

FORSCHUNGSBERICHT AGRARTECHNIK
des Arbeitskreises Forschung und Lehre
der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG)

23

DR. HERMANN WORSTORFF

**EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUR STABILISIERUNG
DES VAKUUMS IN DER MELKEINHEIT**

Habilitationsschrift

Weihenstephan 1977

**EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUR STABILISIERUNG
DES VAKUUMS IN DER MELKEINHEIT**

Habilitationschrift
zur Erlangung des Grades eines
habilitierten Doktors der Landwirtschaft(Dr. agr. habil.)

vorgelegt von
Dr. agr. HERMANN WORSTORFF

Weihenstephan 1977

Referent : Professor Dr. H. L. Wenner

Korreferent: Professor Dr. H. Karg

Bezugsquelle : Institut für Landtechnik
der Techn. Universität München
Vöttingerstr. 36
8050 Freising - Weihenstephan

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
2. STAND DER TECHNIK (SCHRIFTTUM)	6
2.1 Melkmaschinentechnische Grundlagen	6
2.2 Vakuumapplikation und Milchabgabe	21
2.3 Vakuumapplikation und Gesundheitszustand der Milchdrüse	25
2.4 Melkverfahren mit Einraumbechern	29
2.5 Zusammenfassende Betrachtung	31
3. MATERIAL UND METHODEN	33
3.1 Labormelkanlage	33
3.2 Versuchsplan	46
3.3 Erfassung und Auswertung der Meßdaten	48
4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER VORVERSUCHE	53
4.1 Standard-Zweirohrmelkanlage	53
4.2 Maschine mit periodischem Lufteinlaß	61
4.3 Einrohrmelkanlage	67
5. ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER HAUPTVERSUCHE	71
5.1 Hochverlegte Melkleitung	73
5.1.1 Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug	73
5.1.2 Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung unter besonderer Berücksichtigung der technischen Einflußfaktoren	77
5.1.3 Praktische Schlußfolgerungen	95

	Seite	
5.2	Hochverlegte Melkleitung und separater Abscheider	99
5.2.1	Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug	99
5.2.2	Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung	102
5.2.3	Praktische Schlußfolgerungen	103
5.3	Hochverlegte Melkleitung und Abscheider-Sammelstück	105
5.3.1	Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug	105
5.3.2	Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung	108
5.3.3	Praktische Schlußfolgerungen	110
5.4	Tiefverlegte Melkleitung	111
5.4.1	Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug	111
5.4.2	Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung unter besonderer Berücksichtigung der technischen Einflußfaktoren	114
5.4.3	Praktische Schlußfolgerungen	127
5.5	Tiefverlegte Melkleitung und Abscheider-Sammelstück	129
5.5.1	Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug	129
5.5.2	Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung	132
5.5.3	Praktische Schlußfolgerungen	134
6	SCHLUSSBETRACHTUNG	135
7.	LITERATURVERZEICHNIS	141

Begriffe und Einheiten

In der vorliegenden Arbeit werden Begriffe und Einheiten in Übereinstimmung mit den Normentwürfen ISO 3918 (24) und DIN 11845 (11) verwendet. Eine Ausnahme davon stellt die Einheit des Vakuums dar : Der Verfasser bevorzugt in seinen Arbeiten über Melkanlagen generell abweichend von der DIN 11845 die ISO-Einheit "Kilopascal" anstelle von "bar", da sie mit ihrer Spreizung von 0 - 50 kPa entsprechend dem in Melkanlagen üblichen Bereich von 0,5 bar übersichtlicher zu handhaben ist, insbesondere, wenn es sich um geringe Werte handelt.

Nachstehend sind wesentliche Begriffe und deren Abkürzungen tabellarisch zusammengefaßt :

Begriff	Abkürzung	Dimension	Abkürzung
Pulszahl	PZ	Zyklen pro Minute	Z/min
Saugphase		Prozent	%
Vakuumböhe	VH	Kilopascal (bar) (Millibar)	kPa mb
<u>Pulsierung</u>			
simultan	sim.		
alternierend	alt.		
sequentiell	sequ.		

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Entwicklung der Milchentzugsverfahren im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland ist charakterisiert durch den praktisch vollständigen Übergang vom Handmelken zum maschinellen Milchentzug im Zeitraum zwischen Kriegsende und Mitte der sechziger Jahre. Bestimmend für diesen Wandel waren der Zwang zu arbeitswirtschaftlicher Rationalisierung verbunden mit dem Wunsch nach Arbeitserleichterung. Die genannte Tendenz besteht weiter und drückt sich aus im Übergang vom Eimermelken zum Rohmelken bzw. vom Anbindestall zum Laufstall. Die melkmaschinentechnische Forschung hat die erforderlichen Rationalisierungen ermöglicht durch Bereitstellen leistungsstarker Melksysteme. Hervorzuheben sind die sog. milchflußgesteuerten Melkanlagen, die durch Abschalten in der Entlastungsphase bzw. automatische Melkzeugabnahme das physiologisch unerwünschte Blindmelken verhindern sowie Verfahren mit unterschiedlichen Vakuum- und Pulsierungsstufen für Haupt- und Nachgemelk, die sogar einen gewissen Nachmelkeffekt erbringen. Die genannten Maschinentypen ermöglichen in Abhängigkeit vom verwendeten System Arbeitsleistungen von ca. 35 Kühen pro AKh im Anbindestall und ca. 70 Kühen pro AKh im Melkstand mit automatischer Nachtreibhilfe im Sammelraum. Mit dieser Technik, die fortlaufend technologisch verfeinert wird, dürfen die beim Milchentzug für die Masse unserer Betriebe auftretenden Rationalisierungsprobleme als weitgehend gelöst angesehen werden.

Schwierigkeiten bei allen Melkanlagen bestehen dagegen immer noch in der technischen Verwirklichung der vom Tier gestellten Anforderungen an einen physiologisch optimalen Milchentzug. Die Problematik liegt darin, daß die biologischen Grundlagen weitgehend unbekannt waren und es teilweise noch sind. Die im Laufe der technischen Entwicklung international angestrebten Optimalbereiche für Pulsierung und Vakuumhöhe beruhen daher mehr auf Erfahrung als auf gesichertem Wissen. Selbst die jüngsten Normierungsbestrebungen für Melkanlagen beziehen sich in erster Linie nicht auf die Verhältnisse an der Zitze, sondern auf die damit nur indirekt

in Zusammenhang stehende technische Auslegung der Gesamtanlage. Die Relationen zwischen beiden werden hauptsächlich gestört durch die Schwierigkeit, ein einheitliches Vakuum in allen Teilen einer Melkanlage aufrechtzuerhalten. Neben Problemen der Vakuumregulierung in Rohrleitungen und Schläuchen hängt das zusammen mit dem gleichzeitigen Transport von Milch und Vakuum bei sich permanent ändernden Mischungsverhältnissen und führt zu sogenannten unregelmäßigen Vakuumschwankungen. Daneben treten im Melkzeugbereich zyklische Vakuumschwankungen auf, die durch die Bewegung des Zitzengummis und die damit verbundenen periodischen Volumenänderungen im Zitzengummi-Innenraum verursacht werden. Während die unregelmäßigen Vakuumschwankungen in Eimermelkanlagen und Rohrmelkanlagen mit niedrig verlegter Melkleitung und kurzer Leitungslänge weitgehend beherrscht werden können, verursachen die wesentlich von der Intensität des Milchflusses geprägten zyklischen Schwankungen eine Fluktuation des Vakuums an der Zitzenspitze, die nahezu unabhängig vom Typ der Melkanlage ist. Weiterhin sinkt mit zunehmendem Flüssigkeitsdurchsatz die durchschnittliche Vakuumhöhe aufgrund von Strömungsverlusten im Melkzeug und des langen Milchschauches sowie dem hydrostatischen Druck bei Hochförderung. Bereits bei Milchflußraten, die gute Kühe über längere Zeit aufrechterhalten, zeigt sich eine im Melkzeugbereich geprägte durchschnittliche Vakuumsenkung am Euter, die die unregelmäßigen Vakuumschwankungen in der Melkleitung bei weitem an Bedeutung übertrifft. Da die Pulsierung - ausgedrückt in der tatsächlichen Bewegung des Zitzengummis - ausschließlich vom jeweiligen Differenzdruck durch die Zitzengummiwand gesteuert wird, bedeutet inkonstantes Vakuum gleichzeitig inkonstante Pulsierung. Damit sind die wesentlichen, für die biologische Beurteilung des maschinellen Milchentzuges ausschlaggebenden technischen Verhältnisse an der Zitze weitgehend unserem Einfluß entzogen.

Die sich daraus ergebenden Schwierigkeiten stehen einer wissenschaftlichen Optimierung des maschinellen Milchentzuges entgegen und finden neben widersprüchlichen Ergebnissen über Wirkungsweise und Gestaltung der

Melkparameter ihren Ausdruck in 50 % mastitiskranken Kühen in der Bundesrepublik Deutschland. Bei der Entstehung der Euterkrankheit Mastitis, die durchschnittlich pro Kuh und Jahr einen Verlust von ca. DM 150,- hauptsächlich durch Minderleistung verursacht, wird dem Milchentzug international übereinstimmend eine große Bedeutung insbesondere im Zusammenhang mit der Verbreitung euterpathogener Mikroorganismen beigemessen. Eine möglichst vollständige Konstanthaltung der technischen Faktoren Vakuum und Pulsierung stellt somit die Grundvoraussetzung für eine allgemeine Optimierung der Melkparameter und damit die Ausschöpfung der im Tier liegenden Möglichkeiten dar. Gleichzeitig wird dabei die Basis zur wissenschaftlichen Durchdringung der Beziehungen zwischen Melkmaschine und Mastitis verbreitert.

Strömungsmechanisch gesehen stellt das Milch-Luft-Gemisch im ableitenden System einen instationären Zweiphasenstrom dar, der sich nur in beschränktem Umfang durch die Grundgesetze der Hydraulik so beschreiben läßt, daß man daraus direkt Konstruktionsverbesserungen ableiten kann. Das ist möglich durch Anwendung von Regeln der Kinetik strömender Fluide, z. B. hinsichtlich der weitgehenden Vermeidung von Einschnürungen und Wirbeln, und schließt auch die fundamentale Bedeutung der Querschnitte von Schläuchen und Rohrleitungen für den Druckverlust infolge Wandreibung ein, der etwa proportional $1/D^5$ ist. Auf der anderen Seite verursachen aber alle Querschnittsänderungen an Stützen und Absperrorganen Verluste, deren Größe wesentlich von der Art der durch das betreffende Rohrelement bedingten Strömung abhängt. Die Bedingungen werden weiter erschwert dadurch, daß sich in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsdurchsatz pro Minute die Mischungsverhältnisse von Luft und Milch ständig ändern und somit auch Strömungsgeschwindigkeiten und Drücke. Schließlich unterliegt der Zweiphasenstrom noch einer Überlagerung durch die Pulsierung, die Resonanzschwingungen als zusätzlichen Faktor einbringt. Aus diesem Grunde begegnet die rein theoretische Lösung der aufgezeigten Problematik erheblichen Schwierigkeiten, so daß es sinnvoll erschien, sich der Aufgabe der Vakuumstabilisierung in Melkanlagen durch möglichst

weitgehende Ausnutzung der kinetischen Energie des strömenden Fluids experimentell zu nähern.

Die Arbeiten mit dem Ziel: "Eingestellter Sollwert der Maschine = Istwert am Euter" und der zugehörigen Klärung der Zusammenhänge wurden durchgeführt in einer speziell für die Aufgabenstellung errichteten Laboranlage unter Berücksichtigung folgender Punkte:

- Beschränkung auf den Bereich der Melkeinheit, da dort die eigentlichen strömungstechnischen Probleme liegen
- Einschluß aller Melksysteme, d.h. von hoch- und tiefliegender Leitung, Milch-Luft-Trennung und Einraumverfahren
- Verwendung von Wasser statt von Milch, was nach der Aussage verschiedener namhafter Wissenschaftler zur Analyse der Vakuumverhältnisse uneingeschränkt zulässig ist und durch gesonderte Versuche erhärtet wurde.
- Verwendung eines speziellen Zitzenmodells, das unter Laborbedingungen einen den natürlichen Verhältnissen ähnlichen pulsierenden Flüssigkeitsstrom erzeugt
- Verwendung eines Versuchsmelkzeuges, bei dem verbreitete strömungstechnische Mängel von vornherein eliminiert waren, um nicht ggf. andere Effekte zu maskieren
- Einsatz von Meßverfahren zur Erfassung des Vakuums im Melkzeug sowie der Zitzengummibewegung mit minimalen Fehlergrenzen, die zusammen mit den kontrollierten Bedingungen der Versuchsanlage eine extrem hohe Reproduzierbarkeit ermöglichten.

Vor diesem Hintergrund erfolgte für die einzelnen Melksysteme eine fein abgestufte Änderung der Nennweiten der kurzen Milchschräuche und des langen Milchschräuches bei Flüssigkeitsdurchsätzen zwischen 0 und 5 l/min und unter Einschluß der Faktoren Sammelstückvolumen, Lufteinlaß, Vakuumhöhe und der gesamten Breite der Pulsierung. Dabei wurden jeweils die Ist-Werte für Vakuum und Pulsierung im Melkzeug erfaßt und mit den Sollwerten in Beziehung gesetzt.

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 141 "Produktionstechniken der Rinderhaltung" der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert und im Institut für Landtechnik der TU-München-Weihenstephan durchgeführt.

2. STAND DER TECHNIK - SCHRIFTTUM

Nachfolgend werden die wichtigsten melkmaschinentechnischen Grundlagen sowie die Beziehungen zur Milchabgabe und Eutergesundheit einzeln und in ihrem Zusammenwirken dargestellt :

2.1 Melkmaschinentechnische Grundlagen

Vakuumhöhe

Das Nennvakuum in Melkanlagen ergibt sich aus dem Wechselspiel von Erzeuger und Verbrauchern und wird vom Regelventil überwacht. Aus Gründen der Beziehungen zu Milchabgabe und Eutergesundheit (vgl. 2.2 und 2.3) wird in praktisch allen Fabrikaten und Typen das Nennvakuum auf einen Maximalwert von 50 kPa begrenzt. Über entsprechende Auslegung von Vakuumpumpe, Regelventil und Leitungssystem wird versucht, den angestrebten Wert an möglichst allen Punkten zu erreichen und konstant zu halten.

Vakuumpumpe

Zur Erzeugung des für den Betrieb einer Melkanlage erforderlichen Vakuums werden heute praktisch ausschließlich Pumpen mit umlaufendem Verdränger verwendet. Aus Gründen der Preiswürdigkeit und Zuverlässigkeit herrscht der tropfölgeschmierte Drehschiebertyp vor. Die International Organization for Standardization (ISO) (24) legt in Übereinstimmung mit der auf dem ISO-Standard basierenden DIN 11845 (11) folgende Untergrenzen für die Pumpenkapazität in Eimer- und Rohrmelkanlagen fest (bezogen auf 50 kPa Nennvakuum) :

Tabelle 1 Mindestluftdurchfluß der Vakuumpumpen in Melkanlagen nach DIN 11845

Anzahl der Melkeinheiten	Mindestluftdurchfluß (l/ min)	
	Eimer- und Kannen-Melkanlagen	Rohr- und Meßbehälter-Melkanlagen
ME	$\dot{V}_E = 50 + 60 \cdot ME$	$\dot{V}_R = 150 + 60 \cdot ME$
1	110	-
2	170	270
3	230	330
4	290	390
5	350	450
6	410	510
7	470	570
8	530	630
9	590	690
10	650	750
11	710	810
12	770	870
13		930
14		990
15		1050
16		1110

ME = Zahl der Melkeinheiten
 \dot{V}_E = Luftdurchfluß für Eimermelkanlagen
 \dot{V}_R = Luftdurchfluß für Rohrmelkanlagen

Vakuumentank

Während der Vakuumentank früher in Verbindung mit Kolbenpumpen weitgehend schwingungsdämpfende Aufgaben hatte, tritt bei den heutigen leistungsstarken und schnell rotierenden Pumpen eindeutig die Abscheiderfunktion, d. h. der Schutz der Pumpe vor Milch und Spülflüssigkeit, in den Vordergrund. Daher ist ein Minimalvolumen von 15 l vorgeschrieben (11, 24) .

Eine wesentlich über diesen Wert hinausgehende Vergrößerung ist nicht zu empfehlen, da ein plötzlich auftretender Vakuumbedarf - z. B. bei Abfall eines Melkzeuges - nicht von einem Tankvolumen sondern nur von der Vakuumpumpe gedeckt werden kann. Der Vorteil eines geringfügig gedämpften Vakuumbabfalles durch vergrößertes Tankvolumen würde durch Verlängerung der zum Wiederaufbau der nominalen Vakuumhöhe benötigten Zeit aufgrund größeren Anlagevolumens aufgehoben.

Regelventil

Dem Regelventil kommt die wichtige Aufgabe zu, die maximale Vakuumhöhe zu begrenzen, indem es eine dem Überschuß an Pumpenkapazität entsprechende Menge Luft in das Anlagensystem einläßt, andererseits aber die Überkapazität bei einem Vakuumbabfall unter den Sollwert durch Schließen bis auf eine technisch nicht zu vermeidende Lecklufrate schnell verfügbar macht. Ein gewichtsbelastetes Ventil ist einem herkömmlichen federbelasteten hinsichtlich der Regelcharakteristik deutlich überlegen. Das beruht jedoch nicht auf prinzipiellen Unterschieden in der Steuerung durch Federkraft oder Masse, sondern hängt in erster Linie mit der konstruktionstechnischen Ausformung und Dimensionierung des Ventilkegels zusammen.

In Abbildung 1 sind schematisch die Charakteristiken eines herkömmlichen federbelasteten und eines modernen gewichtsbelasteten Typs miteinander verglichen (22).

Es wird ersichtlich, daß das gewichtsbelastete Regelventil in der Lage ist, bei nur geringer Veränderung der Vakuumhöhe im Durchsatzbereich bis etwa 700 l Luft pro Minute zu arbeiten, während der Regelbereich des alten federbelasteten Typs außerordentlich begrenzt ist. Der Trend der industriellen Entwicklung geht zum servogesteuerten Ventil mit einer Trennung von Regel- und Steuerfunktion. Neben weiterer Verbesserung der Regelcharakteristik führt das zu einer geringeren Anfälligkeit des Regel-

ventils gegen Verschmutzung und dient damit der Erhöhung der praktischen Betriebssicherheit.

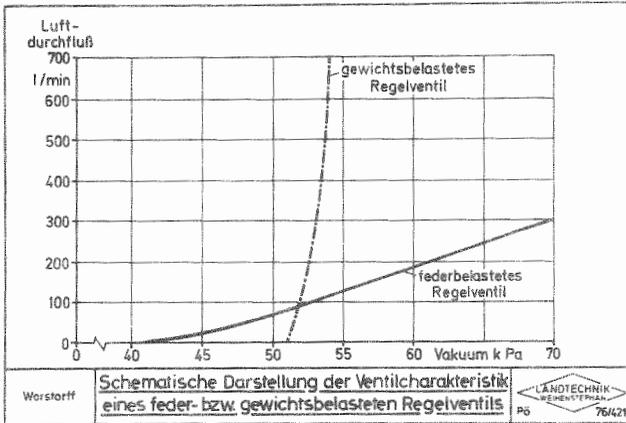


Abbildung 1

Es bestehen folgende DIN-Anforderungen (11) :

- Die Differenz zwischen dem Vakuum bei kleinem Lufteinlaß durch das Ventil und dem Vakuum bei großem Durchfluß darf nicht mehr als 2 kPa betragen.
- Der maximal zulässige Leckluftdurchsatz (gemessen bei Nennvakuum minus 2 kPa) beträgt 35 l/min oder 8 % der Pumpenkapazität.

Leitungssystem

Die Leitungswege einer Melkanlage sollten strömungstechnisch günstig geformt und entsprechend den nachstehenden Vorschriften (11) dimensioniert sein:

Tabelle 2 Rohrabmessungen für Luftleitungen nach DIN 11845

Luftdurchsatz l/min	Mindestrohrabmessungen		
	Nennweite Zoll	mm	Querschnitt cm ²
bis 300	1	25	5,1
300 - 600	1 1/4	32	8,0
600 - 1000	1 1/2	40	11,4
1000	2	50	20,0

Tabelle 3 Rohrabmessungen für Melkleitungen nach DIN 11845

Typ der Melkleitung	Länge der Melkleitungen in m								Innendurchmesser in mm min.	
	bis 10	bis 20	bis 30	bis 40	bis 60	bis 80	bis 100	bis 150		bis 200
Einfacheinlauf 	6,6	4,7	3,8							24
	10,0	7,0	5,8	5,0						32
	12,3	8,5	7,0	6,0	4,9					34
	15,5	10,6	8,6	7,5	6,1	5,2	4,7			38
	✓	14,5	11,8	10,2	8,3	7,2	6,4			44
		18,8	15,4	13,3	10,9	9,4	8,3			50
Doppeleinlauf mit Zwangsweg 	Dimensionierung des einzelnen Rohrstranges nach Tabelle für den Einfacheinlauf Es ist also der Milchdurchfluß zu berücksichtigen, der sich aus der Anzahl der Melkeinheiten je Rohrstrang ergibt. /									
Doppeleinlauf 	18,0	13,2	11,2	9,4	7,6					24
		20,0	16,0	14,0	11,6	10,0	9,0	7,0		32
		24,6	20,0	17,0	14,0	12,0	11,0	9,0	7,0	34
		31,0	25,0	21,2	17,2	15,0	14,0	11,2	9,4	38
		40,8	34,0	29,0	23,6	20,4	18,0	15,2	12,8	44
			44,0	37,6	30,8	26,6	25,0	19,6	16,6	50

Reserveluftdurchfluß

Als Reserveluftdurchfluß wird die Luftmenge bezeichnet, die zusätzlich zum durchschnittlichen Verbrauch von der Vakuumpumpe gefördert werden muß, um der Entstehung von Vakuumschwankungen vorzubeugen, wenn Luft in das System - z. B. beim Melkzeugwechsel - eindringt; er entspricht dem Luftdurchsatz, der das Regelventil passiert. Es handelt sich also um eine variable, von den jeweiligen Betriebsbedingungen abhängige Größe. Zur Erreichung vergleichbarer Meßwerte wird die Bestimmung einheitlich bei einer um 2 kPa gesenkten Vakuumhöhe vorgenommen. Für Eimer- und Rohrmelkanlagen sind folgende Minimumwerte für die Reservekapazität vorgeschrieben (11) :

Tabelle 4 Mindest-Reservedurchfluß für Melkanlagen nach DIN 11845

Anzahl der Melkeinheiten	Reserveluftdurchfluß (l/min)	
	Eimer- und Kannen-Melkanlagen	Rohr- und Meßbehälter - Melkanlagen
ME	$R_E = 25 + 25 \cdot ME$	$R_R = 100 + 25 \cdot ME$
1	50	-
2	75	150
3	100	175
4	125	200
5	150	225
6	175	250
7	200	275
8	225	300
9	250	325
10	275	350
11	300	375
12	325	400
13		425
14		450
15		475
16		500

ME = Zahl der Melkeinheiten
 R_E = Reservedurchfluß für Eimermelkanlagen
 R_R = Reservedurchfluß für Rohrmelkanlagen

Pulsierung

Saug- und Entlastungsphase können entweder in allen vier Zitzenbechern eines Melkzeuges zugleich (simultan) oder paarweise abwechselnd (alternierend) erfolgen. Beide Systeme sind in der Welt etwa gleich verbreitet. In Deutschland wird jedoch vorwiegend im Wechseltaktverfahren gearbeitet. Die Simultanpulsierung hat den Vorteil, mit einem einfacheren Pulsator auszukommen, und eine Saugtakt Differenz kann definitionsgemäß nicht auftreten. Der konzentriertere Vakuumbedarf durch die zusammenfallenden Saugtakte führt dagegen zu einer schwierigen Vakuumversorgung. Neben der simultanen und alternierenden Pulsierung wird im Rahmen von Forschungsarbeiten mit sogenannter sequentieller Pulsierung gearbeitet. Öffnung und Schließung des Gummis sind für alle vier Becher eines Melkzeuges phasenverschoben.

Traditionell erfolgt die Steuerung der Pulsierung pneumatisch durch vom Vakuum angetriebene Pulsatoren. Die Pulszahl ist damit konstruktionsbedingt abhängig von der Vakuumhöhe. Um eine gleiche Pulsfrequenz unabhängig von Fertigungstoleranzen und insbesondere der Betriebstemperatur erzielen zu können, baute man eine justierbare Luftdüse ein. Pulsatoren dieses Typs sind noch heute weit verbreitet, haben jedoch den Nachteil, daß die Justiermöglichkeit vom Melker häufig nicht genutzt oder mißbraucht wird. Die Industrie hat diesen Verhältnissen durch Einbau fester Düsen Rechnung getragen. Zur weitergehenden Stabilisierung wurden flüssigkeitsgedämpfte Pulsatoren entwickelt.

Pneumatisch gesteuerte Pulssysteme arbeiten meist mit Einzelpulsatoren (ein Pulsator pro Melkeinheit). Im Melkstand läßt sich jedoch durch Kopplung von Pulsator und einer Reihe von Pulsverstärkern ein sehr kompaktes und zuverlässiges System (sog. Zentralsteuerung) aufbauen. Ein Pulsverstärker kann daher über eine Steuerleitung bis zu vier Melkzeuge bei alternierender und zwei Melkzeuge bei simultaner Pulsierung versorgen.

Neben der pneumatisch gesteuerten Pulsierung werden zunehmend elek-

tronische Systeme eingesetzt. Dabei handelte es sich noch vor wenigen Jahren generell um eine Zentraleinheit, die eine Reihe von Magnetventilen mit elektrischen Impulsen versorgte. Der Vorteil einer derartigen Konstruktion liegt im einfachen Aufbau und der theoretisch für die gesamte Anlage gleichmäßigen Pulsierung. Praktisch führt jedoch die Synchronisation vieler Magnetventile zu verstärkten Vakuumschwankungen, weil die mit der Pulsierung verbundenen Druckwellen nicht phasenverschoben auftreten. Aus diesem Grunde geht die Entwicklungstendenz heute zu Einzelpulsatoren mit eigener elektronischer Steuereinheit. Probleme der Feuchtigkeitsanfälligkeit sind inzwischen technisch beherrschbar, die Fragen eines zweckmäßigen Stromanschlusses unter sicherer Vermeidung von Kriechströmen dagegen noch weitgehend ungelöst.

Bei der Formulierung von Anforderungen an Pulsatoren wird häufig nicht berücksichtigt, daß Pulsierung eigentlich nicht das "Klicken" des Pulsators sondern die Bewegung des Sitzgummis ist. Aufgrund der im Absatz Vakuumstabilität detailliert dargestellten Zusammenhänge ist auch ein technisch ausgefeilter Pulsator wegen bestehender Vakuumschwankungen keinerlei Garantie - bestenfalls eine Voraussetzung - für die Einhaltung der angestrebten Pulsierung.

Aus Gründen von Arbeitswirtschaft und Eutergesundheit arbeiten Melkanlagen mit einer Pulszahl von etwa 40 bis 60 Zyklen pro Minute (Z/min) und einem Saugtaktanteil zwischen 50 und 75 %. Die vom Hersteller vorgesehenen Werte sollen mit einer Maximalabweichung von $\pm 5\%$ eingehalten werden. Das gilt auch für die Saugtaktendifferenz (11) und stellt hohe Anforderungen an die Prüfgeräte (82).

Vakuumstabilität

Im Gegensatz zu den bei statischer Messung im Rahmen einer üblichen Melkmaschinenprüfung erfaßten Verhältnissen haben die milchableitenden Wege der marktbeherrschenden Anlagentypen die Doppelaufgabe von Vakuumtransport und Milchableitung. Aufgrund der sich ständig ändernden Mi-

schungsverhältnisse in Verbindung mit Stauungen und Turbulenzen muß das zwangsläufig zu Abweichungen von der Nennvakuumhöhe in den verschiedenen Teilen einer Melkanlage führen. Man unterscheidet unregelmäßige und zyklische Vakuumschwankungen und nimmt folgende Gliederung vor (10) :

Unregelmäßige Vakuumschwankungen

- Typ 1 Schwankungen in der Gesamtanlage oder zumindest in einem grossen Teil derselben, verursacht durch unzureichende Pumpenkapazität, mangelhafte Funktion des Regelventils, schlechte Strömungsverhältnisse im Leitungssystem, starke Lufteinbrüche und Undichtigkeiten.
- Typ 2 Schwankungen in Milchleitungen und -schläuchen, verursacht durch den hydrostatischen Druck von Milchsäulen und Pfropfbildung.

Zyklische Vakuumschwankungen

- Typ 3 Schwankungen im Sitzengummi-Innenraum, verursacht durch die Pumpbewegung des Sitzengummis. Für die Entstehung ist die Pulsierung in Verbindung mit Durchmesser, Länge und Spannung des Sitzengummis sowie Volumen und strömungstechnischer Konstruktion des Sammelstückes verantwortlich (12, 37, 38, 70, 76).

In Abbildung 2 sind unregelmäßige Vakuumschwankungen des ersten Typs mit ihrem charakteristischen Verlauf dargestellt. Verglichen werden : Eimermelkanlage, Rohrmelkanlage im Melkstand mit tiefverlegter Leitung, Rohrmelkanlage im Anbindestall mit hochliegender Melkleitung und Einrohrmelkanlage, ebenfalls mit hochliegender Melkleitung (81).

Die Anlagen waren jeweils mit 4 Melkeinheiten ausgerüstet und entsprechend DIN 11845 ausgelegt. Meßpunkt waren Standeimer bzw. Eindeinheit; für den Vergleich der jeweils über eine Melkzeit laufenden Messung wurden insbesondere die Verhältnisse beim Ansetzen und Abnehmen der Melkzeuge herausgegriffen, da hier die stärksten Schwankungen auftreten.

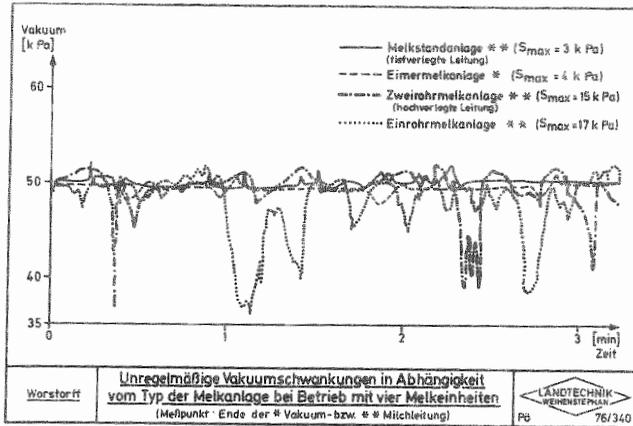


Abbildung 2

Es wird deutlich, daß Eimermelkanlagen und Melkstandanlagen mit niedrig verlegter Melkleitung den Typ 1 der unregelmäßigen Vakuumschwankungen praktisch nicht aufweisen. Das beweist, daß bei richtiger Auswahl und Auslegung des Melkanlagetyps gewisse Vakuumschwankungen im praktischen Betrieb mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit vermieden werden können. Bei den Rohrmelkanlagen mit hochverlegter Melkleitung zeigen sich dagegen starke Einbrüche des Vakuums in Verbindung mit dem Melkzeugwechsel. Bei diesen Vakuumschwankungen handelt es sich praktisch ebenfalls ausschließlich um den Typ 1, da die Meßstelle in der Endeinheit direkt von der Vakuumpumpe versorgt und somit nicht vom Milchfluß gestört wird.

Bei der Interpretation von Abbildung 2 ist zu beachten, daß viele Anlagen in der Praxis aufgrund unzureichender Vakuumversorgung in Verbindung mit unterdimensionierten Leitungen wesentlich stärkere Schwankungen als abgebildet aufweisen. Es wird daher in erster Linie sichtbar, welcher Stabilitätsgrad bei Beachtung der Normvorschriften praktisch erreicht werden kann, nicht aber die durchschnittliche Praxissituation.

Die wesentlich durch gleichzeitigen Transport von Vakuum und Abtransport von Milch verursachten Schwankungen des Typs 2 in Melkleitungen und Milchschräuchen prägen sich naturgemäß bei hochverlegten Leitungen am stärksten aus (26). Zum Anheben einer 2 m Milchsäule ist bei einem spezifischen Gewicht von $\gamma \approx 1,0$ ein Differenzdruck von ca. 20 kPa erforderlich. An der Zitze würde sich also das Betriebsvakuum von 50 kPa auf 30 kPa senken und die Verbindung zur Vakuumpumpe durch einen massiven Milchpfropfen blockiert sein. Mit Hilfe eines Lufterlasses im Sammelstück in der Größenordnung von 5 - 10 l/min wird die Milchsäule durchperlt und so die Vakuumsenkung auf etwa 10 kPa begrenzt und gleichzeitig eine gewisse Vakuumzufuhr aufrechterhalten. Da der Lufterlaß auch zur Verminderung der zyklischen Vakuumschwankungen des Typs 3 beiträgt, werden heute in Standard-Sammelstücken generell Lufterlässe - auch für Eimer - sowie Melkstandanlagen mit niedrig verlegter Melkleitung vorgesehen (60).

Abbildung 3 veranschaulicht den zyklischen Typ der Vakuumschwankung in Verbindung mit Pulscurve und Zitzengummibewegung (54).

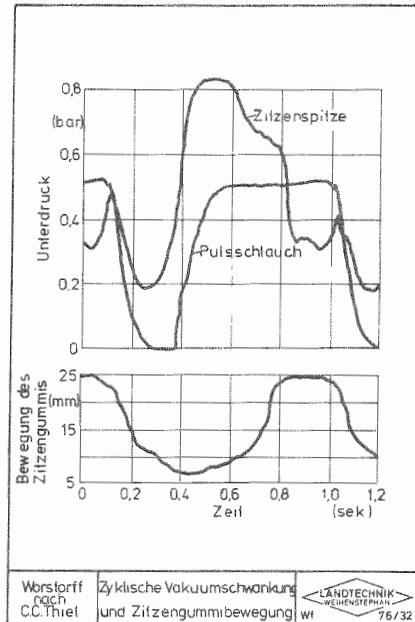


Abbildung 3

Es wird deutlich, daß etwa parallel mit der Evakuierung des Pulsraumes das Vakuum unterhalb der Zitze stark ansteigt, daß dann ein Abfall eintritt, und das minimale Vakuum im jeweiligen Pulszyklus beim Übergang zur Entlastungsphase bei partiell blockierten milchableitenden Wegen erreicht wird. (Die strömungsmechanischen Ursachen für diesen Verlauf werden in Kapitel 4, 1 gegeben.) Aufgrund der inkonstanten Vakuumverhältnisse ist die Zitzengummibewegung - im unteren Teil der Abbildung wiedergegeben - naturgemäß abweichend von der Pulsatoreinstellung. Unter den abgebildeten ungünstigen Umständen ohne Lufteinlaß (54, 59) kommt es zu Schwankungen extremer Höhe zwischen etwa 20 und 80 kPa und dabei sogar zum kurzzeitigen Kochen der Milch unter Vakuum. Zyklische Vakuumschwankungen sind weitgehend unabhängig von Typ und Fabrikat der Melkanlage und werden im unmittelbaren Melkzeugbereich von den nachstehenden, in der Reihenfolge abnehmender Bedeutung abgehandelten Faktoren geprägt (60) :

1. Flüssigkeitsdurchsatz
2. Vorhandensein eines Lufteinlasses
3. Durchmesser der kurzen Milchschräuche
4. Pulsierungsart
5. Sammelstückvolumen.

Ad 1:

Hauptfaktor für die zyklischen Vakuumschwankungen ist die tierindividuelle Milchflußintensität, ausgedrückt im Flüssigkeitsdurchsatz pro Zeiteinheit. Die Verhältnisse sind in Abbildung 4 dargestellt (74) :

Es wird deutlich, daß beim Blindmelken (kein Milchfluß) praktisch keine Schwankungen auftreten, während bei einem Milchfluß von 4 l/min, der von vielen Kühen zumindest kurzzeitig erreicht wird, zyklische Fluktuationen in der Größenordnung von über 50 % des Nennvakuum festgestellt wurden. Im Zuge weiterer Leistungssteigerungen unserer Kühe verbessert sich auch die Melkbarkeit (19), eine Tatsache, der konstruktiv Rechnung getragen werden muß.

