Wie sehen die Trends bei Melkstandsystemen und Melktechnik aus?

Franz-Josef Bockisch, Dieter Ordolff[1]

1 Einleitung, Problemstellung und Ziele

Die Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe hat sich seit 1950 um 75 % auf rund 500.000 reduziert, die Investitionen in Bauten haben seit 1960 um 300 % zugenommen, allein seit 1990 hat annähernd eine Verdoppelung stattgefunden (**Abbildung 1**). Dies bedeutet, dass bei den zukunftsfähigen Milchkuhbetrieben auch zukünftig in Systeme für die Melktechnik investiert werden wird. Gleichzeitig trugen neue technische Randbedingungen zur Effizienzsteigerung der Produktionsverfahren bei, z. B. durch elektronische Tiererkennung [Applikation als Ohrmarke, Bolus oder Injektat (**Abbildung 2**)] und durch die Verbesserung der Arbeitsbedingungen, z. B. durch Einführung und Weiterentwicklung der Melkstände (**Abbildung 3**), vor allem in größeren Beständen.

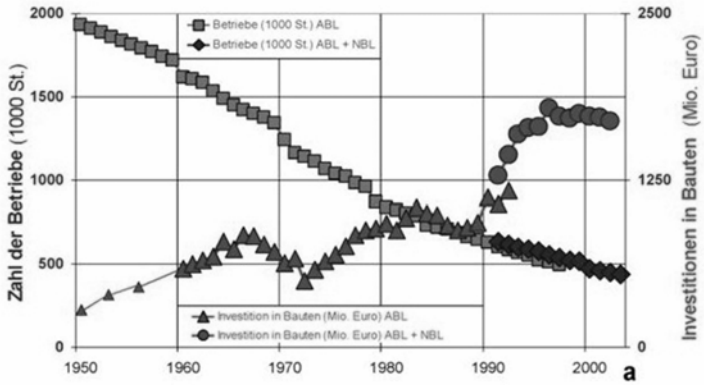

Abbildung 1: Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe und Investitionen in landwirtschaftliche Bauten (nach Walter, 2004 – Quelle: Stat. Jahrbuch für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)

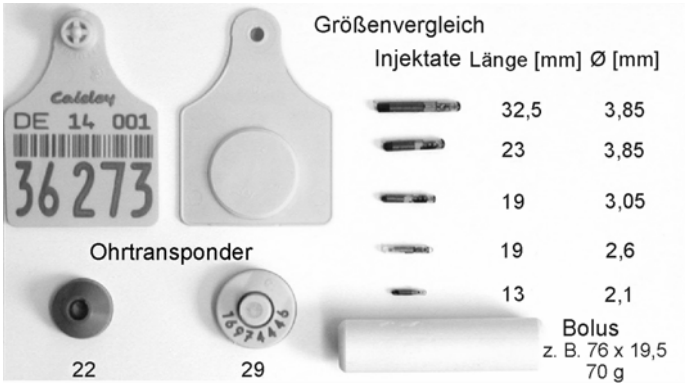

Abbildung 2: Möglichkeiten zur elektronischen Tierkennzeichnung und -erkennung mittels verschiedener Transponderapplikationstechniken (Ohrmarke, Bolus, Injektat) nach Artmann (1999)

[1] Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, bb@fal.de

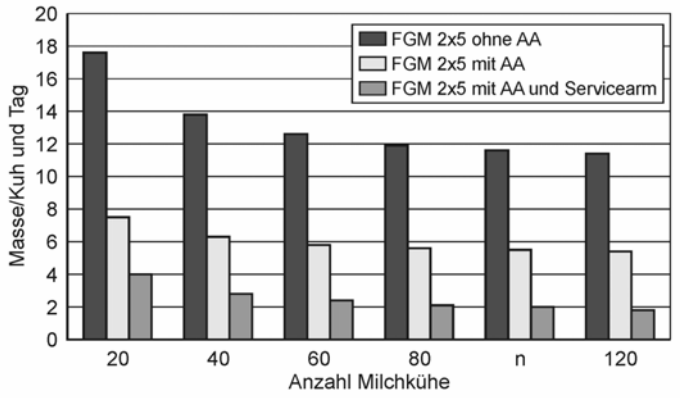

Abbildung 3: Massenumschlag (von Hand bewegte Massen) in einem Fischgrätenmelkstand in Abhängigkeit von der Ausstattung (nach Schick und Früh, 2003); mit Zunahme der Automatisierung geht der Massenumschlag zurück, der durch die Hand bewegt wird, führt damit zu verbesserten ergonomischen Bedingungen

Melkstände sind trotz der Verfügbarkeit automatischer Melksysteme auch gegenwärtig die "normale" technische Lösung für die Milchgewinnung in Laufställen. Daher ist es einleuchtend, dass die Hersteller von Melktechnik sich nicht nur um Fortschritte bei neuen Verfahren bemühen, sondern auch die zum Teil schon lange eingesetzten traditionellen Anlagen weiter verbessern. Neben der Darstellung von Beispielen aus aktuellen Entwicklungen werden auch beispielhaft Lösungsansätze für zukünftige Automatisierungsschritte – insbesondere in Verbindung mit sensortechnischen Entwicklungspotenzialen – sowie der Forschungs- und Entwicklungsbedarf aufgezeigt.
Das Ziel innerhalb diesen Beitrags ist es, in Kurzform die Melktechnik mit den Melkstandformen und deren Entwicklungstrends hinsichtlich relevanter Kriterien wie Arbeitswirtschaft, Arbeitsqualität, Verfahrensabläufe, Verfahrenskosten, technische Detaillösungen, Automatisierung etc. einzuordnen und Entwicklungstrends sowie FuE-Bedarf aufzuzeigen.

2 Melkstandformen und Einordnung

Bei den zurzeit eingesetzten Melkstandbauarten sind zwei Gruppen zu unterscheiden. In so genannten Einzelmelkständen wird jedem Tier ein eigener Melkplatz zugewiesen, den der Melker unabhängig von den Abläufen in anderen Plätzen betreuen kann. In Gruppenmelkständen werden die Melkplätze dagegen jeweils gruppenweise von den Tieren betreten und wieder verlassen. Hierbei wirken sich extreme Melkeigenschaften einzelner Kühe in der Regel auf die Abläufe der ganzen Gruppe aus. Eine besondere Situation ist in Melkkarussellen gegeben, welche von den Tieren kontinuierlich in vorgegebenen Zeitintervallen einzeln betreten und nach dem Melken wieder verlassen werden. Auch hier können extrem lange Melkzeiten oder andere Unregelmäßigkeiten einzelner Kühe den Ablauf an allen übrigen Melkplätzen beeinflussen.

2.1 Einzelmelkstände

Die einzige Bauart mit individuell zu betreuenden Melkplätzen ist zur Zeit der Tandemmelkstand (**Abbildung 4**), in dem die Melkplätze hintereinander angeordnet sind und durch einen Treibgang an der dem Melker abgewandten Seite betreten und wieder verlassen werden können. Da sich die Melkvorgänge in den verschiedenen Boxen nicht gegenseitig beeinflussen, hält sich eine Kuh immer nur so lange im Melkstand auf, wie es ihrer Melkdauer entspricht. Dadurch können je Melkplatz und Stunde in der Regel bis zu acht Kühe gemolken werden.

Der Platzbedarf dieser Bauart ist wegen der Anordnung der Melkplätze und des zusätzlichen Treibganges relativ groß. In der Regel werden für eine Arbeitskraft maximal 10 Melkplätze installiert, meist zweireihig, gelegentlich aber auch in L- oder U-Anordnung. Die Steuerung von Zu- und Abgang der Tiere erfolgt automatisch ("Autotandem", ATT).

