

# Optimierungsarbeiten mit konstanter bzw. kontrollierter Vakuumapplikation zur Milchabgabe bei Kühen

Von H. WORSTORFF, B. HEINL, H. AUERNHAMMER, H. STANZEL und A. PREDIGER

Landtechnik Weihenstephan

## 1. Einleitung und Problemstellung

Die Bedeutung eines stabilen Vakuums und der exakten Einhaltung von Pulszahl und Länge der Saugphase für einen schonenden und zügigen maschinellen Milchentzug wird in der wissenschaftlichen Literatur wie in der Melkberatung vielfältig hervorgehoben (z.B. 1, 2, 3, 4, 5). Weiterhin stellen kontrollierte Bedingungen die Grundvoraussetzung für eine Optimierung dar. Versuche der Normkommissionen (6), die erforderliche Vakuumapplikation durch Empfehlungen zur Dimensionierung und Auslegung der Melkanlage zu erreichen, können jedoch allein nicht zum Ziel führen: Das Melkvakuum am Euter wird zwar aus der Leitung abgegriffen und ist daher an stabile Vakuumverhältnisse in der Anlage gebunden, aber das Melkzeug selbst beeinflusst die zitzenendigen Vakuumbedingungen und damit die Pulsierung (Bewegung des Zitzengummis) ganz entscheidend. Als wesentlicher Grund hierfür sind die sich gegenseitig beeinträchtigenden Aufgaben „Milchentzug“ und „Milchtransport“ und die damit im Zusammenhang stehenden hydrostatischen und hydrodynamischen Druckverluste sowie die zyklischen Vakuumschwankungen zu nennen (3, 4, 7, 8). Somit ist es ganz natürlich, daß herkömmliche Melkzeuge in einem verhältnismäßig breiten Indifferenzspektrum arbeiten: Vakuumhöhe 40–50 kPa, Pulszahl (45) 50–60 (80) Z/min und 50–70 (75) % Saugphase.

Im vorliegenden Artikel werden Melkversuche aus dem Sonderforschungsbereich 141 vorgestellt, die auf der Basis von weiterentwickelten Melkzeugen mit Trennung von Milch und Luft im Sammelstück bzw. periodischem Lufteinlaß den bisherigen Indifferenzbereich mit dem Ziel einer Eingrenzung und Optimierung überprüfen.

## 2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an 14 Kühen der Rasse Schwarzbunte x Holstein Frisian mit insgesamt 3180 Melkungen im Versuchsgut Wildschwaige der TU München durchgeführt. Dabei wurden die einzelnen Versuchsvariationen im einfachen change-over über jeweils 2 x 5 Tage mit zwischen den Blöcken liegenden 5-tägigen Kontrollphasen gefahren (Melken 2 x täglich, Melkintervall 11/13 Std.). Das Melken im Anbindestall erfolgte unter simulierten highline-Bedingungen mit einem speziell konstruierten Melk- und Registrierwagen (vgl. Abb. 1).

Dabei sind zwei Melkeimer an DMS-Aufnehmern spannungsfrei aufgehängt und mit Linienschreibern zur Aufzeichnung von Milchflußkurven gekoppelt. Die Meßunsicherheit liegt unter 100 g. Über große Digitalanzeigen erhält die Melkperson laufende Information über die ermolene Milchmenge je Minute und das Gesamtgemelk, damit Blindmelken vermieden und insbesondere der für den Beginn des Kontrollgriffes wichtige Schwellenwert von 200 g/min sicher erfaßt werden kann. Die so gewonnenen Milchflußkurven wurden digitalisiert und über das Programm MIKANV (9) auf Mengen-, Zeit- und Flußmerkmale ausgewertet.

Die im Versuch eingesetzten Melkzeuge sind mit ihrer typischen Vakuumapplikation in Abbildung 2 für einen Milchfluß von 3 l/min miteinander verglichen.

Die Trennung von Milch und Luft im Abscheidersammelstück bewirkt eine vollständige Entkoppelung von Milchentzug und Milchtransport und damit Vakuumbedingungen am Euter, die unabhängig vom jeweiligen Milchfluß praktisch auf Nennhöhe verbleiben (konstante Vakuumapplikation). Somit ist auch die Pulsierung gleichbleibend, da Pulskurve und Differenzdruck-Kurve sich invers zueinander verhalten (4, 10).