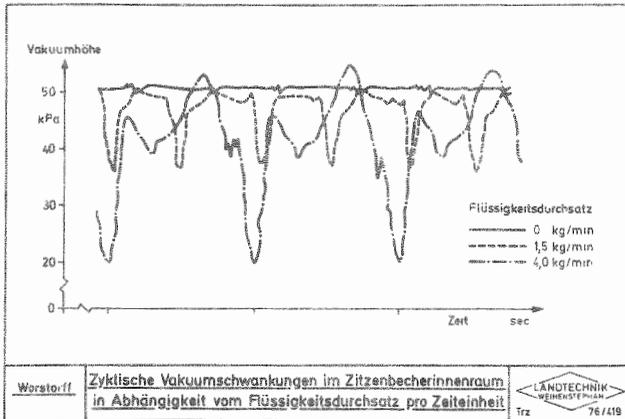


Abbildung 4

Ad 2:

Ein Lufteinlaß von 5 - 10 l/min im Sammelstück ist praktisch generell eingeführt. Bemühungen zu weiterer Feineinstellung haben aufgrund der am Zitzengummikopf inkonstant einströmenden Leckluft zwischen ca. 0 und 15 l/min kaum Aussicht auf Erfolg (57). Selbst wenn es gelänge, einen an der Zitze unter allen Betriebsbedingungen abdichtenden Zitzengummi zu entwickeln, dürften die in einer Feinjustierung des Lufteinlasses liegenden Reserven begrenzt sein, da sich das Milch-Luft-Verhältnis in Abhängigkeit vom Milchfluß kontinuierlich ändert. Der total einzulassenden Luftmenge sind aufgrund der Zusammenhänge zur Vakuumschöhe (81) sowie zwischen mechanischer Behandlung und dem Auftreten freier Fettsäuren in der Milch Grenzen gesetzt (75, 80).

Ad 3 :

An einer Optimierung der Nennweite der kurzen Milchschräuche ist bisher - wahrscheinlich mit Rücksicht auf die Handhabung - wenig gearbeitet worden. Gewisse Verbesserungen ergibt eine leicht konische Form verglichen

mit zylindrischen Schläuchen (78).

Ad 4:

Alle am Markt befindlichen Anlagen arbeiten seit Verlassen der Einraumtechnik um die Jahrhundertwende mit Pulsierung. Simultane Pulsierungssysteme verursachen größere Vakuumschwankungen als alternierende (60).

Ad 5:

Das Sammelstückvolumen wurde in den letzten Jahren weitgehend dem gesteigerten Milchfluß der Kühe angepaßt. Einer beliebigen Vergrößerung sind jedoch Grenzen durch erschwerte Handhabung und verfügbare Bodenfreiheit der Kuh (39, 47) gesetzt. Zusätzlich bestehen seit einigen Jahren intensiv beforschte Zusammenhänge zur Übertragung pathogener Mikroorganismen durch die Melkanlage als Vektor, die im Kapitel 2.3 eingehend besprochen werden.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß alle Melkanlagen mehr oder weniger starke Vakuumschwankungen im Sitzengummi-Innenraum aufweisen. Davon betroffen sind naturgemäß die durchschnittliche Vakuumhöhe, aber auch die Pulsierung, wie nachfolgend kurz dargestellt werden soll: Ein Sitzengummi öffnet und schließt sich bei einem bestimmten Differenzdruck durch die Gummiewandung. Der erforderliche Differenzdruck wird Einfaltdruck genannt und wesentlich von Härte und Dicke des Gummimaterials bestimmt. Das Verfahren zur Errechnung des Öffnungs- und Schließungszeitpunktes wird in Abbildung 5 für eine Pulskurve mit einem Saugtaktanteil von 65 % entsprechend der international vereinbarten Definition graphisch erläutert.

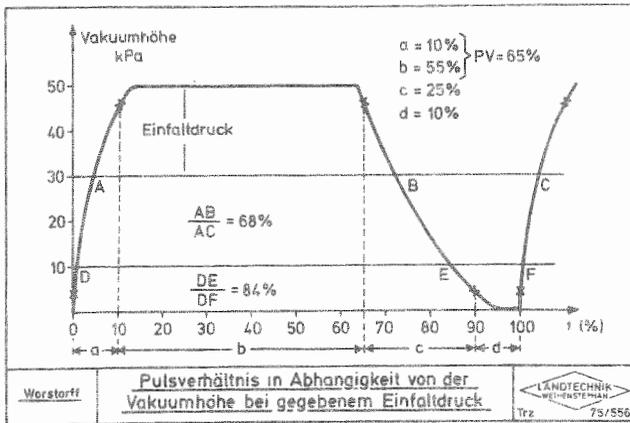


Abbildung 5

Für einen Zitzengummi mit dem angenommenen Einfaltdruck 20 kPa bestehen folgende Gesetzmäßigkeiten: Bei einem konstanten Vakuum an der Zitzenspitze von 50 kPa öffnet das Gummi in A, schließt in B und öffnet wieder zum neuen Zyklus in C. Die Punkte A, B und C liegen auf einer Parallelen zur Vakuümhöhe 50 kPa im Abstand 20 kPa entsprechend dem Einfaltdruck. Das Verhältnis der Strecken $AB \cdot AC$ wird nachfolgend als Zitzengummi-Offen-Phase bezeichnet und beträgt unter den dargestellten Bedingungen 68 %.

Senkt sich das Durchschnittsvakuum unter der Zitzenspitze um beispielsweise 20 kPa, so wird die Linie ABC zur Berechnung um 20 kPa in Richtung auf die Atmosphärenlinie (Abszisse) parallelverschoben und läuft durch die Punkte DEF. Es ergibt sich eine Zitzengummi-Offen-Phase von 84 %, also eine Abweichung von 19 % vom Nominalwert

Aus der Abbildung ist weiterhin ersichtlich, daß der Grad der Beeinflussung der Zitzengummi-Offen-Phase abhängig ist von

- Vakuumhöhe
- Flankenwinkel und
- Einfaltdruck.

Die Vakuumhöhe ist generell mehr oder weniger inkonstant, der Flankenwinkel manch eines handelsüblichen Pulsators mit einwandfreiem Kurvenverlauf verändert sich drastisch und erfüllt nicht mehr die DIN, sobald man am Melkzeug unter Einbeziehung der tatsächlichen Volumina mißt. Der Einfaltdruck schließlich variiert auf dem westdeutschen Markt zwischen etwa 7 und 22 kPa (83) mit einem Mittelwert um 13 kPa; teilweise kommen sogar beträchtliche Unterschiede zwischen Typen innerhalb des gleichen Fabrikates vor. Es gibt also noch viel zu tun, um Pulsierung und Zitzengummibewegung in Einklang zu bringen.

Da eine umfassende Analyse des komplexen Wechselspiels von Flüssigkeitsdurchsatz, Kapazität des milchableitenden Systems, Pulsierung und Vakuumhöhe nicht zur Verfügung steht, orientieren sich alle Hersteller am Normentwurf DIN 11845, verbessern jedoch dadurch die wirklichen Verhältnisse an der Zitze nur begrenzt, da von einer befriedigenden Stabilität von Vakuum und Pulsierung im Melkzeug auch moderne Anlagen prinzipbedingt noch weit entfernt sind. Selbst Systeme mit Einrichtungen zur Vakuumstabilisierung stellen nur Teillösungen dar. Firmenspezifisch werden Stabilisator, Milchpumpe oder Schwimmer in Verbindung mit unterschiedlicher Höhe von Melk- und Transportvakuum eingesetzt.

2.2 Vakuumapplikation und Milchabgabe

Die maschinelle Milchgewinnung erfolgt durch Öffnen des Strichkanals mit einem angelegten Unterdruck in Verbindung mit einer gewissen seitlichen Abstützung durch die Wandung des Zitzengummis. Die Kräfte bewirken nicht nur das Einsetzen des Milchflusses, sondern leider auch eine Ansammlung von Blut und Lymphe in den distalen Gewebepartien der Zitze. In der Folge vermindert sich der Querschnitt des Strichkanals und damit die

Milchflußintensität. Bereits etwa 0,5 s nach Einsetzen sinkt sie im Verlauf von etwa 1,5 s auf die Hälfte des Initialwertes und bleibt dann konstant (55). Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen :

- Eine hämodynamische Störung sollte aus Gründen der Milchflußintensität und mit Rücksicht auf das Tier vermieden werden und
- aus der Betrachtung des Zitzenverhaltens kann auf mit der Vakuumhöhe im Zusammenhang stehende Optimallängen von Saug- und Entlastungsphase bei gegebener Pulszahl geschlossen werden.

Die meisten Untersuchungsergebnisse zum Einfluß eines Einzelfaktors auf die Milchabgabe sind jedoch mit Vorbehalt zu bewerten, da in der Regel keine Versuchsanlage zur Verfügung stand, die eine isolierte Variation der zu untersuchenden Größe zuließ und bestehende, jedoch nicht erfaßte Interaktionen bei der Interpretation der Resultate nicht berücksichtigt wurden. Widersprüche in der Aussage finden so eine natürliche Erklärung. Eine Ausnahme vom Gesagten bildet jedoch eine neuere Untersuchung (45), die den Einfluß der Faktoren Vakuumhöhe, Pulsfrequenz und Saugtaktanteil aus arbeitswirtschaftlicher Sicht prüft und varianzanalytisch zu einem produktionstechnischen Optimum bei

- 50 kPa
- 60 Z/min und
- 75 % Saugtaktanteil

kommt.

Nachfolgend werden die für die Milchabgabe wesentlichen technischen Zusammenhänge kurz dargestellt :

Pulszahl und Länge der Saugphase sind miteinander verbunden: Zur Erzielung der gewünschten Zitzengummibewegung muß der Pulsraum zyklisch evakuiert und mit atmosphärischem Druck beaufschlagt werden. Dafür sind gewisse Zeitspannen erforderlich, deren Länge von den Leitungsquerschnitten im Pulsator und Schläuchen sowie Druckdifferenz und Volumina abhängt.

Wird unter diesen Bedingungen die Pulsfrequenz gesteigert, so reicht bald die Zeit zur vollständigen Evakuierung der Pulsräume nicht mehr aus, und es tritt eine Verschiebung der Saugphase zu Gunsten der Entlastungsphase ein (8, 21, 68).

Die Beziehungen zwischen der Gestaltung von Vakuum und Pulsierung und tatsächlicher Bewegung des Zitzengummis wurden bereits im vorstehenden Kapitel abgehandelt. Zusätzlich sind pneumatisch gesteuerte Pulswerke in der Pulsfrequenz von der Vakuumhöhe abhängig, und Vakuumschwankungen schließlich bewirken aus dem gleichen Grunde einen unregelmäßigen Lauf des Pulswerkes.

Neben diesen, im Labor meßtechnisch einwandfrei zu erfassenden Verhältnissen ist für die vollständige Milchabgabe der Kuh ein Gleichgewicht von Vakuumhöhe, Gewicht des Melkzeuges und Konstruktion des Zitzengummis erforderlich (10, 28, 31, 32, 33, 37, 53).

Vor dem Hintergrund der genannten Vorbehalte wird nun auf die Beziehungen zwischen der Variation von Einzelfaktoren der Vakuumapplikation und dem Milchfließverhalten der Kuh eingegangen:

Wird in einer Melkanlage die Pulszahl über den Bereich von etwa 40 - 60 Z/min erhöht, so ist das Zitzengewebe schließlich nicht mehr in der Lage, den schnellen Zyklen zu folgen; der Strichkanal erschlafft, und die Schließung erfolgt rein passiv durch das kollabierende Zitzengummi (55). Als Reaktion auf die partielle Geweberschlaffung ergibt sich ein geringfügig gesteigerter Milchfluß (2, 3, 8, 30, 37, 52, 70), obwohl das Zitzengummi oft nicht mehr seine offene Position erreicht.

Die Verlängerung der Saugphase (biologischer Toleranzbereich 50 - 75 %) bewirkt naturgemäß in gewissen Grenzen eine Beschleunigung

des Milchflusses, da der Zitzenkanal in jedem Pulszyklus länger geöffnet bleibt (5, 8, 22, 37, 48). Auf die Grenzen der Möglichkeiten durch Ansammlung von Blut und Lymphe und nachfolgende Verengung des Strichkanals wurde bereits hingewiesen.

Die meisten Melkanlagen weisen ein Nennvakuum von 50 kPa auf. In Abhängigkeit von der für die Milchflußintensität wichtigen Elastizität des Zitzenkanals erfolgt die Milchabgabe etwa im Zeitraum zwischen Öffnen und Schließen des Zitzengummis. Eine Erhöhung der angelegten Druckdifferenz in dieser Milchflußphase genannten Periode führt naturgemäß zu einer Steigerung des Milchflusses (10, 30, 37, 52, 56, 70). Der praktischen Nutzbarkeit der Zusammenhänge sind jedoch enge Grenzen gesetzt, da infolge gesteigerten Vakuums das Kräftegleichgewicht an der Zitze (28) schwer zu wahren ist, so daß es häufig zu einer frühzeitigen Drosselung bzw. Abklemmung der Verbindung zwischen Drüsen- und Zitzenzisterne durch den Zitzengummikopf kommt. Die Nachgemelkmenge steht dazu in enger Beziehung (8, 10, 37, 53, 70). Nach neueren Untersuchungen (31, 32, 33) handelt es sich beim Klettern des Zitzenbeckers um einen Sekundäreffekt, der von einer Restriktion der Leitungswege aufgrund von Verschiebungen der inneren Zitzenschleimhäute und nachfolgender verminderter Reibung zwischen äußerer Zitzenwand und Gummischicht eingeleitet wird. Durch das Klettern wird so viel Gewebe in den Becher eingesaugt, bis das Kräftegleichgewicht wieder hergestellt ist.

Aufgrund der vielfältigen, im Rahmen von Praxisversuchen kaum zu kontrollierenden Interaktionen ist eine klare Aussage über die Bedeutung von Vakuumschwankungen für die Geschwindigkeit der Milchabgabe kaum zu treffen, insbesondere deshalb, weil alle Melkanlagen eine mehr oder weniger inkonstante Vakuumapplikation aufweisen. Die Betrachtung der theoretischen Zusammenhänge und praktische Erfahrungen mit der

Einführung moderner normgerechter Melkanlagen sowie niedrig verlegten Melkleitungen und Einrichtungen zur Vakuumstabilisierung deuten jedoch auf klare positive Beziehungen zwischen Vakuumkonstanz und Geschwindigkeit der Milchabgabe (7, 36, 37, 67).

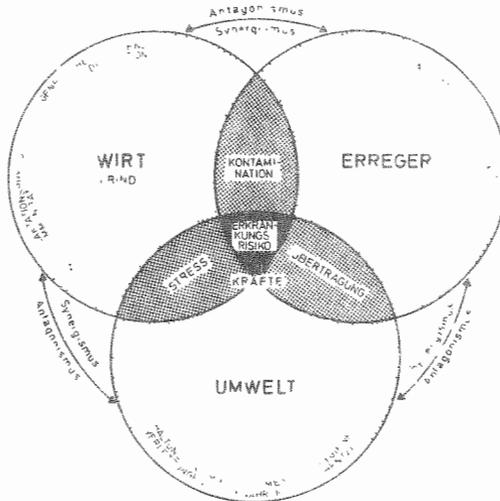
2.3 Vakuumpplikation und Gesundheitszustand der Milchdrüse

Die Beziehungen zwischen den beim maschinellen Milchentzug wirksamen physikalischen Faktoren und dem Gesundheitszustand der Milchdrüse sind seit langem Gegenstand vieler, oft aufgrund unterschiedlicher Methoden und einseitiger Faktorenbetrachtung widersprüchlicher Publikationen. Infolge der zunehmenden wirtschaftlichen Bedeutung des Mastitis-komplexes ist dieser Bereich in letzter Zeit in vielen Ländern schwerpunktmäßig bearbeitet worden. Der Kenntnisstand wurde im Jahre 1971 in einer Monographie des International Dairy Federation (IDF) umfassend dargestellt (23) und seither systematisch erweitert.

Eine isolierte Betrachtung der einzelnen technischen Faktoren des maschinellen Milchentzuges in ihrer Bedeutung für den Gesundheitszustand der Milchdrüse des Rindes ist aufgrund der umfangreichen synergistischen und antagonistischen Einflußgrößen auf Seiten von Rind, Mikroorganismen und Umwelt weit unsicherer als z. B. bei der Erforschung der Zusammenhänge zwischen Vakuumpplikation und Milchfluß. Die Komplexität der Verhältnisse ist in der nachstehenden Abbildung veranschaulicht (4).

Das Zusammenspiel mastitisfördernder und -hemmender Wirkungsmechanismen in den beteiligten Biosystemen Wirt-Erreger - Umwelt ist dynamisch und reguliert sich entsprechend einem Faktorengefälle. Sowohl ein Mangel an hemmenden als auch ein Übermaß an fördernden Einwirkungen kann über die Entstehung des Infektionsgeschehens entscheiden. Je ausgeprägter Mangel oder Übermaß sind, umso mehr nimmt das Erkrankungsrisiko zu. Kommt es hierbei zu einer Summierung vieler infektionsfördernder Faktoren in einem der drei Systeme oder gleichzeitig in allen, so ent-

wickelt sich eine Ereigniskette, an deren Ende die Krankheit Mastitis steht.



DIE AM INFEKTIONSGESCHEHEN DER MASTITIS BETEILIGTEN BIOSYSTEME WIRT, ERREGER UND UMWELT

Abbildung 7

Der Melkanlage wird trotz der Vielfalt der Einflußfaktoren eine zentrale Bedeutung im Mastitisgeschehen eingeräumt (16).

- Die Melkmaschine arbeitet, wenn eine verhältnismäßig hohe Konzentration von Mikroorganismen in der Umgebung vorliegt; die Beziehungen zur Übertragungswahrscheinlichkeit sind besonders bei Vorliegen traumatischer Schäden bekannt.
- Es bestehen deutliche positive Abhängigkeiten zwischen dem Grad der Exposition und der Vektorrolle der Melkanlage.
- Verschiedene Übertragungsmechanismen (z. B. Rückfluß, infizierte Zitzengummis) sind bekannt.
- Das Neuinfektionsrisiko innerhalb Kuh ist nicht zufällig verteilt. In 50 % der Herden findet man eine häufigere Infektion auf drei und vier Vierteln als zu erwarten und umgekehrt.

- Der nachgewiesene positive Effekt einer Zitzendesinfektion nach dem Melken wäre ohne Rolle der Melkanlage als Überträger von Mikroorganismen nicht zu erklären.

Vor dem Hintergrund der Komplexität des Mastitisgeschehens soll nachstehend die Rolle der technischen Faktoren der Vakuumapplikation einzeln und in ihrem Zusammenspiel, auf das sich die moderne Forschung unter spezieller Berücksichtigung der Vektorrolle konzentriert, beleuchtet werden.

Nicht nur eine Steigerung sondern auch eine Verringerung der üblichen Pulsfrequenz zwischen 40 und 60 Z/min wird für die Eutergesundheit als nachteilig angesehen. Während eine zu langsame Pulsierung insbesondere in Verbindung mit einem hohen Saugtaktanteil über eine absolute Verlängerung der Saugphase traumatisch wirkt, kann es bei zu schnell ablaufenden Pulszyklen zu einer Phasenverschiebung zwischen Puls- und passivem Strichkanalzyklus kommen, so daß Milchpartikel vom sich schließenden Zitzengummi in den immer noch geöffneten Strichkanal gedrückt werden (1, 8, 37, 69, 70, 73).

Die vertretbare Grenze für eine Verlängerung der Saugphase zur Beschleunigung des Milchflusses liegt dort, wo dem Zitzengewebe nicht mehr ausreichende zirkulatorische Entlastung gewährt wird, und es zu vermehrter Ansammlung von Blut und Lymphe kommt. Als Grenzwert für die Gesunderhaltung der Milchdrüse werden Saugtaktanteile von 70 - 80 % genannt (8, 21, 37, 49, 70). An einer Senkung des Saugtaktanteils unter 50 % ist man für die Periode des Hauptmilchflusses aufgrund der negativen Beziehungen zur Intensität der Milchabgabe nicht interessiert.

Ein inkonstantes Vakuum unterhalb des Striches führt nach übereinstim-

mender Darstellung in neueren Forschungsarbeiten zu einem verstärkten Auftreten von Mastitiden und Sekretionsstörungen (6, 13, 20, 37, 40, 41, 44, 48, 50, 58, 61, 70). Moderne Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf den mit Vakuumschwankungen in Zusammenhang stehenden Rückfluß bereits ermilchener Milch (37, 41, 59), ausgedrückt als Rückflußwahrscheinlichkeit (73) oder "impact" (58, 60, 61). Wird die Kapazität des milchableitenden Systems überschritten, so kommt es beim Öffnen des Zitzengummis zu einem Rücksaugen von Milch aus den kurzen Milchsclläuchen und dem Sammelstückbereich (37, 70, 73). Diese klassische Form des Rückflusses - bezeichnend mit dem englischen Ausdruck "teat wash" charakterisiert - führt zu massivem Umspülen der Zitzen mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten von etwa 1 m/s (77) und zwar starker aber weitgehend äußerlicher Kontamination mit potentiell infizierter Milch (4). Damit ist eine gute Voraussetzung für späteres Eindringen gegeben (73)

In modernen Melkanlagen hat man das Volumen des milchableitenden Systems derart vergrößert, daß ein deutliches Umspülen der Zitzen praktisch nicht mehr auftritt. Beim Öffnen des Zitzengummis können unter diesen Bedingungen jedoch Partikel kleiner Masse mit Strömungsgeschwindigkeiten um 15 m/s in Richtung Zitzenkuppe geschossen werden (77) und gegebenenfalls direkt in die Zitzenzisterne eindringen (18, 58, 61, 71). Gefährlich hohe Strömungsgeschwindigkeiten kommen bei geringem Flüssigkeitsdurchsatz sowohl in alten als auch in neuen Melkanlagen vor. Das Milchflußende und die Melkzeugabnahme sind besonders kritisch, da zu diesem Zeitpunkt im Zusammenhang mit Leckluft und geringen Milchmengen hohe Rückflußgeschwindigkeiten auftreten und einmal eingeschossene Mikroorganismen nicht durch nachfolgende Milch ausgewaschen werden (60, 61, 77). Unabhängig von der gefährlichen Kombination zyklischer und unregelmäßiger Vakuumschwankungen bei niedrigem Flüssigkeitsdurchsatz kommen erhöhte Rückflußwahrscheinlichkeit (73) und impacts (61) vermehrt bei alternierender Pulsierung mit einem Saugtaktanteil von 50 % vor.

Labor- und Felduntersuchungen in verschiedenen Ländern haben gezeigt daß es zwar möglich ist, durch Melkmaschinenüberwachung insbesondere in Verbindung mit Hygienemaßnahmen das Infektionsrisiko zu senken; den praktischen Erfolgen sind jedoch durch die vielfältigen Interaktionen zwischen den Einzelfaktoren der Vakuumapplikation und dem Mastitisgeschehen deutliche Grenzen gesetzt (4, 14, 15, 17, 29, 46, 60, 61, 67, 72). Man muß sich daher fragen, ob eine Melkmaschine nach dem herkömmlichen Zweiraumprinzip überhaupt und unter vertretbarem Aufwand den gestellten Anforderungen nach kontrollierter Vakuumapplikation unter sicherer Vermeidung des Rückflusses gerecht werden kann

2.4 Melkverfahren mit Einraum-Zitzenbechern

Etwa seit Mitte des vorigen Jahrhunderts arbeitet man an der Entwicklung des maschinellen Milchentzuges nach dem Saugprinzip. Der Weg verlief von an ein Vakuumsystem angeschlossenen Saugröhrchen, die den Strichkanal öffnen, über eine Glocke, mit der ganze Euterpartien unter Vakuum gesetzt wurden, zu diversen Einraum-Zitzenbecherkonstruktionen. Dabei wurde sowohl mit konstantem als auch pulsierendem Vakuum an der Zitzenspitze experimentiert (25). Nach vorliegenden Berichten traten bei allen genannten Vorläufern heutiger Melkmaschinen mehr oder weniger starke Probleme mit Gewebeschwellungen und -verletzungen, Euterkrankheiten und Abfallen der Melkzeuge auf. Seit der Erfindung von Zweiraum-Zitzenbecher und Pulsator um die Jahrhundertwende konzentrieren sich daher die Entwicklungsarbeiten auf dieses verbesserte Entzugsverfahren.

Im Verlauf der letzten Jahre haben jedoch die Kenntnisse über die Probleme der Biotechnik des maschinellen Milchentzuges stark zugenommen, so daß sich heute zwei Wege der Forschung und Entwicklung abzeichnen:

- Stabilisierung und Optimierung der Vakuumapplikation in Melkarlager mit dem bekannten Zweiraum-Zitzenbecher und
- Entwicklung und Optimierung neuer Entzugstechniken.

Aufgrund der weltweiten Verbreitung des Zweiraum-Verfahrens und der infolge des biotechnischen Charakters langen Entwicklungszeiten laufen beide Forschungsansätze logischerweise parallel. Der Einraumbecher ist wegen des pulsierungsfreien Milchentzuges ohne sich permanent ändernde Volumenverhältnisse unterhalb der Zitze vakuumtechnisch leichter zu beherrschen als der Zweiraumbecher. Forschungsansätze zielen in erster Linie auf eine technische Vereinfachung der Melkmaschine unter Vermeidung des rückflußbedingten Infektionsrisikos ab. Die mittlere Milchflußintensität, die arbeitswirtschaftlich innerhalb gewisser Grenzen ohne ausschlaggebende Bedeutung ist, wird sich trotz Ausnutzung der bisherigen, beim Einraumverfahren wegfallenden Entlastungsphase zur Milchgewinnung nicht erhöhen, da keine periodische Aufweitung des Zitzenkanals mehr stattfindet und der Milchfluß sich auf einen nahezu konstanten Wert unterhalb des Maximalflusses einstellt (55). Nachfolgend sollen die wichtigsten Forschungsvorhaben am Einraumverfahren kurz vorgestellt werden:

Der sogenannte kontinuierliche Milchentzug (62) arbeitet nicht mit äußerlich applizierten Zitzenbechern, sondern mit einem implantierten Kathetersystem. Er gehört daher nicht in die Reihe der Einraum-Modelle, soll aber der Vollständigkeit halber aufgeführt werden, da er das einzige bekannte Verfahren eines zudem pulsierungsfreien Milchentzuges darstellt, das eine Vollautomatisierung denkbar macht. Zentraler technischer Problembereich des Forschungsvorhabens ist das erforderliche absolute Verhindern des Eindringens euterpathogener Mikroorganismen in das Drüsengewebe durch den Katheder bzw. dessen Eintrittsstelle.

Das Verfahren des pulsierungsfreien Milchentzuges mit Mantelstrom-Luftpolster, PME (63) arbeitet mit einem Einraum-Zitzenbecher, der im Zitzengummikopf Luftdüsen aufweist, die ein "Luftkissen" zwischen Zitzen- und Becherwand aufbauen und aufrechterhalten sollen (34, 35). Dieses bezweckt eine zirkulatorische Entlastung des Zitzengewebes und fördert als Lufteinlaß naturgemäß den Abfluß der Milch. Vor dem Milchentzug

werden die Zitzenbecher in einem Bad auf 52°C zur Stimulation der Thermorezeptoren in der Zitze aufgeheizt und gleichzeitig desinfiziert (65).

Ein Verfahren mit Einraumbecher und pulsierendem Vakuum unter der Zitze (ca. 45:20 kPa) baut ebenfalls auf der traditionellen Technik der Jahrhundertwende auf (43). Durch moderne Konstruktion des Zitzenbeckers und verbesserte Vakuumsteuerung will man jedoch das frühere Hauptproblem des Abfallens der Zitzenbecher in der Niedrigvakuumphase lösen. Die Anlage arbeitet mit einem erhöhten Nennvakuum von ca. 60 kPa, von dem das Melkvakuum für jede Melkeinheit individuell abgegriffen wird.

Ein weiterer Forschungsansatz schließlich will die strömungstechnischen Vorteile des Einraumbeckers mit einer wirksamen zirkulatorischen Entlastung und insbesondere Stimulation verbinden (79). Zu diesem Zweck werden vorzugsweise elektrische Schwingungen im mV-Bereich über Elektroden direkt auf die Zitzen gegeben.

Vollständigkeit des Milchentzuges und Verbesserungen im Gesundheitszustand der Milchdrüse des Rindes werden letztlich neben der rein technischen Ausführung der Konstruktion über Erfolg und Mißerfolg der verschiedenen Lösungsvorschläge entscheiden.

2.5 Zusammenfassende Betrachtung

Mit der Erfindung von Zweiraum-Zitzenbecher und Pulsator um die Jahrhundertwende hat man den Einraumbecher verworfen, da mehr oder weniger starke Gewebeschwellungen und -verletzungen, Euterkrankheiten und Abfallen der Melkzeuge auftraten, die man mit dem neuen Prinzip zu bewältigen hoffte. 70 Jahre Melkmaschinenforschung haben zu Anlagen geführt, die viele technische Probleme des maschinellen Milchentzuges tatsächlich gelöst haben. Speziell im letzten Jahrzehnt durchgeführte

Arbeiten zeigen jedoch, daß die Vakuumapplikation an der Zitze noch weitgehend unserem Einfluß entzogen und einer biotechnischen Optimierung unter Einbeziehung der ökonomisch wichtigen Eutergesundheit damit nicht zugänglich ist. Die hieraus resultierenden Entwicklungstendenzen kann man unterteilen in :

- Weiterentwicklung konventioneller Verfahren und
- Experimentieren mit neuen Lösungswegen.

Eine Weiterentwicklung der konventionellen Technik hat nur Aussicht auf Erfolg, wenn die Vakuumbedingungen am Euter und damit die Zitzengummibewegung stabilisiert werden können. Gewisse Verbesserungen dürften mit einer genauen Abstimmung von Vakuumhöhe, Pulsierung und Dimensionierung der milchableitenden Wege zu erreichen sein; weitere Reserven liegen in der frühzeitigen Trennung von Milch und Luft in Verbindung mit separater Abführung der beiden Medien. Im nächsten Schritt ist dann eine biotechnische Faktoroptimierung und ggf. gezielte Steuerung möglich.

Neue Lösungswege gehen vom Zweiraumbecher zurück zum Einraumbecher und versuchen, die bekannten Probleme durch moderne Technologie in den Griff zu bekommen. Generell entfällt die pulsierungsbedingte Inkonsistenz und gibt damit eine vakuumtechnisch überlegene Ausgangsposition. Auf der anderen Seite stehen noch offene Fragen der zirkulatorischen Entlastung und der Stimulation.

Die vorliegende Arbeit mit der vakuumtechnischen Zielsetzung "Eingestellter Sollwert der Maschine = Istwert am Euter" umfaßt sowohl das Zweiraum- als auch das Einraumverfahren. Die Arbeiten sind jedoch beschränkt auf eine Stabilisierung der Vakuumapplikation im Labor sowie die Klärung der zugehörigen strömungsmechanischen Zusammenhänge. Eine spätere Überprüfung der Ergebnisse in Melkversuche ist erforderlich, um die Auswirkungen eines stabilen Melkvakuums und ggf. definierter Pulsierung auf Melkverhalten und Eutergesundheit beurteilen zu können.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 Labormelkanlage

Die experimentellen Untersuchungen zur Optimierung der Vakuumppliation in Melkeinheiten wurden in einer speziellen Versuchsmelkanlage durchgeführt, die nachfolgend abgebildet und in den wesentlichen Teilen beschrieben ist :

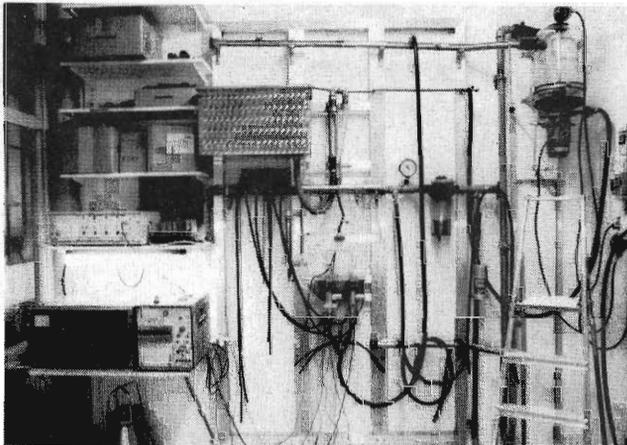


Abbildung 8

Vakuumsystem

Eine Pumpe mit einem Luftdurchsatz von 500 l/min ist über eine 5/4" Vakuumleitung mit der Endeinheit und über eine 1" Stichleitung mit den Pulsatoren verbunden. Die Steuerung der Vakuumphöhe erfolgt mit einem gewichtsbelasteten und alternativ einem federbelasteten Regelventil. Zur Analyse von Systemen mit Milch- Luft-Abscheidung kann die Verbindung zur Stichleitung abgesperrt und diese an eine separate Pumpe mit 200 l/min Luftdurchsatz über eine 1" Leitung angeschlossen werden. Für den Fall eines Flüssigkeitsübertritts wurde in der Stichleitung ein Sicherheitsabscheider eingebaut. Die Vakuumphöhe ist an einem Manometer der Güteklasse 1.0 abzulesen; zusätzlich ist ein Quecksilbermanometer vorhanden.

Milchableitendes System

Eine Edelstahl-Melkleitung mit NW 38 mm und ca. 1,5 m Gesamtlänge kann alternativ hoch- oder tiefverlegt werden. Die Eindeinheit wurde für die Höhenverstellung auf Schienen montiert. In der niedrigen Position befindet sie sich mit dem Einlauf ca. 0,40 m unterhalb des Zitzenmodells, in der angehobenen Position ca. 1,30 m oberhalb und spiegelt damit etwa die Verhältnisse in Praxisanlagen wieder. In der Melkleitung befinden sich Milchhähne mit NW 14 und NW 19 mm.

Pulsierung

Speziell für das Melklabor wurde unter Leitung von Herrn Dr. Stanzel, Meßtechnische Abteilung im Institut für Landtechnik, ein Puls generator entwickelt und gebaut. Er gestattet simultane, alternierende und sequentielle Pulsierung der vier Alfa-Laval Magnetventile. Die Pulsfrequenz ist in 14 Stufen von 30 - 90 DT/min und der Saugtaktanteil unabhängig von der Frequenz in 8 Stufen von 10 - 80 % einstellbar. Durch Verengung der Luftzulasse an den Magnetventilen ist ein Wechsel von steilem zu flachem Flankenanstieg der Pulskurve möglich.

Zitzenmodell

Die Laboruntersuchungen wurden an einem in Anlehnung an die Erfahrungen von C. C. Thiel, NIRD Reading/England, gefertigten Zitzenmodell durchgeführt. Wesentliches Merkmal der Konstruktion ist der um 20° von der Vertikalen abweichende Flüssigkeitsaustritt. Dadurch wird der Auslaß periodisch vom kollabierenden Zitzengummi verschlossen und ein Fließverhalten in Abhängigkeit von der eingesetzten Pulsierung erreicht. Eine weitere Bohrung dient dem Einbau eines Aufnehmers zur Erfassung der Druckverhältnisse direkt an der Zitzenspitze.

Nachfolgend ist eine Zitze des Modells mit den zugehörigen Fertigungsmaßen dargestellt; Länge und Durchmesser wurden in Anlehnung an die

Resultate einer größeren Untersuchung an verschiedenen Rassen und Altersstufen (42) festgelegt. (Zur besseren Abdichtung an der Zitzenbasis wurde später ein Kegelring mit etwa 14° und 15 mm Länge angebracht,)

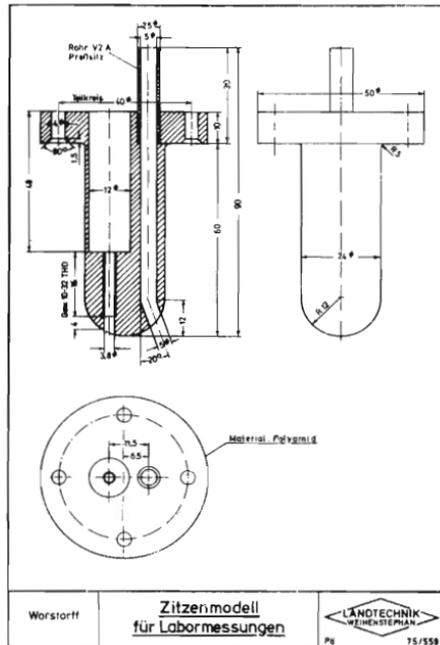


Abbildung 9

Flüssigkeits-Dosiereinrichtung

Aus Gründen der Praktikabilität wurde das Zitzenmodell nicht mit kuhwarmer Milch sondern mit Wasser von Raumtemperatur gespeist, das in der Anlage zirkuliert wird. Nach übereinstimmender Aussage namhafter Wissenschaftler (27, 51, 57) führt das nicht zu grundlegenden Unterschieden im Vakuumverhalten, so daß die Laboranalyse unter Einsatz eines speziellen Zitzenmodells die geeignete Technik zur experimentellen Bearbeitung der strömungstechnischen Fragestellung darstellt. Eigene Vergleichsuntersuchungen zwischen Wasser und Milch ergaben mittlere Unterschiede von weniger als 0,5 % für das Durchschnittsvakuum in der Milchflußphase bzw. im Pulszyklus und bestätigen damit die Literatursausage.