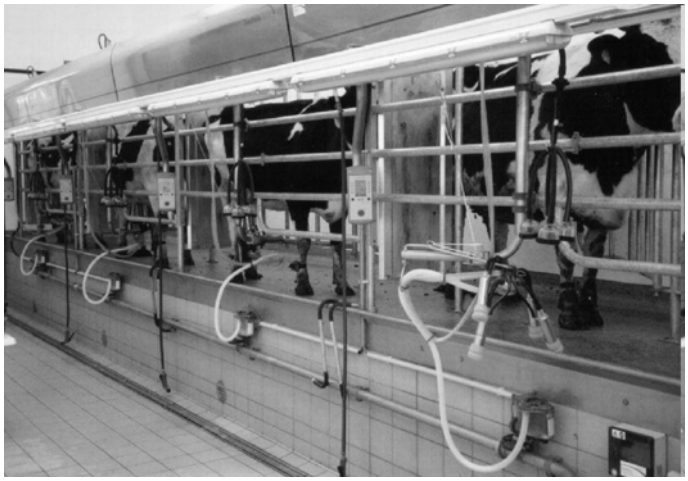

Abbildung 4: Beispiel für einen Autotandemmelkstand mit Servicearm (Foto: Ordolff)

2.2 Gruppenmelkstände

Die am weitesten verbreitete Bauart der Gruppenmelkstände ist der Fischgrätenmelkstand (FGM), bei dem die Kühe schräg gestaffelt nebeneinander stehen (**Abbildung 5**). Der Abstand zwischen zwei Melkzeugen beträgt bei dem gebräuchlichen Winkel von 30° zur Standlängsachse 1.200 mm. Üblich ist die zweireihige Anordnung der Melkplätze mit einem Melkzeug je Melkplatz ("Einzelmelkzeuge"). Einem Melker werden darin bis zu 16 Melkzeuge zugeteilt. In Anlagen mit zehn Melkzeugen und mehr wird meist automatische Melkzeugabnahme vorgesehen. Für zwei Melker werden zweireihige Anlagen in der Regel nicht größer als mit 2x16 Plätzen angelegt; pro Arbeitsperson können – wie bereits erwähnt - bis zu 16 Melkzeuge bedient werden.

Abbildung 5: Beispiel für einen Fischgrätenmelkstand (Foto: Ordolff)

Für große Herden werden die Melkstände auch dreireihig ("Trigon") oder vierreihig ("Polygon") erstellt. Dadurch verkürzt sich der Zeitaufwand für die Wege, die für das Melken einer Kuh zurückgelegt werden müssen. Bei mehr als zwei Reihen muss auf möglichst einfachen Zu- und Abtrieb der Kühe ohne Sichtkontakt an den im Melkstand stehenden Kühen geachtet werden. Zur Beschleunigung des Gruppenumtriebes werden größere Fischgrätenmelkstände häufig mit ausschwenkbaren vorderen Standbegrenzungen versehen ("Frontaustrieb"). Diese Lösung erfordert ausreichend Bewegungsraum für die den Stand verlassenden Tiere und vergrößert den Raumbedarf des Melkstandes deutlich. Um die Zugänglichkeit zu den Eutern bei unterschiedlich großen Kühen zu verbessern, können kleine Kühe durch bewegliche Frontabgrenzungen in Richtung des Melkers verschoben werden ("Indexing").
In ähnlichen Dimensionen wie Fischgrätenmelkstände werden Side-by-Side- bzw. Parallelmelkstände angelegt. Die Tiere stehen hier rechtwinklig zur Standlängsachse. Pro Tier wird mit einer Standbreite von rund 690 mm gerechnet. Die Stände benötigen eine größere Breite als Fischgrätenmelkstände. In Verbindung mit Selbstfangvorrichtungen zur Positionierung der Kühe kann mit dem Melken schon begonnen werden, bevor die Gruppe vollständig ist.

Dies beschleunigt vor allem in großen Melkständen die Arbeit. Die Melkzeuge werden zwischen den Hinterbeinen hindurch angesetzt. Melkzeugsteuerung und Milchmengenmessgeräte müssen besonders Platz sparend eingebaut werden. In den beschriebenen Gruppenmelkständen können pro Melkplatz stündlich rund fünf Kühe gemolken werden.

2.3 Vergleich von Einzel- und Gruppenmelkständen hinsichtlich des Arbeitsablaufs

Beim Vergleich von beispielhaften Arbeitsabläufen in drei Melkstandvarianten bzw. -dimensionierungen ist festzustellen, dass die einzelnen Arbeitsschritte für einen Melkvorgang im Autotandemmelkstand angepasst auf das Einzeltier erfolgen können (**Abbildung 6**), das heißt, jeder Arbeitsschritt kann in der notwendigen Zeitspanne nach den physiologischen Vorgaben durchgeführt werden. Bei Gruppenmelkständen ist der gesamte Arbeitsablauf eher diskontinuierlich und die Anpassung der einzelnen Arbeitsschritte beim Melken ist auf die Gruppe abgestimmt und nicht auf das Einzeltier; diese Problematik nimmt üblicherweise zu, wenn die Gruppen größer werden (**Abbildung 7**).

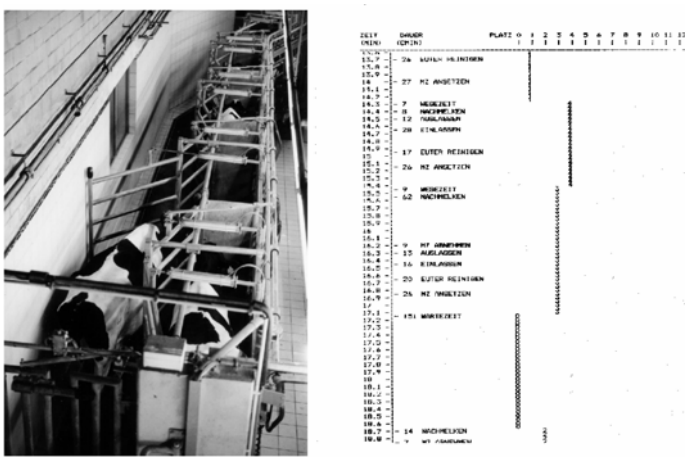

Abbildung 6: Beispiel für einen Arbeitsablauf in einem Autotandemmelkstand – die einzelnen Arbeitsschritte können je Tier bzw. je Melkplatz individuell angepasst direkt nacheinander erfolgen

2.4 Melkkarusselle

In Melkkarussellen werden die Kühe auf einer beweglichen Plattform in Tandem-, Fischgräten- oder Radialaufstellung vom Zugang des Melkstandes zum Ausgang transportiert und dabei gemolken. Wenn zwischen Aus- und Eingang eine Zwischendesinfektion der Melkzeuge vorgesehen ist, können nicht alle Plätze für das Melken genutzt werden. Die Arbeiten vor dem Milchentzug sind von den Arbeiten nach dem Milchentzug räumlich getrennt. In großen Anlagen ist so eine Aufteilung der Arbeitsgänge auf mehrere Personen möglich ("Fließbandverfahren").
Die Arbeitsplätze des Melkpersonals befinden sich entweder innerhalb des Tragringes für die Melkplätze ("Innenmelker") oder außerhalb ("Außenmelker", **Abbildung 8**). Innenmelker haben den Vorteil, dass das Melkpersonal einen guten Überblick über die Abläufe im Melkstand hat und alle Melkplätze auf kurzem Wege erreichen kann. Das Verlassen des Arbeitsbereiches bei laufendem Karussell ist jedoch schwierig. Außenmelker sind im Hinblick auf die Überwachung des Melkprozesses unübersichtlicher. Sie werden daher häufig von mindestens zwei Personen betrieben. Das Verlassen des Arbeitsbereiches während des Melkens ist ohne Schwierigkeiten möglich.
Auch bei Melkkarussellen kann unter normalen Bedingungen mit einem Durchsatz von bis zu fünf Kühen pro Melkplatz und Stunde gerechnet werden.

