

# Zur Simulation von Milchgewinnungsverfahren

Dr. sc. agr. J. Zipper/Dr. agr. A. Walther, Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin  
Dipl.-Math. H. Friedrich, Karl-Marx-Universität Leipzig, Organisations- und Rechenzentrum

Technologische Forschung wird häufig falsch als Nachtrag zu maschinentechnisch-konstruktiven Lösungen verstanden und dann erst am Ende eines langen Entwicklungsweges bei der verfahrensmäßigen Einordnung und Erprobung neuer Maschinensysteme wirksam. Unter solchen Gegebenheiten kann die eingeschlagene Entwicklungsrichtung stark von vorhandenen bzw. mehr oder weniger zufällig ausgewählten maschinentechnischen Lösungen beeinflusst werden, ohne daß die gegebenen Entwicklungsmöglichkeiten im Sinn einer Optimierung des Gesamtverfahrens annähernd ausgeschöpft sind. Als Folge bleibt der wissenschaftlich-technische Fortschritt hinter den gegebenen Möglichkeiten zurück.

Eine rechtzeitige und umfassende Berücksichtigung technologischer Anforderungen an technische Neuerungen hat aber zur Voraussetzung [1], daß

- der technologische Gesamtprozeß im Verlauf geklärt ist und die an technische Neuerungen zu stellenden Anforderungen exakt aus der Prozeßanalyse abgeleitet werden können
- die Entwicklungs- und Prüfkapazität ausgewogen sind und die umfassende technologische Prüfung mit den Neuentwicklungen Schritt hält
- bei der Prüfung und Erprobung neuer Verfahren ein hinreichender Vergleich mit anderen Systemen gegeben ist.

Am Beispiel der Entwicklung von Milchgewinnungsverfahren wird erkennbar, daß diese Voraussetzungen mitunter recht unvollkommen sind. Während relativ langer Zeiträume dominierte die technisch-konstruktive Entwicklung gegenüber der technologischen Analyse. Aber auch heute ist bei dem vielschichtigen Zusammenwirken von Tier, Maschine und Mensch im Melkprozeß die Erfassung der technologischen Wirksamkeit von neuen Verfahrenselementen mit herkömmlichen Methoden nach wie vor zeitraubend und aufwendig, und so wächst die Anzahl technischer Verfahrensänderungen in stärkerem Umfang als die erforderliche Prüfkapazität.

Mit der zunehmenden Kapazität der Melkstände (Melkplätze, Durchsatz) verringert sich auch die Möglichkeit für eine parallele Überprüfung unter gleichen Bedingungen. Im Normalfall erfolgt die Erprobung unter Praxisbedingungen, wobei in einem Betrieb (Milchviehanlage) nur eine Melkstandvariante vorhanden ist und die Prüfbedingungen von Betrieb zu Betrieb außerordentlich großen Schwankungen unterliegen.

Aus dieser Situation erklärt sich z. T. das im Weltmaßstab überaus vielfältige Angebot an Melkeinrichtungen, ohne daß die Vor- und Nachteile der einzelnen Lösungen eindeutig nachgewiesen sind.

## 1. Zielstellung der Modellierung

Zur Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts erscheint es unter diesen oder ähnlichen Bedingungen dringend notwendig, neue Möglichkeiten für eine tech-

nologische Beurteilung und Wertung von Verfahrensvarianten zu erschließen.

Das Ziel sollte darin bestehen, den Prozeßablauf modellmäßig zu erfassen und mit Hilfe von Großrechnern nachzubilden, um

- einen Vergleich von Verfahrensvarianten unter vergleichbaren Bedingungen vornehmen zu können
- Vorzugsvarianten unter sehr variablen Bedingungen zu überprüfen
- die technologische Wirksamkeit von Verfahrensänderungen (Arbeitskraft, Tier, Maschine) exakt zu belegen und Gesetzmäßigkeiten im Zusammenwirken der einzelnen Verfahrenselemente abzuleiten
- aus der Überschaubarkeit der Auswirkungen begründete Anforderungen hinsichtlich der Gestaltung einzelner technischer Details bzw. ganzer Systeme als Vorgabe definieren zu können
- die technologische Wirksamkeit neuer Verfahren vor deren technischer Realisierung abzuschätzen und eine Vorauswahl von entwicklungswürdigen Varianten zu treffen
- die Auswirkungen einer unterschiedlichen Verfahrensführung abzuschätzen und eingehendere Hinweise für die Nutzung entsprechender Melkanlagen geben zu können.

