Zeitraum von 24 Stunden gemolken werden konnten. In diesem Versuch konnte RABOLD, K. (1985) feststellen, dass die Tiere vor dem Einsatz der Melker den Futterautomaten im Durchschnitt 11 Mal am Tag aufsuchten, während die Besuchshäufigkeit beim Einsatz der Melker drastisch zurückging. Im 1. Versuch sank die Besuchshäufigkeit auf 4,29 Mal und im 2. Durchgang auf 3,96 Melkungen täglich. PRESCOTT,

N.B.; MOTTRAM, T.T. und WEBSTER, A.J.F. (1998) fanden heraus, dass die Motivation gemolken zu werden wesentlich schwächer ist, als man zunächst vermutete. Außerdem konnten sie keine erkennbare Korrelation mit dem Laktationsstatus nachweisen. Auch der Füllungsgrad der Euter schien nach diesem Versuch keine endogene Signalwirkung zu haben. Das Angebot von Krafftutter zeigte sich dagegen den Autoren als zuverlässiger Motivationsauslöser. Diese Erkenntnis wurde auch durch den vorhergehenden Versuch von RABOLD, K. unterstützt. Dabei wird von PIRKELMANN, H. (1992) angegeben, dass die Mindestmenge der Krafftuttergabe im AMS 2 kg beträgt. IPEMA, A.H. (1997) spricht davon, dass die Verabreichung von Krafftutter mit dem Melken so stark wie möglich kombiniert werden sollte, um einen möglichst hohen Assoziationsgrad zu erreichen.

Eine Kuh kann aus physiologischen Gründen nicht mehr als 3,5 kg Krafftutter auf einmal zu sich nehmen. So schwankt die tägliche Konzentrataufnahme je nach Melkfrequenz zwischen 7 und 14 kg. IPEMA macht in diesem Zusammenhang darauf aufmerksam, dass eine Kuh für das Fressen von 3,5 kg Krafftutter etwa 12 Minuten braucht. Dies ergibt Probleme mit den meist kürzeren Melkzeiten, wenn die Melkroboter trotzdem ausgelastet werden sollen. Er empfiehlt daher eine extra Krafftutterstation zusätzlich einzurichten. KETELAAR-DE LAUWERE, C.C. et al. (1999) stellten fest, dass eine solche Station, wenn sie hinter dem AMS angeordnet ist, sich vorteilhaft auf die Besuchsfrequenz des AMS in einem geregelten Kuhverkehr auswirkt.

Neben der Krafftuttergabe werden aber auch immer wieder andere Motivationsmöglichkeiten untersucht. Eine davon ist das Angebot von spezieller Musik. UETAKE, K.; HURNIK, J.F. und JOHNSON, L. (1997) haben den Effekt der Musik auf das freiwillige Herantreten von Kühen an das AMS untersucht und sind zu einem positiven Ergebnis gelangt. Die Effekte sind aber bisher eher gering und reichen sicherlich als Motivationshilfe alleine nicht aus. Des Weiteren werden auch beispielsweise hinter dem AMS positionierte Bürsten empfohlen, die einen positiven Effekt auf die Besuchsfrequenz des Melkroboters haben sollen. Das Angebot solcher Bürsten wird von den Tieren intensiv wahrgenommen (GEORG, H. und TOTSCHKE, K. 2001), so dass deren Einsatz bei AMS, in günstiger Anordnung, erfolversprechend ist. Auch STEFANOWSKA, J.; IPEMA, A.H. und HENDRIKS, M.M. (1999) haben festgestellt, dass man den Austritt der

Kühe beschleunigen kann, indem man ihnen hinter dem Ausgangstor eine Belohnung anbietet.

### 2.2.1.2 Lernen

Lernvorgänge unter der Bedingung von Versuch–und-Irrtum folgen nach der Theorie von Hull, C.L (1952) und der Formalisierung von Noble, C.E. (1957) einer sigmoiden Kurve der Form

$$R_p = a (i)^{r^N}$$

$R_p$  = probability of a correct first choice (1R+)

$A$  = asymptote of  $R_p$  (1,00)

$i$  = initial probability ( $1/N_R$ )

$r$  = rate parameter related to  $N_R$

$N$  = number of trials

Obwohl diese Formel der Lerngeschwindigkeit an menschlichen Probanden getestet wurde, gilt sie grundsätzlich für alle Lernsysteme dieser Art, da sie auf einer rein zufallstheoretischen Grundlage aufbaut. In ihr gehen drei wichtige Parameter ein:

1. Die Ausgangswahrscheinlichkeit  $i$  eine korrekte Antwort in der Versuch-und-Irrtums-Beziehung zu finden. Sie ist bei  $N = 0$  entsprechend  $i^1$ . Der Parameter  $i$  entspricht der Inversen von  $N_R$ , der Zahl an Antwortmöglichkeiten.
2. Der Exponent  $r$ , der ein Maß für den Lernfortschritt ist.
3. Die Wahrscheinlichkeit  $a$ , nach ausreichend langer Lernzeit die korrekten Reaktionen zu zeigen. Im Prinzip wird sich  $R_p$  asymptotisch an 1 und damit an 100 Prozent richtige Entscheidungen annähern. Es kann aber wahr-scheinlichkeitstheoretisch auch Fälle geben, in denen ein Proband immer wieder testet, ob ein anderer, als der erlernte Fall richtig ist.

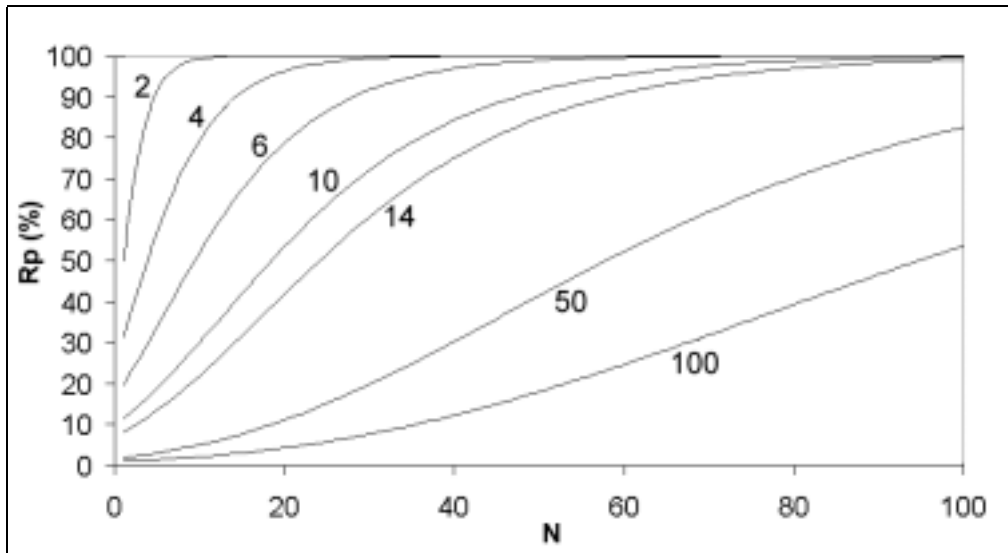


Abb. 7: Lernkurve nach C.E. Noble (1957) für ein Versuch-und-Irrtum Lernsystem, mit 2; 4; 6; 10; 14; 50 und 100-Felderauswahl.

Für verschiedene  $i$  und  $a = 1$  lassen sich am „Selective Mathometer“ damit die entsprechenden Lernkurven darstellen (Abb. 7). Die entsprechenden Parameter  $r$  wurden von C.E. NOBEL für die Fälle  $i = 4; 6; 10$  und  $14$  ermittelt. Die Werte  $2; 50$  und  $100$  ließen sich für die vorliegenden Betrachtungen extrapolieren.

Wie die Abbildung 7 zeigt, können Probanden bei einem 4-Feldermonitor schon ohne jede Kenntnis in 25 % aller Fälle eine richtige Entscheidung treffen. Diese Wahrscheinlichkeit steigt mit jedem neuen Versuch rasch an und geht gegen 100 Prozent. Der Anstieg steht in Relation mit der Zahl an Auswahlmöglichkeiten und beträgt nach C.E. Noble bei  $4 = 0,835$ , bei  $6 = 0,904$ , bei  $10 = 0,937$  und bei  $14 = 0,946$ . Es ist leicht einzusehen, dass bei einer weiteren Verringerung der Ausgangswahrscheinlichkeit, sich richtig zu entscheiden, die Kurve erst nach einer längeren Anzahl von Fehlversuchen langsam ansteigt. Übereinstimmend dazu hat der prozentuale Lernerfolg bei einer größeren Anzahl von Wahlmöglichkeiten erst nach einigen Versuchen sein Maximum erreicht und nimmt langsamer ab, als bei einer geringeren Anzahl von Möglichkeiten (Abb. 8).

Bei Lernvorgängen kommt es darauf an, dass die lernenden Systeme nicht nur in der Lage sind sich zu erinnern, d.h. ein Memory besitzen, sie müssen auch die Fähigkeit haben diese Erinnerung in bestimmten Situationen gezielt abzurufen, was an der

sog. S–R–Beziehung (Stimulus-Response) deutlich wird. Dazu kommt, dass es eine ausreichende Chance geben muss, einen Lernfortschritt zu erzielen. Dieser ist am Anfang von der Zufallswahrscheinlichkeit  $i$  abhängig und verändert sich dann bedingt durch  $r$ .

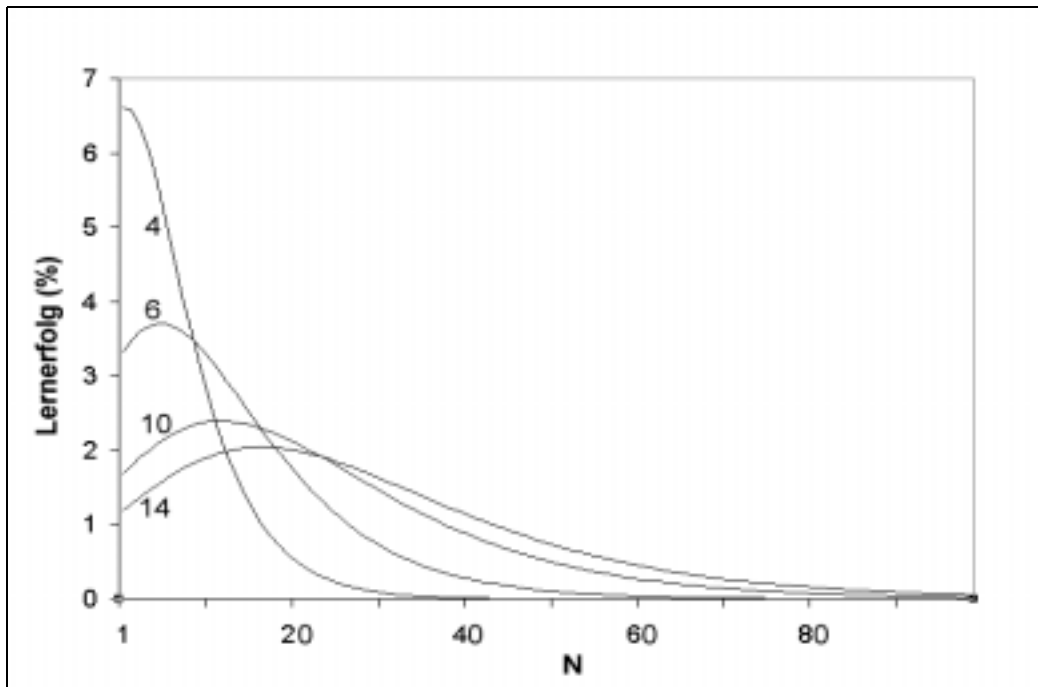


Abb. 8: Zunahme der Wahrscheinlichkeit korrekter Antworten pro  $N$  Versuche, entsprechend der Werte in Abb. 7.

Beim Lernen der Kühe sind damit die drei genannten Parameter zu berücksichtigen. Wobei  $i$  und  $a$  als erstes zu bestimmen sind. Sie ergeben sich aus der Ausgangs- und Endsituation. So gibt es für eine Kuh bei unseren Betrachtungen zunächst nur zwei Möglichkeiten, das AMS aufzusuchen oder zu meiden. Diese Wahrscheinlichkeit muss aber nicht zwangsläufig bei 50 % liegen, da sie u.a. davon abhängt, wie schwierig es ist, den Eingang zu finden. Durch die Heranführung der Tiere wird  $i$  daher gezielt erhöht. Bei  $a$  muss in unserem Falle die Zeit berücksichtigt werden, da ein Zeitabstand von über 12 Stunden zwischen zwei Melkungen als Fehlversuch gewertet werden muss. Eigentlich ist aber schon eine Verzögerung von 10 Stunden kritisch, da eine Besuchsfrequenz von 3 Besuchen pro Tag zu einem 8 h Rhythmus führt. Wir können bei den Besuchsfrequenzen somit nicht von der einfachen Bedingung  $a = 1$  ausgehen.

### 2.2.1.3 Tiergerechtheit

In der Öffentlichkeit steht die Tierproduktion schon lange in der Diskussion. Immer wieder wird der Ruf nach artgerechter Tierhaltung laut. Das deutsche Tierschutzgesetz verwendet vor allem die Begriffe artgemäß und verhaltensgerecht. Im Kommentar (Nr. 2 Kommentar, S. 1, SCHIWY, P. und HARMONY, T., 1998) zum Gesetz ist dazu nachzulesen, dass "Haltungssysteme dann als tiergerecht gelten, wenn das Tier das erhält, was es zum Gelingen von Selbstaufbau und Selbsterhaltung benötigt und ihm die Bedarfsdeckung und die Vermeidung von Schaden durch die Möglichkeit adäquaten Verhaltens gelingt". Dabei muss zunächst festgestellt werden, dass es im Gesetz keine Differenzierung zwischen den Begriffen artgemäß und tiergerecht gibt.

Nach SUNDRUM, A.; ANDERSSON, R. und POSTLER, G. (S. 7, 1994) sind „Haltungsbedingungen dann tiergerecht, wenn sie:

- den spezifischen Eigenschaften der in ihnen lebenden Tiere Rechnung tragen,
- die körperlichen Funktionen nicht beeinträchtigen und
- essentielle Verhaltensmuster des Tieres nicht dermaßen einschränken und verändern, daß dadurch Schmerzen, Leiden oder Schäden am Tier selbst oder durch ein so gehaltenes Tier an einem anderen entstehen."

Die Artgerechtheit beinhaltet bei genauer Betrachtung keine individuelle Berücksichtigung spezieller Bedürfnisse, sondern die allen bzw. fast allen Artgenossen gemeinsamen Ansprüche. Die Variationsbreite der verschiedenen Merkmale innerhalb einer Art kann somit nur statistisch berücksichtigt werden. TSCHANZ, B. hat 1984 festgestellt, dass bei der Verwendung des Begriffes artgemäß, den Besonderheiten die speziellen Zuchtrassen zukommen, Rechnung getragen werden muss. Daraus ergibt sich die weitere Notwendigkeit zwischen art- und rassegerecht zu unterscheiden. Dennoch wird der Begriff der Rassegerechtheit selten verwandt. Man muss aber gerade hier auf die rassespezifischen Unterschiede und Besonderheiten hinweisen.

Darüber hinaus stellt dieser Begriff die Verbindung zwischen artgerecht und tiergerecht dar.

Sogar bei einer Spezialisierung der Umweltgestaltung auf bestimmte Rassebedürfnisse treten Probleme für die einzelne Kuh auf, sobald es um individuelle Unterschiede geht. Denn auch innerhalb der Rassen kommt es durchaus noch zu großen Schwankungen hinsichtlich des Gesundheitszustandes und der jeweiligen Verfassung des einzelnen Tieres. Bei den meisten Experten gibt es einen Konsens darüber, dass man nicht nur Art- oder Rasse-, sondern Tiergerechtheit anstreben sollte, da die Haltung von Nutz- und Haustieren in der modernen Landwirtschaft besser denn je auf das Individuum abgestimmt werden kann.

## **2.3 Technik**

Die grundsätzlichen technischen Probleme, wie beispielsweise das Ansetzen der Melkbecher, funktioniert beim AMS bereits sehr gut. Die sich rasch entwickelnde Sensortechnik stellt für eine wechselseitige Tier-Technik-Beziehung die Basis dar. Nun stehen die Entwickler vor der Herausforderung die Software so weiter zu verbessern, dass der Melkroboter immer stärker auf das Individuum eingehen kann. Dabei müssen Erkenntnisse aus dem Tierverhalten, dem Lernvermögen und den Kommunikationsmöglichkeiten der Tiere genutzt werden.

### **2.3.1 Entwicklung und Stand der Technik**

Bereits 1977 stellte ORDOLFF, D. die Frage, ob der Melker überflüssig geworden ist. 1980 folgten dann seine Überlegung, ob automatisches Ansetzen demnächst Wirklichkeit wird. Später baute VICON für das automatische Melken ein System, mit dem bereits 1987 die ersten Kühe gemolken wurden. 1988 erwarb VERBRUGGE, J.K.J. (Netherlands) das Europapatent EP 0 270 165 A1 für ein mobiles automatisiertes Melksystem. Die Steuerung übernahm ein Roboter.

1990 konnte im Versuchsbetrieb des IMAG-DLO das erste System von Prolion installiert werden. Seit 1992 erfolgt der Einsatz auch in Praxisbetrieben. Weltweit waren nach ECKL, J. (1994) ca. 19 Melkroboter in Pilotanlagen installiert. Seit Beginn der Entwicklung stieg die Zahl der eingesetzten Melkroboter stetig an. 1996 nannte ECKL, J. etwa 25-30 eingesetzte Systeme. 1997 waren weltweit etwa 100, davon in Holland über 50 Roboter im Einsatz. In Deutschland übernahm im Landkreis Kitzingen ab März 1997 der erste Melkroboter die Arbeit. Ende 1998 konnten in der BRD bereits über 50 AMS verzeichnet werden. KUTSCHENREITER, W. (1998) spricht in diesem Jahr davon, dass sich langsam die Praxisreife der Automatischen Melksysteme abzeichnete. Dabei stellt er auch heraus, dass der Begriff Melkroboter nur ein Teilaspekt eines ganzheitlichen Produktionsprozesses ist, der Tier, Technik und Mensch umfasst. 1999 stieg die Zahl der installierten Roboter in den neuen Bundesländern auf 22, davon 11 in Brandenburg. Im Jahr 2001 waren, nach Schätzungen auf der EuroTier, ca. 1.300 AMS weltweit im Einsatz. Die Niederlande stehen dabei zahlenmäßig an der Spitze, gefolgt von Deutschland (ECKL, J., 2001).

Die Systeme lassen sich generell in zwei Kategorien unterteilen. Zum einen gibt es die Einboxenanlagen, bei denen eine Melkbox mit einem Roboterarm versorgt wird. Im Gegensatz dazu, stehen in Mehrboxensystemen ein Roboterarm für bis maximal vier Melkboxen zur Verfügung. In technischen Details unterscheiden sich die verschiedenen AMS von mittlerweile acht Firmen. Dabei verkaufen Westfalia Landtechnik, Lely, DeLaval, Prolion und Insentec im Eigenvertrieb, während über Lemmer-Fullwood, Manus und Gascoigne Melotte Lizenznachbauten zu beziehen sind.

Neben den technischen Unterschieden gibt es auch noch zwei grobe organisatorische Einteilungen im Bereich des Kuhverkehrs. Dabei wird zwischen den Varianten geregelter und freier Kuhverkehr unterschieden. Bei einem freien Kuhverkehr sind alle Funktionsbereiche des Stalles für die Kühe frei zugänglich. Der Vorteil liegt dabei in dem ungehinderten Zugang zum Futtertisch. Nachteilig wirkt sich allerdings die Tatsache aus, dass die Tiere die Melkbox völlig frei aufsuchen können, dadurch ist es auch möglich gar nicht zum Melken zu gehen. Die freiwilligen Besuche der Kühe am Roboter funktionieren nur auf der Basis von Lockfutter, in Form von Konzentraten. Dieses Motivationssignal wirkt allerdings bei jedem Tier und zu verschiedenen

Zeiten unterschiedlich. Einige Kühe müssen deshalb gelegentlich oder täglich aus der Herde herausgesucht und in den Roboter getrieben werden. Durch solch eine zeitraubende Arbeit können die Vorteile des freien Verkehrs teilweise zunichte gemacht werden. Bei dem geregelten Kuhverkehr gelangen die Tiere nur zum Futtertisch, wenn sie durch das AMS gehen. Dadurch wird die nötige Anzahl von Melkungen sichergestellt. Als nachteiligen Einfluss werden allerdings immer wieder die längeren Zeiten des Stehens vor dem Roboter und die kürzeren Zeiten an den Fressgittern genannt (KETELAAR-DE LAUWERE, C. et al., 1998). Die Wartezeiten können die Kühe zum einen nicht produktiv nutzen, und zum anderen ist zu erwarten, dass die Anzahl der Besuche am Fressplatz geringer ist, da die Tiere jedes Mal durch den Roboter müssen, um zum Fressen zu gelangen. Man kann davon ausgehen, dass jedes Rind in der Laufstallhaltung und bei ad libitum-Fütterung bis etwa 10 Fressperioden pro Tag am Grundfutter hat (SAMBRAUS, H.H., 1978; PIRKELMANN, H., 1992). HARMS, J.; WENDL, G. und SCHÖN, H. (2001) haben das Verhalten bei den verschiedenen Umtriebsformen untersucht und konnten tatsächlich einen Unterschied in der Anzahl der Fressperioden feststellen. Beim freien Kuhverkehr lagen diese bei durchschnittlichen 8,9 Perioden, während der gelenkte Kuhumtrieb nur auf 6,6 Fressperioden kam. Interessanterweise konnte man aber in der Grundfutteraufnahme, gerechnet in Trockensubstanz (TS) nur einen geringen Rückgang entdecken. Die Kühe hatten mit durchschnittlich 16,9 kg TS/Kuh etwas mehr Grundfutter aufgenommen als bei der gelenkten Variante (16,1 TS/Kuh).

Der freie Kuhverkehr wird in der Regel nur bei Einboxensystemen eingesetzt, während die Mehrboxensysteme mit dem geregelten Kuhverkehr betrieben werden. Die eben beschriebene Problematik des manuellen Kuhtriebes zur Melkbox führt aber dazu, dass es auch bei den Einboxensystemen einen Trend zum geregelten Kuhverkehr gibt.

Eine dritte Möglichkeit ist der selektiv gelenkte Kuhumtrieb. Hierbei gibt es neben der Möglichkeit des Zuganges zum Futtertisch über das AMS auch noch die Wahl, ein oder mehrere weitere Selektionstore zu benutzen. Die jeweiligen Vorteile des freien und des gelenkten Kuhverkehrs werden dabei vereint. Die Grundfutteraufnahme betrug bei dem eben genannten Versuch 17,4 kg TS/Kuh und war so am höchsten. Die

Anzahl der Fressperioden lag im Mittel bei 7,4. HARMS, J.; WENDL, G. und SCHÖN, H. (2001) raten deshalb zu der kombinierten Variante, wenn sie auch, aufgrund der zusätzlichen Selektionstore, eine teurere Lösung ist.

### **2.3.2 Prozesskontrolle**

Die Überwachung der Produktqualität in der Milchviehhaltung ist ein herausragender Bestandteil des Managementsystems. Auch in der politischen Diskussion ist das Qualitätsmanagement eine wichtige Forderung. Das Image des Lebensmittels Milch ist unmittelbar von einer ständigen Überprüfung der Qualität abhängig. Die Entwicklung einer zuverlässigen Prozesskontrolle ist hierfür allerdings eine unverzichtbare Voraussetzung. Denn nur durch technisierte Lösungen kann bei steigenden Personalkosten eine zuverlässige und durchgehende Kontrolle erfolgen. Rechnergestützte Verfahren können einen wesentlichen Beitrag zur Problemlösung in diesem Bereich leisten. Auch aufgrund der Tatsache, dass sich bei Automatischen Melksystemen der Mensch stärker aus dem direkten Produktionsprozess zurückzieht, ist eine automatische Kontrolle der Vorgänge die zwangsläufige Folge. Um eine verlässliche und aussagefähige Prozesskontrolle durchzuführen, muss vor allem das Tier als Individuum eine starke Gewichtung erhalten und im Zentrum der Betrachtung stehen. Mit Hilfe der modernen Sensorik können daher die Aktionen und Reaktionen der Tiere auf die Technik erfasst und ausgewertet werden. Die daraus gewonnenen Informationen gehen aufbereitet wieder in die Steuerung des Produktionsprozesses ein.

Schon 1981 gab es von ARTMANN, R.; SCHLÜNSEN, D. und SCHÖN, H. Überlegungen zur Prozessteuerung in der Tierhaltung. Die Autoren wiesen dabei auf die Möglichkeit der Mobilisation von Erzeugungsreserven hin, wenn eine verfeinerte Produktionstechnik, mit Hilfe einer besseren Informationsdichte, den Produktionsablauf überwacht und regelt. KAUFMANN, O. (1998) betont, dass auf Parameterabweichungen, die den Gesundheitszustand eines Tieres charakterisieren, schnell reagiert werden muss. Auch bei der Brunsterkennung kann nicht erst auf die Entscheidung des Herdenmanagers gewartet werden. Das Melkpersonal muss in diesen Fällen umgehend handeln. Im Fall eines AMS ist es aus Gründen der Zeitersparnis, angezeigt, dass

das System adäquat reagiert und beispielsweise einen Alarm auslöst. Die Technik muss ohne menschliche Hilfe den physiologischen Zustand der Tiere soweit als möglich erkennen und signalisieren. Das Erkennen von pathologisch veränderter Milch kann zur Zeit rein technisch nicht ausreichend gewährleistet werden. Damit wird auch die Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis (Milchverordnung) in der Neufassung vom 20. Juli 2000 (BGBl. I S. 1180) mit dem AMS nicht erfüllt.

Es ist deshalb außerordentlich wichtig, Abweichungen von der Normalität als solche rasch zu entdecken. Da es bisher noch kein ausgereiftes System dafür gibt, laufen diesbezüglich viele Untersuchungen. Sensoren, die physikalische Eigenschaften der Milch und deren Veränderungen erfassen können, kommen dafür zum Einsatz bzw. werden dafür speziell entwickelt. Als Beispiel können hier die Möglichkeit der Messung von Leitfähigkeit, Lichtabsorption oder -reflexion und Ultraschall genannt werden (u.a. SCHMILOVITCH, Z. et al. 2000; JONES, L.R. et al. 1994; ZIMMERMANN, P. 2001). Die Möglichkeit einer automatischen Viskosimetrie wurde, nach ersten negativ verlaufenden Versuchen, nicht weiter verfolgt. Es muss aber bei der Gewinnung der Normalverteilung berücksichtigt werden, dass die Messwerte nicht durch einen pathologisch bedingten systematischen Fehler in der Milchanalyse verfälscht werden. Durch die Varianz der Gesamtverteilung ergibt sich zwangsläufig, von welchen Grenzwerten ab pathologische Veränderungen als solche erkennbar sind. Es muss also gerade für Automatische Melksysteme Software entwickelt werden, die selbständig und zuverlässig Entscheidungen fällen kann.

Die Künstliche Intelligenz begann bereits mit der Problemlösung durch Computer mit Hilfe der ersten elektronischen Rechner, die den Relais-Rechnern folgten. Die dritte Computergeneration wurde 1963 von IBM ausgerufen, als die industriell produzierten Transistoren genutzt werden konnten. Waren im zweiten Weltkrieg die Computerspezialisten noch mit Problemen der Kryptologie wie ENIGMA und mathematischen Problemlösungen, wie z.B. dem Auffinden von bewegten Zielen beschäftigt, so folgten schon bald danach die Spieltheorien wie Dame, Schach oder das sog. Gefangenendilemma. Großen Einfluss hatten die Untersuchungen von NEWELL, A. and SIMON, H.A. in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts, mit dem gut bekannten „General

Problem Solver“ (GPS). Recherche basiertes Problemlösen und analoges Lösen von Problemen, wie z.B. die Mittel-Ziel-Analyse (means-ends analysis) oder das sog. hill-climbing sind Heuristiken, die noch kein domänenspezifisches Wissen erfordern, das heutzutage von wachsendem Interesse ist (GREENO, J. G., 1978).

SIMON, H.A. et al. schrieben 1986 zum Problem der subjektiven Erwartungshaltung in ihrem Artikel “Decision Making and Problem Solving”: “Central to the body of prescriptive knowledge about decision making has been the theory of subjective expected utility (SEU), a sophisticated mathematical model of choice that lies at the foundation of most contemporary economics, theoretical statistics and operations research. SEU theory defines the conditions of perfect utility-maximizing rationality in a world of certainty or in a world in which the probability distributions of all relevant variables can be provided by the decision makers. SEU theory deals only with decision making, it has nothing to say about how to frame problems, set goals, or develop new alternatives”.

Probleme durch Selektion zu lösen, das heißt eine heuristische Suche durch große Problembereiche und große Daten- bzw. Wissensbasen durchzuführen, heißt nach der Wahrheit zu suchen, soweit sich diese erkennen lässt. Expertensysteme, die heutzutage durch die Forschung im Bereich der Künstlichen Intelligenz entwickelt und für Diagnosen angewandt werden, sind vor längerer Zeit aus der Forschung über die Problemlösung durch Mensch und Tier entstanden.

Die inzwischen entstandene Vielfalt an Angeboten aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz, mit den Expertensystem-Shells, die mit Hilfe von Wissensbanken und den dazugehörigen Inferenzmaschinen eine Vielzahl von Einzelfakten auszuwerten vermögen, führt dazu, dass deren Anwender nach aussagekräftigen Parametern suchen müssen.

### 2.3.2.1 Leitfähigkeit

Gemäß der Milchverordnung muss auch bei den Automatischen Melksystemen eine Prüfung der Milch auf ihre Verkehrsfähigkeit gewährleistet werden. Entsprechend den Gegebenheiten ist eine automatische Identifikation von Veränderungen der Milch und Eutererkrankungen notwendig. Die Technik muss fähig sein, krankhafte Entwicklungen beim Tier zu erkennen. Bereits aus den 70er Jahren gibt es Veröffentlichungen zum Thema Leitfähigkeitsmessungen zur Mastitisfrühdiagnostik (u.a. LINZELL, J.L. and PEAKER, M. (1975), MIELKE, H. (1975) und PEAKER, M. (1978)). Die Vorteile liegen vor allem in der einfachen und preiswerten Durchführbarkeit der Messung. Dabei stellten MILNER, P. et al. (1996) fest, dass solch ein System sich nur lohnt, wenn Sensoren automatisch die Leitfähigkeit messen und „decision making algorithms“ in Echtzeit arbeiten. Eine Online-Messung der Leitfähigkeit ist bereits realisiert. Allerdings ist bis heute das System der Leitfähigkeitsmessung noch nicht ausgereift, da die Zuverlässigkeit der Früherkennung zu gering ist, um verlässliche Aussagen zu bekommen.

Die Leitfähigkeit der Milch wird durch verschiedene Parameter beeinflusst. Der Fettgehalt führt beispielsweise zu einer signifikanten Beeinflussung der Messwerte (HAMANN, J.; NIPP, B. und GYODI, P. 1995). Auch NIELEN, M. et al. (1992) und WENDT, K. et al. (1998) konnten eine Abhängigkeit der Leitfähigkeitswerte vom Fettgehalt feststellen. Eine weitere Beeinträchtigung der Messwerte kann über die Temperatur erfolgen (NIELEN, M. et al., 1992; WENDT, K. et al., 1998). Daneben wird die Leitfähigkeit auch durch Brunst verändert (WENDT, K. et al., 1998).

Der Korrelationskoeffizient für die Beziehung von Leitfähigkeit zur Ionenkonzentration lag bei den Untersuchungen von HAMANN, J.; NIPP, B. und GYODI, P. (1995) trotzdem bei  $r = 0,999$ . NIELEN, M. et al. (1992) verglichen Labor- mit Online-Messungen und konnten Korrelationen im Bereich von  $r = 0,86$  feststellen.

Die Leitfähigkeitsmessungen werden heute sowohl in konventionellen Melkständen als auch in AMS genutzt. Wobei die Methode im konventionellen Melkstand eine zu-

sätzliche Hilfe zur Mastitisfrühdiagnose darstellt, während sie beim Melkroboter bei den meisten Fabrikaten die einzige Diagnosemaßnahme ist. Eine Korrektur der Leitfähigkeitswerte auf die Milchttemperatur, die von den unterschiedlichen Melkzeiten beim AMS abhängig ist, gibt es jedoch nicht, obwohl dies technisch leicht umsetzbar wäre. Auch der Milchfettgehalt, der sich tendenziell durch die Länge der Zwischenmelkzeiten oder durch den Ausmelkgrad ändern kann, fließt bis jetzt noch nicht in die Beurteilung der Leitfähigkeitswerte ein. Für solch eine Lösung gibt es momentan noch keine technische Grundlage, da der Milchfettgehalt noch nicht online gemessen werden kann.

### **2.3.2.2 Herzfrequenz**

Bei der Beurteilung einer Tier-Technik-Beziehung besteht die Frage, inwieweit bei den Kühen Stress in Zusammenhang mit der Technik auftritt. Dabei bietet es sich an, die Herzschlagfrequenz der Tiere zu messen. Solche Messungen sind in den letzten Jahren vor allem bei den Tierarten Rind und Pferd immer wieder durchgeführt worden, da die Methode nicht-invasiv und relativ leicht anwendbar ist. Außerdem reagiert ein Lebewesen sehr schnell mit einer Veränderung des Herzschlags bei Auftreten einer Irritation. Schon 1985 ist zur optischen Pulsmessung bei freilaufenden Rindern ein Artikel von THIELSCHER, H.-H. erschienen. Damals war allerdings noch ein chirurgischer Eingriff vonnöten. Die Pulsmessgeräte, die heute verwendet werden, arbeiten telemetrisch. Die Befestigung der Sensoren an der Kuh erfolgt mittels eines elastischen Bauchgurtes. Das System ist eigentlich für Pferde entwickelt worden, aber durchaus auch für Rinder zu gebrauchen. HOPSTER, H. und BLOKHUIS, H.J. validierten 1994 ein Herzfrequenzmessgerät der Marke Polar Sport Tester und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass dieses System für Milchkühe angewendet werden kann. Auch STEINHARDT, M. und THIELSCHER, H.-H. (2000) haben den Polar Sport Tester eingesetzt und die Zuverlässigkeit mit Hilfe eines Impulsgenerators im Labor und bei Rindern unter Feldbedingungen geprüft.

KAUFMANN, C. et al. haben 1996 in ihren Untersuchungen festgestellt, dass sich unter Stress die Herzfrequenzen zwischen 44 und 132 Schlägen pro Minute bewegen. Bei Tieren ohne Stress liegen die Werte zwischen 40 und 100 Schlägen pro Minute.

Neben Stress gibt es auch andere Faktoren, die einen Einfluss auf die Herzfrequenz haben. STEINHARDT, M. und THIELSCHER, H.-H. (2000) konnten feststellen, dass die unterschiedlichen Rassen "sichere Unterschiede" aufweisen. Dabei hatten die Deutschen Holstein Friesian Tiere signifikant niedrigere Herzfrequenzkennwerte als die Deutschen Schwarzbunten und Rotbunten. Auch die nichtträchtigen Färsen zeigten tiefere Pulswerte als trächtige Färsen. Darüber hinaus wurde auch eine Tagesperiodik festgestellt. Das Minimum lag zwischen 6 und 9 Uhr und das Maximum zwischen 17 und 20 Uhr. Etwa 130 bis 150 Tage vor der Kalbung stiegen die Herzfrequenzwerte stetig an. Bemerkenswert ist vor allem nach STEINHARDT, M. und THIELSCHER, H.-H. (S. 328, 2000) "die beträchtliche interindividuelle Variation der HF-Kennwerte, für die eine hohe Individualspezifität nachgewiesen werden konnte".

Erwähnenswert sind hier auch die Untersuchungen von HOPSTER, H.; O'CONNELL, J.M. und BLOKHUIS, H.J. (1995) zum Absetzen der Kälber. Dort wird die Veränderung der Herzfrequenz während einer echten Stresssituation sichtbar. Fünf Minuten vor der Separation liegen die Werte noch bei 81,1 Schlägen pro Minute, dann steigt die Frequenz in der ersten Minute nach der Separation auf 96,0 Schläge pro Minute. Schon nach kurzer Zeit gibt es aber keinen signifikanten Unterschied mehr zu den Werten vor der Trennung.

HOPSTER, H. und BLOKHUIS, H.J. (1994) haben die Möglichkeiten der Herzfrequenzmessungen so beschrieben, dass dies eine gute Methode sei, die Qualität eines Stressors und das Verhalten der Tiere auf die Umgebung zu studieren. Man kann hinzufügen, dass die Methode ein wichtiger Beitrag ist, das Verhalten der Tiere nicht-invasiv messbar zu machen. BROOM, D.M. (1993) hat darauf hingewiesen, dass Tiere auch ohne optisch beobachtbare Verhaltensreaktionen Änderungen in der Herzfrequenz zeigen können. Solche Stressreaktionen würden seiner Meinung nach bei reinen Verhaltensbeobachtungen nicht mit verzeichnet werden. In der Regel steigt die Herzfrequenz bei störenden Einflüssen an, aber bei bestimmten Angstzuständen kann die Herzfrequenz auch sinken (BROOM, D.M., 1993). Wir kennen diesen Zustand des stockenden Pulses aus eigener Erfahrung. Als letztes sollte noch erwähnt werden, dass man bei Stress eine Unterscheidung zwischen positivem (Eustress) und negativem Stress (Distress) vornehmen kann. Die beiden Begriffe hat SELYE, H.

in seinem Buch "The Stress of Life" 1956 eingeführt. In beiden Fällen kann die Herzfrequenz steigen.

### **3 Material und Methode**

#### **3.1 Material**

Die Versuche wurden in drei verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. Zwei davon haben mit Einboxenanlagen der Marke „Lely Astronaut“ gearbeitet. Ein Betrieb verfügte über einen Fischgrätenmelkstand.