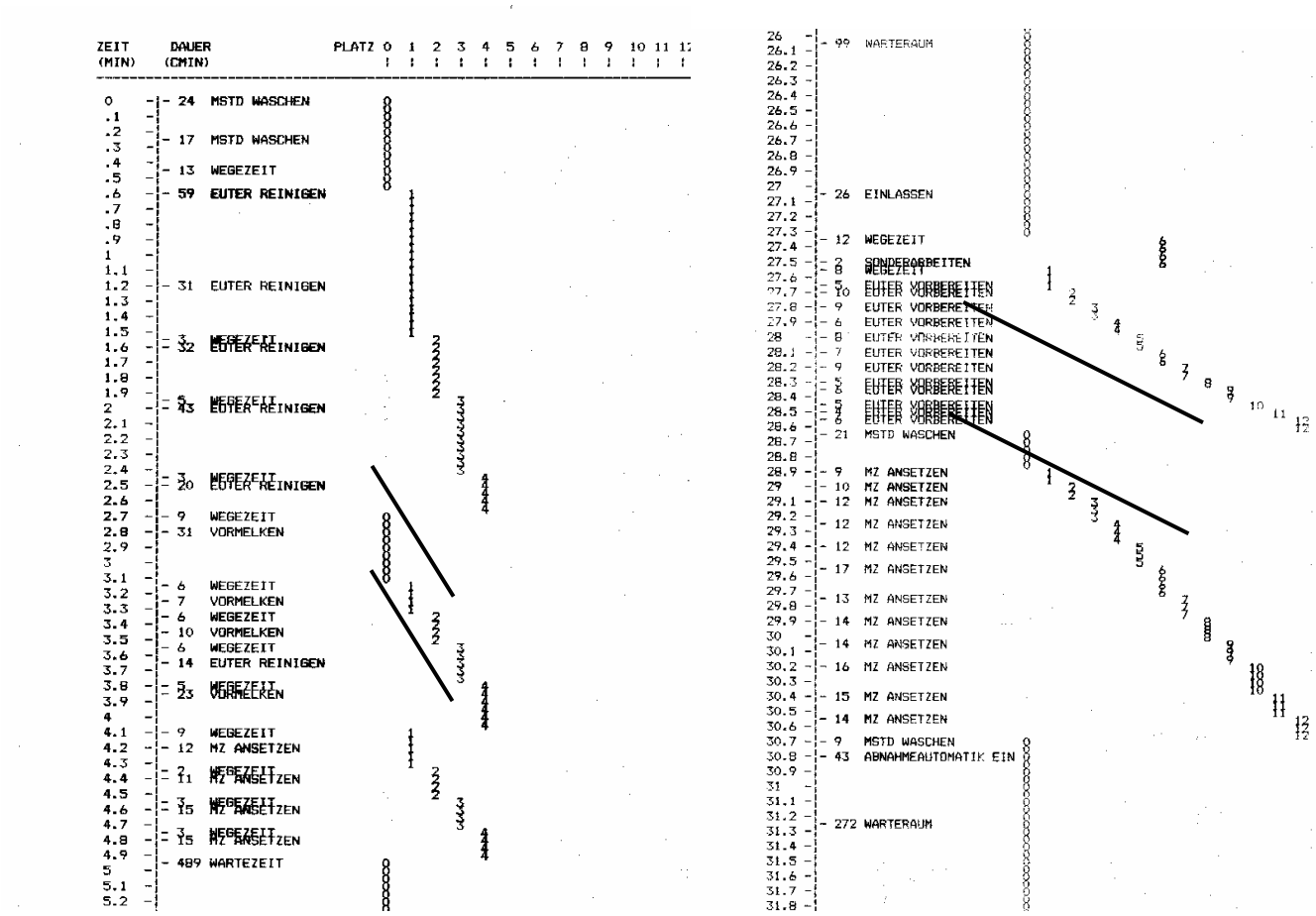

Abbildung 7: Beispiel für Arbeitsabläufe in Fischgrätenmelkständen (links kleinere Gruppengröße, rechts größere Gruppengröße); in beiden Dimensionierungen nimmt der Zeitabstand zwischen der Durchführung der verschiedenen Arbeitsschritte mit zunehmender Melkplatzzahl zu; auf der rechten Seite mit der höheren Melkplatzzahl je Melkstandseite tritt dieses Auseinanderdriften jedoch stärker hervor, was als ungünstig einzuordnen ist

Abbildung 8: Beispiel für ein Melkkarussell – hier Außenmelker (Foto: Ordolff)

2.5 Weiterentwicklungen Automatischer Melksysteme

Automatische Melksysteme sind gegenwärtig weltweit mit rund 4.500 Einheiten (**Abbildung 9**) in etwa 2.600 Betrieben vertreten, davon rund 380 in Deutschland, 1.050 in den Niederlanden und 850 in Dänemark (Wendl und Harms, 2005). Rund 90 % des Marktes sind mit so genannten Einboxensystemen (**Abbildung 10**) belegt.
Der Investitionsbedarf je Kuh liegt für AMS mit zwei Boxen bei rund 3.000 € in voll ausgelasteten Anlagen, mit denen 120 Kühe betreut werden können. Dies ist, bei gleicher Herdengröße, etwa das Dreifache eines Fischgrätenmelkstandes. Die Gesamtkosten, inklusive aller baulichen und technischen Komponenten, sind bei dieser Herdengröße mit rund 4.000 €/Kuh in konventionellen Systemen und mit rund 6.000 €/Kuh in Verbindung mit automatischen Melksystemen anzusetzen (**Abbildung 11** und **Abbildung 12**).

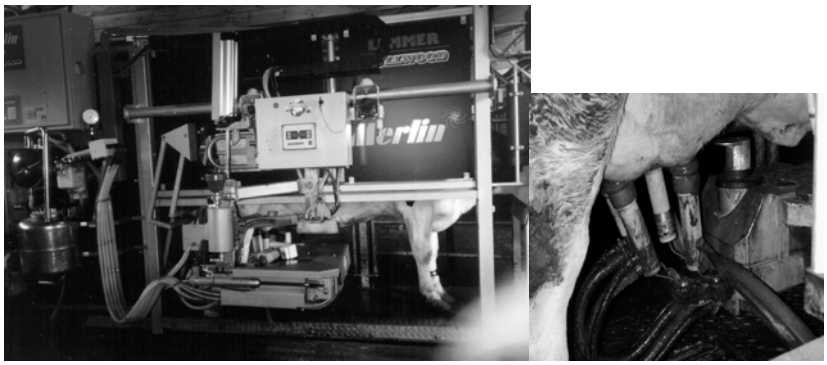

Abbildung 9: Beispiel eines Einboxen-AMS (Automatisches Melksystem bzw. Melkroboter; Foto: Ordolff)

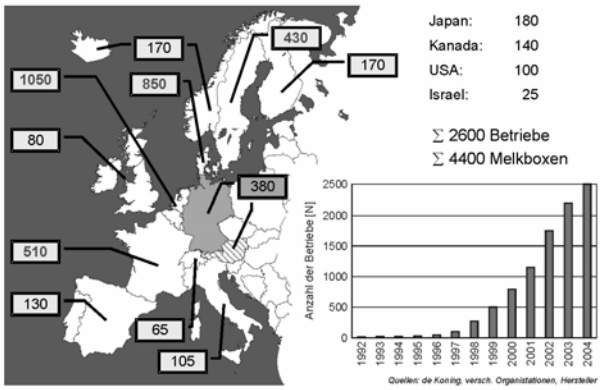

Abbildung 10: Weltweite Verbreitung automatischer Melksysteme (nach Wendl und Harms, 2005)

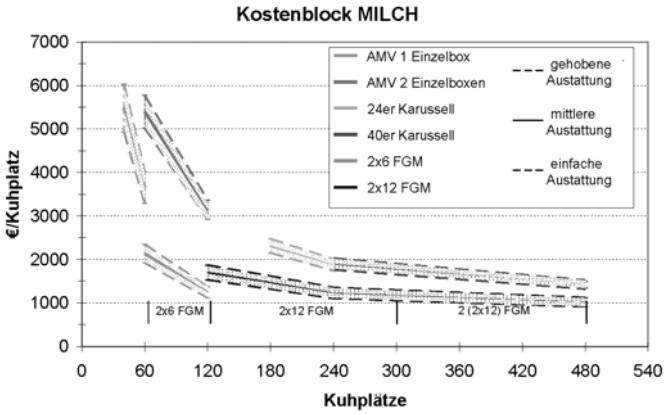

Abbildung 11: Investitionskosten für den Kostenblock MILCH für Varianten mit automatischen Melkverfahren (eine Einzelbox und zwei Einzelboxen), zwei Melkkarussellvarianten und zwei FGM-Varianten (nach Gartung et al., 2005)

