

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] *Sabbah, M.A., G.H. Foster, C.H. Haugh u. R.M. Peart:* Effect of tempering after drying on cooling shelled corn. Transactions ASAE, Vol. 15 (1972) No. 4, S. 763.
- [ 2 ] *Klapp, E.:* Mathematische Behandlung gekoppelter Wärme- und Stoffaustauschvorgänge in durchströmten Schüttgütern. Ingenieur-Archiv, Bd. 32 (1963) H. 5, S. 360.
- [ 3 ] *Meiering, A.G., W.H. Clifford u. F.W. Bakker-Arkema:* Drying of a bed of composted waste. Transactions ASAE, Vol. 15 (1972) No. 1, S. 116.
- [ 4 ] *Bakker-Arkema, F.W., L.E. Lerew, S.F. De Boer u. M.G. Roth:* Grain drier simulation. Research Report 224, Mich. State Univ. Exp. Sta., Jan. 1974.
- [ 5 ] • *Slatyer, R.O.:* Plant-Water Relationships. London, New York: Academic Press 1967.
- [ 6 ] *Meiering, A.G.:* Der gekoppelte Wärme- und Stoffaustausch bei der Verarbeitung von Nahrungsmitteln unter besonderer Berücksichtigung der Trocknung von Körnerfrüchten. VDI-Z. Fortschr.-Ber., Reihe 14, Nr. 14, Düsseldorf: VDI-Verlag 1971.
- [ 7 ] *Husain, A., C.S. Chen, J.T. Clayton u. L.F. Whitney:* Mathematical simulation of mass and heat transfer in high moisture foods. Transactions ASAE, Vol. 15 (1972) No. 4, S. 732.
- [ 8 ] *Chen, C.S.:* Simultaneous heat and mass transfer in convective drying of biological materials. Ann. Technol. agric. 22 (1973) 3, S. 305.
- [ 9 ] *Allada, S.R. u. D. Quon:* A stable, explicit numerical solution of the conduction equation for multidimensional, nonhomogeneous media. Chemical Engineering Progress Symposium Series, Vol. 62, No. 64, S. 151.
- [ 10 ] *Baughman, G.R., M.Y. Hamdy u. H.J. Barre:* Analog computer simulation of deep-bed drying of grain. Transactions ASAE, Vol. 14 (1971) No. 6, S. 1058.
- [ 11 ] *Gustafson, B.J. u. G.E. Hall:* Equilibrium moisture content of shelled corn from 50 to 150 °F. Transactions ASAE, Vol. 15 (1974) No. 1, S. 120.
- [ 12 ] *Meiering, A.G. u. H.J. Hoefkes:* Particulate emission in corn drying. Research Report, School of Engineering, Univ. of Guelph, March 1976.
- [ 13 ] *Hoefkes, H.J.:* Particulate emission in corn drying. M. Sc. Thesis, School of Engineering, Univ. of Guelph, May 1976.
- [ 14 ] *Bakker-Arkema, F.W., D.M. Farmer u. L.E. Lerew:* Optimum grain drier design through simulation. Ann. Technol. agric. 22 (1973) 3, S. 275.
- [ 15 ] *Kremer, H.:* Schadstoffemission von Ölbrennern niedriger Leistung mit Druckzerstäubung unter verschiedenen Betriebsbedingungen. Vorabdruck VDI-Bericht Nr. 246, S. 199, Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 16 ] *Hutt, W. u. W. Oelschläger:* Einfluß der Brenneremissionen auf die Gehalte an anorganischen Ablagerungen auf Körnerfrüchten bei direktbeheizten Trocknungsanlagen. Mitteilung Sonderforschungsbereich 140, Landtechnik Hohenheim 1976.

# Untersuchungen zur Bewegung des Zitzengummis in Abhängigkeit von Einfaltdruck, Pulszyklus und Vakuumbreite in Melkanlagen

Von Hermann Worstorff und Hans Stanzel, Weihenstephan\*)

DK 637.125

Melkmaschinenforschung und -entwicklung unterliegen seit einigen Jahren einem deutlichen Wandel in der Zielsetzung von wesentlich arbeitswirtschaftlichen zu mehr qualitativen Merkmalen des maschinellen Milchentzuges. Maßgebend für diese Veränderungen sind Probleme mit der Eutergesundheit sowie der Wunsch, das genetische Potential der Kühe voll auszuschöpfen. Die Entwicklungen werden begleitet von internationalen und nationalen Normierungsbestrebungen bezüglich Terminologie und Mindestanforderungen an Melkanlagen. Das ist als wesentlicher erster Schritt für eine Verbesserung der Maschinen in der Praxis anzusehen. Es ist jedoch seit längerem bekannt, daß die für den maschinellen Milchentzug entscheidenden Faktoren Vakuum und Pulsierung im

Aus den Arbeiten des Sonderforschungsbereiches 141 "Produktionstechniken der Rinderhaltung" an der TU München-Weihenstephan, durchgeführt vom Institut für Landtechnik, Weihenstephan (Direktor: Prof. Dr. H.L. Wenner).

