

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

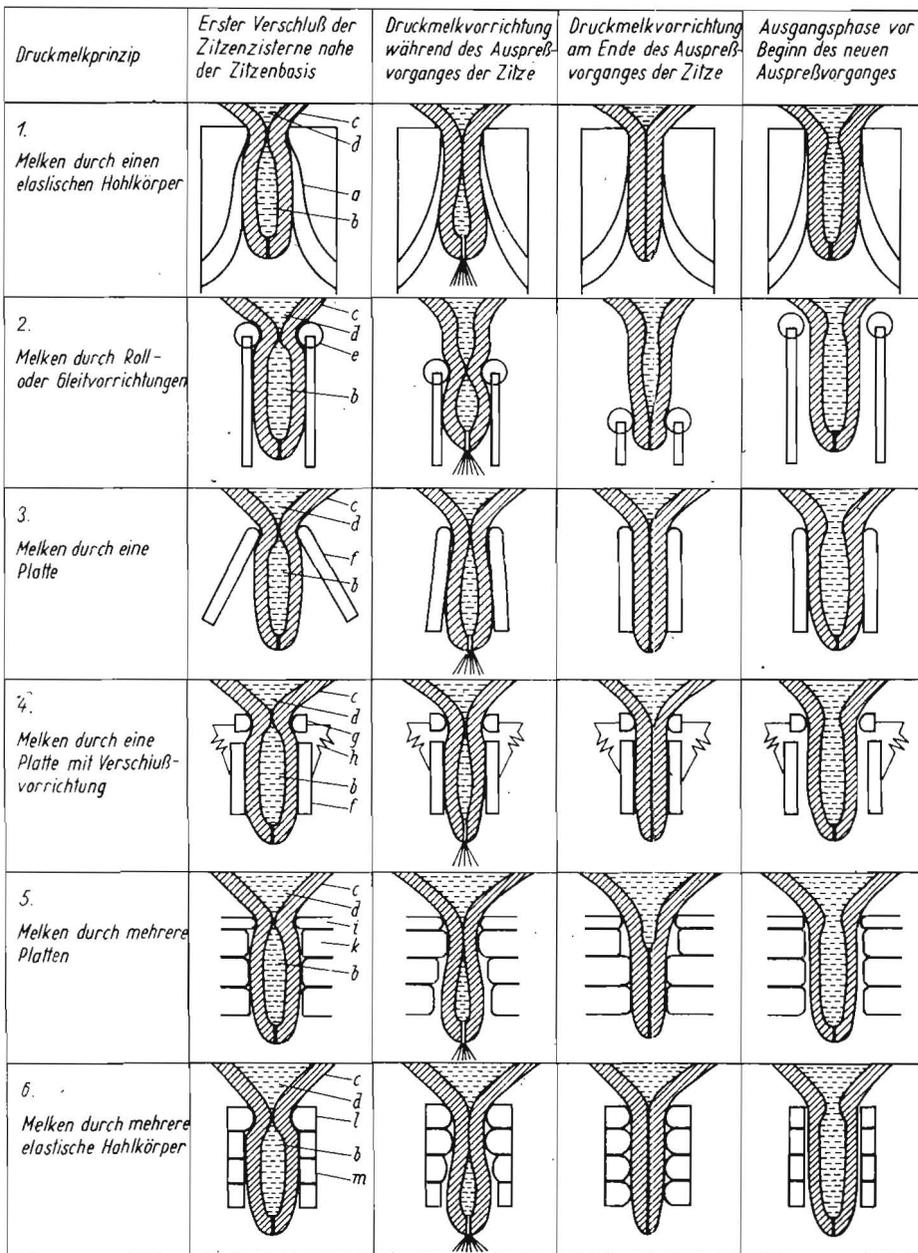


Bild 1. Schematische Darstellung des Melkvorganges bei verschiedenen Druckmelkverfahren; a elastischer Hohlkörper, b Zitzenzisterne, c Zitzenbasis, d Euterzisterne, e Roll- oder Gleitvorrichtung, f Platte, g Verschlussvorrichtung, h Feder, i zum ersten Verschluss der Zitzenzisterne dienende Platte, k zum Auspressen der Zitzenzisterne dienende Platten, l zum ersten Verschluss der Zitzenzisterne dienender Hohlkörper, m zum Auspressen der Zitzenzisterne dienende Hohlkörper