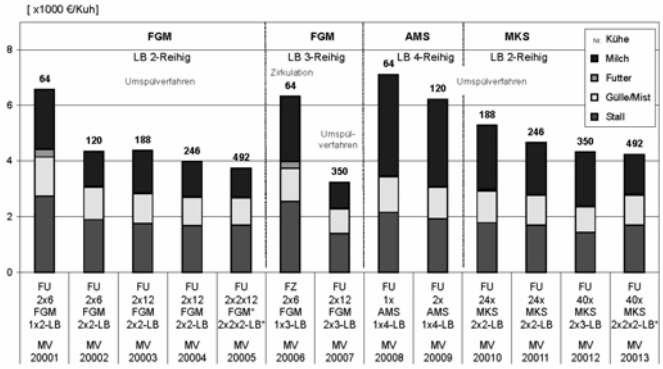

Abbildung 12: Investitionsbedarf für Varianten von Liegeboxenlaufställen mit Flüssigmistverfahren und unterschiedlichen Melk(stand)verfahren (nach Gartung et al., 2005)

Der Arbeitszeitbedarf kann durch ein Automatisches Melksystem (13 Akh/Kuh und Jahr bei 65 Kühen/Einheit) gegenüber einem konventionellen Verfahren (20 Akh/Kuh und Jahr im 2x6 FGM) um rund 35 % reduziert werden (**Abbildung 13**). Eine Reduzierung des Arbeitszeitbedarfs beim Einsatz automatischer Melksysteme ist jedoch nicht immer zu erreichen, so dass unter solchen Bedingungen als Vorteil für AMS gegenüber konventionellen Melktechniken die Flexibilisierung der Arbeitszeiteinteilung bleibt. Ansatzpunkte zur Steigerung der Melkleistung in AMS sind u. a. Euterreinigung vor den eigentlichen Melkboxen bzw. Erfassung, ob ein Euter sauber ist oder nicht, da nur verschmutzte Euter zu reinigen sind. Für größere Herden wird über andere Lösungen des automatischen Melkens diskutiert, z. B. über die Integration eines Ansetzautomaten in Melkkarussellen. Mit 10 Melkplätzen könnten damit bei drei Melkungen/Kuh und Tag und einer täglichen Betriebsdauer von 22 Stunden bis zu 440 Kühe gemolken werden (**Abbildung 14**).

Arbeitsvorgang	Arbeitszeitbedarf [Akmin/Tag]	
	autom. Melken	konv. Melken
Melkarbeit	34	130
Reinigung (Melkstand)	19	66
Tierkontrolle	25	10
Reinigung Milchtank	17	10
Behandlung kranker Tiere	9	4
Fehlerbeseitigung / Wartung	7	3
Überwachungsarbeiten am PC	17	-
Anlernen neuer Tiere	7	-
Summe [Akmin / Tag]	135	213
Summe [Akh / Kuh u. Jahr]	12,6	19,9
Reduzierung	**- 37 %**	

Abbildung 13: Vergleich des Arbeitszeitbedarfs für automatisches Melken (Einboxen-AMS) mit dem Melken in einem 2x6 FGM bei 65 Kühen (nach Wendl und Harms, 2005 – Quelle: Fübbeker und Kowalewski, 2005)

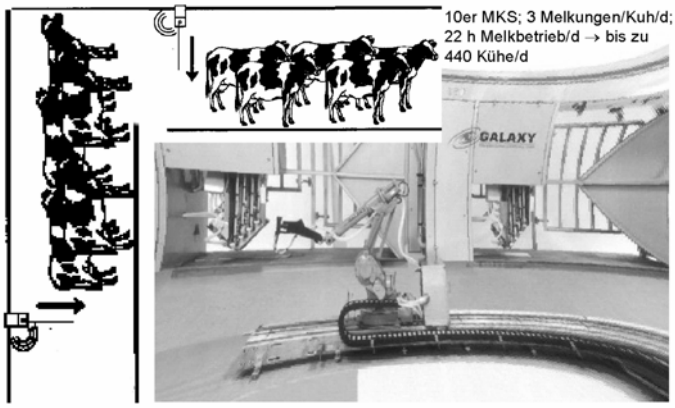

Abbildung 14: Schematisierter Lösungsansatz zur Weiterentwicklung von Melkkarussellen hin zur Automatisierung mit der Sicherung von Melkfrequenzen (nach Artmann, 2005)

2.6 Technische Weiterentwicklungen

Weiterentwicklungen von Melkständen sind auf verschiedenen Ebenen zu beobachten. Bei Fischgrätenmelkständen werden z. B. die Kühe in einem Winkel von 50° zur Standlängsachse aufgestellt. Daraus ergibt sich die Verkürzung des Abstandes zwischen den Eutern auf rund 760 mm. Diese Maßnahme ermöglicht ohne großen Bauaufwand den Umbau von alten Melkständen zur Erhöhung der Anzahl der stündlich zu melkenden Kühe. Die Melkzeuge müssen von hinten angesetzt werden.
Eine weitere Variante von Fischgräten- oder Parallelmelkständen sind Swing-Over-Melkstände. Hierbei wird, wie schon zurzeit der Wechselmelkzeuge in den 60er Jahren, jedes Melkzeug abwechselnd an zwei gegenüberliegenden Melkplätzen eingesetzt. Die Anzahl der Melkzeuge eines Melkstandes wird also halbiert (**Abbildung 15**). Da während des Melkens einer Gruppe die Kühe auf der anderen Standseite ausgewechselt werden, können die Melkzeuge nahezu ohne Verzögerung von einer Standseite auf die andere umgesetzt werden. Sie sind also besser ausgelastet als Einzelmelkzeuge. Problematisch sind Kühe mit einer gegenüber den anderen Kühen der Gruppe deutlich verlängerten Melkdauer, da sie durch verzögertes Umsetzen des letzten Melkzeuges den Melkablauf der anschließend zu melkenden Gruppe erheblich behindern.

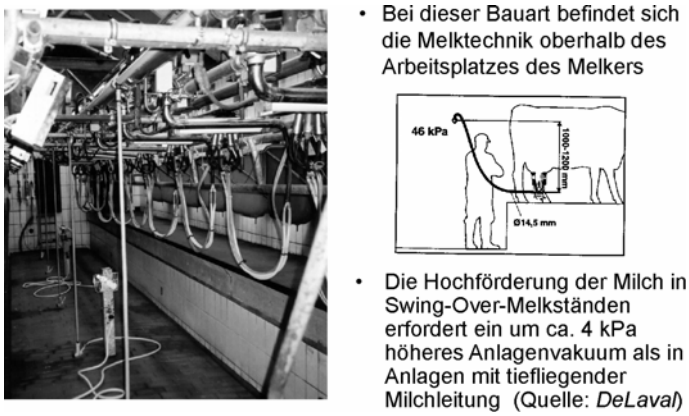

Abbildung 15: Beispiel für einen Swing-Over-Melkstand mit einem automatischen Schalter für die Information an das Herdenmanagement, welche Melkstandseite aktuell gemolken wird (Quelle: DeLaval)

Mithilfe eines automatischen Schalters wird die von einem Melkzeug jeweils bearbeitete Standseite an das Herdenmanagementsystem gemeldet. Da Vakuum- und Milchleitung sowie Milchmengenmessgeräte oberhalb des Arbeitsplatzes des Melkpersonals installiert werden müssen, ist die Hochförderung der Milch um rund 1,2 m über das Euterniveau der Kühe nötig; die Hochförderung der Milch in einem Melkstandsystem ist grundsätzlich allerdings als ungünstig einzuordnen. Zu diesem Zwecke muss das Anlagenvakuum um rund 4 kPa gegenüber dem Niveau bei einer tief liegenden Milchleitung erhöht werden.