## 2. Elemente des Milchgewinnungsprozesses

Wenn es darum geht, einen real existierenden Prozeß — im vorliegenden Fall den Milchgewinnungsprozeß — auf der Grundlage eines Modells wirklichkeitsnah nachzubilden, ergibt sich die zwingende Notwendigkeit, die wesentlichen Elemente des Prozesses und die Bedingungen für deren Zusammenwirken herauszuarbeiten [2].

Das Grundanliegen beim Melken, unter Berücksichtigung der Laktationsphysiologischen Erfordernisse der Kühe eine hochwertige Milch bei möglichst geringen Zeitaufwendungen zu gewinnen, wird im praktischen Melkablauf durch das gezielte Zusammenwirken von Arbeitskräften, Tieren und technischer Einrichtung verwirklicht. Bei der Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung des Milchentzugs führen die Arbeitskräfte an der Kuh unter Zuhilfenahme technischer Mittel eine Reihe von Bearbeitungsvorgängen aus bzw. leiten welche ein, die dann teilweise oder vollständig maschinell ausgeführt werden.

Tafel 1. Bearbeitungsvorgänge am Tier in gegenwärtigen Melkanlagen

Bearbeitungsvorgänge beim Tierwechsel	Bearbeitungsvorgänge bei der Eutervorbereitung	Bearbeitungsvorgänge beim Milchentzug	Bearbeitungsvorgänge bei der Euternachbereitung
Eintreiben Austreiben	Vormelkprobe Euterreinigung Anrücken Ansetzen des Melkzeugs	Maschinenhauptmelken Maschinennachmelken	Abnehmen des Melkzeugs Nachkontrolle Euterdesinfektion

Aus dieser Sicht sind Arbeitskräfte, Tiere und technische Einrichtungen als die sachlichen Elemente des Milchgewinnungsprozesses zu betrachten. Die für die Milchgewinnung gegenwärtig als erforderlich erachteten Bearbeitungsvorgänge bilden im Sinn der Modellierung die Realisatoren des Zusammenspiels der genannten Prozeßelemente.

In Tafel 1 sind in Anlehnung an den Standard TGL 22257 [3] die Bearbeitungsvorgänge am Tier in gegenwärtigen Melkanlagen dargestellt.

Diese Ausgangsbasis muß durch Tätigkeiten der Arbeitskräfte ergänzt werden, die nicht am Tier ausgeführt werden, aber für den ordnungsgemäßen Ablauf des Gesamtprozesses erforderlich sind. Solche Arbeiten sind z. B. Eutertuch reinigen, Recorder entleeren, Konzentratfutter dosieren u. a., aber ebenso das Zurücklegen von Wegstrecken im Melkstand, Überwachungsfunktionen oder die Beseitigung von Störungen.

Für die Ausführung jedes einzelnen Bearbeitungsvorgangs ist eine bestimmte Zeitdauer (Bearbeitungszeit) erforderlich, die letztlich im Prozeßablauf wirksam wird. Hierbei wird unterstellt, daß mit einer bestimmten Zeitdauer für die Durchführung der Bearbeitungsvorgänge auch deren qualitative Seite mit erfaßt ist.

Die Ergebnisse der Analyse einer Reihe von Melkanlagen des In- und Auslands zeigten, daß die Bearbeitungszeiten sehr unterschiedlich zu werten sind. Die Zeitdauer für einzelne Bearbeitungsvorgänge, wie Eintreiben, Vormelkprobe, Ansetzen der Melkzeuge u. a., unterliegen von Tier zu Tier geringen Schwankungen, gleichen sich weitgehend aus und kommen dadurch im Melkablauf wie eine konstante Größe zur Wirkung.