Platte auf die Zitze einen Verschluss der Zitzenzisterne bewirkt. Dieser Verschluss bleibt beim weiteren Heranführen der Platte und dem damit verbundenen Auspressen der Zitze erhalten. Das erneute Füllen der Zitzenzisterne mit Milch erfolgt beim Zurückziehen der Platte und damit auch der Verschlussvorrichtung in die Ausgangslage.

Melken durch mehrere Platten

Die oberste Platte dient zur Herbeiführung des Verschlusses der Zitzenzisterne. Dann werden nach und nach die darunterliegenden Platten an die Zitze geführt und pressen die Zitzenzisterne aus. Das Füllen der Zitzenzisterne kann bereits während des Auspreßvorganges durch Zurückziehen der oberen Platten beginnen. Die vollständige Füllung wird bei der Rückführung aller Platten in die Ausgangslage erreicht.

Melken durch mehrere elastische Hohlkörper

Dieses Prinzip ähnelt dem „Melken durch

mehrere Platten“, nur sind hier übereinanderliegende elastische Hohlkörper vorhanden, die die Zitze umschließen. Durch Druckerhöhung im obersten Hohlkörper dehnt sich dieser aus und bewirkt somit den Verschluss der Zitzenzisterne. Nach und nach wird auch ein Druckanstieg in den darunterliegenden Hohlkörpern herbeigeführt und die Zitze ausgepreßt. Das Füllen der Zitzenzisterne kann bereits während des Auspreßvorganges durch Entlasten der oberen Hohlkörper beginnen. Die vollständige Füllung wird beim Entlasten aller Hohlkörper erreicht.

Die genannten sechs Druckmelkprinzipie können in zwei Gruppen zusammengefaßt werden. In der ersten Gruppe (Druckmelkprinzipie 1 bis 3) stellt die Verschlussvorrichtung für die Zitzenzisterne gleichzeitig das Auspreßorgan dar. In der zweiten Gruppe (Druckmelkprinzipie 4 bis 6) sind für diese beiden Funktionen unterschiedliche Vorrichtungen vorhanden.

3. Einschätzung der Druckmelkprinzipie

3.1. Technische Voraussetzungen

Aus einer umfassenderen Analyse [3] werden hier nur einige Probleme dargelegt. Aus Bild 1 wird sichtbar, daß bei allen Druckmelkprinzipien jeweils nach Ende eines Auspreßvorganges eine kurze Zeitspanne vorhanden ist, in der die Druckmelkvorrichtung nicht im Eingriff mit der Zitze steht. Eine solche Zeitspanne ergibt sich aus der Notwendigkeit, die Zitzenzisterne erneut und zur Erzielung eines hohen Milchflusses möglichst vollständig zu füllen. Sie hat zur Konsequenz, daß ein selbsttätiges Halten der Druckmelkvorrichtung an der Zitze zu diesem Zeitpunkt nicht gegeben ist.