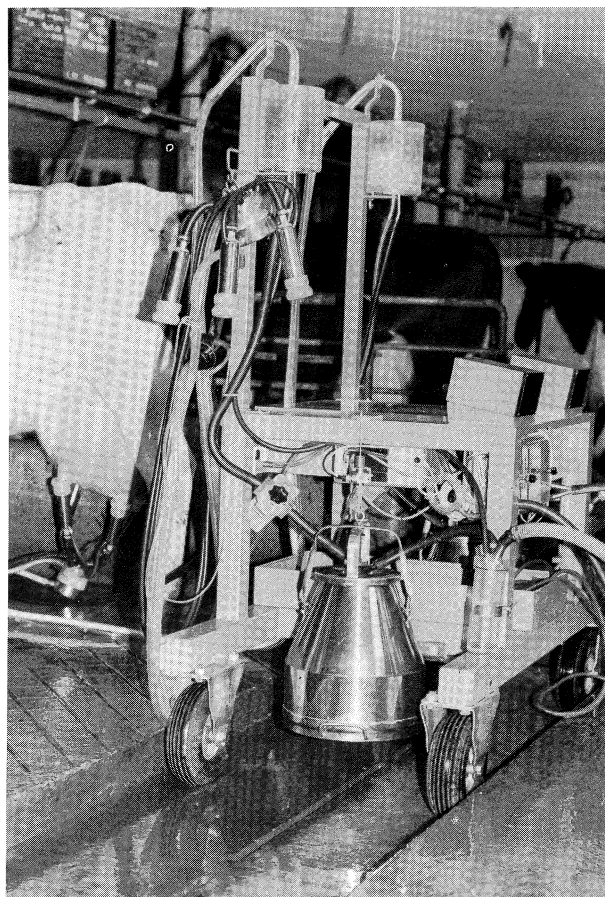


Abb. 1: Melk- und Registrierwagen

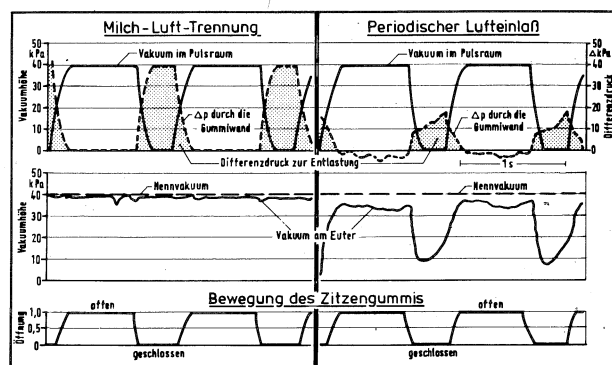


Abb. 2: Vakuumapplikation bei Milch-Luft-Trennung im Abscheidersammelstück bzw. periodischem Lufteinlaß (40 kPa, 60 Z/min, 70 % S, highline, Flüssigkeitsdurchsatz 3 l/min, Einfaltdruck 8 kPa)

Der periodische Lufteinlaß nutzt durch exakt zeitlich abgestimmten Einlaß kleinster Luftmengen in der Entlastungsphase die kinetische Energie der abfließenden Milch zur Vakuumstützung in der Saugphase. Gegenüber herkömmlichen Melkzeugen konnten die Vakuumverluste um etwa 70 % gesenkt werden. Das Vakuum in der Saugphase verbleibt nahe am Nennvakuum, in der Entlastungsphase erfolgt eine periodische Absenkung, so daß die zirkulatorische Entlastung des Gewebes nicht allein durch Differenzdruck sondern durch eine „biologische Entlastung“ vom Vakuum zusammen mit einem sanften Massageindruck des Zitzengummis erfolgt (3, 4). Da die Vakuumapplikation reproduzierbar der Pulskurve folgt, wird sie mit dem Terminus „kontrolliert“ bezeichnet.