Demgegenüber treten die vom Tier abhängigen Bearbeitungszeiten, wie Dauer für die Gewinnung des Maschinenhaupt- und Maschinennachmelks, stets als variable Größen in Erscheinung [4]. Für die Modellierung des Milchgewinnungsprozesses auf der Grundlage der einzelnen Bearbeitungsvorgänge (Realisatoren der Prozeßelemente) ist deshalb bei Vorgabe der Bearbeitungszeiten zwischen konstanten und variablen Größen zu unterscheiden, wobei für letztere die jeweilige Verteilungsfunktion bekannt sein muß. Ferner ist einzukalkulieren,

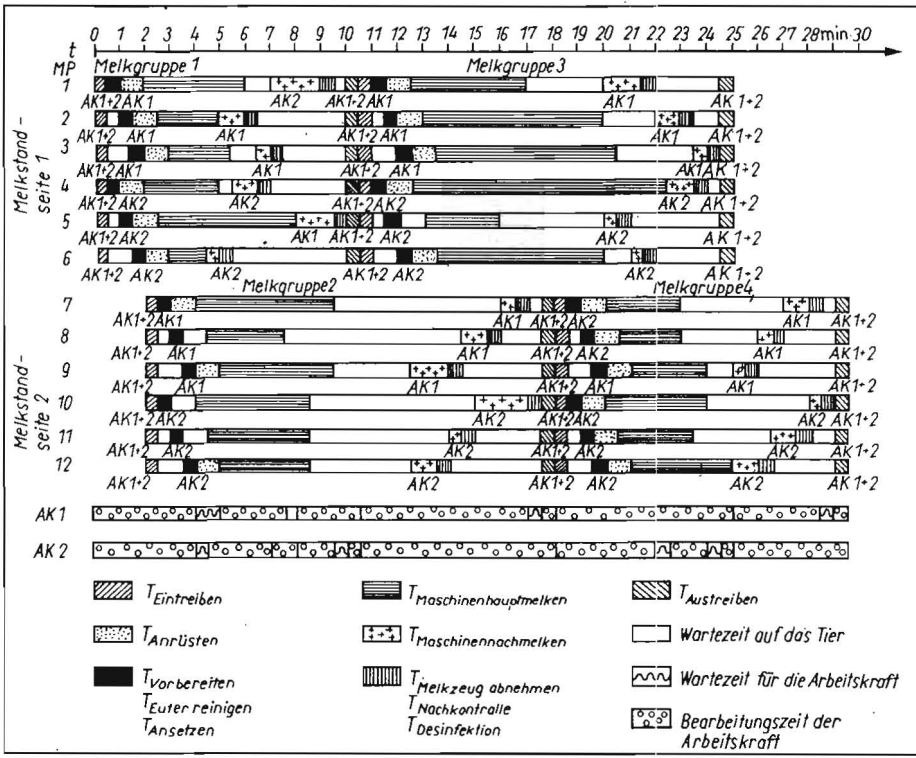
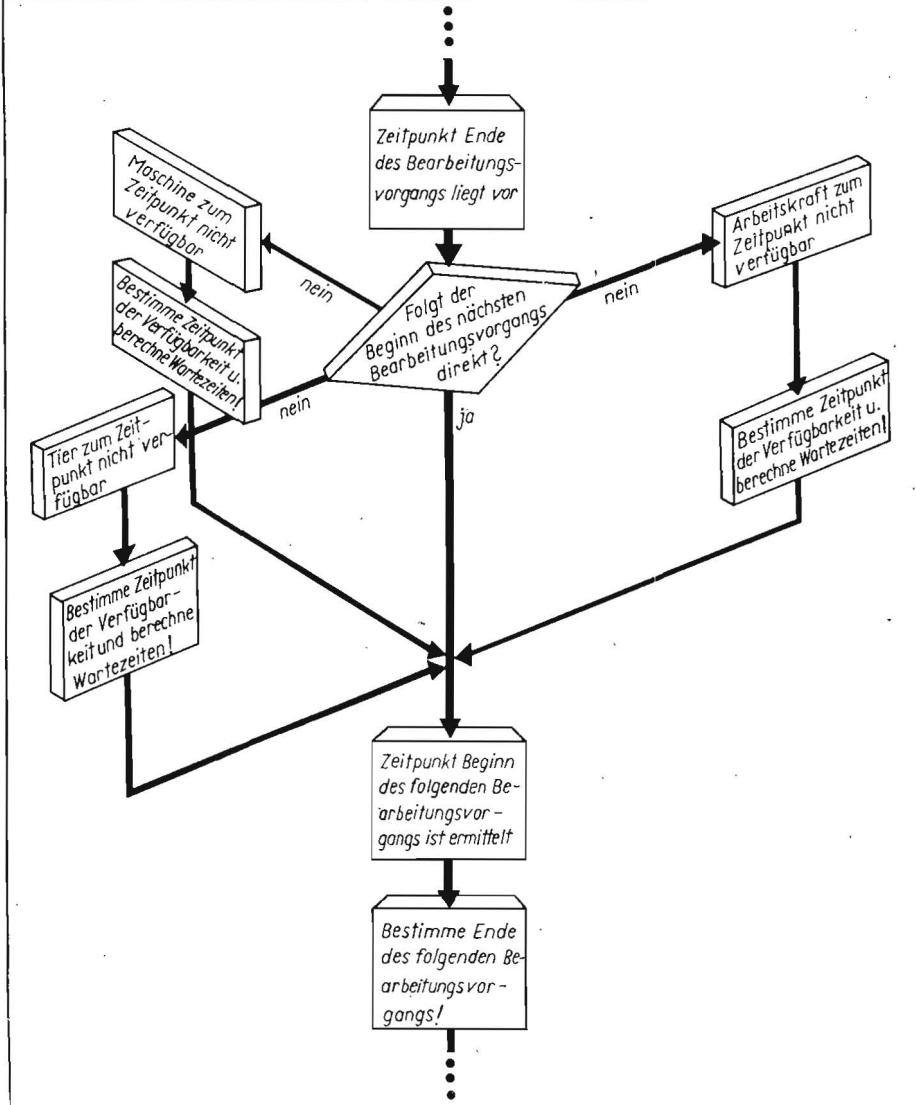