##### **3.1.1 Betriebe**

Betrieb 1 hatte während des Versuchszeitraumes immer über 50 zu melkende Kühe am Roboter. Außerdem stand zusätzlich noch ein Fischgrätenmelkstand für den weitaus größeren Teil der 300 Tiere umfassenden Herde zur Verfügung. Aufgrund dieser Betriebsstruktur war es möglich die Kühe rasch auszutauschen, die Probleme mit dem AMS und der Eutergesundheit hatten.

In Betrieb 2 wird mit zwei getrennten Herden und jeweils einem AMS gemolken. In der ersten Herde haben die Kühe freien Zugang zur Melkbox. In der Regel stehen dort vor allem Frischmelker und Kühe mit sehr guten Leistungen. Die zweite Gruppe beinhaltet die Altmelker. Der Kuhverkehr erfolgt geregelt. Daneben wird auch noch eine Rohrmelkanlage genutzt. Dort werden Tiere gemolken, die beispielsweise frisch abgekalbt haben, krank sind oder für den Melkroboter Problemeuter haben. Da der Betrieb auch Ausbildungsbetrieb ist, sind zu Beginn des neuen Lehrjahres auch einige Kühe nur zu Übungszwecken an der Rohrmelkanlage, damit die Auszubildenden auch noch ein konventionelles Melksystem kennen lernen. In diesen Zeitpunkt ist auch der Versuch zur Herzfrequenzmessung gefallen. Damit kann auch ein konventionelles Melksystem zum Vergleich in die Untersuchungen mit einbezogen werden, bei dem die selben Umweltbedingungen herrschen.

Betrieb 3 verfügt nicht über ein AMS, sondern über ein konventionelles Melksystem. Er wurde ausgewählt, da dort eine ausreichend große Herde von 180 Kühen unter einheitlichen Bedingungen im Untersuchungszeitraum gehalten wurde. Das Melken erfolgte 2x täglich in einem 2x8 Fischgrätenmelkstand mit automatischer Stimulation und Melkzeugabnahme von Manus. Dadurch konnten wir in dem Versuch Ergebnisse gewinnen, bei denen die Zwischenmelkzeiten konstant und somit vergleichbar sind. Darüber hinaus ließen sich die für den Versuch notwendigen Mastitisschnelltests ohne große Probleme durchführen. Eine solche Untersuchung ist bei einem AMS über einen längeren Zeitraum nicht durchführbar, da die Kühe auf Veränderungen im Melkvorgang sehr empfindlich reagieren und es auch teilweise nicht oder nicht mehr gewöhnt sind, während des Melkens vom Menschen angefasst zu werden. In der Regel reagieren die Tiere bei den Versuchen dann mit einer schlechteren Besuchsfrequenz. Es kann sogar zu Milchverlusten kommen.

### 3.1.2 Versuche

Die LactoCorder-Versuche wurden auf Betrieb 1 durchgeführt. Hierfür erfolgte eine Platzierung der vier Durchflussmessgeräte, eines für jedes Viertel, zwischen Milchflussgeber und Recorder (Abb. 9).



Abb. 9: Einbau der vier LactoCorder am AMS.

In die erste Messreihe konnten 79 Viertelgemelke von 20 Kühen einbezogen werden. Der zweite Versuch erstreckte sich über einen längeren Zeitraum, so dass einige Kühe mehrfach gemessen werden konnten. Insgesamt waren dadurch 187 Viertelgemelke über eine Zeit von mehreren Stunden auswertbar.

Der dritte ausgewertete Versuch erfolgte über eine Dauer von 72 Stunden, wobei 12 Stunden gemessen wurden, 12 Stunden Pause aufgrund von technischen Problemen entstanden, und dann eine weitere durchgängige Messung von 48 Stunden folgte. Insgesamt konnten 1.542 Viertelgemelke vergleichend erfasst werden. Neben den Messungen des LactoCorders, mit Milchfluss und Milchmenge, sind parallel auch Milchproben gezogen worden, bei denen eine Untersuchung auf Fett-, Protein-, Laktose-, Harnstoff- und somatische Zellgehalt stattfand. Die vergleichenden Leitfähigkeitsmessungen wurden dem AMS entnommen. Die Anzahl der zu melkenden Kühe am Roboter belief sich auf 56, bei einer durchschnittlichen Melkfrequenz von 2,7 Melkungen pro Tier und Tag.

Die Besuchsfrequenzen aus dem Betrieb 1 wurden über einen Zeitraum von 6 Monaten (07.03.2000 bis 03.09.2000) lückenlos mitgeschrieben und ausgewertet. Es konnten dabei 36.829 Melkungen von insgesamt 73 verschiedene Tieren mit weiteren korrespondierender Daten durchgehend erfasst und einer statistischen Analyse zugeführt werden.

Die gleichen Daten wurden auch an den Automatischen Melksystemen des Betriebes 2 gesammelt und ausgewertet. Ein Zeitraum von mehr als 4 Monaten (28.02.2001 bis 10.07.2001), mit 20.790 Melkungen am AMS 1 (freier Kuhverkehr) und 18.791 Melkungen am AMS 2 (geregelter Kuhverkehr), wurde dabei untersucht.

In Betrieb 3 waren die zwei täglich anfallenden Gemelke von 116 Tieren die Grundlage für die Untersuchungen. Darüber hinaus wurden Mastitsschnelltests (MST) erfasst. Frau Olga SOLOVJOWA führte dankenswerterweise die Bestimmungen über einen Zeitraum von drei Wochen durch. In den Melkzeugen erfolgte die viertelspezifische Datenerfassung über Leitfähigkeitssensoren. Auch auf eine vollautomatische

Abspeicherung für die einzelnen Euterviertel für die Parameter Milchmenge, durchschnittlicher und maximaler Milchfluss, Milchtemperatur, sowie die durchschnittliche Leitfähigkeit konnte zurückgegriffen werden. Die Leitfähigkeitswerte sind hier dimensionslos angegeben. Dazu konnten die Auffälligkeiten beim MST verglichen werden. Die Melkzeiten fanden immer um 5 und um 16 Uhr statt. Insgesamt sind 4.526 Gemelke in die Auswertung eingegangen.

Die Durchführung der Herzfrequenzmessungen erfolgte in Betrieb 2. Es kamen dabei zwei Herzfrequenzmessgeräte der Marke Polar Vantage XL parallel zum Einsatz.

Das Ziel des 5 Tage dauernden Versuches war es, die natürliche Variation der Herzfrequenz bei verschiedenen Kühen und in unterschiedlichen Situationen zu erfassen. Dazu erfolgten die Messungen an möglichst vielen verschiedenen Tieren.

Die Versuchstiere wurden in verschiedenen Systemen gemolken:

Kühe im freien Kuhverkehr

Kühe im geregelten Kuhverkehr

Kühe an der Rohrmelkanlage

Mehr als 64.000 Werte standen für die Auswertung zur Verfügung. Die reine Messzeit betrug ca. 2 x 45 Stunden. In die Messungen wurden 57 Kühe einbezogen, von denen 12 doppelt gemessen wurden, 3 Tiere dreifach und 2 Tiere vierfach. 41 Melkungen konnten erfasst werden, davon 15 an der Rohrmelkanlage, 12 in der Gruppe mit geregeltem Kuhverkehr und 16 erfolgreiche Besuche der Melkbox im freiem Kuhverkehr.

Zum Vergleich wurde die Herzfrequenz bei verschiedenen Aktivitäten, wie Fressen, Stehen, Melken oder Liegen gemessen.

## **3.2 Methode**

Zu den Bereichen Melkparameter und Milchparameter stehen sehr gute, lang erprobte und automatisierte Methoden zur Verfügung. Das optisch und akustisch beobachtbare Tierverhalten ist dagegen nur sehr schwer wissenschaftlich erfassbar und auswertbar, im Sinne einer Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Deshalb soll in der Arbeit hauptsächlich auf messbares Verhalten zurückgegriffen werden, wie die Besuchsfrequenz und die Herzfrequenz.

### **3.2.1 Milchflussmessung**

Die eingesetzten LactoCorder werden von der Firma FossElectric hergestellt. Die Definition des LactoCorders besagt, dass es Milchdurchfluss-Messgeräte sind, die in den langen Milchschauch eingefügt werden. „In einer Staukammer mit vertikalem Auslauf-Meßspalt wird mittels 60 übereinander gestaffelten Meßelektroden in 1,6 mm starken Höhenschichten im Abstand von 0,7s das Dichteprofil von Milch und Milchschaum bestimmt. Aus den so gewonnenen Meßwerten errechnet der LactoCorder“, nach TRÖGER, F. et al. (1997), die durchgeflossene Gesamtmilchmenge sowie eine Milchflußkurve (Massestrom über der Zeitachse). Neben den eben genannten Parametern Milchmenge und Milchfluss kann aber auch mittels der Bimodalität eine Aussage über das Anrücken gemacht werden.

Der LactoCorder ist für Gesamtgemelksmengen entwickelt worden, deshalb ist er für Viertelgemelksmengen nur bedingt einsetzbar. Ab einem Milchfluss von weniger als 2 kg/Min werden die Messwerte sehr ungenau. Das Ziehen von Milchproben hingegen ist damit sehr gut durchführbar.

### **3.2.2 Formel für die Zulassung der Kühe zum Melken**

Um ein zu häufiges Melken der Kühe zu verhindern, ist bei allen Anbietern von Automatischen Melksystemen mit Hilfe der Software eine Beschränkung eingebaut

worden. In der Regel wird dazu eine Mindestforderung an die Zwischenmelkzeit gestellt. Bei der Firma Lely wird die Zulassung zum Melken über folgende Formel gesteuert:

$$M = \frac{M_{\text{Herde 24h}}}{A} * \frac{M_{\text{Ø 24h Kuh}}}{A} * K$$

M Anzahl der vorangegangenen Melkungen, bevor die Kuh zugelassen wird

$M_{\text{Herde 24h}}$  Anzahl von Melkungen der Herde in den letzten 24 h

$M_{\text{Ø 24h Kuh}}$  Durchschnittliche Melkfrequenz der einzelnen Kuh in 24 h, berechnet vom Zeitpunkt des Besuches und zwei davor liegenden Besuchen

A Entsprechend eingegebene Anzahl von Melkungen aus der Tabelle auf Gruppenniveau

K Konstante (Sicherheitsfaktor, um die eingegebene Melkfrequenz sicherzustellen) (Quelle: Lely)

Mit dem Einsatz einer solchen Formel soll eine bessere Ausnutzung der Kapazität des AMS gewährleistet werden. Dazu geht zum einen die Anzahl von Melkungen der Herde in den letzten 24 h ( $M_{\text{Herde 24h}}$ ) ein, zum anderen darf jede Kuh nur entsprechend ihrer Milchleistung und ihres Laktationsstadiums gemolken werden. Die beiden Parameter spiegeln sich in dem Wert A wieder. Solch eine Softwarelösung ist auch ein Ansatz dazu, dass eine bessere Verteilung der Melkungen pro Kuh angestrebt werden soll. Eine rein zeitliche Begrenzung hätte beispielsweise zur Folge, dass nach einem Ausfall der Technik möglicherweise Kühe gemolken werden, die vor dem Ausfall gerade erst dran waren. Mit Hilfe der Formel wird aber nicht der Zeitabstand einbezogen, sondern die Anzahl der vorangegangenen Melkungen. Somit werden eher die Tiere zuerst zum Melken zugelassen, die von der Reihenfolge her ein Anrecht dazu haben.

Der oben bereits erwähnte Wert A wird aus einer Tabelle entnommen, die nach Empfehlungen der Firma Lely wie folgt aussehen kann:

Tab. 2: Angestrebte Melkfrequenz unter Berücksichtigung der Leistungsparameter Milchmenge (MM) und Laktationstag (LT).

	0 – 15 kg MM	15 – 20 kg MM	20 – 28 kg MM	28 – 100 kg MM
Kalben – 15 LT	4,0	4,0	4,0	4,0
15 – 250 LT	2,3	2,5	3,0	3,3
250 – Trocken LT	2,0	2,2	2,6	3,0

Die Tabelle kann individuell auf die Bedürfnisse des jeweiligen Betriebes angepasst werden. Änderungen sind dabei leicht durchzuführen.

Nach LANSER, E.W. (2000) stehen dem Milchviehhalter nur begrenzt dokumentierte Angaben zur Verfügung, diese Formel sinnvoll zu beeinflussen. Dies deckt sich auch mit den eigenen Recherchen. In den Betrieben 1 und 2 wurde nach der Versuch-und-Irrtum-Methode die Formel optimiert. Der untersuchte Betrieb 1 strebt daher eine andere Melkfrequenzen an (Tab. 3). Die Tagesmilchleistung hat hier einen deutlich höheren Stellenwert als das Laktationsstadium.

Tab. 3: Angestrebte Melkfrequenz unter Berücksichtigung der Leistungsparameter Milchmenge (MM) und Laktationstag (LT) in Betrieb 1.

	0 – 15 kg MM	15 – 20 kg MM	20 – 28 kg MM	28 – 100 kg MM
Kalben – 15 LT	2,0	2,5	3,0	4,0
15 – 250 LT	2,0	2,5	3,0	4,0
250 – Trocken LT	2,0	2,0	3,0	4,0

Die Formel und ihre Auswirkungen auf das Besuchsverhalten an der Melkbox sind in der vorliegenden Arbeit näher untersucht worden.

### 3.2.3 Herzfrequenzmessung

Die Herzfrequenzmessgeräte, die zur Anwendung kamen, stammen von der Firma Polar Electro Oy, Helsinki und heißen Polar Vantage XL. Sie bestehen aus zwei

Sensoren, einem Sender und einem Empfänger, der in eine Armbanduhr integriert ist. Die Befestigung der Sensoren an der Kuh erfolgte mittels eines elastischen Gurtes. Die Pulsuhr und der Sender waren in einem sicheren Kasten an dem Gurt untergebracht. Alle fünf Sekunden wurde ein Wert, gemäß der Programmierung der Geräte, abgespeichert. Damit konnte jeweils eine Datenerfassung über einen Zeitraum von maximal 2 Stunden und 40 Minuten, mit einer anschließenden Übertragung der Werte auf einen PC, erfolgen. Um die Interpretation der Werte zu ermöglichen, wurden parallel dazu Verhaltensbeobachtungen durchgeführt und notiert.

Die Gurte mit den Sensoren konnten in der Regel in den Liegeboxen angelegt werden. Es ist dabei generell sehr wichtig, dass die Sensoren einen guten Hautkontakt haben und dass das Fell permanent angefeuchtet bleibt, da das Messprinzip auf Leitfähigkeit beruht.

Die Länge einer Messzeit variierte zwischen einer halben und zweieinhalb Stunden, in Abhängigkeit davon, wann die Kühe zum Melken gingen. Um den richtigen Moment abzuschätzen, wurde der jeweilige Euterzustand optisch bewertet.

### **3.2.4 Statistische Analyse**

Für die statistische Analyse standen Programme wie Excel, SPSS und SPlus zur Verfügung. Dabei erfolgte z.B. die Fourieranalyse auch mit den verschiedenen Programmen, um mögliche Differenzen bei unterschiedlicher Software vergleichen zu können. Ein Periodogramm kann als eine Repräsentation einer Spektraldichte der Varianz betrachtet werden. Dieses Varianzspektrum wird oft auch als das „power spectrum“ bezeichnet. Man muss bemerken, dass das Periodogramm ein diskretes Spektrum ist und nicht ein kontinuierliches. Es repräsentiert die von J.W. Tukey in der Mitte des letzten Jahrhunderts eingeführte „Fast Fourier Analysis“, die die hervorstechenden Frequenzkomponenten von statistischer Regelmäßigkeit aufzeigt. Das Periodogramm ist die meistgenutzte Form der Fouriertransformation. Unter SPlus und Excel können unterschiedliche Mengen an Daten ausgewertet werden, so dass die Zuverlässigkeit der Ergebnisse etwas schwankt. In Tabelle 4 ist eine Über-

sicht über die verschiedenen Versuche und die genutzten Auswertungsprogramme dargestellt.

Tab. 4: Übersicht über die Versuche und die genutzten Auswertungsprogramme.

Betrieb	Methode			
	Milchflussmessung (Lacto-Corder)	Erfolgreiche Besuche (AMS)	Herzfrequenzmessung (Polar)	Leitfähigkeit (Melkstand)
1	3 Messreihen im freien Kuhverkehr	Freier Kuhverkehr		
2		Freier Kuhverkehr Geregelter Kuhverkehr	Freier Kuhverkehr Geregelter Kuhverkehr Rohrmelkanlage	
3				Fischgrätenmelkstand
Genutzte Programme	Excel SPSS	Excel	Excel SPSS SPlus	Excel SPSS

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Melkparameter

Das Euter als Schnittstelle zwischen Tier und Technik ist für diese Arbeit von besonderem Interesse. Dabei reagiert die Milchkuh in ihrem Melkverhalten auf Aktionen der Melkmaschine. Hervorzuheben ist hier die Stimulation, die beim AMS allein durch den Roboter vorgenommen wird. Außerdem stellt sich die Frage, welche Vorteile die viertelspezifische Melkzeugabnahme hat. Das Melkverhalten der Kühe wurde deshalb mit Hilfe von LactoCordern überprüft. Zunächst erfolgte eine Untersuchung des Parameters Melkdauer. Es konnte festgestellt werden, dass erhebliche Unterschiede in der Dauer der Melkungen zwischen den Kühen, aber auch zwischen den Vierteln innerhalb eines Euters auftreten. Bei einem Vergleich zwischen den Eutervierteln eines Tieres wurden im Maximum 2 bis 3-fache Wert festgestellt. Das Viertel mit der längsten Melkdauer brauchte 275 % länger, als das Viertel mit der kürzesten Dauer. In Abbildung 10 ist ein Balkendiagramm dargestellt, bei dem die Zeit für die einzelnen Melkvorgänge im Vergleich aufgeführt sind.

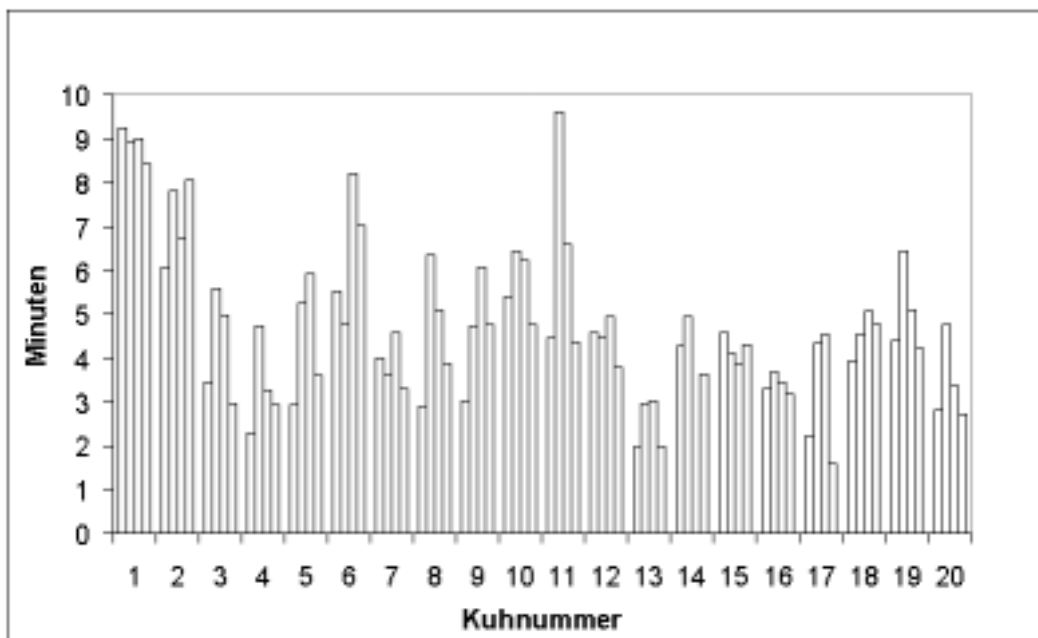


Abb. 10: Melkdauer aller Euterviertel.

Die häufigsten maximalen Differenzen bei der Dauer der Milchabgabe innerhalb eines Euters liegen zwischen ein und drei Minuten. Der Mittelwert beträgt 2,1 Min. mit

einer Standardabweichung von  $\pm 1,18$  Min. In Abbildung 11 wird eine solche Differenz verdeutlicht. Wobei es nicht zwingend ist, dass gerade das hintere Euterviertel länger gemolken wird als das vordere (Abb. 12).

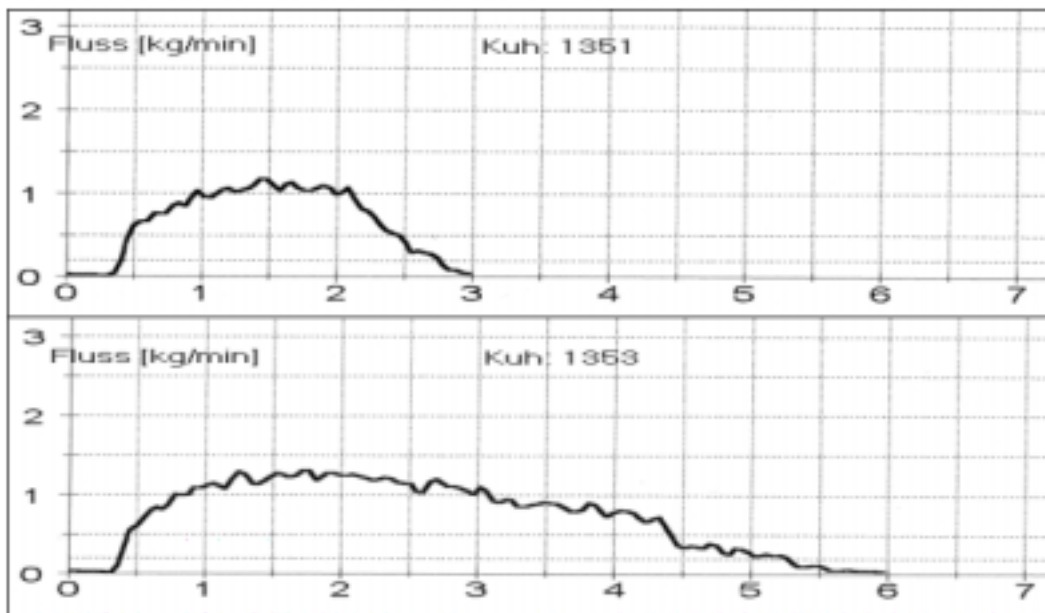


Abb. 11: Milchflusskurven eines vorderen (1351) und eines hinteren (1353) Euterviertels der Kuh Nr. 135, als Beispiel für eine unterschiedlich lange Milchabgabe innerhalb eines Gemelks.

Weiterhin sind in den Abbildungen 11 und 12 unterschiedliche Kurvenverläufe bei den Tieren zu beobachten, die bei den einzelnen Kühen oft klar erkennbare Charakteristika aufweisen. So gibt es in Abbildung 11 einen mehr elliptischen Verlauf mit einem schnelleren Milchfluss, während die andere Variante in Abbildung 12 einen eher flachen, rechteckigen Kurvenverlauf mit einer langen Plateauphase und steilem An- und Abstieg zeigt. Für die Korrelation von Gemelksmenge pro Euterviertel und Dauer des Hauptgemelks konnte ein Korrelationskoeffizient von  $r = 0,83$  bestimmt werden. Es gibt also dennoch eine recht hohe lineare Beziehung zwischen der Milchmenge und der Melkdauer.

Das Gesamtgemelk aus der Summe der vier Zitzen ergab im Mittel 12,8 kg mit einer Standardabweichung von  $\pm 5,67$  kg. Für die einzelnen Euterviertel konnte ein Mittelwert von  $3,1 \pm 1,53$  kg berechnet werden. Die prozentuale Verteilung der einzelnen Zitzen erfolgt im Mittel zu jeweils 20 % auf die Vorderviertel und zu jeweils 30 % auf die Hinterviertel. Dies ergibt somit ein Verhältnis von Vorder- zu Hinterviertel von

40:60 %. Dagegen ist die Verteilung der linken und rechten Seite mit jeweils 50 % in etwa gleich.

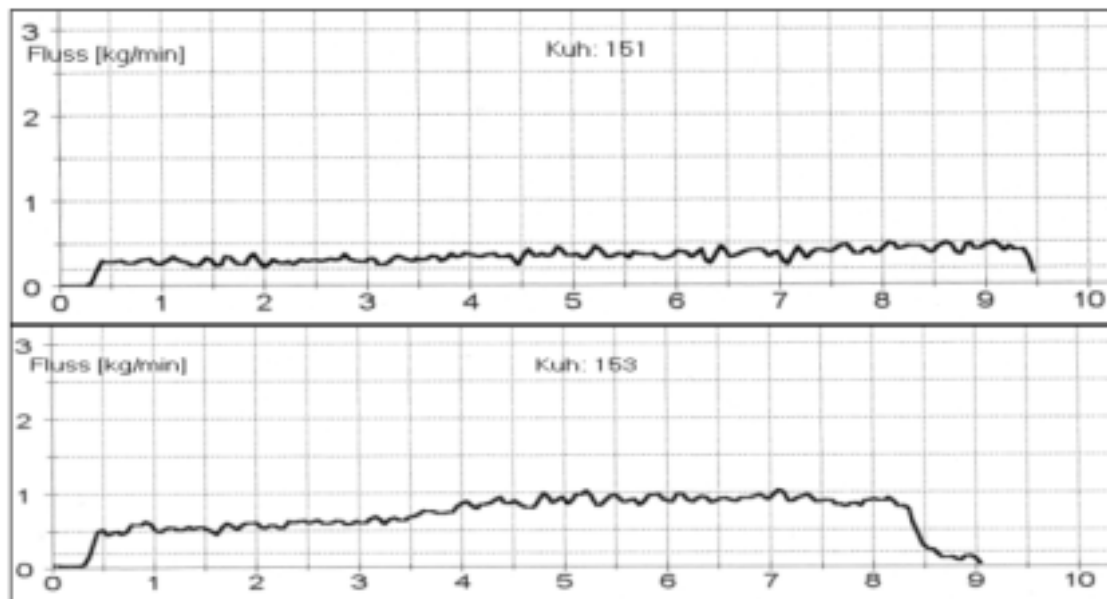


Abb. 12: Milchflusskurven eines vorderen (151) und eines hinteren (153) Euter- viertels der Kuh Nr. 15, im Vergleich zur Abb. 11 mit einem anderen charakteristischen Verlauf.

Hinsichtlich der Stimulation zeigen die Kurvenverläufe in der Regel einen steilen Anstieg, der auf eine ausreichende Anrüstung schließen lässt. Nur bei einer Kuh konnte eine Bimodalität festgestellt werden, wie sie für nicht korrekt stimulierte Kühe typisch ist.

Tab. 5: Länge und Häufigkeit der Blindmelkzeiten (n = 266).

Blindmelkzeiten	in %	Absolut
0,5 bis 1 Minute	13,9	37
1,01 bis 2 Minuten	8,6	23
2,01 bis 3 Minuten	1,1	3
3,01 bis 4 Minuten	1,1	3
ab 4,01 Minuten	1,1	3
Insgesamt	25,8	69

Trotz der viertelspezifischen Melkzeugabnahme treten Blindmelkzeiten auf. Das Auswertungsprogramm des LactoCorders gibt die Länge der Blindmelkzeiten tabellarisch an. Dabei wird bei jedem Gemelk die Zeit zwischen dem letzten Milchfluss und

dem Abschalten des LactoCorders gemessen. Es können zum einen geringe tolerierbare Abweichungen der Maschine auftreten, und zum anderen kann ein verzögertes manuelles Abschalten des LactoCorders zu veränderten Werten führen. Gravierende Probleme beim Abschalten wurden während der Versuche im Protokoll vermerkt. Damit solche Messfehler nicht zu Fehlinterpretationen führen ist bei der Auswertung ein Grenzwert eingerichtet worden. Das Blindmelken wurde so definiert, dass alle Werte über einer halben Minute als Blindmelkzeiten anzusehen sind. In Tabelle 5 sind die Werte aufgelistet. Dabei fällt auf, dass der Prozentanteil mit insgesamt 25,8 % relativ hoch liegt. Das Maximum liegt bei 9 Minuten und 50 Sekunden.

Tab. 6: Häufigkeit des Blindmelkens für die vier Euterviertel.

Euterviertel	n Melkungen	n Blindmelken	% Blindmelken
vorne links	63	10	15,9
hinten links	76	39	51,3
hinten rechts	54	9	16,7
vorne rechts	72	10	13,9

Die Verteilung der Blindmelkzeiten auf die vier Viertel ist in Tabelle 6 dargestellt. Der hohe Anteil an Blindmelkungen hinten links mit 51 % fällt sofort auf. Dort sind auch insgesamt die höchsten Blindmelkzeiten aufgetreten. In das Ergebnis sind die Werte der beiden ersten LactoCorder-Versuche eingeflossen. Aber auch bei einer getrennten Auswertung liegt das Viertel 2 jeweils an der Spitze. Auch die Werte aus der dritten Messreihe sind hinsichtlich des Blindmelkens untersucht worden. Es konnte allerdings kein signifikanter Unterschied hinsichtlich eines Viertels ermittelt werden. Der Grund liegt, wie spätere Nachprüfungen zeigten, darin, dass zwischen den Messreihen zwei und drei von der Firma Lely ein Service durchgeführt worden ist.

## 4.2 Milchparameter

Für die vorliegende Arbeit wurden die Milchparameter mit Hilfe der LactoCorder untersucht. Dabei ist die Auswertung der Milchmenge, des Fett-, Protein-, Laktose- und Harnstoffgehaltes, sowie der somatischen Zellzahl (SZZ) unter dem Kapitel Milch-

haltsstoffe zusammengefasst. Die Daten stammen vom AMS des ersten Betriebes. Die Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen sind getrennt dargestellt, da die Daten von einem Fischgrätenmelkstand gewonnen wurden.

#### 4.2.1 Milchhaltsstoffe

Die statistischen Ergebnisse der dritten Messreihe mit dem LactoCorder sind in Tabelle 7 aufgelistet. Dabei kann festgestellt werden, dass die Milchhaltsstoffe bei der beobachteten Herde im normalen Bereich liegen, wie er von WENDT, K. et al. 1998 beschrieben wurde. Die Standardabweichungen sind bei Fett, im Vergleich zu Protein und Eiweiß, erwartungsgemäß am höchsten.

Tab. 7: Statistische Werte der analysierten viertelbezogenen Parameter.

	Fett %	Protein %	Laktose %	SZZ %	Harnstoff mg/l	ZMZ Min	Milch Kg
Mittelwert	4,1	3,3	4,8	82,2	229,2	506,8	2,4
St.abw.	0,92	0,38	0,23	197,63	72,04	152,95	1,01
Minimum	1,6	2,5	3,2	1,0	82,0	80,0	0,2
Maximum	13,9	4,7	5,4	4331,0	422,0	1003,0	6,8

Die somatische Zellzahl (SZZ) liegt im Durchschnitt relativ niedrig, und die Zwischenmelkzeiten (ZMZ) sind im Mittel mit etwas über acht Stunden zu veranschlagen. Wenn die Tiere über 12 Stunden nicht mehr in der Melkbox erschienen sind, wurden sie dorthin getrieben. Dies kann man an dem zweiten schwach ausgeprägten Peak in Abbildung 13 erkennen.

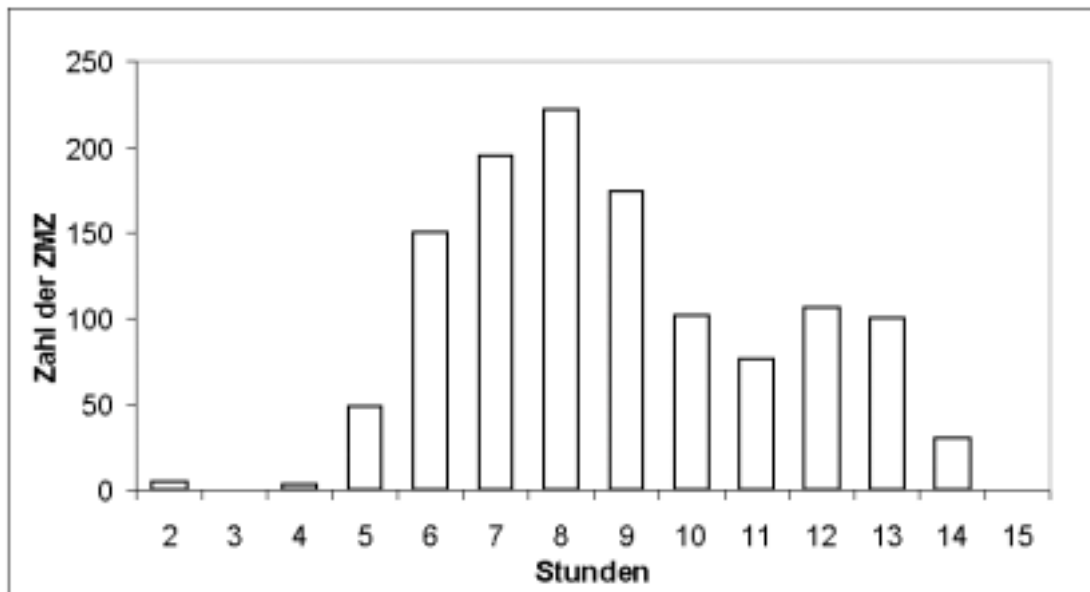


Abb. 13: Häufigkeitsverteilung der Zwischenmelkzeit.

Die viertelbezogene Milchmenge kann auf Grund der Messfehlerproblematik mit 2,4 kg Milch pro Gemelk allerdings nur als grober Richtwert angesehen werden. Es ist erkennbar, dass der Eutergesundheitsstatus recht gut ist, so wie es in einem normal arbeitenden System sein sollte.

Die mit Hilfe des LactoCorders ermittelten Milchmengen aus der dritten Messreihe wurden mit den im AMS gespeicherten Werten für die Gesamtgemelke verglichen, um einen Überblick über mögliche Messfehler zu erhalten. Da jeweils ein LactoCorder pro Viertel in Benutzung war, konnte eine Ermittlung des Gesamtgemelks mit diesem Messsystem nur über die Summe der einzelnen Viertel erfolgen. Bei dieser Analyse traten Unterschiede von maximal 7,4 kg Milch auf. Der Mittelwert der absoluten Differenzen lag bei  $1,0 \pm 0,84$  kg. Die beiden Parameter sind hoch signifikant verschieden. In 86 % der Fälle wurden mit den LactoCordern niedrigere Milchmengen gemessen, als beim AMS. Eine Auswertung der Milchmengen für das Einzeltier ist durch die auftretenden Messfehler nicht möglich.

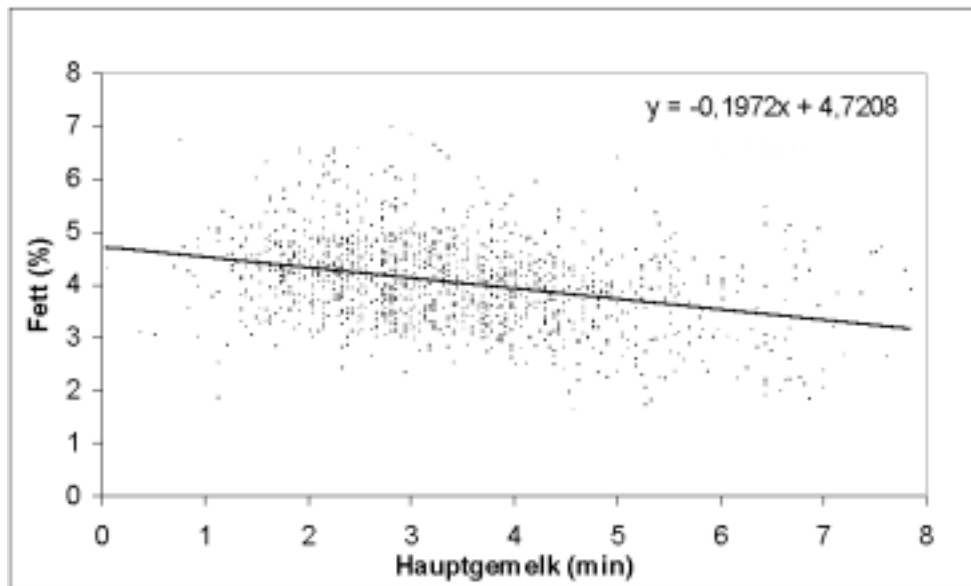


Abb. 14: Scatterplot mit Milchfettgehalt im Verhältnis zur Dauer des Hauptgemelks.

Aus dem unterschiedlichen Besuchsverhalten der Kühe an der Melkbox ergeben sich zwangsläufig Streuungen in der ZMZ. Daraus entsteht natürlich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen den Milchinhaltstoffen und der Dauer der ZMZ. In Abbildung 14 sind in einem Scatterplot die Veränderungen des Fettgehaltes in Abhängigkeit von der Dauer des Hauptgemelks dargestellt. Dabei fällt auf, dass es einen leichten Abwärtstrend mit zunehmender Dauer der Melkzeit gibt. Dies zeigt sich auch in der negativen, wenn auch nicht großen, Steigung der Trendlinie von  $a = -0,2$ . Der Fettgehalt nimmt folglich um 0,2 % zu, wenn sich die Dauer des Hauptgemelks um eine Minute verlängert. Dass die Werte in diesem Fall annähernd normalverteilt sind macht Abbildung 15 deutlich.

Aus dem Bestimmtheitsmaß  $R^2$  kann man dazu einen Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,32$  berechnen. Die lineare Beziehung zwischen Fett und Dauer des Hauptgemelks ist also nicht sehr hoch und weist in der Abbildung 14 eine entsprechend große Streuung bei den Werten auf.