Dieses Problem ließe sich dadurch lösen, daß die vier Einzeldruckmelkvorrichtungen zu einem Melkzeug zusammengefaßt werden und sich gegenseitig stützen. Bei einem solch relativ starren Melkzeug könnten jeweils zwei oder drei im Eingriff stehende Zitzen — sofern das gesamte Melkzeug nicht von vornherein zu schwer wird — verhindern, daß sich die nicht im Eingriff stehenden Vorrichtungen von der Zitze lösen. Aus dem Aufbau des Euters ergibt sich jedoch, daß eine solche Möglichkeit nur eine geringe Aussicht auf Realisierung hat. So differiert die Summe der Zitzenabstände eines Euters (Summe der Abstände vorn, seitlich und hinten) von 25 bis 60 cm. Die Zitzenbasen eines Euters befinden sich nicht in einer einheitlichen Höhe, denn zwischen Vorder- und Hinterzitzen tritt ein Winkel zur Standfläche von rd. 10° mit einer Variationsbreite von 50° auf. Eine spezielle Anpassung des starren Melkzeugs an die Besonderheiten der Kühe durch voneinander unabhängige Lageänderung der Einzeldruckmelkvorrichtung in horizontaler und vertikaler Richtung wäre vor jedem Melkvorgang erforderlich. Diese Anpassung würde jedoch nicht ausreichen, um den Veränderungen des Euters während des Melkvorganges Rechnung zu tragen. Durch den Milchentzug nimmt das Volumen des Euters ab, und damit vermindert sich die Summe der Zitzenabstände bis zu 30%. Gleichzeitig senkt sich das Euter nach unten, wobei sich der Abstand zur Standfläche bei den Eutervierteln nicht gleichzeitig verringert. Eine nochmalige oder sogar häufigere Anpassung der Vorrichtungen an das Euter während des Melkens wäre notwendig. Selbst eine gesonderte Haltevorrichtung für Druckmelkmaschinen in Form des Abstützens auf der Standfläche oder durch Befestigung um den Rücken der Kuh könnte dieses Problem nicht lösen.

Die Zitzen weisen einen Durchmesser von 1,9 bis 3,7 cm auf. Damit variiert die zum ersten Verschluss der Zitzenzisterne nahe der Zitzenbasis zu pressende Zitzenfläche um rd. 100%. Bei den mit elastischen Hohlkörpern arbeitenden Vorrichtungen (Druckmelkprinzipie 1 und 6) ergeben sich daraus in geringerem Umfang Schwierigkeiten, weil eine gewisse Anpassung an die zu pressende Zitzenfläche durch die Druckmelkvorrichtung stattfindet. Bei den anderen Druckmelkprinzipien wirkt jedoch eine konstante Kraft auf die variierende Zitzenfläche ein. Je nach gewählter Größe der Kraft ergibt sich so die Gefahr einer Überlastung dünner Zitzen bzw. die Möglichkeit eines nicht sicheren Verschlusses bei dicken Zitzen. Eine Änderung der wirkenden Kraft entsprechend der Zitzenstärke scheint daher erforderlich, was einen zusätzlichen technischen Aufwand voraussetzt.

Ähnliche Probleme ergeben sich beim Auspreßvorgang durch die unterschiedliche Zitzen-

länge (rd. 3 bis 10 cm). Bei nicht geteilten Auspreßvorrichtungen' (Druckmelkprinzip 3 und 4) steigt die Variation der Zitzenfläche um ein Mehrfaches gegenüber der ersten Verschlussstelle an. Bei geteilten Druckmelkvorrichtungen mit starren Auspreßvorrichtungen (Druckmelkprinzip 5) tritt diese Problematik nicht so sehr in Erscheinung. Nicht beantwortet ist jedoch die Frage, ob das empfindliche Gewebe des Zitzenschließmuskels mit der gleichen Kraft belastet werden darf wie die darüberliegenden Zitzenzonen. Eine Begrenzung des Auspreßhubs ist aus diesem Grund wahrscheinlich beim Druckmelkprinzip 2 erforderlich, weil schon durch das sog. „Strippen“ beim Handmelken ungünstige Wirkungen auf das Schließmuskelverhalten beobachtet wurden. In geringerem Maß hat bei den Druckmelkprinzipen 1 und 6 die Zitzenlänge infolge einer gewissen Anpassung an die zu pressende Fläche durch die Druckmelkvorrichtungen Einfluß auf den Melkvorgang.