Bild 1. Schematischer Melkablauf im Fischgrätenmelkstand mit 2 x 6 Melkplätzen und versetztem Wechsel; t Momentanzzeit, MP Melkplatznummer, AK Arbeitskraft

Bild 2. Schema zur Bestimmung der Verfügbarkeit von Arbeitskraft, Tier und Maschine



daß Störungen der Bearbeitungsvorgänge mit konstant angenommener Bearbeitungszeit diese in eine variable Größe umwandeln.

**3. Bedingungen für den Prozessablauf**

Im praktischen Melkablauf wird das Zusammenwirken der Prozesselemente Arbeitskraft, Tier und technische Einrichtung durch eine Reihe von Bedingungen beeinflusst bzw. gesteuert. Wesentliche Einflüsse, die aus der konstruktiven Gestaltung des Melkstands resultieren, sind:

- Art des Melkstands, besonders unter dem Gesichtspunkt des Tierwechsels (Einzel- oder Gruppenwechsel)
- Anzahl der Melkplätze
- Anzahl der mechanisierten Bearbeitungsvorgänge sowie Mechanisierungs- oder Automatisierungsgrad.

Folgende organisatorische Maßnahmen werden besonders wirksam:

- Anzahl der Arbeitskräfte und ihre Zuordnung zu einzelnen Arbeitsplätzen
- Folge der Bearbeitung
- Anzahl und Art der von der Arbeitskraft auszuführenden oder einzuleitenden Bearbeitungsvorgänge.