Die im Scatterplot dargestellten Werte für den Fettgehalt zeigen einen klar erkennbaren abnehmenden Trend mit zunehmender Dauer des Hauptgemelks. Ein Scatterplot

mit den Parametern Fettgehalt und Zwischenmelkzeit unterstützt diese Beobachtung, einer, wenn auch äußerst schwachen, Tendenz der Abnahme des Fettgehalts mit zunehmender ZMZ. Bei Protein und Laktose sind ähnliche Tendenzen untersucht worden, wobei diese aber noch geringer sind, und bei der Laktose sogar eine schwache positive Steigung von 0,04 ergeben. Im arithmetischen Mittel sind die Werte der einzelnen Viertel für die Parameter Fett, Protein und Laktose nicht signifikant unterschiedlich. Die Qualität der Milch insgesamt ist an den vier Strichen gleich. Das heißt jedoch nicht, dass es zwischen den Vierteln einer Kuh nicht zu Differenzen in den genannten Parametern kommen kann. Bei dem Fettgehalt können beispielsweise Diskrepanzen bis zu 8 % (absolute Streuung) auftreten. Die Laktose ist nach diesen Zahlen von den drei Parametern der konstanteste Milchinhaltstoff.

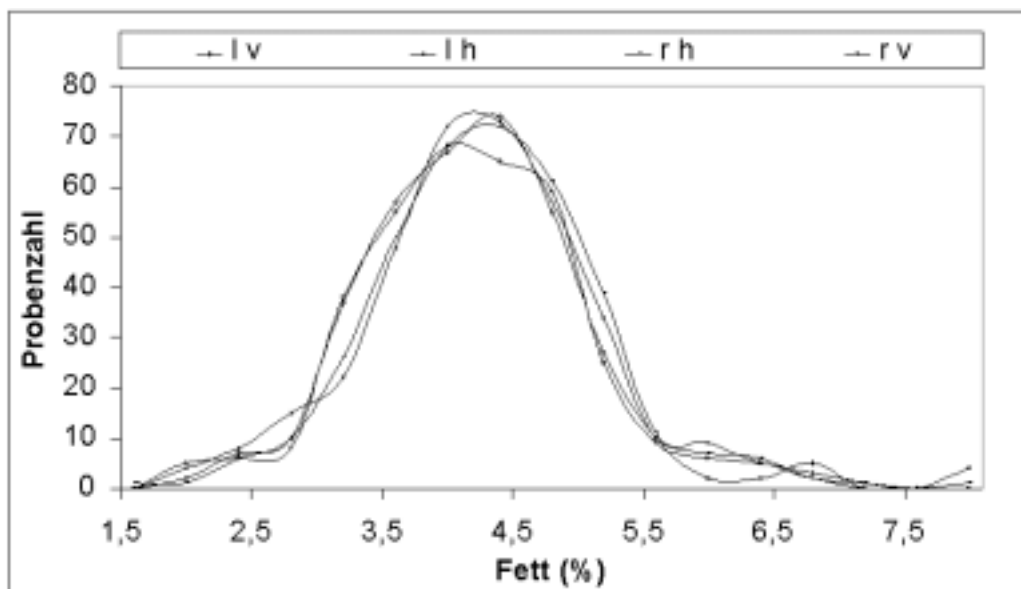


Abb. 15: Verteilung der Fettwerte für jedes Euterviertel (lv = links vorne; lh = links hinten; rh = rechts hinten; rv = rechts vorne).

Die Häufigkeitsverteilungen für die Parameter Fett, Laktose, Protein und SZZ sind jeweils für die einzelnen Euterviertel dargestellt. In Bezug auf den Fettgehalt haben die Kurven einen glockenförmigen Verlauf. Es gibt zwischen den vier Strichen keine signifikanten Differenzen, wie in Abbildung 15 zu erkennen ist.

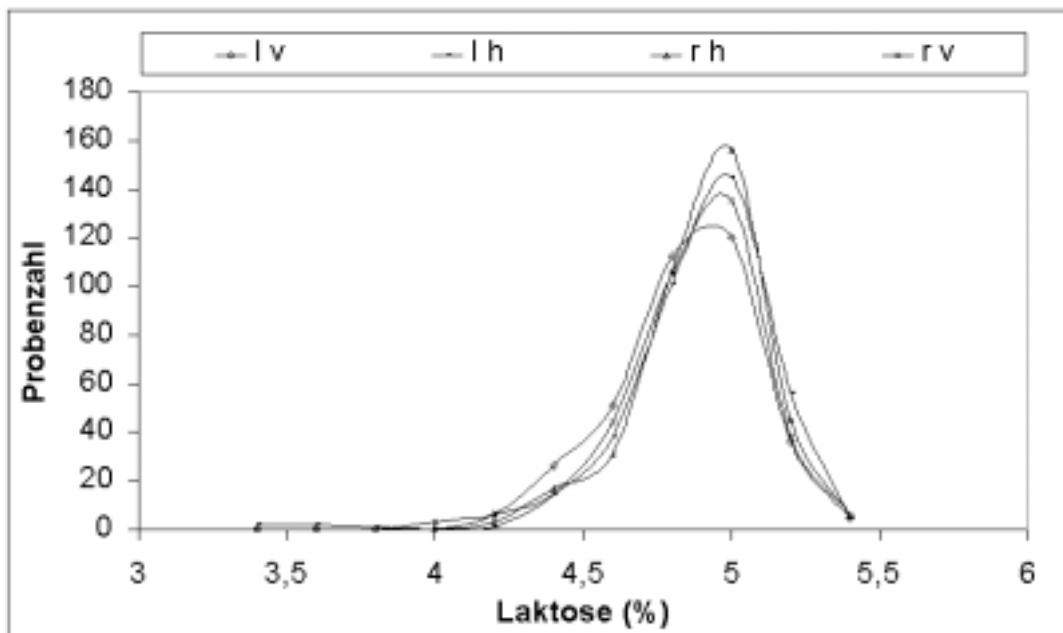


Abb. 16: Verteilung der Laktosewerte für jedes Euterviertel (lv = links vorne; lh = links hinten; rh = rechts hinten; rv = rechts vorne).

Ein ähnliches Ergebnis findet man auch für den Laktosegehalt in Abbildung 16. Diese Kurven zeigen aber eine höhere statistische Präzision, so dass man sagen kann, dass ca. 67 % aller Werte in dem Bereich von  $4,8 \% \pm 0,23$  liegen und 95 % zwischen 4,3 % und 5,3 % Laktose anzusiedeln sind.

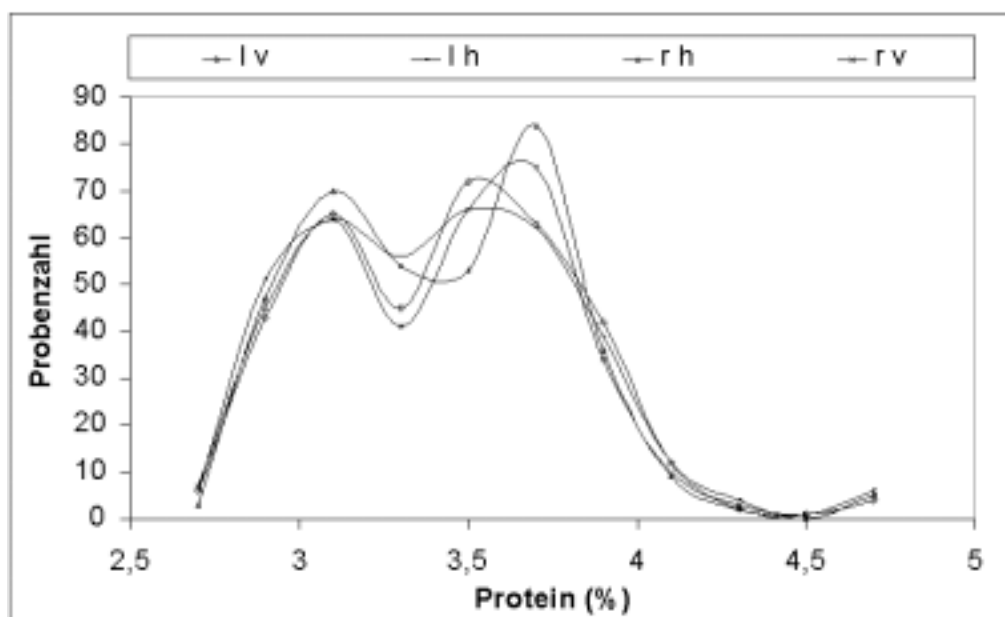


Abb. 17: Verteilung der Proteinwerte für jedes einzelne Euterviertel (lv = links vorne; lh = links hinten; rh = rechts hinten; rv = rechts vorne).

Im Hinblick auf eine Prozesskontrolle sind diese Werte relativ einfach zu bewerten, da ihre Verteilung eine einfache statistische Auswertung ermöglicht. Bei dem Parameter Proteingehalt ist eine Einschätzung schon schwieriger, da zwei Maxima bei der Häufigkeitsverteilung in Abbildung 17 zu sehen sind. Zunächst wurde deshalb das Laktationsstadium der Kühe als mögliche Ursache in Betracht gezogen. Die Verteilung der Laktationstage in der Herde ist aus Abbildung 18 zu entnehmen.

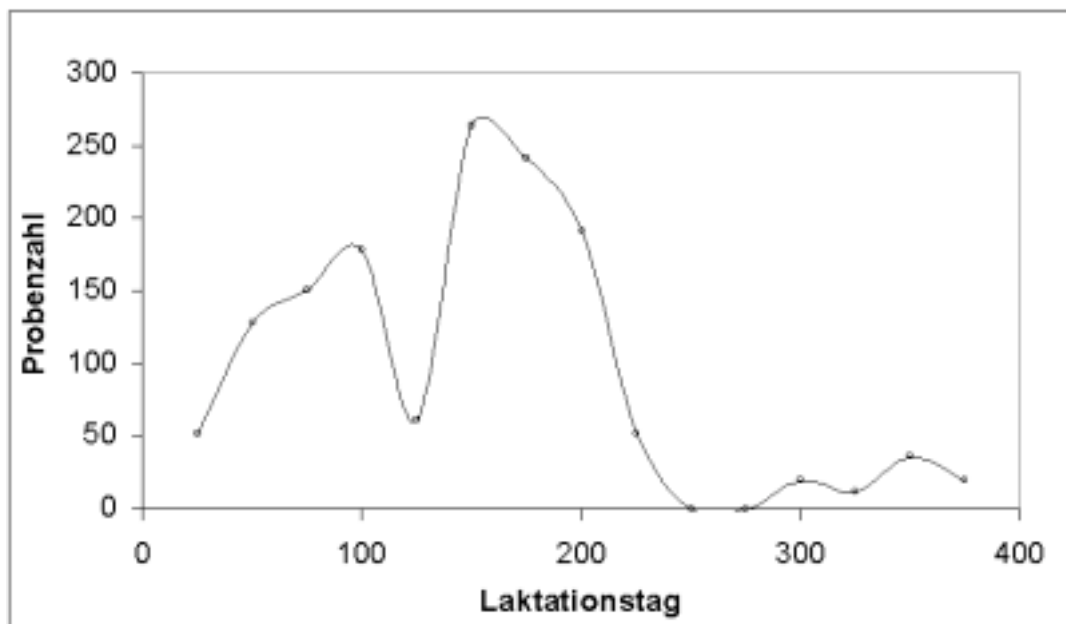


Abb. 18: Die Verteilung der Laktationstage in Bezug zu den gesammelten Proben.

Die Verteilung der Laktationstage ist ebenfalls zweigipflig und macht somit deutlich, dass sich die Herde im Prinzip in zwei Gruppen aufspaltet. Die erste Gruppe liegt im Mittel bei knapp 70 Laktationstagen, während die zweite Gruppe durchschnittlich bereits seit fast 170 Tagen laktiert. Die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und den Laktationstagen besteht, kann positiv beantwortet werden. Dass die beiden Parameter, Proteingehalt und Laktationstag, korrespondieren, zeigt Abbildung 19. Da sich der Proteingehalt im Laktationsverlauf ändert, kann bei solch einer Verteilung der Laktationstage, auch der Proteingehalt nicht normalverteilt sein. Für die Beurteilung dieses Milch Inhaltsstoffes muss bei einer Prozesskontrolle der Laktationstag jeweils angegeben werden.

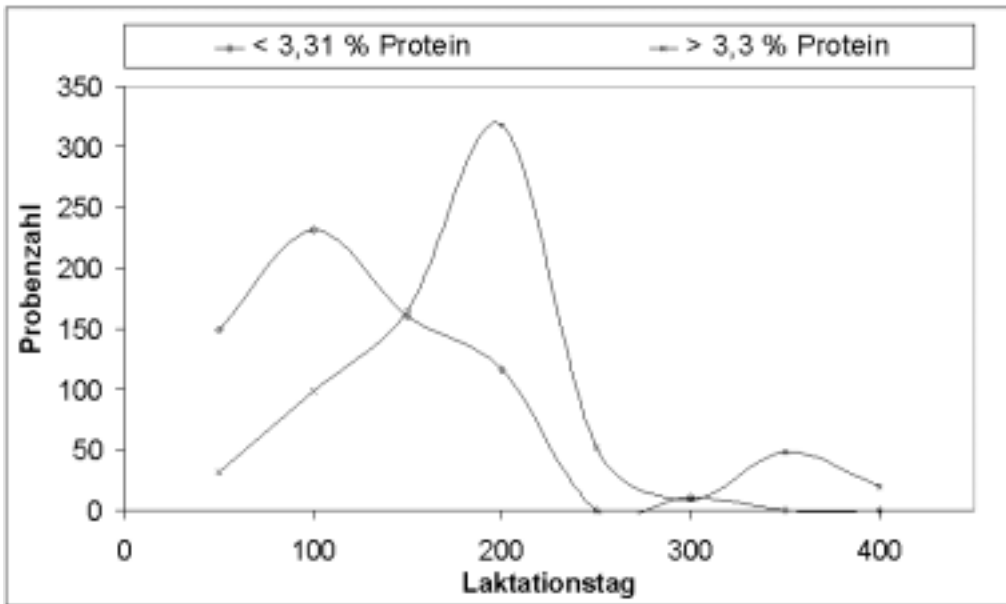


Abb. 19: Die Verteilung der Laktationstage für Milchproben mit kleiner gleich 3,3 % Protein und für Proben mit mehr als 3,3 % Protein.

Auch die Verteilung des Harnstoffes ist mehrgipflig, wobei es sich in diesem Fall eigentlich um drei Peaks handelt. Dies ist ein erster Hinweis darauf, dass kein Zusammenhang zu den Laktationstagen der Kühe besteht. Auch nach genauerer Prüfung konnte keine Beziehung festgestellt werden. Die stark von einer Normalverteilung abweichenden Kurven sind in Abbildung 20 dargestellt.

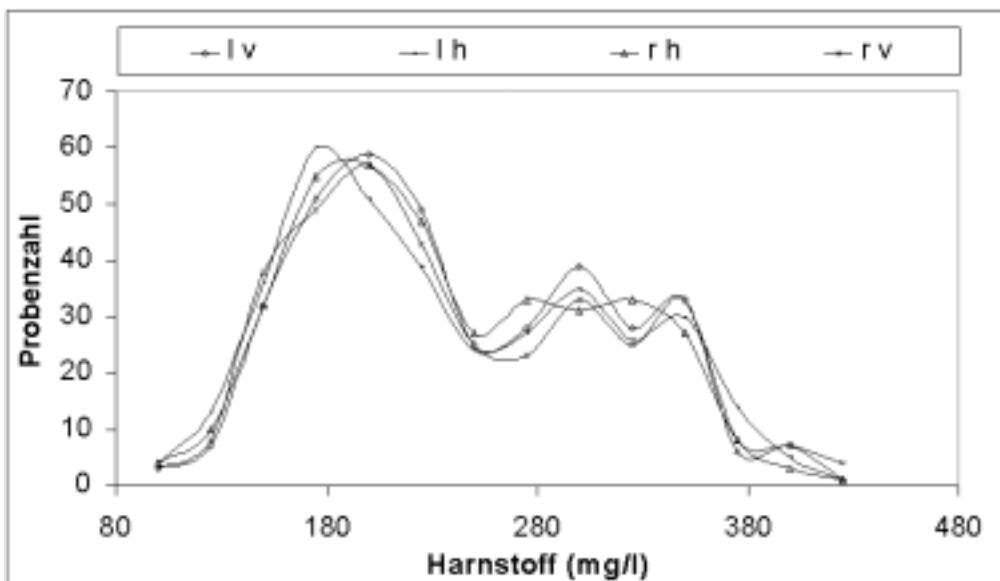


Abb. 20: Die Verteilung des Harnstoffgehaltes für die verschiedenen Euterviertel.

Es gab allerdings auch bei dem Harnstoffgehalt einen Zusammenhang mit einem weiteren Parameter. Der Harnstoffgehalt in der Milch ist abhängig von den Futtermitteln. Zu Beginn des Versuchs wurde eine Änderung der partiellen Mischration vorgenommen und so adaptierten die Kühe im Verlauf der Versuchsperiode mit einer Reduktion des Harnstoffgehaltes in der Milch (Abb. 21).

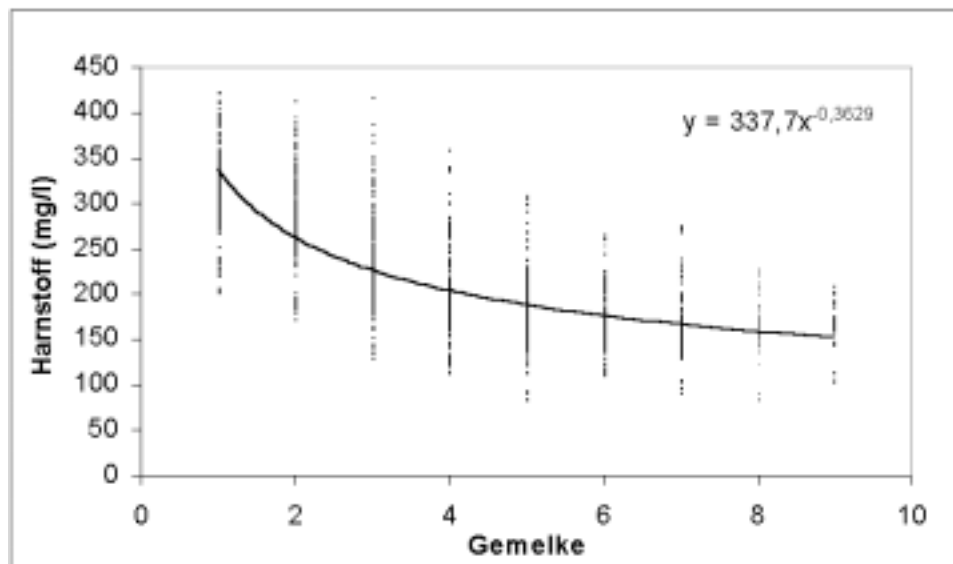


Abb. 21: Die Adaptation des Harnstoffgehaltes nach geänderter Futterration.

Bei der Verteilung der SZZ stößt man auf die Charakteristik in Abbildung 22. Auf den ersten Blick lässt sich ein Unterschied zwischen den verschiedenen Vierteln erahnen, bei einer anderen Klasseneinteilung, in Abbildung 23 dargestellt, kann man allerdings keine Differenzen mehr feststellen.

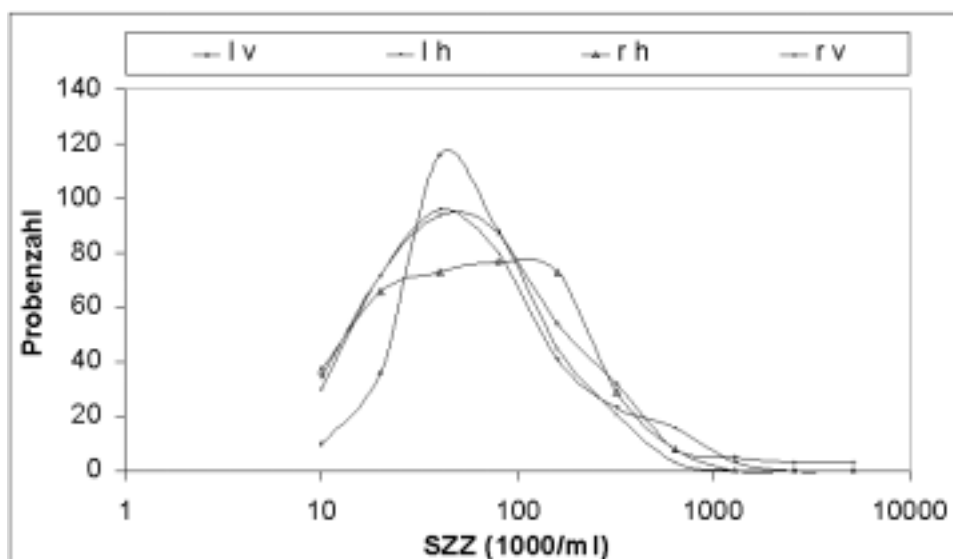


Abb. 22: Verteilung der Somatischen Zellen für jedes Euterviertel.

Die Differenzen zwischen den verschiedenen Eutervierteln verschwinden, da sie auf informationstheoretischem Rauschen und nicht auf wirklicher Information beruhen. Eine systembedingte Beeinflussung eines speziellen Viertels tritt also auch bei diesem Parameter nicht in Erscheinung, denn nur ein solcher Einfluss würde eine deutliche Unterscheidung hinsichtlich der Häufigkeitsverteilung hervorrufen.

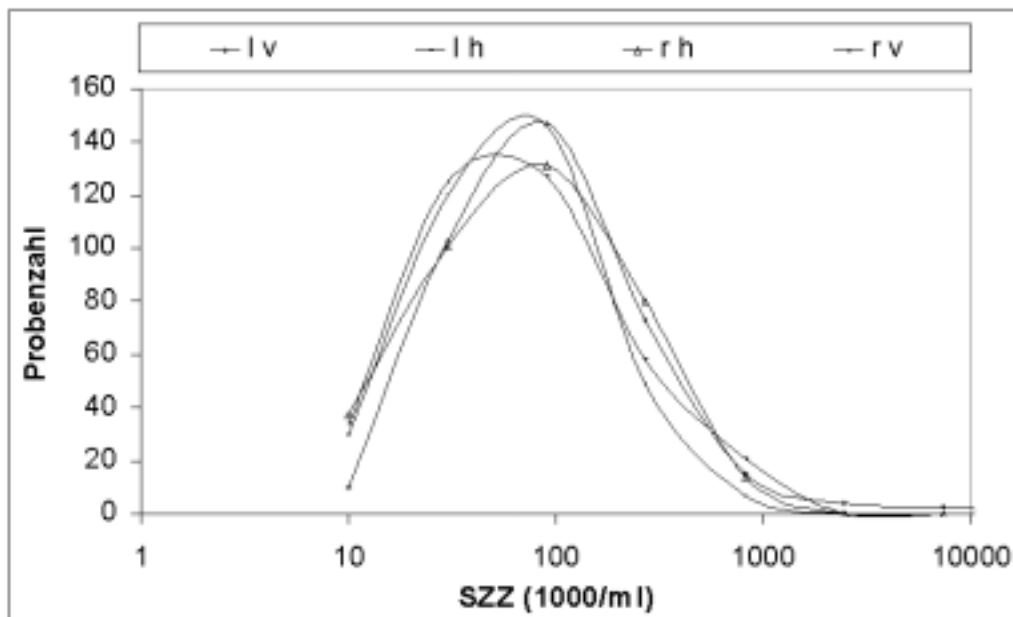


Abb. 23: Das gleiche Diagramm wie in Abbildung 22, mit etwas breiterer Klasseneinteilung.

## 4.2.2 Leitfähigkeit

Der Parameter Leitfähigkeit wurde in einem konventionellen Fischgrätenmelkstand genauer untersucht. In Abbildung 24 ist ein Beispiel für die erhöhte Leitfähigkeit eines Viertels dargestellt. Anhand der Trendlinien kann man eine Erhöhung von ca. 10 % erkennen. Die Trendlinie der gesunden Viertel ist etwa horizontal. Bei dem kranken Viertel hingegen ist dagegen eine scheinbare Steigung zu verzeichnen, woran man sehen kann, dass es während der drei Wochen noch nicht zu einer erkennbaren Heilung gekommen ist.

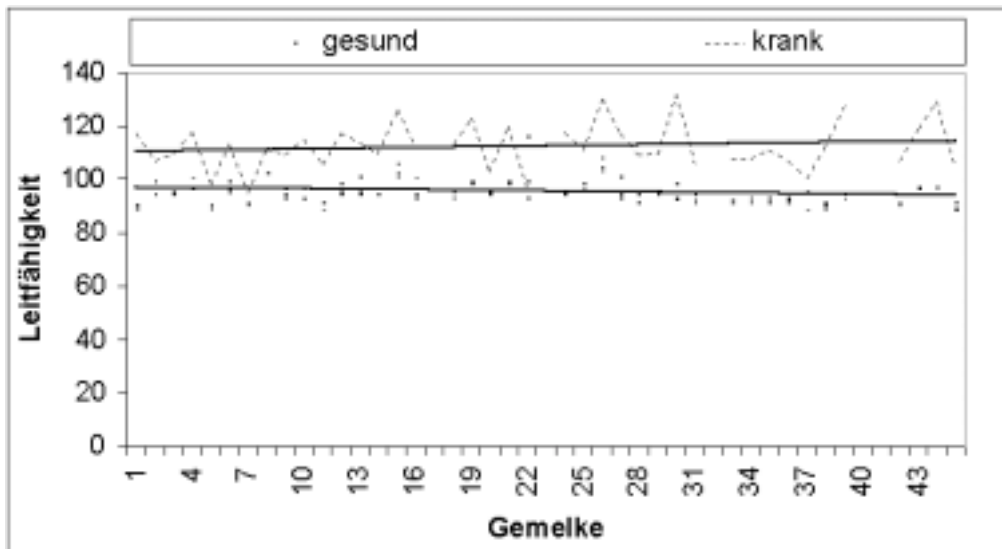


Abb. 24: Die Leitfähigkeitsentwicklung der vier Viertel, wobei eines davon erkrankt ist. Dazu wurden die Trendlinien eingezeichnet.

In Abbildung 25 ist der Verlauf der Entwicklung der Leitfähigkeitswerte für mehrere kranke Viertel aufgezeichnet. Die eingezeichnete Regressionsgerade zeigt, dass die Höhe der Leitfähigkeitswerte auch bei Mittelung mehrerer Werte nur langsam zurück geht. Positive Befunde durch den MST wurden nur in geringerem Umfang gefunden. Dabei kommen erhöhte MST-Werte häufig nicht kontinuierlich, sondern sporadisch vor. Die gestrichelte Linie stellt den Zeitpunkt der Diagnose mit Hilfe eines Mastistischnelltests dar.

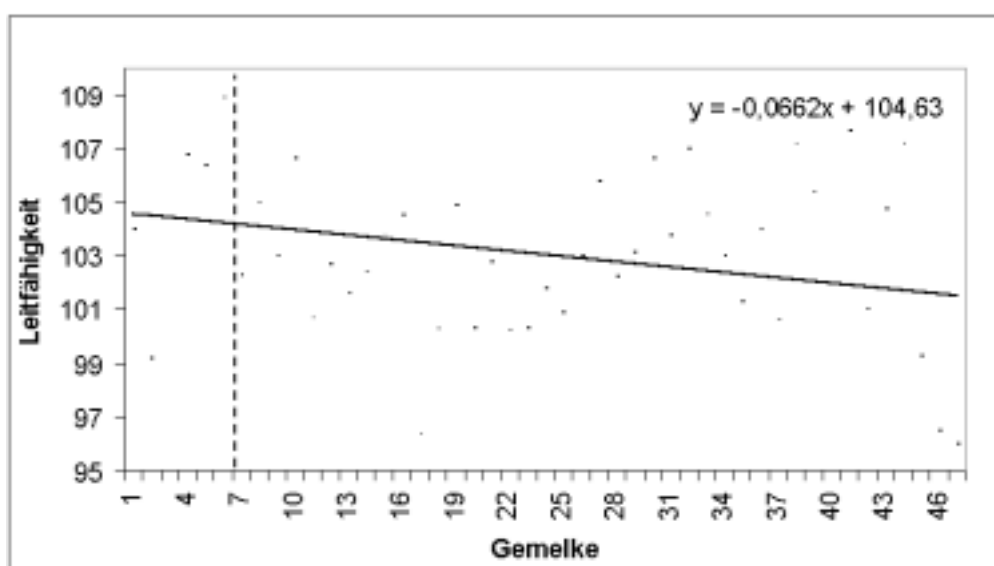


Abb. 25: Leitfähigkeitswerte von elf erkrankten Kühen. Die Werte wurden drei Tage vor MST-Diagnose und nachfolgend ausgewertet, mit der dazugehörigen Regressionsgerade.

Der Vergleich der beiden Melkzeiten morgens und abends zeigt Differenzen bei einigen Merkmalen, die in Tabelle 8 aufgelistet sind.

Tab. 8: Vergleich der beiden Melkzeiten morgens-abends.

	Tageszeit	N	Mittelwert	Std.abw.	Std. Mittelw.
Milchmenge kg	morgens	2113	16,71	3,739	0,081
	abends	2021	13,66	3,211	0,071
Mfluss, durchschn. Kg/min	morgens	2111	2,50	1,002	0,022
	abends	2022	2,37	0,622	0,014
Mfluss max. kg/min	morgens	2111	4,25	1,124	0,024
	abends	2022	4,27	1,147	0,026
Leitf. LV, durchschn.	morgens	2133	94,73	9,050	0,196
	abends	2044	94,05	9,553	0,211
Leitf. LH, durchschn.	morgens	2133	94,04	9,636	0,209
	abends	2044	93,64	10,115	0,224
Leitf. RV, durchschn.	morgens	2151	94,65	8,931	0,193
	abends	2063	94,14	9,489	0,209
Leitf. RH, durchschn.	morgens	2152	94,39	9,262	0,200
	abends	2063	94,09	9,650	0,212
T in °C	morgens	2153	38,46	0,381	0,008
	abends	2061	39,05	0,495	0,011

Sowohl die Milchmenge mit 16,7 zu 13,7 kg Milch als auch der durchschnittliche Milchfluss, gemessen für das Gesamtgemelk, liegen bei den Morgengemelken hoch signifikant über den Abendgemelken. Die Standardabweichungen für die Milchmenge liegen bei  $\pm 3,7$  kg morgens und  $\pm 3,2$  kg abends. Der durchschnittliche Milchfluss differiert entsprechend um 0,13 kg/Min. Die Standardabweichung beträgt  $\pm 0,6$  kg/Min abends und  $\pm 1,0$  kg/Min morgens. Dabei ist festzuhalten, dass bei beiden Merkmalen morgens eine größere Varianz zu bemerken ist als abends. Ebenfalls hoch signifikant verschieden sind die Mittelwerte für das Merkmal Milchttemperatur. Sie liegt bei der

abendlichen Temperatur im Durchschnitt mehr als ein halbes Grad Celsius über der morgendlichen Milchtemperatur. Der Parameter maximaler Milchfluss zeigt keine Unterschiede, dies gilt ebenso für die Leitfähigkeit. Nur bei dem linken Vorderviertel zeigt die Statistik eine scheinbare Signifikanz, die allerdings vernachlässigbar ist.

Tab. 9: Korrelationen für alle gemessenen Merkmale.

	Milch- Menge	Mfluss Durchs.	Mfluss Max.	LV Durchs.	LH Durchs.	RV Durchs.	RH Durchs.	T In °C
Milch- Menge	1	0,346 0,000	0,302 0,000	-0,029 0,063	-0,061 0,000	-0,048 0,002	-0,044 0,005	-0,051 0,001
Mfluss, Durchs.	0,346 0,000	1,000	0,495 0,000	-0,040 0,010	0,009 0,573	-0,053 0,001	-0,027 0,079	0,055 0,000
Mfluss Max.	0,302 0,000	0,495 0,000	1,000	-0,035 0,025	0,052 0,001	-0,043 0,005	-0,014 0,357	0,143 0,000
Leitf. LV, Durchs.	-0,029 0,063	-0,040 0,010	-0,035 0,025	1,000	0,797 0,000	0,870 0,000	0,766 0,000	-0,063 0,000
Leitf. LH, Durchs.	-0,061 0,000	0,009 0,573	0,052 0,001	0,797 0,000	1,000	0,750 0,000	0,761 0,000	-0,064 0,000
Leitf. RV, Durchs.	-0,048 0,002	-0,053 0,001	-0,043 0,005	0,870 0,000	0,750 0,000	1,000	0,822 0,000	-0,074 0,000
Leitf. RH, Durchs.	-0,044 0,005	-0,027 0,079	-0,014 0,357	0,766 0,000	0,761 0,000	0,822 0,000	1,000	-0,043 0,006
T in °C	-0,051 0,001	0,055 0,000	0,143 0,000	-0,063 0,000	-0,064 0,000	-0,074 0,000	-0,043 0,006	1,000
**	Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.							
*	Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.							

In Tabelle 9 sind die Korrelationen für die Parameter dargestellt. Die Milchtemperatur ist unabhängig von den anderen Merkmalen und schwankt in ihrer Korrelation mehr oder weniger um Null. Die durchschnittlichen Leitfähigkeitswerte der einzelnen Viertel korrelieren dagegen untereinander in hohem Maße zwischen  $r = 0,75$  und  $r = 0,87$ .

Mit den Merkmalen der Milchmenge und den Milchflüssen gibt es keine lineare Beziehung. Die Korrelationen mit den Merkmalen: Milchmenge, Milchfluss im Durchschnitt und maximaler Milchfluss liegen eher im niedrigen bis mittleren Bereich.

Die Schwankungsbreite der Leitfähigkeitswerte innerhalb der einzelnen Euterviertel pro Kuh liegt im Mittel bei 20 mit einer Standardabweichung von  $\pm 12$ . Dabei betrug das Minimum 6 und das Maximum 78. Bei einer Aufteilung in kranke und gesunde Kühe liegt der Mittelwert der Schwankungsbreiten der kranken Tiere mit 27 Punkten deutlich höher, als der Mittelwert der Schwankungsbreiten für die gesunden Tiere mit 18 Punkten. Die Varianz ist ebenfalls größer. Die minimalen und maximalen Werte liegen dagegen in einem ähnlichen Bereich.

Bei einem Mittelwertvergleich zwischen den kranken und gesunden Vierteln kann ein hoch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der Mittelwert der kranken Kühe liegt bei 98 und damit um 4 Punkte höher, als bei den gesunden Tieren mit einer Standardabweichung von  $\pm 9,6$  (krank) zu  $\pm 8,4$  (gesund). Noch deutlicher wird dieser Unterschied, wenn man nur die Messwerte berücksichtigt, die bei positivem MST gewonnen werden. Dabei zeigt sich schon ein bzw. zwei Tage vor dem positivem MST, dass die Leitfähigkeit auf durchschnittlich 106 Punkte ansteigt.

Zwischen der Laktose und der Leitfähigkeit besteht eine negative Korrelation von  $r = -0,66$ . Dagegen ist die Korrelation zwischen der Leitfähigkeit und der Zellzahl mit  $r = 0,26$  eher gering positiv.

### **4.3 Verhaltensparameter**

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei sehr unterschiedliche Parameter gewählt, um das Tierverhalten zu untersuchen. Die Besuchsfrequenz beim Melken beeinflusst direkt die Melk- und Milchparameter. Darüber hinaus sind Kühe, die den Melkroboter zu unregelmäßig oder gar nicht aufsuchen für den Landwirt ein großes Problem. Die Untersuchungen der Herzfrequenzmessungen wurden durchgeführt, damit man eine

Einschätzung bekommt, wie stark das Melken die Tiere belastet. Die Ergebnisse sind in getrennten Kapiteln dargestellt.

### 4.3.1 Besuchsfrequenzen beim Melken

Das Besuchsverhalten der Kühe an der Melkbox kann nur analysiert werden, wenn man die Formel für die Melkzulassung in die Untersuchung mit einbezieht.

$$M = \frac{M_{\text{Herde 24h}}}{A} + \frac{M_{\text{Ø 24h Kuh}}}{A} + K$$

M	Anzahl der vorangegangenen Melkungen, bevor die Kuh zugelassen wird
$M_{\text{Herde24h}}$	Anzahl von Melkungen der Herde in den letzten 24 h
$M_{\text{Ø 24h Kuh}}$	Durchschnittliche Melkfrequenz der einzelnen Kuh in 24 h, berechnet vom Zeitpunkt des Besuches und zwei davor liegenden Besuchen
A	Entsprechend eingegebene Anzahl von Melkungen aus der Tabelle auf Gruppenniveau
K	Konstante (Sicherheitsfaktor, um die eingegebene Melkfrequenz sicherzustellen) (Quelle: Lely)

Das Verhalten der Kühe ist stark von dieser Formel abhängig. So ist es wichtig zu wissen, wie sich M verhält, wenn sich die einzelnen Parameter verändern. Deshalb erfolgte eine Untersuchung der einzelnen Parameter, die in die Formel eingehen. Der Sicherheitsfaktor K wurde variiert, bei gleichbleibenden Ausgangsbedingungen (Abb. 26). Die Anzahl der vorangegangenen Melkungen M verhalten sich linear zum steigenden Sicherheitsfaktor K. Die Beeinflussung von M durch K ist deutlich zu erkennen. Dabei sind die folgenden Parameter konstant gehalten worden:

$$M_{\text{Herde24h}} = 140, M_{\text{Ø24hKuh}} = 2 \text{ und } A = 3$$

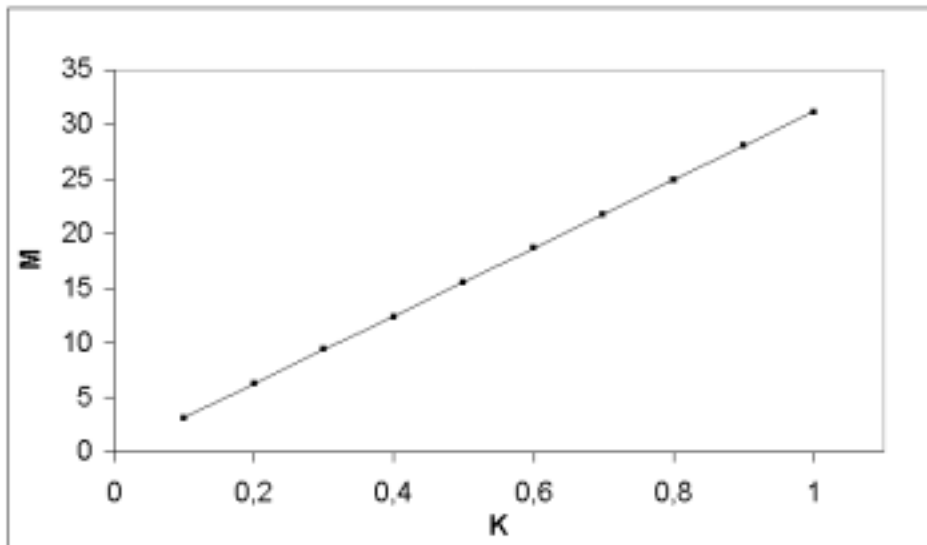


Abb. 26: Die Anzahl der vorangegangenen Melkungen  $M$  verhält sich linear zu den Werten des Sicherheitsfaktors  $K$ , bei gleichbleibenden Ausgangsbedingungen.