Von einem Speichertank läuft das Wasser durch einen Schwabekörpermesser für Durchsätze zwischen 0,65 und 6,5 l/min zu einer speziell entwickelten Dosiereinrichtung. Diese besteht aus einem horizontalen Rohr mit vier parallel angeordneten Hähnen und Schlauchanschlüssen für die Nennweiten 4, 6, 8 und 10 mm, das über entsprechende Schläuche mit der eigentlichen Verteileinrichtung auf die vier Viertel des Zitzenmodells in Verbindung steht. Die alternative Schaltung verschiedener Schlauchdurchmesser gestattet eine Vorjustierung des Flüssigkeitsdurchsatzes; eine Feinabstimmung ist über Schlauchklemmen in Verbindung mit der Rotormeteranzeige möglich. Da für den Durchsatzbereich bis ca. 8 l/min die Anschlüsse mit NW 4 bzw. 6 mm ausreichen, wurden die Untersuchungen im Bereich 1 - 5 l/min mit einem 6 mm-Einsatz gefahren, der zur besseren Abdichtung mit einem O-Ring in der Passung versehen wurde. Die Verteileinrichtung ist in nachstehender Abbildung mit den zugehörigen Fertigungsmaßen dargestellt.

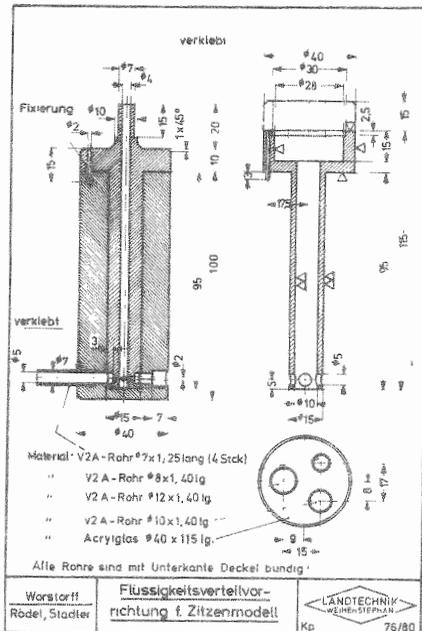


Abbildung 10

Es ist ersichtlich, daß das Prinzip auf dem freien Auslauf von Flüssigkeiten aus einem Gefäß beruht. Für geringe Durchsätze unter 1 l/min wird mit einem Einsatz mit vermindertem Auslaufquerschnitt gearbeitet, um Bahnbildung der ablaufenden Flüssigkeit zu verhindern und eine bessere Verteilung zu erreichen. Die dargestellte Einrichtung erwies sich gegenüber gekammerten Kegel- bzw. Überlaufverteiltern als überlegen.

Die mittlere Abweichung des Durchflusses beträgt unter 2 % bezogen auf Flüssigkeitsdurchsätze zwischen etwa 200 und 1500 ml/Viertel und Minute bei freiem Durchlauf. Beim Melken kann aufgrund der Druckdifferenz in Verbindung mit der Pulsierung praktisch keine Bahnbildung auftreten, so daß der freie Durchlauf die kritischsten Verhältnisse charakterisiert, die in Abbildung 11 graphisch dargestellt sind.

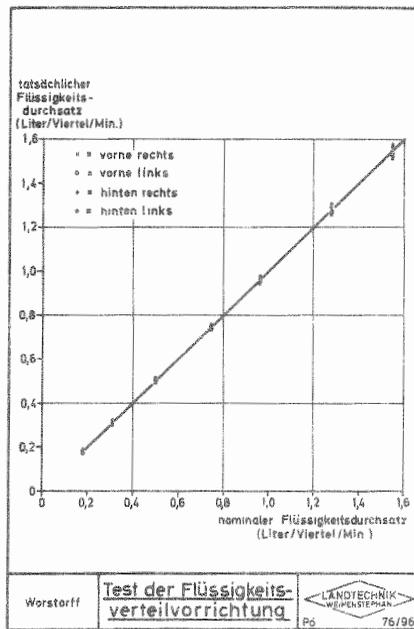


Abbildung 11

Melkzeug

Die Arbeiten zur strömungstechnischen Optimierung wurden an einem Melkzeug auf der Basis der Alfa-Laval Zitzenbecher Typ H mit Zitzen-gummi 960007-01 und dem Alfa-Laval Sammelstück 963721-80 durchge-

führt. Die Auswahl erfolgte, da die Konstruktion des Zitzenbeckers eine feine Justierung des Einfaltdruckes und insbesondere durch Auswechseln der Schaugläser eine mühelose Anpassung an kurze Milchschnäuche verschiedener Nennweiten gestattete. Das Sammelstück darf als typischer Vertreter der neuen Generation mit vergrößertem Volumen angesehen werden, der Lufteinlaß erfolgte kontrolliert über einen Schwebekörpermesser. Das Melkzeug wurde jedoch nicht unverändert der Serienproduktion entnommen und eingesetzt, da es - etwa analog zu Modellen des Wettbewerbes - eine Reihe strömungstechnischer Schwächen aufweist, mit denen die Experimentalreihe nicht belastet werden sollte (vgl. 66). Die einzelnen Problemstellen sind in der folgenden Abbildung aufgeführt und kurz mit den vorgenommenen Veränderungen diskutiert :

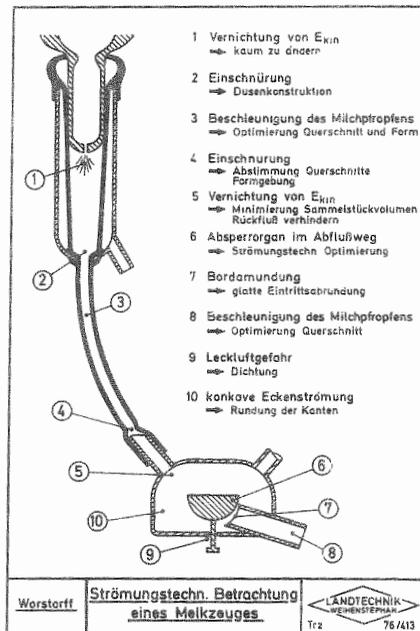


Abbildung 12

1. Der Milchstrahl tritt an der Zitze in einen freien Raum aus. Dabei

geht die gesamte kinetische Energie für den Strömungsvorgang verloren. Hieran ist prinzipbedingt kaum etwas zu ändern.

2. Beim Übergang vom Zitzengummischwamm zum kurzen Milchschauch erfolgt eine Verengung, die keinen optimalen Düsenstrom ermöglicht, sondern über Turbulenzen, Einschnürungen und Querströme den Abfluß behindert. Um diesen Nachteil auszugleichen, wurden spezielle Schaugläser gefertigt, die eine stetige Verengung und damit nur geringe Energieverluste aufweisen, da die durch Wandreibung verzögerten Teilchen durch das vorhandene Druckgefälle stetig neuen Antrieb erhalten, so daß die Vorwärtsbewegung auch in der wandnahen Reibungsschicht aufrechterhalten bleibt.

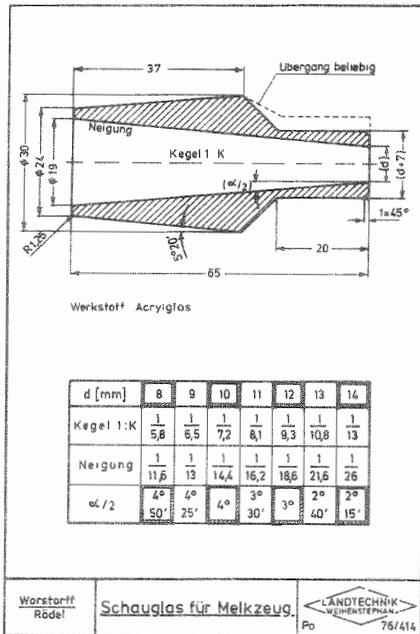


Abbildung 13

Die Schaugläser wurden für kurze Milchschauche der Nennweiten 8 - 14 mm in Stufen von 2 mm gefertigt.

3. Im kurzen Milchschauch erfolgt erstmals eine Pfropfenbildung und Beschleunigung der Flüssigkeit. Es wurde der Einfluß von zylindrischen Schläuchen mit den Nennweiten von 8 - 14 mm in Stufen von 2 mm getestet. Aufgrund der strömungstechnischen Grundkenntnisse bei Düsen sowie eigenen Laboruntersuchungen (78) darf als sicher angenommen werden, daß man durch konische Schlauchform in gewissen Grenzen den gleichen Effekt erzielen kann wie durch eine Erhöhung der Nennweite bei zylindrischen Schläuchen. Diese für die Praxis aus Gründen der Handhabung wichtige Möglichkeit wurde jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit wegen der fertigungstechnischen Schwierigkeiten nicht verfolgt.

4. Beim Übergang vom kurzen Milchschauch auf den Stutzen des Sammelstückes erfolgt in Abhängigkeit vom Unterschied der Durchmesser eine mehr oder weniger starke Dehnung des Gummimaterials, die naturgemäß davor zu einer Einschnürung mit den bekannten strömungstechnischen Konsequenzen führt. Beim Versuchsmelkzeug wurde dieser Nachteil durch Verwendung von Schlauchmaterial aus PVC, das zur Montage angewärmt wurde, verhindert. In der Praxis könnte das durch Abstimmung der Durchmesser und entsprechende Formgebung bei den Enden des kurzen Milchschauches erreicht werden.

5. Beim Übergang vom Sammelstückstutzen in das Sammelstückvolumen wird die gerade im kurzen Milchschauch aufgebaute kinetische Energie durch den Austrittsverlust wieder weitgehend vernichtet. Unter strömungstechnischen Aspekten erscheint das unsinnig, es ist jedoch ein praktisches Zugeständnis an die Verhinderung eines Rückflusses in flüssiger Form beim Öffnen des Sitzgummis. Da ein Sammelstückvolumen von ca. 100 ml heute als Stand der Technik angesehen werden kann, wurde diese Sammelstückgröße auch in der Laboruntersuchung grundsätzlich beibehalten. Alternativ dazu kam ein experimentelles Sammelstück mit ca. 800 ml Volumen vergleichsweise zum Einsatz.

6. Das Absperrorgan im Abflußweg wurde entfernt, um bessere Abflußbedingungen zu erzielen.

7. Die strömungstechnisch aufgrund der hohen Einschnürungszahl ungünstige Bordamündung wurde gegen eine glatte Eintrittsabrundung ausgetauscht,

8. Aus dem Sammelstückvolumen muß die Flüssigkeit erneut beschleunigt werden. Hierzu ist analog zu Punkt 3 eine Abstimmung der Querschnitte erforderlich. Über speziell gefertigte, lang angephaste Stutzen wurden Schläuche mit den Nennweiten 14, 16 und 19 mm angeschlossen und getestet.

9. Bei der Standardausführung besteht die Gefahr von Abflußstörungen durch der Hauptströmung entgegengerichtete Leckluft. Bei der Laborausführung war das durch den Wegfall des Ventils nicht mehr gegeben,

10. Die strömungstechnische Ausformung des Sammelstück-Unterteils erschien aufgrund der auftretenden Hyperbelströmung an der konkaven Ecke nicht optimal und wurde gegen sanfte Rundungen geändert.

Vergleichsmessungen mit dem handelsüblichen Standardmelkzeug zeigten, daß das Versuchsmelkzeug - wahrscheinlich insbesondere durch die Ausformung des Schauglases - ein höheres Durchschnittsvakuum in der Milchflußphase aufwies. Ein Einfluß auf die Höhe der zyklischen Schwankungen war kaum feststellbar, da beim handelsüblichen Melkzeug die Strömungsverhältnisse durch leicht unterschiedliche Durchflußraten des Lufteinlasses sowie inkonstant einströmende Leckluft am Absperrventil gestört wurden. Somit ist der wesentliche Vorteil des Versuchsmelkzeuges neben seiner universellen Anpassungsmöglichkeit an die verschiedensten Querschnitte im Erreichen kontrollierter Versuchsbedingungen mit einem konstanten Lufteinlaß im Sammelstück von 5 l/min - überwacht durch ein Rotometer - zu sehen.

Meßtechnische Ausstattung von Zitzenmodell und Melkzeug

Von den vier Zitzen des Zitzenmodells waren drei mit Druckaufnehmern direkt an der Zitzenspitze ⁺⁾ ausgerüstet und zwar zwei zur Messung und einer als zusätzliche Kontrolle.

Die Druckaufnahme in Pulsräumen und Sammelstück ⁺⁺⁾ erfolgte ebenfalls elektronisch und zwar 2x im Pulsraum und 1x im Sammelstück. Ein Meßpunkt im Sammelstück wurde als ausreichend erachtet, da eine Funktionskontrolle durch Vergleiche mit den Verhältnissen an der Zitzenspitze möglich war.

Die Zitzengummibewegung - charakterisiert durch halbe Öffnung bzw. Schließung des Gummis entsprechend der Milchflußphase - wurde mit einer in der Abteilung Meßtechnik entwickelten Infrarot-Lichtschrankenordnung festgehalten. Die Einrichtung schaltete mit einer Maximalabweichung von nur 0,3 mm und erfaßte damit die Milchflußphase zuverlässig.

Alle Meßpunkte wurden von einem 8-Kanal Lichtstrahloszillographen mit 15 cm Schreibbreite bei 50 mm/s Vorschub und eingeblytzter Zeitmarke von 100 ms aufgezeichnet.

Zusatzausrüstung für spezielle Aufgaben

Parallel zur konventionellen Zweiraumtechnik wurden Vergleichsmessungen am Einraumverfahren durchgeführt. Da es sich bei den Untersuchungen um die ausschließliche Erforschung der Druckverhältnisse im Melk-

⁺⁾ Druckaufnehmer für Zitzenspitze :

Sensotec Columbus /Ohio, Typ PDCR 42 (0-1 bar Differenzdruck)

⁺⁺⁾ Druckaufnehmer für Pulsräume und Sammelstück :

Tyco Lexington /Mass., Typ AB-15 (0-1 bar Differenzdruck)

zeugbereich handelte, konnten die verschiedenen Stimulationseinrichtungen - insbesondere die Elektromassage - im Labor unberücksichtigt bleiben. Für die Messungen wurde daher das Versuchsmelkzeug ohne Pulsierung eingesetzt.

Zur Untersuchung des Einflusses einer Trennung von Milch und Luft zur Eliminierung des strömungstechnisch schwierigen Zweiphasenstromes wurden ein Abscheider im Sammelstück ^{x)} bzw. ein vom Melkzeug separater Abscheider ^{xx)} eingesetzt. Bei beiden Geräten erfolgt die Trennung durch Schwimmer in Verbindung mit unterschiedlicher Höhe für das Melk- bzw. Transportvakuum. Die folgende Abbildung zeigt die verwendeten Abscheider:

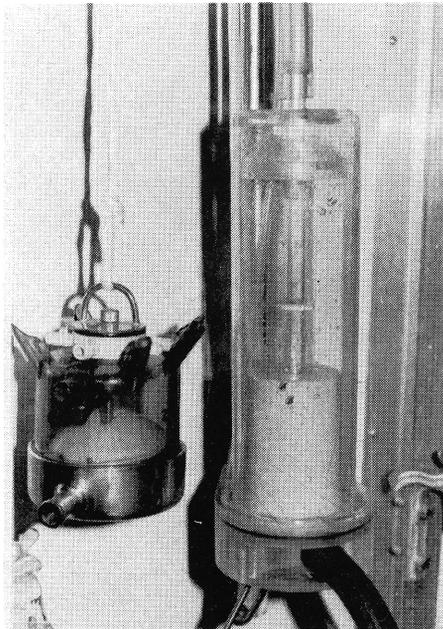


Abbildung 14

x) ZERO MFG Comp. Washington /MO

xx) Experimentmodell der Alfa-Laval-Agrar-GmbH, Hamburg

Weiterhin wurden orientierend zwei Melkmaschinentypen in die Untersuchung einbezogen, deren Funktionsprinzip interessant und eines näheren Einblicks wert erschien. Es handelte sich um eine Maschine mit periodischem Lufteinlaß und um die Einrohrmelkanlage. Beide arbeiten nach dem herkömmlichen Zweiraumprinzip. Bei der erstgenannten Maschine wird über ein Membranventil im Schauglasbereich in der Entlastungsphase eine kleine Menge atmosphärischer Luft eingelassen, um das rückwärtige Abbremsen des wegströmenden Milchpfropfens auszuschalten und so die kinetische Energie zur Vakuumstützung in der Saugphase auszunutzen.

Die Einrohrmelkanlage weist keine separate Vakuumleitung auf, sondern bezieht das Vakuum für die Pulsierung ebenfalls aus der Melkleitung. Konstruktionsbedingt gibt es kein "ballooning" des Zitzengummis, da Puls- und Melkvakuum praktisch identisch sind; der technische Aufbau der Anlage ist vereinfacht und verbilligt.

Fehlerbeurteilung

Druckmessung:

Systematische Fehler können ausgeschlossen werden, weil die Meßkette täglich statisch nach einem Hg-Manometer (Meßunsicherheit ± 1 mbar) kalibriert wurde. Die restliche Meßunsicherheit infolge Kurzzeitdrift, Nichtlinearität und Hysterese lag bei ± 7 mbar.

Wegmessung am Zitzengummi:

Der Zitzengummi gibt beim Einfalten den Lichtstrahl auf das Fotoelement frei. Dieser Strahl ist sehr stark gebündelt, so daß sich der Schalterpunkt mit einer Unsicherheit von $\pm 0,3$ mm bestimmen läßt.

Zeitmessung:

Der Zeitmessung wurde der Papiervorschub des UV-Schreibers zu grundegelegt. Der Papiertransport erfolgte innerhalb der Fehlergrenze von $\pm 2\%$. Bei dem gewählten Papiervorschub von 50 bzw. 100 m/s ergab sich für die Ablesung der Zeiten eine Unsicherheit in der gleichen Größe.

3.2 Versuchsplan

Die experimentellen Untersuchungen zur Stabilisierung des Vakuums in der Melkeinheit gliedern sich in Vorversuche und die eigentlichen Hauptversuche. Die verschiedenen Voruntersuchungen (81, 84) dienen neben dem Test der Versuchs- und Auswertungsroutine vorrangig zwei Zielen:

1. Der näheren Erläuterung der strömungsmechanischen Ursachen der zyklischen Schwankung sowie deren Konsequenzen für die Vakuumhöhe in der Milchflußphase und
2. der strömungsmechanischen Beurteilung von der Einrohrmelkanlage und einer Maschine mit periodischem Lufteinlaß im Melkzeug.

Ad. 1:

Die neuere Fachliteratur beschreibt zwar die verschiedenen Vakuumschwankungen in Melkanlagen, geht jedoch nicht hinreichend auf deren Entstehungsursachen ein. Das gilt insbesondere für den zyklischen Typ, der weniger durch die Pulsierung direkt - wie allgemein angenommen - als indirekt durch das abwechselnde Beschleunigen und Abbremsen der wegströmenden Milch in der Melkeinheit geprägt wird. Diese Zusammenhänge sind ebenso wie die Auswirkungen der zyklischen Schwankung auf die Vakuumhöhe in der Milchflußphase bei verschiedenen Pulsierungen im Rahmen von Vorversuchen vertieft und bisher nicht in der Literatur dargestellt worden. Da sie jedoch von übergreifender Bedeutung für das Verständnis der weiteren Resultate sind, wurde beiden Punkten ein gemeinsames Kapitel zugeordnet und der Darstellung der Ergebnisse des Hauptversuches vorgeschaltet.

Ad. 2:

Die Maschine mit periodischem Lufteinlaß stellt ebenso wie die Einrohrmelkanlage eine auf dem Zweiraum-Grundprinzip basierende Spezialkonstruktion einer Melkanlage dar, deren strömungsmechanische Bedingungen in wesentlichen Teilen nicht mit denen einer Standard-Melkanlage übereinstimmen. Aus diesem Grund wurden beide Typen nicht in die um-

fassende Serie der Hauptversuche einbezogen, sondern für sich abgehandelt. Beide Maschinen wurden im Rahmen der Vorversuche einer systematischen Laboranalyse mit dem Ziel der Stabilisierung des Vakuums in der Melkeinheit unterzogen. Die Ergebnisse dieser Arbeiten werden jedoch nur summarisch dargestellt, da es sich um zwar interessante, jedoch firmenspezifische Details handelt - im Gegensatz zum allgemeingültigen Charakter der Hauptversuche, deren Grundaufbau in Tabelle 5 zusammengefaßt ist:

Tabelle 5 Versuchsaufbau

HAUPTVARIABLE	NEBENVARIABLE Flüssigkeitsdurchsatz 0 - 5 l/min
A. hochverlegte Melkleitung	1. NW kurzer Milchschauch (mm) 8, 10, 12, 14
B. hochverlegte Melkleitung und separater Abscheider	2. NW langer Milchschauch (mm) 14, 16, 19
C. hochverlegte Melkleitung und Sammelstück-Absch.	3. Pulsierungssystem simultan, alternierend, sequentiell, ohne Pulsierung 4. Flankenwinkel der Pulsierung steil (flach)
D. tiefverlegte Melkleitung	5. Pulszahl (Zyklen/min) (30, 40) 50, 60
E. tiefverlegte Melkleitung und Sammelstück-Absch.	6. Saugtaktanteil (%) (30, 40) 50 (60) 70 7. Vakuumhöhe (kPa) (35) 50 (60)
	8. Sammelstückvolumen (ml) 130 (800)

Links, mit den Buchstaben A - E bezeichnet, stehen die Hauptvariablen, differenziert nach Leitungshöhe und Milch-Luft-Trennung. Die Kombination "tiefliegende Melkleitung und vom Sammelstück getrennter Abscheider" erwies sich bereits in Vorversuchen (81) als unrealistisch, da einem ver-

gleichsweise hohen Aufwand nur marginale Gewinne in der Vakuumpplifikation gegenüberstanden. Das ist erklärlich, da ein Höhentransport der Milch bei Anlagen mit tiefliegender Leitung grundsätzlich nicht gegeben und die Strömung vom Melkzeug zur Leitung derjenigen zum separaten Abscheider vergleichbar ist. Aus diesem Grunde wurde die Alternative nicht als Hauptvariable in den Versuch aufgenommen.

Bei Kombination von hochverlegter Melkleitung und einem vom Melkzeug getrennten Abscheider auf Euterhöhe entsprechen die Strömungsverhältnisse der Melkeinheit praktisch denen einer Eimermelkanlage, so daß auf eine getrennte Prüfung dieses Systems ebenfalls verzichtet werden konnte. Die kinetische Energie der abfließenden Milchpfropfen wird am Ende des langen Milchschauches durch Austrittsverluste vernichtet, und im Abscheider bzw. Standeimer herrscht ein stabiles Betriebsvakuum auf Nennhöhe.

Rechts, mit den Ziffern von 1-8 bezeichnet, stehen die Nebenvariablen mit den jeweils verwendeten Stufen. Die nicht eingeklammerten Werte charakterisieren die strömungstechnisch wichtigen Alternativen bzw. den bekannten biologischen Toleranzbereich beim maschinellen Milchentzug. Hier wurden die wesentlichen Varianten gegeneinander getestet, jeweils bei Flüssigkeitsdurchsätzen von 0 - 5 l/min in Stufen von 1 l/min. Die eingeklammerten Werte bezeichnen Größen, die für eine milchflußgesteuerte Maschine interessant sein könnten - so z.B. Pulszahl 30 - bzw. strömungsmechanisch interessant sind, wie das Sammelstückvolumen von 800 ml. Aufgrund der vergleichsweise geringen Bedeutung der Klammerwerte sowie der systematischen Verknüpfung der einzelnen Messungen durch strömungsmechanische Gesetzmäßigkeiten wurden hier nur ausgewählte Kombinationen gefahren und der fein abgestuften Serie zugeordnet. Insgesamt enthalten die Hauptversuche 1954 Einzelmessungen mit etwa 25 000 Meßwerten.

3.3 Erfassung und Auswertung der Meßdaten

Die Meßwernerfassung erfolgte über Oszillogramme, wie in Abbildung 15 als Beispiel mit den einzelnen Meßpunkten und den zugehörigen Koordinaten wiedergegeben ist:

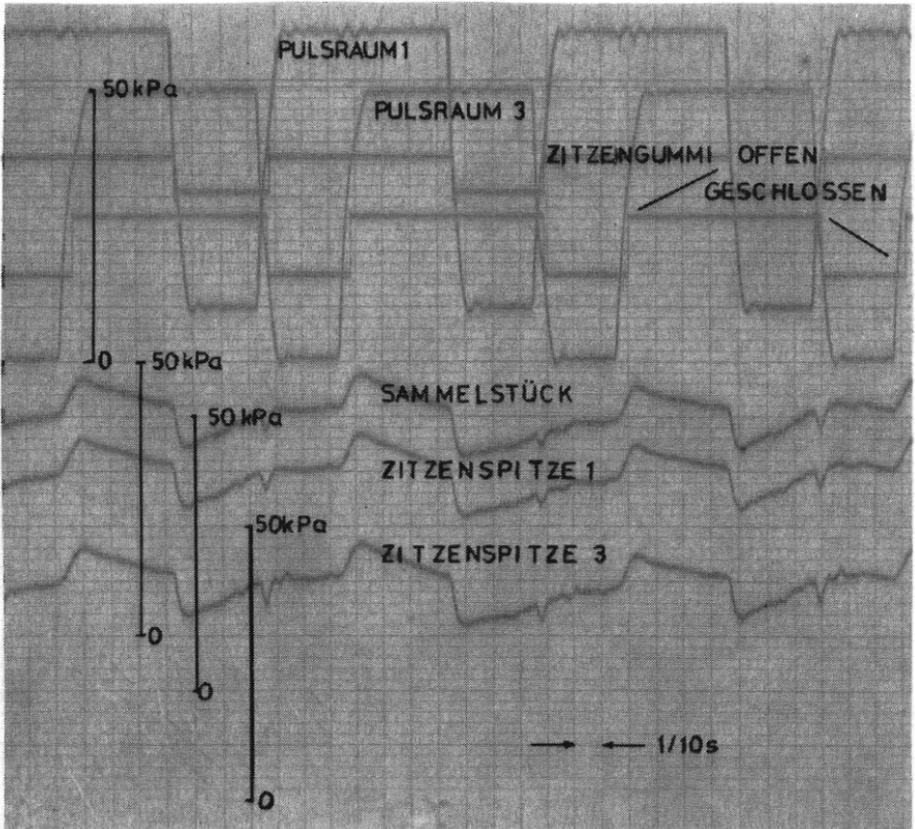


Abbildung 15

Aus dem Oszillogramm wurden mit Hilfe von Maßstab und Taschenrechner die relevanten Größen ermittelt und zusammen mit den Versuchsparametern in einer Ablochliste nach folgendem Schema festgehalten :

Spalte (n)	<u>Maschinenparameter</u>
1 - 4	laufende Nummer der Messung
5	Leerspalte
6	Flüssigkeitsdurchsatz 0 - 5 l/min in Stufen von 1 l/min
7	Melksystem entspr. Code
8 u. 9	Nennweite kurzer Milchschauch (mm)
10 u. 11	Nennweite langer Milchschauch (mm)
12	Leerspalte
13	Pulsierung entspr. Code
14	F lankenwinkel der Pulsierung entspr. Code
15 u. 16	Pulszahl (Anzahl Zyklen/min)
17 u. 18	Saugtaktanteil (Prozent)
19	Leerspalte
20 u. 21	Nennwert Melkvakuum (kPa)
22 u. 23	Nennwert Transportvakuum (kPa)
24	Sammelstückvolumen entspr. Code
25	Leerspalte

Milchflußphase

26 u. 27	Länge der Milchflußphase (Prozent)
28 - 30	Durchschnittliches Vakuumniveau an der Zitze (mb)
31 - 33	Standardabweichung von 28 - 30 (drei Stellen reichen aus, da das Vakuumniveau in kPa ausgewertet wurde)
34 - 36	Minimale Vakuumhöhe (mb)
37 - 39	maximale Vakuumhöhe (mb)
40	Leerspalte

Pulszyklus

41 - 43	Durchschnittliches Vakuumniveau an der Zitze (mb)
44 - 46	Standardabweichung von 41 - 43
47	Leerspalte
48 - 50	Minimale Vakuumhöhe (mb)
51 u. 52	Zeitliche Zuordnung des Minimums (Prozent)

53 - 55	Maximale Vakuumhöhe (mb)
56 - 57	Zeitliche Zuordnung des Maximums (Prozent)
58	Leerspalte

Sammelstück

Nach Durchführung der Vorversuche wurde das Vakuum im Sammelstück nicht mehr erfaßt und statt dessen die Milchflußphase im Pulszyklus 4 zusätzlich ausgewertet, um so den unterschiedlichen Vakuumverhältnissen innerhalb Melkzeug Rechnung zu tragen. Voruntersuchungen hatten ergeben, daß sich die Vakuumunterschiede innerhalb Melkzeug im wesentlichen in der Milchflußphase, nicht aber im Durchschnittswert über den Pulszyklus unterscheiden.

Spalte (n)

59 - 61	Durchschnittliches Vakuumniveau über einen Pulszyklus (mb)
62 - 64	Standardabweichung von 59 - 61
65	Leerspalte
66 - 68	Minimale Vakuumhöhe im Pulszyklus (mb)
69 u. 70	Zeitliche Zuordnung des Minimums (Prozent)
71 - 73	Maximale Vakuumhöhe im Pulszyklus (mb)
74 - 75	Zeitliche Zuordnung des Maximums (Prozent)
76 - 80	Leerspalten

Nach Übertragen des Datenmaterials auf Magnetplatten wurden alle weiteren Operationen speicherprogrammiert auf einer TR 440 im Leibnitz-Rechenzentrum in München ausgeführt. Gemäß dem Programm VAAN (85) von Herrn Dr. Auernhammer, Abt. Datentechnik an der Landtechnik Weihenstephan, wurden jeweils Gruppen der gewünschten Klassifikationskriterien zusammengestellt und mit den Mittelwerten und Streuungen für die einzelnen Flüssigkeitsdurchsätze ausgegeben. Der statistische Mittelwertvergleich erfolgte dann mit dem t-Test.

4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION DES VORVERSUCHES

Wie bereits im Kapitel 3.2 erläutert, liegt den Vorversuchen eine Dreiteilung in

- strömungsmechanische Ursachen der zyklischen Vakuumschwankung und deren Konsequenz für die Vakuumhöhe in der Milchflußphase von Zweirohrmelkanlagen
 - Maschine mit periodischem Lufteinlaß und
 - Einrohrmelkanlage
- zugrunde.

4.1 Standard-Zweirohranlage

Bei konventionellen Melkanlagen hat das Vakuum die Doppelaufgabe von eigentlichem Milchentzug, d.h. Öffnen des Strichkanals, und Abtransport. Aufbauend auf Abbildung 3 und den zugehörigen Ausführungen über zyklische Vakuumschwankungen stellt sich das Geschehen in der Melkeinheit aus strömungsmechanischer Sicht wie folgt dar:

Sind beim Abtransport der ermolkene Milch Höhenunterschiede zu überwinden, so kommt es zwangsläufig zur Bildung kürzerer oder längerer Milchpfropfen, die auch durch einen Lufteinlaß im Sammelstück nur spezifisch leichter, nicht aber beseitigt werden. Die Pfropfen behindern den freien Vakuumausgleich zwischen Zitzenspitze und Melkleitung bzw. Standeimer : Während auf der einen Seite praktisch konstantes Betriebsvakuum herrscht, vollzieht sich auf der Gegenseite im Zitzenbecherinnenraum eine zyklische Volumenänderung durch den pulsierenden Zitzengummi. In der Folge baut sich ein pulsierender Strom auf, dessen bestimmende Faktoren die Massenträgheit des Milchpfropfens, die Reibungswiderstände, die Pulszahl, die Eigenfrequenz des Melkzeuges und die jeweiligen Druckverhältnisse sind. Die Zusammenhänge lassen sich verdeutlichen, wenn man

anstelle der üblichen, und daher in Abbildung 3 gewählten Darstellung die zyklische Schwankung "in Zeitlupe" betrachtet. Bereits bei einer Pulszahl von 32 Z/min entfällt ein großer Teil der Überlagerungen, und die zyklische Schwankung tritt in ihrer eigentlichen Natur - wiederum in extremer Form dargestellt (54) - zutage.

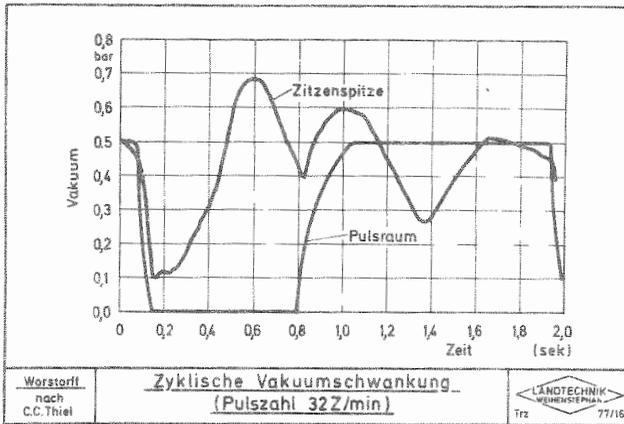


Abbildung 16

Das sich in Phase c des Pulszyklus schließende Zitzengummi unterbricht etwa ab halber Schließung den Milchfluß durch mechanisches Zusammen-drücken der Zitzenspitze und pumpt gleichzeitig die eben ermolkene Milch durch den kurzen Milchschauch in das ableitende System, sofern sich - wie oft gegeben - zu diesem Zeitpunkt noch Flüssigkeit im kurzen Milchschauch befindet. Der Milchpfropfen setzt dieser Beschleunigung neben Reibungskräften vor allem Massenkräfte entgegen, so daß die über die Pumpbewegung eingeleitete Energie nicht unmittelbar in kinetische Energie des Milchpfropfens überführt wird. Da die Summe aus kinetischer Energie und potentieller Energie (incl. Druckenergie) - sieht man einmal von den Strömungsverlusten ab - konstant ist (66), tritt vielmehr eine kurzfristige Energiespeicherung in Form eines deutlichen Druckanstiegs

(=Vakuumbabfalls) an der Zitze ein, wie er für pulsierende Entzugssysteme beim Übergang von der Saug- zur Entlastungsphase typisch ist. Hat die Milch dann ihre maximale Geschwindigkeit und damit ihre maximale Energie erreicht, so baut sie hinter sich aufgrund des abgeschlossenen Raumes im Melkzeug ein zusätzliches Vakuum auf, da ein Druckausgleich durch Nachströmen von Milch bei simultaner Pulsierung wegen der geschlossenen Zitzengummis nicht und bei alternierender Pulsierung nur unzureichend erfolgt. Durch den Aufbau dieses Zusatzvakuums wird der davoneilende Milchpfropfen von hinten abgebremst und dabei seine kinetische Energie solange abgebaut, bis er bei der maximalen Vakuumhöhe zum völligen Stillstand kommt. In Abbildung 16 wird dieser Maximalwert (hier ca. 69 kPa), in der Mitte der Entlastungsphase erreicht. Nun erfolgt eine Beschleunigung des Milchpfropfens in Gegenrichtung, d. h. in Richtung Zitzenspitze mit entsprechender Druckänderung. Beim parallel dazu ablaufenden Öffnen der Zitzengummis verstärkt die durch die Volumenvergrößerung verursachte Vakuumerrhöhung die Beschleunigung. Der Vorgang charakterisiert den Rückfluß bereits ermolkenener Milch (vgl. Kap. 2, 3), der entweder mit großer Masse und geringen Strömungsgeschwindigkeiten um 1 - 2 m/s oder als Spray mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 20 m/s die Zitzenkuppen direkt beaufschlagen kann und in seiner Bedeutung für das Mastitisgeschehen intensiv diskutiert wird.