Obwohl sich bei der Milchgewinnung eine gewisse Folge der einzelnen Bearbeitungsvorgänge aus sachlicher Sicht durchgesetzt hat und somit der Melkablauf für das Einzeltier relativ übersichtlich erscheint, muß bei Betrachtung des Melkgeschehens einer Tiergruppe festgestellt werden, daß durch die konkret vorherrschenden Bedingungen einer Melkstandvariante ein sehr unterschiedlicher zeitlicher Melkablauf entstehen kann.

Eine wesentliche Ursache dafür ist die von Tier zu Tier unterschiedliche Dauer gleicher Bearbeitungsvorgänge.

Durch diesen stochastischen Prozessablauf ist die Abstimmung zwischen eingesetzten Arbeitskräften, Zeitdauer der Bearbeitung und Anzahl an zugeordneten Kühen sehr erschwert und gegenwärtig nicht befriedigend gelöst.

Im praktischen Melkablauf ist ständig zu beobachten, daß bei irgendeinem Tier ein bestimmter Bearbeitungsvorgang beendet ist, um einen nachfolgenden Bearbeitungsvorgang einzuleiten oder auszuführen.

Ebenso tritt der Fall ein, daß die Arbeitskraft verfügbar ist, aber kein Tier bereitsteht, an dem eine notwendige Bearbeitung erforderlich wäre. Es entstehen Wartezeiten für die einzelnen Prozeßbestandteile. Im Bild 1 wurde versucht, an einem Ausschnitt aus dem Melkablauf in einem Fischgrätenmelkstand das Zustandekommen von Wartezeiten schematisch darzustellen.

**4. Verknüpfung der Verfahrenselemente**

Da Wartezeiten für Tier, Maschine oder Arbeitskraft permanenter Bestandteil des Prozeßablaufs sind und in Abhängigkeit von den jeweils vorherrschenden Gegebenheiten beim Melken einer Tiergruppe auftreten, besteht eine entscheidende Aufgabe der Prozeßnachbildung darin, diese Wartezeiten zu bestimmen und nach Häufigkeit und Dauer zu erfassen. Hieraus leitet sich die Grundaufgabe des zu erarbeitenden Modells ab. Auf der Basis der entweder als konstante Größe oder als Verteilungsfunktionen vorgegebenen Bearbeitungszeiten ist unter Berücksichtigung der ebenfalls vorgegebenen speziellen Bedingungen des Milchgewinnungsprozesses jede anfallende Wartezeit zu berechnen. Da immer dann, wenn ein Prozeßelement zur Durchführung eines Bearbeitungsvorgangs nicht verfügbar ist, eine

Wartezeit entsteht, muß für die Modellierung damit gerechnet werden, daß diese Situation theoretisch nach Beendigung eines jeden Bearbeitungsvorgangs eintreten kann.

Der komplizierte stochastische Ablauf beim Melken führt somit bei der Modellierung des Prozesses zu einer ständigen Wiederholung der Frage:

Folgt ein Bearbeitungsvorgang einem vorhergehenden ohne Einschub einer Wartezeit oder mit Einschub einer Wartezeit?

Mit Bild 2 wurde versucht, dieses Frageschema grafisch darzustellen. Die Zerlegung des Milchgewinnungsprozesses in solche Frageinheiten jedes Bearbeitungsvorgangs ist somit Voraussetzung für die Erarbeitung eines Modells. Das Zusammenspiel der Verfahrenselemente läßt sich dann durch die Verknüpfung der Zeitachsen für jede Arbeitskraft, jedes Tier und für die technische Einrichtung erfassen.

Diese Zeitachsen sind schrittweise im simulierten Prozeßablauf in Intervalle zu zerlegen, wobei Bewertung (Bearbeitungs- oder Wartezeit) und Länge jedes einzelnen Intervalls durch die jeweilige Prozeßsituation bestimmt sind. Somit ergibt sich aus der Addition von Wartezeiten und Bearbeitungszeiten eine Gesamtzeit für das Melken einer Tiergruppe oder

auch nur eines Tiers, woraus sich die Parameter Durchsatz und Arbeitsleistung berechnen lassen.

