

## 1. Einleitung

Durch die Verlängerung der Leitungsstränge von Rohrmelkanlagen (RMA) über die ursprünglich vom Hersteller beabsichtigte Maximallänge hinaus ergeben sich besonders bei hohem Milchanfall ungünstige Druckverhältnisse.

Schwierigkeiten im praktischen Einsatz dieser Anlagen haben teilweise ihre Ursache in der Verringerung oder in den Schwankungen des Melkvakuums [1] [2] [3].

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen sollten den Einfluß des Drucklösers und des Förderventils auf die Vakuumverhältnisse in der Rohrleitung klären. Die RMA läßt sich in drei Abschnitte untergliedern:

- Melkzeuge einschließlich des langen Milchschlauches bis zur Milchleitung;
- Milchleitung einschließlich Armaturen und Rohrkrümmungen in horizontaler Ebene;
- Steigungsabschnitte, Überbrückungen, Rohrkrümmungen in vertikaler Ebene.

Die Untersuchungen betrafen insbesondere den zweiten Abschnitt.

## 2. Beschreibung der Versuchsanlage

Durch die Gestaltung der Versuchsanlage (Bild 1) wurde der Einfluß des Fördervorgangs vom Melkzeug bis zur Milchleitung und in Steigungsabschnitten der RMA ausgeklammert, um die Vakuumverhältnisse beim Flüssigkeitstransport, den Durchsatz, die Strömungsgeschwindigkeiten und -formen sowie andere Kennwerte der geraden Rohrleitung getrennt erfassen zu können.

Über ein Mengenmeßgerät 5 mit einem Schwimmerventil 6 sowie Absperr- und Dosierleitungen 9 erfolgte die Wassereinspeisung vakuumabhängig in eine gerade Milchleitung 11 mit 0,5 ‰ Gefälle, die aus zusammengesetzten Glasrohren handelsüblicher RMA mit 25 mm NW bestand. Durch den Gaszähler 1 und das gewichtsbelastete Förderventil 2 gelangte atmosphärische Luft in diese Milchleitung 11 (alle Luftdurchsatzmengen bei 760 Torr und 20 °C). Mit Hilfe des Vakuummeters 3 und der entlang der Milchleitung verteilten Druckgeber 12 wurde der Druckverlauf im Rohr beobachtet bzw. durch einen Oszillografen registriert. Zwei Dreivegehähne 13 im Abstand von  $l = 27,8$  m ermöglichten die Bestimmung des mittleren Leitungsfüllgrades, wodurch sich die mittlere Strömungsgeschwindigkeit der flüssigen Phase bestimmen ließ. Am Anfang der Milchleitung kamen wahlweise

\* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim der DAL zu Berlin (Direktor: Obering. O. BOSTELMANN)

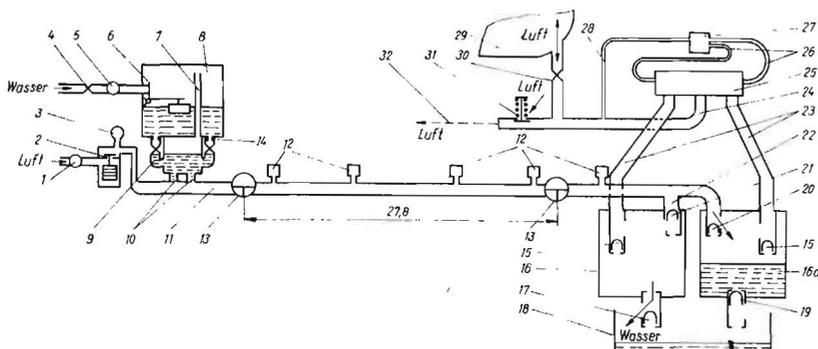


Bild 1

Schemata der Versuchsanlage zur Bestimmung der Beeinflussung des Melkvakuums in RMA durch Förderventil und Drucklöser

1 Gaszähler, 2 Förderventil, 3 Vakuummeter, 4 Absperrhahn, 5 Wasserruhr, 6 Schwimmerventile, 7 Druckausgleichrohr, 8 Dosiergerät, 9 Mengendosierung, 10 Einlauf in die Förderleitung (Milchleitung), 11 Ende der Förderleitung, 12 Druckgeber bei 0; 2,1; 10,9; 20,2 und 29,5 m vom Anfang der Förderleitung, 13 Dreivegehähne, 14 Düsen der Wasserdosierung, 15 Kugelventil I als Schwimmerventil, 16 Behälter des Drucklösers (links), 16 a - do. (rechts), 17 Kugelventil II (offen), 18 Auffangbehälter, 19 Kugelventil II (geschlossen), 20 Kugelventil I (offen), 21 Kugelventil I (geschlossen), 22 vertikaler Leitungsteil über 21, 23 Leitungen zum Pulsverstärker, 24 Vakuumrohrleitung, 25 Pulsverstärker, 26 Leitungen zum Steuerpulsator, 27 Steuerpulsator, 28 Verbindung zwischen 27 und 24, 29 Druckausgleichsbehälter, 30 Absperrhahn, 31 federbelastetes Vakuumregelventil, 32 Leitung zum Zellenverdichter

ein vakuumbeständiger Milchtransportbehälter, ein Drucklöser (Bild 1) oder eine Milchpumpe zur Flüssigkeitssammlung bzw. -ausschleusung zum Einsatz.