Bei einer Berechnung der Formel mit verschiedenen  $M_{\text{Ø}24\text{h Kuh}}$  und  $A$  Werten ist die Variabilität des Wertes  $M$  zu bemerken. Selbst bei konstantem Wert  $A$  kann es zu einer starken Streuung kommen (Abb. 27).

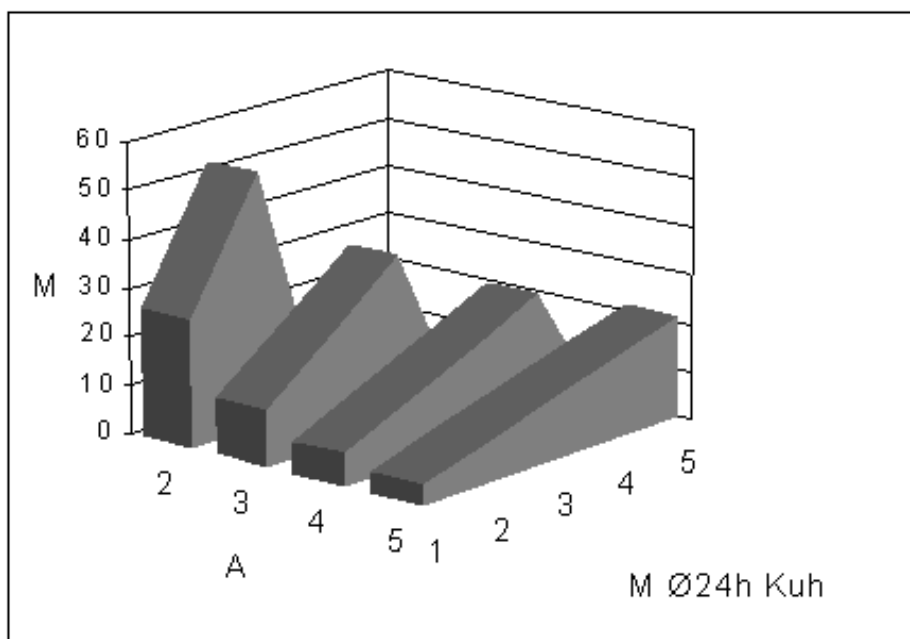


Abb. 27: Die Anzahl vorangegangener Melkungen  $M$  in Abhängigkeit von den Parametern:  $M_{\text{Ø}24\text{h Kuh}}$  und  $A$ .

In Abbildung 28 ist die angestrebte Anzahl von Gemelken (ober Linie) und die tatsächlich realisierte Anzahl von Gemelken (untere Linie) dargestellt. Die Stichprobe erfasst einen Zeitraum von 10 Tagen (15.05.2000 bis 24.05.2000) in Betrieb 1. Das

AMS war durch freien Kuhverkehr zugänglich. Vergleichend ist die Anzahl der täglich gemolkenen Kühe am AMS eingezeichnet.

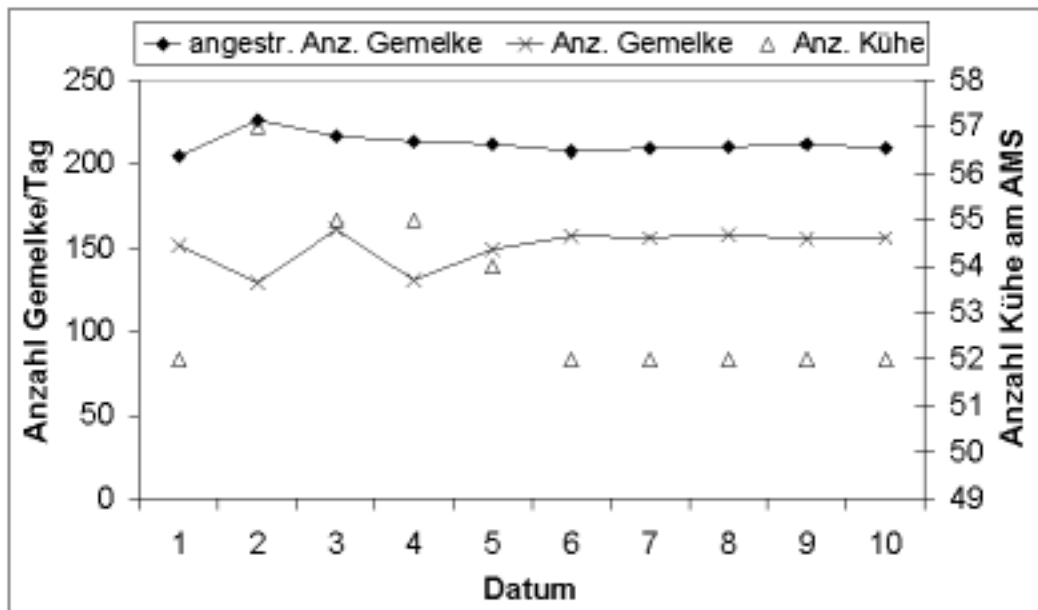


Abb. 28: Vergleich zwischen der angestrebten Anzahl und der tatsächlich realisierten Anzahl von Gemelken beim freien Kuhverkehr in Betrieb 1.

In Abbildung 29 ist die angestrebte (obere Linie) und die tatsächlich realisierte Anzahl von Gemelken (untere Linie) im Zeitraum vom 15.05.2001 bis 28.05.2001 aufgezeichnet. Diese Werte sind vom AMS mit freiem Kuhverkehr in Betrieb 2 entnommen.

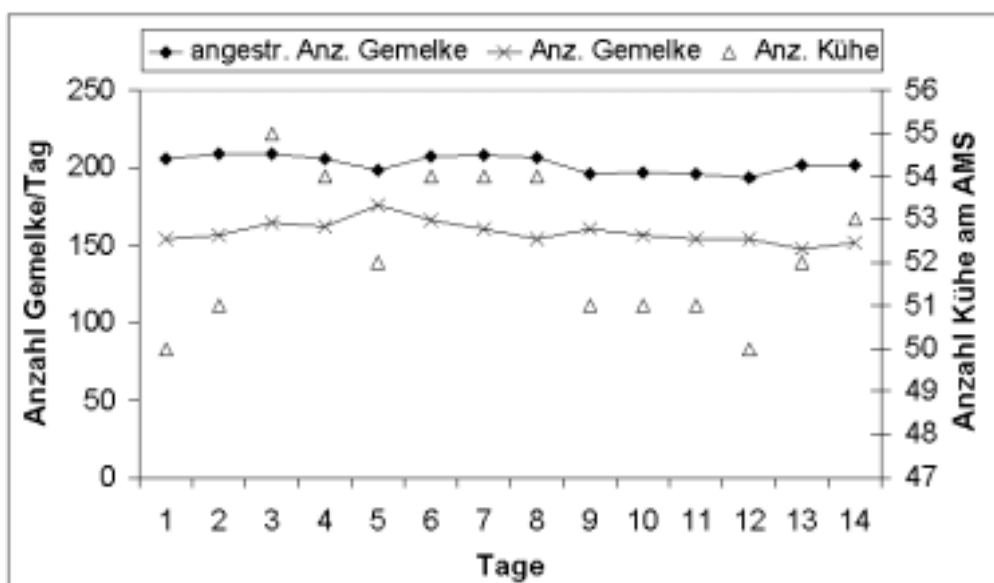


Abb. 29: Vergleich zwischen der angestrebten Anzahl und der tatsächlich realisierten Anzahl von Gemelken beim freien Kuhverkehr in Betrieb 2.

In Untersuchungsbetrieb 1 zeigt sich dabei eine Differenz von im Mittel über 60 Gemelken. Auch bei dem AMS mit freiem Kuhverkehr in Untersuchungsbetrieb 2 stellt sich ein ähnliches Ergebnis dar (Abb. 29). Die gemittelte Differenz liegt dort bei etwa 44 Gemelken. Aus dem formalen Blickwinkel wäre es für die Tiere durchaus möglich gewesen öfter zu kommen, die Kapazität des Melkroboters erlaubt dies allerdings nicht. In Abbildung 28 und 29 ist das deutlich zu erkennen. Die sehr starke Auslastung des Systems ist auch daran ersichtlich, dass eine gestiegene Anzahl der Kühe am AMS keine Steigerung der Melkungen am Roboter zur Folge hat. In Abbildung 28 ist eher eine Abnahme der Gemelke insgesamt bei steigender Tierzahl zu erkennen.

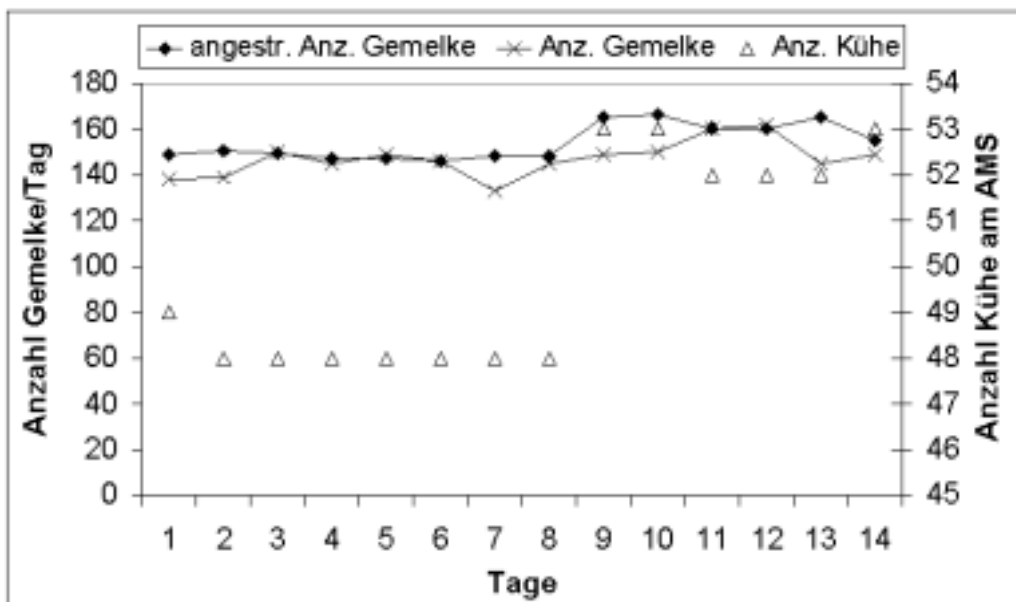


Abb. 30: Vergleich zwischen der angestrebten und der tatsächlich realisierten Anzahl von Gemelken beim geregelten Kuhverkehr in Betrieb 2.

Ein Vergleich der Werte für das AMS mit geregelterm Kuhverkehr in Betrieb 2 kann mit Hilfe von Abbildung 30 angestellt werden. Die angestrebte (obere Linie) und die tatsächlich realisierte Anzahl von Gemelken (untere Linie) ist dort für den Zeitraum vom 15.05.2001 bis 28.05.2001 dargestellt. Die Anzahl der täglich gemolkenen Kühe am AMS ist durch Dreiecke gekennzeichnet. Es kann festgestellt werden, dass im geregelten Kuhverkehr die Anzahl der angestrebten Melkungen fast identisch mit den tatsächlich realisierten ist.



Beim geregelten Kuhverkehr in Abbildung 33 bemerkt man hingegen keine so starke Auslastung, mit knapp 50 Kühen. Man kann hier sogar die bevorzugten Zeiten der Kühe für das Melken erkennen. Um 08:00 Uhr und um 17:00 Uhr treten Peaks auf.

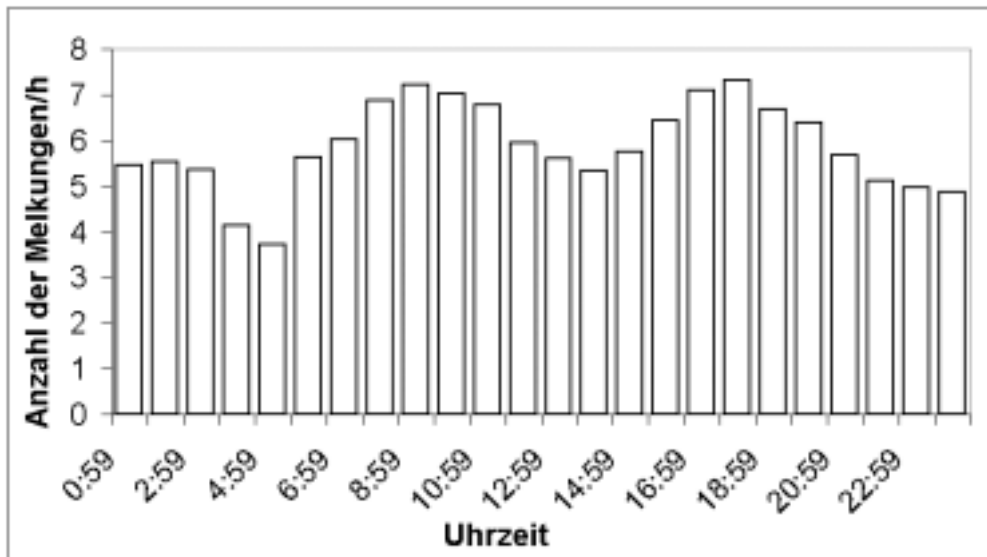


Abb. 33: Verteilung der Häufigkeit der Melkungen am AMS des Versuchsbetriebes 2 mit geregelterm Kuhverkehr.

Die einzelnen Kühe weisen in Bezug auf ihre Besuchsfrequenz in der Melkbox des AMS ein ganz unterschiedliches Verhalten auf. Es gibt einige wenige Tiere, die gar nicht von alleine gehen und regelmäßig geholt werden müssen. In dem Zeitraum von 6 Monaten (Versuchsbetrieb 1) handelt es sich um drei Kühe. Ein Beispiel dafür ist die Kuh Nr. 25, deren Besuchsfrequenz in Abbildung 34 dargestellt ist. Zu Beginn des Zeitraumes wurde sie drei Mal täglich zum Roboter geführt, ab dem 12.04.2000 erfolgte die Melkung noch zweimal täglich. Nur vereinzelt ist dieses Tier auch selbständig zum AMS gekommen.

Die Kühe, die frisch abgekalbt haben, werden zunächst angelernt, indem sie zur Melkbox gebracht werden. In der Regel gehen die Tiere dann nach einigen Tagen selbständig zum Melken.

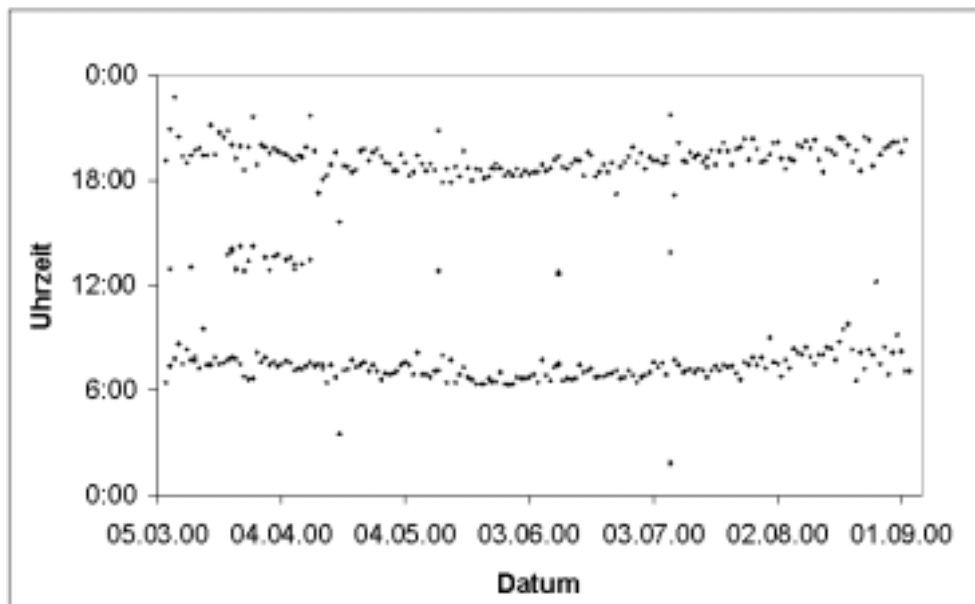


Abb. 34: Melkungen der Kuh Nr. 25 nachdem diese regelmäßig zur Melkbox geführt werden musste.

In Abbildung 35 sieht man ein typisches Beispiel für diesen Vorgang. Zum Anlernen wurde die Kuh 289 morgens und abends zum Melken geholt. Nach ca. fünf Wochen fing das Tier an selbständig zum Roboter zu gehen. Dabei orientierte sich die Kuh zunächst an den Zeiten, an denen sie immer „abgeholt“ wurde. Erst allmählich verlor sich diese Bindung und die Besuche erfolgten stärker verstreut über den Tag.

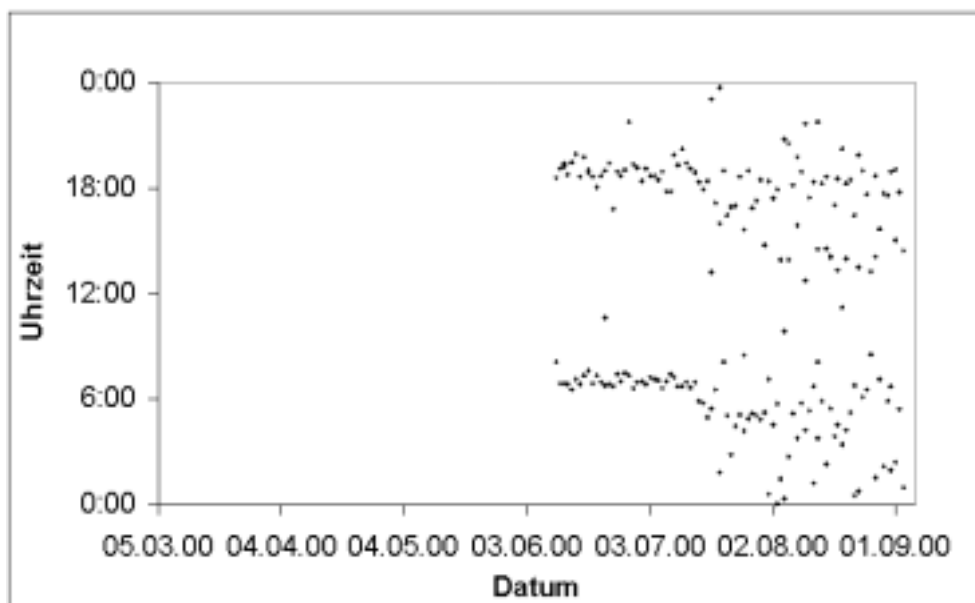


Abb. 35: Melkungen der Kuh Nr. 289, nachdem diese 5 Wochen lang regelmäßig zur Melkbox geführt werden musste.

In Abbildung 36 sieht man die Entwicklung der Kuh Nr. 325. Das selbständige Besuchen der Melkbox erfolgte bereits nach ca. 20 Tagen, wobei die Kuh auch schnell sehr unterschiedliche Melkzeiten in Anspruch nahm. Die Dauer des Lernens kann individuell sehr verschieden sein.

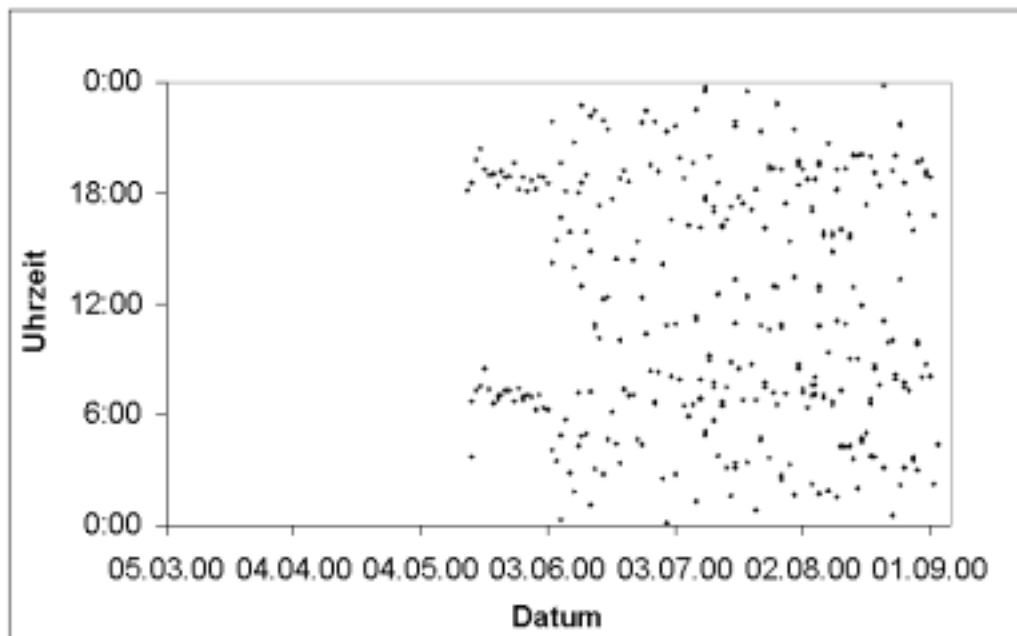


Abb. 36: Melkungen der Kuh Nr. 325, nachdem diese 20 Tage lang regelmäßig zur Melkbox geführt werden musste.

Darüber hinaus gab es auch immer Tiere, die nur eine Zeit lang nicht von alleine zum Melken kamen (Abb. 37) oder zum Schluss regelmäßig geholt werden mussten (Abb. 38). Die Kuh 484 (Abb. 37) zeigt vom 17.05.2000 bis ca. 12.06.2000 plötzlich eine sehr konstante Besuchsfrequenz um 06:00 und um 18:00 Uhr. In diesem Zeitraum musste die Kuh an den Roboter gebracht werden. Die Kuh 114 (Abb. 38) zeigte erst einen Monat vor Ende des Versuchszeitraumes ein verändertes Verhalten. Am 26.07.2000 betrug ihre Tagesleistung zum ersten Mal weniger als 20 kg Milch. So wurde sie statt dreimal nur noch zweimal am Tag gemolken. Diese Umstellung führte dazu, dass sie dann zum Roboter gebracht werden musste und nicht mehr von selber die Melkbox aufsuchte.

Auch Kuh Nr. 306 weist, im Vergleich zu Kuh Nr. 484, ein ähnliches Verhalten auf. Das Tier wurde zwischen 2 und 4 mal täglich gemolken und gab über 30 kg Milch. Dies änderte sich ab dem 10.06.2000. Die Milchleistung sank plötzlich unter 20 kg

täglich und die Kuh musste an die Melkbox geführt werden. In diesem Fall ist die Veränderung des Verhaltens auf eine eitrige Gelenkentzündung zurückzuführen. Ende Juli erholte sich die Kuh und ging dann auch wieder selbständig zum Melken.

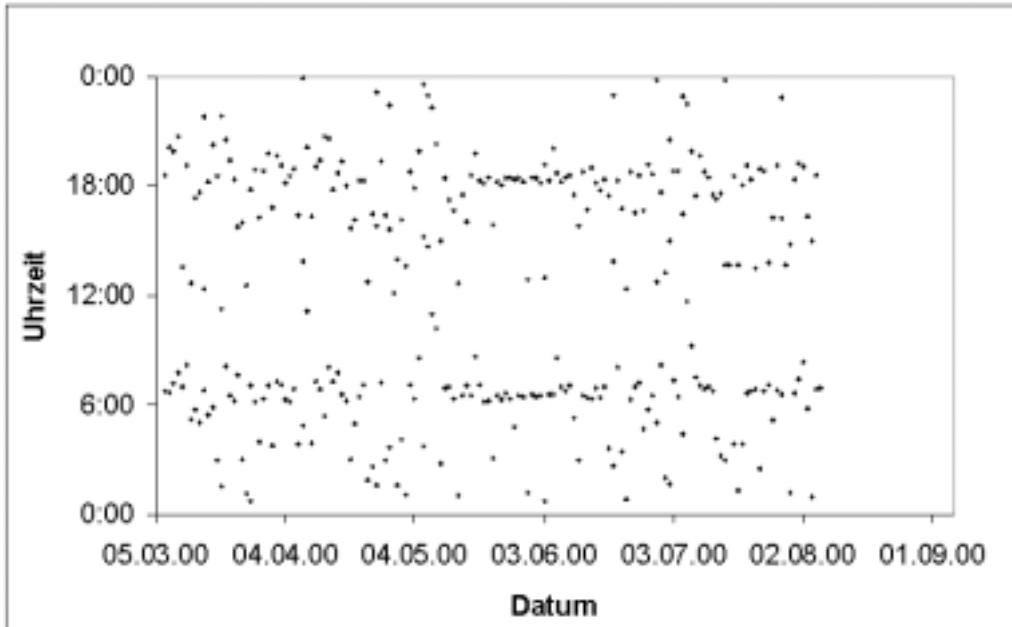


Abb. 37: Melkungen der Kuh Nr. 484, die nach einem plötzlichen Abfall der Milchleistung an die Melkbox geführt werden musste.

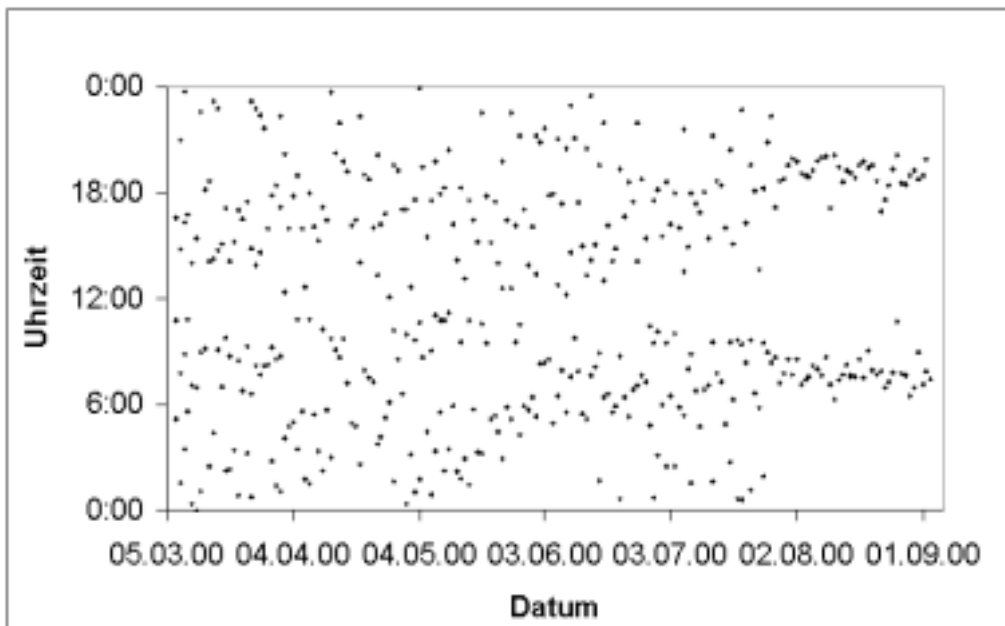


Abb. 38: Melkungen der Kuh Nr. 114, die nach einen Monat vor Ende des Versuchszeitraumes ein verändertes Verhalten zeigt und daher an die Melkbox geführt werden musste.

Wenn sich das AMS, auf Grund seiner Software, gegen eine Melkung der jeweiligen Kuh entscheidet, so wird dies vom Prozessrechner als Ablehnung registriert. Neben den Ablehnungen erfolgt auch eine Erfassung der fehlgeschlagenen bzw. misslungenen Melkungen. Darunter wird eine Melkung verstanden, bei der es z.B. Probleme beim Ansetzen der Melkbecher gab. Wenn die Melkung deshalb nicht durchgeführt oder nicht zu Ende geführt wurde, dann wird diese unter dem Begriff misslungene Melkung vom PC gespeichert.

Von den 26.465 Besuchen mit Melkberechtigung in Betrieb 1 waren nur 2,2 % als misslungen gekennzeichnet. Dabei schwankten die fehlerhaften Ansetzversuche zwischen 0 und 25,5 % bei den 73 verschiedenen Kühen. 14 % der Tiere hatten nie einen fehlerhaften Ansetzversuch, bei 75 % lagen die misslungenen Melkungen zwischen 0,2 und 5 %. Bei 11 % der Kühe gab es mehr als 5 % Probleme.

Wenn man die Anzahl der Ablehnungen und die Anzahl der Melkungen summiert und diesen Wert als 100 % annimmt, dann hat man einen Prozentanteil der Ablehnungen an allen Besuchen der Melkbox von max. 59 %. Die Verteilung ist in Abbildung 39 zu sehen. Dabei sind nur Tiere in die Analyse mit eingegangen, von denen es mindestens 10 gespeicherte Melkungen gab.

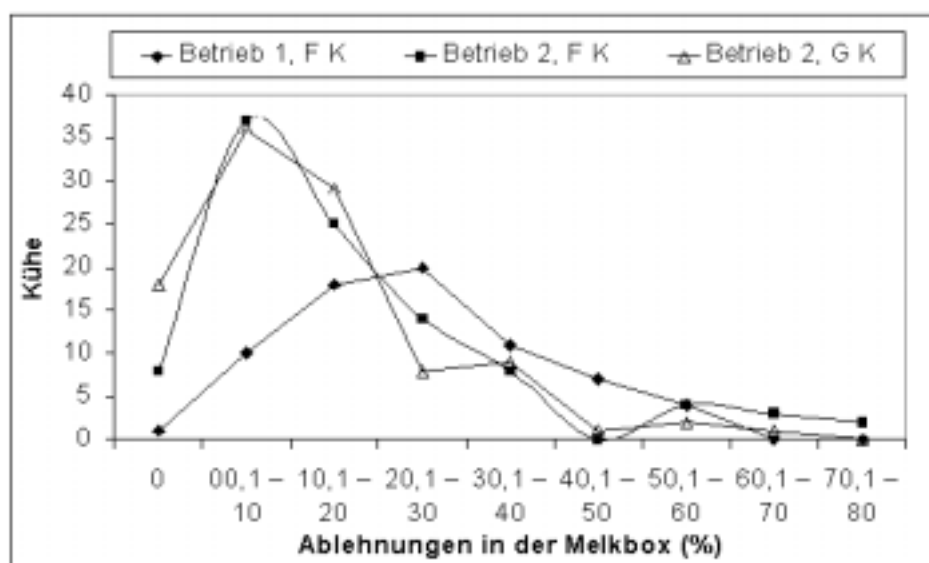


Abb. 39: Die Ablehnungen in der Melkbox sind in Prozent zu allen Besuchen pro Tier berechnet und in Klassen eingeteilt worden.

Es gibt hier einen deutlichen Unterschied zwischen Betrieb 1 und 2. Betrieb 1 weist bei den Klassen mit geringeren Ablehnungen weniger Tiere auf, während im Vergleich zu Betrieb 2 bei den Klassen mit höheren prozentualen Ablehnungen mehr Tiere zu verzeichnen sind. Die Form des Kuhverkehrs scheint hingegen weniger Einfluss auf die Verteilung auszuüben. Bei jeder der drei Gruppen sind aber Tiere darunter, die die Melkbox sehr häufig, ungeachtet ihrer Melkerlaubnis, aufsuchen. Die Struktur, die in die Analyse mit einbezogenen Werte, ist aus Tabelle 10 zu ersehen.

Tab. 10: Die Struktur der Werte von Abbildung 39.

Betrieb 1	Betrieb 2	
Freier Kuhverkehr (FK)	freier Kuhverkehr (FK)	geregelter Kuhverkehr (GK)
N = 26.465	n = 20.790	n = 18.599

### 4.3.2 Herzfrequenzmessungen

Für die Bewertung der Tier-Technik-Beziehung ist es wichtig, auch den Stress, den die Kühe möglicherweise durch den Technikeinsatz haben, einschätzen zu können. Die Möglichkeiten dazu reichen von Messungen anhand von Blutparametern (z.B. Cortisol) bis zur Herzfrequenzmessung. Für die Untersuchungen sollte die Datensammlung möglichst mit einer nicht-invasiven Methode durchgeführt werden, die die Reaktionen der Tiere im Verlauf einer längeren Zeit registriert und auch schnell die Veränderungen der Kühe anzeigt. So war in diesem Fall die Herzfrequenzmessung das Mittel der Wahl.

Bei den Herzfrequenzmessungen konnte im Mittel ein Wert von 87,4 Schlägen pro Minute (bpm) mit einer einfachen Standardabweichung von  $\pm 11,1$  festgestellt werden. Die Daten des gesamten Versuchs sind annähernd normalverteilt (Abb. 40).

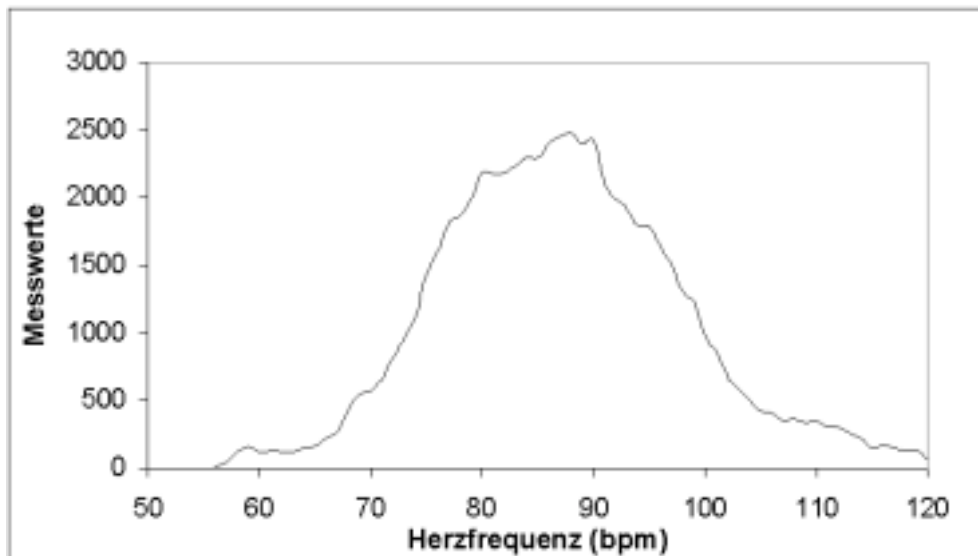


Abb. 40: Verteilung der Herzfrequenz von  $n = 64.233$  Werten, die annähernd normalverteilt sind.

Für die einzelnen Aktivitäten, wie Fressen, Stehen oder Liegen sind folgende Werte berechnet worden: Liegen  $84,1 \text{ bpm} \pm 10,8$ ; Stehen  $85,7 \text{ bpm} \pm 10,5$ ; Fressen  $88,1 \text{ bpm} \pm 9,4$ . Es ist erstaunlich, dass die Werte für die verschiedenen Aktivitäten nicht normalverteilt sind. Als Beispiel dienen die 7.853 Werte von fressenden Tieren, deren Verteilung aus Abbildung 41 zu ersehen ist. Während des Liegens haben die Tiere die niedrigste Herzfrequenz, während des Fressens wird ein signifikanter Anstieg induziert.

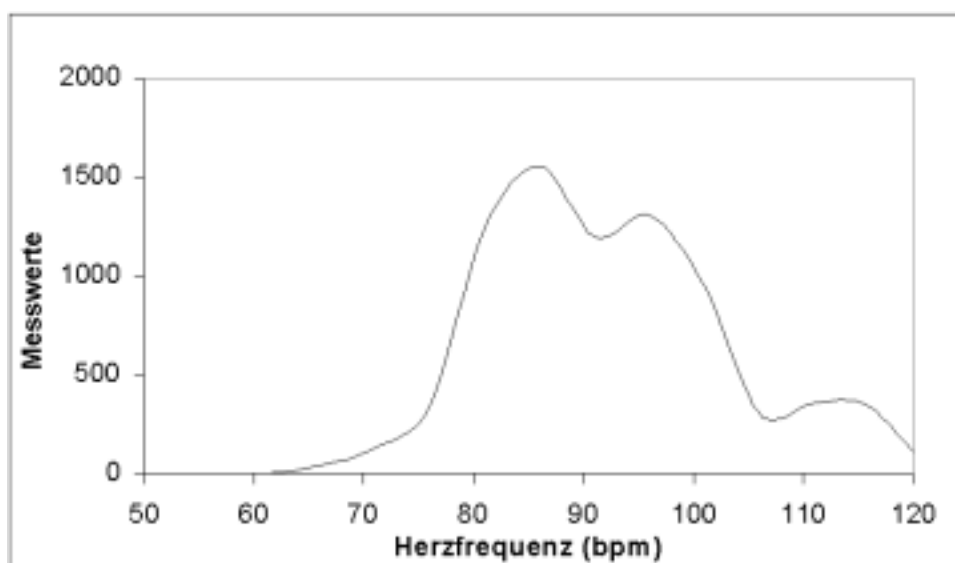


Abb. 41: Verteilung der Herzfrequenz während des Fressens.  $n = 7.853$  Werte mit klaren Abweichungen von einer typischen Glockenkurve.