Damit standen für die Versuche zwei Melkzeuge zur Verfügung, die – im Gegensatz zur gebräuchlichen Technik – auch unter den Bedingungen einer hochverlegten Melkleitung die Nennwerte für Vakuum und Pulsierung unabhängig bzw. nahezu unabhängig vom Milchfluß am Euter wirksam werden lassen.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Aus den vielen Versuchen sind nachstehend die wichtigsten Ergebnisse tabellarisch bzw. graphisch zusammengefaßt und diskutiert. Bei der Bewertung der Versuchsergebnisse ist zu beachten, daß durch routinemäßiges Melken mit dem periodischen Lufteinlaß bei 39 – 40 kPa in der hochverlegten Anlage die Kühe weitgehend frei von Zitzenverhärtungen waren. Damit wurde erfolgreiches Melken mit Niedrigvakuum ermöglicht, und gleichzeitig wurden schonende Melkverfahren im Versuch nicht mit Verhältnissen belastet, die sie nicht zu verantworten haben. Auf der anderen Seite sind Zitzenverhärtungen anscheinend typisch für unsere bisherige Melktechnik und so lief insbesondere die Standardmaschine aber – aufgrund der Entlastung allein durch Klemmdruck – wohl auch die Maschine mit Milch-Luft-Trennung unter Bedingungen, die diese Melkzeuge im Langzeiteinsatz nicht halten können.

Zunächst werden die Vakuumstufen 40, 45 und 50 kPa untereinander verglichen und zwar bei den heute gebräuchlichen Eckwerten der Pulsatorckenndaten 50 Z/min mit 50 % Saugphase und 60 Z/min mit 70 %. Dabei kamen auch bei diesem Melkzeug die Zitzengummi aus Silikonkautschuk von der Maschine mit periodischem Lufteinlaß zum Einsatz, um nicht einen weiteren Faktor einzuführen (Tabelle 1).

Bei konstanter Vakuumapplikation molk die Kombination 60 Z/min und 70 % Saugphase bei allen Vakuumstufen deutlich schneller als eine Pulsierung mit 50 Z/min und 50 %. Die hier nicht dargestellte Stufe mit 60 % Saug-

phase lag zwischen diesen Werten. Dem gegenüber finden sich in der Praxis bei herkömmlichen Melkzeugen keine deutlichen Unterschiede und auch wissenschaftliche Untersuchungen ließen bisher keine scharfe Optimierung zu (4, 11). Der Einfluß der Vakuumhöhe auf die Milchhergabe trat im Vergleich zum Einfluß der Pulsierung völlig zurück. Damit ergibt sich für die gemolkene Gruppen eine klare Vorzüglichkeit für die Kombination 40 kPa, 60 Z/min und 70 % Saugphase. In Abhängigkeit von der Melkbarkeit der Kühe variiert das optimale Vakuum im Bereich von einigen kPa, wobei das Vakuum mit zunehmender Leichtmelkigkeit abgesenkt werden sollte.

Der Versuch mit der Vakuumstufe 50 kPa mußte nach nurmehr drei Tage abgebrochen werden, da alle Kühe Anzeichen schwerer Irritation zeigten und die Nachgemelke sich im Durchschnitt verdreifacht hatten. Das zeigt, daß Kühe mit natürlich weichen Zitzen die heute gebräuchliche Vakuumhöhe am Euter nicht aushalten.

In diesem Zusammenhang erscheint es arbeitswirtschaftlich und biotechnisch interessant, auf den Verlauf der Nachgemelkmengen hinzuweisen (Abb. 3):

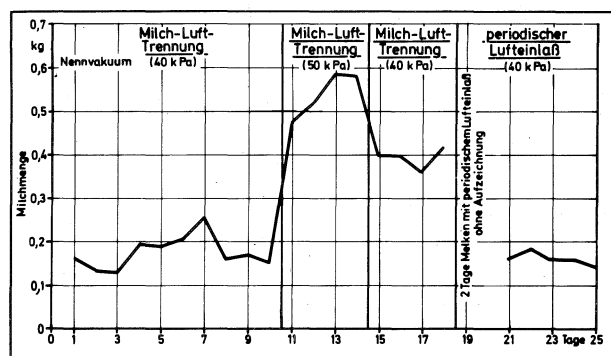


Abb. 3: Maschinennachgemelkmenge in Abhängigkeit von Vakuumhöhe und Melkzeug.

Die Milch-Luft-Trennung konnte bei 40 kPa über die Dauer des ersten change-over die niedrigen Nachgemelke der vorhergehenden Kontrollperiode mit dem periodischen Lufteinlaß halten, war dann aber nicht gleich in der Lage, die infolge der 50 kPa-Applikation gestiegenen Werte wieder auf das alte Niveau zu senken. Der periodische Lufteinlaß stellte dann die hervorragenden Ausgangsbedingungen wieder her. Die hier angesprochenen Zusammenhänge zwischen Vakuumapplikation, Zitzenverhärtung und Ausmelkgrad werden in weiteren Arbeiten des SFB 141 schwerpunktmäßig untersucht.