\*) Dr. agr. Hermann Worstorff ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am SFB-Projektbereich "Maschineller Milchentzug", Dr. agr. Hans Stanzel ist Leiter der Meßabteilung der Landtechnik Weihenstephan und verantwortlich für das Teilprojekt "Programmgesteuerte Melkanlagen".

Melkzeubereich auch bei modernen Anlagen einer starken Variation unterliegen. Der vorliegende Artikel analysiert die für die Bewegung des Zitzengummis ausschlaggebenden Kräfte.

## 1. Einleitung

Nachdem durch die Entwicklung leistungsstarker Milchentzugssysteme und milchflußgesteuerter Melkeinheiten wichtige arbeitswirtschaftliche Probleme des maschinellen Milchentzuges einer Lösung näher gebracht worden sind, gilt es nun, die Melkmaschine verstärkt im Hinblick auf Vollständigkeit der Milchgewinnung ohne technologisch bedingtes Nachgemelk bei gleichzeitiger Wahrung einer guten Eutergesundheit zu optimieren. Beide Schritte sind erforderlich, um das genetische Potential der Tiere und die eingesetzten Betriebsmittel maximal zu nutzen und lassen sich unter Beibehaltung der herkömmlichen Melktechnik mit Zweiraum-Zitzenbechern nur durch optimale Anpassung von Vakuum und Pulsierung an die Bedürfnisse des Tieres erreichen. Diese Anpassung wiederum ist technisch nur möglich, wenn beide Faktoren konstant gehalten und ggf. sogar gezielt variiert werden können.

Der vorliegende Beitrag zeigt beispielhaft für den Parameter Saugphase, welche Bedeutung dem Einfaltdruck des Zitzengummis, der Gestaltung des Pulszyklus und der Höhe des Vakuums unterhalb der Zitze zukommen und weist auf die dringende Notwendigkeit hin, die Vakuumapplikation am Euter zu stabilisieren.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Messung des Einfaltdruckes

Ein Zitzengummi öffnet und schließt sich unterhalb der Zitzen- spitze bei einem bestimmten Differenzdruck zwischen Pulsraum und Zitzengummi-Innenraum. Der zum Schließen erforderliche Differenzdruck wird Einfaltdruck genannt und wesentlich von Härte und Dicke des Gummimaterials bestimmt [1]. Die in der Praxis vorkommenden Werte für den Einfaltdruck wurden durch wiederholte Messung an fabrikneuen Doppelproben von 6 Fabri- katen und 18 Typen wie folgt bestimmt:

- Anwärmen der Zitzengummi auf 30 °C im thermostate- gesteuerten Wasserbad, um den beim Melken vorherrschenden Temperaturbereich nachzuahmen und
- Messung des Einfaltdruckes nach dem in Bild 1 dargestell- ten Verfahren.

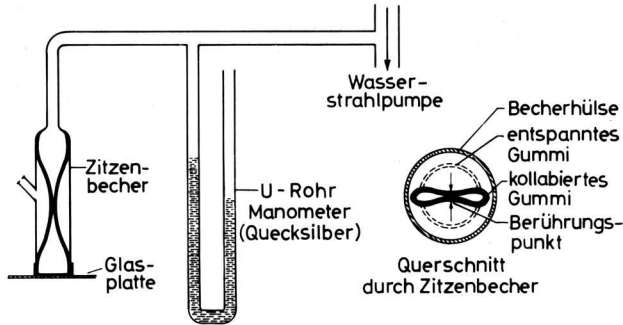


Bild 1. Messung des Einfaltdruckes von Zitzengummi.

Das zu prüfende Zitzengummi wurde am Kopf durch Auflegen einer Glasplatte abgedichtet und der Innenraum über ein T-Stück an ein Quecksilbermanometer und eine Wasserstrahlpumpe angeschlossen, mit der das Vakuum stufenlos eingestellt werden konnte. Durch das Glas wurde das Kollabieren des Gummis beobachtet und am Quecksilbermanometer von einer zweiten Person der Einfaltdruck zu dem Zeitpunkt abgelesen, an dem sich die gegenüberliegenden Gummiwände berührten – wie in Bild 1 rechts schematisch dargestellt. Bei Zitzengummi mit Nachspannmöglichkeit erfolgten die Messungen für jeden Spannung getrennt.

Der mittlere Meßfehler liegt unter 0,005 bar und kann vernachlässigt werden.

### 2.2 Modellrechnungen

Die prinzipiellen Zusammenhänge zwischen Vakuumhöhe an der Zitze, Länge der Phasen im Pulszyklus und Einfaltdruck werden anhand von Modellrechnungen für die in Tafel 1 zusammengestellten, in der Praxis vorkommenden Varianten aufgezeigt.