Die Mittelwerte der Herzfrequenz für die einzelnen Kühe liegen zwischen 60,5 und 112,6 bpm, wobei die Standardabweichungen zwischen  $\pm 1,7$  und  $\pm 11,7$  bpm schwanken.

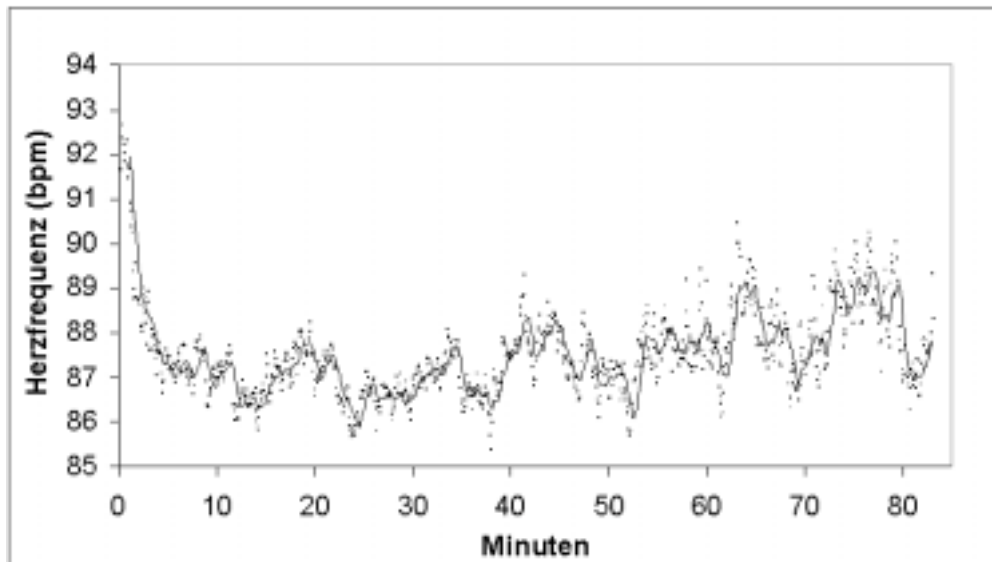


Abb. 42: Zeitreihen von Herzfrequenzen der 57 untersuchten Kühen über eine Zeit von fast 1,5 Stunden.

Wenn man sich zunächst die Gesamtheit der Werte ansieht, fällt auf, dass das Anlegen des Bauchgurtes mit den Sensoren einen deutlichen Einfluss auf die Herzfrequenz hat. Es ist erstaunlich, dass dieser Effekt in der Literatur übergangen wird. Der Startpunkt der Kurve mit allen Mittelwerten ist das absolute Maximum. Diesem Maximum folgt ein scharfer Abfall der Werte (Abb. 42 und 44). Die Herzfrequenz fällt um 5 Schläge in 5 Minuten. Auffällig sind auch die erkennbaren Schwankungen. Um diesen zu analysieren wurde aus den Werten von Abbildung 41 mit Hilfe einer Spektraldichteanalyse der Varianz ein Periodogramm angefertigt (Abb. 43). Es repräsentiert die Fourieranalyse, bei der zwei signifikante Peaks gefunden und nach Angaben von R.A. Fisher identifiziert wurden. Die Perioden können aus den Daten berechnet werden und betragen dann 12,9 Minuten (höherer Peak) und 7,4 Minuten (niedrigerer Peak).

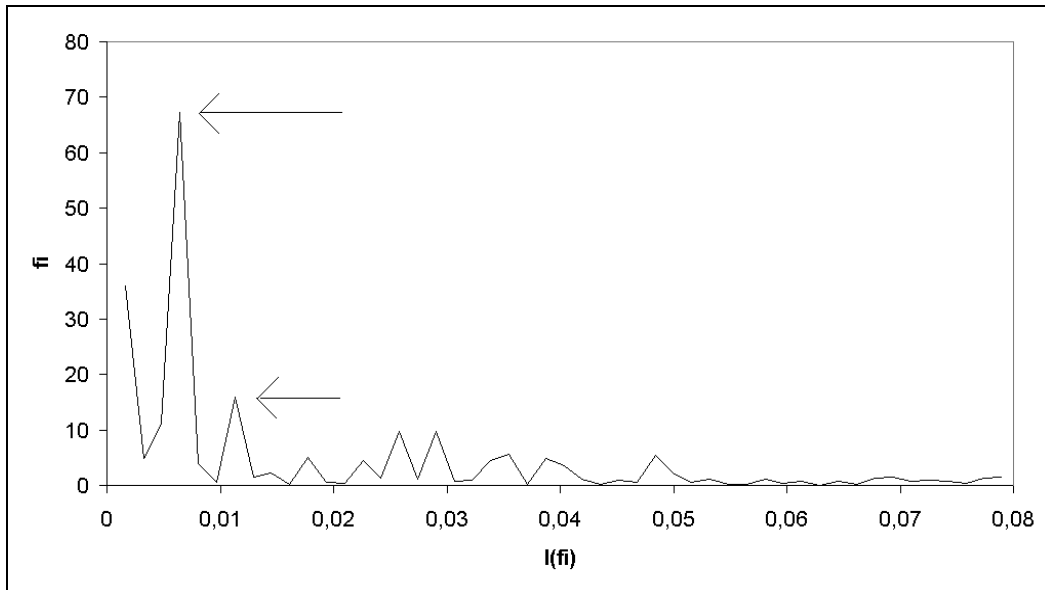


Abb. 43: Periodogramm, berechnet aus den Werten von Abbildung 41. Aus den zwei signifikante Peaks (Pfeile) können die Perioden 12,9 Minuten (höherer Peak) und 7,4 Minuten (niedrigerer Peak) berechnet werden.

Die Periodizität wird durch den Startpunkt ausgelöst, bei dem die Herzfrequenz ein Maximum erreicht. Die darauf folgende Abnahme kann als logarithmische Funktion verstanden werden. Die Kurve fällt innerhalb von 15 Minuten auf fast 86 bpm. Gleichzeitig kann bei der Beruhigungszeit die erste Periode der homoeostatischen Regulation beobachtet werden (Abb. 42 und 44).

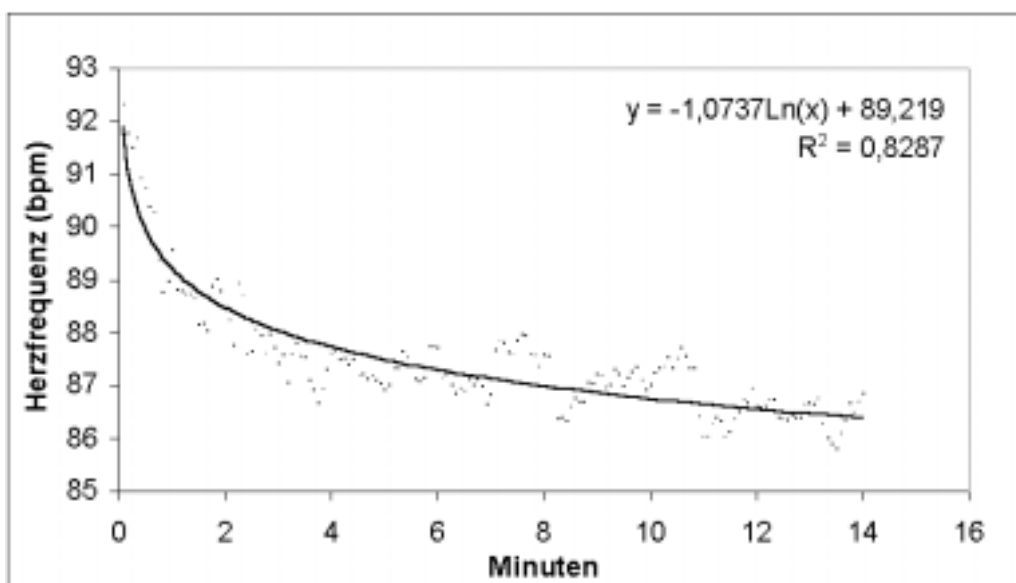


Abb. 44: Anpassung der Herzfrequenz nach dem Beginn des, durch den angefeuchteten Gurt induzierten, Stresses.

Nach einer getrennten Auswertung der Melkungen der beiden Herden im freien und im geregelten Kuhverkehr, konnte festgestellt werden, dass es einen signifikanten Unterschied in der Höhe der Herzfrequenz zwischen den beiden Gruppen gibt (Abb. 45).

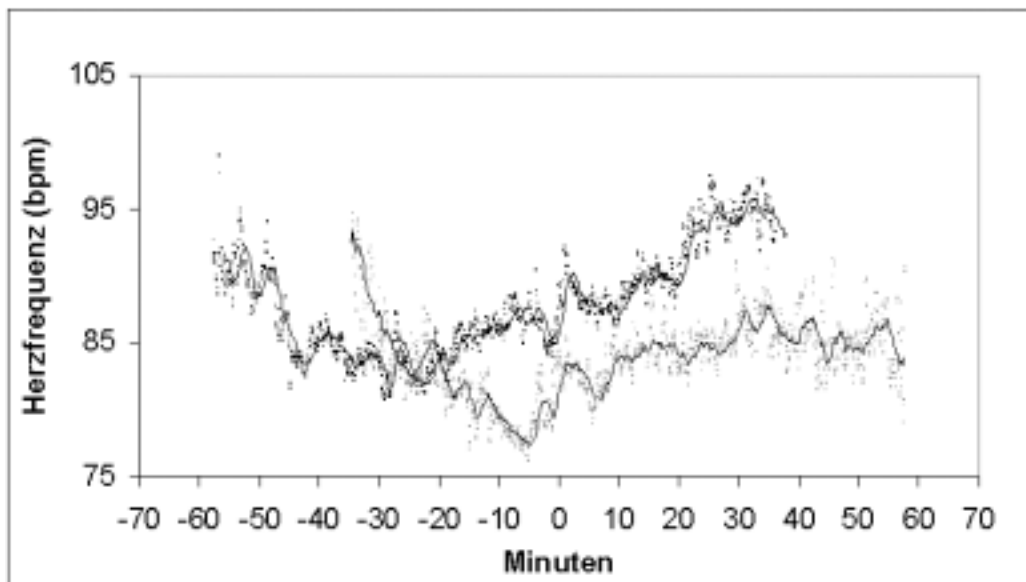


Abb. 45: Herzfrequenzmessungen bei einer Gruppe mit freiem Kuhverkehr (schwarz, obere Kurve) und einer mit geregelterm Kuhverkehr (grau, untere Kurve). Der Beginn des Melkens ist durch die Minute 0 gekennzeichnet.

Im freien Kuhverkehr liegt die Pulsrate höher, während die Tiere im geregelten Kuhverkehr eine signifikant niedrigere Herzfrequenz vorweisen. In die Berechnung ist jede Kuh nur ein Mal eingegangen, die Kuh, die zum ersten Mal überhaupt gemolken wurde, ist ganz heraus genommen worden. Die zwei Kurven sind zeitverschoben zueinander angeordnet. Die Verschiebung kommt dadurch zustande, dass die Kühe in der Gruppe mit freiem Kuhverkehr nach dem Anlegen des Messgurtes erst durchschnittlich 14 Minuten später den Melkroboter aufsuchten. Auffällig ist bei den Kurven der durchgehende Anstieg der Herzfrequenz, nach dem sich die Tiere von dem anfänglichen Stress erholt haben. Dabei fällt in der Gruppe mit geregelterm Kuhverkehr der Anstieg der Herzfrequenz direkt mit dem Melken zusammen, während in der Gruppe mit freiem Kuhverkehr schon einige Minuten vor dem Melken der Anstieg erfolgt. Der Melkvorgang selbst wird durch einen kleinen Peak gekennzeichnet, der bei Minute 0 beginnt. Dann kann ein ca. 2-minütiger Anstieg beobachtet werden. Der Abstieg erfolgt innerhalb von weiteren 2 Minuten, nach der Plateauphase. Danach verlassen die Kühe die Melkbox in Richtung Futtertisch (Abb. 45). Obwohl ein kleiner

Peak den Melkvorgang kennzeichnet, sollte nicht unerwähnt bleiben, dass die Betrachtung des ganzen Kurvenverlaufs in Abbildung 45 zeigt, dass die Aufregung während des Melkens eher unerheblich ist und auf den ersten Blick auch nicht gleich ins Auge fällt.

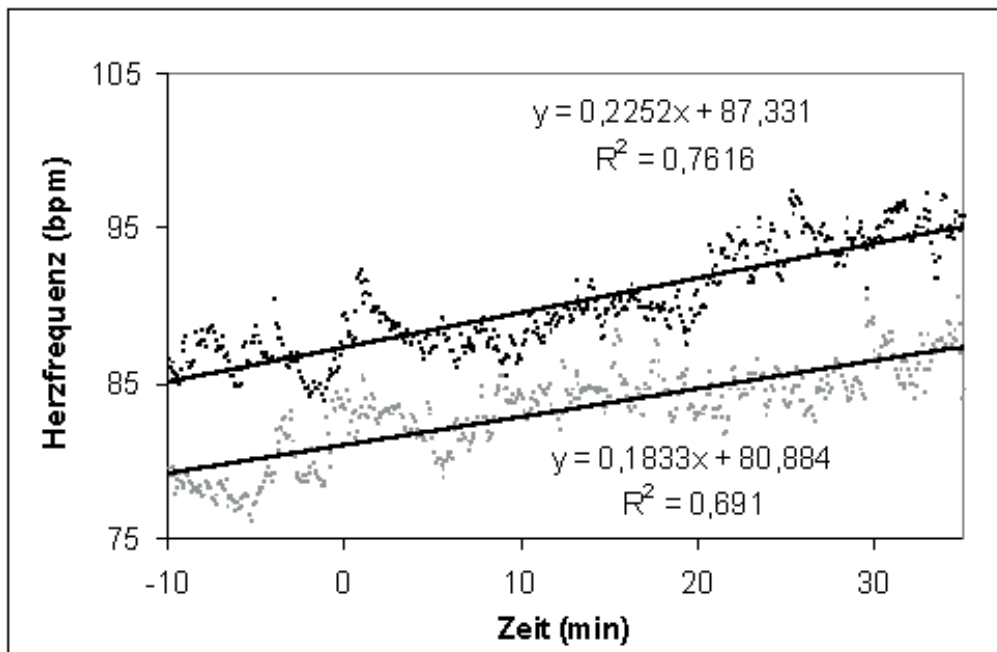


Abb. 46: Ansteigende Herzfrequenz bei einer Gruppe mit freiem Kuhverkehr (schwarz, obere Kurve) und einer mit geregelterm Kuhverkehr (grau, untere Kurve) vor und während des Fressens.

In Erwartung des Futters ist ein klarer, anhaltender Trend zu einer höheren Herzfrequenz bei den Tieren zu sehen. Die Trendlinien in Abbildung 46, die mit Hilfe von gleitenden Mittelwerten erstellt wurden, verdeutlichen den Kurvenverlauf. Beim freien Kuhverkehr starten die Werte bei 87 bpm, etwa 10 Minuten vor dem Melken, beim geregelten Kuhverkehr sind zu Beginn nur 81 bpm zu verzeichnen. Die niedrigere Steigung mit 0,18 bpm im geregelten Kuhverkehr kann in Relation zu der niedrigeren Milchleistung gesehen werden.

In Abbildung 47 wird die Zeitspanne ab fünf Minuten vor dem Melken bis fünf Minuten nach dem Melken für die drei verschiedenen Melkgruppen: Tiere an der Rohrmelkanlage, im freien Kuhverkehr und im geregelten Kuhverkehr, genauer untersucht. Um besser vergleichen zu können, wurde der Beginn des Melkens bei allen drei Gruppen auf den Punkt Null gelegt. Da aber jede Melkung unterschiedlich lang ist, sind die Werte bis Minute 4 nach dem Melken minutenweise zusammengefasst. Unter 5<sup>x</sup> sind

dann alle übrigen Werte gemittelt worden. So sind die Werte nach dem Melken wieder synchron untereinander zu sehen. Auch vor und nach dem Melken wurden die Werte jeweils minutenweise zusammengefasst.

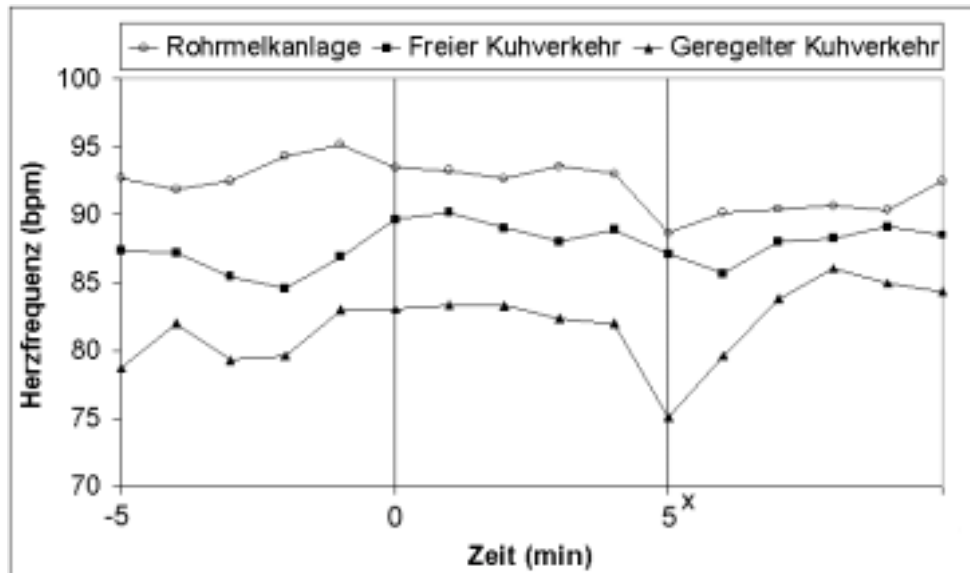


Abb. 47: Die drei Kurven zeigen die mittlere Herzfrequenz pro Minute für die Kühe in der Rohrmelkanlage (Kreise, oben), für den freien Kuhverkehr (Quadrate, Mitte) und den geregelten Kuhverkehr (Dreiecke, unten).

Man kann an Abbildung 47 gut erkennen, dass die Pulswerte in der Regel schon kurz vor Melkbeginn angestiegen sind. Weiterhin fallen die Werte im Laufe des Melkvorganges ab. Anschließend ist wieder ein Anstieg zu verzeichnen, insbesondere bei den Kühen im geregelten Kuhverkehr. Die Kurve der Tiere in der Rohrmelkanlage zeigt einen kleinen Unterschied zu den beiden anderen. Die Herzfrequenz steigt zwei Minuten früher an, bevor die Melkung beginnt. Die Kurven der drei Gruppen zeigen einen signifikanten Unterschied in der Höhe vor und während des Melkens. Der Unterschied der Werte zwischen dem freien und geregeltem Kuhverkehr ist während der gesamten Messzeit offensichtlich. Die höchste Pulsrate wurde für die Tiere in der Rohrmelkanlage dokumentiert.

## 5 Diskussion

### 5.1 Melk- und Milchparameter in der Prozesskontrolle

Um eine verlässliche Prozesskontrolle durchzuführen muss zunächst eine statistische Übersicht über die Herde erstellt werden. Daraus wird ersichtlich, in welchem Bereich die natürliche Variationsbreite anzusiedeln ist. Erst vor diesem Hintergrund kann man die Messwerte bezüglich der Individuen richtig einschätzen. Auf der anderen Seite muss gleichzeitig auch immer der Verlauf der Messwerte bei einem Tier verfolgt werden, um Veränderungen oder gar Messfehler identifizieren zu können.

Für eine zukünftige Verbesserung der Prozesskontrolle ist es ebenfalls wichtig, dass die sich im Prozess der Milchgewinnung seit längerer Zeit ankündigende Verschiebung der Prioritäten, insbesondere durch die Melkroboter, fortgesetzt wird. In der Milchviehhaltung kann, durch die Entwicklung der Tieridentifikation und der verbesserten Sensorik, das einzelne Tier als Individuum immer stärker in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt werden. Dabei ist festzustellen, dass das Euter nicht nur als Ganzes gesehen werden sollte. Die Viertel können in ihrem Verhalten, z.B. bei Erkrankungen, sehr stark differieren. Deshalb sollte auch auf diese Unterschiede stärker als bisher eingegangen werden. Bei Automatischen Melksystemen wird eine viertelspezifische Melkzeugabnahme durchgeführt. Dass dies notwendig ist, zeigen die Untersuchungen mit den LactoCordern. Es konnten erhebliche Differenzen in der Melkdauer der einzelnen Viertel eines Tieres festgestellt werden. Aber auch die genauere Betrachtung von Milchflüssen, -mengen und -inhaltsstoffen ist durch die Sensorik der Melkroboter beim Melken vereinfacht worden. Die getrennte Ableitung der Milch erleichtert die Gewinnung von Viertelgemelksproben.

Die Milchmengen werden beim AMS der Firma Lely allerdings nicht pro Viertel, sondern für das Gesamtgemelk erfasst, da sich die Messung pro Viertel sehr schwierig gestaltet. Auch der LactoCorder stößt bei Viertelgemelksmengen an die Grenze der Messgenauigkeit. Durch den niedrigen Milchfluss, auf Grund von geringen Milchmengen der einzelnen Euterviertel geschieht es, dass der Schwellenwert, bei dem

der LactoCorder anspricht, nicht oder nur spät erreicht wird. Dieser Schwellenwert liegt bei dem hier genutzten LactoCorder bei einem Milchfluss von 500 g/min. Das hat zur Folge, dass bei der tabellarischen Ausgabe teilweise keine oder fehlerhafte Werte erscheinen. Eine mögliche Bimodalität der Milchflusskurve ist in solchen Fällen nicht signifikant identifizierbar. Trotzdem ließ die graphische Auswertung der mitgezeichneten Kurven eine genauere Analyse bezüglich einer Bimodalität zu.

Eine weitere Problematik liegt in den differenten Messungen zwischen dem AMS und dem LactoCorder beim Durchfluss einer so komplexen schäumenden Emulsion, wie es die Kuhmilch ist (SCHÖNE, A. 1993). Die Gründe liegen zum einen im strömungstechnischen Bereich und zum anderen in der temperaturabhängigen Dichtevariation der Milch. Mit Hilfe der parallelen Messung mit den beiden verschiedenen Systemen ließ sich trotzdem eine verbesserte Fehlerabschätzung durchführen. Dies zeigt sich in den Ergebnissen der Messreihe 3. Es konnten dort recht große Differenzen zwischen den gespeicherten Werten der Milchmengen des AMS und des LactoCorders dokumentiert, aber auch vergleichend ausgewertet werden.

In der Prozesskontrolle ist es außerordentlich wichtig, dass nicht nur solche Differenzen erkannt und bereinigt werden, sondern auch pathologisch bedingte Werte als solche sichtbar zu machen sind. Erst nach der Eliminierung der Fehlerquellen kann die natürliche Varianz der Inhaltsstoffe, in diesem Falle in der Milch, bestimmt werden. Nicht bei allen Messreihen, auch nicht bei ausreichend großen Datenmengen, liegen Normalverteilungen vor. Das heißt, dass jede Abweichung zunächst auf Fehlerquellen oder systematisch Beeinflussungen hinterfragt werden muss. Einfache Messfehler sind der Grund für einzelne Abweichung bzw. sogenannte Ausreißer. Deswegen ist es von Vorteil, die meisten Werte unabhängig voneinander mehrfach zu erfassen, um damit den Messfehler genauer bestimmen zu können. Schon daher war es sinnvoll, die vier Euterviertel zu vergleichen, um herauszufinden, wie weit sich diese bereits unterscheiden und wie weit es sich um Messfehler oder um charakteristische Eigenschaften der einzelnen Zitzen handelt. Am deutlichsten lässt sich so etwas an den vom LactoCorder gemessenen Milchmengen erkennen, da der Messfehler der hier getesteten Geräte für so geringe Milchmengen, wie sie bei Viertelgemelken auftreten, bisher noch sehr groß war. Eine neue Variante des LactoCorders, Lac-

toCorder low flow genannt, ist daher in der Zwischenzeit speziell für Viertelgemelke entwickelt worden. Die vorliegenden Werte wurden aber noch mit dem "alten" Typ erfasst, um auf die damit verbundene Problematik hinzuweisen. Gerade auf Grund dieser Ergebnisse ließ sich zeigen, dass eine verlässliche Einschätzung der erfassten Daten möglich ist, wenn eine ausreichende Zahl an Werten vorliegt. So konnte eine Korrelation von  $r = 0,94$  zwischen den aufsummierten LactoCorder-Werten eines Euters und den vom Melkroboter gemessenen Werten erreicht werden. Für eine Gesamtbeurteilung der Herde sind auch diese Werte damit durchaus brauchbar. Dies zeigt sich auch in der Feststellung, dass ein Verhältnis der Milchmenge zwischen vorderer zu hinterer Euterhälfte ca. 40:60 % beträgt. Das Ergebnis bestätigt unseren heutigen Wissensstand auf diesem Gebiet. Da die Streuung der Werte allerdings sehr groß ist, kann man keine Aussage zum Individuum machen, wenn man dort nicht ausreichend häufig die Messung wiederholt. Dies lohnt sich allerdings nur, wenn z.B. gezielte Verdachtsmomente für einen Euterdefekt vorliegen.

Für eine Einschätzung der Tier-Technik-Beziehung besteht die Frage, wie sich die Milchparameter im AMS ändern. Dabei fällt eine sehr niedrige Zellzahl in der AMS-Herde von Betrieb 1 auf. Die Ursache hierfür dürfte in der Bereitschaft des Betriebsleiters begründet liegen, die Tiere zwischen konventionellem Melksystem und Automatischem Melksystem sofort auszutauschen, wenn sich erste Krankheitssymptome zeigen. Außerdem sind bei den veterinärmedizinischen Begleituntersuchungen während des Versuches keine klinisch kranken Tiere aufgetreten.

Bei einfachen annähernd normalverteilten Parametern, wie es die Fett- oder Laktosegehalte sind, hat man eine gute Basis für einen Vergleich und die Einschätzung der Messwerte. Bei zweigipfligen Kurven, wie beispielsweise beim hier gemessenen Proteingehalt der Milch, verbietet sich schon eine einfache Mittelwertbildung. Das Aufspüren von Zusammenhängen zwischen einzelnen Parametern ist für eine Prozesskontrolle von außerordentlich großer Wichtigkeit, um die Interdependenzen dieser Werte zu erkennen. Daraus sind Informationen über den physiologischen Zustand der Tiere zu gewinnen. Mit Hilfe der Harnstoffwerte in der Milch konnten in der untersuchten Herde beispielsweise Rückschlüsse auf die Fütterung gezogen und eine Futterumstellung erkannt werden. Schon 1987 hat KIRCHGEBNER, M. in seinem

bekanntes Lehrbuch Tierernährung davon gesprochen, dass „in jüngster Zeit ... mit der gleichzeitigen Beobachtung von Harnstoff- und Eiweißgehalt der Milch eine Möglichkeit zur einfachen Diagnose von Energie- und/oder Proteinfehlernährung aufgezeigt“ wurde. Bisher kann der Landwirt aber nur im Zusammenhang mit der Milchkontrolle alle vier Wochen den Harnstoff in der Milch erfassen lassen. Dieser Zeitabstand ist aber sehr weit gefasst und für eine präzise Überwachung der Rationen bei weitem nicht ausreichend. Eine Online-Überwachung für die Parameter Harnstoff- und Eiweißgehalt in der Milch ist deshalb anzustreben. Somit ließe sich eine Rationszusammenstellungen bzw. -umstellungen optimieren. Auf die Bedürfnisse der Individuen kann schneller reagiert und Fehlernährungen eingeschränkt werden.

Wie man an den beiden Abbildungen 22 und 23 erkennen kann, ist die Klasseneinteilung für eine Häufigkeitsverteilung von großer Wichtigkeit. So muss beispielsweise bei der somatischen Zellzahl eine logarithmische Skalierung gewählt werden, da die Werte von 10.000 bis 10.000.000 streuen. Bemerkenswerterweise ergibt eine solche logarithmische Stauchung der Abszisse in Abbildung 23 eine annähernde Glockenkurve. Als weiteres muss über die Klassengröße entschieden werden. Eine feinere Einteilung beinhaltet zwar einen höheren Informationsgehalt, dafür hat eine größere Klasseneinteilung eine höhere Redundanz und damit eine gesteigerte Zuverlässigkeit. Diese beiden Alternativen muss man gegeneinander abwägen und optimieren. So könnte in Abbildung 22 auf den ersten Blick angenommen werden, dass die Euterviertel signifikant unterschiedlich sind. Dies ist aber höchst unwahrscheinlich, weil die einzelnen Euterviertel bei so vielen Kühen sich kaum in dieser Weise unterscheiden können. Denkbar wäre lediglich noch ein entsprechender Fehler in der Melkanlage. Aus Abbildung 23 kann man dagegen ersehen, dass diese Information nicht zuverlässig ist. Eine nur minimal geänderte Klasseneinteilung zeigt bereits die völlige Übereinstimmung der vier Viertel.

Die Kontrolle über systematische Fehler bei Melksystemen ist ebenfalls wichtig, auch wenn im hier diskutierten Experiment keine solchen Einflüsse durch die Melktechnik feststellbar waren. In dem vorhergehenden Experiment konnte mit Hilfe des Lacto-Corders ein solcher Einfluss aber durchaus identifiziert und später auch behoben werden. In diesem Fall handelte es sich um die hohen Blindmelkzeiten auf dem Viertel hinten links.

Neben dem Vergleich zwischen den Vierteln ist auch der Vergleich von Werten, die nacheinander gesammelt wurden und so einen Verlauf dokumentieren für eine Prozesskontrolle sehr wichtig. Dabei sollte der Trend der Daten ermittelt werden. Die Abweichungen der Leitfähigkeitswerte machen es notwendig, mögliche Trends zu identifizieren. Dies ist ein gutes Beispiel für wiederholte Messungen, die neben viel Redundanz auch eine leichte Steigerung der Information und insgesamt ein Äquivalent an Sicherheit nach sich ziehen.

Die Auswertung der Milchinhaltstoffe hängt allerdings stark von den Genauigkeiten der Einzelmessungen ab. Deshalb musste eine ausreichende Anzahl von Messungen in Abhängigkeit der Streuung durchgeführt werden. Eine Möglichkeit zur praxisreifen Online-Messung der Milchinhaltstoffe liegt zur Zeit noch nicht vor. Es gibt auf diesem Gebiet allerdings viele Forschungsansätze. Einer davon ist die Messung mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie. Die bisher gewonnenen Ergebnisse sind sehr vielversprechend (TSENKOVA, R. et al. 2000). Der Preis für ein solches System liegt allerdings so hoch, dass mit einem Praxiseinsatz in den nächsten Jahren noch nicht gerechnet werden kann.

Die höchste lineare Korrelation bei den verschiedenen hier untersuchten Parametern besteht zwischen den Leitfähigkeitswerten und der Laktose. Diese Zusammenhänge sind ebenfalls verschiedentlich veröffentlicht (u.a. WENDT, K. et al., 1998). Die niedrige Korrelation zwischen Zellzahl und Leitfähigkeit stimmt mit den Untersuchungen von NIELEN, M. et al. (1992) überein. Die, wenn auch sehr schwache, Tendenz des abnehmenden Fettgehaltes bei längerer ZMZ widerspricht den Untersuchungen von JURJANZ, S., LAURENT, F. und GRAUPNER, M. (1993), die aufgrund ihrer statistisch wenig aussagekräftigen Werte meinen festgestellt zu haben, dass bei einer Steigerung der Milchmenge durch eine erhöhte Melkfrequenz ein Verdünnungseffekt auftritt. Dieses Ergebnis konnte daher nicht bestätigt werden.

Die Mastitisfrühd Diagnose erfolgt momentan über das gängige System der Leitfähigkeitsmessung. Dieser Messparameter wurde in der Arbeit an einem konventionellen Melksystem überprüft, um Einflüsse beispielsweise der Tageszeit oder der Zwi-

schenmelkzeit besser überprüfen zu können. Dazu erfolgte die Erfassung des Parameters Milchtemperatur. In den Ergebnissen kann die Differenz der Milchmenge zwischen Morgen- und Abendmelk durch die unterschiedlichen Zwischenmelkzeiten zumindest teilweise erklärt werden, die bei 13 und 11 Stunden liegen. Daraus lässt sich auch der signifikante Unterschied des durchschnittlichen Milchflusses verstehen. Der maximale Milchfluss scheint dagegen weniger von solchen äußeren Einflüssen abhängig zu sein. Die Erhöhung der abendlichen Milchtemperatur kann zum einen durch die hohen Tagestemperaturen des Sommermonats Juli zustande gekommen sein, zum anderen liegt die Körpertemperatur von tagaktiven Tieren in der Regel abends allgemein höher.

In der Literatur ist ein Unterschied der Leitfähigkeit morgens und abends beschrieben worden. Seine Signifikanz ist aber noch zu prüfen, da die hier gemachten Untersuchungen dies nicht bestätigen konnten. Man muss aber berücksichtigen, dass auch in den vorangegangenen Untersuchungen von SOLOVJOWA, O. und KAUFMANN, O. (1998) ein höherer Fettgehalt im Abendmelk festgestellt wurde, und dass dieser Fettgehalt die Leitfähigkeit beeinflussen kann. Eine damit einhergehende Reduktion der Leitfähigkeit wäre somit möglich. Die höhere abendliche Temperatur der Milch führt dagegen zu einer Steigerung der Leitfähigkeitswerte. Es liegt folglich der Gedanke nahe, dass sich diese beiden konträren Tendenzen gegenseitig kompensieren. Die beobachteten Korrelationen zwischen den Leitfähigkeitswerten einzelner Viertel waren zu erwarten. Sie unterstützen die Bestrebungen die Mastitisfrüherkennung mit Hilfe der analysierten Differenzen zwischen den einzelnen Viertel durchzuführen. Bei dem Mittelwertvergleich der Leitfähigkeit für die Gemelke von gesunden und kranken Eutervierteln konnten Differenzen festgestellt werden, da in der Literatur beschrieben worden ist, dass verschiedene Erreger eine jeweils andere Leitfähigkeitsentwicklung zur Folge haben (NIELEN, M. et al. 1992). Die Unterschiede spiegeln sich auch in den Schwankungsbreiten der Leitfähigkeitswerte der einzelnen Kühe wieder. Wenn ein krankes Viertel auftaucht, gibt es eine größere Differenz zwischen den Minima und Maxima aller Gemelke einer Kuh. Die gemittelten Schwankungsbreiten bei den kranken Kühen liegen um 9 Punkte höher als bei den gesunden.

Bei der vorliegenden Auswertung konnten leider nur sehr wenig positive Befunde beim Mastitisschnelltest gefunden werden. Häufig war bei einer erkrankten Kuh nur

ein oder wenige sporadische Werte vermerkt. In der Abbildungen 23 hingegen ist eine durchgehende Erhöhung der Leitfähigkeitswerte dargestellt. Dies stimmt auch mit Untersuchungen von LANSBERGEN, L.M. et al. (1994) überein. MILNER, P., PAGE; K.L. und HILLERTON, J.E. (1997) beschreiben ebenfalls eine längere Rekonvaleszenzphase, in der die Zellzahl noch 14 Tage nach der Behandlung erhöht ist.

Die Vielzahl der diskutierten Parameter können nun eine Grundlage dafür bieten, ein Decision Support Systems (DSS) zu gestalten. Dabei muss aber beachtet werden, dass es kein absolutes Wissen in der Welt gibt. So können wir nur die Wahrscheinlichkeit maximieren das Richtige anzunehmen, oder um es präziser auszudrücken, die Wahrscheinlichkeit zu minimieren das Falsche anzunehmen. Aus Spielstrategien heraus ist bekannt, dass es einen großen Unterschied gibt, zwischen der Strategie ein Schachspiel zu gewinnen und der Strategie nur nicht zu verlieren. Eine solche rein defensive Strategie muss zunächst kein weit entferntes Ziel anstreben, sondern nur Verluste vermeiden. Erst, wenn sich die Gewinnchance deutlich abzeichnet, kann diese verfolgt werden. Ähnlich große Unterschiede ergeben sich für die Strategie des AMS, wenn dieser entweder eine Kuh korrekt und zuverlässig behandelt oder deren Verhalten vorherzusehen versucht.

In den meisten Fällen müssen wir die Probleme stark vereinfachen. Teilweise werden Bereiche ausgeklammert die nicht unmittelbar relevant sind. Auf Grund dessen, identifizieren wir das wahre bzw. das Kernproblem. Dies ist der erste wichtige Schritt, um ein Problem zu lösen.

Die deskriptive Theorie des „Problem Solving“ und „Decision Making“ ist vor allem damit beschäftigt, wie Systeme Probleme auf eine zu bewältigende Größe reduzieren und wie sie die heuristischen Techniken anwenden. Der schwierige Punkt ist die Filterung des Informationsflusses bzw. -überflusses. Die besondere Aufmerksamkeit muss daher in dieser Frage den Sensoren gelten, die als erstes Filter fungieren. Sie importieren einen begrenzten „Bitstrom“ in das System, der in der richtigen Art und Weise verarbeitet, gespeichert und bei Bedarf wieder aufgefunden werden muss, um herauszufinden, welches die korrekten Aktionen bzw. Reaktionen des Roboters auf

seine Umwelt sind. Die wichtigsten Objekte in dieser Umwelt sind für ihn die Tiere und Menschen. Beide benötigen spezielle Kommunikationskanäle um das AMS richtig zu instruieren bzw. vom AMS informiert zu werden.

In der bedingten Wahrscheinlichkeit von BAYES, TH. (1763) finden wir eine Reihe von Regeln, wie Systeme Informationen berücksichtigen und wie sie auf unvollständige Information reagieren können. Es ist typisch für die Information, dass sie syntaktisch und damit immer von der vorhergehenden Information abhängig ist. Wenn das System Wissen über seine Umwelt hat, ist es in der Lage, die Wahrscheinlichkeit für die nächste ankommende Information vorherzusagen und einige hilfreiche Hinweise über sie anzugeben.