Nach der bisherigen Einschätzung scheinen bei den Druckmelkprinzipen 1 und 6 die günstigsten Voraussetzungen für eine Anwendbarkeit gegeben zu sein. Bei näherer Betrachtung scheidet jedoch das Druckmelkprinzip 1 weitestgehend aus. Selbst wenn bei diesem Prinzip zur Herbeiführung des ersten Verschlusses der Zitzenzisterne ein Durchbiegen des Zitzenkummis auf einer relativ kleinen Fläche nahe der Zitzenbasis gelingen sollte, ist zur weiteren Durchbiegung des Zitzenkummis und somit zum Auspressen der Milch ein mehrfacher Druckanstieg des Zitzenkummis belastenden Mediums erforderlich. Dieser hohe Druck wirkt dann voll mit auf die erste Verschlussstelle und überlastet mit hoher Wahrscheinlichkeit die Zitze.

3.2. Höhe des erzielten Milchstroms

Um einen Anhaltswert für den mit Druckmelkmaschinen erreichbaren Milchstrom zu erhalten, erfolgte bei 50 Kühen (200 Zitzen) die Bestimmung des auspreßbaren Volumens der Zitzenzisterne. Bei diesen Messungen wurde davon ausgegangen, daß durch eine Druckmelkvorrichtung keine solche spezielle Anpassung an die Zitze bzw. an das Euter der Kuh erreicht werden kann wie durch die Hand des Melkers beim Handmelken. Ohne spezielle Manipulationen, wie z. B. das Eindrücken der Melkerhand in das Euter bei sehr kurzen Zitzen, wurde an der Zitzenbasis auf einer Zitzenlänge von etwa 1 bis 1,5 cm ein Verschuß der Zitzenzisterne herbeigeführt und dann die Milch per Hand vollständig aus der Zitze gepreßt.

Die Länge der Zitzen umfaßte den Bereich von 3 bis 10 cm und entsprach somit den üblichen Werten. Das unter den genannten Bedingungen ermelkbare Zitzenzisternenvolumen lag im Bereich von 0 bis 15,5 cm³, wobei bei den einzelnen Zitzen die in Tafel 1 aufgeführten Mittelwerte auftraten. Bei 82% der Kühe befand sich die Zitze mit dem geringsten Volumen an der hinteren Euterhälfte.

Für die Milchstromberechnung wurden folgende Annahmen getroffen:

In Anlehnung an das Handmelken [4] sind an einer Zitze 80 Auspreßvorgänge je Minute möglich. Eine zu ermelkende Milchmenge von 10 l/Kuh und Melkzeit mit einer Milchmengenverteilung der Vorder- und Hinterzitzen im Verhältnis von 40:60 liegt vor. Die Zitze mit dem geringsten Zitzenvolumen ist begrenzend für den Milchfluß.

Anhand dieser Annahmen ergab sich für die 50 Kühe die in Tafel 2 dargestellte Milchstrom-

Tafel 1. Auspreßbares Volumen der Zitzenzisterne von 50 Kühen

Lage der Zitze	auspreßbares Volumen der Zitzenzisterne	
	\bar{x} cm ³	Variationsbreite cm ³
links vorn	6,2	3,0...15,5
links hinten	4,2	0,0...7,5
rechts vorn	4,5	0,0...7,5
rechts hinten	6,0	3,0...12,5

Tafel 2. Theoretische Verteilung des Milchstroms von Druckmelkmaschinen (50 Kühe)

	Milchstrom in l/min					
	0,000	0,001... 0,500	0,501... 1,000	1,001... 1,500	1,501... 2,000	2,001... 2,500
Anteil der Kühe in %	6	18	36	24	14	2

verteilung. Als durchschnittlicher Milchstrom für alle Kühe konnten 0,949 l/min errechnet werden.