Um die Abhängigkeiten klar zum Ausdruck zu bringen, wurde die Vakuumhöhe innerhalb der jeweiligen Stufe bewußt konstant gehalten. Sie ist als Durchschnittswert des unregelmäßig und zyklisch schwankenden Vakuums aufzufassen und spiegelt mit 0,5 bar Verhältnisse wieder, die nur ohne Milchfluß erreicht werden. Eine gemittelte Vakuumhöhe von 0,35 bar dagegen ist durchaus selbst für moderne Melkanlagen bei einem hohen Flüssigkeitsdurchsatz realistisch, und extreme Senkungen können in Verbindung mit dem Melkzeugwechsel oder bei unzureichender Dimensionierung von Vakuumpumpe und Leitungen für kürzere oder längere Zeiträume auftreten.

Die Beziehungen zwischen Vakuumhöhe und Bewegung des Zitzengummi werden nachstehend für einen Pulszyklus mit einer Saugphase von 65 % beispielhaft erläutert, Bild 2.

| Einfaltdruck bar  | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| Vakuümhöhe bar    | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| Pulsphasen 1)     |      | a    | b    | c    | d    |
| Dauer der Phase % |      | 5    | 65   | 5    | 25   |
|                   |      | 5    | 65   | 15   | 15   |
|                   |      | 10   | 60   | 15   | 15   |
|                   |      | 25   | 40   | 25   | 10   |
|                   |      | 10   | 55   | 25   | 10   |
|                   |      | 5    | 45   | 5    | 45   |
|                   |      | 20   | 30   | 20   | 30   |

Tafel 1. Varianten von Einfaltdruck, Vakuumhöhe und Pulszyklen in den Modellrechnungen.

1) In diesem Beitrag werden die im Normenentwurf ISO/DIS 3918 "Melkanlagen, Begriffe – Mindestanforderungen" festgelegten Bezeichnungen verwendet, Auszug:

Der Pulszyklus ist ein vollständiges Arbeitsspiel der Zitzengummi. Der Pulszyklus besteht (siehe auch Bild 2) aus 4 Phasen:

|                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| Evakuierungsphase (a) | Saugphase (a + b)        |
| Vakuümphase (b)       |                          |
| Belüftungsphase (c)   | Entlastungsphase (c + d) |
| Druckphase (d)        |                          |

Die Dauer einer jeden Phase wird in % der Dauer des gesamten Zyklus ausgedrückt und gemessen zwischen den Schnittpunkten der Kurve mit Linien, die parallel zur Abszisse 0,04 bar oberhalb des atmosphärischen Druckes und 0,04 bar unterhalb des Nennvakuums verlaufen.

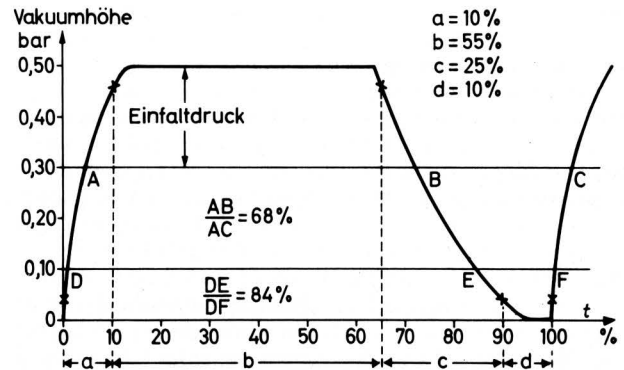


Bild 2. Zeitlicher Verlauf der Vakuumhöhe im Pulsraum zur Ermittlung der Länge der Zitzengummi-offen-Phase in Abhängigkeit von der Vakuumhöhe bei gegebenem Einfaltdruck.

Für ein Zitzengummi mit dem angenommenen Einfaltdruck 0,2 bar bestehen folgende Gesetzmäßigkeiten: Bei einem konstanten Vakuum an der Zitzen spitze von 0,5 bar 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 Vakuumhöhe 0,5 bar im Abstand 0,2 bar – entsprechend dem Einfaltdruck. Das Verhältnis der Strecken AB : AC gibt den Zeitanteil des Pulszyklus an, in dem das Zitzengummi geöffnet ist, und wird nachfolgend in Anlehnung an die genormten Bezeichnungen als Zitzengummi-offen-Phase bezeichnet, die unter den dargestellten Bedingungen 68 % beträgt.

Senkt sich das Durchschnittsvakuum unter der Zitzen spitze um beispielsweise 0,2 bar, so wird die Linie ABC zur Berechnung 0,2 bar in Richtung auf die Atmosphärenlinie (Abszisse) parallelverschoben und läuft durch die Punkte DEF.

Es ergibt sich eine Zitzengummi-offen-Phase von 84 % und eine Abweichung von 19 % vom Nennwert der Saugphase von 65 %.