Dieser Rückfluß - im dargestellten Beispiel als massiver Flüssigkeitsstrom - kommt erst zum Stehen, wenn das Melkvakuum in der Saugphase sein Minimum erreicht hat. Dann ist die Druckdifferenz zwischen beiden Enden der Milchsäule so groß geworden, daß sich die Flüssigkeit wieder vom Euter weg bewegt und dabei die gerade ermolkene Milch hinter sich hersaugt. Mit dem Übergang zur nächsten Entlastungsphase wiederholt sich der Zyklus in der dargestellten Weise.

In Abhängigkeit von Interferenz der einzelnen Schwingungsphasen kommt es dabei zu Abschwächung oder Verstärkung der Vakuumschwankungen in den Innenräumen der vier Zitzenbecher eines Melkzeuges, so daß an der

einzelnen Zitzenspitze eine Schwankung vorliegen kann, die derjenigen im Sammelstück in der Form gleicht, jedoch verstärkte Amplituden aufweist; teilweise kommt es aber auch bei vergleichbarer Grundform der Kurven zu pulsierungsbedingten Verschiebungen der Spitzen. Die Erscheinungen sind nachfolgend für simultane, alternierende und sequentielle Pulsierung graphisch veranschaulicht:

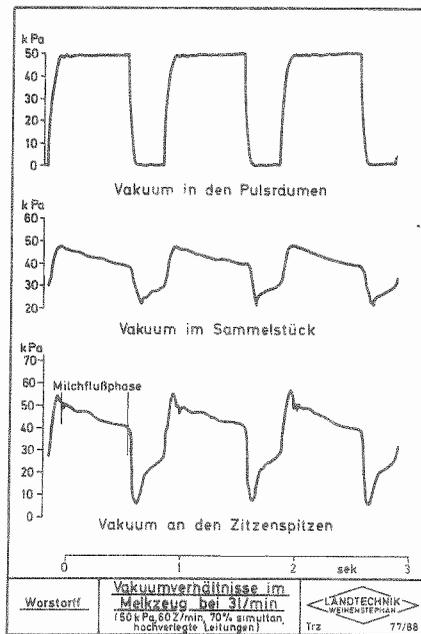


Abbildung 17

Bei der simultanen Pulsierung verlaufen alle Schwankungen synchron und kongruent im gesamten Melkzeug; die Milchflußphasen der einzelnen Zitzenbecher sind identisch. Die Gleichzeitigkeit der Abläufe mindert die Gefahr eines Flüssigkeitsaustausches zwischen den Vierteln, birgt jedoch das Risiko eines starken mechanischen Aufschaukelns und großer zyklischer Schwankungen an der Zitzenspitze in sich, insbeson-

dere wenn mit gleichen Längen für Saug- und Entlastungsphase und steilen Flankenwinkeln der Pulsierung gearbeitet wird.

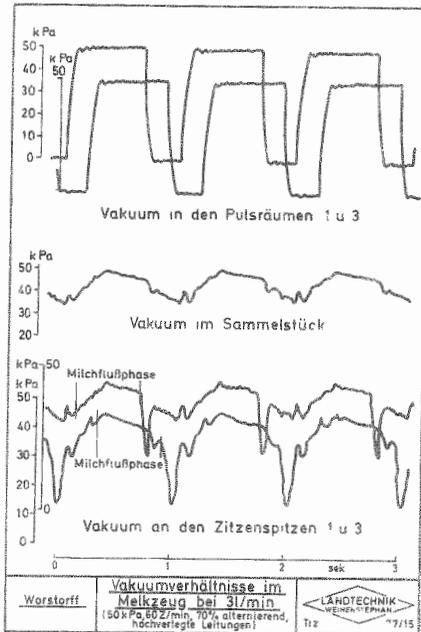


Abbildung 18

Bei der in Europa weit verbreiteten alternierenden Pulsierung steht aufgrund des dargestellten Zusammenspiels der beteiligten Kräfte einem überwiegend ansteigenden Vakuum in der ersten Milchflußphase ein abfallendes in der zweiten gegenüber, und die Druckminima sind phasenverschoben. Bei der derzeitigen inkonstanten Vakuumapplikation des praktischen Milchentzuges dürfte der Unterschied von einigen Kilopascal im Durchschnittsvakuum der Milchflußphase an den verschiedenen Vierteln ohne große Bedeutung für den Melkverlauf sein. Die Gefahr einer systematischen Bevorzugung bzw. Benachteiligung einer Melkzeugseite ist jedoch nicht auszuschließen, da pneumatische Pulsatoren immer mit der

gleichen Seite anlaufen, und das gleiche auch für einfache Oszillatorsysteme bei elektronisch gesteuerten Pulsatoren gilt. Die starke Druckdifferenz innerhalb Melkzeug veranschaulicht weiterhin, warum es insbesondere bei alternierender Pulsierung zu einem Flüssigkeitsaustausch zwischen den Vierteln kommen kann.

Die Kenntnis der Zusammenhänge und deren quantitative Erfassung ist eine wichtige Voraussetzung für die Auswahl der Meßpunkte und die Vergleichbarkeit der Resultate bei Laboruntersuchungen.

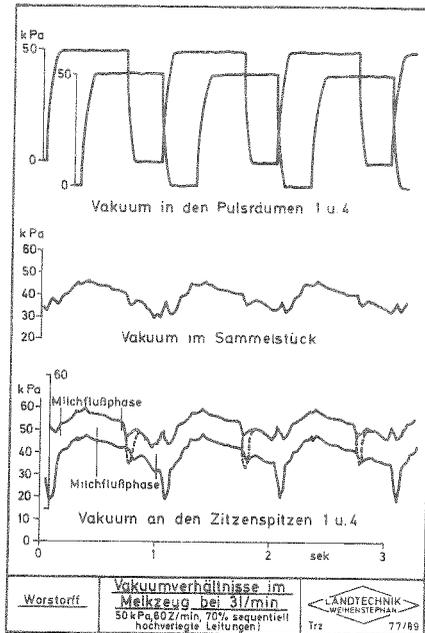


Abbildung 19

Bei der derzeit nur versuchsweise eingesetzten sequentiellen Pulsierung ist der Vakuumverlauf in Becher 1 deutlich von dem in Becher 4 unterschieden, wobei - analog zu den Hälften der alternierenden Pulsierung -

eine negative Abstufung der durchschnittlichen Vakuumböhe in den Milchflußphasen der einzelnen Viertel erfolgt.

Der Druckabfall beim Kollabieren des Zitzengummis ist in der Regel nicht für alle Viertel gleich stark, da die ersten mit der Milchflußphase einsetzen, während das milchableitende System noch fast leer ist, während die letzten in das teilweise gefüllte System abgeben müssen. Aufgrund von Interferenzerscheinungen kommt es jedoch periodisch auch zu den gestrichelt dargestellten peaks am ersten Viertel, auf die im Rahmen der Hauptversuche näher eingegangen wird.

Ein ungleicher Flüssigkeitsdurchsatz der Viertel bewirkt keine direkt aus dem Oszillogramm erfaßbare Abweichung vom dargestellten Verlauf und deutet auf die über Verschiebungen innerhalb Melkzeug dominierende Pulsierung in Verbindung mit dem totalen Flüssigkeitsdurchsatz.

Die zyklischen Schwankungen an der Zitzenspitze sind als einem Durchschnittsvakuum aufgelagerte sinusartige Schwankungen aufzufassen, d. h., daß Minderung der Amplitude und Erhöhung des Durchschnittsvakuums zwei grundsätzlich unterschiedliche Dinge sind und daher auch unterschiedliche Maßnahmen zur Stabilisierung erfordern : Eine Vergrößerung der Nennweite der kurzen Milchschräuche bewirkt ebenso wie die Schaffung eines Puffervolumens durch Vergrößerung des Sammelstückes eine Dämpfung der zyklischen Schwankungen, da ein besserer Druckausgleich erfolgen kann und die vorhandene Luft weicher auf Druck- und Volumenänderungen reagiert als ein Flüssigkeits-Luft-Gemisch. Das Durchschnittsvakuum wird in erster Linie geprägt vom Grad der Aufrechterhaltung der kinetischen Energie der abfließenden Milchpfropfen. Hierfür sind Puffervolumina eher nachteilig, da sie die kinetische Energie durch Austrittsverluste vermindern bzw. vernichten und eine erneute Beschleunigung erforderlich machen. Von entscheidender Bedeutung neben der Höhe der Melkleitung und dem Punkt der Milch-Luft-Trennung ist die strömungstechnische Abstimmung des gesamten milchableitenden Systems

unter besonderer Berücksichtigung der Nennweite des langen Milchschauches, da die Verluste infolge Wandreibung sich entsprechend $1/D^5$ verhalten.

In einem Versuch mit 125 Messungen unter Verwendung einer einheitlichen Nennweite der kurzen Milchschräuche von 8 mm gegenüber abgestuften Nennweiten des langen Milchschauches von 14, 16 und 19 mm bei hochverlegter Melkleitung über alle Pulsierungsarten und Flüssigkeitsdurchsätze zwischen 0 und 5 l/min konnten die Zusammenhänge grundsätzlich bestätigt werden : Das durchschnittliche Vakuum an der Zitzenspitze und im Sammelstück war mit Werten von 41, 35 bzw. 41, 46 kPa praktisch identisch, der Druckverlauf im Sammelstück war jedoch bei handelsüblichen kurzen Milchschräuchen vergleichsweise stark gedämpft. Das zeigte sich in einer wesentlich geringeren mittleren Streuung von 5, 18 für das Sammelstückvakuum gegenüber 9, 30 kPa für die Zitzenspitze. Der Unterschied war nach dem t-Test mit $p < 1\%$ hochsignifikant.

Da die Strömungsverhältnisse durch Mittelwert und Streuung des Vakuums an der Zitze ihren Ausdruck finden und hier zugleich der zentrale praktische Bezugspunkt der Bemühungen zur Stabilisierung liegt, wurden die Vakuumverhältnisse an der Zitzenspitze als entscheidendes Klassifikationskriterium des Hauptversuches eingesetzt und auf die Auswertung der Bedingungen im Sammelstück verzichtet.

Dagegen wurde es aufgrund der systembedingten Ungleichwertigkeit der Milchflußphasen bei alternierender und sequentieller Pulsierung erforderlich, die Milchflußphase zusätzlich zum 1. auch am 4. Viertel zu erfassen und mit Ausnahme der simultanen Pulsierung mit Mittelwert und Streuung auszuweisen.

Beim Einraumbecher verschwinden die zyklischen Schwankungen systembedingt völlig, da die Pulsierung als entscheidender Faktor fehlt, und die

Eigenschwingung allein nur einen marginalen Einfluß hat. Die grundlegenden Bedingungen für Strömungsverluste und hydrostatischen Druck lassen sich dagegen vom Zweiraumprinzip auf das Einraumprinzip übertragen.

Aufbauend auf den dargelegten Gesetzmäßigkeiten ergibt sich der Gesamtrahmen der Arbeit entsprechend den unter Kap. 3.2 aufgeführten Hauptvariablen in folgender hierarchischer Ordnung nach zu erwartender steigender Vakuumstabilität und Leitungshöhe :

Hochverlegte Melkleitung

hochverlegte Melkleitung mit separatem Abscheider

hochverlegte Melkleitung mit Sammelstück-Abscheider

tiefverlegte Melkleitung und

tiefverlegte Melkleitung mit Sammelstück-Abscheider.

4.2 Maschine mit periodischem Lufteinlaß

Eine interessante Variante zur Stabilisierung der Vakuumapplikation unter Beibehaltung des Zweiraum-Grundprinzips besteht darin, in der Entlastungsphase - also periodisch - kleine Mengen atmosphärischer Luft im Schauglasbereich einzulassen, um das beschriebene rückwärtige Abbremsen des wegströmenden Milchpfropfens auszuschalten. Mit diesem Konzept läßt sich in Verbindung mit einem kleinvolumigen Spezialsammelstück ohne Lufteinlaß - trotz rhythmisch-stoßweiser Milchabgabe aus dem Strichkanal - ein annähernd gleichförmiger Abtransport verwirklichen, wobei die abfließende Säule nun zyklisch abwechselnd einmal weitgehend aus Milch und einmal weitgehend aus Luft besteht. Insbesondere bei diesem Verfahren kann durch exakte Abstimmung von Lufteinlaß und Schlauchquerschnitten die kinetische Energie der strömenden Milchpfropfen sehr gut zur Vakuumstützung in der Saugphase genutzt werden, wobei sich die Wirkung mit zunehmendem Milchfluß verstärkt. Typische Verhältnisse sind in Abbildung 20 im Vergleich zu einer Standardmaschine bei

3 Liter Flüssigkeitsdurchsatz pro Minute veranschaulicht.

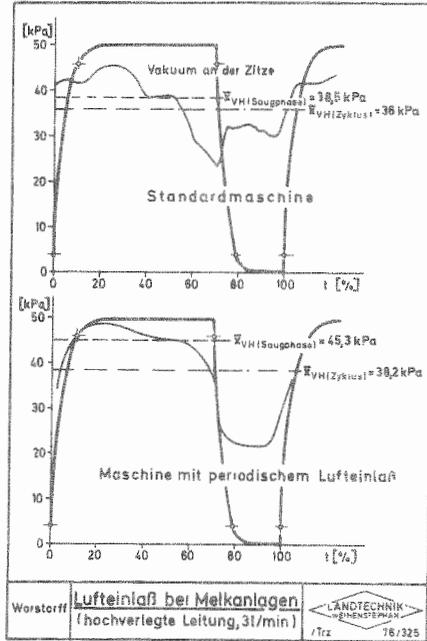


Abbildung 20

Im oberen Teil ist im Koordinatensystem (Druck gegen Zeit) eine Pulskurve mit 70 % Saugtaktanteil, darin die bekannte Form einer zyklischen Schwankung unter der Zitze - aufgenommen mit dem Kanülnengeber bei alternierender Pulsierung - dargestellt. Die durchschnittliche Vakuumhöhe ist nicht nur auf den Gesamtzyklus bezogen, sondern zusätzlich auf die Saugphase und damit auf den Bereich, der für die Geschwindigkeit der Milchabgabe entscheidend ist. Die zugehörigen Werte betragen 38,5 und 36 kPa. Darunter befindet sich eine Vergleichskurve für die Maschine mit periodischem Lufteinlaß. Es wird deutlich, daß das zitzenendige Vakuum einen der Pulskurve ähnlichen Verlauf zeigt: In der Saugphase ist es verhältnismäßig stabil mit einem \bar{x} von 45,3 kPa auf dem für Anlagen

mit tiefverlegter Melkleitung typischen Niveau. In der Entlastungsphase dagegen wird das Vakuum durch den Lufteinlaß abgesenkt. Hier ergibt sich also eine Periode mit geringerer Vakuumbelastung an der Zitzen- spitze, allerdings auch geringerem Massagedruck, dessen Höhe jedoch absolut immer noch mit einer normalen Maschine vergleichbar ist. Das dargestellte Druckschema wird nur mit an der Zitzenbasis sicher abdich- tenden Spezial-Zitzengummi (Silicon) erreicht.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden folgende Alternativen für hoch- und tiefverlegte Melkleitung bei Flüssigkeitsdurchsätzen zwischen 0 und 5 l/min überprüft:

- Langer Milchschauch mit den Nennweiten 8, 9, 10, 11 und 12 mm
- Luftdüsen im Zitzenbecher mit den Nennweiten 0,8, 1,0, 1,1 und 1,2 mm
- Sammelstück "Standard" im Vergleich zu einem Y-Stück und einem speziell entwickelten strömungsmechanisch günstig ausgeformten Sam- melstück mit Hälftenableitung bis zum Anschlußhahn auf der Melklei- tung.

Systematische Messungen zeigten, daß es beim periodischen Lufteinlaß zweckmäßig ist, nicht mit einem langen Milchschauch zu arbeiten, son- dern zwei getrennte zu verwenden. Dadurch wird die kinetische Energie des abfließenden Milchpfropfens besser ausgenutzt, und vor allem ist auch bei alternierender Pulsierung keine Überlagerung der Phasen mehr gegeben (wichtig für das Umrüsten vorhandener Anlagen).

Die Untersuchungen ergaben ein deutliches vakuumtechnisches Optimum bei folgender Kombination :

- Lange Milchschräuche mit NW 12 mm
- Luftdüsen mit NW 1,2 mm
- Spezialsammelstück

Die Ergebnisse sind nachfolgend im Vergleich zu einer Standard-Rohr- melkanlage bei hoch- bzw. tiefverlegter Melkleitung ausgewiesen

Tabelle 6

Vakuumverhältnisse an der Zitze während der Milchflußphase bei verschiedenen Melk-
systemen mit hochverlegter Melkleitung (50 kPa, 60 Z/min, 70 %)

Flüssigkeits- durchsatz	Standard - Melkanlage						Periodischer Lufteinlaß		
	simultane Pulsierung			alternierende Pulsierung			\bar{x}	min (kPa)	max
(l/min)	\bar{x}	min (kPa)	max	\bar{x}	min (kPa)	max			
0	50,5	49,5	54,0	48,2	47,0	50,0	50,0	49,5	50,0
1	49,7	43,0	60,0	44,2	41,2	48,5	49,4	49,0	50,0
2	46,7	43,0	59,0	42,7	41,0	48,0	48,9	47,5	50,0
3	46,7	42,5	55,5	40,5	36,5	45,0	46,1	44,0	48,5
4	43,4	38,0	51,0	38,5	31,0	42,5	46,1	44,0	48,0
5	41,2	37,0	45,0	37,0	27,0	50,5	43,2	40,0	46,5

Tabelle 7

Vakuumverhältnisse an der Zitze während der Milchflußphase bei verschiedenen Melksystemen (tiefverlegte Melkleitung, 50 kPa, 60 Z/min, 70 %)

Flüssigkeits- durchsatz	Standard - Melkanlage						Periodischer Lufteinlaß		
	simultane Pulsierung			alternierende Pulsierung			\bar{x}	min (kPa)	max
(l/min)	\bar{x}	min (kPa)	max	\bar{x}	min (kPa)	max			
0	55,6	54,0	56,0	49,9	48,5	51,0	49,8	49,5	50,0
1	56,3	53,0	63,0	48,0	45,0	50,5	49,8	49,0	50,0
2	54,6	50,0	67,0	46,9	39,0	50,5	49,4	48,0	50,0
3	54,6	49,0	67,0	45,6	41,5	50,5	49,2	47,5	50,0
4	54,5	51,0	66,5	44,4	44,0	48,0	48,1	46,0	50,0
5	54,3	49,0	66,0	43,4	40,0	48,0	46,4	45,0	50,5

Beiden vorstehenden Tabellen liegt das Durchschnittsvakuum in der Milchflußphase - eine wesentliche Größe für die Geschwindigkeit der Milchabgabe - als zentrales Beurteilungskriterium zugrunde. Eine Unterteilung in simultane und alternierende Pulsierung erfolgte nur bei der Standard-Melkanlage, nicht aber bei der mit periodischem Lufteinlaß, da durch die Seitenunterteilung im Sammelstück der Maschine in Verbindung mit getrennter Ableitung unabhängig von der Pulsierungsart die angegebenen Werte (aufgenommen bei simultaner Pulsierung) erreicht werden.

Bei hochverlegter Melkleitung weist die Maschine mit periodischem Lufteinlaß bei mittleren und höheren Flüssigkeitsdurchsätzen ein Vakuumniveau in der Milchflußphase auf, das die für eine herkömmliche Melkanlage mit tiefverlegter Melkleitung bekannten Werte aufweist. Die Überlegenheit gegenüber einem kontinuierlichen Lufteinlaß wird besonders beim Vergleich mit alternierender Pulsierung deutlich.

Bei Anlagen mit tiefverlegter Melkleitung kommt eine positive Wirkung des periodischen Lufteinlasses auf die durchschnittliche Vakuumhöhe am Euter praktisch nicht mehr heraus. Wesentlich erscheint jedoch, daß das gute Durchschnittsvakuum grundsätzlich ohne Perioden in dem Bereich weit über Nennvakuumhöhe - unerwünscht hinsichtlich des Transportes von Mikroorganismen (Rückspray) und aus hämodynamischen Gründen - erreicht wird. Eine handelsübliche Melkanlage mit den entsprechenden Querschnitten der Schläuche erzielt vergleichsweise hohe Durchschnittswerte des Betriebsvakuums in der Milchflußphase insbesondere bei simultaner Pulsierung dadurch, daß bei hochverlegter Melkleitung in gewissem Maße, bei tiefverlegter in bedenklichem Umfang, Vakuumwerte erreicht werden können, die die Nennhöhe weit überschreiten. Der periodische Lufteinlaß verhindert das Auftreten extremer Vakuumhöhen prinzipbedingt und erreicht durch Ausnutzen der kinetischen Energie der abfließenden Milch trotzdem sehr gute durchschnittliche Vakuumverhältnisse an der Zitze.

4.3 Einrohrmelkanlage

Die Einrohrmelkanlage weist keine separate Vakuumleitung auf, sondern bezieht das Vakuum für die Pulsierung ebenfalls aus der Melkleitung; es wird für den mit dem Sammelstück verbundenen Pulsator aus dem Sammelstückklumen abgegriffen, Prinzipbedingt sind also Melk- und Pulsvakuum im Gegensatz zu einer konventionellen Zweirohrmelkanlage identisch. Die gesamte Pulsluft wird in das Sammelstück abgesaugt und zum Milchtransport herangezogen, so daß das Sammelstück ohne eigenen Luft-einlaß auskommt. Nun müssen jedoch anstelle der üblichen 5 - 8 l/min atmosphärischer Luft mindestens 20 abtransportiert werden (Leckluft unberücksichtigt). Das zieht zwangsläufig bei gleichen Querschnitten einen stärkeren Vakuumabfall in der Melkleitung nach sich (26) und hat damit auch Auswirkungen auf die Versorgung der angeschlossenen Melk-einheiten.

Abbildung 21 zeigt den typischen Vakuumverlauf im Melkzeug einer Einrohrmelkanlage, gemessen mit der in Kapitel 3.1 beschriebenen Versuchseinrichtung.

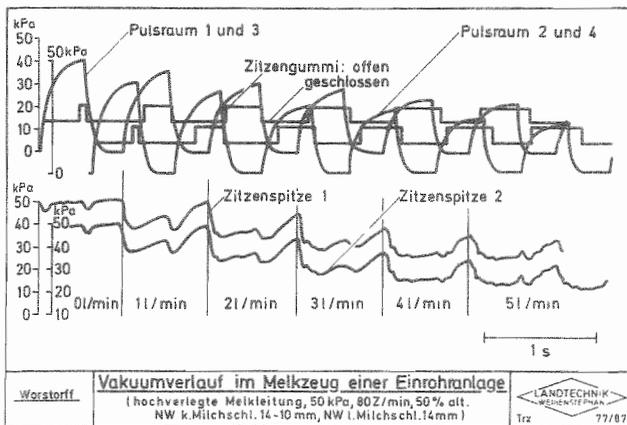


Abbildung 21

Das Pulsvakuum in der Milchflußphase liegt etwa gleich mit dem zitzen-
endigen Vakuum; eine nennenswerte Deformation oder Vorspannung der
Zitzengummiwand kann also nicht auftreten. Das Vakuum im Pulsraum
ist abhängig von den Strömungsvorgängen im Melkzeug und bewirkt eine
unterschiedliche Ausprägung der Pulskurve in den einzelnen Zyklen : Bei
steigendem Flüssigkeitsdurchsatz findet wegen der sinkenden Vakuumhö-
he eine geringfügige Verlangsamung der Pulszahl und aufgrund der geän-
derten Druckwechselzeiten eine Wandlung der Kurvenform von sägezahn-
artig zu rechteckähnlich statt. Die Pulsierung mit ca. 80 Z/min sorgt
für schnelle Milchabgabe, macht jedoch in Verbindung mit den Differenz-
druckverhältnissen durch die Zitzengummiwand eine hohe Rückstellkraft
des Gummis erforderlich. Einwandfreies Öffnen und Schließen wurde mit
einem Einfaltdruck von 20 kPa erreicht, während ein weicherer Gummi
mit 10 kPa Einfaltdruck eine mehr als halboffene Position nur bei hohen
Milchflußraten erreichte und ansonsten in mehr als halb geschlossenem
Zustand pulsierte.

Der Vakuumverlauf an der Zitze ist aufgrund der Gesamtkonzeption -
speziell wegen des Absaugens der Pulsluft durch die milchableitenden
Wege - nicht mit dem einer Zweirohrmelkanlage identisch :

- Das Öffnen des Zitzengummis ist nicht mit einem plötzlichen rückfluß-
induzierenden Vakuumanstieg verbunden, und Werte über Nennhöhe
werden auch als Schwankungsspitze nicht erreicht.
- Das Vakuum in der Milchflußphase ist auf einem vergleichsweise nie-
drigen Niveau.
- Die zyklische Schwankung hat die Form einer gedämpften sinusähn-
lichen Schwingung und weist eine verhältnismäßig geringe Bandbreite
auf. Das hängt damit zusammen, daß kein ballooning, d.h. "Aufreis-
sen" des Gummis stattfindet und das Milch-Luft-Gemisch aufgrund
des hohen Luftanteils elastisch auf Druckänderungen reagiert.

Im praktischen Einsatz gibt die Einrohrmelkanlage keinen besonderen Anlaß zu Klagen über zu langsames Melken oder anormale Probleme mit dem Abfallen von Melkzeugen. Das deutet darauf hin, daß die Auswirkungen des vergleichsweise niedrigen Vakuums in der Milchflußphase durch die alternierende Pulsierung in Verbindung mit dem schnellen Zykluswechsel durch die Pulszahl von ca. 80 Z/min beherrscht werden können. Auf der anderen Seite wäre es zumindest strömungsmechanisch, wahrscheinlich aber auch praktisch interessant, das Vakuum in der Milchflußphase bei hohen Flüssigkeitsdurchsätzen etwas zu erhöhen. Das gilt insbesondere für Maschinen mit hochverlegter Melkleitung.

Aus diesem Grund wurden Versuche mit verschiedenen Sammelstücken, Pulsierungen und Schlauchquerschnitten gefahren, um - etwa analog zur Maschine mit periodischem Lufteinlaß - die kinetische Energie des abfließenden Milchpfropfens zur Stützung des Vakuums heranzuziehen. Dabei wurde bewußt das für die Einrohrmelkanlage charakteristische Grundprinzip einer einheitlichen Vakuumversorgung von Sammelstück und Pulssystem nicht verlassen, wie es z. B. durch Anschluß des Pulsators an die Melkleitung möglich wäre. Dieses Vorgehen würde zwar die vakuumtechnischen Probleme des Transportes vergleichsweise hoher Luftmengen in der Melkeinheit lösen helfen, sich das jedoch durch die typischen zyklischen Schwankungen einer traditionellen Zweirohrmelkanlage erkaufen und damit die Unterschiede zwischen den beiden Maschinentypen verwischen.

Die Versuche ergaben, daß durch strömungstechnisch günstige Ausformung des Sammelstückes bei verschiedenen Volumina und Pulsierungen nur marginale Effekte zu erzielen sind, die eine Änderung der Maschine nicht rechtfertigen würden. Die entscheidende Frage liegt im Transport eines Fluids mit hohem Luftanteil bei minimalem Druckabfall, ein Problem, das eng mit der Nennweite der Transportwege zusammenhängt.

Ein Ansatz zur Verbesserung der Vakuumapplikation bestünde daher - mit dem Ziel einer Parallelverschiebung des zitierten Vakuums bei nicht

prinzipiell geänderten Kurvenverlauf - darin, nur einen Teil der Pulsluft über den langen Milchschauch abzuführen. Mit diesem, konstruktionstechnisch nicht leicht zu verwirklichendem Prinzip, ließe sich gleichzeitig eine schonendere Milchbehandlung in der Melkeinheit erzielen. Letztere Frage gewinnt jedoch erst dann an Bedeutung, wenn man nicht nur einen Gehalt an freien Fettsäuren in der Milch unterhalb eines vergleichsweise leicht einzuhaltenden Schwellenwertes verlangt, sondern die Toleranzen einengt.

Insgesamt erscheint das Prinzip der Vakuumapplikation in der Einrohrmelkanlage außerordentlich interessant hinsichtlich der Verminderung des Übertragungsrisikos für euterpathogene Mikroorganismen. Gleichzeitig wird eine einfache Form der Milchflußsteuerung erreicht, da die Länge der Milchflußphase in einem weiten Bereich vom Milchfluß über die Vakuumhöhe bestimmt wird.

5. ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER HAUPTVERSUCHE

Um trotz der sehr großen Anzahl von Einzelmessungen eine übersichtliche Darstellung zu ermöglichen, werden die Hauptversuche untergliedert in

- hochverlegte Melkleitung
- hochverlegte Melkleitung und separater Abscheider
hochverlegte Melkleitung und Abscheider-Sammelstück
- tiefverlegte Melkleitung und
tiefverlegte Melkleitung und Abscheider-Sammelstück

dargestellt. Dieses Vorgehen bedingt zwangsläufig gewisse Wiederholungen, ermöglicht jedoch eine umfassende Darstellung der einzelnen Melkverfahren. Das erschien wichtig, da in der Praxis nur selten Alternativen beim einzusetzenden System bestehen (besonders in der Frage hoch- oder tiefverlegte Melkleitung), und es daher mehr auf spezifische Kenntnisse der optimalen Systemgestaltung ankommt als auf einen ständigen Verfahrensvergleich.

Innerhalb Anlagentyp wird jeweils zunächst auf den allgemeinen Druckverlauf im Melkzeug eingegangen, und darauf aufbauend erfolgt eine Beurteilung der Möglichkeiten und Grenzen einer Vakuumstabilisierung. Für die Maschinen ohne Abscheider basiert diese auf einer Gesamtbewertung aller geprüften Faktoren. Die Systemwahl erfolgte, da beiden Verfahren eine große praktische Bedeutung beizumessen ist, und die einzelnen Nebenvariablen vergleichsweise gut zur Auswirkung kommen. Ein Abscheider dagegen maskiert gewisse Einflüsse, wie den des hydrostatischen Druckes im langen Mulchschlauch und ist daher für eine Analyse der Nebenvariablen ungeeignet.

Weiterhin wurde bewusst darauf verzichtet, alle Versuchsvarianten gegeneinander zu testen, da man neben einer extremen Erhöhung der Versuchszahl oft in praktisch irrelevante Bereiche käme. Das gilt z. B. für hohe Flüssigkeitsdurchsätze bei geringem Saugtaktanteil und niedrigem Betriebs-

vakuum - eine Kombination, die ausschließlich als Nachmelkstufe einer milchflußgesteuerten Maschine bei entsprechend niedrigem Milchfluß realistisch ist - oder für ein Abscheider-Sammelstück, das generell gute Voraussetzungen für eine Vakuumstabilisierung aufweist.

Das Aufzeigen der zur Stabilisierung erforderlichen Schritte führt vor diesem Hintergrund weiter als eine Aneinanderreihung der verschiedensten, im Resultat unbefriedigenden Kombinationen. Wegen der strömungsmechanischen Verknüpfung mit den Verhältnissen bei hochverlegter Melkleitung erfolgt aus den genannten Gründen eine Betrachtung der Faktoren bei den anderen Anlagentypen nur in dem Umfang, wie zusätzliche allgemeine oder systemspezifische Abhängigkeiten dadurch geklärt werden können.

Bevor jedoch auf die einzelnen Melkanlagen im Detail eingegangen wird, sei ein kurzer Überblick über die Mittelwerte und Spannweite des Durchschnittsvakuums im Melkzeug der verschiedenen Systeme unter Einschluß der geprüften Melkzeugkonstruktionen und Pulsierungen gegeben. Der Vergleich bezieht sich auf 50 kPa Nennvakuum; Zielgrößen sind das Durchschnittsvakuum in der Milchflußphase und das Durchschnittsvakuum im Pulszyklus gemittelt über Flüssigkeitsdurchsätze von 0 - 5 l/min :

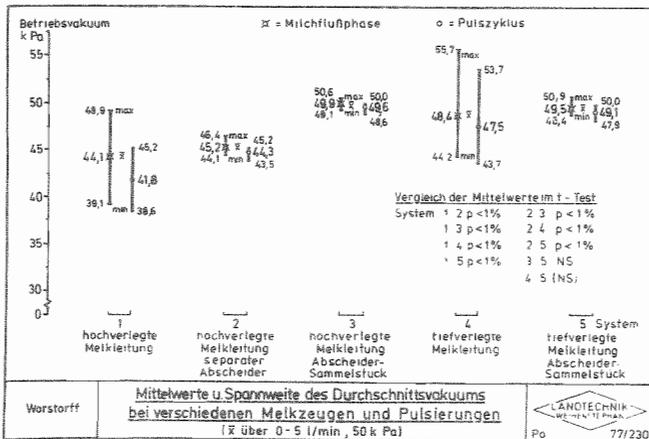


Abbildung 22

Abbildung 22 vermittelt einen Eindruck von der Einordnung der Systeme und veranschaulicht, daß größere Unterschiede in den Vakuumverhältnissen auftreten. Damit sind die Grundvoraussetzungen für eine Verbesserung der Vakuumapplikation incl. einer systematischen Analyse der Zusammenhänge gegeben und der Gesamtrahmen aufgezeigt. Die Spannweite der Systeme nimmt in folgender Reihenfolge ab: 4, 1, 2, 3 und 5, wobei die Unterschiede in der Milchflußphase deutlicher hervortreten als im Pulszyklus. Ursächlich dafür wirken insbesondere der Grad der Aufrechterhaltung der Bewegungsenergie der abfließenden Milch, der hydrostatische Druck der Milchsäule im langen Milchschauch und die Trennung von Milch und Luft. Auf die Zusammenhänge wird detailliert in den einzelnen Kapiteln eingegangen.

5.1 Hochverlegte Melkleitung

5.1.1 Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug

Abbildung 23 zeigt in ausgeprägter Form den Druckverlauf im Melkzeug bei hochverlegter Leitung, simultaner Pulsierung und mandelsüblichen Schlauchquerschnitten. Der Flüssigkeitsdurchsatz wurde von 1 - 5 l/min gesteigert. Der besseren Übersicht halber sind lediglich je ein Meßpunkt für Pulsierung, Vakuum im Sammelstück und Vakuum an der Zitzenspitze aufgezeichnet, der Kurvenverlauf ist jedoch systembedingt in jedem Zitzenbecher identisch,

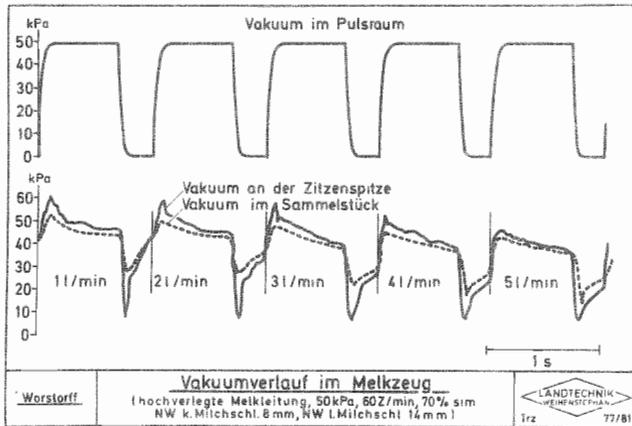


Abbildung 23

Alle Schwankungen verlaufen parallel mit der Pulsierung und sind an der Zitzenspitze naturgemäß stärker ausgeprägt als im Sammelstück. Die extremen zyklischen Schwankungen resultieren teilweise aus der rechteckähnlichen Pulsierung, in Verbindung mit einem Lufteinlaß von 5 l/min ohne zusätzliche Leckluft, Bedingungen, die jedoch im Regelfall zugrunde gelegt wurden, um so die strömungsmechanisch am schwierigsten zu beherrschenden Verhältnisse zu schaffen und den Resultaten eine gewisse praktische Sicherheitsmarge hinsichtlich der Stabilität zu verleihen, wenn unter sonst gleichen Verhältnissen mit praxisüblichem Flankenwinkel gearbeitet wird. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß aufgrund der verbreiteten unregelmäßigen und zyklischen Vakuumschwankungen im Einsatz befindlicher Melkanlagen zeitweise eine starke Druckdifferenz durch die Zitzengummiwand besteht und daher - auch bei weichem Verlauf der Pulskurve - die Bewegung des Zitzengummis in der Regel sprunghaft erfolgt. Die gewählten verschärften Bedingungen im Labor führen daher zu durchaus nicht unrealistischen Resultaten.