Unter informationstheoretischen Aspekten basiert das „Problem Solving“ auf einer sehr einfachen Relation zwischen Information und Redundanz. Redundanz kann nicht ohne Information existieren und umgekehrt. Die Menge der notwendigen Redundanz hängt von dem Anteil an Rauschen in der ankommenden Nachricht ab. Eine optimale Relation zwischen Information und Redundanz kann beispielsweise durch die kontinuierlichen Leitfähigkeitsmessungen in der Milch gewonnen werden. Wenn alle gemessenen Werte in normalen Grenzen liegen, sind sie redundant, verlässlich und haben nur einen niedrigen Informationsgehalt. Das System arbeitet gut und die Tiere sind unter diesem Aspekt höchstwahrscheinlich gesund. Aber um so stärker ein Wert sich von den anderen unterscheidet, um so informativer ist er im Sinne der Informationstheorie. Er könnte ein Zeichen für eine Krankheit sein, oder aber für einen Defekt des Messsystems. Auf der anderen Seite sind solche stark divergierenden Werte nicht sehr verlässlich, so lange sie nicht wiederholt auftreten. Es ist deshalb ratsam die Messung zu wiederholen.

Bei statistischen Überlegungen hat ein Einzelwert einen annähernd unendlichen Fehler. Wir brauchen also für jede Information ausreichend Redundanz um Sicherheit zu erlangen. Die Konsequenz solcher Betrachtungen für das „Problemlösen“ ist, dass wir zu diagnostischen Zwecken ein Optimum für die Relation zwischen Information und Redundanz benötigen. Das Berechnungswerkzeug des linearen Programmie-

rens, der Warteschlangentheorie, der Entscheidungsbäume und der verwandten Operations Research Techniken sowie der anderen häufig genutzten Methoden sind wertvolle Strategien um die jeweiligen Optima zu erreichen (KLAUSMANN, H., 1976; BECKMANN, M., 1989).

Menschen beurteilen viele Wahrscheinlichkeiten interessanterweise falsch. Wenn man eine Umfrage macht, ob man gerne eine Behandlung in einer hypothetischen Notfallambulanz hätte, dann bejahen dies sehr viel mehr Menschen, wenn man eine Überlebenschance von 80 % angibt, als wenn man eine Todesrate von 20 % angibt (SIMON, H.A. et al., 1986). Computer hingegen schätzen solche Werte mit einer rechnerischen Objektivität. Im Gegensatz zu dieser unbestechlichen rechnerischen Objektivität haben Menschen aber die Möglichkeit extrem „fuzzy“ zu denken und zu assoziieren. Dies war früher für Maschinen sehr viel schwieriger. Für Klassifizierungen ist das aber sehr wichtig und kann teilweise nur durch Clusteranalysen durchgeführt werden, weil es immer wieder Fälle gibt, die bei einer Entscheidung nicht eindeutig zugeordnet werden können. Das bedeutet, dass Computer zeitweilig Probleme haben, die Messwerte zu klassifizieren. Sie müssen ähnliche Botschaften in Äquivalenzklassen assoziieren und sie als normal oder als anormal charakterisieren. Normalität hängt aber von der Situation ab. Sie steht in starken Wechselbeziehungen mit einer großen Anzahl von anderen Werten. Solche Klassenbildungen können daher weder durch fuzzy logic noch durch Clusteranalysen entschieden werden, sondern nur durch einen Gewinn an Signifikanz durch Redundanz.

H. A. SIMON et al. (1986) haben dazu ein Experiment erwähnt, das den Unterschied zwischen Menschen und Computersystemen in diesem speziellen Fall verständlich macht. In einer Untersuchung haben Probanden z.B. einer Aufzählung von Namen beiderlei Geschlechts zugehört, später erfolgte eine Befragung, ob mehr Männer oder Frauen aufgezählt wurden. Bei einigen Aufzählungen waren die Männer berühmter als die Frauen und bei anderen war es umgekehrt. Das Ergebnis war, dass sich die Probanden an das jeweilige Geschlecht mit den berühmteren Persönlichkeiten häufiger erinnerten. Psychologisch und auch informationstheoretisch ist dies verständlich, da die berühmteren Persönlichkeiten eine verstärkte Aufmerksamkeit erregen, was beispielsweise auch für Lernvorgänge wichtig ist. Es ist ein grundsätzliches

Prinzip bei Lebewesen, dass sie sich an Nachrichten mit erhöhtem Informationsgehalt leichter erinnern. In unseren Gehirnen assoziieren wir die verschiedenen Namen mit Bedeutungen, Computer können dies nur, wenn sie entsprechend programmiert werden. Dafür brauchen sie Thesauri bzw. sogenannte Ontologien, in denen sie nach den Bedeutungen der Benennungen suchen können. Dasselbe muss bei den Identifikationen der Kühe durchgeführt werden. Ein automatisches System muss die gesamte Information einer Kuh assoziieren, um sich ein Bild über den Zustand und das typische Verhalten des Tieres machen zu können. Dazu gehört insbesondere eine „Vorstellung“ vom Gesundheitszustand der einzelnen Individuen.

„Problemlösen“ wurde ursprünglich von Philosophen und Psychologen studiert und erst in neuerer Zeit von Wissenschaftlern der Künstlichen Intelligenz. Laborstudien in diesem Bereich waren ein Zusatz zu den Feldstudien von Personen, die Probleme der realen Welt lösen, wie zum Beispiel Ärzte die diagnostizieren und Schachgroßmeister, die mögliche Spielzüge analysieren. Zur Zeit werden auch historische Aufzeichnungen, inklusive Laborbücher von Wissenschaftlern genutzt, um Problemlösungsprozesse von wissenschaftlichen Entdeckungen zu studieren (SIMON, H.A. et al., 1986). Diese Erfahrungen lassen sich in den Maschinen wie semantische Handbücher nutzen, die von Computern in zunehmendem Maße in ihrer Bedeutung verstanden werden.

Eine der großen Stärken der künstlichen gegenüber der menschlichen Intelligenz liegt in der gezielten selektiven Suche bestimmter gespeicherter Fakten aus umfangreichen Listen. Dies kann mit leistungsfähigen Retrievalsystemen erfolgen, aber auch mit sogenannten heuristischen Strategien, die nicht nur auf den klassischen Versuch-und-Irrtum-Prinzipien beruhen müssen. Sie können auch mit den bereits erwähnten bedingten Wahrscheinlichkeiten, mit Lernfunktionen und mit komplizierten Evolutionsstrategien arbeiten.

Die Suche muss meist zielorientiert erfolgen, da die Möglichkeiten in realistischen Problemsituationen im Allgemeinen sehr zahlreich sein können. Schachgroßmeister untersuchen selten mehr als hundert der Unmengen von möglichen Szenarios mit

denen sie konfrontiert werden. Sie leisten dabei viel unscharfe (fuzzy) intellektuelle Arbeit, indem sie aus langjährigen Erfahrungen heraus assoziieren. Im Gegensatz dazu haben Computer weniger Probleme mit der sogenannten "brute force strategy" in der sie Tausende von verschiedenen Möglichkeiten innerhalb von Sekunden prüfen können. Darum bietet sich für die Melkroboter auch die Sammlung und Auswertung großer Datenmengen, die sie von den Sensoren erhalten, an, die die Fähigkeiten menschlicher Experten weniger ersetzen als vielmehr unterstützen und ergänzen sollen.

Die klassische Hill Climbing Strategy (SCHWEFEL, H.-P., 1977) basiert auf der Bestimmung profitorientierter Entscheidungen im jeweiligen Umfeld. Sie kann von Vorteil sein, wenn es darum geht, aus den eintreffenden Daten ein lokales Maximum zu ermitteln. So ließe sich von einem Computer innerhalb einer gewissen Lernphase problemlos ermitteln, bei welcher Besuchshäufigkeit eine Kuh die meiste Milch abgibt, vorausgesetzt die Tier-Technik-Beziehung ist frei von zu starken Störungen.

Eine andere, recht leistungsfähige Strategie ist die Means-ends Analysis. In ihr analysiert der Problem Solver durch Vergleich zwischen der momentanen Situation und der Zielsituation, wie weit er von seinem Zielwert entfernt ist, und sucht in seinem Gedächtnis (Memory) nach Wegen zur Verminderung dieser Distanz.

Hier sind also zwei Voraussetzungen zu erfüllen:

1. Das Ziel muss bekannt sein.
2. Das System muss Erfahrungen über mögliche Zugangswege erlangen können.

Bezogen auf das AMS bedeutet dies, die Zielstellung Gesundheit und Wohlbefinden, zu denen die Normalwerte bekannt sind, anzustreben. Die Wege dazu können aber recht verschlungen sein, weil zahlreiche Parameter wie Temperatur, Luftfeuchte, Futterangebot, Melkhäufigkeit, Eutergesundheit, Milchproduktion, etc. mit eingehen.

Die wohl meisten Erfahrungen mit Expertensystemen stammen aus dem diagnostischen Bereich in dem die Symptome von Patienten oder Systemen analysiert werden. Das dazu erforderliche Wissen wird aus der Erinnerung und aus zusätzlichen Informationen rekrutiert, die bei Bedarf erhoben werden, um zwischen den verschiedenen in Frage kommenden Krankheiten zu unterscheiden (SIMON, H.A. et al., 1986).

Ein AMS kann allerdings durch ein einziges außergewöhnliches Symptom alarmiert werden, aus dem heraus sofort bestimmte Abfragen bei den Sensoren und im Wissensspeicher erfolgen, um eine verlässlichere Diagnose zu gewinnen. Im einfachsten Fall kann das Ergebnis sein, sofort einen Tierarzt zu benachrichtigen. Hier sollte es aber möglichst keine überflüssigen Fehlalarme geben, und bei berechtigtem Alarm könnte das AMS dem Veterinär auch sein Wissen automatisch bereitstellen. Es muss natürlich nur die derzeitige Situation überwachen und beispielsweise nicht über therapeutische Schritte entscheiden. Hier bleibt die Verantwortung in der Hand des Fachmanns. Die Intuition und das Urteil gewinnen Experte aus ihrer Fähigkeit des schnellen Wiedererkennens, verbunden mit einer großen Fülle von Assoziationen.

Heute beginnt man daher unter Einsatz der Künstlichen Intelligenz Systeme zu produzieren, die mit Hilfe der Sensorik ebenfalls assoziativ arbeiten. Dabei bietet sich eine große Fülle von verschiedenen Aufgaben und Anwendungsbereichen, vom Auto bis zur Wettervorhersage (TANIMOTO, S.L., 1990). Beide, Mensch und Maschine, und in gewisser Hinsicht auch das Tier müssen lernen aufeinander einzugehen und richtig zu reagieren.

Expertensysteme werden in ihrer Grundkonzeption von Expertensystemingenieuren in enger Zusammenarbeit mit Experten des jeweiligen Faches konstruiert. Bei der Nutzung von so entstandenen Expertensystem-Shells sind die sogenannten Wissensingenieure gefordert, die das notwendige Wissen in die Systeme einbringen. Dazu ist es erforderlich, dass man alle wichtigen Parameter erfasst, die entsprechenden Sensoren zum Einsatz bringt und die Vorbereitungen zu den Entscheidungsfindungen trifft. So wie die Lebewesen ihre Intelligenz erben, so müssen auch Maschinen der Künstlichen Intelligenz ihre Einstiegsvoraussetzungen zu Beginn vom Programmierer erhalten.

## 5.2 Verhaltensparameter beim AMS

Um das Verhalten der Kühe am AMS zu verstehen und auch einschätzen zu können, müssen zunächst einmal Kenntnisse über das natürliche Verhalten vorhanden sein. Dazu ist aus der Literatur bereits einiges bekannt. Ein besonders wichtiges Merkmal ist, dass Kühe Herdentiere sind, und dazu neigen, möglichst alles gemeinsam zu tun. Darüber hinaus sind sie auch Gewohnheitstiere, die ein hohes Maß an Routineabläufen brauchen (ALBRIGHT, J. and ARAVE C., S. 16, 1997). Beim AMS ist dies nicht in vollem Umfang zu gewährleisten. Die Kühe können nur nacheinander gemolken werden, und auch das Fressen kann bei der Herde nicht zeitgleich erfolgen, da der Melkroboter aus ökonomischen Gründen möglichst über die gesamten 24 Stunden des Tages ausgelastet werden sollte. Man muss das Verhalten der Kühe aber insofern differenziert betrachten, als es deren Neigung ist, sich in der Nähe der übrigen Herdenmitglieder aufzuhalten (SAMBRAUS, H.H., 1973). „Wenn die ersten Tiere sich auf der Weide am Ende einer Liegeperiode erheben, beginnen sie zunächst am Lieblingsplatz zu fressen, ziehen dann aber allmählich fort. Dies ist ein Zeichen für die übrigen Tiere, aufzustehen und ihnen rasch zu folgen, bis die Herde wieder vereinigt ist“ schreibt SAMBRAUS, H.H. (1978). Auf Portionsweiden soll, nach Meinung des selben Autors, die Synchronisation des Verhaltens bei weitem nicht so ausgeprägt sein. Auch in einem Milchviehstall trifft man verschiedene Verhaltensweisen gleichzeitig an, da die Tiere, bedingt durch die engeren Abmessungen im Stall, immer nah zusammen sind. WINTER, A. und HILLERTON, J.E. (1995) konstatierten ebenfalls in ihren Untersuchungen, dass das Liege- und Fressverhalten signifikant desynchronisiert war. So kommt dieses Problem bei sozialer Dichte nicht so stark zum Tragen. Bei einem Weidesystem mit AMS kann sich dieser Umstand allerdings wieder anders darstellen.

Die zu Beginn angesprochenen Routineabläufe sind in Melkroboterställen besonders wichtig, denn Wissenschaftler und Praktiker empfehlen gleichermaßen anfallende Routinearbeiten immer zur selben Zeit durchzuführen, da sonst die Tiere negativ reagieren. Sie erscheinen teilweise nicht mehr freiwillig an der Melkbox, so dass die durch das AMS gewonnene Flexibilität der Mitarbeiter teilweise wieder eingeschränkt wird. Auch LIEBLER, J. et al. (2000) empfiehlt eine geordnete Organisation, die sich

bewährt hat, wobei die Melkarbeiten in gewissen Grenzen trotzdem flexibel gestaltet werden können.

Ein weiterer relevanter Verhaltensparameter ist die Frage der Saughäufigkeit und der Säugezeit der Kälber bei den Kühen, den dies wird mit den Melkungen am AMS häufig in Zusammenhang gebracht.

Obwohl Saugvorgänge verhaltensphysiologisch von Kälbern an ihren Müttern grundsätzlich zu jeder Tageszeit vorgenommen werden können, was bedeutet, dass eine vollständige Auslastung der Melkroboter dem natürlichen Verhalten nicht widerspricht, stellt SAMBRAUS, H.H. (1978) dennoch fest, dass eine gewisse Tagesrhythmik beobachtbar ist. Bei Tagesanbruch trinken alle Kälber. Am Spätnachmittag bis zum Abend ist ebenfalls eine Hauptsaugphase, und auch um die Mittagszeit steigt die Zahl der Saugakte nach SAMBRAUS, H.H. (1978) leicht an. WENDL, G. et al. (1997) konnten in einer Verteilung der Melkungen der gesamten Herde über den Tag zeigen, dass die Kühe besonders häufig morgens und abends die Melkbox aufsuchen. In den Mittagsstunden von 11 bis 17 Uhr jedoch war ein deutlicher Rückgang der Melkungen pro Stunde sichtbar. Man muss allerdings berücksichtigen, dass der Mensch die Tiere in ihrem Rhythmus stark beeinflusst (SAMBRAUS, H.H., 1978). Möglicherweise wird diese Rhythmik auch durch den Mensch vorgegeben. Bei den eigenen Untersuchungen zur Häufigkeitsverteilung der Melkungen beispielsweise ist der starke Rückgang um die Mittagszeit in Betrieb 1 durch die Reinigung des Stalles zu erklären.

Da Rinder lichtaktiv sind und einem circadianen Rhythmus unterliegen, ist eine völlig gleichmäßige Auslastung des AMS also nicht von Natur aus zu erwarten. Dennoch zeigen auch die Untersuchungen von WENDL, G. et al. (1997), dass zu keiner Stunde der Roboter stillsteht. Nachts, von 23 bis 6 Uhr, werden allerdings weniger Melkungen durchgeführt, als morgens und abends. Die Herdengröße entsprach mit 37 Mitgliedern, bei diesem Versuch WENDLS et al., nicht den in der landwirtschaftlichen Praxis gegebenen Verhältnissen, so dass der Melkroboter keine volle Auslastung hatte. Schon in den Versuchen von 1987 fand IPEMA, A.H. in einer Vorstudie zu den

automatischen Melksystemen zwischen Mitternacht und 6:00 Uhr morgens die niedrigste Anzahl von Melkungen. Um aber die teure Technik des Melkroboters maximal zu nutzen, müssen die Kühe angeregt werden, möglichst rund um die Uhr die Melkbox aufzusuchen. Bei größeren Herden ist dies zwangsläufig der Fall. Die Kapazitätsgrenze eines Einboxensystems ist allerdings nicht nur von der Anzahl der Tiere am Roboter abhängig, sondern auch vom durchschnittlichen Milchfluss, von der ermolkenen Milchmenge und der durchschnittlichen Melkfrequenz der Herde. Anhand der eigenen Ergebnisse konnte festgestellt werden, dass bei einem voll ausgelasteten AMS auch nachts kein Rückgang der Besuche an der Melkbox festzustellen ist. PEDERSEN, S. (2000) hat ebenfalls die Aktivität der Kühe im Stall bei Automatischen Melksystemen analysiert. Seine Untersuchungen ergaben auch, dass die Tiere in der Nacht und am frühen Morgen besonders wenig Aktivität zeigen, während am Tag und am Abend eine erhöhte Aktivität zu verzeichnen war. Dabei konnte in den verschiedenen Stallbereichen immer wieder gegen 18:00 Uhr ein Maximum aufgezeichnet werden. Der Autor zieht daraus den Schluss, dass Kühe einen typischen diurnalen Rhythmus zeigen, wenn sie sich frei bewegen können. Ergänzend muss aber hinzugefügt werden, dass die Tiere gerade beim Melken solch ein Aktivitätsmuster nicht zeigen können, da die Möglichkeit dazu nicht besteht.

### **5.2.1 Besuchsfrequenzen beim Melken**

Zur optimalen Auslastung ihres Systems hat die Fa. Lely eine spezielle Zulassungsformel entwickelt. Aufgrund dieser Formel, die bestimmt, in welchen Zeitabständen die einzelnen Tiere in das AMS Einlass finden, gestaltet sich die Zulassung zum Melken für die Kühe relativ ungewiss. Die Tiere können sich nicht darauf einstellen, wann sie gemolken werden, denn bei jeder Melkung ergibt sich aus der Formel eine neue Situation, in Bezug auf die Zulassung der Kuh. Die Software orientiert sich dabei nicht an festen Zeiteinheiten, sondern an der Anzahl der vorangegangenen Melkungen. Die Konstante  $K$  reduziert diese angestrebte Anzahl etwas, je nachdem in welcher Größe sie vom Herdenmanager gewählt wurde. Wenn ein Tier also früher als angestrebt die Melkbox betritt, so kann, je nach Einstellung am System, möglicherweise trotzdem eine Melkung erfolgen. Es ist somit möglich, dass der Faktor  $K$  ein so starkes Gewicht erlangt, dass die ganze Formel außer Kraft gesetzt wird.  $K$  hat damit ein sehr hohes und für das einzelne Tier unabsehbares Gewicht.

Anhand der Häufigkeitsverteilung der Gemelke über den Tag am AMS zeigt sich eine sehr starke Auslastung der Melkbox. Man kann davon ausgehen, dass mehr als maximal 7 bis 8 Melkungen pro Stunde nicht durchzuführen sind. Bei den gemittelten Werten der Häufigkeitsverteilung der Melkungen über den ganzen Tag beim freien Kuhverkehr wird in Abbildung 32 deutlicher, dass die Kapazitätsgrenze erreicht ist, als in Abbildung 31, wo dies noch nicht unmittelbar erkennbar wird. Es gibt dort immer wieder Stunden in denen nur 6 oder gar 5 Melkungen durchgeführt werden. Ein Grund dafür können aber auch Servicearbeiten am Roboter oder die Spülung der Melkanlage sein, so dass die angestrebten 8 Gemelke zeitlich nicht durchführbar sind. Der in der Formel zugrunde liegende Gedanke ist, dass bei einer Überlastung des Systems die Tiere seltener eine Melkzulassung erhalten, so dass es zu insgesamt weniger Melkungen kommt. Dies führt aber zwangsläufig zu einer erhöhten Anzahl von Besuchen, in denen die Tiere ohne Melkung durch das AMS geleitet werden. Der Gedanke, durch stärkere Zulassungsbegrenzungen, wie es sich aus der Formel ergibt, mehr Tieren das Gemolkenwerden zu ermöglichen, ist insofern nicht schlüssig. Man sollte daher noch anmerken, dass eine maximale Melkauslastung des AMS mit 8 Gemelken pro Stunde noch kein Zeichen dafür sein muss, dass dies von den Tieren besonders bevorzugte Zeiten sind, da die wirklich besonders hohe Attraktivität, insbesondere für die dominanten Tiere, dazu führt, dass diese, wie oben begründet, das System ohne Melkung durchlaufen. Die Melkbox ist in diesen Perioden erhöht blockiert.

Durch die Formel wird die Tier-Technik-Beziehung unmittelbar beeinflusst. Die einzelnen Individuen können aus den Signalen des AMS keine eindeutigen Schlüsse ziehen. Den Zeitpunkt der Melkerlaubnis müssen sie aus den Vorgaben der Software zu erlernen versuchen. Durch die sich verändernden Parameter des Laktationsstadiums und der Milchmenge ist dies für die Kühe praktisch ein unmögliches Unterfangen. Das Verhalten der Kühe wird durch den Melkroboter maßgeblich beeinflusst, indem bei den Tieren ganz individuelle Anpassungsstrategien zu beobachten sind. Einige kommen ständig, andere gar nicht mehr. Plötzlich auftretende Veränderungen der Besuchserlaubnis stören die Lernvorgänge, die mehrere Wochen erfordern. Beispielsweise die durch die sprunghafte Veränderung des Faktors A (in der Zulassungsformel) beeinflusste Kuh Nr. 114 hätte sich innerhalb von Stunden an eine Verschiebung der Zwischenmelkzeit von 8 auf 12 Stunden anpassen müssen.

Als Fazit ist festzustellen, dass ein Teil der Tiere weniger aufgrund individueller Bedürfnisse, denen das System gerecht werden sollte, handelt, als vielmehr durch die wiederholten Versuche an Kraftfutter zu gelangen. Ein anderer Teil findet sich in den Vorgaben, bedingt durch die Formel, durchaus zurecht, ist aber um so mehr irritiert, wenn sich die Bedingungen ändern. Dabei muss beachtet werden, dass Stress und Unsicherheit eng miteinander verbunden sind (WIEPKEMA, P.R., 1993). Dieser Autor (S. 14, 1993) zählt dabei einige Autoren auf, die festgestellt haben, dass "Streß auftritt, wenn die Voraussagbarkeit und/oder die Beeinflussbarkeit wichtiger Vorfälle herabsinkt." Genau dies tritt im Prinzip durch die hier betrachtete Formel auf.

SIMON, H.A. (1982) unterstreicht, dass Geräte, die von Menschen benutzt werden sollen, für den Bereich der Wechselwirkungen zwischen Menschen und Maschine („Mensch-Maschine-Schnittstelle“) von „Humantechnikern“ und nicht alleine von Hardware-Technikern gestaltet werden müssten. Dieser Gedanke trifft für die „Tier-Technik-Schnittstelle“ sicherlich noch in größerem Maße zu, da die Tiere nicht bewusst, wie der Mensch, mit der Technik umgehen können. Nur der Mensch kann das Funktionsprinzip einer Maschine verstehen und sich so darauf einstellen. Er entwickelt ein Wissen über sein Wissen, wozu Tiere grundsätzlich nicht in der Lage zu sein scheinen.

Das Holen der Kühe muss so gering wie möglich gehalten werden, da die Arbeitsbelastung dadurch stark steigt und so die Vorteile der Zeiteinsparung sogar ins negative gekehrt werden können. Im freien Kuhverkehr ist das Problem des Holens der Kühe systembedingt größer. Dabei treten immer wieder Tiere auf, die es nie lernen, freiwillig die Melkbox aufzusuchen. Diese Kühe sollten konsequent selektiert werden. Daneben gibt es Fälle, bei denen Tiere sich sporadisch weigern die Melkbox freiwillig aufzusuchen. Die Gründe hierfür sind bereits genannt worden, und führen zu starken Schwankungen bei der Anzahl der zu holenden Kühe, so dass es innerhalb verschiedener Betriebe zu großen Unterschieden kommen kann. KREMER, J.H. und ORDOLFF, D. (1992) nennen eine Zahl von über 50 % der Tiere, die zum AMS gebracht werden müssen. Dieser Wert ist im Verhältnis zu den 2,8 Gemelken pro Kuh und Tag zu sehen. Im Vergleich dazu findet sich bei IPEMA, A.H. et al. (1987) ein Wert von etwa 15 - 20 % bei 3,9 Gemelken pro Kuh und Tag. Die relativ hohe Zahl

von 3,9 lässt vermuten, dass das AMS nicht ausgelastet war und die Tiere dadurch einen vergleichsweise ungehinderten Zugang zur Melkbox hatten. Zum einen sind die Wartezeiten vor dem AMS bei kleineren Herden kürzer, zum anderen kann bei weniger Tieren auch eine höhere Melkfrequenz pro Tier angestrebt werden.

Beim Anlernen werden die Kühe zu bestimmten Zeiten in die Melkbox geführt. Je nach den individuellen Fähigkeiten und Eigenheiten gehen die Tiere nach einiger Zeit selbständig in die Melkbox. Dabei orientieren sie sich zunächst an den Zeiten, zu denen sie vom Menschen zum Melken gebracht wurden. Diese Bindung verliert sich dann nach einiger Zeit. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist dies durch die Software im Hintergrund begründet. Je nachdem finden einige Tiere zu ihrem individuellen Rhythmus, während andere eher zufällig wiederholt den Versuch machen in das AMS zu gelangen. Die vorliegenden Beispiele machen deutlich, dass die Tiere individuelle Lernzeiten und Lernerfolge haben. Dies ist auch ein Ergebnis der Lernversuche mit Afrikanischen Zwergziegen an einem Vierfeldermonitor im FBN Dummerstorf. In der Veröffentlichung von FRANZ, H. und REICHART, H. (1999) kann man eine große Variationsbreite beim Lernverhalten der einzelnen Tiere erkennen. Die Autoren geben den Variationskoeffizienten mit etwa 14 % in den ersten 10 Testtagen an. Dabei ist auffällig, dass die Ziegen zum Lernen 14 Tage Zeit haben. Auf Grund des Kurvenverlaufes muss man aber davon ausgehen, dass nach den vorgegebenen zwei Wochen noch eine Steigerung des Lernergebnisses zu erwarten ist. Andererseits entsteht die Frage, wie weit die Tiere auch nach längeren Lernphasen noch Fehler machen, um mögliche Veränderungen im Test abzufragen. FRANZ, H. und ROITBERG, E. (2001) sind der Frage nachgegangen, wie sich verschiedene Lernsituationen, in diesem Fall die Zweifach- und die Vierfachwahlmöglichkeit, auf den Lernerfolg auswirken. Interessanterweise waren die Lernerfolge bei der Zweifachwahlmöglichkeit deutlich schlechter. Die Ziegen erreichten ihr Ziel, ausreichend Wasser aufzunehmen, wenn sie einfach zufällig die Schalter betätigten. Klare Signale, die für einen Lernerfolg unumgänglich sind, gab der Zweifeldermonitor so nicht. Deshalb kam es auch zu weiterführenden Untersuchungen, bei denen FRANZ, H. (2001) den Einfluss der Trainingsmethode auf das Lernverhalten prüfte. Hier konnte festgestellt werden, dass eine spezielle Software, die eine aufkommende Feldstetigkeit korrigierte, den Lernerfolg verbesserte. Unter Feldstetigkeit verstehen die Autoren, „die unproportionale Häufigkeit der Wahl eines bestimmten Feldes“, womit gemeint ist, dass die Zwerg-

ziegen eine gewisse Tendenz zeigen, ein bestimmtes Feld wiederholt zu drücken. In den Versuchen konnten einzelne Tiere identifiziert werden, die eine solche Feldstetigkeit aufweisen. Diese Tatsache zeigt deutlich, dass die verschiedenen Individuen ganz unterschiedliche Problemlösungsansätze zeigen.

Verfolgt man die Lernfortschritte der Zwergziegen bei FRANZ, H. und REICHART, H., hinsichtlich der, ursprünglich für den Menschen entwickelten, Formel von C.E. NOBLE (1957), so lassen sich zwei Gleichungen abschätzen:

Entspricht Test 2 in Abb. 48 
$$R_p = 0,85(0,23)^{0,75^N}$$

Entspricht Test 3 in Abb. 48 
$$R_p = 0,85(0,23)^{0,91^N}$$

Bei grafischer Darstellung zeigt sich, dass der Test 1 mit dieser Funktion nicht erklärt werden kann, was an der Feldstetigkeit liegen dürfte, die gerade beim Zweifeldermonitor besonders zum Tragen kommt.

In Test 2 und 3 wird dann ein Vierfeldermonitor verwendet. Die Feldstetigkeit tritt bei dieser Variante nicht so häufig auf. Dabei ist es interessant zu sehen, dass an diesen beiden Formeln die Parameter  $i$  (initial probability) und  $a$  (asymptote of  $R_p$ ) gleich sind, und dass sich der unterschiedliche Lernfortschritt in der jeweiligen Konstanten  $r$  (rate parameter related to  $N_R$ ) darstellt. Der Faktor  $i$  liegt mit  $1 / 4,4 = 0,23$  nur unwesentlich niedriger als 0,25. Hinzu kommt aber, dass der Faktor  $r = 0,85$  die Ausgangsposition  $i$  noch weiter reduziert auf etwa 0,19, was dafür spricht, dass die Ziegen nicht nur die vier angebotenen Schalter betätigen, so wie es ein Mensch machen würde, sondern auch das Umfeld mit einbeziehen. Die Senkung der Ausgangswahrscheinlichkeit  $i$  von 0,25 auf 0,19 trägt diesem Aspekt Rechnung.

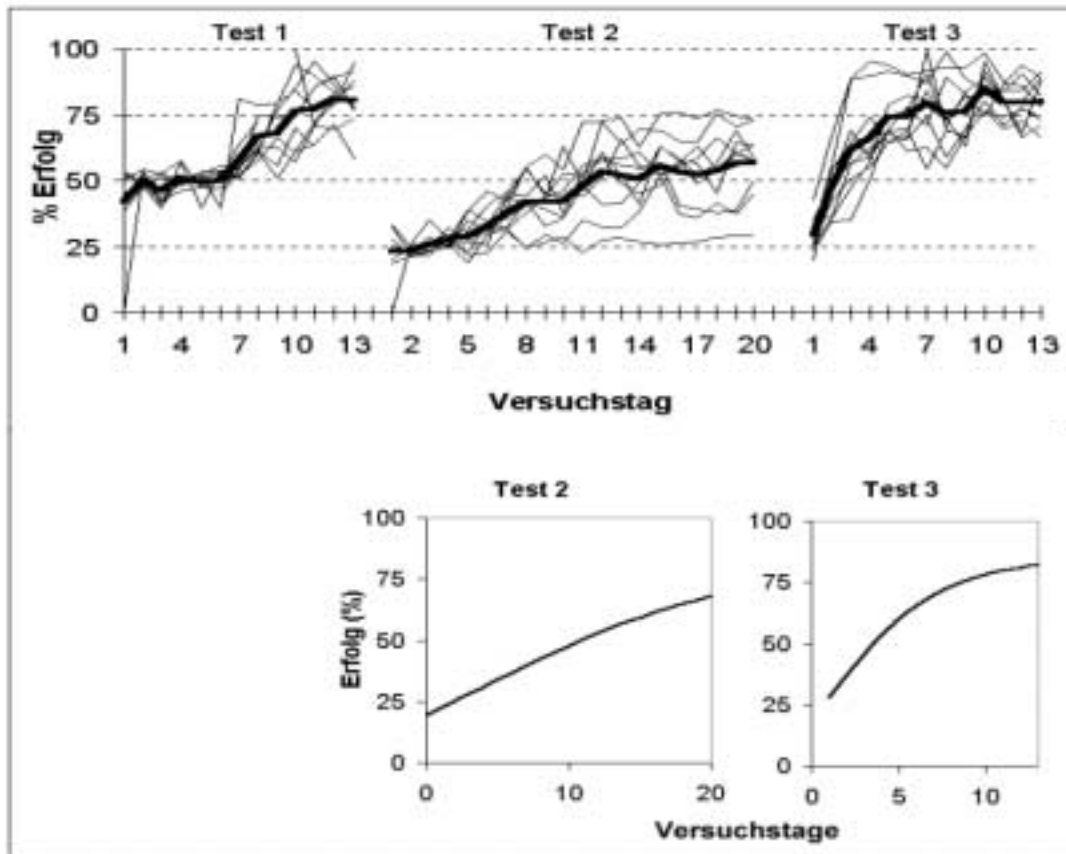


Abb. 48: Individuelle und mittlere Lernkurven von Zwergziegen nach FRANZ, H. und REICHART, H. (1999), darunter die berechnete Form nach C.E. Noble. (1957).

Der Faktor  $r$  mit 0,85 ist ein Hinweis, dass Tiere auch nach einer langen Lernphase immer wieder dazu neigen, einen falschen Schalter zu drücken. Lernsysteme müssen daher immer eine gewisse Fehlertoleranz zeigen. Bei den Zwergziegen lässt sich auch gut beobachten, dass sie zeitweilig die „Schalter“ nicht ganz korrekt betätigen, und so das Lernsystem nicht erwartungsgemäß reagiert. Bezogen auf das Lernverhalten der Kühe kann daraus gefolgert werden, dass auch diese nie zu einer wirklich hundertprozentigen S-R-Beziehung gelangen, die für menschliche Probanden eher problemlos erreichbar ist, wenn das System einwandfrei arbeitet.

Auch bei AMS trifft man immer wieder auf Kühe die ein ähnliches Phänomen zeigen. Die Tiere kommen immer wieder zur Melkbox und versuchen dort Kraftfutter zu erhalten, ohne einen speziellen Melkrhythmus zu entwickeln. Für ein AMS ist dieses Verhalten auf der einen Seite vorteilhaft, da solche Tiere regelmäßig und ausreichend häufig gemolken werden. Der Nachteil ist allerdings, dass der Roboter immer wieder

durch Tiere blockiert wird, die keine Melkberechtigung haben. Wertvolle Betriebszeit geht damit verloren.

Momentan wird noch nicht versucht die Möglichkeiten des Lernvermögens der Tiere auszuschöpfen, um verbesserte Ergebnisse an Krafftutterautomaten, AMS oder ähnlichem zu erzielen. Ein Grund dafür ist sicherlich darin zu finden, dass eine Einbeziehung des Lernvermögens auch eine genaue Kenntnis über die Fähigkeiten bezüglich der Kommunikation der Tiere voraussetzt. In diesem Bereich muss noch einige Forschungsarbeit geleistet werden. Über den Einsatz von visuellen (LAUBE, R. 1975) oder auditiven (POLTEN, S. 1974) Reizen zur Entwicklung von Signalsystemen für eine prozessgesteuerte Milchviehanlage ist aber bereits schon vor fast 30 Jahren berichtet worden. Dennoch stellten FRANZ, H. und REICHART, H. 1999 (S. 493) fest, dass "keines der bisher auf dem Markt angebotenen Gerätesysteme ... die als möglich erachtete Tier-Technik-Interaktion in die jeweiligen Prozesse" einbezieht. Im Laufe der Jahre wurden immer wieder Lernversuche mit Hilfe von visuellen Differenzierungsaufgaben bei Rindern durchgeführt (GILBERT, B.J. und ARAVE, C.W. 1986; FRANZ, H. 1999; SCHAEFFER JR., R.G. und SIKES, J.D. 1971). Dabei liegt momentan der Schwerpunkt der Forschung auf Lernversuchen mit einer visuellen Basis, obwohl SAMBRAUS, H.H. (1978) erwähnt, dass sich Säugetiere vorwiegend olfaktorisch und akustisch orientieren. Die vorliegenden Versuche zeigen, dass die Erinnerung an eine mögliche Nahrungsaufnahme der entscheidende Faktor ist.

Lernversuche bei Tieren funktionieren in der Regel nur, wenn klare Zeichen ausgesendet werden und anschließend eine Belohnung zu erwarten ist. Die Attraktivität des Melkroboters geht maßgeblich vom Krafftutter aus. Das damit verbundene Appetenzverhalten eines jeden Individuums kann als ein permanent gesendetes Zeichen verstanden werden, das der Roboter aussendet, und das von jedem Tier auch entsprechend verstanden wird, sobald der Appetit sich meldet. Die Kenntnis von diesem Zeichen gewinnen die Kühe in ihrer mehrwöchigen Anlernphase. Als eine notwendige Bedingung gehört zu diesem Zeichen, im Sinne der Semiotik, der Melkvorgang. Ziel muss es daher sein, den einzelnen Individuen, diese Verbindung von anlockendem Zeichen aus dem AMS heraus und seiner Konsequenz möglichst eindeutig zu signalisieren. Das kann beispielsweise durch den Duft des Futters signalisiert wer-

den, der in bestimmten zeitlichen Abständen vom Roboter aus verbreitet wird. Wiederholte Ablehnungen stören diesen Zusammenhang empfindlich, da der Roboter in diesen Fällen die Erwartungen der Tiere enttäuscht. Seine Signale dürfen nicht nur art- bzw. herdengerecht sein, sie müssen den Bedürfnissen der einzelnen Kuh gerecht werden, ohne deren Lernfähigkeit zu überfordern.