Gleichzeitig ist es möglich, aus dem Verhältnis zwischen Dauer und Häufigkeit der Wartezeiten und den Bearbeitungszeiten bzw. der Gesamtzeit genauere Aussagen über die Belastung der Arbeitskräfte, über den Ablauf am Tier sowie über die Auslastung der technischen Einrichtung zu treffen.

## 5. Zusammenfassung

Die Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts auf dem Gebiet der maschinellen Milchgewinnung zwingt zu einer Rationalisierung der Verfahrensprüfung und des Verfahrenvergleichs. Eine Lösung dieser Aufgaben ist durch die modellmäßige Nachbildung von Milchgewinnungsprozessen mit Hilfe von Großrechenanlagen gegeben.

Auf der Grundlage umfangreicher Analysen von unterschiedlichen Milchgewinnungsprozessen wurden deshalb die für eine Modellierung wesentlichen Elemente und Bedingungen herausgearbeitet und deren Verflechtung im Prozeßablauf gezeigt. Es empfiehlt sich, den zeitlichen Ablauf beim Melken, der sich aus einer Vielzahl konstanter und variabler Be-

arbeitungszeiten und Wartezeiten für die einzelnen Verfahrenselemente (Arbeitskraft, Tier und Maschine) ergibt, als Basis der Prozeßnachbildung zu wählen. Aus einer solchen lückenlosen Nachbildung sind nicht nur die technologischen Hauptparameter, wie Arbeitsleistung und Durchsatz, sondern zahlreiche Kennwerte zu gewinnen, die eine qualitative Beurteilung des Prozeßablaufs ermöglichen.

## Literatur

- [1] Zipper, J., u. a.: Untersuchungen über technologische Grundlagen und Bewertungsmaßstäbe zur Optimierung automatisierter Milchgewinnungsverfahren. VEB Impulsa Elsterwerda, Forschungsabschlußbericht 1973 (unveröffentlicht).
- [2] Walther, A.: Grundlagen zur Simulation des Milchgewinnungsprozesses — ein Beitrag zur Modellierung technologischer Prozesse. KMU Leipzig, Dissertation A 1976 (unveröffentlicht).
- [3] TGL 22257 Rinderproduktion; Melken. Ausg. 2. 75.
- [4] Zipper, J.; Walther, A.: Möglichkeiten zur Rationalisierung des Melkgeschehens durch Verringerung der Variation der Melkdauer. Tierzucht 32 (1978) H. 12, S. 551—553. A 3291

# Zur Anwendbarkeit von Druckmelkmaschinen

Dr. agr. F. Uhmann, Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin  
Dr. agr. C. Thalheim, VEB Kreisbetrieb für Landtechnik Dresden, Sitz Ottendorf-Okrilla

## 1. Zielstellung

Neben der weiteren Vervollkommnung der gegenwärtig dominierenden Melkmaschinen gibt es in den letzten Jahren eine Vielzahl von Bemühungen, von diesen Formen abzugehen. Dies hat seine Ursache darin, daß den auf dem Saugmelkverfahren basierenden Melkmaschinen mit Zweikammer-Melkbechern eine Reihe von Faktoren zugeordnet werden, die das Auftreten von Eutererkrankungen begünstigen.

Neben neuartigen Lösungen — z. B. Milchentzug durch in das Euter implantierte Dauerkatheter [1] — wird versucht, Melkverfahren, die bereits seit Anfang der Melkmaschinenentwicklung bekannt sind, in verbesserter technischer Ausführung auf ihre heutige Verwendbarkeit zu prüfen. So wurde besonders dem Melken mit Einkammer-Melkbechern in verschiedenen Ausführungen verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet [2]. Bisher konnten jedoch solche Melkmaschinen weder hinsichtlich Eutergesundheit noch Melkdauer und Milchertrag eine deutliche Überlegenheit gegenüber den herkömmlichen Melkmaschinen mit Zweikammer-Melkbechern nachweisen.