Der in Kapitel 4.1 eingehend dargestellte grundsätzliche Druckverlauf wird deutlich : Bei geringen Flüssigkeitsdurchsätzen ist die zyklische

Schwankung nur wenig gedämpft und zeigt sowohl nach unten als auch nach oben nadelartige Spitzen. Dabei kann regelmäßig die Nennvakuumhöhe überschritten werden. Das geschieht insbesondere dann, wenn durch schnelles Kollabieren des Zitzengummis, ggf. noch unterstützt durch kurzfristig eindringende Leckluft, eine große Beschleunigung der abfließenden Milchpfropfen bewirkt wurde und ein rückwärtiges Abbremsen sowie geringfügig später das Öffnen des Zitzengummis zum neuen Zyklus erfolgt.

Mit zunehmendem Flüssigkeitsdurchsatz tritt eine deutliche Dämpfung dieser Spitzen ein, wobei nur im oberen Bereich die Amplitude gemindert, im unteren jedoch vorwiegend die Dauer des Niedrigvakuum ausgedehnt wird. Die Verhältnisse lassen sich durch die zunehmende Füllung des milchableitenden Systems erklären, die einen überlappungsfreien Ablauf der einzelnen Flüssigkeitspfropfen nicht mehr gewährleistet und die Schwingungsvorgänge puffert. Die Vakuumminima werden bei diesem Prozeß durch partielle Blockierung der Vakuumzufuhr ausgedehnt.

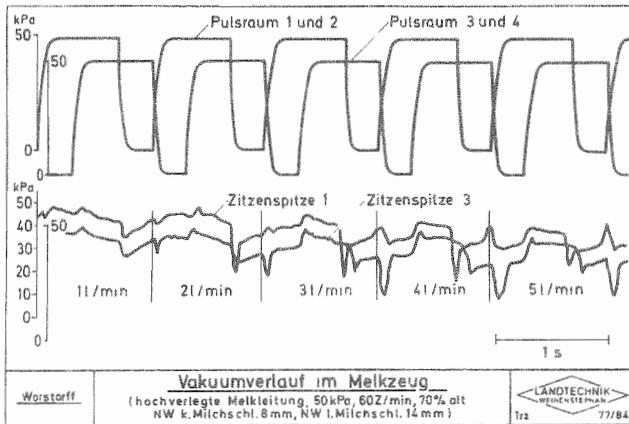


Abbildung 24

Bei der alternierenden Pulsierung wurde - wie auch bei der sequentiellen - auf die Darstellung des Vakuums im Sammelstück verzichtet, da es im Grundverlauf den zyklischen Schwankungen an der Zitzenspitze folgt

und sich lediglich durch die gedämpfte Form, insbesondere den Fortfall extremer Spitzen unterscheidet. Diese treten unter der Zitze deutlich immer dann auf, wenn das Zitzengummi kollabiert, wobei Flüssigkeitsdurchsatz und Überlagerungen über den Grad der Ausprägung unterscheiden. Mit zunehmender Füllung des milchableitenden Systems haben diese Spitzen einen steileren Flankenwinkel auf der Melkzeugseite, die zuerst mit dem Milchfluß einsetzt, während die Parallelseite aufgrund des höheren Füllgrades eine gewisse Dämpfung erfährt.

Spitzen zum höheren Vakuum, die aus Gründen der Übertragung eutero-pathogener Mikroorganismen als gefährlich anzusehen sind, werden bei alternierender Pulsierung seltener beobachtet als bei simultaner, da die abfließenden Flüssigkeitspfropfen sich überlagern, und damit die beteiligten Kräfte phasenverschoben wirksam werden. In Abhängigkeit von diesen Vorgängen tritt das maximale Vakuum unterhalb der Zitzenspitze in der Regel kurz vor dem Öffnen des zweiten Zitzenbecherpaares auf.

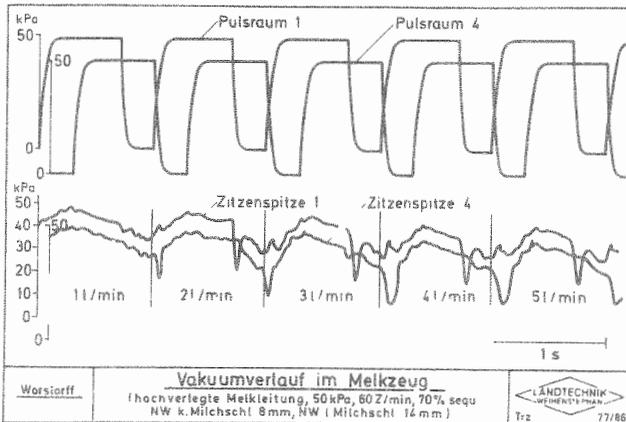


Abbildung 25

Die sequentielle Pulsierung zeigt die gleichen Grundzüge wie die alternierende, wobei jedoch anstelle der abwechselnd arbeitenden Melkzeugseiten individuell angesteuerte Zitzenbecher treten. Aufgrund der Puls-

folge der Viertel kommt es zu ausgeprägten systematischen Unterschieden im Flankenwinkel der Spitzen und infolge der individuellen Ansteuerung zu einer gewissen Unabhängigkeit der einzelnen Viertel vom Gesamt-Druckverlauf im Melkzeug. Diese findet ihren Ausdruck in bereits bei geringen Flüssigkeitsdurchsätzen sporadisch auftretenden überlagerungsbedingten Nadelimpulsen.

Im dargestellten Beispiel stellen die Viertel 1 und 4 die Extreme dar. In Abhängigkeit von der Phasenverschiebung der einzelnen Pulszyklen sowie der Länge der Saugphase sind auch andere Rangfolgen denkbar, die sich jedoch nicht grundsätzlich voneinander unterscheiden und daher nicht herausgearbeitet werden.

5.1.2 Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung unter besonderer Berücksichtigung der technischen Einflußfaktoren

Abbildung 26 vermittelt eine Übersicht über Mittelwerte und Spannweite des Durchschnittsvakuums im Melkzeug bei hochverlegten Leitungen und 50 kPa Nennvakuum. Die angegebenen Minima und Maxima sind ein Maß für die durch Melkzeugkonstruktion und Pulsierung erreichbare Bandbreite innerhalb System .

Mit dieser summarischen Art der Darstellung, die analog bei den weiteren Melksystemen wiederkehrt, sollen die allen Varianten gemeinsamen Grundzüge aufgezeigt werden, bevor eine Zerlegung dieses Faktorenbündels in Einzelgrößen mit der zugehörigen Wertung erfolgt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit liegen der Darstellung nur die Nebenvariablen zugrunde, die über den gesamten Durchsatzbereich gefahren wurden, d. h. mit Ausnahme der "Schonstufen" milchflußgesteuerter Maschinen. Als Bezugsgrößen dienten jeweils das Durchschnittsvakuum in der Milchflußphase und im Pulszyklus.

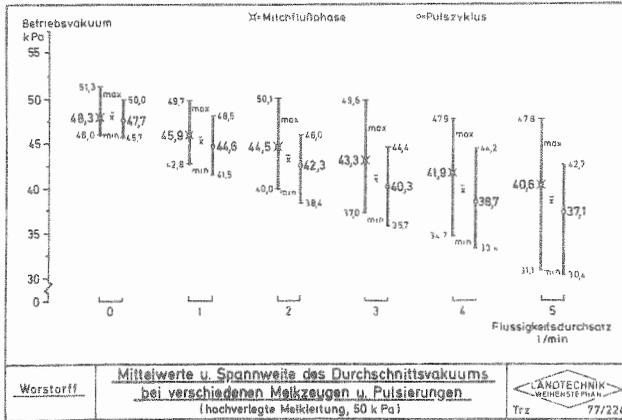


Abbildung 26

Über den Pulszyklus betrachtet, zeigt sich ein annähernd geradliniger Abfall des Vakuums bei steigendem Flüssigkeitsdurchsatz. Die aufgezeigte Tendenz - statistisch hochsignifikant im t-Test zwischen den Mittelwerten - ist bei den Minima stärker ausgeprägt als bei den Maxima und äußert sich in zunehmender Bandbreite: Strömungsmechanisch ungünstige Lösungen treten naturgemäß bei hohen Flüssigkeitsbelastungen mehr hervor, während andererseits technisch hervorragende Alternativen vom Durchsatz weitgehend unabhängig sind.

Dieser Zusammenhang wird bei Betrachtung der zugehörigen Bedingungen in der Milchflußphase noch deutlicher: Die Maxima verbleiben annähernd auf Nennhöhe, während die Minima einen ausgeprägten Abfall zeigen. Hier ist jedoch zu beachten, daß die guten Durchschnittswerte teilweise dadurch erreicht werden, daß das Vakuum periodisch die Nennhöhe übersteigt; ein Vorgang, der aus technischen und hygienischen Gründen höchst unerwünscht ist. Durch die periodische Überschreitung der Nennhöhe erklärt sich auch die größere Spannweite der Werte für die Milchflußphase, verglichen mit dem Pulszyklus, dessen Mittelwert durch die Addition von

Saug- und Entlastungsphase eine gewisse Dämpfung erfährt. Die Mittelwerte der Milchflußphase sind - wie auch die von Milchflußphase und Pulszyklus innerhalb Flüssigkeitsdurchsatz - ebenfalls nach dem t-Test hochsignifikant voneinander unterschieden.

Insgesamt wird deutlich, daß bei höheren Flüssigkeitsdurchsätzen allein durch den Einfluß der Melkeinheit mit einem durchschnittlichen Betriebsvakuum von etwa 20 %, im Extremfall 40 %, unterhalb der Nennhöhe gemolken wird, und daß deutliche Ansatzmöglichkeiten zur Verbesserung gegeben sind. Die volle dargestellte Spannweite ist jedoch dafür nicht nutzbar, da beim Melken ein Überschreiten des Nennvakuums nicht auftreten sollte. In der Praxis sind die Unterschiede zwischen guten und schlechten Lösungen sicher genauso ausgeprägt, jedoch bei periodisch nach unten parallelverschobenen Werten, da ein stabiles Leitungsvakuum zwar technisch erreichbar, in den Betrieben jedoch durch unzureichende Auslegung oder Wartungsmängel selten vorzufinden ist. Die Spannweite verschiebt sich dadurch um die langsamen unregelmäßigen Schwankungen.

Nachdem der Gesamtrahmen für die Vakuumstabilisierung aufgezeigt ist, sollen nun die Einflüsse der einzelnen Nebenvariablen nacheinander analysiert werden. Bezugsgrößen sind jeweils das durchschnittliche Vakuum in der Milchflußphase, das durchschnittliche Vakuum im Pulszyklus und die mittlere zyklische Vakuumschwankung bei Flüssigkeitsdurchsätzen zwischen 0 und 5 l/min und - wenn nicht anders angegeben - 50 kPa Nennvakuum.

Die verhältnismäßig geringen, in der Regel jedoch bereits bei Unterschieden von unter 1 kPa statistisch signifikanten Differenzen sollten nicht von vornherein zur Aussage verleiten, daß durch Auswahl der einzelnen Nebenvariablen praktisch kein Effekt mehr zu erzielen ist. Vielmehr gilt es, durch geeignete Kombination der Nebenvariablen die marginalen Effekte zu addieren, um so die Reserven durch strömungsmechanisch günstige Konstruktion auszuschöpfen und die Vakuumapplikation unserer Melkanlagen

zu verbessern. Dabei ist zu berücksichtigen, daß vorschriftsmäßig installierte und gewartete Anlagen nicht am unteren Ende der Streuung, sondern etwa in der Mitte einzuordnen sein dürften.

Nennweite der kurzen Milchschräuche

Tabelle 8 gibt eine Zusammenfassung des Einflusses gestaffelter Nennweite der kurzen Milchschräuche:

Tabelle 8 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von der Nennweite der kurzen Milchschräuche

NW kurzer Milchschräuch	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
mm	kPa	min	max	kPa	min	max
8	45,6	33,7	54,5	41,8	13,6	54,1
10	44,8	32,4	52,7	42,3	19,8	52,5
12	44,9	33,6	52,9	42,3	23,7	52,8
14	44,5	32,9	52,2	42,0	24,6	52,1

Der Durchmesser der kurzen Milchschräuche hatte bei Kombination mit langen Milchschräuchen der Nennweiten 14, 16 und 19 mm keinen signifikanten Einfluß auf die durchschnittliche Vakuumhöhe am Euter.

Die Breite der zyklischen Vakuumschwankungen im Pulszyklus ist naturgemäß größer als die in der Milchflußphase, da der stärkste Vakuumabfall immer beim Kollabieren des Sitzengummis eintritt. Die Schwankungsbreite im Pulszyklus nimmt mit zunehmender Nennweite der kurzen Milchschräuche deutlich ab. Das ist im wesentlichen auf eine Erhöhung der Minima ($p < 1\%$) und nicht auf eine Veränderung der Maxima zurückzuführen und zeigt die dämpfende Wirkung eines größeren Puffervolumens der kurzen Milchschräuche auf die Druckwelle beim Kollabieren des Sitzengum-

mis. Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei geringer Nennweite bildet sich nämlich bei großvolumigen kurzen Milchschräuchen nur noch selten ein Pfropfen aus, der den Druckausgleich zwischen Sammelstück und Zit-zengummi-Innenraum zeitweise behindert. Auf der anderen Seite führt das zu einer geringeren Beschleunigung der abfließenden Milch durch den Zit-zengummi, die ihren Ausdruck in geringfügig abnehmender durchschnittli-cher Vakuumhöhe in der Milchflußphase findet.

Nennweite des langen Milchschräuches

Der Einfluß des Durchmessers des langen Milchschräuches auf das Vakuum im Melkzeug geht aus der folgenden Tabelle hervor :

Tabelle 9 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von der Nennweite des langen Milchschräuches

NW langer Milchschräuch	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
mm	kPa	min	max	kPa	min	max
14	43,8	30,9	53,1	39,9	18,4	53,2
16	45,4	34,3	53,2	42,6	21,1	53,0
19	45,7	34,3	52,9	43,7	21,9	52,8

Die Erhöhung der Nennweite des langen Milchschräuches von 14 auf 16 mm führte bei Kombination mit kurzen Milchschräuchen der Nennweiten 8 bis 14 mm zu einem signifikanten Anstieg ($p < 1\%$) der Vakuumhöhe, zeigte jedoch erwartungsgemäß keinen großen Einfluß auf die Breite der zyklischen Schwankung, da die Wirkung auf das Durchschnittsvakuum größtenteils auf verminderte Reibungsverluste im langen Milchschräuch zurückzuführen ist. Eine weitere Vergrößerung der Abflußwege auf die nicht mehr praktikable NW 19 mm erbrachte noch einen Grenzgewinn von 1 kPa beim

über den Pulszyklus gemittelten Durchschnittsvakuum.

Die Aufschlüsselung der beiden vorstehenden Tabellen in gestaffelte Kombinationen von kurzem und langem Milchschauch bestätigt die aufgezeigte Tendenz, daß die Nennweite des kurzen Milchschauches in erster Linie auf die Breite der zyklischen Vakuumschwankung und die Nennweite des langen Milchschauches in erster Linie auf das Durchschnittsvakuum wirkt:

Tabelle 10 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit
von der Nennweite der Milchschläuche

NW kurzer/langer Milchschauch	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x}_{VH}	zykl. Schwankung		\bar{x}_{VH}	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
mm	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
8/14	44,4	31,5	54,5	39,5	11,6	54,1
8/16	46,8	34,8	55,8	42,9	13,9	55,1
8/19	45,7	34,8	53,4	43,0	15,4	53,3
10/14	43,4	29,9	52,8	39,8	19,9	52,8
10/16	45,0	32,7	52,5	43,1	20,2	52,5
10/19	46,1	34,8	52,9	44,1	19,3	52,9
12/14	43,9	30,8	52,8	40,2	20,5	52,8
12/16	45,1	35,4	52,8	42,6	24,3	52,8
12/19	45,7	34,8	53,0	44,0	26,3	52,8
14/14	43,5	31,3	50,5	40,2	21,5	52,6
14/16	44,7	34,4	51,9	42,0	25,7	51,7
14/19	45,3	32,8	52,1	43,8	26,8	52,1

Die dargestellten Einflüsse der Nennweite der Milchschiuche auf die Vakuumverhältnisse im Melkzeug sind naturgemäß abhängig vom Flüssigkeitsdurchsatz, d. h., bei hohem Milchfluß stark ausgeprägt als bei geringem. Unter Berücksichtigung des Flüssigkeitsdurchsatzes werden daher in der folgenden Abbildung beispielhaft zwei Kombinationen einander gegenübergestellt, und zwar die in der Praxis häufig anzutreffende NW 8/14 mm und eine experimentell eingesetzte NW 12/16 mm, die wohl die Grenze des von der Handhabung her Praktikablen darstellt.

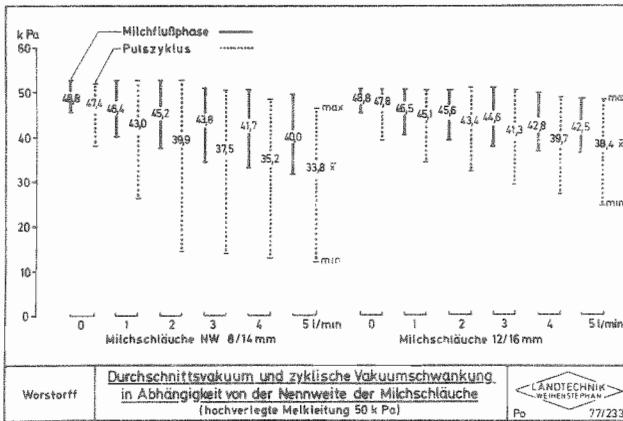


Abbildung 27

NW 8/14 ist NW 12/16 sowohl hinsichtlich der durchschnittlichen Vakuumhöhe als auch hinsichtlich der Breite der zyklischen Vakuumsschwankungen deutlich unterlegen. Der Trend folgt eng dem Flüssigkeitsdurchsatz. Die große zyklische Vakuumsschwankung der NW 8/14 deutet auf Überlastung der milchableitenden Wege bereits bei 2 - 3 Liter Flüssigkeitsdurchsatz pro Minute hin.

Pulsierungssystem

Im Rahmen der Untersuchungen wurde neben der in anglo-amerikanischen Ländern üblichen simultanen Pulsierung und der in Europa verbreiteten alternierenden auch die sequentielle Pulsierung auf ihren Einfluß auf die Vakuumverhältnisse im Melkzeug überprüft. Zusätzlich wurden im Hinblick auf laufende Forschungsarbeiten mit dem Einraumbeker auch pulsierungsfreie Varianten einbezogen. Bei summarischer Betrachtung unter Einschluß verschiedener Nennweiten der Milchschräuche ergibt sich folgendes Bild bei 50 kPa Nennvakuum und über 0 - 5 l/min gemitteltem Flüssigkeitsdurchsatz:

Tabelle 11 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in
Abhängigkeit vom Pulsierungssystem

Pulsierung	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
ohne	42,0 p < 1%	40,3	43,7	42,0 NS	40,3	43,7
simultan	45,5 p < 1%	35,8	55,5	42,0 NS	16,0	55,7
alternierend	43,6 NS	32,2	51,5	42,2 NS	25,4	51,5
sequentiell	43,6	30,4	50,6	42,1	24,1	50,5

Unterschiedliche Pulsierungssysteme beeinflussen die durchschnittliche Vakuumhöhe in der Milchflußphase unterschiedlich stark. Der Grund dafür liegt im Grad der Beschleunigung der Milchpfropfen: Entfällt die Pulsierung, so entfällt auch das in Kapitel 4, 1 dargestellte zyklische Beschleunigen und Abbremsen, und es liegen verhältnismäßig gleichförmige Strömungsbedingungen mit nur geringer Schwankungsbreite vor. Durch den Fortfall der pulsierungsbedingten Beschleunigung verbleibt jedoch das

Durchschnittsvakuum in der - permanenten - Milchflußphase auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Es ist praktisch identisch mit dem durchschnittlichen Vakuum über den Pulszyklus bei einer pulsierenden Maschine. Diese Tatsache deutet darauf hin, daß die zyklische Schwankung das Durchschnittsvakuum im Melkzeug sinusartig überlagert, d.h., was in der Milchflußphase eventuell an Vakuumhöhe gewonnen werden kann, geht bei einem normalen pulsierenden System durch Vakuumabsenkung in der Entlastungsphase wieder verloren. Somit ergibt sich über den Zyklus betrachtet kein Unterschied zwischen verschiedenen Pulstiersystemen.

Durch die Zyklussynchronisation bei der simultanen Pulsierung bedingt, ist die durchschnittliche Vakuumhöhe der Milchflußphase hoch; die mittlere Schwankungsbreite überschreitet das Nennvakuum, und die zyklische Schwankung ist groß.

Die alternierende Pulsierung ist etwa in der Mitte zwischen pulsierungsfreien Verfahren und der simultanen Pulsierung einzuordnen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die pauschale Betrachtungsweise einen Teil der Abweichungen verschleiert: Wie in Kapitel 4.1 dargestellt, kommt es zu systembedingten Phasenverschiebungen zwischen den alternierend arbeitenden Zitzenbecherpaaren. Die mittlere Abweichung in der durchschnittlichen Vakuumhöhe der Milchflußphase bei Flüssigkeitsdurchsätzen zwischen 0 und 5 l/min betrug 2,3 kPa. Sie ist statistisch hochsignifikant und zumindest bei höheren Flüssigkeitsdurchsätzen wahrscheinlich auch praktisch relevant hinsichtlich Melkgeschwindigkeit und der Übertragung euterpathogener Mikroorganismen.

Die sequentielle Pulsierung ist ähnlich der alternierenden zu beurteilen. Auch bei diesem Verfahren ist zu berücksichtigen, daß mit 2,9 kPa signifikante Unterschiede zwischen den Milchflußphasen der einzelnen Zitzenbecher bestanden.

Die Beziehungen zwischen dem Unterschied des Durchschnittsvakuums der Milchflußphasen zum Flüssigkeitsdurchsatz sollen nicht näher ausgeführt werden, da für die Größe des Differenzbetrages die Form der zyklischen Schwankung entscheidend ist. Diese wiederum wird geprägt durch Pulsierung (Pulszahl, Saugphase, Phasenverschiebung, Flankenwinkel), Lufteinlaß und strömungstechnische Konstruktion des Melkzeuges und ist daher keine konstante Größe bei verschiedenen Melkanlagen. Der maximale Differenzwert wird erzielt, wenn bei großer zyklischer Schwankung die Milchflußphase der einen Seite auf die steigende Flanke und die andere auf die abfallende kommt. Unter diesen Bedingungen ist ein Unterschied von 5 kPa nicht unrealistisch.

Pulszahl und Länge der Saugphase

Eine weitere Aufschlüsselung der Zusammenhänge unter zusätzlicher Berücksichtigung der geläufigen Kombinationen von Pulszahl und Länge der Saugphase (50/50 und 60/70) ist in der folgenden Tabelle gegeben:

Tabelle 12 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von Pulsierungssystem, Pulszahl und Länge der Saugphase

Pulsierung Pulszahl / Saugphase	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x}_{VH} kPa	zykl. Schwankung		\bar{x}_{VH} kPa	zykl. Schwankung	
		min kPa	max kPa		min kPa	max kPa
sim. 50/50	45,7	35,5	55,5	42,1	15,3	55,9
	45,4	36,1	55,6	42,1	16,6	55,7
alt. 50/50	44,0	32,7	51,7	42,4	24,0	51,7
	43,4	31,9	51,3	42,2	27,0	51,3
sequ. 50/50	45,9	30,4	50,8	42,2	23,5	50,8
	44,1	30,3	50,5	42,0	24,7	50,3
TOTAL 50/50	45,2	32,9	52,7	42,2	20,9	50,8
	44,3	32,8	52,5	42,1	22,8	52,4

Die Differenz zwischen den Alternativen 50/50 und 60/70 war gering und zeigte sich in der Milchflußphase und nicht im Pulszyklus. Dieses Resultat überrascht nicht, da die totale, durch die Zitzengummibewegung übertragene Energie innerhalb eines Pulsierensystems konstant bleibt, und sich ergebende Unterschiede somit durch Zyklusüberlagerung bedingt sein müssen. Diese wird neben der jeweiligen Länge der Saugphase bei gegebener Pulszahl vom Grad der Phasenverschiebung der Melkzeugseiten bzw. einzelnen Zitzenbecher abhängen. Zu dieser Frage wurden keine experimentellen Untersuchungen durchgeführt; anhand eines Vergleiches soll jedoch die Problematik kurz erläutert werden, damit deutlich wird, daß Saugphase, Phasenverschiebung und Pulszahl nicht frei miteinander kombinierbar sind, ohne die Vakuumverhältnisse unter der Zitze zu beeinflussen:

Bei der Pulsierung mit 50 % Saugphase und 50 % Entlastungsphase wird üblicherweise aus technischen Gründen der Steuerung die Phasenlage so verschoben, daß die Saugphase der einen Melkzeughälfte mit der Entlastungsphase der anderen zusammenfällt. Die beim Kollabieren der Zitzengummis entstehende "Überdruckwelle" wird durch die Saugwirkung der parallel dazu öffnenden Gummis theoretisch größtenteils absorbiert. Im Sammelstück müßte also ein Vakuum vorliegen, das keine zyklische Schwankung aufweist. Unter praktischen Verhältnissen ist das jedoch nicht ganz der Fall, da die Strömungsvorgänge von der Eigenfrequenz des Melkzeuges und den Kräften des abfließenden Milchpfropfens überlagert werden. Weiterhin begünstigt das Zusammenfallen von relativem Über- und Unterdruck innerhalb des Melkzeuges - unterstützt durch unterschiedliche Vakuumhöhe in den Milchflußphasen beider Seiten - einen Flüssigkeitsaustausch zwischen den Vierteln, der wegen der Zusammenhänge zur Übertragung euterpathogener Mikroorganismen unerwünscht ist.

Bei einer verlängerten Saugphase mit 60 oder 70 % ist eine Phasenverschiebung von $\lambda/2$ prinzipbedingt nicht mehr möglich, sondern Teile der Saugphase von allen vier Vierteln werden immer zusammenfallen, so daß

sich die Kräfte nur partiell aufheben, teilweise aber auch addieren und dadurch die zyklischen Vakuumschwankungen verstärken. Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, daß für die dargestellten Vorgänge streng genommen die Länge der Milchflußphasen und nicht die der Saugphasen maßgeblich ist.

Die Pulszahl hat auf die Vorgänge besonders bei verlängerter Saugphase eine modifizierende Wirkung, indem sie die absolute Länge der Zyklen festlegt und damit bestimmt, in welchem Ausmaß die einzelnen Schwingungsvorgänge Zeit haben, sich vollständig auszuprägen, bevor neue Kräfte überlagernd einwirken.

Die Zusammenhänge lassen sich uneingeschränkt übertragen auf Pulszahlen und Saugtaktanteile, wie sie bei milchflußgesteuerten Maschinen, insbesondere während der Nachmelkphase, Verwendung finden könnten. In der nachfolgenden Tabelle sind die geläufigen Kombinationen von Pulszahl und Saugphase mit ihrem Einfluß auf die Vakuumverhältnisse im Melkzeug zusammengestellt. Zum Vergleich sind die Durchschnittswerte der zusammengefaßten Pulsierungen 50/50 und 60/70 (Pulszahl/Saugtaktanteil) angegeben. Alle Angaben beziehen sich auf einen gemittelten Flüssigkeitsdurchsatz von 0 - 21/min, da höhere Milchflußraten bei den "Schonstufen" unrealistisch sind. (Eine Ausnahme vom Gesagten bildet die Kombination 60/60, die weniger gebräuchlich ist, jedoch der Vollständigkeit halber aufgeführt wurde.) Das Nennvakuum war einheitlich 50 kPa, die Schlauchdurchmesser betragen NW 10 mm für die kurzen Milchschräuche und NW 14 mm für den langen Milchschräuch. Die Signifikanzgrenze liegt bei Differenzen knapp unter 1 kPa. (Die gewählten Schlauchdurchmesser entsprechen etwa den in der Praxis gebräuchlichen. Bei der weiteren Analyse der Nebenvariablen wurde daher die Kombination NW 10/14 mm den Betrachtungen zugrunde gelegt und auch auf die - in der Praxis nicht bekannte - Form der sequentiellen Pulsierung verzichtet, da die grundlegenden Zusammenhänge bereits herausgearbeitet wurden.)

Tabelle 13 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von Pulszahl und Länge der Saugphase

Pulsierung Pulszahl / Saugphase	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
30/30	43,8	39,7	50,3	43,3	30,7	50,8
30/40	43,5	38,2	50,9	43,7	32,8	51,6
40/30	43,5	39,8	50,4	43,3	30,8	51,4
40/40	44,5	39,2	51,3	43,7	31,6	51,2
60/30	45,1	39,5	51,1	43,7	30,1	51,9
60/40	45,3	37,9	51,9	44,4	31,3	52,9
60/60	44,7	39,4	50,7	43,8	32,8	50,7
50/50 u. 60/70	46,6	34,8	52,8	44,2	27,1	52,8

Es wird deutlich, daß die "Schonstufen" gegenüber der Standardpulsierung 50/50 bzw. 60/70 in der durchschnittlichen Vakuumhöhe abfallen. Das ist stärker in der Milchflußphase als im Pulszyklus der Fall. In Verbindung mit einem leichten Trend zu steigendem Durchschnittsvakuum bei steigender Pulszahl läßt sich daraus die Schlußfolgerung ziehen, daß bei langsamer Pulsierung in Verbindung mit einer kurzen Saugphase ein kontinuierlicher Abfluß der Flüssigkeit nicht mehr möglich ist, sondern die einzelnen Pfropfen einen so großen Abstand voneinander haben, daß sie einzeln beschleunigt und abtransportiert werden müssen. Diese Tatsache findet ihren Ausdruck auch darin, daß bei langsamer Pulsierung und kurzer Saugphase praktisch kein Unterschied zwischen dem Vakuum in der Milchflußphase und dem Vakuum im Pulszyklus besteht. Unter diesen Bedingungen zeigte sich auch der Unterschied zwischen simultaner und alternierender Pulsierung deutlich, und zwar mit einer hochsignifikanten Differenz von 45,0 bzw. 43,7 kPa in der Milchflußphase und 43,9 kPa gegenüber 43,5 kPa im Pulszyklus (NS).

Nachteile für den Melkvorgang sind daraus nicht abzuleiten, da in der Regel bei milchflußgesteuerten Maschinen - zumindest in der späten Nachmelk- bzw. Haftphase - auch das Vakuum bewußt abgesenkt wird. Diese Bedingungen sind im folgenden Absatz näher erläutert.

Pulszahl, Länge der Saugphase und gesenktes Nennvakuum

Zur Förderung des Ausmelkens bei gewebeschonender Vakuumapplikation kann bei milchflußgesteuerten Maschinen das Nennvakuum zeitweise abgesenkt werden. Um bei einem konstanten Melkzeuggewicht in der Größenordnung von 2,5 - 3,0 kg nicht ein gehäuftes - Tier und Mensch gleichermaßen störendes - Abfallen der Melkzeuge zu riskieren, ist man in der Vakuumabsenkung begrenzt auf ca. 15-20 kPa, was einer Nennvakuumhöhe in der Nachmelkphase von etwa 35 kPa entspricht. Tabelle 14 gibt eine Übersicht über diese Verhältnisse bei einem gemittelten Flüssigkeitsdurchsatz von 0 - 2 l/min und Milchsclhäuchen der Nennweiten 10/14 mm :

Tabelle 14 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von Pulszahl und Länge der Saugphase bei 35 kPa Nennvakuum

Pulsierung Pulszahl/ Saugphase	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH kPa	zykl. Schwankung		\bar{x} VH kPa	zykl. Schwankung	
		min kPa	max kPa		min kPa	max kPa
30/30	29,8	27,3	35,0	29,0	19,5	35,0
30/40	30,6	25,2	37,1	29,1	18,8	37,1
40/30	31,1	26,9	37,9	29,8	18,2	38,1
40/40	31,1	25,1	37,3	29,5	18,2	37,2
60/30	31,5	26,8	37,1	29,7	18,9	37,2
60/40	31,8	25,6	37,6	29,8	18,7	37,4

Es wird deutlich, daß auch bei Vakuumabsenkung Verhältnisse vorliegen, wie sie bereits für das Nennvakuum 50 kPa diskutiert wurden: Das Vakuum

steigt in der Milchflußphase bei gesteigerter Pulszahl, und es ergeben sich geringe Unterschiede zwischen Milchflußphase und Pulszyklus. Eine Aufschlüsselung nach simultaner und alternierender Pulsierung erbrachte mit Werten von 32,1 kPa gegenüber 29,9 kPa eine hochsignifikante Differenz in der Milchflußphase; über den Pulszyklus betrachtet betragen die entsprechenden Werte 29,9 und 29,0 kPa.

Eine Vakuumabsenkung von 50 auf 35 kPa wirkt also sowohl auf das Durchschnittsvakuum als auch auf die zyklische Schwankung parallelverschiebend, ohne in größerem Umfang in das Zusammenspiel der einzelnen Kräfte einzugreifen.

Weiterhin sei darauf aufmerksam gemacht, daß eine Absenkung des Nennvakuum die Pulsierung beeinflusst und verlängernd auf die Milchflußphase wirkt, da die Evakuierungsphase infolge verminderten Differenzdruckes verkürzt wird. Somit ist es bei einer milchflußgesteuerten Maschine noch wichtiger als bei einer normalen Anlage, die Zusammenhänge von Vakuum und Pulsierung zu kennen und direkt bei den Faktoren im Melkzeug mit der Steuerung anzusetzen, damit nicht unbeabsichtigte antagonistische Wirkungen auftreten.

60 kPa Nennvakuum

Bei einer milchflußgesteuerten Maschine könnte es interessant sein, nach dem Einschießen der Milch das Nennvakuum zu erhöhen, um die biologisch maximal mögliche Menge Milch pro Zeiteinheit zu gewinnen und dann bei unveränderter totaler Melkdauer das Ausmelken langsam, mit einem gesenkten Vakuum bei schonender Pulsierung vornehmen zu können. Nach vorliegendem Wissen müßte sich so der Ausmelkgrad verbessern, der Handarbeitsaufwand beim maschinellen Nachmelken bzw. Kontrollgriff vermindern und langfristig die Laktationsleistung steigern lassen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß - im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Vakuumabsenkung - eine Erhöhung des Nennvakuum eine Verlängerung der Evakuierungsphase nach sich zieht und somit die Milchflußphase verkürzt

wird; eine Tatsache, der Rechnung getragen werden muß, da sie der beabsichtigten Beschleunigung der Milchgewinnung entgegensteht.

Tabelle 15 zeigt summarisch die Vakuumverhältnisse im Melkzeug bei 60 kPa Nennvakuum, Milchschräuchen der Nennweiten 10/14 mm und den Pulsierungen simultan und alternierend bei einer Kombination von Pulszahl und Länge der Saugphase von 50/50 bzw. 60/70 gemittelt über Flüssigkeitsdurchsätze von 0 - 5 l/min. Zum Vergleich sind die Bedingungen bei 50 kPa Nennvakuumhöhe angegeben.

Tabelle 15 Vakuumverhältnisse im Melkzeug bei 60 kPa Nennvakuum

Vakuumhöhe	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
60	51,5	41,3	59,5	50,4	32,0	63,0
50	43,6	31,9	53,8	39,8	17,5	53,9
Δ	7,9	9,4	5,7	10,6	14,5	9,1

Es wird deutlich, daß eine Erhöhung des Nennvakuums - analog zur Senkung - etwa parallelverschiebend auf den Verlauf des Vakuums an der Zitze wirkt. Auf die Unterschiede soll nicht näher eingegangen werden, da sie möglicherweise teilweise dadurch bedingt waren, daß geringe Mengen Leckluft unkontrolliert am Zitzengummikopf eingedrungen sind. Die Gefahr hierfür ist bei hohem Betriebsvakuum vergleichsweise groß, da das Material am Kragen durch den hohen Differenzdruck - für den ein handelsüblicher Zitzengummi nicht konstruiert ist - deformiert werden kann.