Einige wenige Kühe lernen es überhaupt nicht den Roboter freiwillig aufzusuchen. Man kann dann davon ausgehen, dass die Formel für die Berechtigung des Melkens nicht als Ursache anzusehen ist. Vielmehr ist es wahrscheinlich, dass der positive Effekt des Futters den negativen Effekt des Melkens für einzelne Tiere nicht überwiegt. Der Vorgang des Melkens wird mit hoher Wahrscheinlichkeit von den Individuen ganz unterschiedlich empfunden. Außerdem zeigen die bereits in Kapitel 1 angesprochenen Untersuchungen von K. RABOLD (1985), dass der Melkvorgang nicht unbedingt als angenehm empfunden wird.

Als letztes ist zu den Melkbesuchen noch anzumerken, dass es für die häufige Annahme, dass dominante Kühe zu den Zeiten gemolken werden, die von der Allgemeinheit der Herde favorisiert werden, keine statistischen Hinweise gibt. Außerdem zeigt sich bei genauerer Betrachtung, dass dies auch kaum wahrscheinlich ist, denn eine gute Kuh soll, bedingt durch die Formel, mindestens dreimal am Tag kommen, so dass sie auch teilweise zu weniger beliebten Zeiten in der Melkbox erscheinen muss.

### **5.2.2 Herzfrequenzmessungen**

Die verschiedenen Kühe zeigen eine erwartete Variation der Herzfrequenz. Die Pulsrate wird durch verschiedene Parameter beeinflusst, beispielsweise durch die Rasse, das Laktationsstadium oder das Alter. Aber es gibt natürlich auch Schwankungen bei den Messungen des einzelnen Individuums, die durch die jeweilige momentane Situation bedingt sind.

Als erstes fiel die starke Zunahme der Pulsrate zu Beginn der Messungen auf. Im Mittel haben alle Kühe einen starken und signifikanten Anstieg der Herzfrequenz gezeigt, begründet durch die Tatsache, dass der Gurt mit dem Messsystem auf die feuchte Haut der Tiere geschnallt wird. Die Kühe sind bei solch einer unbekanntem Situation deutlich gestresst. Dies ist ein leichter Distress mit einem schnellen Anstieg von 6 bpm oder 7 %. Es gibt aber deutlich stärkere Stresssituationen im Leben der Tiere. GEBRESENBET, G. und ERIKSSON, B. schrieben 1998 einen Report über die „effects of transport on animal welfare“. Die Autoren fanden heraus, dass die Herzfrequenz um mehr als das Doppelte ansteigt, wenn die Kühe auf einen Transporter verladen werden.

In Abbildung 44 kann man bezüglich des leichten Distresses am Anfang der Messung eine rasche Reduktion der Herzfrequenz beobachten. Der Anstieg der Herzfrequenz reduziert sich um 50 % innerhalb einer Minute. Es ist auffälligerweise keine Halbwertszeitfunktion, sondern ein logarithmischer Kurvenverlauf, der zeigt, dass es notwendig ist ca. 15 Minuten verstreichen zu lassen, um den Stressabbau abzuwarten. Die logarithmische Abnahme der Kurve kann vermutlich mit dem bekannten Weber-Fechner-Gesetz (FECHNER, G., 1860) erklärt werden, nachdem die Beziehung zwischen Reiz und Empfindung in der Dezibel-Skala ihren Niederschlag gefunden hat.

Nachdem die homeostatische Herzfrequenz erreicht wurde, ist in beiden der hier untersuchten Fälle wieder ein Anstieg zu verzeichnen, im freien und im geregelten Kuhverkehr (Abb. 45). In einem Zeitraum von 40 bis 50 Minuten ist ein leichtes Inkrement von 0,2 bpm zu beobachten. Dies ist in Beziehung zu setzen mit dem Eustress der Nahrungsaufnahme. Im freien Kuhverkehr beginnt der Anstieg bereits 30 Minuten vor dem Melken. Durch den stetigen Anstieg der Herzfrequenz vor und nach dem Melken liegt es nahe, dass die Zunahme tatsächlich durch die Futteraufnahme hervorgerufen wird. Von der ersten Annahme, dass sich die Herzfrequenz auf Grund von Streitigkeiten vor dem Eintritt der Melkbox erhöht, kann man durch die äußerst kontinuierliche Steigung absehen. Auch konnte ein solcher Effekt bei der Gruppe mit geregeltem Kuhverkehr nicht beobachtet werden. Gegen einen Distress durch Streitigkeiten spricht auch, dass es während der Tierbeobachtungen im Eingangsbereich des Melk-

roboters sehr ruhig zugegangen ist. Es ist vielmehr anzunehmen, dass die Kühe in Erwartung des Futters schon einen leichten Anstieg der Erregung, im Sinne eines Pawlowschen Effektes hatten.

Zu Beginn des Melkens hatten die Tiere im freien Kuhverkehr etwa 6 bpm mehr, als die Vergleichsgruppe im geregelten Kuhverkehr. Während des Fressvorgangs ist die Herzfrequenz etwa 10 % höher als zu Beginn. Die Steigung ist in beiden Fällen sehr ähnlich, mit etwa 0,18 bpm bzw. 0,22 bpm. Bei den Kühen mit freiem Kuhverkehr ist der Zeitraum vom Beginn der Messungen bis zum Eintritt in die Melkbox länger. Der Grund dafür liegt aller Wahrscheinlichkeit nach darin, dass die Tiere am Ende des Melkvorgangs zum Futtertisch gehen und die Herzfrequenz statistisch konstant weiter ansteigt. Auch METZ-STEFANOWSKA, J. et al. (1992) stellten fest, dass sich die von ihnen beobachteten Kühe nach dem Melken längere Zeit im Bereich des Futtertisches aufhielten.

Der interessante Effekt der niedrigeren Herzfrequenzen in der Gruppe mit geregeltem Kuhverkehr im Vergleich zur Gruppe mit freiem Kuhverkehr kann mit einer niedrigeren Milchleistung erklärt werden. Die Tiere sind in einem fortgeschrittenen Laktationsstadium, mit einer etwa 25 % niedrigeren Milchleistung. Dies muss im Zusammenhang mit der niedrigeren Herzfrequenz gesehen werden. Kühe, zu Beginn der Laktationsperiode mit einer höheren Milchproduktion, sollten auch eine höhere Futtermittelaufnahme haben, dies wurde aber in unseren Experimenten nicht gemessen. Die tägliche Milchleistung steht wahrscheinlich in direktem Zusammenhang mit der Herzfrequenz, da die Kühe etwa 400 Liter Blut brauchen, um einen Liter Milch zu produzieren. Man kann also kalkulieren, dass etwa 90 ml Blut pro Herzschlag zum Euter transportiert werden müssen. Der Grund für die angezeigten Unterschiede kann so in der höheren metabolischen Rate gesehen werden.

Auch in den eigenen Experimenten war zu sehen, dass die Herzfrequenz durch negative Einflüsse z.B. den Distress durch die experimentelle Manipulation und auf der anderen Seite durch positive wie den Eustress in Erwartung des Futters stimuliert werden kann. Dieser Eustress scheint zu aktivieren und motiviert die Individuen zum

AMS zu gehen. Gleichzeitig sind zwei Oszillationen zu beobachten, die durch eine Fourier Analyse nachgewiesen werden können. Eine Oszillation hat eine sehr niedrige Amplitude und einer Wellenlänge um 7 Minuten und die andere hat etwa 13 Minuten und eine hohe Amplitude. Diese homeostatische Oszillation scheint durch den leichten Distress in Erscheinung zu treten, der zu Beginn der Messungen durch das Anlegen des feuchten Gurtes ausgelöst wurde, aber es ist eindeutig, dass die Periodizität durch intrinsische Faktoren bestimmt wird. Die Amplitude beträgt ein bis zwei Herzschläge und kann nur bei einer sehr sensiblen Methode mit ausreichend Messungen erfasst werden.

Die Herzfrequenz ist in unseren Untersuchungen bereits vor der Melkung angestiegen und erreichte das Maximum von 6 bpm plus während des Melkprozesses. Dies ist in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von WENZEL, C. (1999). Es ist klar, dass dieser leichte Stress startet bevor das Melkzeug angesetzt wird. Ein Grund können die Aktivitäten vor dem Melken, der andere könnte die Erwartung der Tiere sein, im Sinne eines konditionierten Reflexes. Die erfahrenen Kühe wissen was in den nächsten Minuten passiert. Sie sind motiviert zum AMS zu gehen, um Krafffutter in der Melkbox zu bekommen. Diese Idee wird durch den Fakt unterstützt, dass die Herzfrequenz nach dem Melken sehr viel stärker ansteigt. Kühe in der Rohrmelkanlage bekommen ihr Krafffutter direkt nach dem Eintritt. Das Ansetzen der Melkzeuge erfolgt aber nicht sofort. In diesem Fall hat die Kurve einen Peak bevor der Melkprozess beginnt (Abb. 47). Auch ROYLE, C. et al. (1992) stellten den leichten Anstieg der Herzfrequenz vor dem Ansetzen der Melkzeuge durch die Futtergabe fest. Die Kühe zeigten aber bei diesen Untersuchungen einen starken Anstieg zu Beginn des Melkens. Dabei ist zu bemerken, dass sie im Anbindestand gemolken wurden. Die Herzfrequenz, bei dem deutlichen Stresseinfluss, hat sich aber nach Beenden des Melkens nach 10 bis 15 Minuten wieder normalisiert. Dies ist in Übereinstimmung mit meinen Ergebnissen zu sehen. Die Zeit der Beruhigung in dem beschriebenen Versuch beträgt etwa die gleiche Zeitspanne, die die Tiere nach dem Anlegen des Gurtes in meinem Experiment brauchen, um die Herzfrequenz wieder zu normalisieren.

Die Tatsache, dass Kühe in der Rohrmelkanlage eine höhere Pulsrate haben ist ein Hinweis darauf, dass die Fixierung von Tieren im Fressgitter auch als Stressfaktor in

Betracht kommt. Eine Fixierung in einem Klauenstand haben KAUFMANN, C. et al., (1996) in ihrem Versuch bewusst als Stressfaktor eingesetzt. Wenn dies korrekt ist, muss man vermuten, dass der Stress anhält und während der Untersuchung zunächst nicht kompensiert werden kann.

Die Herzfrequenzmessungen haben gezeigt, dass sie für die Einschätzung eines Haltungs- bzw. Melksystems durchaus wichtige Anhaltspunkte für die Tiergerechtigkeit liefern können. Das System von Polar reagiert sehr sensibel. Dadurch können auch die interessanten Oszillationen gemessen werden. Es sollte aber nicht außer Acht gelassen werden, dass ein sensibles System auch leicht durch verschiedene äußere Einflüsse gestört werden kann. Das Wissen um die Fehler einer Messmethode ist unersetzlich, um die Ergebnisse richtig einschätzen zu können. Erst die hohe Zahl an Messungen lässt die hier gezeigten Erscheinungen erkennbar werden.

Bei den Messungen muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Sensoren des Polar Vantage XL einen guten Kontakt zum nassen Fell der Kühe haben, da das Messprinzip auf einer Leitfähigkeitsmessung beruht. So werden immer wieder falsche Werte gespeichert, die herausgefiltert werden müssen. Es ist erstaunlich, dass diese Fehler in den verschiedenen Publikationen nicht ausreichend Erwähnung finden und ihre Konsequenzen auch nur sehr begrenzt diskutiert werden (HOPSTER, H. and VAN DER WERF, J. 2000; WENZEL, C. 1999). Darüber hinaus kann der Kontakt auch beispielsweise beim Niederlegen oder Aufstehen einer Kuh kurzzeitig verloren gehen. Eine sorgfältige Überprüfung der Messwerte vor der Analyse ist deshalb unverzichtbar. Dennoch sind die Monitore von Polar wiederholt für Herzfrequenzmessungen eingesetzt worden (HOPSTER, H. und VAN DER WERF, J. 2000; WENZEL, C. 1999), so dass die Ergebnisse gut verglichen werden können. Eine größere Anzahl von Fehlmessungen kommt zu Stande, wenn die Werte alle fünf Sekunden gespeichert werden. Diesen Fehler kann man aber bei einer ausreichenden Anzahl von Messungen und bei einer kritischen Auswertung kompensieren. Es wurde bereits erwähnt, dass die 7.853 Werte der vorliegenden Untersuchung, die während des Fressens gesammelt wurden, nicht einer Normalverteilung entsprechen. Der Grund dafür scheint relativ einfach zu sein, und darin zu liegen, dass die Herzfrequenz einer Homeostase unterliegt. Deshalb ist die Verteilung der Werte nicht zufällig entstan-

den, sondern durch Abhängigkeit der Mittelwerte von einem Feed-back-System mit gekoppelten Schwingungen.

### **5.3 Tiergerechtheit**

Seit Anfang der 70er Jahre ist die Entwicklung der Einzeltiererkennung technisch realisierbar geworden. Damit ist es möglich die kinetischen Aktivitäten, Futteraufnahme, Leistungen etc. für jedes Individuum automatisch zu registrieren und auszuwerten. Seither besteht die Möglichkeit auch in großen Herden eine tiergerechtere Haltung durchzusetzen, da sich die Tiere nun in Laufställen frei bewegen können und trotzdem eine individuelle Überwachung erfolgt. Diagnostische Maßnahmen können nun in der weiteren Entwicklung folgerichtig eingeleitet und Expertensystemen bzw. sogenannten DSS zugeführt werden. Der Mensch zieht sich dabei zunehmend weiter aus dem eigentlichen Produktionsprozess zurück. Dies wird von den Verbrauchern eher als negativ angesehen. Es sollte aber immer beachtet werden, dass die Tiere von Natur aus nicht auf menschlichen Kontakt angewiesen sind. Trotzdem muss gerade bei landwirtschaftlichen Nutztieren die Tier-Mensch-Beziehung bei möglichst voll automatisierten Haltungssystemen gepflegt werden, da der Mensch seine Kontrollfunktion nutzen und regelmäßig Tierkontrollen durchführen muss. Nach ersten Umfragen von KOWALEWSKI H.-H. und FÜBBEKER, A. (1999) gibt es einen Hinweis darauf, dass die Zutraulichkeit nach Einführung des AMS eher größer geworden ist. Auf Grund der veränderten Bedingungen ist daher auch über die Rolle des Menschen in der Mensch-Tier-Beziehung neu nachzudenken. Die Verantwortung des Menschen bleibt weiterhin bestehen, auch wenn ein Großteil der Arbeit die Maschinen machen. Dies ist auch aus juristischen Gründen wichtig, da nur der Mensch und nicht die Maschine bei Gesetzesverstößen belangt werden kann. Im Sinne einer humanen Tierhaltung konzentriert sich die Beziehung zwischen Mensch und Tier verstärkt auf die Bereiche, die vom AMS auch in Zukunft nicht übernommen werden können.

Die große Bedeutung der Verantwortung wird vor allem daran deutlich, dass der Zweck des Tierschutzgesetzes in §1 dadurch charakterisiert wird, dass "aus der Ver-

antwortung des Menschen für das Tier als Mitgeschöpf dessen Leben und Wohlbefinden zu schützen" ist (BGBl. S. 1105, 25.Mai.1998). Deshalb muss man neben einer tiergerechten Haltung auch eine humane Tierhaltung fordern. Unter diesem Begriff versteht man auch, dass das gesamte Wissen der Menschen über die Tiere in die Haltung bestmöglich einfließen sollte. Dies gilt z.B. auch für die medizinische Versorgung, die weder als natürlich noch als artgerecht im engeren Sinne bezeichnet werden kann, wenn man eine Art als Produkt ihrer Evolution ansieht.

Eine natürliche Haltung kann bei landwirtschaftlichen Nutztieren eigentlich nicht in größerem Umfang durchgeführt werden, da ein großes Platzangebot, ein schlechter Zugriff auf die Tiere und die Festlegung der Tierhaltung auf bestimmte Biotope ein Limit implizieren. Darüber hinaus sind die damit im Zusammenhang stehenden negativen Seiten für die Tiere sicherlich nicht wünschenswert, wie beispielsweise ein starker Parasitenbefall etc. Mit dem negativen Begriff der vermenschlichten oder antropomorphen Haltung, darf man eine humane Tierhaltung allerdings nicht verwechseln. Eine antropomorphe Einstellung zum Tier, das damit in vielfältiger Weise überfordert wird, sollte unter allen Umständen vermieden werden.

SUNDRUM, A.; ANDERSSON, R. und POSTLER, G. (S. 8, 1994) stellten fest, dass es immer einen Zielkonflikt zwischen der Wirtschaftlichkeit und den Bedürfnissen der Tiere geben wird. "Haltungssysteme, welche den Eigenschaften einer spezifischen Tiergruppe in jeder Beziehung gerecht werden, kann es demzufolge nicht geben." Gerade auch nach dieser Aussage ist die Einführung des Begriffs der humanen Tierhaltung in die Diskussion wichtig, denn dort erkennt man auch, dass die Tierhaltung stark vom Eingriff des Menschen geprägt und somit die Einstellung des Tierhalters ausschlaggebend für die Lebensqualität der Tiere ist.

In den von Technik geprägten Lebensräumen unserer landwirtschaftlichen Nutztiere, die gerade für eine humane und tiergerechte Haltung große Chancen und Möglichkeiten bieten, wird auch in Zukunft eine gute Beziehung zwischen Menschen und Tieren wichtig sein, da es immer Situationen gibt in denen der Mensch unabkömmlich ist. Dies gilt beispielsweise für tierärztliche Behandlungen, Besamungen, Trans-

porte und das Klauenschneiden. Schon aus Gründen der Arbeitserleichterung und des Arbeitsschutzes, aber auch um keine Leistungseinbußen und zu große Stresssituationen in den oben genannten Situationen zu haben, sollte ein Vertrauensverhältnis zwischen Tier und Betreuer vorhanden sein. Insbesondere beim Aufbau dieses Vertrauens ist ein weitgehend vorhersehbares Verhalten, sowohl beim Tier wie auch beim Menschen, unabdingbar. Gerade in einer von künstlicher Intelligenz geprägten Umwelt ist dies leichter als bisher zu verwirklichen. Menschliche Schwächen, Gemütsschwankungen, Kranken- und Urlaubszeiten werden dadurch in ihren negativen Auswirkungen minimiert. Der große Einfluss des Herdenmanagers bzw. des Stallpersonals ist schon öfter in Untersuchungen bestätigt worden. KNIERIM, U. und WARAN, N.K. (1993) konnten feststellen, dass die Kühe unterschiedlich hohe Herzfrequenzen aufwiesen je nachdem, ob der Melker oder eine Ersatzperson arbeitete. Die durchschnittlichen Veränderungen der tierischen Herzfrequenz beim Melker lagen bei  $5,5 \pm 4,6$  Schlägen pro Minute und bei der Ersatzperson bei  $10,8 \pm 5,1$  Schlägen pro Minute. Auch die ermolkenen Milchmenge zeigte sich bei dem eigentlichen Melker höher. BREUER, K. et al. (2000) führten einen „standard approach test“ nach HEMSWORTH, P.H. et al. (1996) durch. Die Ergebnisse sind signifikant mit der Produktivität korreliert, sowohl die Milchleistung, als auch die Inhaltsstoffe Protein und Fett waren auf den Betrieben niedriger, auf denen sich die Tiere im Standardtest nicht so nah an den Experimentiere heran traute.

Dieser große Einfluss auf die Tiere und ihr Melkverhalten kann beim AMS reduziert werden. Darüber hinaus geben die Autoren zu bedenken, dass man in modernen Melkständen von den Melkern nicht erwarten kann, dass sie mit den Kühen sprechen und Sozialkontakte mit ihnen eingehen, da die Kühe aufgrund ihrer Positionierung nicht unbedingt als Individuum angesehen werden und der Durchsatz beim Melken in der Regel sehr hoch ist. Deshalb sollte das Stallpersonal möglichst regelmäßig bei anderen Gelegenheiten mit den Tieren freundlich umgehen. Diese Schlussfolgerung trifft aber gerade beim AMS zu, da man die Tierkontrolle nicht mehr während des Melkens durchführen kann. Die Kontrolle erfolgt nun separat zu anderen Zeiten. Auch STOOKEY, J.M. (1994) plädiert dafür, dass das Wohlbefinden der Tiere verbessert wird, indem man den Stress reduziert und eine raue Behandlung von frustrierten Mitarbeitern vermeidet. Dabei stellt der Autor auch fest, dass intensive Milchproduktion das Wohlbefinden der Tiere reduziert, wenn so viele Tiere in einer Herde sind,

dass die Kühe u.a. nicht mehr adäquat inspiziert werden können. Der Melkroboter kann dabei eine Hilfe sein, dass mehr Zeit für die Tierbeobachtung zur Verfügung steht. Für ein gutes Management ist dies auch zwingend notwendig.

Es kann aber durchaus vorkommen, dass auch mit Hilfe der Technik das Gegenteil einer verlässlichen Umwelt erreicht wird, in dem die Automatik unberechenbar wird. Als Beispiel wurde bereits die Zulassung zum Melken genannt, es gibt aber auch noch einen anderen wichtigen Bereich, der für Kühe problematisch sein kann. Der Ansetzerfolg der Melkzeuge liegt beim Lely Astronaut bei 97 %, ergo treten bei drei Prozent der Melkungen Fehler beim Ansetzen auf. Die Gründe können im Bereich des Euterexterieurs liegen. Weitere Probleme sind beispielsweise Kühe, die zu unruhig sind oder Tiere deren Euter ödematös ist. Bei einer angerüsteten Kuh versucht dann der Servicearm des Roboters mehrfach das Melkzeug anzusetzen. Wenn dies nicht gelingt, wird das Tier, ohne gemolken worden zu sein, aus der Melkbox entlassen.

Dies ist für die Kuh eine unvorhersehbare und damit unberechenbare Reaktion. STEFANOWSKA, J. et al. (2000) haben die Reaktionen der Kühe auf unterlassene Melkungen untersucht. Dabei konnten die Autoren feststellen, dass alle Kühe Zeichen von Unbehagen zeigten. Schon 1999 bemerkten STEFANOWSKA, J.; IPEMA, A.H. und HENDRIKS, M.M., dass Kühe, bei denen das Ansetzen des Melkzeugs fehlschlug, öfter in den Ausgangsbereich urinierten als gemolkene Kühe. Nach wiederholten Fehlschlägen wanderten die Tiere herum, dies beeinflusste ihr Zeitbudget negativ. Auch die Versuche mit Hilfe einer Vorselektion den Roboter zu entlasten und den Kühen die sehr späte Entscheidung des Gemolkenwerdens in der Melkbox zu ersparen, führten nicht zum gewünschten Ziel. Die Tiere, die den Roboter nicht aufsuchen durften, verweilten im Selektionsbereich noch eine ganze Zeit. Deshalb griffen STEFANOWSKA, J.; TILIOPOULOS, N.S.; IPEMA, A.H. und HENDRIKS, M.M. (1999) dieses Thema nochmals auf und bemerkten, dass in den folgenden Untersuchungen der Selektionsbereich entfernt wurde. Die Autoren versuchten dann die ‚walk-through‘ Selektion einzusetzen. Das Ergebnis war, dass nicht die Tatsache, dass eine ‚walk-through‘ Selektion eingesetzt wurde entscheidend war, sondern die Gestaltung der selbigen hatte für das Wohlbefinden der Tiere die ausschlaggebende Bedeutung.

Die Zuverlässigkeit des Melkprozesses ist für die Kühe also von größter Wichtigkeit und hat einen starken Einfluss auf ihr Wohlbefinden. Man sollte aber beachten, dass damit keine monotone, reizarme Haltungsumwelt gefordert wird. Zwischenzeitliche Veränderungen, die nicht vorhersehbar sind, können auch einen positive Einfluss auf die Tiere, im Sinne eines Trainingseffekts, haben. Als ein Beispiel für die Vermeidung von Reizarmut kann man hier den Stallbau heranziehen. Es ist heute erwiesen, dass schwankende Klimabedingungen einen positiven Einfluss auf das Immunsystem haben. Es ist aber davon auszugehen, dass der Kontakt zu den Menschen durch den Tierarzt, Besamer und Klauenpfleger etc. weiterhin bestehen bleibt, so dass die Tiere keiner zu monotonen Umwelt ausgesetzt sind. Außerdem geht gerade im Milchviehbereich der Trend zu sehr offenen Ställen. Dadurch werden die Kühe ausreichend mit Reizen aus ihrer Umwelt versorgt. Darüber hinaus verpflichtet der Maßnahmenkatalog für Milcherzeuger mit AMS zur Erfüllung der Anforderungen der Milchverordnung dazu, dass zweimal am Tag eine Begehung des Stalles mit gezielter Beobachtung der Gesundheit der Tiere, sowie deren Sauberkeit, insbesondere der Euter (Wunden, Entzündungen, Infektionen) zu erfolgen hat. Insofern haben die Tiere voraussichtlich auch in einer hoch technisierten Umwelt noch ausreichend menschlichen Kontakt.

Auch die Verhaltensparameter können im Sinne einer umfassenden Prozesskontrolle nutzbar gemacht werden. Das Besuchsverhalten wird heute schon beim AMS aufgezeichnet. Möglicherweise könnte eine Steuerung über Signalsysteme das angestrebte Ziel der möglichst gleich langen Zwischenmelkzeiten und ein regelmäßiger Besuch der Melkbox damit verbessert werden. Eine weiterentwickelte telemetrische Messung der Herzfrequenz wäre im Stande dem AMS wertvolle Hinweise auf Stresssituationen, beispielsweise während des Melkvorgangs, zu geben. Bei der Tierart Schwein wird mit Hilfe einer automatischen Klassifikation von Ferkellauten versucht, eine Einschätzung belastender Situationen vorzunehmen (MARX, G. et al. 2001). SCHÖN, P.C. und MANTEUFFEL, G. (2001) arbeiten ebenfalls auf dem Gebiet der Beurteilung emotionaler Stressbelastung von Nutztieren. Die Autoren wollen dabei durch ein künstliches neuronales Netzwerk Vokalisationserkennung betreiben. Die Versuchstierart war auch hier das Schwein, da dies sehr ausgeprägt auf dem akustischen Weg kommuniziert. Die Rinder gelten gemeinhin als Zugehörige zu der Gruppe domestizierter Tiere, die am wenigsten Lautäußerungen von sich geben (WATTS, J.M. und

STOOKEY, J.M. 2000). Die genannten Autoren betonen aber, dass Bedingungen, die eine unangenehme emotionale Komponente haben, wie Isolation, Schmerz oder Angst doch anscheinend assoziiert sind mit erhöhten stimmlichen Reaktionen. So wird darauf hingewiesen, dass man deutliche endogene Faktoren, die die Neigung zur Lautäußerung beeinflussen, gründlich untersuchen sollte, um eventuell eine bestimmte signifikante stimmliche Reaktion zu finden, die man nutzen kann. GRANDIN, T. (1998) zählte die Stimmlaute im Schlachthaus bei Kühen als Indikator für das Wohlbefinden der Tiere. In dem Versuch wurde festgestellt, dass während eines normalen Arbeitsablaufes nur etwa 10 % der Tiere Laute von sich gaben. Im Schlachthof waren 98,2 % der Lautäußerungen mit unangenehmen Ereignissen, wie Ausrutschen, Elektroschocks, verfehlten Bolzenschuss oder durch zu starken Druck bei der Fixierung, in Zusammenhang zu bringen. Dabei weist die Autorin aber daraufhin, dass Rinder die ungestört an einem Platz stehen auch ab und zu Stimmlaute ohne beobachtbaren Grund abgeben.

Möglicherweise ist aber bei einem gründlichen Studium der Kommunikation der Rinder doch eventuell eine interessante Aussage über das Wohlbefinden im Stall oder auch beim Melken abzuleiten und damit ein Signalsystem für Kühe zu konstruieren. Die Tiere müssen in solch einem System die Signale richtig deuten können, dazu ist es unerlässlich auf den Grundlagen ihrer Kommunikation aufzubauen. Genauere Frequenzanalysen sollten durchaus in der Lage sein, einem AMS die gewünschte Information über den Zustand einer Kuh zukommen zu lassen.

## 6 Schlussfolgerungen

Die Tier-Technik-Beziehung bei der automatischen Milchgewinnung ist ein sehr komplexes Problem, bei dem die Milch- und die Melkparameter näher beleuchtet wurden. Gerade dort ist eine sehr interessante Schnittstelle zwischen Tier und Technik, da das Euter, als sehr sensibler Bereich, direkt mit der Melktechnik in Kontakt kommt. Die Untersuchungen wurden mit Hilfe von LactoCordern durchgeführt, aber auch Leitfähigkeitsmessungen und Mastitisschnelltests trugen zur Klärung des Problems bei. Der zweite wichtige Punkt, um eine solche Beziehung zu untersuchen, ist das Tierverhalten. Dabei konnten Daten über mehrere Monate von drei verschiedenen Melkrobotern gesammelt und einer Auswertung zugeführt werden. Um einen Überblick über die Befindlichkeit der Kühe zu bekommen, wurden auch Daten aus Herzfrequenzmessungen analysiert. Dabei erfolgte die Interpretation unter dem Aspekt der Prozesskontrolle.

Ein erster Schritt war die Berechnung der Parameter für die Herden, um die Variationsbreiten als Vergleich für die Messwerte der Individuen heranziehen zu können. Die durchgeführten Milchflussmessungen bestätigen zunächst die bereits bekannte Verteilung der gesamten Milchmenge auf die vordere zur hinteren Euterhälfte von ca. 40:60 und die Verteilung der linken und rechten Euterhälfte auf ca. 50:50. Eine deutliches Zeichen dafür, dass man mit den LactoCordern eine statistische Aussage zu dem Milchabgabeverhalten der Kühe machen kann, obwohl diese Geräte bei der geringen Milchmenge der Euterviertel an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit stoßen.

Bei den Reaktionen der Kühe auf das AMS konnte festgestellt werden, dass nur bei einer Kuh eine Bimodalität aufgetreten ist. Man kann davon ausgehen, dass in diesem Sinne in allen anderen Fällen eine ausreichende Stimulation vorgelegen hat.

Die Milchmenge und die Dauer der Melkung können pro Euterviertel erheblich variieren. Teilweise sind Unterschiede bis zu 275 % zu verzeichnen. Es ist deshalb auch im Hinblick auf eine tiergerechte Haltung wichtig, den Milchentzug viertelspezifisch

vorzunehmen. In den AMS, die bisher auf dem Markt sind wird dies bereits durchgehend praktiziert. Es sollte aber auch daran gedacht werden, dass diese Möglichkeit für konventionelle Melksysteme ebenfalls vorteilhaft wäre.

Es zeigen sich charakteristische Milchflusskurven auf allen Eutervierteln, die für die einzelnen Kühe typisch sind. Der Lely Astronaut hat bisher als erster Melkroboter mit dem Milk Quality Control System (MQC) eine Option zur Verfügung gestellt die Melkzeugabnahme auf die Milchflusskurven der Kühe abzustimmen. Dies sind wichtige Schritte im Sinne einer tiergerechteren Haltung.

Eine zuverlässige Prozesskontrolle erfordert ausreichend gesicherte Messwerte, deren Varianzen nur durch eine ausreichende Redundanz kompensierbar ist. In diesen Überlegungen muss immer die Tatsache berücksichtigt werden, dass stark auffällige Werte ein hohes Maß an Information haben, dafür aber eine geringe Verlässlichkeit. Werte die sich immer wiederholen sind hingegen redundant und haben damit einen geringen Informationsgehalt, aber eine hohe Verlässlichkeit.

Das Messen der Parameter in den vier Vierteln eines Gemelks ist deshalb sinnvoll, da man vier Messwerte für ein und denselben Melkvorgang hat und diese untereinander vergleichen kann. Starke Differenzen liegen entweder Messfehler zugrunde, oder pathologische Veränderung des Gewebes. Die Entscheidung dieser Frage erfordert als erstes eine klare Erkenntnis über die Signifikanz von Abweichungen. Da in diesem Versuch keine kranken Kühe untersucht wurden, ging es hier nicht um die Erkennung solcher, sondern um die Erkennung der Normalwerte und ihrer Streuung. Diese Kenntnis ist eine wichtige Basis für die Prozesskontrolle, wobei gerade durch die viertelbezogenen Werte eine ausreichende Information bzw. Redundanz für die Bewertung auf der Ebene des einzelnen Euters sichergestellt werden kann.

Ein Bezug der Messwerte auf die natürliche Variation ist für die richtige Einschätzung unerlässlich. Nur so kann deutlich gemacht werden, ob das Tier bereits im Gesundheitszustand und im Verhalten von der Norm abweicht. Dabei muss man verschiedenen

Parameter verknüpfen oder die Messungen sofort wiederholen bis ein intelligentes Entscheidungssystem in der Lage ist signifikante Schlüsse zu ziehen.

Theorien menschlicher Problemlösung und Lernvorgänge müssen in der wissenschaftlichen Gemeinschaft eine Basis finden und zu einer ausreichenden Beachtung führen, bevor sie dem Landwirt helfen die richtigen Entscheidungen zu fällen. Dabei konnten bisher Lehrbücher und Nachschlagewerke behilflich sein. Nun tritt die Möglichkeit der Hilfe durch die Künstliche Intelligenz an die Seite der Person des Landwirts/der Landwirtin. Wichtig ist, dass die damit verbundenen Entscheidungen für sie auch einsichtig und verständlich sind. Jede Verbesserung im Verständnis für das Problem verschafft neue Erkenntnisse und damit neues Wissen, das das System speichern und neu indexieren kann, wenn es für das Lösen neuer Probleme nützlich ist. Die Forschung auf diesem Gebiet hat auch neue Ideen aufgeworfen, wie effektives Lernen funktioniert.

Entscheidungsunterstützungssysteme können als hilfreiche Instrumente verstanden werden, die den Landwirten die richtigen Ideen geben die Tiere auf einem perfekteren Weg als bisher zu behandeln und um Probleme rasch und adäquat zu lösen. DSS haben heute die Möglichkeit mit ihren komplexen Suchfunktionen, bis hin zum Data Mining umfassende Kompendien zu liefern, die den Praktiker im „learning by doing“ unterstützen. Dies ist sicher noch nicht das AMS unserer Tage, aber eine hoch attraktive Perspektive, die man bei deren Weiterentwicklung im Auge behalten muss.

Die hier gemachten Beobachtungen legen den Schluss nahe, dass beispielsweise die automatische Leitfähigkeitsmessung eine einfach durchzuführende Möglichkeit ist, um die Mastitisfrüherkennung zu unterstützen. Auch wenn ihre Zuverlässigkeit für eine Frühdiagnose durchaus begrenzt ist, so zeigt sie durch die regelmäßige und objektive Erfassung wichtige Vorteile gegenüber dem Mastitisschnelltest, der von persönlichen und subjektiven Faktoren abhängig ist. Die Leitfähigkeit, die eine hohe Korrelation zum Natrium- und Chloridionengehalt der Milch aufweist, ist dagegen zumindest in ihrer physikalischen Aussage recht eindeutig. Sie zeigt aber nur den

Zustand der Blut-Euterschranke an. Etwas problematisch ist die Beeinflussung der Leitfähigkeitswerte durch den Parameter Milchttemperatur und Milchfett, die nicht berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für Automatische Melksysteme, bei denen die Milchttemperatur durch die unterschiedlichen Melkzeiten am Tag, und der Milchfettgehalt, durch den Ausmelkgrad und in geringem Maße durch die unterschiedlichen ZMZ beeinflusst wird.

Anhand der hier erfassten Beispiele konnte gezeigt werden, dass die Leitfähigkeitswerte eines kranken Euterviertels sich deutlich von den gesunden unterscheiden können. Außerdem bleiben die Werte über längere Zeit im erhöhten Bereich, und machen die Schädigungen des Euters deutlicher sichtbar. Insgesamt ist festzustellen, dass die Mastitisdiagnose mit Hilfe der Leitfähigkeit, in Verbindung mit der Milchttemperatur, gegenüber dem eher subjektiven, und von menschlichen Parametern abhängigen, Mastitisschnelltest Vorteile aufweist und sogar teilweise als zuverlässiger eingestuft werden kann. Bei einem vom Menschen durchgeführten Test ist die Entdeckung von zufälligen, wie auch systematischen Fehlern oft sehr schwierig, da diese sich gegenseitig überlagern.

Um den Menschen aber in der Frage der Milchprüfung vollständig durch die Automatisierung ersetzen zu können ist sicherlich noch viel wissenschaftliche Arbeit zu leisten, weil der einzelne Parameter Leitfähigkeit in seiner Aussage noch zuwenig aussagekräftig ist. Dennoch kann ein ausgereiftes Früherkennungssystem im Bereich der Eutergesundheit durch die vergrößerte Verlässlichkeit der Ausführung in Zukunft der menschlichen Arbeitskraft überlegen sein. Dabei spiegelt solch ein System den Trend wider, dass in der Tier-Technik-Beziehung in zunehmendem Maße die Technik, mit Hilfe der verbesserten Sensorik, die Reaktionen der Tiere beantworten kann.