### 2.3 Experimentelle Überprüfung

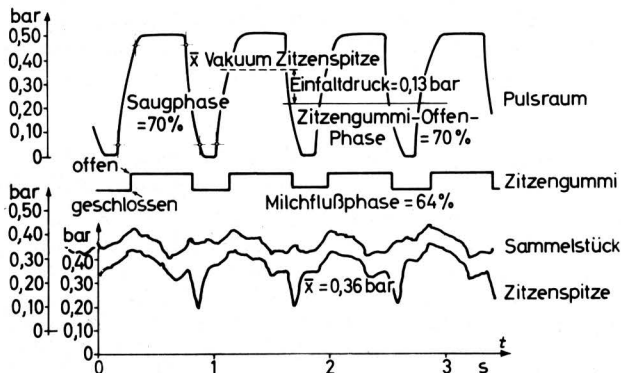
Die in den Modellrechnungen aufgezeigten Beziehungen zwischen Pulszyklus, Zitzengummibewegung und Vakuum im Melkzeug wurden im Labor unter folgenden Bedingungen überprüft:

- Zitzengummi mit 0,13 bar Einfaltdruck
- Pulsierung alternierend links/rechts mit 55 Doppeltakten pro Minute und den Phasen im Pulszyklus: a = 21 %, b = 51 %, c = 11 % und d = 17 %
- Betriebsvakuum 0,5 bar
- hochliegende Milchleitung mit NW 38
- Sammelstückvolumen ca. 130 ml
- Flüssigkeitsdurchsatz im Versuchsmelkzeug 0–6 l/min in Stufen von 1 l/min.

Der Druck im Pulsraum, im Sammelstück und an der Zitzenspitze wurde mit je einem DMS-Aufnehmer gemessen und mit einem Lichtstrahloszillographen aufgezeichnet, die Zitzengummibewegung zur Bestimmung der sog. Milchflußphase mit einer auf 50 % des Zitzengummieweges zwischen offen und geschlossen eingestellten Lichtschranke. Nach DIN 11 845 [2] ist die Milchflußphase der Zeitanteil, während dessen Milch aus der Zitze fließt. Seine Dauer wird ausgedrückt in Prozent der Dauer eines vollständigen Pulszyklus und ist charakterisiert durch die Periode zwischen halb geöffnetem und halb geschlossenem Zitzengummi [3]. Die Milchflußphase ist das biologische Pendant zum technischen Parameter Saugphase und sollte mit ihr daher möglichst gleich sein. Naturgemäß ist dagegen die Milchflußphase immer kleiner als die aus Einfaltdruck und Vakuumhöhe berechnete Zitzengummi-offen-Phase, da erstere durch halbe Öffnung bzw. Schließung des Zitzengummis charakterisiert ist, während der Einfaltdruck abgelesen wird, wenn sich die gegenüberliegenden Gummiwände berühren.

**Bild 3** stellt in Oszillogrammform beispielhaft die Verhältnisse im Melkzeug bei einem Flüssigkeitsdurchsatz von 3 l/min unter den genannten Versuchsbedingungen dar.

Die obere Kurve zeigt den zyklischen Wechsel der Vakuumhöhe im Pulsraum zwischen 0 und 0,5 bar. Darunter befindet sich das Signal der Lichtschranke. Die untere Signalstellung zeigt das mehr als halb geschlossene, die obere das mehr als halb geöffnete Zitzengummi und damit die Milchflußphase an. Die unteren Kurven geben die Vakuumverhältnisse im Sammelstück und an der Zitzenspitze wieder. Durch Planimetrieren der Vakuumhöhe an der Zitzenspitze kann der zeitliche Mittelwert des Vakuums ermittelt und damit die Zitzengummi-offen-Phase für die beschriebenen Bedingungen errechnet werden. Die Druckaufzeichnung erfolgte mit einem Meßfehler in der Größenordnung von unter 2 %, die Lichtschranke schaltet auf einem Spalt von 0,3 mm.



**Bild 3.** Vakuum und Pulsierung im Melkzeug. (Flüssigkeitsdurchsatz 3 l/min).

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Einfaltdruck verschiedener Zitzengummitypen und -fabrikate

Die Einfaltdrücke der untersuchten Proben sind in **Tafel 2** nach Fabrikat und Typ zusammengefaßt.