Zu weiteren Entwicklungen im Detail gehören vormontierte Baugruppen, welche z. B. die komplette Melktechnik inklusive Steuerung eines einzelnen Melkplatzes enthalten können. Dadurch wird die Installation dieser Komponenten erheblich beschleunigt und wegen der werkseitig möglichen Kontrolle der auszuliefernden Teile auch die Fehlerquote bei der Installation reduziert. Besonders in Anlagen, in denen mehrere Melkerteams arbeiten, könnte die individuelle Anpassung der Tiefe des Arbeitsplatzes durch einen hydraulisch höhenverstellbaren Melkstandboden überlegenswert sein. Kuhtreiber, Selektionstore und Dippanlagen gehören schon seit längerem zu dem Lieferangebot der Hersteller. Dazu hat sich, vor allem seit der Verbreitung der TMR (Total Mixed Ration), wieder die Kraftfutter-Vorlage im Melkstand gesellt, die auch bei Weidehaltung interessant sein kann. Sie wird selbstverständlich in das Herdenmanagementsystem eingebunden.
Um eine unkontrollierte mechanische Belastung der Euter durch Melkzeuge zu vermeiden, werden Servicearme installiert, häufig in Verbindung mit Nachmelkvorrichtungen (siehe Abbildung 4).
Da die Effizienz von Melkkarussellen von deren möglichst ununterbrochenem Betrieb abhängt, werden von den Herstellern Einrichtungen zur Überwachung des Melkverhaltens der Kühe angeboten. Diese ändern die Umlaufgeschwindigkeit entweder kontinuierlich oder in Stufen, wenn eine Kuh die bei der aktuellen Einstellung mögliche Melkdauer zu überschreiten droht.
Zu den melktechnischen Details, die zwar unauffällig sind, sich jedoch bezahlt machen können, zählen leistungsgeregelte (Drehkolben-)Vakuumpumpen, die den Energieverbrauch für das Melken um mehr als 60 % reduzieren können (**Abbildung 16**). Nachdem in den USA darüber schon länger berichtet wurde, werden derartige Anlagen mittlerweile auch auf dem hiesigen Markt angeboten. Besonders in größeren Anlagen erfordert die Funktionskontrolle der einzelnen Komponenten hohen Zeitaufwand. Einige Hersteller bieten hierfür rechnergestützte Prüfeinheiten an, die teilweise sogar drahtlos mit der Melkanlage kommunizieren können.

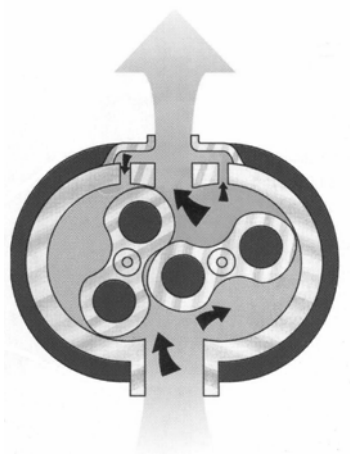

Abbildung 16: Beispiel einer Funktionsskizze für eine leistungsgeregelte Vakuumversorgung mittels einer Drehkolbenpumpe

2.7 Arbeitszeitaufwand in verschiedenen Melkstandsystemen

Vom Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim (nach Krumm, 2004) wurden in Deutschland und Großbritannien Arbeitszeitstudien zur Beurteilung der Effizienz von Swing-Over-Melkständen durchgeführt. In den deutschen Melkständen arbeiteten die Melker erheblich länger je Kuh als in Großbritannien, was in deutlichen Unterschieden bei der Anzahl der pro Person und Stunde gemolkenen Kühe resultierte. In deutschen Melkständen wurde ein deutlich höherer Zeitaufwand für das maschinelle Nachmelken und Rastzeiten gefunden. Dies weist auf zu geringe Melkstandgröße oder auf ungünstige, nicht an die Bedingungen im Swing-Over angepasste Arbeitsorganisation hin (**Tabelle 1**).

Für gleiche Melkleistung wurden im FGM mit Einzelmelkzeugen mehr Melkzeuge als im Swing-Over-Melkstand benötigt, diese befanden sich jedoch in Anlagen mit weniger Melkplätzen. Die Platzbelegung in FGM mit Einzelmelkzeugen sank von 4,7 Kühen/Platz und Stunde in kleineren Anlagen (im Mittel 20 Plätze) auf 3,6 Kühe/Platz und Stunde bei mehr als 30 Plätzen, während sie in den Swing-Over-Melkständen in allen Größenklassen bei lediglich 3,1 Kühen/Platz und Stunde lag.

Tabelle 1: Arbeitsaufwand in verschiedenen Melkstandsystemen – Swing-Over (SO) und Gruppenmelkstände (Standart) (nach Krumm, 2004)

ACTION	D(SO) [cmin]	GB(SO) [cmin]	GB(Std) [cmin]
t_{ON}	21	20	18
t_{PREP}	14	1	2
t_{STRIP}	14	1	1
t_{IDLE}	12	2	4
t_{WALK}	6	4	5
$t_{W\text{-}ROOM}$	5	2	2
TOTAL LABOUR INPUT	**72**	**30**	**32**

Die Melker passten ihre Melkarbeit hauptsächlich durch Weglassen oder Verkürzen von Routinen an die je Kuh zur Verfügung stehende Zeit an. Dies betraf vor allem die Eutervorbereitung, also Euterreinigung, Gewinnung und Beurteilung der Vorgemelke, Stimulation, aber auch Euterkontrolle, Nachmelken und Zitzendippen. Während Stimulation, Nachmelken und Zitzendippen gegebenenfalls durch entsprechende technische Einrichtungen mechanisierbar sind, ist es mit Bezug auf die Einhaltung der Milchverordnung, aber auch zur Sicherung der Eutergesundheit und zur Vermeidung damit zusammenhängender Risiken, nach dem augenblicklichen Stand der Technik nicht vertretbar, die Eutervorbereitung vollständig "einzusparen".
Die immer wieder versprochenen Arbeitsleistungen von 100 Kühen/Melkperson und Stunde und mehr sind daher sehr kritisch zu hinterfragen, denn selbst wenn z. B. im Melkkarussell oder im FGM-/Parallel-Melkstand mit Frontaustrieb der Arbeitszeitaufwand für Ein- und Austrieb der Kühe verringert werden kann, reicht die bei derartigen Durchsätzen verfügbare Zeit eigentlich nur noch zum Ansetzen des Melkzeuges aus.

2.8 Arbeitszeitaufwand für zusätzliche Arbeiten je Melkplatz und Tag

In Herden von 100 Kühen und mehr wurden im Mittel knapp 1,5 Akmin/Kuh und Tag an Rüstzeiten und Nebenarbeiten in Verbindung mit dem Melken gemessen. Bei steigender Herdengröße nahm der Arbeitszeitbedarf pro Kuh und Tag ab. Zur einfachen, überschlägigen Abschätzung der Rüstzeiten eignete sich als von der Bestandsgröße unabhängiger Parameter die Anzahl der eingesetzten Melkzeuge. Hierbei ergab sich ein Arbeitszeitbedarf von rund 5 Akmin pro Melkzeug und Tag (**Abbildung 17**). Für die parallel zu den Melkzeiten ablaufenden Arbeiten, die vor allem den Umtrieb von Kuhgruppen betrafen, wurden im Mittel rund 1,1 Akmin/Kuh und Tag in Abhängigkeit von Dauer der Melkzeit und Anzahl der eingesetzten Arbeitspersonen gemessen. Auch bei kleineren Herden werden die Melkarbeiten erleichtert und beschleunigt, wenn diese Arbeiten von außerhalb des Melkstandes tätigen Personen erledigt werden können.