Tabelle 1: Vakuumapplikation und Milchabgabe (konstantes Vakuum, Mittelwerte je Melkzeit)

Variable Zielgröße	40 kPa		45 kPa		50 kPa	
	50 Z/min/50%	60 Z/min/70%	50 Z/min/50%	60 Z/min/70%	50 Z/min/50%	60 Z/min/70%
Gesamtgemelk (kg)	10,03	10,15	10,72	10,51	10,16	9,97
masch. Nachgemelk (kg)	0,13	0,21	0,17	0,20	0,42	* 0,65
Gesamtzeit (min)	7,39**	5,86	7,15**	5,93	6,18*	5,58
durchschnittl. Minuten- gemelk (kg/min)	1,42	*** 1,81	1,57	*** 1,83	1,68	1,83
Höchster Milchfluß (kg/min)	2,43	*** 3,45	2,63	*** 3,42	3,08	*** 4,03
n	80	80	80	80	32	32

\* p = 95 %, \*\* p = 99 %      \*\*\* p = 99,9 %

Für den periodischen Lufteinlaß erfolgte u.a. eine Untersuchung bei den Vakuumstufen 40, 42,5 und 45 kPa; dabei kam nur eine Saugphase von 70 % mit 50 bzw. 60 Z/min zum Einsatz, da das Melkzeug in seiner störungsmechanisch optimierten handelsüblichen Konfiguration auf 70 % Saugphase abgestimmt ist. Eine Pulsierung mit z.B. 50 % würde eine größere Luftmenge einlassen und damit nicht den gewünschten zitzenendigen Vakuumverlauf erbringen. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, daß angesichts der geringen Vakuumverluste in der Milchflußphase die Ergebnisse mit der Milch-Luft-Trennung auf den periodischen Lufteinlaß weitestgehend übertragbar sind (vgl. Tab. 2):

**Tabelle 2 Vakuumapplikation und Milchabgabe**  
(Per. LE, highline, Mittelwerte je Melkzeit)

Variable Zielgröße	60 Z/min/70 %			
	40 kPa	45 kPa	40 kPa	42,5 kPa
Gesamtgemelk (kg)	9,19	9,17	8,78	8,85
masch. Nachgemelk (kg)	0,21 *	0,32	0,13	0,16
Gesamtzeit (min)	6,53	6,22	6,58	6,29
durchschnittl. Minutengemelk (kg/min)	1,44	1,48	1,38	1,44
Höchster Milchfluß (kg/min)	2,60 ***	2,94	2,52	2,66
n	100	100	100	100

\* p = 95 % \*\* p = 99 % \*\*\* p = 99,9 %

Bei laktationsbedingt im Vergleich zu den Daten von Tabelle 1 leicht gesunkenem Leistungsniveau unterschieden sich die Vakuumstufen 40 und 45 kPa signifikant voneinander, während zwischen den Stufen 40 und 42,5 kPa keine Differenzen mehr gesichert werden konnten. Als Optimalwert ergibt sich damit eine Vakuumhöhe von 42,5 kPa, da tendenziell eine schnellere Milchhergabe erfolgt, während die Vollständigkeit der maschinellen Milchgewinnung noch nicht leidet. Die Ergebnisse befinden sich in hervorragender Übereinstimmung mit denen für die Milch-Luft-Trennung.

Zwischen den Pulszahlen 50 und 60 Z/min ergaben sich aus dem dargestellten Material keine gesicherten Unterschiede. Inzwischen vorliegende Daten aus anderen Versuchen zeigen jedoch, daß insbesondere schwermelkende Tiere mit 60 Z/min – wahrscheinlich aufgrund der besseren Konditionierung des Zitzengewebes – die Milch schneller und vollständiger hergeben.

Bei 45 kPa wird das Optimum für den periodischen Lufteinlaß deutlich überschritten, wie aus den erhöhten Nachgemelken ersichtlich ist. Die Betrachtung der Durchschnittswerte spiegelt die tatsächlichen Reaktionen jedoch nur teilweise wieder, da die Nachgemelkshöhe tierindividuell sehr stark streut; es sind immer gewisse Kühe, die Routine durch erhöhte Nachgemelke stören. Daher wird nachfolgend eine Einzeltierbetrachtung – hier für 50 Z/min, 70 % und die Vakuumstufen 40 : 45 kPa – vorgenommen.