Der Mittelwert für den Einfaltdruck der Proben liegt bei 0,136 bar. Fabrikat- und insbesondere typspezifisch treten starke Unterschiede auf. Trotz vorschriftsmäßiger sorgfältiger Einspannung in die Hülse kommen innerhalb der Typen gelegentlich Abweichungen zwischen den beiden untersuchten Proben vor, die nur durch Material- und Fertigungstoleranzen zu erklären sind. Das Nachspannen erhöht unvermuteterweise nicht bei allen Zitzengummis den Einfaltdruck. Diese Eigenschaft scheint unabhängig von der absoluten Höhe des Einfaltdruckes aufzutreten (vgl. Typ Nr. 5, 6, 9, 10 und 11).

| Fabrikat | Typ   | Einfaltdruck [bar]<br>(Mittel aus 2 Messungen) |         | Bemerkungen     |
|----------|-------|--|---------|-----------------|
|          |       | Probe 1  | Probe 2 |                 |
| 1        | 1     | 0,120  | 0,115   | nicht fabrikneu |
|          | 2     | 0,110  | 0,095   |                 |
| 2        | 3     | 0,117  | 0,115   |                 |
|          | 4     | 0,140  | 0,150   |                 |
| 3        | 5     | 0,070  | 0,072   | 1. Spannring    |
|          |       | 0,080  | 0,075   | 2. Spannring    |
|          | 6     | 0,150  | 0,157   | 1. Spannring    |
|          |       | 0,160  | 0,162   | 2. Spannring    |
| 4        | 7     | 0,160  | 0,170   |                 |
|          |       | 0,200  | 0,203   |                 |
|          | 9     | 0,122  | 0,117   | 1. Spannring    |
|          |       | 0,120  | 0,115   | 2. Spannring    |
|          | 10    | 0,130  | 0,150   | 1. Spannring    |
|          |       | 0,133  | 0,150   | 2. Spannring    |
| 5        | 11    | 0,210  | 0,218   | 1. Spannring    |
|          |       | 0,215  | 0,210   | 2. Spannring    |
| 6        | 12    | 0,127  | 0,120   |                 |
|          | 13    | 0,162  | 0,150   |                 |
|          | 14    | 0,153  | 0,128   |                 |
|          | 15    | 0,095  | 0,063   |                 |
|          | 16    | 0,070  | 0,070   |                 |
|          | 17    | 0,132  | 0,135   |                 |
| 18       | 0,143 | 0,137  |         |                 |

**Tafel 2.** Einfaltdruck neuer Zitzengummis bei 30 °C Materialtemperatur.

#### 3.2 Modellrechnungen

Die Ergebnisse der Rechnung sind in **Tafel 3** zusammengefaßt und in **Bild 4** für einen Pulszyklus mit den Phasen a = 10 %, b = 55 %, c = 25 % und d = 10 % graphisch erläutert.

**Tafel 3** läßt zusammen mit **Bild 4** folgende Aussage zu:

1. Die Zitzengummi-offen-Phase erweitert sich mit zunehmendem Einfaltdruck und sinkendem Vakuum.
2. Der Grad der Veränderung der Zitzengummi-offen-Phase wird entscheidend durch die Länge der Phasen a und c im Pulszyklus (Flankenwinkel) beeinflusst. Bei einer Rechteckkurve ( a = c = 0 ) würden keine Abweichungen auftreten, bei einer Sägezahn-Pulsierung ( b = d = 0 ) sind die Abweichungen maximal.
3. Die Differenzen zwischen der Saugphase und der sich aus der Zitzengummibewegung ergebenden Zitzengummi-offen-Phase können erheblich sein.

| Pulsierung<br>Dauer der Phasen[%] | Einfalt-<br>druck<br>[bar] | Vakuümhöhe [bar]            |      |      |      |      |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|
|                                   |                            | 0,50                        | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
|                                   |                            | Zitzengummi-offen-Phase [%] |      |      |      |      |
| a b c d<br>5 65 5 25              | 0,05                       | 65                          | 67   | 68   | 69   | 70   |
|                                   | 0,10                       | 67                          | 68   | 69   | 70   | 71   |
|                                   | 0,15                       | 68                          | 69   | 70   | 71   | 72   |
|                                   | 0,20                       | 69                          | 70   | 71   | 72   | 73   |
|                                   | 0,25                       | 70                          | 71   | 72   | 73   | 75   |
| 5 65 15 15                        | 0,05                       | 66                          | 68   | 70   | 72   | 74   |
|                                   | 0,10                       | 68                          | 70   | 72   | 74   | 77   |
|                                   | 0,15                       | 70                          | 72   | 74   | 77   | 79   |
|                                   | 0,20                       | 72                          | 74   | 77   | 79   | 81   |
|                                   | 0,25                       | 74                          | 77   | 79   | 81   | 84   |
| 10 60 15 15                       | 0,05                       | 60                          | 64   | 67   | 70   | 72   |
|                                   | 0,10                       | 64                          | 67   | 70   | 73   | 75   |
|                                   | 0,15                       | 67                          | 70   | 73   | 75   | 78   |
|                                   | 0,20                       | 70                          | 73   | 75   | 78   | 81   |
|                                   | 0,25                       | 73                          | 75   | 78   | 81   | 84   |
| 25 40 25 10                       | 0,05                       | 41                          | 48   | 53   | 59   | 65   |
|                                   | 0,10                       | 48                          | 53   | 59   | 65   | 70   |
|                                   | 0,15                       | 53                          | 59   | 65   | 70   | 75   |
|                                   | 0,20                       | 59                          | 65   | 70   | 75   | 81   |
|                                   | 0,25                       | 65                          | 70   | 75   | 81   | 88   |
| 10 55 25 10                       | 0,05                       | 56                          | 60   | 64   | 68   | 72   |
|                                   | 0,10                       | 60                          | 64   | 68   | 72   | 76   |
|                                   | 0,15                       | 64                          | 68   | 72   | 76   | 80   |
|                                   | 0,20                       | 68                          | 72   | 76   | 80   | 84   |
|                                   | 0,25                       | 72                          | 76   | 80   | 84   | 88   |
| 5 45 5 45                         | 0,05                       | 45                          | 47   | 48   | 49   | 50   |
|                                   | 0,10                       | 47                          | 48   | 49   | 50   | 52   |
|                                   | 0,15                       | 49                          | 49   | 50   | 52   | 53   |
|                                   | 0,20                       | 49                          | 50   | 52   | 53   | 54   |
|                                   | 0,25                       | 50                          | 52   | 53   | 54   | 55   |
| 20 30 20 30                       | 0,05                       | 32                          | 36   | 41   | 45   | 50   |
|                                   | 0,10                       | 36                          | 41   | 45   | 50   | 55   |
|                                   | 0,15                       | 41                          | 45   | 50   | 55   | 59   |
|                                   | 0,20                       | 45                          | 50   | 55   | 59   | 63   |
|                                   | 0,25                       | 50                          | 55   | 59   | 63   | 68   |