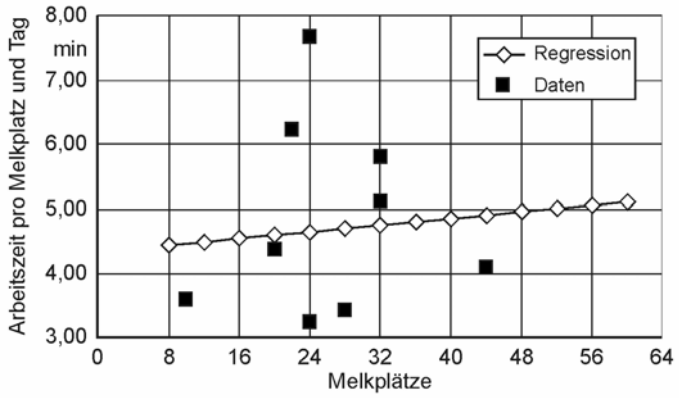

Abbildung 17: Arbeitszeitaufwand für zusätzliche Arbeiten in Melkständen je Melkplatz und Tag (nach Ordolff, 1998)

3 Entwicklungen in der Sensortechnik Beurteilung der Euteroberflächen

In Verbindung mit dem Einsatz automatischer Melkverfahren sind sensortechnische Lösungen zum Beurteilen der Sauberkeit des Euters, zur Entdeckung von Verletzungen der Zitzen und zur bedarfsgerechten Durchführung der Reinigung von Euter und Zitzen erforderlich.
Ein industrielles Bildverarbeitungssystem wurde benutzt, um die Sauberkeit von Euteroberflächen zu bewerten (**Abbildung 18**). Die Oberflächeneigenschaften wurden beschrieben durch die Helligkeit sowie die Farbpaare „rot-cyan“ und „gelb-blau“. In einer weiteren Untersuchung wurde die Effizienz der Entdeckung blutbenetzter Oberflächen beurteilt. Die Kombination von Helligkeit und Farbsignalen ermöglichte mit einiger Sicherheit die Bewertung der Oberflächen. Auf der Grundlage des Parameters „gelb-blau“ konnte auch Blut mit diesem System entdeckt werden (**Abbildung 19**). Für die praktische Anwendung sind Untersuchungen zusätzlicher Aspekte zweckmäßig, wie tierspezifische Grenzwerte für unverletzte Hautbereiche, Position der Kuh, zusätzliche Kameras für die Beurteilung der kompletten Euteroberfläche und Optimierung der Ausleuchtung der zu überprüfenden Flächen.

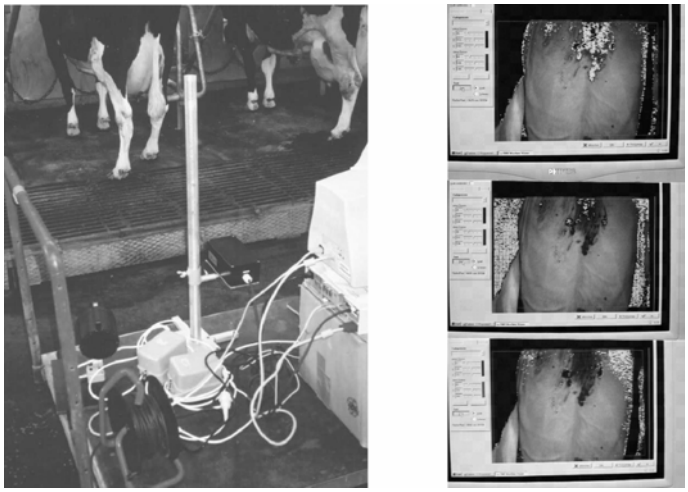

Abbildung 18: Versuchstechnik zur Erfassung digitaler Bilder von der Euteroberfläche

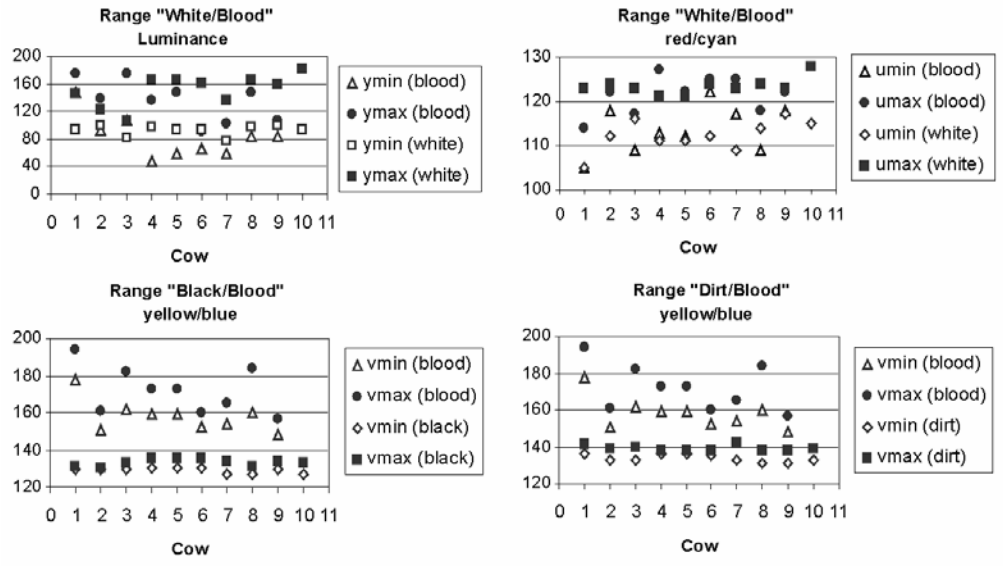

Abbildung 19: Beispielhafte Messwerte von optischen Parametern zur Erfassung des Zustandes von Euteroberflächen; z.B. erkennt man bei den unteren beiden Messwertdarstellungen „Black/Blood“ und „Dirt/Blood“ relativ klar, dass Blut von einem dunkeln bzw. verschmutzen Hintergrund mittels der aufgeführten Parameter sehr gut unterschieden werden kann; nicht ganz so eindeutig ist es bei den oberen beiden Beispielen – hier sind weitere Erkenntnisse zu erarbeiten

3.1 On-Farm-Milch-Analyse

Neben den verfügbaren Techniken kündigen sich Einrichtungen zur Milchanalyse auf dem Erzeugerbetrieb im Rahmen der Milchleistungsprüfung und zum Einsatz für das Herdenmanagement an. Wegweisend ist in dieser Hinsicht ein Projekt der französischen Milchkontrollorganisation France Contrôle Laitier (FCL), welches bereits vor etwa 25 Jahren initiiert wurde. Die Analysenwerte dieses Systems weichen nicht mehr als ± 0,05 % Fett von den im Zentrallabor eines Landeskontrollverbandes untersuchten Referenzproben ab und erfüllen die Anforderungen der Milchleistungsprüfung. Entsprechende Resultate wurden für die Parameter Eiweiß und Laktose erzielt (**Abbildung 20** und **Abbildung 21**).
Auch Ultraschallsignale werden zur Milchanalyse in mobilen Geräten eingesetzt. Die Ergebnisse einer kompakten Anlage zeigten, dass sich dieses vergleichsweise preisgünstige Messverfahren nach Optimierung der Auswertungsalgorithmen zum Einsatz im Rahmen des Herdenmanagements eignet (**Abbildung 22** und **Abbildung 23**).
Neben einer effizienten Optimierung von Futterrationen würde die Milchanalyse unmittelbar auf dem Erzeugerbetrieb, zum Beispiel über den Parameter Laktose, auch zu einer raschen Erkennung von Veränderungen der Eutergesundheit beitragen können. Die Einführung dieser Technik wird die Aufgabenprofile der zentralen Milchuntersuchungslabors deutlich verändern, denn einerseits ist mit der Reduzierung von Routineuntersuchungen, andererseits mit regelmäßiger Überprüfung der Messgenauigkeit von On-Farm-Anlagen zu rechnen.