Flankenwinkel der Pulsierung und Sammelstückvolumen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde neben der allgemein den Versu-

chen zugrunde gelegten Pulsierung mit steilem Flankenwinkel versuchsweise auch mit flachem gearbeitet, da eine Abflachung des Flankenwinkels in der Praxis als geeignete Maßnahme angesehen wird, um das Vakuum im Melkzeug durch langsames Öffnen und Schließen des Zitzengummis zu stabilisieren. Diese Annahme kann nur unter der Voraussetzung eines annähernd stabilen Vakuums im Zitzengummi-Innenraum generell gelten, da nur unter diesen Bedingungen eine kontrollierte Druckdifferenz durch die Zitzengummiwand aufgebaut werden kann. Diese wiederum ist die Voraussetzung dafür, daß sich der Zitzengummi trotz seiner Neigung, entsprechend seinem Einfaltdruck mehr oder weniger sprunghaft zu öffnen und zu schließen, vom Differenzdruck gezielt steuern läßt.

Trotz dieser Einschränkung wurde der Flankenwinkel unter normalen Melkbedingungen (ohne Trennung von Milch und Luft) versuchsweise abgeflacht, um die Wirkung der "weichen Pulsierung" zu studieren. Während die Standardpulsierung der Versuchsmelkanlage auf eine Evakuierungsphase von $a = \text{ca. } 80 \text{ ms}$ und eine Belüftungsphase von $c = \text{ca. } 60 \text{ ms}$ bei 50 kPa Nennvakuum eingestellt war, wurde sie nun durch Drosselung der Pulsschläuche im Flankenwinkel abgeflacht auf etwa $a=c=200 \text{ ms}$. (In der Praxis sind Flankenwinkel gebräuchlich, die zwischen diesen Extremen liegen). Der abgeflachte Flankenwinkel wurde getestet bei simultaner und alternierender Pulsierung bei Pulszahlen von 50 und 60 Z/min in Verbindung mit Saugtaktanteilen von 50 und 70 %. Die Nennweiten der Milchschräuche betragen 10 bzw. 14 mm. Neben dem Standard-Sammelstück von ca. 130 ml Volumen wurden Versuche mit einem Sammelstück von ca. 800 ml Volumen gefahren. Die summarischen Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 16 zusammengefaßt. Die Signifikanzgrenze für den Vergleich des Durchschnittsvakuums im t-Test liegt bei 1 kPa.

Tabelle 16 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit vom Flankenwinkel der Pulsierung und dem Sammelstückvolumen (1 = 130 ml bzw. steil, 2 = 800 ml bzw. flach)

Sammelstückvol. u. Flankenwinkel	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
Sammelstückvol. 1 Flankenwinkel 1	43,6	31,9	53,8	39,8	17,5	53,9
Sammelstückvol. 1 Flankenwinkel 2	42,6	29,9	50,5	40,8	24,3	50,6
Sammelstückvol. 2 Flankenwinkel 1	41,0	29,0	49,9	39,0	16,9	49,9
Sammelstückvol. 2 Flankenwinkel 2	40,1	29,8	48,8	39,1	27,0	48,8

Zwischen den verschiedenen Kombinationen von Flankenwinkel der Pulsierung und dem Sammelstückvolumen ergaben sich deutliche Unterschiede im Durchschnittsvakuum; eine Vergrößerung des Sammelstückvolumens von ca. 130 auf ca. 800 ml erwies sich damit nicht als geeignete Maßnahme, um Betriebs- und Nennvakuum einander anzugleichen. Der Grund dafür liegt darin, daß ein großes Sammelstückvolumen auf die im Kapitel 4.1 dargestellten - für den Zweiraumbeker charakteristischen - Vorgänge der zyklischen Beschleunigung und des nachfolgenden Abbremsens der Milchpfropfen nur dämpfend wirkt, nicht aber prinzipiell eingreift, wie z. B. ein periodischer Lufteinlaß:

Wenn der im kurzen Milchschauch beschleunigte Milchpfropfen als freier Strahl in das Luftpolster eines großen Sammelstückes austritt, reißt er erhebliche Luftmengen mit sich und löst sich unter starker Wirbelbildung

nach kurzer Wegstrecke in kleine, z. T. schwebende Teilchen auf. Dabei können die zyklischen Schwankungen in Abhängigkeit von der Größe des Sammelstückvolumens in Verbindung mit der dämpfenden Wirkung des vom kontinuierlichen Lufteinlaß gespeisten Luftpolsters mehr oder weniger herabgesetzt werden. Infolge der verminderten Vakuumsenkung in der Entlastungsphase kann sich dabei das Durchschnittsvakuum im Pulszyklus geringfügig erhöhen. Andererseits dürfte die feine Zerlegung der Milchpfropfen aber die Gefahr eines Rückflusses bereits ermolkener Milch als Aerosol begünstigen.

Die vor allem von den kollabierenden Zitzengummis stammende Bewegungsenergie geht für den weiteren Abtransport der Milch verloren, so daß das Milch-Luft-Gemisch von neuem - diesmal ausschließlich durch die Kraft des Betriebsvakuum - beschleunigt werden muß. Aus dieser Tatsache resultiert eine Absenkung des durchschnittlichen Melkvakuums an der Zitze, deren Grad naturgemäß mit steigendem Milchfluß zunimmt.

Die Vakuumabsenkung in der Milchflußphase wird unterstützt, wenn man den Flankenwinkel der Pulsierung abflacht und damit der Flüssigkeit im kurzen Milchschauch sowie dem Pfropfen im langen Milchschauch einen geringeren Impuls gibt.

5.1.3 Praktische Schlußfolgerungen

Anlagen mit hochverlegter Melkleitung verdienen eine besondere Beachtung, da sie in den bei uns weit verbreiteten Anbindeställen die Eimermelkanlagen aus arbeitswirtschaftlichen Gründen in zunehmendem Maße ablösen. Das Grundproblem bei diesen Anlagen besteht darin, daß das Betriebsvakuum auch die Hochförderung der Milch übernehmen muß. Soll das ohne größere Absenkung des Durchschnittsvakuums in der Milchflußphase geschehen, so müssen die einzelnen Milchpfropfen durch die Pulsierung stark beschleunigt werden. Dieses wiederum ist aus strömungsmechanischen

Gründen nur möglich bei verhältnismäßig klein dimensionierten kurzen Milchsschläuchen in Verbindung mit einem nicht zu großen Sammelstück und möglichst simultaner Pulsierung. Unter diesen Gegebenheiten treten vergleichsweise hohe zyklische Schwankungen auf, das Durchschnittsvakuum in den Milchflußphasen beider Melkzeughälften (bei alternierender Pulsierung) weicht deutlich voneinander ab, und die Nennvakuumhöhe kann regelmäßig überschritten werden, wenn der im langen Milchschauch wegströmende Pfropfen hinter sich periodisch ein Zusatzvakuum aufbaut (vgl. Kapitel 4.1). Hohes Durchschnittsvakuum und geringe zyklische Schwankungen ohne periodisches Überschreiten der Nennvakuumhöhe sind also prinzipbedingt schwer miteinander vereinbar.

Im einzelnen ergaben sich folgende Resultate aus den Laborversuchen unter Anwendung eines von größeren strömungstechnischen Mängeln befreiten Melkzeuges (Flüssigkeitsdurchsatz 0 - 5 l/min) :

- Bei Steigerung des Flüssigkeitsdurchsatzes von 0 - 5 l/min sank das Betriebsvakuum am Euter um einen mittleren Wert von etwa 10 kPa ab.
- Eine stufenweise Vergrößerung der Nennweite der kurzen Milchschläuche von 8 auf 14 mm blieb bei Kombination mit langen Milchsschläuchen der Nennweiten 14 - 19 mm ohne signifikanten Einfluß auf die durchschnittliche Vakuumhöhe, verminderte jedoch die Breite der zyklischen Vakuumschwankung um gut 10 kPa.
- Eine stufenweise Vergrößerung der Nennweite des langen Milchschlau-ches von 14 auf 19 mm erbrachte einen signifikanten Anstieg des Betriebsvakuums von etwa 4 kPa, ohne die Schwankungsbreite wesentlich zu verändern.
- Die Prüfung verschiedener Pulsierungssysteme ergab eine Steigerung des Betriebsvakuums in der Milchflußphase in der Rangfolge "ohne", "alternierend bzw. sequentiell" und "simultan". Zwischen den Extremen betrug der Unterschied etwa 3,5 kPa. Dabei blieb das Durchschnittsvakuum im Pulszyklus unbeeinflusst, die zyklische Vakuumschwankung verminderte sich jedoch in einer Rangfolge umgekehrt zur oben angege-

benen um einen Wert von etwa 15 kPa bei den pulsierenden Verfahren. Arbeitet man ohne Pulsierung, so ist die zyklische Schwankung nur noch minimal.

- Die Pulszahl hatte, wie auch die Länge der Saugphase, nur einen geringen Einfluß auf die Vakuumverhältnisse in der Milchflußphase und keinen auf die im Pulszyklus. Hier gilt es, durch Abstimmung von Pulszahl, Saugphase und Phasenverschiebung (bei alternierender und sequentieller Pulsierung) die durch den kollabierenden Zitzengummi übertragene Bewegungsenergie optimal zur Vakuumstützung heranzuziehen. Diese Aussage schließt auch langsame Pulszahlen und Saugtaktanteile unter 50 % ein, wie sie z. B. bei einer milchflußgesteuerten Maschine in der Nachmelkphase verwendet werden könnten.
- Eine Absenkung des Nennvakuum von 50 auf 35 kPa wirkte - wie auch eine Steigerung auf 60 kPa - parallelverschiebend auf die Vakuumverhältnisse im Melkzeug, ohne auf das Kräftespiel wesentlich Einfluß zu nehmen.
- Eine Vergrößerung des Sammelstückvolumens von ca. 130 auf ca. 800 ml Volumen senkte die mittlere Vakuumhöhe in der Milchflußphase um etwa 1,5 kPa, und in Verbindung mit einem flachen Flankenwinkel der Pulsierung um etwa 3,5 kPa. Die zyklische Vakuumschwankung verminderte sich dabei um etwa 15 kPa.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß Verbesserungen unserer heutigen Maschinen in der Größenordnung von 10 % für das durchschnittliche Betriebsvakuum sich noch durch Vergrößerung der Nennweite des langen Milchschauches, unterstützt durch eine strömungsmechanisch günstige Formgebung des Melkzeuges mit einem Sammelstück, dessen Volumen zur Verhinderung des Rückflusses in flüssiger Form gerade ausreicht, jedoch die kinetische Energie der abfließenden Milch in möglichst geringem Umfang mindert, erzielen ließen. Dabei müßten auch die Phasenverschiebung und der Flankenwinkel der einzelnen Pulszyklen insbesondere bei alternierender Pulsierung an die zu wählenden Parameter Pulszahl und Saugphase angepaßt werden, um die pulsierungsbedingten Kräfte möglichst effektiv

zur Vakuumstützung zu nutzen, ohne die Breite der zyklischen Vakuum-schwankung zu vergrößern oder die Nennvakuumhöhe zu überschreiten. Bei NW 16 mm dürfte den praktischen Möglichkeiten hinsichtlich einer Erweiterung des langen Milchschauches eine Grenze gesetzt sein.

Durchgreifende Ansätze zum Erreichen eines auch bei hohen Flüssigkeits-durchsätzen dem Nennvakuum ähnlichen Betriebsvakuums in der Milchfluß-phase bieten angesichts der sich entgegenstehenden Zielgrößen "hohes Durchschnittsvakuum ohne Überschreitung der Nennhöhe" und "geringe zyklische Schwankungen" nur ein periodischer Lufteinlaß am Beginn der Ent-lastungsphase (vgl. Kapitel 4. 2) oder eine Trennung von Milch und Luft im Sammelstückbereich (vgl. Kapitel 5. 3). Ersteres Verfahren greift auf ein-fache Weise in das Strömungsgeschehen in der Melkeinheit ein, während letzteres durch Trennung von Milchentzug und Milchtransport prinzipiell überlegene strömungsmechanische Bedingungen schafft, jedoch mit einem ziemlichen Aufwand verbunden ist, dessen technische Details derzeit noch nicht durchkonstruiert sind.

5.2 Hochverlegte Melkleitung und separater Abscheider

5.2.1 Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug

Bei Kombination von hochverlegter Melkleitung und einem vom Melkzeug getrennten Abscheider auf Euterhöhe entstehen Bedingungen ähnlich denen einer Eimermelkanlage:

- Die unregelmäßigen Vakuumschwankungen des Leitungssystems wirken sich bei ausreichender Dimensionierung von Leitungswegen und Vakuumversorgung nicht mehr auf das Melkgeschehen aus bzw. existieren kaum noch.
- Die Strömungsverhältnisse zwischen Melkzeug und Abscheider entsprechen praktisch denen zwischen Melkzeug und Standeimer. Die kinetische Energie der abfließenden Milchpfropfen wird am Ende des langen Milchschauches durch Austrittsverluste vernichtet; im Abscheider bzw. Standeimer herrscht praktisch stabiles Vakuum auf Nennhöhe.
- Die Milchbehandlung ist in beiden Fällen schonend, was sich in niedrigen Gehalten an freien Fettsäuren ausdrückt.

Abbildung 28 zeigt den Druckverlauf im Melkzeug bei hochverlegter Melkleitung, separatem Abscheider, simultaner Pulsierung und handelsüblichen Schlauchquerschnitten:

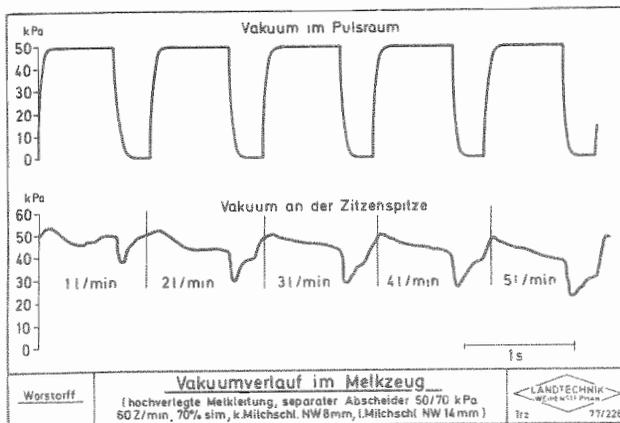


Abbildung 28

Das zitzenendige Vakuum folgt - wie für die simultane Pulsierung charakteristisch - auf allen Vierteln dem Verlauf der Pulskurve. Mit steigendem Flüssigkeitsdurchsatz nimmt die Schwankungsbreite etwas zu, während das Durchschnittsvakuum aufgrund der zunehmenden Strömungsverluste absinkt. Interessanterweise ist die Bandbreite der zyklischen Schwankung geringer als bei vergleichbaren Systemen ohne Abscheider, und Werte über Nennhöhe werden auch als Schwankungsspitzen praktisch nicht erreicht. Die Ursache dafür ist vermutlich in der Art der Abscheidung über einen Prallschirm zu suchen, der extreme Strömungsgeschwindigkeiten im langen Milchschlauch durch Vernichtung der Bewegungsenergie im Abscheider verhindert und in Verbindung mit dem Puffervolumen die mit dem Pfropfen-transport verbundenen Vakuumschwankungen dämpft.

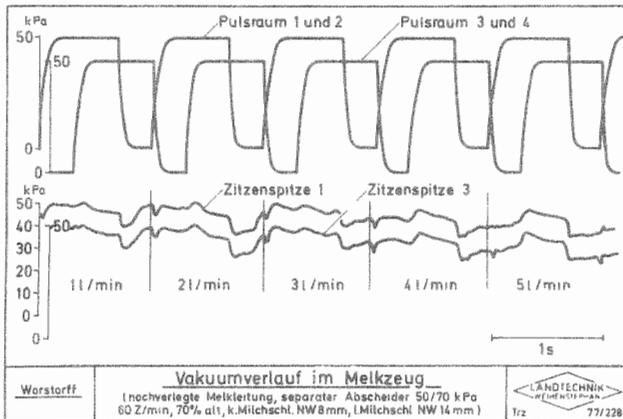


Abbildung 29

Bei der alternierenden Pulsierung ist die zyklische Schwankung des Vakuums an der Zitzenspitze durch die phasenverschobene Wirkung der Kräfte gegenüber der simultanen Pulsierung naturgemäß vermindert.

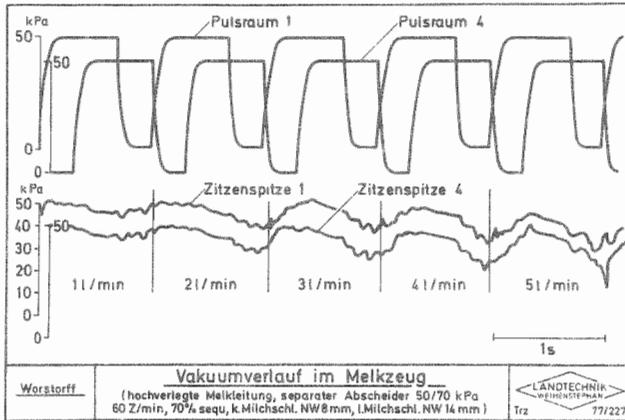


Abbildung 30

Die sequentielle Pulsierung zeigt ein ähnliches Bild wie die alternierende, wobei insbesondere bei höheren Flüssigkeitsdurchsätzen eine gewisse Tendenz zum Auftreten von Nadelimpulsen bestand. Diese werden verursacht durch einen kurzfristigen Flüssigkeitsstau im kurzen Milchslauch, dessen Entstehen durch die individuelle Ansteuerung der einzelnen Zitzenbecher und den damit verbundenen Überlagerungen der vier Zyklen gefördert wird. Derartige Spitzen treten insbesondere beim Abscheider-Sammelstück in Verbindung mit sequentieller Pulsierung auf, da bei diesem Verfahren die Drainierung der kurzen Milchschräuche weitgehend durch Schwerkraft erfolgen muß. Auf die Zusammenhänge wird an entsprechender Stelle näher eingegangen.

5.2.2 Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung

Abbildung 31 vermittelt eine Übersicht über Mittelwerte und Spannweite des Durchschnittsvakuums bei gestaffeltem Flüssigkeitsdurchsatz und separatem Abscheider :

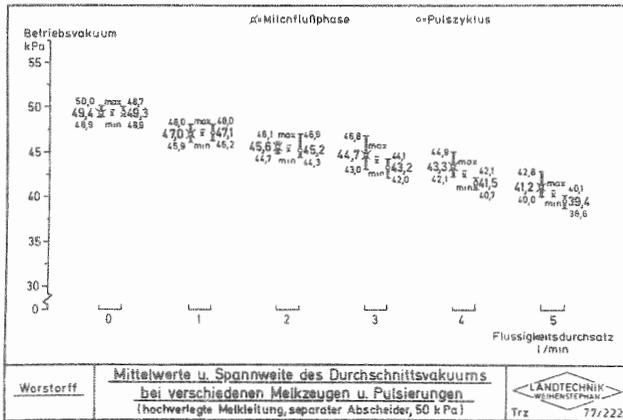


Abbildung 31

Alle Werte sinken mit zunehmendem Flüssigkeitsdurchsatz gleichmäßig ab. Das ist besonders bei den Pulszyklen zu beobachten, deren Mittelwerte nach dem t-Test hochsignifikant voneinander unterschieden sind. Die Milchflußphase folgt dem gleichen Trend, jedoch aufgrund der Zusammenhänge zur zyklischen Schwankung naturgemäß etwas weniger ausgeprägt.

Insgesamt wird deutlich, daß die durchschnittlichen Vakuumverhältnisse am Euter bei einer Maschine mit separatem Abscheider zwischen denen einer normalen Anlage mit hochverlegter und einer solchen mit tiefverlegter Melkleitung anzusiedeln sind. Das überrascht nicht, da einerseits der Einfluß des hydrostatischen Druckes durch Trennung von Melk- und Transportvakuum aufgehoben wird; andererseits erfolgt jedoch im Abscheider, im Gegensatz zur Anlage mit tiefverlegter Melkleitung, eine totale Ver-

nichtung der Bewegungsenergie und eine gewisse Dämpfung, was sich senkend auf das Betriebsvakuum im Melkzeug auswirkt.

Die Spannweite zwischen strömungstechnisch guten und schlechteren Alternativen ist so gering wie bei den Systemen mit Abscheider-Sammelstück (Kapitel 5.3). Das ist teilweise auf die erwähnte Dämpfung, teilweise darauf zurückzuführen, daß aus technischen Gründen nur die Milchschauchkombination NW 10/14 mm geprüft wurde. Diese Minderung des Versuchsumfanges erschien zulässig, da grundsätzlich die Bedeutung einzelner Einflußfaktoren in abgeschwächter Form von Standardmaschinen auf den separaten Abscheider übertragbar sein müssen. Die verbleibenden geringen Unterschiede dürften größtenteils konstruktionsbedingt und nicht prinzipabhängig sein und werden daher nicht näher analysiert.

5.2.3 Praktische Schlußfolgerungen

Der vom Sammelstück getrennte Abscheider bietet eine technisch aufwendige, jedoch interessante Möglichkeit, um die Vakuumapplikation in Anlagen mit hochverlegter Melkleitung zu verbessern. Dabei wird der Einfluß unregelmäßiger Vakuumschwankungen durch die Trennung von Melk- und Transportsystem praktisch beseitigt. Das Durchschnittsvakuum entspricht fast dem von Anlagen mit tiefverlegter Melkleitung, und alle Maßnahmen zur Angleichung des Betriebsvakuums an das Nennvakuum incl. einer Verminderung der zyklischen Schwankungen dürften von den Systemen 1 und 4 auf den separaten Abscheider bzw. eine Eimermelkanlage übertragbar sein. Zusätzlich ergibt die melkzeugnahe Abscheidung der Luft in Verbindung mit den Puffervolumina prinzipbedingt eine verminderte zyklische Schwankung gegenüber Verfahren ohne Phasentrennung. Der Milchtransport erfolgt schonend, was sich in geringen Gehalten an freien Fettsäuren äußert. Da die Melkeinheit in der Regel von Tier zu Tier getragen werden muß, wäre auf Handhabung und Gewicht großer Wert zu legen.

Ungelöst ist noch die Frage der Milchmengenmessung, da alle derzeitigen Geräte nur mit einem Milch-Luft-Gemisch, nicht aber bei reiner Milch, innerhalb der akzeptierten Fehlergrenzen arbeiten. In diesem Zusammenhang ist auch die Entscheidung zu treffen, ob die Abscheidung so gestaltet werden kann, daß absolut keine Luft mehr in der Milch verbleibt - das wäre die Voraussetzung für eine Durchflußmessung z. B. mit einem Ovalradzähler - oder ob das nicht möglich ist. In diesem Falle hätte man zwar einen von den freien Fettsäuren her unbedenklichen Luftanteil, müßte jedoch das Gerät zur Milchmengenmessung auf diese Bedingungen abstimmen.

5.3 Hochverlegte Melkleitung und Abscheider-Sammelstück

5.3.1 Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug

Die Trennung von Milch und Luft im Sammelstück bedeutet nicht nur, daß Transport- und Melkvakuum unterschiedlich hoch sind, sondern gleichzeitig, daß eine wechselseitige Beeinflussung des Geschehens im Zitzenbecher und im milchableitenden System nicht mehr ungehindert in der bereits dargestellten Form erfolgen kann.

Aus technischen Gründen mußte beim Abscheider-Sammelstück mit NW 12 mm der kurzen Milchschräuche gearbeitet werden gegenüber einem praxistüblichen Standardmaß von ca. 8 mm. Aufgrund der Trennung von Melk- und Transportsystem ist jedoch der Nennweite der kurzen Milchschräuche vergleichsweise wenig Bedeutung beizumessen, da anstelle der kinetischen Energie der abfließenden Flüssigkeit der im Melkzeug angelegte Differenzdruck als bestimmende Größe für die durchschnittliche Vakuumversorgung tritt und etwaige zyklische Schwankungen bei stabilem zitzenendigem Vakuum durch Anpassung des Flankenwinkels der Pulsierung gedämpft werden könnten (vgl. Abb. 36).

Die Vakuumverhältnisse im Melkzeug sind in der folgenden Abbildung bei simultaner Pulsierung, hochverlegter Melkleitung und Milch-Luft-Trennung im Sammelstück dargestellt.

Wie bei anderen Zweirohr-Melkanlagen auch, ist das Geschehen im Pulsraum gleichförmig und unabhängig vom Flüssigkeitsdurchsatz durch das milchableitende System.

Der Vakuumverlauf im Abscheider-Sammelstück zeigt beim Übergang von der Saug- zur Entlastungsphase typische Vakuumleinbrüche, jedoch von vergleichsweise geringem Umfang. Diese - vom herkömmlichen Verfahren bekannten - Spitzen deuten darauf hin, daß trotz einer Vakuumversor-

gung über NW 12 mm die steilen Druckwellen der vier simultan kollabierenden Zitzengummis nicht ausgeglichen werden.

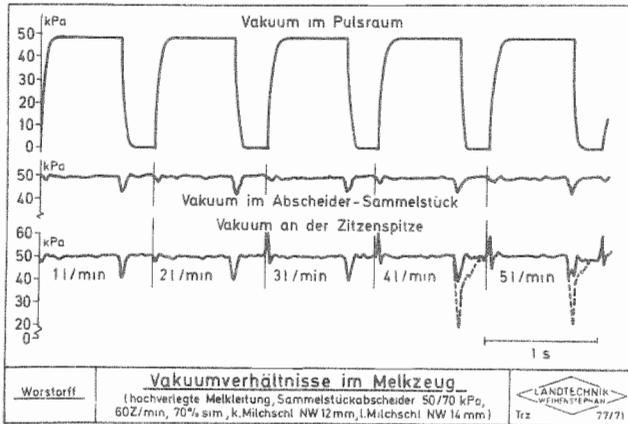


Abbildung 32

Der Vakuumverlauf an der Zitze weist einige Besonderheiten auf, die mit der unmittelbaren Milch-Luft-Trennung zusammenhängen: Die Spitzen beim Übergang von der Saug- zur Entlastungsphase treten im Vergleich zu denen im Abscheiderlumen deutlich hervor. Bei höheren Flüssigkeitsdurchsätzen kann es trotz der großen Nennweite zu einem kurzfristigen Stau in den kurzen Milchsschläuchen kommen, der sich in den gestrichelt dargestellten Nadelimpulsen manifestiert. Durch die Abtrennung des Transportsystems wird nicht mehr hinter dem abfließenden Milchpfropfen ein Vakuum aufgebaut, das auch die Druckverhältnisse im Zitzenbecher beeinflusst, sondern dem kurzen Milchschlauch kommt die Aufgabe zu, bei am Kopf weitgehend abdichtenden Zitzengummis die Flüssigkeit mehr oder weniger allein durch Schwerkraft zu drainieren. Bildet sich unter diesen Umständen im kurzen Milchschlauch ein Pfropfen, so ist die Vakuumversorgung blockiert, und der kollabierende Gummi trifft mit seiner Druckwelle auf eine zwar kurze, aber massive Flüssigkeitssäule. Unter den dargestellten Bedingungen treten naturgemäß ebenfalls die typischen

Öffnungsspitzen auf - hier bis in den Bereich von 60 kPa. Abgesehen von den konstruktiv zu beherrschenden Spitzen ist das Vakuum am Euter auf Nennhöhe.

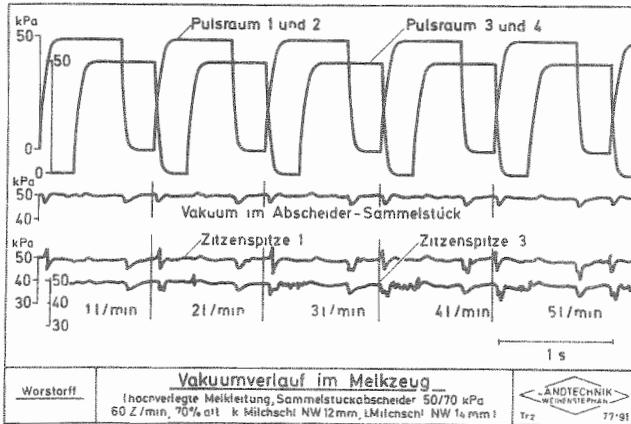


Abbildung 33

Die alternierende Pulsierung unterscheidet sich von der simultanen durch mit dem Wechseltakt zusammenhängende geringere Schwankungen des zitzenendigen Vakuums. Die Spitzen in dem Vakuumbereich treten jedoch nicht - wie bei der simultanen Pulsierung - synchron in allen vier Zitzenbechern auf, sondern bevorzugt auf einzelnen Vierteln. Das ist dadurch zu erklären, daß die Ereigniskette: Kollabieren des Zitzengummis, Druckwelle, Impuls auf Milchsäule im kurzen Milchschauch, Beschleunigung des Pfropfens, Vakuumaufbau unter der Zitze und Öffnen des Zitzengummis von den Druckverhältnissen im Abscheider-Sammelstück, insbesondere der Schwimmertätigkeit, mit beeinflußt werden. Für die Abläufe im einzelnen Zitzenbecher wird damit die zeitliche Folge der Ansteuerung in Relation zum durch Pulsierung und Eigenschwingung geprägten Gesamtzyklus zur bestimmenden Größe. Wie in Abbildung 36 dargestellt, lassen sich die gesamten Spitzen im Abscheider-Melkzeug jedoch durch eine weiche Pulsierung sicher vermeiden, so daß die Zusammenhänge mehr von theoretischem Interesse sind.

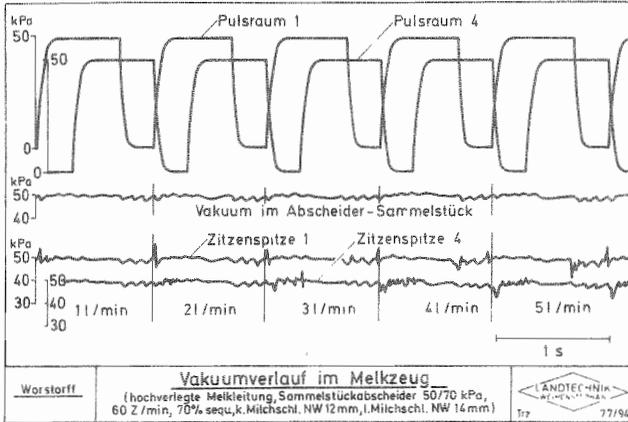


Abbildung 34

Für die sequentielle Pulsierung - auch bei steilem Flankenwinkel - gelten die vorstehenden Aussagen mit dem einzigen Unterschied, daß die Druckwellen der Zitzengummibewegung durch ihr phasenverschobenes Auftreten noch geringer werden.

5.3.2 Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung

Abbildung 35 vermittelt eine Übersicht über Mittelwerte und Spannweite des Durchschnittsvakuums im Melkzeug bei hochverlegter Melkleitung und 50 kPa Nennvakuum in Verbindung mit einem Abscheider-Sammelstück. Als Bezugsgröße dienen die Bedingungen in der Milchflußphase und im Pulszyklus bei gestaffeltem Flüssigkeitsdurchsatz zwischen 0 und 5 l/min:

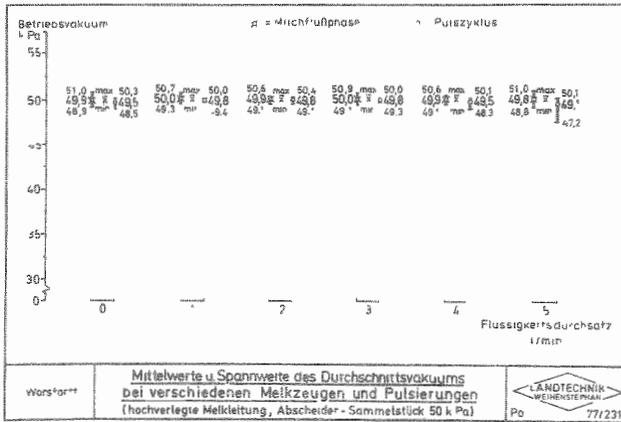


Abbildung 35

Aufgrund der frühzeitigen Trennung von Milch und Luft bei unterschiedlichem Melk- und Transportvakuum traten sowohl in Abhängigkeit von den verschiedenen Pulsierungen als auch vom Flüssigkeitsdurchsatz nur marginale - statistisch nicht signifikante - Unterschiede auf, die sich noch weiter vermindern lassen :

Abbildung 36 veranschaulicht, welche Vakuumverhältnisse an der Zitze erreicht werden können, wenn bei vorhandenen guten milchableitenden Bedingungen der Flankenwinkel der Pulsierung abgeflacht wird : gleichzeitig wird die mögliche Abweichung von Pulsierung und Milchflußphase deutlich.

Die Zitzengummibewegung weicht nur mehr um einen konstanten Betrag vom Pulsatorzyklus ab, der konstruktiv auf die gewünschte Länge der Milchflußphase exakt abgestimmt werden kann. Trotz einer Pulsierung mit etwa $d = 0$, also ohne Druckphase, beträgt die Milchflußphase nicht einmal 50 %, so daß mit Sicherheit eine hervorragende zirkulatorische Entlastung des Zitzengewebes gewährleistet ist. Vor diesem Hintergrund ist die in der DIN (11) vorgesehene Festlegung von "d" auf mindestens

15 % der Dauer eines Pulszyklus nur schwer verständlich

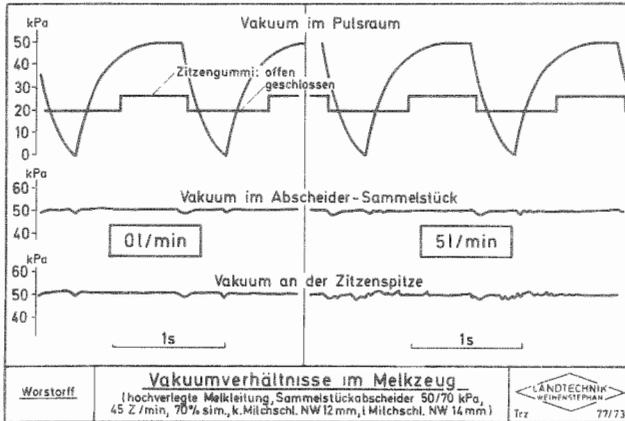


Abbildung 36

Aufgrund der verbleibenden geringen, nicht verfahrensbedingten Unterschiede und der generell hervorragenden Vakuumstabilität wurde für diese Melkverfahren auf eine weitere Analyse der Einflußgrößen verzichtet.

5.3.3 Praktische Schlußfolgerungen

Das Verfahren der Trennung von Milch und Luft im Sammelstück bietet strömungsmechanisch hervorragende Voraussetzungen, um unabhängig von Leitungshöhe und Flüssigkeitsdurchsatz unter Beibehaltung des eingeführten Zweiraumprinzips zu einer stabilen Vakuumapplikation am Euter zu kommen. Es wäre damit von zentraler Bedeutung für Anbindeställe und würde auch im Melkstand zu einer kontrollierten Vakuumapplikation führen. Weiterhin wird die Milch mechanisch extrem schonend entzogen und transportiert, was sich in niedrigen Gehalten an freien Fettsäuren ausdrückt. Sollte dieses Kriterium einmal an Bedeutung gewinnen, so

kommt man bei hohen Anforderungen zwangsläufig an den Punkt, wo weitere Minimierungen durch Veränderungen der Melkanlage ohne Phasentrennung nicht mehr zu erreichen sind.

Auf der anderen Seite stehen der praktischen Einführung des Verfahrens insbesondere Schwierigkeiten mit der Handhabung entgegen, die bedingt sind durch gewisse erforderliche Minimalvolumina zur Trennung von Milch und Luft, wenn es nicht zu größeren Überrißerscheinungen kommen soll. Es gilt also, durch konstruktiv geschickte Ausführung eine Beruhigung des Milchstromes auf kleinstem Raum zu erreichen und trotzdem die Anforderungen der Praxis an Haltbarkeit und Hygiene zu erfüllen. Weiterhin wäre praktisch zu prüfen, ob man das Problem pulsierungsbedingter Spitzen - verursacht durch Drainierungsprobleme der kurzen Milchschläuche - durch einen flachen Flankenwinkel oder z. B. einen minimalen periodischen Lufteinlaß lösen möchte.