Tafel 3. Dauer der Zitzengummi-offen-Phase in Abhängigkeit von Form des Pulszyklus, Einfaltdruck und Vakuümhöhe.

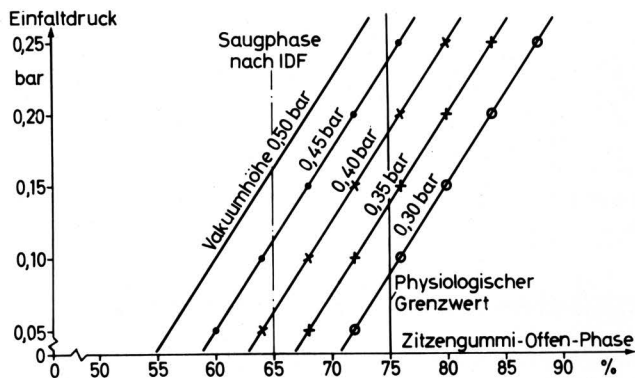


Bild 4. Pulsierung in Abhängigkeit von Einfaltdruck und Vakuümhöhe. (Beispiel für Pulszyklus a = 10 %, b = 55 %, c = 25 %, d = 10 %).

Die Industrie verwendet fabrikatspezifisch unterschiedliche, auf die vorgesehene Pulsfrequenz abgestimmte Saugphasenlängen. Frequenz und Dauer der Saugphase sind aus technischen Gründen nicht unabhängig voneinander, da zur Erzielung der gewünschten Zitzengummibewegung der Pulsraum zyklisch evakuiert und mit atmosphärischem Druck beaufschlagt werden muß. Dafür sind gewisse Zeitspannen erforderlich, deren Länge von den Leitungsquerschnitten in Pulsator und Schläuchen sowie von der Druckdifferenz und den Volumina abhängt. Eine reine Rechteckpulsierung ist also technisch nicht zu erzielen und auch aufgrund der Zusammenhänge zwischen Pulsierung und zyklischen Vakuümschwankungen unerwünscht. Insbesondere die Belüftungsphase c wird gern als langsamer Übergang ausgeführt, s. Bild 2, um ein gewisses "Anschmiegen" des Gummis in der Entlastungsphase zu erreichen und den Vakuümabfall beim Kollabieren des Gummis zu begrenzen [4]. Die Literatur gibt aufgrund der Zusammenhänge von Melkgeschwindigkeit und Eutergesundheit einen Toleranzbereich für die Saugphase von etwa 50 % bis 75 % an [5, 6, 7, 8, 9], der bei der konstruktiven Festlegung dieses Parameters von allen Firmen eingehalten wird. Insbesondere bei einem hohen Milchfluß kommt es aufgrund zyklischer und unregelmäßiger Vakuümschwankungen jedoch zu einem z.T. erheblichen Absinken der mittleren Vakuümhöhe an der Zitze. Daneben können extreme Schwankungen in Verbindung mit dem Melkzeugwechsel speziell bei unzureichender Dimensionierung von Vakuümpumpe und Leitungen für kürzere oder längere Zeiträume auftreten. In der Folge verlängert sich die Zitzengummi-offen-Phase und speziell bei hohem Einfaltdruck kann es zu einer Ausdehnung der Saugphase über den genannten Grenzwert von 75 % kommen. Auf der anderen Seite wird die angestrebte Länge der Saugphase bei Einhalten der Nennvakuümhöhe, einem geringen Einfaltdruck und flachen Flankenwinkeln oft nicht erreicht.