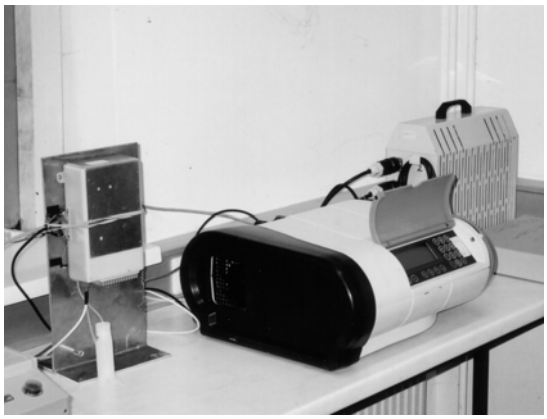

Abbildung 20: NIR-On-Farm-Milchanalysegerät von FCL

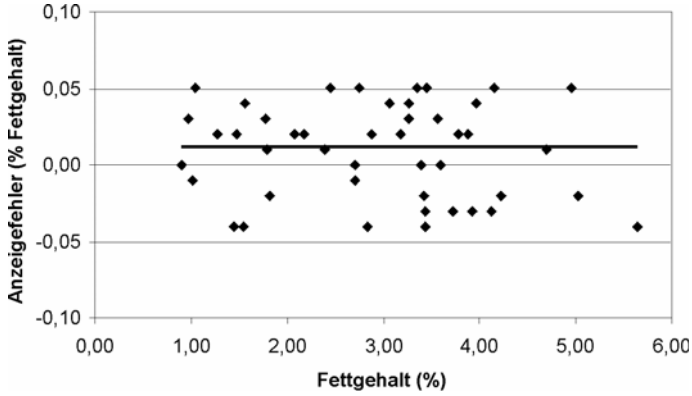

Abbildung 21: Beispiel für die Messgenauigkeit bzw. den Messfehler eines NIR-FCL Messgerätes zu Bestimmung des Fettgehaltes

Abbildung 22: Beispiel für ein On-Farm-Milchanalysegerät auf Ultraschallbasis

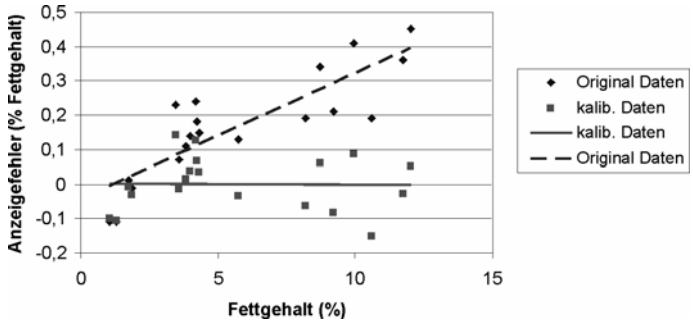

Abbildung 23: Erste Ergebnisbeispiele mit einem On-Farm-Milchanalysegerät auf Ultraschallbasis mit der Darstellung des Messfehlers – Orginaldatendarstellung und Datendarstellung nach einem Kalibriervorgang

3.2 Veränderung der Vorgemelksfarbe zu Laktationsbeginn

An einer Gruppe von 22 Kühen mit unterschiedlichem Status der Eutergesundheit wurden an den Laktationstagen 3 bis 13 Zusammensetzung und optische Eigenschaften von Vorgemelken entsprechend der von dem in der DIN 6174 beschriebenen Standard CIE-lab vorgegebenen Parameter erfasst (**Abbildung 24**). Außerdem wurden die Zusammenhänge zwischen Zellzahl, elektrischer Leitfähigkeit der Milch und optischen Parametern untersucht. In den ersten Laktationstagen wurde eine rasche Veränderung vor allem des Eiweißgehaltes und der farblichen Eigenschaften der Milch beobachtet (**Abbildung 25**). Interaktionen zwischen Zellzahl und optischen Parametern der Milch wurden in der Kolostralmilchphase nicht gefunden.

Abbildung 24: Erfassung von optischen Messwerten zur Beurteilung der Vorgemelksfarbe in der Kolostralmilchphase

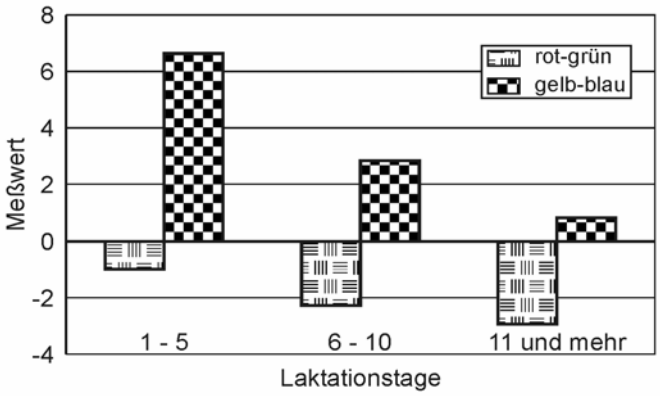

Abbildung 25: Veränderung der Vorgemelksfarbe anhand der erfassten optischen Messwerte in Abhängigkeit der Laktatationstage (Ordolff, 2005)

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Farbeigenschaften der Milch, gegebenenfalls in Verbindung mit der Messung der elektrischen Leitfähigkeit, zur Abgrenzung der Kolostralmilchphase von den nachfolgenden Laktationsstadien geeignet sind. Darüber hinaus sind Sensoren zur automatischen Entdeckung von Blutbeimischungen in der Milch in der Entwicklung. Neben den beschriebenen und zum Teil in der Praxis eingesetzten oder in Kürze verfügbaren Einrichtungen wird nach weiteren Techniken und Parametern gesucht, die zur Sicherung von Eutergesundheit und Milchqualität beitragen können. Erfolgversprechende Ergebnisse haben Untersuchungen am Institut für Technologie und Biosystemtechnik der FAL in Zusammenarbeit mit dem Institut für Betriebstechnik und Bauforschung (Culina et al., 2005) über den Einsatz von Biosensoren zur frühzeitigen Erkennung von Infektionen der Milchdrüse erbracht.

Weitere Projekte betreffen die Messung von chemischen und elektrischen Parametern zur Überwachung der Eutergesundheit. Das Institut für Agrartechnik in Potsdam-Bornim, untersucht die Ionenkonzentration in der Milch, um laktationsabhängig Referenzwerte für die elektrische Leitfähigkeit zu setzen (Krehl und Brunsch, 2005). An der TU Dresden werden für diesen Zweck mit Hilfe von Hochfrequenzsignalen Impedanz- und Kapazitätswerte der Milch bestimmt (z.B. Werner, 2002; Bürger und Nacke, 2005). Ein weiteres Beispiel für einen tierangepassteren Melkprozess sind Entwicklungen von Sensoren für eine milchflussgesteuerte Pulsierung (**Abbildung 26**).

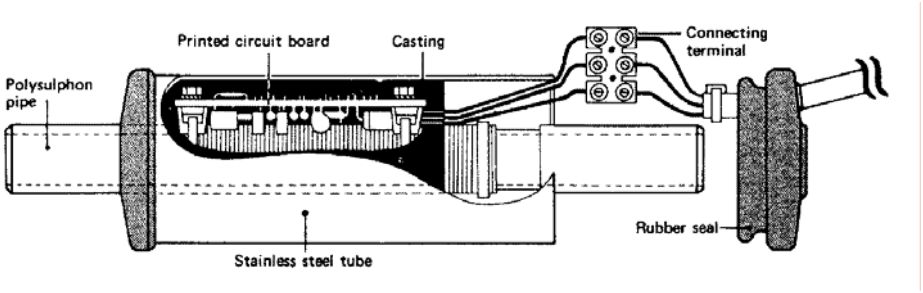

Abbildung 26: Skizze eines Beispiels für einen Sensors zur milchflussgesteuerten Pulsierung

4 Ausblick und Fazit

Die zurzeit laufenden, technischen Entwicklungen bei Melkständen und Sensoren zur Automatisierung des Melkprozesses lassen erwarten, dass die Funktion konventioneller und automatischer Melksysteme und die Bestandsführung immer umfassender durch Sensoren gesteuert werden.
Dies führt zu tierindividuell ablaufenden schonenden Melkprozessen; weiterhin sind unter dem Aspekt der Nachvollziehbarkeit von Prozessabläufen, dokumentierbare Überwachung von Milchqualität, Gesundheit und Versorgung der Tiere vor Ort, etc. zu erreichen. Stichpunktartig lassen sich beispielhaft abschließend folgende Aussagen festhalten:

- Es gibt zahlreiche Weiterentwicklungen bei den bekannten Melkstandsystemen (Autotandem, Fischgrätenmelkstand, Side-by-Side, Swing-Over, Melkkarussell) hinsichtlich Arbeitszeitaufwand und Ergonomie, Automatisierung, Sicherung der Eutergesundheit, Kosten etc.