Nach diesen Werten wird beim Druckmelken annähernd der gleiche Milchstrom erreicht wie beim Saugmelken, der beim letzteren Melkverfahren etwa im Bereich von 1,0 bis 1,5 l/min liegt. Zu beachten ist jedoch, daß bei der vorliegenden Berechnung von idealisierten Bedingungen (z. B. stets vollständiges Auspressen der Zitzenzisterne und kein Nachlassen des Milchstroms gegen Melkende) ausgegangen wurde. Bedenklich erscheint, daß bei 6% der Kühe aufgrund sehr kurzer Zitzen mit einem auspreßbaren Volumen der Zitzenzisterne von 0 cm³ aus jeweils einem Euterviertel maschinell überhaupt keine Milch entzogen werden kann (Tafel 2). Das gleiche gilt in technologischer Hinsicht für die 18% der Kühe mit einem Milchstrom von <0,5 l/min, die bei einer zu ermelkenden Milchmenge von 10 l je Kuh zu Melkzeiten von teilweise weit über 20 min führen. Diese Problematik würde im wesentlichen auch dann bestehen bleiben, wenn eine höhere Taktzahl als die hier angenommene Zahl von 80 Auspreßvorgängen je min möglich sein sollte.

4. Schlußfolgerungen

Aus der vorliegenden groben Einschätzung von Druckmelkverfahren können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

— Druckmelkmaschinen sind im Vergleich zu Saugmelkmaschinen mit einem höheren technischen Aufwand verbunden. Dieser ergibt sich aus der Notwendigkeit von Haltevorrichtungen für das Melkzeug, wobei für die vier Einzeldruckmelkvorrichtungen an den Zitzen eine voneinander unabhängige Lageänderung in horizontaler und vertikaler Richtung vor und während des Melkvorgangs erforderlich ist. Je nach Art des Druckmelkprinzips sind weiterhin technische Lösungen notwendig, die bei den in ihren Abmessungen unterschiedlichen Zitzen Überlastungen einzelner Zitzen verhindern bzw. die angestrebte Arbeitsweise gewährleisten.

— Anhand des ausgepreßten Volumens der Zitzenzisternen und einer an das Handmelken angelehnten Taktzahl von 80 Auspreßvorgängen je min konnte durch theoretische Berechnungen abgeleitet werden, daß der Milchstrom des Saugmelkverfahrens annähernd erreicht werden kann. In technologischer Hinsicht bedenklich ist jedoch,

daß bei Kühen mit sehr kurzen Zitzen aus einzelnen Eutervierteln überhaupt keine Milch entzogen werden kann bzw. ein Milchstrom von <0,5 l/min auftritt.

— Aus den dargelegten Problemen ergibt sich insgesamt, daß gegenwärtig eine technische Realisierung von Druckmelkmaschinen wenig wahrscheinlich ist.

5. Zusammenfassung

Eine Einschätzung der Realisierbarkeit von Druckmelkmaschinen wurde angestrebt. Anhand einer Literaturauswertung konnten verschiedene den Druckmelkmaschinen zugrunde liegende Druckmelkprinzipie herausgearbeitet werden. Durch Messungen von auspreßbarem Volumen der Zitzenzisterne wurde der erreichbare Milchstrom theoretisch berechnet. Es ergab sich die Schlußfolgerung, daß nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand eine Entwicklung von Druckmelkmaschinen wenig erfolgversprechend erscheint.

Literatur

- [1] Tolle, A.; Zeidler, H.: Zur Automatisierung des Milchentzuges unter hygienischen Aspekten. Landbauforschung Völkenrode (1973) H. 18, S. 75—91.
- [2] Woolford, M. W.; Phillips, D. S. M.: Evaluation studies of a milking system using an alternating vacuum level in a single chambered teatcup (Auswertung von Untersuchungen eines Melksystems mit wechselndem Vakuum in Ein-Kammer-Melkbechern). 17th Annual Meeting National Mastitis Council, Kentucky, USA (1978) S. 125—149.
- [3] Thalheim, C.; Uhmann, F.: Literatur- und Patentbericht zum Druckmelken. KMU Leipzig, Diplomarbeit 1972 (unveröffentlicht).
- [4] Vennmann, W.: Untersuchungen über die optimale Anwendung des Maschinenmelkens in tierzüchterischer und arbeitswissenschaftlicher Hinsicht. Bonn, Dissertation 1952. A 3020