Während die Durchschnittswerte das Verlassen der Optimaleinstellung mit einer annähernden Verdoppelung signalisieren, reagieren empfindliche Kühe mit bis zu 6-fachen Unterschieden (!) im Nachgemelk.

Die dargestellten Versuche zeigen u.E. eindeutig, daß eine scharfe Optimierung von Vakuum und Pulsierung möglich wird, sobald die Bedingungen am Euter nicht mehr durch unkontrollierte Vakuumapplikationen verfälscht werden. Damit sind endlich die Grundvoraussetzungen für eine umfassende biotechnische Optimierung gelegt.

**Tabelle 3: Vakuumhöhe und maschinelles Nachgemelk**  
(period. LE, highline)

Kuh Nr.	Morgengemelke (kg)		Abendgemelke (kg)	
	40 kPa	45 kPa	40 kPa	45 kPa
1	0,07	0,44	0,28	0,28
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,28	0,51	0,16	0,39
4	0,00	0,09	0,09	0,13
5	0,39	0,43	0,20	0,41
6	0,10	0,42	0,00	0,33
7	0,00	0,00	0,00	0,10
8	0,16	0,26	0,20	0,36
9	0,07	0,39	0,30	0,51
10	0,67	0,82	0,64	0,80
$\bar{x}$	0,174	0,336	0,187	0,331
n	50	50	50	50

In einem abschließenden Vergleich der Versuchsmaschinen mit einem Standardmelkzeug bei gleichen Pulsator-kennwerten von 60 Z/min und 70 % sowie einem Nennvakuum von 40 : 42,5 : 50 kPa wurde deutlich:

- Das Melkzeug mit Milch-Luft-Trennung melkt schneller als die anderen, aber nicht so vollständig wie der periodische Lufteinlaß. Die Unterschiede werden insbesondere auf das in der Saugphase bereits in voller Höhe anstehende bzw. jeweils neu aufzubauende Melkvakuum (vgl. Abb. 2) zurückgeführt.
- Es bleibt zu klären, inwieweit die Milch-Luft-Trennung in der Lage ist, bestehende Zitzenverhärtungen abzubauen bzw. weiche Zitzen und die damit in Zusammenhang stehenden Melkleistungen zu erhalten.
- Die Frage der Übertragung von Bakterien bedarf – insbesondere für ein Abscheider-Sammelstück mit seinen Rückspray begünstigenden Bedingungen (vgl. 8, 12) – weiterer Untersuchung. (Die auf dem Markt befindliche Maschine mit Milch-Luft-Trennung in einem separaten Abscheider ist nicht mit der hier dargestellten vergleichbar, sondern in der Vakuumapplikation einer herkömmlichen mit tiefverlegter Leitung ähnlich).
- Das Melken mit dem periodischen Lufteinlaß zeichnete sich insbesondere durch hervorragende Euterentleerung und Zitzenkondition aus. Die Melkgeschwindigkeit lag trotz einer Differenz im Nennvakuum von 7,5 kPa bzw. 10 kPa gleich mit dem Standardmelkzeug, das hier aufgrund der abgebauten Verhärtungen unter nicht typischen Verhältnissen arbeitete. In Umstellungen in der Praxis wird insbesondere dann auch eine Steigerung der Melkgeschwindigkeit beobachtet, wenn die Kühe melkmaschinenbedingte Zitzenverhärtungen aufweisen aber genetisch leicht melkbar sind, und wenn auf Vollständigkeit der Euterentleerung Wert gelegt wird.

#### 4. Literatur

- (1) NOORLANDER, D.O.: J. of Food Protection 40 (9) 643-645 (1977)
- (2) THIEL, C.C., MEIN, G.A.: Machine Milking, NIRD, Reading, 116-155 (1977)
- (3) HOEFELMAYR, T., MAIER, J.: Milchpraxis 17 (2) 65 (1979)
- (4) WORSTORFF, H.: Experimentelle Untersuchungen zur Stabilisierung des Vakuums in der Melkeinheit, MEG 23 (1977)
- (5) STRONKS, G.W., DIEPMAN, A.J.: Geld aus Milch, Vlg. Terra Zutphen (1973)