Die Reaktionen des Roboters müssen aber unter humanen und tiergerechten Gesichtspunkten differenziert erfolgen. So zeigen die Ergebnisse, wie sich die Tiere auf die Vorgaben des AMS einstellen und sich auch Veränderungen anpassen. Als besonders überdenkenswert erweisen sich die Zulassungskriterien für das Melken. Willkürliche Eingriffe durch den Menschen müssen in der Tier-Technik-Beziehung als

störend angesehen werden. Die mehrfach diskutierte Frage der Dominanz von Tieren erwies sich in dem hier untersuchten System als vielschichtiger, aber weniger bedeutsam, als bisher angenommen. Obwohl KETELAAR-DE LAUWERE, C.C. et al. (1996) in ihren Untersuchungen annehmen, dass bei vollem Einsatz der AMS Kühe mit einem geringeren Dominanzwert sich den Kühen mit einer höheren sozialen Dominanz anpassen und die Melkbox zu ruhigeren Zeiten aufsuchen, muss man, nach der vorliegenden Analyse, davon ausgehen, dass die Formel der Zulassungsbegrenzung den weitaus größeren Einflussfaktor darstellt. Zwischen der Verteilung der Besuche und der Verteilung der Melkungen sollte dabei unterschieden werden. Zahlen über die Verteilung aller Besuche liegen in dieser Arbeit nicht vor. Im Rahmen der begleitenden Tierbeobachtungen zu den Herzfrequenzmessung konnten lange Wartezeiten vor dem AMS für einige Tiere wahrgenommen werden. KETELAAR-DE LAUWERE, C.C. et al. (1996) haben sich mit diesem Phänomen näher beschäftigt und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass Kühe mit einem geringeren Dominanzwert eine längere Wartezeit vor der Melkbox aufweisen. Häufig kompensieren sie die fehlende Dominanz durch eine strategische Positionierung, beispielsweise durch das Besetzen einer Liegebox in der Nähe des Eingangs vom AMS. Weiterhin konstatieren die Autoren, dass die tägliche Melkfrequenz und die Gesamtzeit beim Liegen oder Fressen nicht durch den Faktor soziale Dominanz beeinträchtigt wird.

Die Zulassungskriterien bei Automatischen Melksystemen dürfen nicht nur die Optimierung der Milchproduktion, der alimentären Versorgung und der Eutergesundheit berücksichtigen, sie müssen stärker als bisher der Lerngeschwindigkeit der einzelnen Individuen Rechnung tragen. Diese ist aber stark davon abhängig, ob das zu Erlernende den situationsabhängigen Vorstellungen des jeweiligen Tieres entgegenkommt oder nicht. Dabei zeigte sich zunächst, dass Einboxensysteme mit knapp 60 zu betreuenden Kühen nicht wie oft behauptet ausgelastet, sondern eher überlastet sind. Durch die ständige Besetzung der Melkbox ist ein freies Aufsuchen des Systems nicht mehr möglich.

Trotz der anfänglichen Schwierigkeit sind jedoch automatische Systeme in der ökonomischen Tierhaltung in Zukunft eine wichtige Hilfe, tiergerechte und damit auch humane Haltungssysteme zu etablieren. Durch die Interaktionen, die nun in beiden

Richtungen Tier-Technik und Technik-Tier möglich sind, kann auf die Bedürfnisse der Tiere stärker als bisher eingegangen werden. Bei den Überlegungen sollte aber das Verhalten der Tiere im Mittelpunkt stehen, um die Maßnahmen effizient zu gestalten. Gerade in den Bereichen, in denen den Tieren mehr Gestaltungsspielraum zuerkannt wird, können zu stark antropomorphe Überlegungen ökonomische Nachteile zur Folge haben. Die Tiere haben keine Einsicht in die technischen Zusammenhänge. Im vorliegenden Beispiel bedeutet dies, dass Kühe plötzlich nicht mehr selbständig zur Melkbox gehen, sondern geholt werden müssen.

Automatische Melksysteme sind zweifellos ein interessantes Beispiel für die Freiheit von Tieren, auf endogene und exogene Signale selbständig reagieren zu können. Das bedeutet, die Möglichkeit zu bieten, über eine artgerechte Haltung hinaus, auch tiergerechte Bedingungen zu schaffen. Hier zeigen die bisherigen Erfahrungen jedoch, dass wir noch einen erheblichen Bedarf an Erkenntnissen zum Tierverhalten und insbesondere zur Informationsverarbeitung dieser Individuen haben. Eine Kommunikation zwischen dem AMS und der jeweiligen Kuh bedarf einer klaren und für die Kuh erkennbaren Signalwirkung seitens des Roboters. Die Zulassungsberechtigung in der vorliegenden Formel ist nach momentanem Erkenntnisstand zu wenig vorhersehbar für das einzelne Individuum. Sie vernachlässigt nicht nur die biologische Uhr, sondern insbesondere den notwendigen Zeitbedarf, den ein Tier benötigt, um die Konsequenzen dieser Formel zu erkennen. Das Ziel einer humanen Tierhaltung muss sein, über unsere Erkenntnisse von Art- und Tiergerechtigkeit hinaus, unseren Haustieren das gesamte menschliche Wissen zugute kommen zu lassen.

Die Messung der Herzfrequenz ist eine nützliche Methode um die emotionale Reaktion von Individuen auf kurzzeitige Probleme einzuschätzen, aber es ist auch ein Symptom für ein Feed-Back-System mit homeostatischer Dämpfung. Auf Grund dessen ist es ein bekanntes Problem, dass in Herzfrequenzstudien die Veränderungen durch metabolische Aktivitäten zunächst nicht unterschieden werden können von Änderungen durch emotionale Reaktionen. Kühe haben einen sehr hohen metabolischen Umsatz durch die Milchproduktion. Dies muss bei den gesammelten Daten berücksichtigt werden. Auf der anderen Seite ist es offensichtlich, dass der leichte Stress zu Beginn der Experimente bereits nach ein paar Minuten kompensiert wurde.

Als nächstes konnte auch der leichte Stress des Melkens ebenfalls innerhalb von einigen Minuten bewältigt werden. Und auch der lange Zeitraum von etwa einer Dreiviertelstunde bis Stunde, in dem die Herzfrequenz vor und während des Fressens linear ansteigt ist beeindruckend zu beobachten. In diesem Fall ist es höchst wahrscheinlich keine Auswirkung der metabolischen Aktivität, da der Startpunkt lange vor dem Beginn der Digestion beginnt. Es scheint sehr viel wahrscheinlicher, dass die Attraktion des Futtertisches die Tiere motiviert und dass die Herzfrequenz mit diesem Eustress korreliert ist. Die Beständigkeit dieses Anstiegs von 0,2 bpm ist höchst bemerkenswert und es ist ebenfalls sehr interessant, dass eine Oszillation von nur ein bis zwei Schlägen pro Minute als Auslenkung des homeostatischen Trends gefunden werden konnte. Die ansteigende Herzfrequenz ist kein verlässliches Zeichen für Stress generell. Wie auch immer, schnelle Veränderungen der Herzfrequenz erscheinen mit einer hohen Sensibilität, die direkt korreliert sein kann mit einem bestimmten Ereignis. Die Kühe zeigen eine signifikante Differenz zwischen dem Melken in einem AMS und einer Rohrmelkanlage. Das Melken muss als ein sehr leichter Stressor angesehen werden im Vergleich zu Stressfaktoren, wie zum Beispiel starke Schmerzen oder der Transport von Tieren. Ein AMS ist bequemer als eine Rohrmelkanlage mit Fressgitter, und der Stress des Melkens kann fast vernachlässigt werden, da die Kühe in den meisten Fällen motiviert sind durch den Eustress an das attraktive Futter zu gelangen.

## 7 Zusammenfassung

In der Dissertation wurden die Melk-, und Milchparameter sowie das Tierverhalten bei der automatischen Milchgewinnung untersucht. Messungen haben gezeigt, dass auf die Milchabgabe einzelner Individuen und insbesondere auf deren Euterviertel sehr differenziert eingegangen werden sollte, obwohl sich die derzeitige Sensorik in diesem Bereich eher an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit befand. Das Automatische Melksystem (AMS) vermag auf die speziellen Unterschiede der einzelnen Viertel, im Sinne einer verbesserten Tiergerechtigkeit, Rücksicht zu nehmen. Ein weiterer wichtiger Aspekt die Tiergerechtigkeit zu verbessern ist es, eine zuverlässige Prozesskontrolle durchzuführen. Dazu muss zunächst einmal festgestellt werden, wie sich die natürliche Variationsbreite der einzelnen Parameter darstellt, um pathologisch bedingte Abweichungen signifikant erkennen zu können. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass verlässliche Aussagen über den Gesundheitszustand von Kühen im AMS voraussetzen, dass verschiedene interdependente Parameter so verknüpft oder deren Messungen sooft wiederholt werden, bis ein intelligentes Entscheidungssystem seine Schlüsse ziehen kann. Stark auffällige Werte haben ein hohes Maß an Information, aber eine entsprechend geringe Verlässlichkeit. Sich wiederholende Werte haben hingegen einen geringen Informationsgehalt, dafür aber ein hohes Maß an Redundanz bzw. Verlässlichkeit, insbesondere dann, wenn sie durch systematische Fehler entstehen. Für eine zuverlässige Prozesskontrolle kann es vorteilhafter sein, eine automatisierte Datengewinnung zu installieren, auch wenn der einzelne Parameter (z.B. die Leitfähigkeit) zwar wenig aussagekräftig, dafür aber die Durchführung deutlich zuverlässiger ist als bei Tests, die von Menschen manuell durchgeführt werden. Hier ist die Entdeckung von zufälligen, wie auch die von systematischen Fehlern oft sehr schwierig, weil sie sich gegenseitig überlagern. Eine durch Automation dominierte Umwelt kann für Tiere deutlich berechenbarer und damit zuverlässiger gestaltet werden. Das bedeutet, dass für die Individuen weniger Stresssituationen mit den für sie unabsehbaren Folgen entstehen. Es sollte aber dabei beachtet werden, dass es zwingend ist, auf die Lerngeschwindigkeit der einzelnen Tiere, in Abhängigkeit von ihrer jeweiligen Lernsituation, einzugehen, um zuverlässige Umweltbedingungen für die Kühe bereitzustellen. Es konnte weiterhin festgestellt werden, dass das Melken in einem AMS bei den Kühen nicht als belastender Stressfaktor identifiziert werden kann, wenn man die Herzfrequenz als Indikator he-

ranziert und diese über eine längere Zeit analysiert. Der annähernd lineare Anstieg der Herzfrequenz über einen Zeitraum von mehr als einer halben Stunde macht deutlich, dass sich die Tiere auf die Nahrungsaufnahme in zunehmendem Maße einstellen. Der steigende Einsatz von Technik in der Milchviehhaltung kann einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die Haltungsumwelt der Kühe human und tiergerecht zu gestalten.

## 8 Literaturverzeichnis

- Albright, J.L. and Arave, C.W.: The Behaviour of Cattle. Cambridge, CAB International, 1997, ISBN 0 85199 196 3.
- Artmann, R.; Schlüsen, D. und Schön, H.: Möglichkeiten der Prozeßsteuerung in der Tierhaltung am Beispiel der Milchviehhaltung. Züchtungskunde, 1981, 52 (5), S. 301-314.
- Bayes, Th.: Essay Towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1763, 53, S. 370-418.
- Beckmann, M. J.: Spieltheorie, dynamische Optimierung, Lagerhaltung, Warteschlangentheorie, Simulation, unscharfe Entscheidungen. 2., unveränderte Aufl., 1989.
- Breuer, K.; Hemsworth, P.H.; Barnett, J.L.; Matthews, L.R. and Coleman; G.J.: Behavioural response to humans and the productivity of commercial dairy cows. Applied Animal Behaviour Science. 2000, 66, S. 273-288.
- Broom, D.M.: Welfare Assessment and Welfare Problem Areas during Handling and Transport. Hrsg.: Grandin, T.: Livestock Handling and Transport. Cambridge, CAB International, 1993, S. 35-42, ISBN 0 85198 855 5.
- Bull, C.R.; McFarlane, N.J.B.; Zwigelaar, R.; Allen, C.J. and Mottram, T.T.: Inspection of teats by colour image analysis for automatic milking systems. Computers and Electronics in Agriculture. 1996, 15 (1), S. 15-26.
- Devir, S.; Noordhuizen, J.P.T.M. and Huijsmans, P.J.M.: Validation of a daily automatic routine for dairy robotic milking and concentrates supply. Journal of Agricultural Engineering Research. 1996, 64 (1), S. 49-60.
- Eckl, J.: Melkroboter - keine Utopie mehr. Rinderwelt. 1994, 19 (3), S. 12-15.
- Eckl, J.: Kommt der Melkroboter?. Landwirtschaftliches Wochenblatt. Organ des Landesbauernverbandes in Baden-Württemberg. 1996, 163 (18), S. 30-32.
- Eckl, J.: Das Angebot an AMS nimmt weiter zu. Milchpraxis. 2001, 39 (1), S. 39- 43.
- Falaturi, P.: Kenngrößen und Regeln der vierbeinigen Fortbewegung am Beispiel des Pferdes. Göttingen, Univ., Dissertation, Kirchheim: Ed. Schürer, 1998, ISBN 3-9803497-3-X.
- Fechner, G.T.: Elemente der Psychophysik. Leipzig, Breitkopf und Härtel, 1860, Reprinted, Bristol: Thoemmes Press, 1999.
- Franz, H.: Methode zur Untersuchung der Lernfähigkeit von Kälbern in Gruppenhaltung und Ergebnisse bei visuellen Differenzierungsaufgaben. Archiv für Tierzucht. 1999, 42 (3), S. 241-254.
- Franz, H.: Zum Einfluß der Trainingsmethode auf das Lernverhalten von Zwergziegen am Computer. Archiv für Tierzucht. 2001, 44 (5), S. 553-560.
- Franz, H. und Reichart, H.: Der Feldermonitor - eine neue Möglichkeit der Lernforschung mit Tieren und Ergebnisse bei visuellen Differenzierungsaufgaben von Zwergziegen. Archiv für Tierzucht. 1999, 42 (5), S. 481-493.

- Franz, H. und Roitberg, E.: Ein Vergleich des Lernerfolges von Zwergziegen bei simultaner Zweifach- oder Vierfachwahlmöglichkeit in visuellen Differenzierungsaufgaben. *Archiv für Tierzucht*. 2001, *44* (6), S. 661-669.
- Gebresenbet, G. and Eriksson, B.: Effects of transport and handling on animal welfare, meat quality and environment with special emphasis on tied cows. Report No. 233. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences, 1998.
- Georg, H. und Totschek, K.: Untersuchung einer automatischen Kuhputzmaschine für Milchkühe. *Landtechnik*. 2001, *56* (4), S. 260-261.
- Gilbert, B.J. and Arave, C.W.: Ability of Cattle to Distinguish Among Different Wavelengths of Light. *Journal of Dairy Science*. 1986, *69* (3), S. 825-832.
- Grandin, T.: The feasibility of using vocalization scoring as an indicator of poor welfare during cattle slaughter. *Applied Animal Behaviour Science*. 1998, *56* (2-4), S. 121-128.
- Greeno, J. G.: Natures of problem solving abilities. Hrsg.: Estes, W.K.: *Handbook of learning and cognitive processes*. Human information processing. Band 5. Hillsdale, Erlbaum, 1978, S. 239-269.
- Hamann, J.; Nipp, B. und Gyodi, P.: Vergleichende Prüfung von Handgeräten zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit in Milch. *Milchwissenschaft*. 1995, *50* (10), S. 543-646.
- Harms, J.; Wendl, G. und Schön, H.: Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Umtriebsformen auf das Tier- und Melkverhalten beim automatischen Melken. Hrsg.: Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim: *Bau, Technik und Umwelt 2001*. Münster, Landwirtschaftsverlag GmbH, 2001, S. 236 - 241, ISBN 3-9805559-5-X.
- Hemsworth, P.H.; Price, E.O. and Borgwardt, R.: Behavioural responses of domestic pigs and cattle to humans and novel stimuli. *Applied Animal Behaviour Science*. 1996, *50* (1), S. 43-56.
- Hopster, H. and Blokhuis, H.J.: Validation of a heart-rate monitor for measuring a stress response in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 1994, *74* (3), S. 465-474.
- Hopster, H. and van der Werf, J.T.N.: A comparative study of physiological and behavioural responses during milking in primiparous dairy cows. Report No. 2060. ID-Lelystad BV, Wageningen UR, 2000.
- Hopster, H.; O' Connell, J.M and Blokhuis, H.J.: Acute effects of cow-calf separation on heart-rate, plasma cortisol and behaviour in multiparous dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*. 1995, *44* (1), S. 1-8.
- Hull, C.L.: *A behaviour system*. New Haven, Yale University Press, 1952.
- Ipema, A.H.: Integration of robotic milking in dairy housing systems: review of cow traffic and milking capacity aspects. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1997, *17* (1), S. 79-94.
- Ipema, A.H.; Benders, E. and Rossing, W.: Effect of more frequent daily milking on production and health of dairy cattle. Hrsg.: IMAG: *The Proceedings of the Third Symposium on Automation in Dairying*. Wageningen, 1987, S. 283-293.

- Jones, L.R.; Spahr, S.L. and Puckett, H.B.: Variability and Reliability of Real-Time Conductivity Data. *Journal of Dairy Science*. 1994, 77 (1), S. 80-83.
- Jurjanz, S.; Laurent, F. und Graupner, M.: Einfluß einer erhöhten Melkfrequenz auf die Milchzusammensetzung. *Monatsheft für Veterinärmedizin*. 1993, 48 (11-12), S. 631-634.
- Kaufmann, C.; Kündig, H.; Binder, H. und Thun, R.: Messung von Stressparametern bei Nutztieren mittels aktiver Telemetrie. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*. 1996, 138 (5), S. 234-240.
- Kaufmann, O.: Verfahrensgestaltung und Management der Milchproduktion in größeren Beständen. *Züchtungskunde*. 1998, 70 (6), S. 407-413.
- Ketelaar-de Lauwere, C.C.; Devir, S. and Metz, J.H.M.: The influence of social hierarchy on the time budget of cows and their visits to an automatic milking system. *Applied Animal Behaviour Science*. 1996, 49 (2), S. 199-211.
- Ketelaar-de Lauwere, C.C.; Hendriks, M.M.; Metz, J.H. and Schouten, W.G.: Behaviour of dairy cows under free or forced cow traffic in a simulated automatic milking system environment. *Applied Animal Behaviour Science*. 1998, 56 (1), S. 13-28.
- Ketelaar-De-Lauwere, C.C.; Ipema, A.H.; Metz, J.H.M.; Noordhuizen, J.P.T.M and Schouten, W.G.P.: The influence of the accessibility of concentrate on the behaviour of cows milked in an automatic milking system. *Netherlands-Journal-of-Agricultural-Science*. 1999, 47 (1), S. 1-16.
- Kirchgeßner, M.: *Tierernährung*. 7. Aufl., Frankfurt (Main), DLG-Verlag, 1987, S. 298, ISBN 3-7690-0447-7.
- Klausmann, H. S.: *Stochastische Entscheidungsbäume: ein Beitrag zur Lösung von sequentiellen Entscheidungsproblemen bei Risiko. Beiträge zur Datenverarbeitung und Unternehmensforschung*; 18. Meisenheim am Glan, Hain, 1976.
- Knierim, U. and Waran, N.K.: The influence of the human-animal interaction in the milking parlour on the behaviour, heart rate and milk yield of dairy cows. Hrsg.: Nichelmann, N.; Wierenga, H.K. und Braun, S.: *Proceedings of the international congress on applied ethology*. Berlin, 1993, S. 169-173.
- Kowalewsky, H.-H. und Fübbeck, A.: *Ermittlung der Melkleistung, der Kosten und des Arbeitszeitbedarfs bei automatischen Melksystemen*. Oldenburg, Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Referat Landtechnik, 1999.
- Kremer, J.H. and Ordolff, D.: Experiences with continuous robot milking with regard to milk yield, milk composition and behaviour of cows. Hrsg.: A.H. Ipema; A.C. Lippus; J.H.M. Metz and W. Rossing: *The Proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking*, 23.-25. November 1992. EAAP Publ. No. 65. Wageningen, Pudoc Scientific Publishers, 1992, S. 253-260, ISBN 90-220-1076-7.
- Kutschenreiter, W.: *Zugpferd Melkroboter*. DLG-Mitteilungen. 1998, (5), S. 62-65.
- Lansbergen, L.M.T.E.; Nielen, M.; Lam, T.J.G.M.; Pengov, A. and Schukken, Y.H.: Evaluation of a Prototype On-Line Electrical Conductivity System for Detection of Subclinical Mastitis. *Journal of Dairy Science*. 1994, 77 (4), S. 1132-1140.

- Lanser, E.W.: Bedeutung der Zwischenmelkzeit bei Automatischen Melksystemen. Milchpraxis. 2000, 38 (2), S. 89-91.
- Laube, R-B.: Untersuchungen zum visuellen Wahrnehmungsvermögen der Milchkühe als Voraussetzung zur Entwicklung von Signalsystemen für eine prozeßgesteuerte Milchviehanlage. Univerität Leipzig, Dissertation, 1975.
- Liebler, J.; Schön, H.; Kowalewsky, H.H. und Fübbeker, A.: Arbeitsorganisation und Arbeitszeitbedarf beim automatischen Melken. Hrsg.: Schön, H.: Automatische Melksysteme. KTBL-Schrift 395. Münster, Landwirtschaftsverlag GmbH, 2000 S. 117-122, ISBN 3-78432119-4.
- Linzell, J.L. and Peaker, M.: Efficacy of the measurement of the electrical conductivity of milk for the detection of subclinical mastitis in cows: detection of infected cows at a single visit. British Veterinary Journal. 1975, 131 (4), S. 447-461.
- Maatje, K.; De Mol, R.M. and Rossing, W.: Cow status monitoring (health and oestrus) using detection sensors. Computers and Electronics in Agriculture. 1997, 16 (3), S. 245-254.
- Marx, G.; Bünger, B.; Horn, T. und Von Borell, E.: Untersuchungen zur Automatischen Klassifikation von Ferkellauten. Hrsg.: Schäffer, D. und Von Borell, E.: Tierschutz und Tierhaltung. 15. IGN-Tagung, Halle-Kröllwitz, 4.-6.10.2001, Halle (Saale), Universitätsdruckerei der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2001, S. 99-103, ISBN 3-86010-634-1.
- Metz-Stefanowska, J.; Huijsmans, P.J.M.; Hogewerf, P.H.; Ipema, A.H. and Keen, A.: Behaviour of cows before, during and after milking with an automatic milking system. Hrsg.: Ipema, A.H.; Lippus, A.C.; Metz, J.H.M. and Rossing, W.: Prospects for automatic milking. EAAP Publication No. 65. Wageningen, Pudoc Scientific Publishers, 1992, S. 278-288, ISBN 90-220-1076-7.
- Mielke, H.: Das Verhalten der osmotisch-aktiven Substanzen in der Milch gesunder und kranker Euterviertel als biologische Eutergesundheits- und Milchqualitätskontrollsysteme bei der industriemäßigen Milchproduktion. Monatsheft für Veterinärmedizin. 1975, 30, S. 334.
- Milner, P.; Page, K.L. and Hillerton, J.E.: The Effect of Early Antibiotic Treatment Following Diagnosis of Mastitis Detected by a Change in the Electrical Conductivity of Milk. Journal of Dairy Science. 1997, 80, S. 859-863.
- Milner, P.; Page, K.L.; Walton, A.W. and Hillerton, J.E.: Detection of Clinical Mastitis by Changes in Electrical Conductivity of Foremilk Before Visible Changes in Milk. Journal of Dairy Sciences. 1996, 79 (1), S. 83-86.
- Nielen, H.; Deluyker, H.; Schukken, Y.H. and Brand, A.: Electrical Conductivity of Milk: Measurement, Modifiers and Meta Analysis of Mastitis Detection Performance. Journal of Dairy Sciences. 1992, 75 (2), S. 606 – 614.
- Noble, C.E.: The length- difficulty relationship in compound trial-and-error learning. Journal of Experimental Psychology. 1957, 54 (4), S. 246-252.
- Ordolff, D.: Wird der Melker überflüssig? Tendenzen in der Entwicklung der Melktechnik. DLG-Mitteilungen. 1977, 92 (18), S. 994-996.
- Ordolff, D.: Melkzeuge automatisch Ansetzen - demnächst Wirklichkeit? Landtechnik. 1980, 35 (5), S. 222-224.

- Peaker, M.: The electrical conductivity of milk for the detection of subclinical mastitis in cows: comparison of various methods of handling conductivity data with the use of cell counts and bacteriological examination. *British Veterinary Journal*. 1978, *134* (4), S. 308-314.
- Pedersen, S.: Animal Activity in Dairy Houses with Automatic Milking System. Proceedings XIV memorial CIGR Congress. Paper on CD-R 2213, Japan, 2000, S. 63ff.
- Pennington, J.A.; Albright, J.L; and Callahan, C.J.: Relationships of sexual activities in estrous cows to different frequencies of observation and pedometer measurements. *Journal of Dairy Science (USA)*. 1986, *69* (11), S. 2925-2934.
- Pirkelmann, H.: Feeding strategies and automatic milking. Hrsg.: Ipema, A.H.; Lippus, A.C.; Metz, J.H.M. and Rossing, W.: Prospects for automatic milking. EAAP Publication No. 65. Wageningen, Pudoc Scientific Publishers, 1992, S. 289-295, ISBN 90-220-1076-7.
- Polten, S.: Untersuchungen zum Wahrnehmungsvermögen der Milchkühe bezüglich Erkennung akustischer Signale, ein Beitrag zur Entwicklung von Signalsystemen für eine prozeßgesteuerte Milchviehanlage. Universität Leipzig, Dissertation, 1974.
- Prescott, N.B.; Mottram, T.T. and Webster, A.J.F.: Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system. *Applied Animal Behaviour Science*. 1998, *57* (1-2), S. 23-33.
- Rabold, K.: Einfluß von Melk- und Fütterungsfrequenz auf die Ausprägung wichtiger Leistungsmerkmale bei Kühen. Hrsg.: Humboldt-Universität zu Berlin: Wissenschaftliche Tagung: Wechselwirkungen zwischen Tier, Umwelt und Leistung in der Rinderproduktion aus technologischer und züchterischer Sicht. Berlin, 1985, S. 216-227.
- Royle, C.; Garnsworthy, P.C.; McArthur, A.J. and Mepham, T.B.: Effects of frequent milking on heart rate and other physiological variables in dairy cows. Hrsg.: Ipema, A.H.; Lippus, A.C.; Metz, J.H.M. and Rossing, W.: Prospects for automatic milking. EAAP Publication No. 65. Wageningen, Pudoc Scientific Publishers, 1992, S.237-243, ISBN 90-220-1076-7.
- Samraus, H.H.: Die Ursachen synchronen Verhaltens bei weidenden Rindern. *Tierzüchtung und Züchtungsbiologie*. 1973, *90*, S.192 – 198.
- Samraus, H.H.: Einleitung. Hrsg.: Samraus, H.H.: *Nutztierethologie*. 1. Aufl., Berlin, Verlag Paul Parey, 1978, S.15-20, ISBN 3-489-60236-6.
- Samraus, H.H.: Rind. Hrsg.: Samraus, H.H.: *Nutztierethologie*. 1. Aufl., Berlin, Verlag Paul Parey, 1978, S.49-127, ISBN 3-489-60236-6.
- Schaeffer JR.; R.G. and Sikes, J.D.: Discrimination Learning in Dairy Calves. *Journal of Dairy Science*. 1971, *54* (6), S. 893-896.
- Scheibe, K.; Schleusner, Th.; Berger, A.; Eichhorn, K.; Langbein, J.; DalZotto, L. and Streich, W.J.: ETHOSYS (R) - New System for Recording and Analysis of Behaviour of Free-Ranging Domestic Animals and Wildlife. *Applied Animal Behaviour Science*. 1998, *55* (3-4), S.195-211.

- Schiwy, P. und Harmony, T. (Hrsg.): Deutsche Tierschutzgesetze. Sammlung des gesamten Tierschutzrechts des Bundes und der Länder sowie der Internationalen Tierschutzbestimmungen mit Kommentar. Band I. Starnberg, Verlag R.S. Schulz GmbH, 1998, ISBN 3-7962-0394-9.
- Schmilovitsch, Z.; Shmulevich, I.; Notea, A. and Maltz, E.: Near infrared spectrometry of milk in its heterogeneous state. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2000, 29 (3), S.195-207.
- Schön, H. und Artmann, R.: Tierartenübergreifende Systeme. Hrsg.: Schön, H.: *Computer in der Landwirtschaft*. Stuttgart (Hohenheim), Eugen Ulmer GmbH & Co, 1993, S.153-164, ISBN 3-8001-4206-6.
- Schön, P.C. und Manteuffel, G.: Nichtinvasive Beurteilung emotionaler Stressbelastung von Nutztieren mittels Vokalisationserkennung durch ein künstliches neuronales Netzwerk. Hrsg.: Schäffer, D. und Von Borell, E.: *Tierschutz und Tierhaltung*, 15. IGN-Tagung, Halle-Kröllwitz, 4.-6.10.2001. Halle (Saale), Universitätsdruckerei der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2001, S.104-109, ISBN 3-86010-634-1.
- Schöne, A.: Experimentelle Untersuchungen zur Schaumentwicklung und zum Leitfähigkeitsverlauf zur Milch beim maschinellen Melken. TU München, Dissertation, 1993.
- Schwefel, H.-P.: Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie: mit einer vergleichenden Einführung in die Hill-Climbing- und Zufallsstrategie. *Interdisciplinary systems research*; 26. Basel [u.a.], Birkhäuser, 1977.
- Selye, H.: *The Stress of Life*. New York, McGraw-Hill, 1956.
- Shannon, C.E. and Weaver, W.: *The mathematical theory of communication*. Urbana [u.a.], Univ. of Illinois Press (Illini, books edition), 1949, ISBN 0-252-72548-4
- Simon, H.A.: Verändert der Computer unser Leben? Zehn Thesen des Nobelpreisträgers. *Bild der Wissenschaft*. 1982, 19 (6), S. 62-72.
- Simon, H.A.; Dantzig, G.B.; Hogarth, R.; Piott, C.R.; Raiffa, H.; Schelling, T.C.; Shapley, K.A.; Thaler, R.; Tversky, A. and Winter, S.: *Decision Making and Problem Solving*. National Academy of Science Research Briefings 1986: Report of the Research Briefing panel on Decision Making and Problem Solving. Washington DC, National Academy Press, 1986.
- Solovjowa, O. und Kaufmann, O.: Früherkennung der Mastitis durch die Messung der Leitfähigkeit der Milch (in Russ.). *Wiss. Tagung der Timirjasew-Akademie*, 07.-10.12.1998, Moskau.
- Stefanowska, J.; Ipema, A.H. and Hendriks, M.M.: The behaviour of dairy cows in an automatic milking system where selection for milking takes place in the milking stalls. *Applied Animal Behaviour Science*. 1999, 62 (2-3), S. 99-114.
- Stefanowska, J.; Plavsic, M.; Ipema, A.H. and Hendriks, M.M.W.B.: The effect of omitted milking on the behaviour of cows in the context of cluster attachment failure during automatic milking. *Applied Animal Behaviour Science*. 2000, 67 (4), S. 277-291.

- Stefanowska, J.; Tiliopoulos, N.S.; Ipema, A.H. and Hendriks, M.M.: Dairy cow interactions with an automatic milking system starting with 'walk-through' selection. *Applied Animal Behaviour Science*. 1999, 63 (3), S. 177-193.
- Steinhardt, M. und Thielscher, H.-H.: Biologische Indikatoren und Evaluierung der Tiergerechtheit von Haltungssystemen. *Bornimer Agrartechnische Berichte*. 1999, 22, S. 55-93.
- Steinhardt, M. und Thielscher, H.-H.: Herzfrequenzkennwerte und Tagesperiodik bei Färsen verschiedener Rassen in Weidehaltung: Einflüsse durch Trächtigkeit und Jahreszeit. *Tierärztliche Praxis*. 2000, 28 (G), S. 322-330.
- Stookey, J.M.: Is Intensive Dairy Production Compatible With Animal Welfare? Proceedings of the 1994 Western Dairy Canadian Dairy Seminar. *Advances in Dairy Technology*. Band 6, 1994, S. 209-219.
- Sundrum, A.: Abgrenzung und Definition des Begriffes "Tiergerechtheit". Hrsg.: Sundrum, A.; Andersson, R. und Postler, G.: *Tiergerechtheitsindex - 200/1994*. Bonn, Köllen Druck+Verlag GmbH, 1994, S. 6-8, ISBN 3-88579-066-1.
- Tanimoto, S.L.: *KI: Die Grundlagen*. München und Wien, Oldenbourg, 1990, 3-486-21403-9.
- Tembrock, G.: *Verhaltensbiologie*. 1. Aufl., Jena, VEB Gustav Fischer Verlag, 1987, ISBN 3-334-00086-9.
- Thielscher, H.-H.: Optische Pulsmessung bei freilaufenden Rindern in Gruppenhaltung. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*. 1985, 92 (3), S. 100-103.
- Tierschutzgesetz. (BGBl) 25.Mai.1998, S. 1105.
- Tinbergen, N.: *Instinktlehre*. 6. Aufl., Berlin, Verlag Paul Parey, 1979, S. 17-18, 104, ISBN 3-489-60336-2.
- Tröger, F.; Geidel, S. und Daßler, L.: Zitzengummi - die "Schnittstelle" zwischen Melkanlage und Kuh. *Milchpraxis*. 1997, 35 (3), S. 132-136.
- Tschanz, B.: "Artgemäß" und "verhaltensgerecht" - ein Vergleich. *Der praktische Tierarzt*. 1984, 65 (3), S. 211-224.
- Tsenkova, R.; Atanassova, S.; Itho, K.; Ozaki, Y. and Toyada, K.: Near infrared spectroscopy for biomonitring: Cow milk composition measurement in a spectral region from 1,100 to 2,400 nanometers. *Journal of Animal Science*. 2000, 78, S. 515-522.
- Uetake, K.; Hurnik, J.F. and Johnson, L.: Effect of music on voluntary approach of dairy cows to an automatic milking system. *Applied Animal Behaviour Science*. 1997, 53 (3), S. 175-182.
- Verbrugge, J.K.J.: (Netherlands) das Europapatent EP 0 270 165 A1.
- Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis (Milchverordnung). Neuf. vom 20. Juli 2000 (BGBl. I), S. 1180.
- Watts, J.M. and Stookey, J.M.: Vocal behaviour in cattle: the animal's commentary on its biological processes and welfare. *Applied Animal Behaviour Science*. 2000, 67, S. 15-33.

- Wendl, G.; Liebler, J.; Schön, H.; Sieber, O. und Sieber, S.: Einboxen - Kompaktanlage "Astronaut" der Firma Lely. Hrsg.: Schön, H. und Pirkelmann, H.: Automatisches Melken (AMS). KTBL-Arbeitspapier 248, 1997, S. 19-30, ISBN 3-7843-1970-X.
- Wendt, K.; Lotthammer, K.-H.; Fehlings, K. und Spohr, M.: Handbuch Mastitis. Osna-brück, Kamlage Verlag GmbH & Co, 1998.
- Wenzel, C.: Untersuchungen zum Verhalten und zur Belastung von Milchrindern beim Melken in einem Automatischen Melksystem. München, Dissertation, 1999.
- Wiener, N.: Kybernetik: Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und in der Maschine. Rowohlt Verlag, 1969.
- Wiepkema, P.R.: Anpassungsverhalten bei Wirbeltieren: Ergebnis von individuellen und sozialen Faktoren, KTBL und DVG, Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. 1992, Schrift 356, Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag GmbH, 1993, S. 11-20, ISBN 3-7843-1832-0.
- Winter, A. and Hillerton J.E.: Behaviour associated with feeding and milking of early lactation cows housed in an experimental automatic milking system. Applied Animal Behaviour Science. 1995, 46 (1-2), S. 1-15.
- Zimmermann, P.: Laborversuche zur Messtechnik. Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin. Entwicklung eines Datenmeß- und Erfassungsmoduls für die online-Überwachung von Rohmilch. Berlin, 2001, S. 50-65.

## Abkürzungsverzeichnis

AMS	Automatisches Melksystem
bpm	beats per minute
CCD	Charged Coupled Device
DSS	Decision Support System
FK	freier Kuhverkehr
GK	geregelter Kuhverkehr
GPS	General Problem Solver
lh	links hinten
LT	Laktationstag
lv	links vorne
MM	Milchmenge
MQC	Milk Quality Control System
MST	Mastitsschnelltests
rh	rechts hinten
rv	rechts vorne
SEU	subjective expected utility
S–R–Beziehung	Stimulus-Response-Beziehung
SZZ	somatische Zellzahl
TS	Trockensubstanz
ZMZ	Zwischenmelkzeiten

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Otto Kaufmann für die Überlassung des interessanten Themas, die vielfältige Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit und insbesondere für die zahlreichen und fruchtbaren Diskussionen.

Danken möchte ich an dieser Stelle auch meinen Eltern, die mich immer unterstützt haben.

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorgelegte Arbeit selbständig und ohne unerlaubte Hilfe verfasst und andere als die angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe.

Berlin, den 08.04.2002

## Lebenslauf

Name : *Umstätter, Christina*

Geboren : Berlin-Zehlendorf \* 06.08.1973

Vater : Prof. Dr. Walther Umstätter \* 12.06.1941

Mutter : Mechthild U. geb. Bösingher \* 13.03.1945

Bruder : Richard Umstätter \* 01.02.1970

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand : ledig

Schulbildung : Grundschule Beimerstetten (bei Ulm) 1979 -1983  
Städt.- Gem.- Grundschule  
Südschule in Erftstadt-Lechenich (bei Köln) 1983 -1983  
Gymnasium Erftstadt-Lechenich 1983 -1992  
Launceston College  
Cornwall, Great Britain 1990 Januar - April  
Abschluß: Abitur 1992

Landwirtschaftliche

Praktika : Betrieb Esser, Erftstadt-Gymnich 1992 Juni - Oktober  
Pferdeklinik Hoppegarten (bei Berlin) 1995 Juli - Oktober

Studium : Agrarwissenschaften  
Fachrichtung: Nutztierwissenschaften  
Beginn: 1992  
Rheinische Friedrich-Wilhelms-  
Universität Bonn  
Vordiplom 1994  
Diplom  
Humboldt-Universität zu Berlin 1998

Beruf : Wissenschaftliche Mitarbeiterin 1999  
Institut für Nutztierwissenschaften  
Humboldt-Universität zu Berlin

Mitgliedschaft : Vorstandsmitglied der wissenschaftlichen Gesellschaft der  
Milcherzeugerberater e.V.