Druckmelkmaschinen werden kaum in die Betrachtungen einbezogen. Diese stellen im Prinzip eine technische Nachahmung des Handmelkens dar und haben besonders den Vorteil, daß der Milchentzug ohne Anwendung von Unterdruck möglich ist. Ein Teil der mit dem Saugmelkverfahren verbundenen negativen Wirkungen wäre bei diesem Verfahren daher nicht zu erwarten. So könnte z. B. ein Rück-

saugen der Milch von einem mit pathogenen Erregern infizierten Euterviertel auf ein von solchen Erregern freies Euterviertel kaum erfolgen. Auch ein Rückschlagen von Milchtropfen mit sehr hoher Geschwindigkeit auf und möglicherweise in die Zitze beim Lufteintritt in das Milchleitungssystem wäre wenig wahrscheinlich. Der Rückstoß von Milch aus der keimreichen Zitzenzisterne in die keimarme Euterzisterne könnte stark vermindert sein, weil vor dem eigentlichen Auspressen der Milch aus der Zitze ein Verschuß nahe ihrer Basis erfolgt.

Schon diese kurze Übersicht deutet an, daß das Druckmelken Vorteile gegenüber dem Saugmelken aufweisen könnte. Es war daher naheliegend, eine Analyse der bisher bekannten technischen Lösungen des Druckmelkens vorzunehmen, um die Zweckmäßigkeit der Weiterentwicklung dieses Verfahrens einzuschätzen.

## 2. Prinziplösungen des Druckmelkens

Zur besseren Einschätzbarkeit der Druckmelkmaschinen wurde zunächst der Versuch unternommen, in der Literatur beschriebene und patentierte Druckmelkvorrichtungen auf Grundprinzipie zurückzuführen. In die Auswertung gingen 61 Patente aus den Jahren 1885 bis 1976 ein. Danach können sechs Grundprinzipie unterschieden werden (Bild 1):

### Melken durch einen elastischen Hohlkörper

Der elastische Hohlkörper umschließt die Zitze teilweise oder vollständig. Unter Druckeinwirkung biegen sich zunächst nur seine oberen

Teile durch und führen so den Verschuß der Zitzenzisterne herbei. Bei weiterer Druckerhöhung biegt sich der Hohlkörper auch unter der ersten Verschußstelle durch und preßt so die Zitzenzisterne aus. Der Rückgang in die Ausgangslage und somit das Nachströmen von Milch in die Zitzenzisterne erfolgt durch Entlasten des Hohlkörpers.

### Melken durch Roll- oder Gleitvorrichtungen

Rollbar oder nicht rollbar gelagerte Vorrichtungen pressen die Zitzenwände zur Herbeiführung des ersten Verschlusses der Zitzenzisterne zusammen. Danach werden die Vorrichtungen unter Beibehaltung des Verschlusses von der Basis zur Zitzenzisterne geführt und pressen so die Milch aus. Oberhalb des Verschlusses fließt bereits während des Auspreßvorgangs Milch in die Zitzenzisterne nach. Die vollständige Füllung erfolgt bei Rückführung der Vorrichtung in die Ausgangslage.

### Melken durch eine Platte

Die Platte wird durch Schrägstellen zunächst nur mit ihrer oberen Kante an die Zitze gepreßt und führt so den Verschuß der Zitzenzisterne herbei. Unter Beibehaltung dieses Verschlusses wird die Platte nach und nach in die vertikale Lage gebracht und preßt dabei die Zitze aus. Das erneute Füllen der Zitzenzisterne erfolgt beim Zurückführen der Platte in die Ausgangslage.

### Melken durch eine Platte mit Verschußvorrichtung

An einer Platte ist zumeist federnd eine Vorrichtung befestigt, die vor dem Auftreffen der