Aufgrund der dargelegten Zusammenhänge zwischen Vakuümhöhe, Einfaltdruck und Form des Pulszyklus ergibt sich die Notwendigkeit, stabile Vakuümverhältnisse in Melkanlagen zu schaffen, sowie dem Einfaltdruck bei der konstruktiven Festlegung von Dauer der Saugphase und Flankenwinkeln der Pulskurve mehr Beachtung zu schenken, damit Saugphase und Milchflußphase möglichst gleich sind. Vor diesem Hintergrund sollten bei einem Fabrikat alle verwendeten Zitzengummitypen etwa den gleichen Einfaltdruck aufweisen.

### 3.3 Experimentelle Überprüfung

Tafel 4 faßt die Ergebnisse der zur experimentellen Untermauerung der Modellrechnungen durchgeführten Laboruntersuchungen zusammen. Dargestellt sind die Beziehungen zwischen Saugphase, Zitzengummi-offen-Phase und dem biologisch interessanten Parameter Milchflußphase unter den im Abschnitt 2.3 aufgezeigten Versuchsbedingungen bei Flüssigkeitsdurchsätzen zwischen 0 und 6 l/min.

| Flüssigkeits-<br>durchsatz | Vakuüm an der Zitzenspitze |            | Saug-<br>phase | Zitzengummi-<br>offen-Phase | Milch-<br>fluß-<br>phase |
|----------------------------|----------------------------|------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|
|                            | Schwankungs-<br>breite     | Mittelwert |                |                             |                          |
| l/min                      | bar                        | bar        | %              | %                           | %                        |
| 0,0                        | 0,42–0,50                  | 0,48       | 70             | 63                          | 55                       |
| 1,0                        | 0,34–0,50                  | 0,44       | 70             | 64                          | 58                       |
| 2,0                        | 0,24–0,47                  | 0,42       | 70             | 67                          | 58                       |
| 3,0                        | 0,20–0,44                  | 0,36       | 70             | 70                          | 64                       |
| 4,0                        | 0,18–0,41                  | 0,33       | 70             | 70                          | 65                       |
| 5,0                        | 0,15–0,40                  | 0,30       | 70             | 72                          | 70                       |
| 6,0                        | 0,14–0,36                  | 0,27       | 70             | 74                          | 74                       |

Tafel 4. Vakuümverhalten und Pulsierung bei gestaffeltem Flüssigkeitsdurchsatz im Melkzeug.

Es wird deutlich, daß mit zunehmendem Flüssigkeitsdurchsatz im Melkzeug bei hochverlegter Milchleitung selbst unter Verwendung eines modernen Sammelstückes erhebliche Vakuumschwankungen an der Zitzenspitze auftreten, die den Mittelwert des Vakuums naturgemäß senken. In der Folge variieren trotz unveränderter Dauer der Saugphase die Zitzengummi-offen-Phase um ca. 10 % und die Milchflußphase um ca. 20 % absolut. Analog zu Bild 4 führt eine Senkung des Vakuums an der Zitze bei gleichbleibendem Einfaltdruck zu einer Verlängerung der Zitzengummi-offen-Phase. Zitzengummi-offen-Phase und Milchflußphase gleichen sich bei steigendem Flüssigkeitsdurchsatz einander immer mehr an, da das Gummi infolge Senkung der durchschnittlichen Vakuumhöhe schneller seine halboffene, die Milchflußphase bestimmende Position erreicht.

Die dargestellten Abweichungen bestätigen die Ergebnisse der Modellrechnungen und zeigen, daß die tatsächliche Milchabgabe der Kuh nur sehr unzureichend durch fabrikatspezifisch ausgewählte Größen von Vakuumhöhe und Dauer der Saugphase charakterisiert wird. Die Abweichungen stehen einer optimalen Anpassung von Vakuum und Pulsierung an die Bedürfnisse des Tieres entgegen, da diese Anpassung biotechnisch nur möglich ist, wenn beide Faktoren konstant gehalten und ggf. in milchflußgesteuerten Melkanlagen sogar gezielt variiert werden können. Die dargestellten Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, stabile Vakuumverhältnisse in Melkanlagen zu schaffen und dem Einfaltdruck bei der konstruktiven Festlegung des Pulszyklus mehr Beachtung zu schenken.

#### 4. Zusammenfassung

In Abhängigkeit von der Dauer der Evakuierungsphase a und der Belüftungsphase c im Pulszyklus, von Einfaltdruck des Zitzengummis und Vakuumhöhe unterhalb der Zitzen treten z.T. erhebliche Abweichungen zwischen Milchflußphase und Saugphase auf. Die

dargelegten Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, stabile Vakuumverhältnisse in Melkanlagen zu schaffen und Einfaltdruck und Form des Pulszyklus konstruktionstechnisch aufeinander abzustimmen.

#### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] *Mielke, H.*: Probleme der Eutergesundheit (II). Sonderheft der Tierhygiene Information, Institut f. Tierhygiene Eberswalde-Finow/DDR 7 (1975) S. 64.
- [ 2 ] –: DIN 11 845 Melkanlagen, Begriffe und Mindestanforderungen. (1976) (in Vorbereitung).
- [ 3 ] *Thiel, C.C., D.R. Westgarth u. D.N. Akam*: Mechanics of machine milking; the flowrate pattern within single pulsation cycles. J. Dairy Sci. Bd. 33 (1966) S. 171/91.
- [ 4 ] ● *Whittelstone, W.G.*: The principles of mechanical milking. Auckland/New Zealand: Blackwood and Janet Paul Ltd. 1968.
- [ 5 ] *Clough, P.A.*: The short term effects of changes in the vacuum level, pulsation and cluster design on the rate of milk flow. Symp. on Mach. Milking, Hamra/Schweden 1963. Sonderdruck.
- [ 6 ] *Hupfauer, M.*: Vergleichende Untersuchungen von Vakuumventilen und Pulsatoren. Alfa-Laval-Kongreß 1966, Berlin. Sonderdruck.
- [ 7 ] ● *Walser, K.*: Melkmaschine und Mastitis. Berlin und Hamburg: Paul Parey 1966.
- [ 8 ] *Rabold, K.*: Untersuchungen an Milchkühen über die Wirkung der Faktoren Pulsfrequenz, Pulsverhältnis und Melkvakuum auf Melkarbeit und Merkmale der Melkbarkeit. Habilitationsschrift Univ. Hohenheim 1967.
- [ 9 ] *Worstorff, H.*: Zum Einfluß strömungstechnischer Bedingungen in Melkanlagen auf die Anzahl somatischer Zellen in der Milch. Diss. Univ. Kiel 1970.

## Optimierung der Arbeitsqualität des Schlagleistendreschwerkes

Von Manfred Eimer, Göttingen\*)

DK 631.354:62-53

Ausgehend von den Bewertungsgrößen des Dreschprozesses wird entsprechend ihren Anteilen an den Gesamtverlusten eines Mähdreschers eine Verlustgröße bestimmt. Optimale Zuordnungen von Getreidedurchsatz und Trommelumfangsgeschwindigkeit werden an Beispielen dargelegt und über Versuche mit einer Einrichtung zur Regelung der Fahrgeschwindigkeit und Dreschtrommel-drehzahl nach dem Erntegutdurchsatz an einem Mähdrescher berichtet. Die Einbeziehung weiterer Größen in die Optimierung wird diskutiert und der Ausbau einer Anlage zur Prozeßoptimierung am Mähdrescher entworfen.

Diese Arbeiten wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens durchgeführt, das auch von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wurde. Für die Bereitstellung der Mittel sei an dieser Stelle gedankt.

Vortrag anlässlich der VDI-Tagung "Landtechnik" in Braunschweig am 23. Oktober 1975.

\*) Privatdozent Dr. sc. agr. Dipl.-Ing. Manfred Eimer ist akademischer Oberrat am Landmaschinen-Institut (Direktor: Prof. Dr.-Ing. F. Wieneke) der Universität Göttingen.

### 1. Einleitung

Unter den vielfältigen Bedingungen des Feldeinsatzes erzielt von den bekannten Dreschorganen [1] das Schlagleistendreschwerk bis heute noch für die meisten Körnerfrüchte – mit Ausnahme von Reis und Sorghum – bei hohen Durchsatzleistungen die beste Arbeitsqualität. Eine weitere Leistungssteigerung der Dreschorgane über eine Vergrößerung der Abmessungen lassen die derzeit gültigen Vorschriften für Fahrzeuge (in der BRD die StVZO) kaum noch zu. So stellt sich die Aufgabe, durch eine bessere Anpassung der Einstellung des Schlagleistendreschwerkes an den Durchsatz und die dreschtechnischen Eigenschaften des Ernteguts die Leistung heutiger Mähdrescher zu steigern. Dies aber setzt vertiefte Kenntnisse über die Zusammenhänge beim Drusch von Körnerfrüchten voraus.

### 2. Aufgabenstellung und Versuchsdurchführung

Grundlage für die Abschätzung einer Dreschleistungs-Qualitäts-Relation bilden die Bewertungsgrößen des Dreschprozesses (Kornabscheidung durch den Dreschkorb, Ausdruschverluste und Bruchkornanteil) aus zahlreichen Versuchsreihen bei variiertem Erntegutdurchsatz sowie unterschiedlichen Einstellungen von Umfangs-