Schließlich steht als ungelöste Frage noch die Erfassung der Milchmenge bei der "Milchkontrolle" bzw. regelmäßig vielleicht im Rahmen eines zukünftigen "Managementsystems" im Raum, da alle bisherigen Meßgeräte auf einen konstanten Luftanteil in der Milch angewiesen sind.

5.4 Tiefverlegte Melkleitung

5.4.1 Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug

Abbildung 37 zeigt in ausgeprägter Form den Druckverlauf im Melkzeug bei tiefverlegter Leitung, simultaner Pulsierung und handelsüblichen Schlauchquerschnitten.

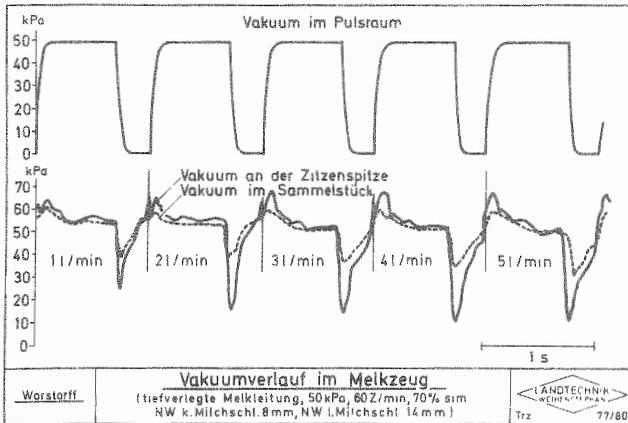


Abbildung 37

Alle Schwankungen verlaufen parallel mit der Pulsierung und sind an der Zitzenspitze naturgemäß stärker ausgeprägt als im Sammelstück. Der charakteristische Kurvenverlauf der zyklischen Schwankung kommt bei der tiefverlegten Leitung noch deutlicher heraus als bei hochverlegter, da der abfließende Milchpfropfen nicht gegen die Schwerkraft beschleunigt werden muß, sondern allenfalls horizontal, so daß die Saugwirkung zwischen dem Milchpfropfen und der Zitzenspitze sich wesentlich stärker ausprägen kann. Das kommt besonders durch das Vakuumniveau im Sammelstück zum Ausdruck, das während der Milchflußphase durchaus über Nennhöhe liegen kann, und äußert sich weiterhin in extremen Spitzen an der Zitze, die bei der dargestellten Meßserie im Labor in den Bereich von 70 kPa vorgestoßen sind.

Entgegen der in der Praxis weit verbreiteten Ansicht, der die summarische Betrachtung von zyklischen und unregelmäßigen Vakuumschwankungen sowie Reibungsverlusten zugrunde liegt, weist eine Melkanlage mit tiefverlegten Leitungen mindestens die gleiche Amplitude der zyklischen Schwankungen an der Zitzenspitze auf wie eine Anlage mit hochverlegten.

Der aus der Praxis bekannte positive Effekt einer tiefverlegten Melkleitung auf die Melkgeschwindigkeit ist also nicht auf bessere Vakuumkonstanz sondern hohes Betriebsvakuum am Euter zurückzuführen, das die Nennhöhe beträchtlich übersteigen kann. Angesichts der Gefahr extremer Spitzen zum höheren Vakuum sollte man auch nicht erstaunt darüber sein, daß derartige Melkanlagen hinsichtlich der Eutergesundheit keine Verbesserungen gebracht haben.

Wie bereits im Kapitel 5.1.1 für die hochverlegte Melkleitung ausgeführt, hat der Übergang von simultaner zur alternierenden bzw. sequenziellen Pulsierung eine Minderung der zyklischen Schwankungen - insbesondere derjenigen über Nennvakuumhöhe - zur Folge. Die Verhältnisse sind in den folgenden beiden Abbildungen für die tiefverlegte Melkleitung veranschaulicht und bedürfen keiner weiteren Erläuterung.

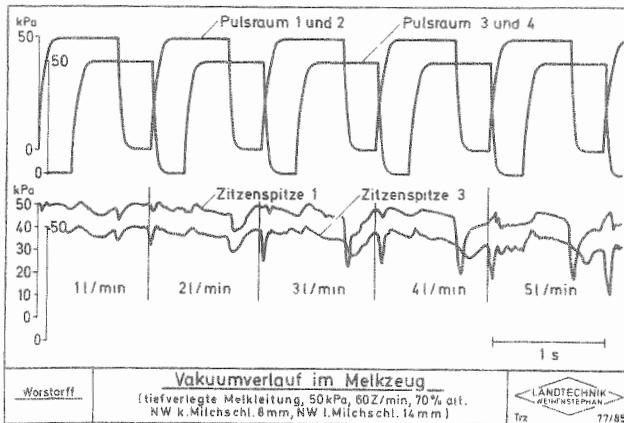


Abbildung 38

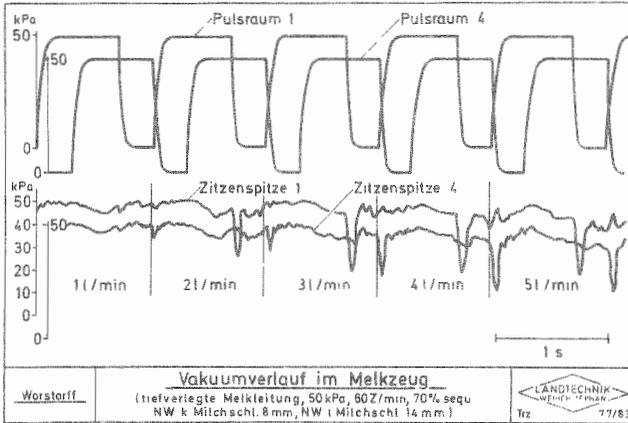


Abbildung 39

5.4.2 Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung unter besonderer Berücksichtigung der technischen Einflußfaktoren

Eine summarische Darstellung der geprüften Varianten mit tiefverlegter Melkleitung bei 50 kPa Nennvakuum und dem Durchschnittsvakuum in der Milchflußphase und im Pulszyklus als Bezugsgrößen ergibt folgendes Bild:

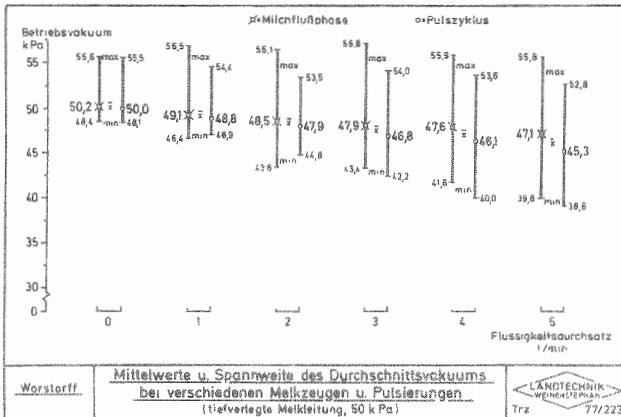


Abbildung 40

Mit steigendem Flüssigkeitsdurchsatz zeigte sich ein annähernd geradliniger Abfall der durchschnittlichen Vakuumhöhe gemittelt über den Pulszyklus. Die Tendenz ist nach dem t-Test statistisch hochsignifikant bei geringen und mittleren Flüssigkeitsdurchsätzen und erreicht bei 4 und 5 l/min aufgrund minimaler Differenzen bei großer Streuung nur mehr knapp die 5 %-Schwelle. Insgesamt ist die Vakuumabsenkung wesentlich weniger ausgeprägt als bei hochverlegter Melkleitung, da der Einfluß des hydrostatischen Druckes der zu fördernden Milchsäule entfällt. Die Minima fallen stärker ab als die Durchschnittswerte, da strömungsmechanische Mängel bei hohen Flüssigkeitsdurchsätzen deutlicher hervortreten. Auf der anderen Seite sind die Maxima annähernd unabhängig von der Durchsatzrate und weisen durchgehend Werte über Nennhöhe - geprägt durch die Bewegungsenergie des abfließenden Milchpfropfens auf. Diese kann aufgrund der nur horizontal oder sogar unterstützt durch Schwerkraft erfolgenden Beschleunigung voll wirksam werden und äußerte sich in einer Spannweite zwischen Minima und Maxima, die diejenige bei hochverlegter Melkleitung nicht nur überstieg, sondern auch teilweise überlappte - wie in Abbildung 4i dargestellt.

Dieser Zusammenhang wird bei Betrachtung der zugehörigen Bedingungen in der Milchflußphase noch deutlicher, da der Mittelwert nicht durch die Addition von Saug- und Entlastungsphase gedämpft wird. Die Mittelwerte sind aufgrund der zunehmenden Streuung nur bei den Flüssigkeitsdurchsätzen bis 2 l/min nach dem t-Test signifikant. Darüber wird hohe Signifikanz erreicht beim Vergleich von Milchflußphase und Pulszyklus innerhalb Flüssigkeitsdurchsatz, was angesichts der Rolle des abfließenden Milchpfropfens für die Ausprägung des Vakuumverlaufs an der Zitzen spitze nicht überrascht.

Insgesamt sind Ansatzmöglichkeiten für strömungsmechanische Verbesserungen auch bei Melkanlagen mit tiefverlegter Melkleitung gegeben, wobei der zentrale Problemkreis das Erreichen hoher Durchschnittswerte bei kleinen Streuungen unter sicherer Vermeidung von Vakuumwerten über

Nennhöhe ist.

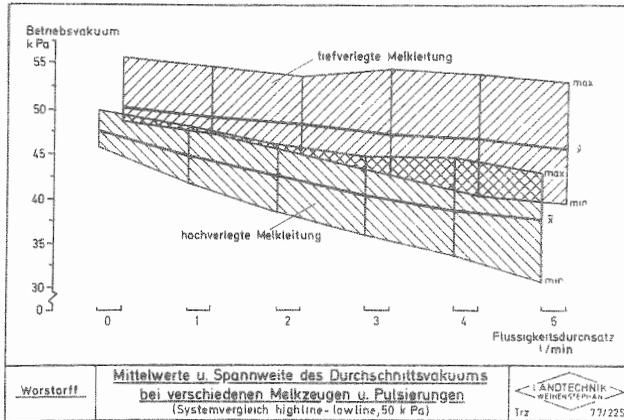


Abbildung 41

Nachdem der Gesamtrahmen der Vakuumstabilisierung aufgezeigt ist, sollen nun die Einflüsse der einzelnen Nebenvariablen nacheinander analysiert werden. Bezugsgrößen sind jeweils das durchschnittliche Vakuum in der Milchflußphase, das durchschnittliche Vakuum im Pulszyklus und die mittlere zyklische Vakuumschwankung bei Flüssigkeitsdurchsätzen zwischen 0 und 5 l/min und - wenn nicht anders angegeben - 50 kPa Nennvakuum.

Nennweite der kurzen Milchschräuche

Tabelle 17 zeigt den summarischen Einfluß gestaffelter Nennweite der kurzen Milchschräuche auf o. a. Bezugsgrößen.

Tabelle 17 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von der Nennweite der kurzen Milchschräuche

NW	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x}_{VH}	zykl. Schwankung		\bar{x}_{VH}	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
mm	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
8	50,4	42,6	57,1	48,5	19,6	58,0
10	48,4	40,5	53,1	47,2	22,4	53,2
12	48,2	40,0	53,1	47,4	32,5	55,1
14	48,0	40,6	52,4	47,3	34,9	52,2

Eine Erhöhung des Durchmessers der kurzen Milchschräuche bewirkte in Kombination mit langen Milchschräuchen der Nennweiten 14, 16 und 19 mm eine statistisch signifikante Senkung der durchschnittlichen Vakuumhöhe. Diese ist deutlicher in der Milchflußphase ausgeprägt, da die verminderte Neigung der den kurzen Milchschräuch passierenden Flüssigkeit zur Pfropfenbildung auch eine verminderte Beschleunigung durch den kollabierenden Zitzengummi nach sich zieht. Diese Zusammenhänge sind auch der Grund dafür, daß die durchschnittlich höchsten Vakuumwerte bei Kombination mit kurzen Milchschräuchen der Nennweite 8 mm erreicht wird; die Nennhöhe des Betriebsvakuums wird in der Schwankungsspitze weit überschritten.

Auf der anderen Seite nimmt durch den zunehmend unbehinderten Druckausgleich zwischen Zitzengummi-Innenraum und Sammelstück sowie der Melkleitung die Breite der zyklischen Schwankung signifikant ab, wenn die Nennweite der kurzen Milchschräuche erhöht wird.

Nennweite des langen Milchschräuches

Eine Erhöhung der Nennweite des langen Milchschräuches bewirkte eine Steigerung des durchschnittlichen Vakuums, insbesondere im Pulszyklus:

Tabelle 18 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von der Nennweite des langen Milchschauches

NW	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
mm	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
14	48,3	37,8	54,3	46,2	23,3	54,2
16	48,7	41,3	53,8	48,0	28,4	54,9
19	49,2	43,8	53,6	48,5	30,3	54,8

Die statistisch signifikante Erhöhung ist bedingt durch verminderte Reibungsverluste, jedoch nicht so ausgeprägt, wie bei Anlagen mit hochverlegter Melkleitung, da bei tiefverlegten Anlagen der lange Milchschauch nur etwa die halbe Länge aufweist, und prinzipbedingt der Einfluß der Hochförderung entfällt. Die Verhältnisse sind in Abbildung 42 unter Berücksichtigung der Nennweite der kurzen und langen Milchschräuche graphisch veranschaulicht :

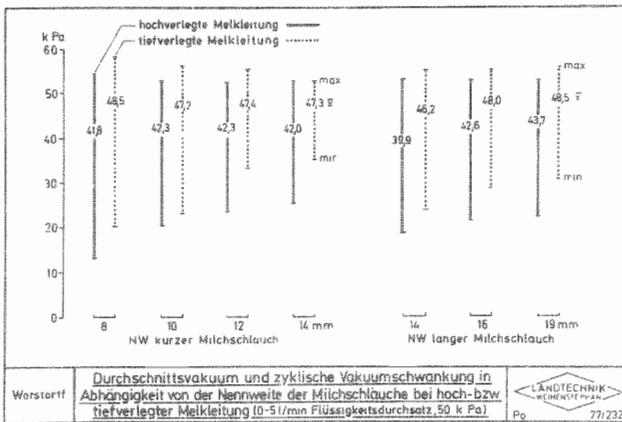


Abbildung 42

Eine Aufschlüsselung der Werte für die tiefverlegte Melkleitung in gestaffelte Kombinationen von kurzem und langem Milchschauch (vgl. Tab. 17 und Tab. 18) bestätigt die Tendenz, daß die Nennweite des kurzen Milchschauches in erster Linie auf die Breite der zyklischen Vakuumschwankung und die Nennweite des langen Milchschauches in erster Linie auf das Durchschnittsvakuum wirkt:

Tabelle 19 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von der Nennweite der Milchschräuche

NW k.Milchschr./ l.Milchschr.	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
mm	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
8/14	50,0	39,3	57,3	47,2	14,5	57,2
8/16	50,4	42,8	57,0	48,8	20,4	58,3
8/19	51,0	45,8	56,9	49,5	23,7	58,4
10/14	47,9	36,3	53,3	45,7	21,3	53,2
10/16	48,5	41,8	53,3	47,7	23,5	53,8
10/19	48,9	43,5	52,6	48,0	22,5	52,7
12/14	47,9	37,3	53,7	46,1	27,8	54,0
12/16	48,1	40,1	52,8	47,8	33,3	55,1
12/19	48,6	42,7	53,0	48,4	36,7	56,3
14/14	47,7	38,1	52,8	46,0	29,7	52,5
14/16	48,0	40,5	52,3	47,6	36,6	52,3
14/19	48,5	43,3	52,0	48,1	38,4	51,8

Die genannten Einflüsse sind naturgemäß bei großem Milchfluß stärker ausgeprägt als bei geringem. Unter Berücksichtigung des Flüssigkeitsdurchsatzes werden daher in der folgenden Abbildung beispielhaft zwei

Kombinationen einander gegenübergestellt und zwar die in der Praxis häufig anzutreffende NW 8/14 mm und eine experimentell eingesetzte NW 12/16 mm, die wohl die Grenze des von der Handhabung her Praktikablen darstellt.

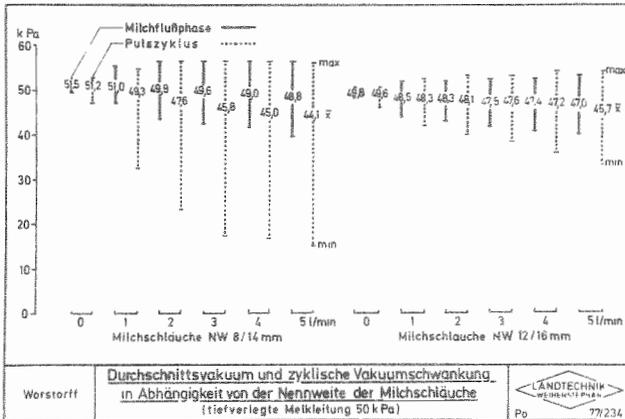


Abbildung 43

Die praxisüblichen Schlauchquerschnitte sind bereits bei geringen Flüssigkeitsdurchsätzen deutlich überlastet, eine Tatsache, die sich in starken zyklischen Schwankungen äußert. Daneben bewirkte die große Beschleunigung der Milchpfropfen beim Kollabieren des Zitzengummis eine regelmäßige Überschreitung der Nennvakuumhöhe. Die Kombination NW 12/16 zeichnete sich dagegen durch vergleichsweise stabile Verhältnisse aus.

Pulsierungssystem

Bei summarischer Betrachtung der verschiedenen Pulsierungssysteme unter Einschluß verschiedener Nennweiten der Milchschräuche ergibt sich folgendes Bild :

Tabelle 20 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit vom Pulsierungssystem

Pulsierung	Milchflußphase			Pulszyklus			
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung		
		min	max		min	max	
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	
ohne	49,8 NS	46,7	51,6	$\left. \begin{array}{l} 48,9 \\ 48,2 \\ 47,4 \\ 47,1 \end{array} \right\} p < 5\%$	46,7	51,6	
simultan	49,4 $p < 5\%$	43,2	56,5		48,2 NS	24,8	58,6
alternierend	48,0 NS	38,8	52,3		47,4 NS	31,7	53,1
sequentiell	47,7	39,8	51,2		47,1	30,3	51,9

Entfällt die Pulsierung, so entfällt auch das zyklische Beschleunigen und Abbremsen der Milch, und es liegen verhältnismäßig gleichförmige Strömungsbedingungen mit nur geringer Schwankungsbreite vor. Das Vakuum in der Milchflußphase und im Pulszyklus ist prinzipbedingt identisch und lag bei einem gestaffelten Flüssigkeitsdurchsatz von 0 - 5 l/min um ca. 7 kPa oberhalb des Wertes für Anlagen mit hochverlegter Leitung. Die Differenz entspricht dem durch die entfallende Hochförderung der Milch gewonnenen mittleren hydrostatischen Druck des Flüssigkeits-Luft-Gemisches. Da die Ableitung des Fluids unterstützt durch Gefälle erfolgt, kommt der zyklischen Beschleunigung der Milchpfropfen nur noch eine geringe Bedeutung zu, und gute durchschnittliche Vakuumwerte werden auch ohne Pulsierung erreicht.

Das alternierende und das sequentielle System sind sowohl hinsichtlich der Vakuumhöhe als auch hinsichtlich der zyklischen Schwankung gleich zu bewerten. Bei der sequentiellen Pulsierung wird zusätzlich eine gewisse Tendenz sichtbar, trotz guter durchschnittlicher Vakuumverhältnisse in der Milchflußphase die Nennvakuumhöhe praktisch nicht zu überschreiten.

In diesem Zusammenhang sei noch einmal an die systembedingten Unterschiede im Durchschnittsvakuum der Milchflußphasen erinnert, die 1,1 kPa für die Melkzeughälften und 1,2 kPa für die einzelnen Zitzenbecher betragen. Im Vergleich zur hochverlegten Melkleitung bedeutet das etwa eine Halbierung der Unterschiede. Das ist natürlich, wenn man sich vor Augen führt, daß das Vakuum in der Milchflußphase bei tiefverlegter Leitung aufgrund der entfallenden Hochförderung der Milch höher und stabiler ist als bei einer Melkanlage mit hochverlegter Melkleitung.

Pulszahl und Länge der Saugphase

Eine weitere Aufschlüsselung der Zusammenhänge unter Berücksichtigung der geläufigen Kombinationen von Pulszahl und Länge der Saugphase (50/50 und 60/70) ist in der folgenden Tabelle gegeben.

Tabelle 21 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von Pulsierungssystem, Pulszahl und Länge der Saugphase

Pulsierung Pulszahl / Saugphase		Milchflußphase			Pulszyklus		
		\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
			min	max		min	max
		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
sim.	50/50	49,3	42,7	56,6	48,2	23,8	58,0
	60/70	49,5	43,9	56,4	48,3	25,9	59,1
alt.	50/50	48,2	38,9	52,8	47,5	30,2	54,0
	60/70	47,9	39,0	52,1	47,3	33,4	52,0
sequ.	50/50	48,5	39,5	51,3	47,1	29,8	52,3
	60/70	48,0	40,0	51,1	47,1	30,9	51,5
TOTAL	50/50	48,7	40,4	53,6	47,6	27,9	54,8
	60/70	48,5	41,0	53,2	47,6	30,0	54,2

Analog zu den eingehend bei hochverlegter Melkleitung dargestellten Verhältnissen ergaben sich zwischen den Kombinationen nur geringe Unterschiede, die durch die entfallende Hochförderung der Milch noch weiter vermindert waren. Unter diesen Bedingungen waren naturgemäß auch in Verbindung mit Pulszahlen und Saugtaktanteilen, wie sie bei milchflußgesteuerten Maschinen in der Nachmelkphase zum Einsatz kommen könnten, keine wesentlichen Änderungen zu erwarten. Der in Tabelle 22 aufgeschlüsselte Vergleich bezieht sich auf einen gemittelten Flüssigkeitsdurchsatz von 0 - 2 l/min, da höhere Milchflußraten bei der gewählten Pulsierung unrealistisch sind. Das Nennvakuum betrug einheitlich 50 kPa, gearbeitet wurde mit Schlauchdurchmessern von NW 10 mm für die kurzen Milchschräuche und NW 14 mm für den langen Milchschrlauch. In der letzten Zeile sind zum Vergleich die Durchschnittswerte der Pulsierungen 50/50 und 60/70 für die angegebenen Bedingungen angeführt. Die Signifikanzgrenze für Unterschiede in der durchschnittlichen Vakuumhöhe liegt bei knapp 1 kPa.

Tabelle 22 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von Pulszahl und Länge der Saugphase

Pulsierung Pulszahl / Saugphase	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
30/30	48,4	45,8	51,8	48,4	39,0	57,1
30/40	48,2	43,8	52,5	48,2	38,6	54,6
40/30	47,9	45,2	52,3	48,2	36,3	56,6
40/40	48,4	44,6	52,2	48,4	39,4	55,6
60/30	49,5	46,9	52,7	49,0	38,2	56,3
60/40	48,9	45,5	52,7	48,8	38,6	56,6
60/60	48,4	44,5	51,4	48,4	39,0	55,6
50/50 u. 60/70	48,5	41,3	52,8	48,0	33,8	52,8

Aufgrund der entfallenden Hochförderung der Milch und der somit geringen Bedeutung der Aufrechterhaltung der Bewegungsenergie für die Höhe des durchschnittlichen Vakuums ergaben sich nur geringe Unterschiede in Abhängigkeit von Pulszahl und Länge der Saugphase. Auch eine Aufspaltung der Resultate nach simultaner und alternierender Pulsierung ändert bei Werten von 48,9 bzw. 48,2 kPa für die Milchflußphase und 48,6 bzw. 48,4 kPa für den Pulszyklus das Bild nicht.

Pulszahl, Länge der Saugphase und gesenktes Betriebsvakuum

Wird zur Förderung des Ausmelkens bei gewebeschonender Vakuumapplikation bei einer milchflußgesteuerten Maschine gegen Ende des Milchentzuges das Nennvakuum auf 35 kPa abgesenkt, so ist - ähnlich den Bedingungen bei hochverlegter Melkleitung - nicht mit größeren pulsierungsbedingten Einflüssen auf die Vakuumhöhe und die Breite der zyklischen Vakuumschwankung zu rechnen. Analog zur vorstehenden Tabelle wurde der Flüssigkeitsdurchsatz über den Bereich 0 - 2 l/min gestaffelt, und die Nennweite der Milchschräuche betrug 10 und 14 mm:

Tabelle 23 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit von Pulszahl und Länge der Saugphase bei 35 kPa Nennvakuum

Pulsierung Pulszahl / Saugphase	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x} VH	zykl. Schwankung		\bar{x} VH	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
30/30	33,9	31,5	38,3	33,4	25,0	38,3
30/40	33,8	29,7	38,2	33,5	24,0	38,8
40/30	33,9	31,0	37,7	33,3	23,8	37,7
40/40	34,7	30,9	39,3	34,5	25,9	39,2
60/30	33,5	28,6	37,5	33,2	24,6	37,5
60/40	33,2	29,5	36,9	33,1	25,3	36,9

Eine Vakuumabsenkung von 50 auf 35 kPa wirkte auf das Durchschnittsvakuum und die zyklische Schwankung in der Milchflußphase parallelverschiebend, ohne in größerem Umfang in das Zusammenspiel der einzelnen Kräfte einzugreifen. Die totale Schwankungsbreite im Pulszyklus war - möglicherweise aufgrund verminderter Energiezufuhr bei gesenktem Nennvakuum - geringfügig vermindert. Der Beschleunigung der einzelnen Flüssigkeitspfropfen kommt nur noch geringe Bedeutung zu, wie sich aus der praktisch identischen Vakuumhöhe von Milchflußphase und Pulszyklus ergibt.

Eine Aufgliederung der Werte nach simultaner und alternierender Pulsierung zeigte nur noch einen Unterschied von 34,3 gegenüber 33,4 kPa in der Milchflußphase und 33,8 gegenüber 33,2 kPa im Pulszyklus. Verglichen mit der hochverlegten Melkleitung hat sich damit der Einfluß der Pulsierung auf das Durchschnittsvakuum an der Zitze halbiert. Angesichts der beabsichtigten Senkung des Betriebsvakuaums ist die Differenz ohne praktische Bedeutung für den Melkprozeß; auch hier ist jedoch der systembedingte Unterschied in der durchschnittlichen Vakuumhöhe beider Melkzeughälften bei alternierender Pulsierung zu berücksichtigen.

Nennvakuum 60 kPa

Analog zu den für die hochverlegte Melkleitung näher dargestellten Verhältnissen wirkte eine Anhebung der Nennvakuumhöhe auf 60 kPa parallelverschiebend auf den Vakuumverlauf im Melkzeug, ohne in größerem Umfang in das Kräftespiel einzugreifen (technische Faktoren wie bei hochverlegter Melkleitung).

Auf die einzelnen Abweichungen in Tabelle 24 soll nicht näher eingegangen werden, da sie möglicherweise nicht ausschließlich mit der geänderten Vakuumhöhe zusammenhängen, sondern vermutlich zusätzlich durch geringe Mengen am Sitzengummikopf eindringender Leckluft beeinflusst wurden.

Tabelle 24 Vakuumverhältnisse im Melkzeug bei 60 kPa Nennvakuum

Vakuummhöhe	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x}_{VH}	zykl. Schwankung		\bar{x}_{VH}	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
60	54,5	43,5	60,3	54,8	38,9	64,8
50	47,1	36,3	52,0	45,9	25,5	52,0
Δ	7,4	7,2	8,3	8,9	13,4	12,8

Flankenwinkel der Pulsierung und Sammelstückvolumen

In Abhängigkeit vom Flankenwinkel der Pulsierung und dem Sammelstückvolumen ergaben sich bei tiefverlegter Melkleitung Vakuumverhältnisse im Melkzeug, die aufgrund gleicher Grundzusammenhänge den bei hochverlegter Melkleitung bereits beschriebenen ähnlich sind:

Tabelle 25 Vakuumverhältnisse im Melkzeug in Abhängigkeit vom Flankenwinkel der Pulsierung und dem Sammelstückvolumen (1 = 130 ml bzw. steil, 2 = 800 ml bzw. flach)

Sammelstückvol. u. Flankenwinkel	Milchflußphase			Pulszyklus		
	\bar{x}_{VH}	zykl. Schwankung		\bar{x}_{VH}	zykl. Schwankung	
		min	max		min	max
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
Sammelstückvol. 1 Flankenwinkel 1	47,1	36,3	52,0	45,9	25,5	52,0
Sammelstückvol. 1 Flankenwinkel 2	46,7	38,5	50,3	46,5	33,6	52,1
Sammelstückvol. 2 Flankenwinkel 1	45,4	38,3	50,9	44,1	23,1	53,9
Sammelstückvol. 2 Flankenwinkel 2	45,8	37,0	50,0	45,5	37,6	50,1

Eine Vergrößerung des Sammelstückvolumens wirkte senkend auf die durchschnittliche Vakuumhöhe in der Milchflußphase. Die Unterschiede sind wegen der entfallenden Hochförderung jedoch weniger stark ausgeprägt als bei hochverlegter Melkleitung, da der Aufrechterhaltung der Bewegungsenergie nicht die gleiche Bedeutung zukommt. Die Breite der zyklischen Vakuumschwankung nahm bei Abflachung des Flankenwinkels deutlich ab und wirkte dadurch erhöhend auf die durchschnittliche Vakuumhöhe im Pulszyklus, während aufgrund der im Vergleich zur hochverlegten Melkleitung geringen Bedeutung der Beschleunigung der Milchpfropfen die Auswirkungen auf die Bedingungen in der Milchflußphase geringer waren.

5.4.3 Praktische Schlußfolgerungen

Bei tiefverlegter Melkleitung entfällt systembedingt der Hochtransport der Milch, und damit erhöht sich das durchschnittliche Vakuum am Euter im Vergleich zu einer hochverlegten Melkleitung automatisch um etwa 7 kPa bei mittlerem Flüssigkeitsdurchsatz und kommt damit der Nennhöhe schon recht nahe. Das zentrale Problem stellt also nicht die Höhe des Betriebsvakuums dar, sondern die hohe Beschleunigung der nicht durch Hochförderung gedämpften Milchpfropfen : Die Gefahr einer regelmäßigen Überschreitung des Nennvakuums durch das Zusatzvakuum des wegströmenden Milchpfropfens ist groß (Kapitel 4.1). Die Breite der zyklischen Schwankungen am Euter ist in der Folge im Vergleich zu einer Anlage mit hochverlegter Leitung nicht gemindert sondern eher vergrößert.

Im Einzelnen ergaben sich folgende Punkte aus den Laborversuchen unter Anwendung eines von größeren strömungstechnischen Mängeln befreiten Melkzeuges (Flüssigkeitsdurchsatz 0 - 5 l/min) :

- Bei Steigerung des Flüssigkeitsdurchsatzes von 0 auf 5 l/min ergab sich eine durchschnittliche Vakuumabsenkung von etwa 4 kPa im Vergleich zu etwa 10 kPa bei hochverlegter Leitung.
- Eine Erhöhung des Durchmessers der kurzen Milchschräuche in Stufen zwischen 8 und 14 mm bewirkte eine signifikante Senkung der durch-

schnittlichen Vakuumbreite und eine Halbierung der zyklischen Vakuumschwankungen.

- Eine stufenweise Erhöhung der Nennweite des langen Milchschauches von 14 auf 19 mm bewirkte eine Steigerung des durchschnittlichen Vakuums im Pulszyklus von etwa 2 kPa.
- Die Prüfung verschiedener Pulsierungssysteme ergab kaum einen Einfluß auf die Höhe des Betriebsvakuums; die Breite der zyklischen Schwankung war ohne Pulsierung mit etwa 5 kPa am geringsten und bei simultaner Pulsierung mit über 30 kPa am größten.
- Analog zu den eingehend bei hochverlegter Melkleitung dargestellten Verhältnissen ergaben sich in Abhängigkeit von Pulszahl und Länge der Saugphase nur geringe - noch durch Fortfall der Hochförderung der Milch verminderte - Unterschiede.
- Eine Änderung der Nennvakuumbreite wirkte etwa parallelverschiebend auf die Vakuumbreite im Melkzeug, ohne in das Kräftespiel in größerem Umfang einzugreifen.
- Eine Vergrößerung des Sammelstückvolumens von etwa 130 ml auf etwa 800 ml senkte das Betriebsvakuum an der Zitze um etwa 1,5 kPa; der Flankenwinkel der Pulsierung hatte kaum noch einen Einfluß auf die durchschnittliche Vakuumbreite. Die Breite der zyklischen Vakuumschwankung nahm bei Abflachung des Flankenwinkels um gut 10 kPa - stärker ausgeprägt bei großem Sammelstückvolumen - ab.

Ansätze zur weiteren Erhöhung des Durchschnittsvakuums bilden analog zu den Verhältnissen bei hochverlegter Leitung einer Vergrößerung der Nennweite des langen Milchschauches, unterstützt durch strömungsmechanisch günstige Formgebung des Melkzeuges und möglicherweise eine Anpassung von Pulszahl und Saugtaktanteil bei alternierender Pulsierung unter zusätzlicher Berücksichtigung der Phasenverschiebung. Da die durchschnittliche Vakuumbreite nicht das zentrale Problem ist, kann auch die Nennweite der kurzen Milchschnäuche mit in die Überlegung einbezogen werden, denn eine geringere Beschleunigung bewirkt eine geringere zy-

klische Schwankung und erbringt damit stabilere Vakuumverhältnisse sowie ein vermindertes Risiko der Überschreitung des Nennvakuum.

In der Milchflußphase lassen sich stabile Werte annähernd auf Nennhöhe in hervorragender Weise durch den periodischen Lufteinlaß erzielen (Kapitel 4.2), und die Trennung von Milch und Luft im Sammelstück (Kapitel 5.5) schließlich stellt eine aufwendige, jedoch sehr sichere Methode zur Erzielung einer kontrollierten Vakuumapplikation am Euter dar.

5.5 Tiefverlegte Melkleitung mit Abscheider-Sammelstück

5.5.1 Allgemeiner Druckverlauf im Melkzeug

Für simultane, alternierende und sequentielle Pulsierung gelten auch unter den Bedingungen einer tiefverlegten Melkleitung und Milch-Luft-Trennung die Ausführungen unter Kapitel 5.3.1, da die Höhe der Melkleitung durch die Trennung von Melk- und Transportsystem ihren Einfluß verliert. Auf der anderen Seite fällt beim Vergleich der Abbildungen auf, daß bei hochverlegter Melkleitung teilweise geringere Schwankungen aufgetreten sind als bei tiefverlegter. Das war insbesondere bei der simultanen Pulsierung und weniger ausgeprägt bei alternierender und sequentieller der Fall. Die Erklärung dafür liegt in der Höhe des Differenzvakuum zwischen Melk- und Transportsystem :

Bei hochverlegten Leitungen erschien ein Differenzdruck von 20 kPa erforderlich, um eine bis zu 2 m lange Milchsäule mit einem spezifischen Gewicht von etwa $\gamma = 1,0$ (geringfügig weniger, da ein minimaler Luftanteil technologisch kaum zu vermeiden ist) gegen die Schwerkraft transportieren zu können.

Bei tiefverlegten Leitungen beschreibt der lange Milchschauch zwar einen kleinen Bogen zwischen Sammelstück und Leitung, der eigentliche Höhen-transport der Milch entfällt jedoch. Aus diesem Grunde wurde das Differenzvakuum auf 10 kPa gesenkt. Das geschah in der Annahme, daß zwar

ein gewisser Differenzdruck zur Vermeidung eines Flüssigkeitsstaus nicht unterschritten werden dürfe, daß jedoch die Größe der über den Minimalwert hinausgehenden Druckdifferenz von untergeordneter Bedeutung sei.

Laborversuche mit unterschiedlichem Niveau von Melk- und Transportvakuum zeigten, daß das nicht der Fall ist, sondern daß die verwendete Abscheiderkonstruktion empfindlich auf die Höhe des angelegten Differenzdrucks reagierte, indem das Öffnen und Schließen des Schwimmers bei zu großem Differenzdruck sehr sprunghaft erfolgte, und das ganze System sich aufschaukelte. Das war insbesondere bei simultaner Pulsierung der Fall und äußerte sich in Vakuumschwankungen unter der Zitze. Bei alternierender und sequentieller Pulsierung waren die Druckwellen systembedingt weniger ausgeprägt und daher auch die Interaktionen zum angelegten Differenzdruck.