- AMS sind derzeit interessant für zukunftsfähige Familienbetriebe, jedoch noch nicht für Lohnarbeitsbetriebe.

- Die Milchqualität kann u. a. mithilfe optischer Sensoren, z. B. durch Bewertung der Eutersauberkeit, gesichert werden.

- Die On-Farm-Milchanalyse wird in absehbarer Zeit in der Praxis Einzug halten.

- Bei Online-Sensoren sind merkliche Fortschritte erreicht, jedoch besteht Entwicklungsbedarf in der Forschung sowie für die Bereitstellung von marktfähigen Produkten.

- Nicht jede neue Melkstand- bzw. Melktechnikvariante ist in der Praxis sinnvoll; für die Implementierung neuer Techniken besteht weiterhin FuE-Bedarf sowie die Notwendigkeit von Systemvergleichen.

5 Zusammenfassung

Melkstände sind trotz der kontinuierlichen Weiterentwicklung automatischer Melksysteme immer noch die „normale“ technische Lösung für die Milchgewinnung in Laufställen. Bei den zur Zeit eingesetzten Bauarten sind zwei Kategorien zu unterscheiden, Einzelmelkstände mit einem Melkplatz pro Tier, den der Melker unabhängig von den Abläufen in anderen Plätzen betreuen kann und Gruppenmelkstände, in denen die Melkplätze gruppenweise von den Tieren betreten und wieder verlassen werden.
Ein gebräuchlicher Einzelmelkstand ist der Tandemmelkstand mit relativ großem Platzbedarf. Die Steuerung von Zu- und Abgang der Tiere erfolgt überwiegend automatisch ("Autotandem") in Abhängigkeit vom Ablauf des Melkprozesses. Der am weitesten verbreitete Gruppenmelkstand ist der Fischgrätenmelkstand, bei dem die Kühe schräg gestaffelt nebeneinander stehen. Üblich ist die zweireihige Anordnung der Melkplätze mit einem Melkzeug je Melkplatz ("Einzelmelkzeuge"). Zur Beschleunigung des Umtriebes werden größere Fischgrätenmelkstände häufig mit Frontaustrieb versehen. Um die Zugänglichkeit zu den Eutern zu verbessern, können kleine Kühe durch bewegliche Frontabgrenzungen in Richtung des Melkers verschoben werden ("Indexing").
In ähnlichen Dimensionen wie Fischgrätenmelkstände werden Parallelmelkstände angelegt. Die Melkzeuge werden hier zwischen den Hinterbeinen hindurch angesetzt.

In Melkkarussellen werden die Kühe auf einer beweglichen Plattform vom Zugang des Melkstandes zum Ausgang transportiert und dabei gemolken. Die Arbeiten vor dem Milchentzug sind von denen nach dem Milchentzug räumlich getrennt. In großen Anlagen ist daher eine Aufteilung der Arbeitsgänge auf mehrere Personen möglich ("Fließbandverfahren"). Die Arbeitsplätze des Melkpersonals befinden sich entweder innerhalb des Tragringes für die Melkplätze ("Innenmelker") oder außerhalb ("Außenmelker"). In den beschriebenen Gruppenmelkständen und Karussells können pro Melkplatz stündlich rund fünf Kühe gemolken werden.
Technische Weiterentwicklungen sind auf verschiedenen Ebenen zu beobachten. Bei Fischgrätemelkständen können die Kühe in einem Winkel von 50° zur Standlängsachse aufgestellt werden. Dies verkürzt die Wege und ermöglicht den Ersatz alter Tandemmelkstände.
In so genannten Swing-Over-Melkständen wird jedes Melkzeug abwechselnd an zwei gegenüberliegenden Melkplätzen eingesetzt. Da Kühe mit einer langen Melkdauer den Melkablauf verzögern, ist mit insgesamt nur drei pro Stunde und Melkplatz zu melkenden Kühen zu rechnen. Für die Förderung der Milch zur rund 1,2 m über dem Euterniveau liegenden Milchleitung muss das Anlagenvakuum um ca. 4 kPa höher als bei tief liegender Milchleitung sein.
Entwicklungen im Detail betreffen vormontierte Baugruppen, höhenverstellbare Melkstandböden, Kuhtreiber, Selektionstore, Dippanlagen und, seit der Verbreitung der TMR, wieder die Kraftfutter-Vorlage im Melkstand. Um die mechanische Belastung der Euter zu verringern, werden zunehmend Servicearme installiert, häufig in Verbindung mit Nachmelkvorrichtungen. In Melkkarussellen kann die Umlaufgeschwindigkeit an die Melkdauer der Kühe angepasst werden. Leistungsgeregelte Vakuumpumpen verringern den Energieverbrauch um mehr als 60 %.
Als viel versprechende Weiterentwicklung des Herdenmanagements zeichnet sich die On-Farm-Analyse der Milchinhaltsstoffe ab. Neben diesen Entwicklungen gibt es weitere komplexe Lösungsansätze, um über Sensoren verschiedenste Parameter aus dem Melkprozess online zu erfassen; diese basieren auf unterschiedlichsten Sensorprinzipien. Eine Grundvoraussetzung, um tierindividuelle Daten automatisch zu erfassen, sind automatische Identifikationstechniken – auch hier gibt es eine Reihe von Weiterentwicklungen einschließlich von Normungstätigkeiten. Aktuelle Entwicklungen der Melktechnik können Eutergesundheit, Arbeitsqualität, Arbeitsaufwand, Betriebskosten und Betriebssicherheit der Anlagen positiv beeinflussen. Das Engagement des Menschen wird jedoch weiter gefragt sein.

Literatur

Artmann R. (2005): Ergebnisse aus langjährigem Praxiseinsatz von Melkrobotern. Proc. 7th Conference on Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming. KTBL-Schriften-Vertrieb, Münster-Hiltrup: 145-150

Artmann R. (1999): Electronic identification systems: state of the art and their further development. Computers and electronics in agriculture, 24, 5-24

Bürger C,. Nacke T. (2005): Zellzahlbestimmung in der Rohmilch. Landtechnik 60 (3): 160-161

Culina M., Hahne J., Vorlop K.-D., Ordolff D. (2005): Design of an online sensor array for an early detection of udder affections in automatic milking systems. Proc. 7th Conference on Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming. KTBL-Schriften-Vertrieb, Münster-Hiltrup: 151-156

Gartung J., Uminski K., Hartwig M., Hoch C. (2006): Forschungsbericht zum Investitionsbedarf für Milchviehlaufställe. Bericht aus dem Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Nr. 387: 352 S. (unveröffentlicht)

Krehl I., Brunsch R. (2005): Konzentration der Ionen Natrium und Kalium in Rohmilch als Kennzeichen der Eutergesundheit. Proc. 7th Conference on Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming. KTBL-Schriften-Vertrieb, Münster-Hiltrup: 175-157

Krumm A., 2004: Zur Leistungsfähigkeit moderner Swing-Over-Melkstände. Masterarbeit am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim (unveröffentlicht)

Ordolff D. (1998): Untersuchungen zum Arbeitszeitbedarf für Nebenarbeiten beim Melken. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 50: 127-132

Ordolff D. (2002): Farbparameter zur Bewertung der Eutersauberkeit. Landtechnik 57 (6): 328-329

Ordolff D. (2003): Beurteilung der Eutersauberkeit mit einem Bildverarbeitungssystem. Landtechnik 58 (4): 270-271

Ordolff D. (2005): On-Farm-Milchanalyse – eine vielversprechende Herausforderung. Proc. 7th Conference on Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming. KTBL-Schriften-Vertrieb, Münster-Hiltrup: 505-509

Schick M., Früh B. (2003): Bewertung der Arbeitsqualität landwirtschaftlicher Arbeitsverfahren am Beispiel Melken. Landbauforschung Völkenrode, SH 243 (Herausgeber: Bockisch F.-J., Kleisinger S.), 63-68

Wendl G., Harms J. (2005): Innovative Technik für die Tierhaltung durch Sensoren und Automatisierung. VDI-Berichte Nr. 1895, S. 3-15

Werner A. (2002): Biosensor zur Bestimmung lipophiler Substanzen in Flüssigkeiten. Uniprotokolle Universität Dresden