Ein annähernd konstanter Vakuumverlauf am Euter ist selbst bei simultaner Rechteckpulsierung zu erreichen, wenn die Druckdifferenz zwischen Melk- und Transportsystem etwa dem hydrostatischen Druck der Milchsäule entspricht. Weitergehende Möglichkeiten zur Stabilisierung stellen - wie für die hochverlegte Melkleitung ausgeführt - eine Abflachung des Flankenwinkels, ggf. in Verbindung mit alternierender Pulsierung, dar.

Nachstehend ist der Druckverlauf im Melkzeug für die simultane, alternierende und sequentielle Pulsierung vergleichend graphisch veranschaulicht; auf die Unterschiede wird nicht näher eingegangen, da die strömungsmechanischen Grundbedingungen bereits erläutert wurden (Kapitel 5.3).

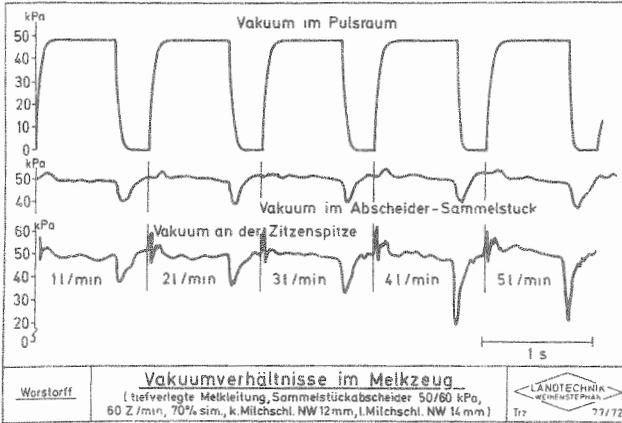


Abbildung 44

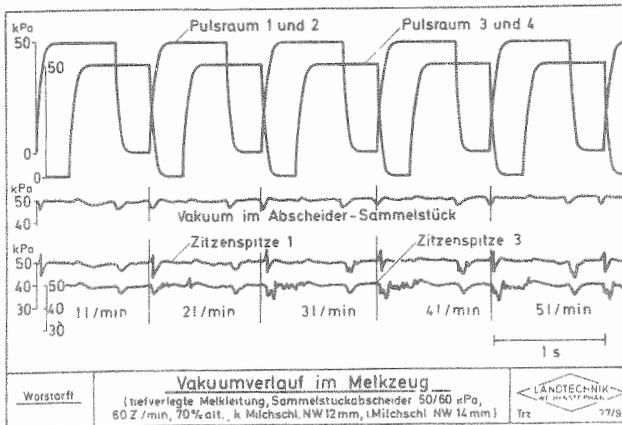


Abbildung 45

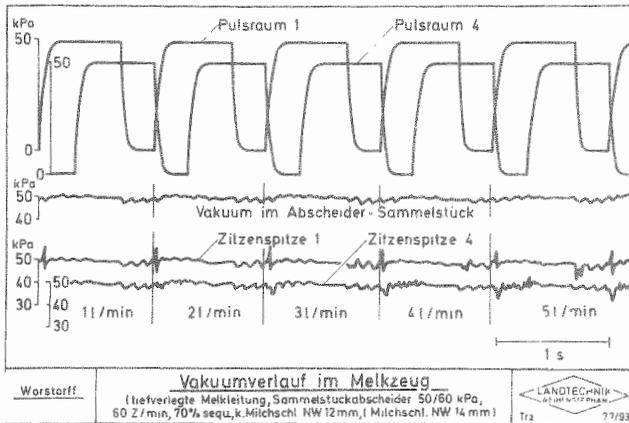


Abbildung 46

5.5.2 Möglichkeiten und Grenzen der Vakuumstabilisierung

Bei Trennung von Milch und Luft im Sammelstück verliert die Höhe der Melkleitung naturgemäß ihren Einfluß auf das Vakuumgeschehen im Melkzeug. Abgesehen von kleineren konstruktionsbedingten Abweichungen, auf die bereits vorstehend hingewiesen wurde, ergab sich daher grundlegend das gleiche Bild für Mittelwerte und Spannweite des Durchschnittsvakuums, wie es bereits für die hochverlegte Melkleitung in Verbindung mit einem Abscheider-Sammelstück dargestellt wurde (Kap. 5.3.2). Beide Systeme waren nicht signifikant voneinander unterschieden.

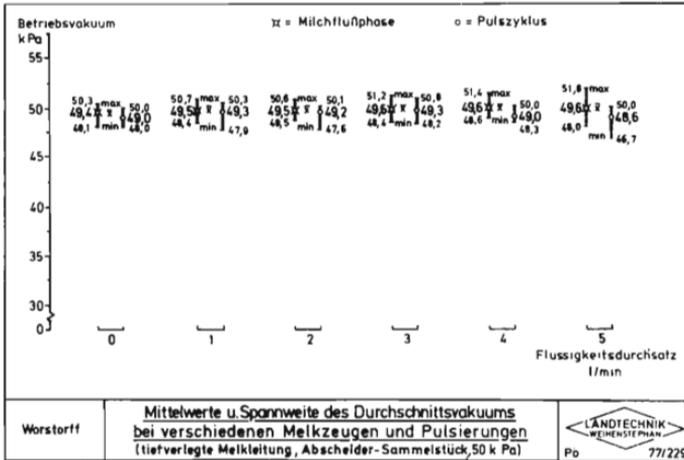


Abbildung 47

- Verschiedene Pulsierungen sind, wie auch verschiedene Flüssigkeitsdurchsätze, ohne signifikanten Einfluß auf die Vakuumverhältnisse im Melkzeug.
- Das zitzenendige Vakuum läßt sich bei Abstimmung vom Differenzdruck zwischen Melk- und Transportvakuum unter Einbeziehung der Pulsierung auf eine bestimmte Konstruktion weitgehend stabilisieren. Damit ist die Voraussetzung für das Einhalten einer gewünschten Länge der Milchflußphase bei einem bestimmten Betriebsvakuum unabhängig vom Milchfluß gegeben.
- Die Milchbehandlung ist systembedingt schonend.

Aufgrund der geringen, mehr konstruktions- als verfahrensbedingten Unterschiede wurde auf eine weitere Analyse der Einflußgrößen verzichtet.

5. 5. 3 Praktische Schlußfolgerungen

Zusätzlich zur grundsätzlichen Bewertung mit den - bereits für andere Verfahren mit Abscheider dargestellten Vorteilen und Problemen - ist die Phasentrennung im Sammelstück bei tiefverlegter Melkleitung (Melkstand) gegen ein normales Melkverfahren bei tiefverlegter Melkleitung abzugrenzen. Allein vom Niveau des Betriebsvakuums her wäre die Trennung von Milch und Luft kaum zu rechtfertigen :

Bezogen auf die Parameter "Durchschnittsvakuum in der Milchflußphase" und "Durchschnittsvakuum im Pulszyklus" ergab sich bereits bei pauschalem Vergleich der Systeme über einen Flüssigkeitsdurchsatz von 0 - 5 l/min nach dem t-Test kein signifikanter Unterschied. Die Abgrenzung müßte also von der Vakuumschwankung her erfolgen. Ähnlich gute Werte - insbesondere in der wichtigen Milchflußphase - sind jedoch bei derzeit geringem technischem Aufwand durch entsprechende Auslegung der Melkeinheit und Auswahl der Melkparameter ggf. unter Einschluß des periodischem Lufteinlasses auch zu erzielen.

Als wesentlicher Vorteil verbleibt somit die schonende Milchbehandlung, ein Kriterium, das möglicherweise einmal an Bedeutung gewinnt.

6. SCHLUSSBETRACHTUNG

Das Angebot der Wettbewerber auf dem Melkanlagensektor präsentiert sich als hochwertiges, ziemlich einheitliches Sortiment, wie es nach ca. 70-jähriger Entwicklung des Zweiraumbechers nicht anders zu erwarten ist. Jüngste Normierungsbestrebungen der ISO und der DIN haben viel zu dieser Vereinheitlichung beigetragen, indem sie eine Faktorenkonstanz fordern, die uns an die Grenze des in der Praxis technisch Realisierbaren führt.

Eine Betrachtung der Anforderungen an die zentralen melktechnischen Parameter Vakuum und Pulsierung zeigt jedoch, daß sich die Werte auf das Leitungssystem, die Luftdurchsätze, den Pulsator etc. beziehen, nicht jedoch auf das einzig und allein für die technische Gestaltung des Melkvorganges entscheidende Geschehen im Melkzeug. Auch bei einer modernen Melkanlage, die den strengen Anforderungen der DIN 11845 entspricht, weicht das Betriebsvakuum am Euter teilweise erheblich vom Sollwert ab. Diese Erkenntnisse wurden gewonnen in einer speziell für die Aufgabenstellung errichteten Labormelkanlage, die eine Analyse der Zusammenhänge unter wirklichkeitsnahen Bedingungen in Verbindung mit einer Meßtechnik mit minimalen Fehlergrenzen ermöglichte.

Abweichungen vom Sollwert sind weniger auf Schwankungen im Leitungssystem zurückzuführen als auf in der Melkeinheit geprägte, durch Pulsierung und Milchtransport bedingte Störungen: Unregelmäßige Vakuumschwankungen lassen sich bei tiefverlegter Melkleitung bzw. einer Eimermelkanlage auf eine Amplitude von wenigen kPa beschränken. Bei hochverlegter Melkleitung dagegen ist mit einem gelegentlichen, meist beim Ansetzen des Melkzeuges auftretenden, kurzen Vakuumabfall in der Größenordnung von 10 - 15 kPa unter Praxisbedingungen zu rechnen.

Bereits bei einem Flüssigkeitsdurchsatz von 2 - 3 l/min treten demgegenüber in jedem Pulszyklus mittlere zyklische Schwankungen an der Zitze in

der Größenordnung von 40 - 50 % des Nennvakuum auf. Diese werden weniger direkt durch die Pulsierung - wie allgemein angenommen - als indirekt durch das abwechselnde Beschleunigen und Abbremsen der wegströmenden Milch in der Melkeinheit verursacht. Bei hochverlegter Melkleitung erfolgt zusätzlich durch die Hochförderung der Milch eine Vakuumabsenkung in der Größenordnung von 7 kPa bei mittlerem Flüssigkeitsdurchsatz.

Da die Pulsierung im eigentlichen Sinne nicht die Pulsatorfunktion sondern die Bewegung des Zitzengummis ist, diese wiederum jedoch vom Differenzdruck durch die Gumm wand in Verbindung mit deren Einfaltdruck gesteuert wird, zieht ein inkonstantes Vakuum automatisch auch eine inkonstante Pulsierung nach sich. Auch hier können die Abweichungen vom Nennwert mit 20 - 30 % erheblich sein ; in der Regel ist die Milchflußphase kürzer als die Saugphase. In der Praxis verbreitete Wartungsmängel tun ein Übriges, um Soll- und Istwert voneinander abweichen zu lassen.

Zusammenfassend läßt sich also feststellen, daß auch bei Anwendung modernster Melktechnik die zentralen Parameter des maschinellen Milchentzuges, Vakuum und Pulsierung, unserem Einfluß am Euter der Kuh weitgehend entzogen sind.

Unter diesen Umständen ist es natürlich, daß für die einzelnen melktechnischen Parameter derzeit nur weite Indifferenzbereiche, keine exakten Zahlen, angegeben werden können, und auch die Klärung der Frage nach dem Zusammenhang zwischen dem maschinellen Milchentzug und der weltweit bedeutsamen Euterkrankheit "Mastitis" nicht mehr entscheidend vorankommt.

Als Anforderung an die Technik ergibt sich somit das Problem: "Eingestellter Sollwert in der Anlage = Istwert am Euter unter allen Betriebsbedingungen", damit die unbefriedigende Situation der Inkonstanz beendet wird. Ist das erreicht, dann werden Melkversuche zeigen, ob sich Optima herauskristallisieren lassen anstelle der Indifferenzbereiche, deren

Einhaltung wir heute bei der Festlegung der technischen Anlageparameter empfehlen. Die Bemühungen sind angesichts der weiten Abweichungen sicher bereits für eine normale Maschine zu rechtfertigen, für eine milchflußgesteuerte Melkanlage sind sie essentiell, wenn man die Parameter kontrolliert variieren will. Zentraler Ansatzpunkt der strömungstechnischen Analysen und Verbesserungen muß bei gegebenem stabilem Leitungsvakuum die Melkeinheit sein.

Den Bemühungen zur Stabilisierung des Betriebsvakuum im Melkzeug stehen vor allem zwei Dinge entgegen : Die Absenkung in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsdurchsatz (mittlerer Wert ca. 4 kPa bei tiefverlegter und 10 kPa bei hochverlegter Melkleitung) und die zyklische Vakuumsschwankung, deren Breite 50 % des Nennvakuum überschreiten kann. In einer Standard-Melkanlage ohne Trennung von Milch und Luft müssen die einzelnen Milchpfropfen zur Erzielung eines hohen Durchschnittsvakuum in der Milchflußphase durch die Pulsierung stark beschleunigt und dann mit möglichst geringen Strömungsverlusten abtransportiert werden. Dieses wiederum ist aus technischen Gründen nur möglich bei verhältnismäßig klein dimensionierten kurzen Milchsschläuchen in Verbindung mit einem nicht zu großen Sammelstück, vorzugsweise simultaner Pulsierung und einem großvolumigen langen Milchschauch. Unter diesen Gegebenheiten treten vergleichsweise hohe zyklische Schwankungen auf, in denen die Nennvakuumhöhe - insbesondere bei tiefverlegter Melkleitung - regelmäßig und z. T. beträchtlich überschritten werden kann, wenn der im langen Milchschauch wegströmende Pfropfen hinter sich periodisch ein Zusatzvakuum aufbaut (Spitzenüberschreitung 10 - 20 kPa). Hält man dagegen die zyklische Schwankung durch eine große Nennweite der kurzen Milchsschläuche, großes Sammelstückvolumen und alternierende bzw. sequentielle Pulsierung mit flachem Flankenwinkel klein, dann wird die Milch weniger beschleunigt und das Durchschnittsvakuum sinkt ab (Differenzwert bis zu 10 kPa).

Verschiedene Kombinationen von Pulszahl (30 - 70 Z/min) und Länge der Saugphase (30 - 70 %) haben nur einen modifizierenden Einfluß auf die dar-

gestellten Vorgänge, der dadurch bedingt ist, daß in Abhängigkeit von der Phasenverschiebung bei Wechseltakt pulsierung die Milchpfropfen vom kollabierenden Zitzengummi in unterschiedlichem Maße beschleunigt werden. Generell lassen sich also die Parameter Pulszahl, Saugphase und Phasenverschiebung nicht bei gleichem Resultat beliebig miteinander kombinieren. Der Einfluß ist bei tiefverlegter Melkleitung aufgrund der entfallenden Hochförderung der Milch und damit geringerer Bedeutung der kinetischen Energie für die Vakuumhöhe kleiner als bei hochverlegter. Eine Änderung des Nennvakuum wirkt demgegenüber im wesentlichen parallelverschiebend auf die Druckverhältnisse im Melkzeug.

Gewisse Verbesserungen unserer heutigen Maschinen lassen sich durch Vergrößerung der Nennweite des langen Milchschauches, unterstützt durch eine strömungsmechanisch günstige Formgebung des Melkzeuges mit einem Sammelstück, das zur Verhinderung eines Rückflusses in flüssiger Form ausreicht, jedoch die Bewegungsenergie der abfließenden Milch in möglichst geringem Umfang mindert, erzielen. Dabei ließe sich das Durchschnittsvakuum in der Größenordnung von gut 10 % verbessern und die zyklische Schwankung etwa halbieren. Bei NW 16 mm dürfte den praktischen Möglichkeiten hinsichtlich einer Erweiterung des langen Milchschauches eine Grenze gesetzt sein.

Vor dem Hintergrund der technischen Verknüpfung von zyklischer Vakuumschwankung und durchschnittlicher Vakuumhöhe lassen sich durch Anwendung dieser Maßnahmen unter Einschluß einer Abstimmung der Pulsierung für die tiefverlegte Melkleitung bzw. eine Eimermelkanlage stabilere Vakuumverhältnisse erzielen als für die hochverlegte, da bei entfallender Hochförderung mehr Spielraum für eine Dämpfung der zyklischen Schwankung besteht.

Die genannten Maßnahmen erfordern viel konstruktive Kleinarbeit und sind wegen deutlicher Grenzen mehr als Ansatzpunkte für eine Produktverfeinerung aufzufassen als als echter, für die Zukunft genügender Lösungsweg für unsere derzeitigen Probleme.

Grundlegende Verbesserungen, wie sie zur Erzielung befriedigender Verhältnisse insbesondere bei sehr hohen Milchflußraten als erforderlich angesehen werden dürfen, lassen sich auf verschiedene Weise erreichen: Der periodische Lufteinlaß greift auf einfache Weise in die zyklische Beschleunigung der wegströmenden Milchpfropfen ein, ohne diese jedoch anschließend abzubremesen. Dadurch wird trotz Beibehaltung des Zweiraum-Grundprinzips und mit insgesamt gleicher eingelassener Luftmenge eine durchschnittliche Vakuumhöhe in der Milchflußphase bei hochverlegter Melkleitung erreicht, wie sie sonst nur von Eimermelkanlagen oder Maschinen mit tiefverlegter Melkleitung bekannt ist (z. B. 46 kPa Durchschnittsvakuum in der Milchflußphase bei 4 Liter Flüssigkeitsdurchsatz pro Minute). Trotz der hohen Beschleunigung der ermolkenen Milch werden Werte über Nennvakuumhöhe verhindert, da sich prinzipbedingt hinter den Pfropfen kein Zusatzvakuum aufbaut.

Weitergehende Maßnahmen zur Stabilisierung der Vakuumapplikation unter Beibehaltung des Zweiraumbeckers bestehen in der Trennung von Milch und Luft und damit der Trennung von Milchentzug und Milchtransport. Nimmt man diese Trennung im Melkzeug vor, so lassen sich Vakuumverhältnisse am Euter erzielen, die vom Flüssigkeitsdurchsatz praktisch unabhängig sind. Gleichzeitig verliert die Leitungshöhe ihre Bedeutung, und die Milch wird mechanisch extrem schonend entzogen, was sich in einem geringen Gehalt an freien Fettsäuren äußert. Das Problem einer hygienisch einwandfreien Abscheidung der Luft auf minimalem Raum (Handhabung) ist wie auch die Milchmengenerfassung bisher nicht befriedigend gelöst.

Nimmt man die Trennung von Milch und Luft separat vom Melkzeug vor, was aus handhabungstechnischen Gründen für Anlagen mit hochverlegter Melkleitung interessant sein könnte, dann erhält man in Abhängigkeit vom Punkt der Phasentrennung Strömungsbedingungen, die zwischen denen einer herkömmlichen und einer Abscheideranlage liegen und denen einer Eimermelkanlage ähnlich sind. Zur technischen Verbesserung sind alle für die normale hoch- bzw. tiefverlegte Melkleitung aufgezeigten Möglichkeiten einsetzbar.

Vakuumtechnisch gesehen bieten Verfahren ohne Pulsierung (Einraumbecher) nur eine weitgehende Beseitigung der zyklischen Vakuumschwankungen (etwa 10 - 20 % der Breite eines normalen pulsierenden Verfahrens), während die Absenkung des Durchschnittsvakuums in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsdurchsatz und einer eventuellen Hochförderung der Milch mindestens so stark ist wie bei einer Anlage mit Zweiraumbecher, da bei ähnlichen Strömungsverlusten eine zyklische Beschleunigung der Milch durch die Pulsierung entfällt. Angesichts der hohen Milchflußraten von Hochleistungstieren wird man daher auf Sicht auch beim Einraumbecher nicht ohne Trennung von Melk- und Transportvakuum auskommen. Weiterhin bestehen beim Einraumbecher noch teilweise ungelöste Probleme hinsichtlich einer wirksamen Stimulation des Tieres und einer befriedigenden zirkulatorischen Entlastung des Sitzgewebes, auf die jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen wird.

Die Bestrebungen zur Erzielung einer kontrollierten Vakuumapplikation können natürlich nicht ohne Auswirkung auf die Gestaltung einer etwaigen Norm bleiben. Die Norm in ihrer heutigen Form (DIN 11845) hat einen wertvollen Beitrag zur Vereinheitlichung des früher unter Wettbewerbsdruck nicht immer vergleichbaren Angebotes für eine bestimmte Anlage (unterschiedliche Pumpen, Leitungen etc.) geleistet. Auf der anderen Seite darf eine Normierung den technischen Fortschritt nicht hemmen, und die einzig relevanten Beurteilungsmaßstäbe für die Qualität des maschinellen Milchentzuges sind nun einmal nicht hohe Anforderungen an die Konstanz des Leitungsvakuums - das ist vielleicht eine Voraussetzung für kontrollierte Vakuumapplikation - sondern Parameter wie Milchmenge, Milchqualität, Eutergesundheit und arbeitstechnischer Aufwand für die Melkarbeit. Somit stellt sich für die Zukunft die Aufgabe, bei grundsätzlichem Einschluß aller Verfahren zum maschinellen Milchentzug derartige Kriterien zu definieren und möglicherweise in einer Norm niederzulegen.

1. Afifi, Y.A.: The Effect of some mechanical Properties of the Milking Machine on Leucocyte Counts in Milk, Neth. Milk Dairy J. 22 (1968) S. 98.
2. Andreae, U.: Melkversuche mit dem Schneltpulsverfahren. Techn. u. Ldw. 7 (1957) S. 162.
3. Andreae, U.: Messungen am Zitzenkanal von Kühen zur Ermittlung der Melkbarkeit. Z.f. Tierz. u. Züchtungsbiol. 71 (1958) S. 289 - 298.
4. Baer, H.v.: Zum Infektionsrisiko der Milchdrüse in Abhängigkeit von strömungstechnischen Bedingungen in Melkanlagen. Diss. Tierärztl. Hochsch. Hannover 1971.
5. Brathlie, O., P. Slagsvold and S. Toller srud: Wide Pulsation Ratio. Alfa-Laval Symp. Hamra (1963) Sonderdruck S. 63-64
6. Braund, D.G. and C.H. Schultz: Physiological and environmental Factors affecting the CMT under Field Conditions. J. Dairy Sci. 46 (1963) S. 197.
7. Clarke, D.J. and A.K. Lascelles: Factors affecting the Milkflow in Pipeline Milking Machines. Austr. J. exp. Agric. Anim. Husb. 5 (1965) S. 115-119 .
8. Clough, P.A.: The short Term Effects of Changes in the Vacuum Level, Pulsation and Cluster Design on the Rate of Milk Flow. Sonderdruck Alfa-Laval Symp. Hamra (1963) S. 42-50 .
9. Cousins, C.L., C.C. Thiel, D.R. Westgarth and T.M. Higgs: Further short-term Studies of the Influence of the Milking Machine on the Rate of new Mastitis Infections. J. Dairy Res. 40 (1973) S. 289-292.
10. Cowhig, M.J.: Factors affecting Milking Performance. Proc. Symp. Mach. Milking, Reading (1968) S. 15-25.
11. Deutsche Normen: Landmaschinen; Begriffe, Mindestanforderungen. DIN 11845 Gelbdruck Januar 1977 .
12. Dillon, W.M., C.M. Brown, J.L. Albright, C.J. Callahan and K.M. Weinland: Influence of wide and narrow Milking Machine Inflatons on Udder Health. J. Dairy Sci. 50 (1967) S. 992.
13. Dodd, F.M. and F.K. Neave : An Evaluation of current Knowledge. Proc. Symp. Mach. Milking, Reading (1968) S. 61-70.

14. Dodd, F.H. and F.K. Neave: Mastitis Control. Biennial Rev. NIRD (1970) Sonderdruck.
15. Dodd, F.H. and E.R. Jackson: The Control of Bovine Mastitis. NIRD Reading (1971) Sonderdruck 130 S.
16. Dodd, F., R. Kingwill, F. Neave, E. Neumeister, C.C. Thiel, D. Westgarth und H. Worstorff: Diskussion über die Bedeutung der Rolle der Melkmaschine im Mastitisgeschehen. NIRD Reading 1974.
17. Flückiger, E.: Eutergesundheit und Melkmaschine. Molkereiz. Welt d. Milch 25 (1970) S. 393-395.
18. Forbes, D.: The Passage of Staph. through the bovine Teat Canal. J. Dairy Res. 35 (1968) S. 399.
19. Gravert, H.O.: Grenzen moderner Tierzucht in neuzeitlichen Haltingsverfahren. Vortrag Weihenstephan 1975.
20. Guallini, L.: Further Observations on the Effects of Machine Milking on Mastitis. Latte 39 (1965) S. 673.
21. Guthy, K.: Über den Einfluß von Umweltfaktoren auf die Eutergesundheit unter besonderer Berücksichtigung der Melkmaschine. TU-München-Weihenstephan, Dissertation 1968.
22. Hupfauer, M.: Vergleichende Untersuchungen von Vakuumventilen und Pulsatoren. Alfa-Laval-Kongreß Berlin (1966) Sonderdruck.
23. International Dairy Federation: A Monograph on bovine Mastitis. Annual Bull. (1971) 83 S.
24. International organization for standardization: Milking Machine Installations (1975).
25. Jansson, T.: The Development of the Milking Machine - A historical Review. Alfa-Laval AB Tumba (1973) Sonderdruck.
26. Kerkhof, J.A.: Drop of Vacuum in Milk Lines. ILR research report Wageningen (1972) Sonderdruck.
27. Kerkhof, J.A. und W. Rossing: pers. Mitteilung 1976.
28. Kleinke, G.: Untersuchungen über die Wirkung der Melkbecher auf die Kuh beim Melken mit der Maschine. Leipzig, Dissertation 1963.

29. Kleinschroth, E.: Funktions- und Fehlerkontrolle von Melkanlagen im Rahmen des Eutergesundheitsdienstes - Ergebnisse und Erfahrungen. Tagung "Neuzeitl. Milchviehhaltung und Tiergesundheit" Weißenstephan (1973).
30. Langelüddecke, H. und H. Kloth: Einfluß hoher Pulszahlen auf die Melkgeschwindigkeit. Z. f. Tierzucht 18 (1964) S. 190.
31. Mein, G.A., P.A. Clough, D.R. Westgarth and C.C. Thiel: A Comparison of the Milking Characteristics of transparent and conventional Teatcup Liners. J. Dairy Res. 37 (1970) S. 535-548.
32. Mein, G.A., C.C. Thiel and D.N. Akam: Mechanics of the Teat and Teatcup Liner during Milking. Information from Radiographs. J. Dairy. Res. 40 (1973) S. 179 - 189.
33. Mein, G.A., C.C. Thiel, D.R. Westgarth and R. J. Fulford: Friction between Teat and Teatcup Liner during Milking. J. Dairy Res. 40 (1973) S. 191-206.
34. Mejer, G. J.: Grundsätzliche physikalische Vorgänge beim pulsierenden und nicht pulsierenden Milchentzug. Sdrh. Ber. Ldw. 190 (1975) S. 93-118.
35. Mejer, G. J.: Messungen über den Einfluß einiger Parameter bei der Gestaltung des Melkbeckers beim pulsierungsfreien Milchentzug und über den Verlauf der Milchleistung beim Wechsel zwischen diesem und dem pulsierenden Entzug. Sdrh. Ber. Ldw. 190 (1975) S. 119-137.
36. Mielke, H. und J. Schulz: Probleme der Eutergesundheit. Tierhygiene Information Eberswalde - Finow (1975) Sonderdruck 176 S.
37. Noorlander, D.O.: Milking Machines and Mastitis. Vlg. Democrat Printing Company Madison, Wisc. (1962) 278 S.
38. Nordegren, S. Å.: Engineering Aspects on Milking Machines. Alfa-Laval Symp. Hamra (1963) Sonderdruck S. 34-40.
39. Nygaard, A.: Body Measurements in Dairy Cows. Agric. Univ. Norway 68 (1973) S. 7-21.
40. Nyhan, J.F. and M. J. Cowhig: Inadequate Milking Machine Reserve and Mastitis. Vet. Rec. 81 (1967) S. 122.
41. Nyhan, J. F.: The Effect of Vacuum Fluctuation on Udder Health. Proc. Symp. Mach. Milking, Reading (1968) S. 71-82.

42. Philipsson, J.: pers. Mitteilung 1974.
43. Phillips, D.S.M., M.W. Woolford, P.J. Millar and E.M. Phillips: A Milking Machine based on the Use of a swinging Vacuum in a single-chambered Teatcup. IDF Seminar on the Control of Mastitis, Reading (1975) Sonderdruck.
44. Rabold, K.: Auswirkungen inkonstanter Vakuumapplikation beim maschinellen Milchentzug. Alfa-Laval Kongreß, Berlin (1966) Sonderdruck.
45. Rabold, K.: Untersuchungen an Milchkühen über die Wirkung der Faktoren Pulsfrequenz, Pulsverhältnis und Melkvakuum auf Melkarbeit und Merkmale der Melkbarkeit. Habilitationsschrift, Hohenheim 1967.
46. Rabold, K., E. Lanser, M. Maynitz und L. Paizs: Biotechnik der Milchgewinnung. Vlg. T.H. Mann, Hildesheim (1974) 138 S.
47. Schels, B.: Untersuchungen an automatischen Melkzeugabnahmeverrichtungen. Diplomarbeit TU München-Weihenstephan 1975.
48. Schmidt, G.H., R.S. Guthrie, R.W. Guest, E.B. Hundtoft, A. Kumar and C.R. Henderson: Effect of Changes of Milking Machine Design on Milking Rate, Machine Stripping and Mastitis. Bull. Cornell Agric. Exp. St. 993 (1963) S. 30.
49. Schmidt-Madsen, P.: Comparative Study of Effect of equal and unequal Phasing of Milking Machines on Udder Health. Medlemsbl. danske Dyrslaeforen, 50 (1967) S. 203.
50. Stanley, D.E., E.M. Kesler and A.L. Bortree: Effect of fluctuating Milking Vacuum on certain Measures of Udder Health. J. Dairy Sci. 45 (1962) 1343 .
51. Statens Redskapsprover: Undersølgelse vedrørende rørmalkeanlæg. S.R.-Byholm /Horsens (1973) Sonderdruck 1000.
52. Steward, W.E. and L.H. Schultz: Effect of Vacuum and Pulsation Rate on Rate of Milking. J. Dairy Sci. 39 (1956) S. 926.
53. Thiel, C.C.: Mechanics of Milking / Forces involved. Alfa-Laval Symp. Hamra (1963) Sonderdruck S. 29-33.
54. Thiel, C.C., P.A. Clough and D.N. Akam: Mechanics of Machine Milking. J. Dairy Res. 31 (1964) S. 303-313.

55. Thiel, C.C., P.A. Clough, D.R. Westgarth and D.N. Akam: Mechanics of Machine Milking : The Flowrate Pattern within single Pulsation Cycles. J. Dairy Res. 33 (1966) S. 177 - 191 .
56. Thiel, C.C.; Forces acting on the Teat. Proc. Symp. Mach. Milking, Reading (1968) S. 3-14.
57. Thiel, C.C., P.A. Clough, D.R. Westgarth and D.N. Akam Factors affecting vacuum within the teacup liner during milking . J. Dairy Res. 35 (1968) S. 303-316.
58. Thiel, C.C., C.L. Thomas, D.R. Westgarth and B. Reiter: Impact Force as a possible Cause of mechanical Transfer of Bacteria to the Interior of a Cow's Teat. J. Dairy Res. 36 (1969) S. 279 .
59. Thiel, C.C., C.L. Cousins, D. R. Westgarth and F.K. Neave: The Influence of some physical Characteristics of the Milking Machine on the Rate of new Mastitis Infections. J. Dairy Res. 40 (1973) S. 117-129.
60. Thiel, C. C. : Mechanics of the Action of the Milking Machine Cluster. Biennial Reviews NIRD Reading (1974) Sonderdruck.
61. Thiel, C. C. : Prevention of Infection (Prophylaxis) - Milking Machine Factors. IDF Seminar on the Control of Mastitis, Reading (1975) Sonderdruck.
62. Tolle, A. und H. Zeidler: Der kontinuierliche Milchentzug - ein experimentell-chirurgisches Verfahren zur Gewinnung steriler Rohmilch. Milchwissenschaft 24 (1969) S. 590-591.
63. Tolle, A. and J. Hamann: Milking without Pulsation by Means of a jacketed Air-Flow Cushion in Single-Chamber Teatcups. IDF Seminar on the Control of Mastitis, Reading (1975) Sonderdruck.
64. Tolle, A., J. Reichmuth, H. Worstorff und J. Hamann: Konventionelle Melkanlagen und Infektionsrisiko der bovinen Milchdrüse. Sdrh. Ber. Ldw. 190 (1975) S. 15-50.
65. Tolle, A. und W.G. Whittlestone: Grundlagen der Hygiene. Kieler Milchw. Forschungsber. (1976) S. 81 - 224
66. Truckenbrodt, E. : Strömungsmechanik, Grundlagen und technische Anwendungen. Springer Vlg. Berlin, Heidelberg, New York (1968) 513 S.
67. Voss, K. : Feldversuch zur Sanierung von Mastitisbeständen unter besonderer Berücksichtigung der Maßnahmen Therapie in der Trockenphase, Überprüfung und ggf. Korrektur der Melkanlage und Zuzendesinfektion. Dissertation Tierärztl. Hochsch. Hannover 1973.

68. Walser, K. : Melkmaschine und Mastitis. Vlg. Paul Parey, Berlin und Hamburg 1966.
69. Whittlestone, W.G. and G.R. Olney: Machine Milking and Mastitis. Austr. J. Dairy Tech, 17 (1962) S. 205.
70. Whittlestone, W.G. : The Principles of mechanical Milking, Vlg. Blackwood and Paul Ltd., Auckland (1968) 221 S.
71. Whittlestone, W.G. and M.A.S. Jones : Contamination of the bovine Streak Canal during Milking. New Zealand Vet. J. 17 (1969) S. 181.
72. Whittlestone, W.G. : Introduction Session III. IDF Seminar on the Control of Mastitis Reading (1975) Sonderdruck.
73. Worstorff, H. : Zum Einfluß strömungstechnischer Bedingungen in Melkanlagen auf die Anzahl somatischer Zellen in der Milch. Dissertation Kiel 1970.
74. Worstorff, H. : Die Melkanlage als Vektor pathogener Keime. Vortrag Hohenheim 1972.
75. Worstorff, H., W. Heeschen, J. Reichmuth und A. Tolle : Freie Fettsäuren in Milch in Abhängigkeit von strömungstechnischen Bedingungen in Melkanlagen, Milchwissenschaft 27 (1972) S. 477-480.
76. Worstorff, H., H.v. Baer, J. Reichmuth, H. Zeidler und A. Tolle : Die Melkanlage als Vektor der Mastitis Infektion, Milchwissenschaft 27 (1972) S. 617-629.
77. Worstorff, H. : Messungen von Rückflußgeschwindigkeiten in verschiedenen Melkzeugen. (1972) unveröffentlicht.
78. Worstorff, H. : Vakuummessungen an verschiedenen Melkzeugen (1973) unveröffentlicht.
79. Worstorff, H. : Schwingungsmelken . (1974). DBP Nr. 2 245 895 und weitere Verfahrenspatente.
80. Worstorff, H. : Mechanical Factors in the Milking Plant affecting the Level of free fatty Acids in Milk. IDF Annual Bull 86 (1975) S. 156 - 161.
81. Worstorff, H. : Vakuumtechnische Untersuchungen an konventionellen und neueren Melksystemen. Vortrag zum III. Melkgespräch am 6./7.Okt. 1976 in Weihenstephan, KTBL - Sonderdruck.

82. Worstorff, H. u. H. Stanzel: Vergleichende Prüfung von Geräten zur Messung der Saugtaktdifferenz bei Pulsatoren in Melkanlagen. Gutachten im Auftrag der LAV, Sonderdruck (1976)
83. Worstorff, H. und H. Stanzel: Untersuchungen zur Bewegung des Zitzengummis in Abhängigkeit von Einfaltdruck, Pulszyklus und Vakuumhöhe in Melkanlagen. Grundlagen der Landtechnik 27 (1977) S. 8-12.
84. Worstorff, H. und T. Hoefelmayr: Zur Strömungsmechanik der Melkeinheit. Milchwissenschaft 1977, im Druck

EDV Programm

85. Auerhammer, H.: VAAN (Vakuumanalyse) Landtechnik Weihenstephan 1976