## 3. Versuchsprogramm und -durchführung

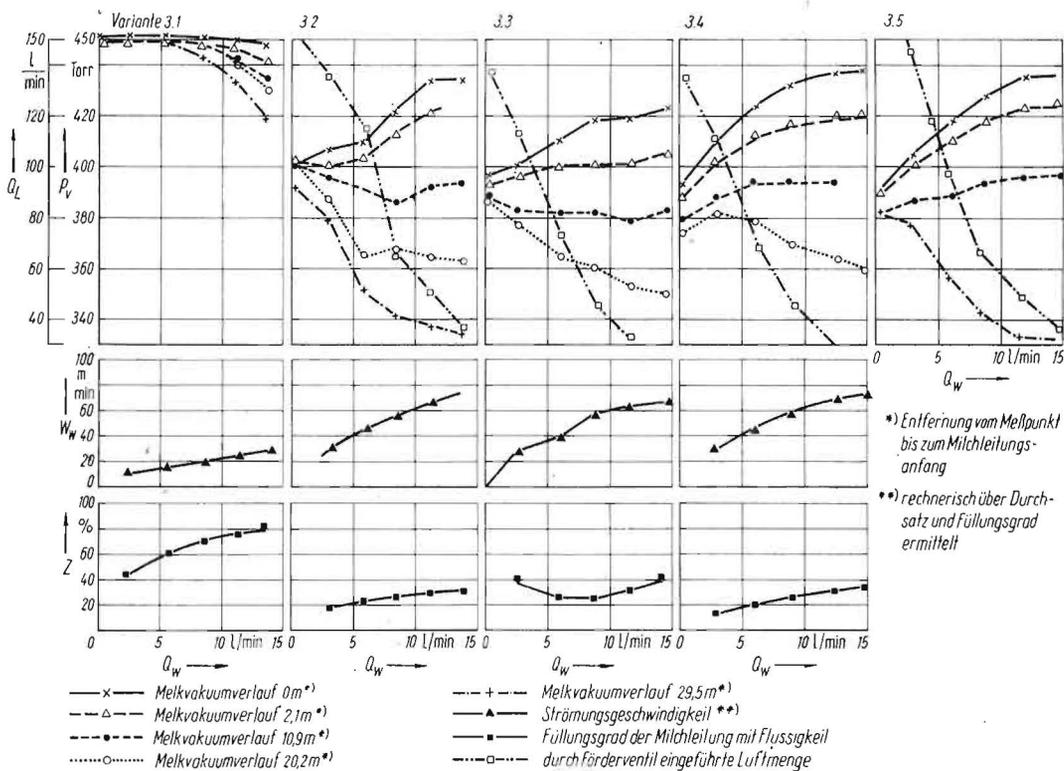
Es wurden folgende Anlagenvarianten bei gleicher Rohrleitung aus Glas (NW 25) untersucht.

- Flüssigkeitssammlung innerhalb des Vakuumsystems in 800-l-Milchtransportbehältern, kein Förderlufteinlaß;
- wie 1, jedoch mit Lufteinlaß durch ein Förderventil;
- Flüssigkeitssammlung außerhalb des Vakuumsystems durch Ausschleusung der Flüssigkeit über einen Druckauslöser, Förderlufteinlaß durch ein Förderventil;
- wie 3, jedoch mit Druckausgleichsbehälter an der Vakuumleitung (800-l-Milchtransportbehälter), dargestellt in Bild 1;
- wie 3, jedoch ohne Drucklöser, sondern Flüssigkeitsausschleusung mit Milchpumpe.

Bei allen Anlagenvarianten wurde die dosierte Wassereinspeisung in 5 Stufen im Bereich von 2,5 bis 14,7 l/min vorgenommen. Die Luftzuführung erfolgte vakuumabhängig und funktionsbedingt über das auf 380 Torr eingestellte Förderventil 2. Das federbelastete Vakuumregelventil 31 war auf maximal 450 Torr eingestellt. Die Untersuchungen hatten zum Ziel, Vakuumverhältnisse, Strömungsgeschwindigkeiten und Leitungsfüllgrad in Abhängigkeit vom Flüssigkeits- und Gasdurchsatz sowie die funktionellen Auswirkungen der beteiligten Baugruppen der RMA zu ermitteln. Aus den registrierten Vakuumverläufen an den einzelnen Meßstellen ergab sich der Mittelwert durch Ausplanimetrieren. Die Bestimmung der Leitungsfüllung erfolgte durch Auslitern der Wassermenge im Rohr. Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden als Durchschnittswerte aus Füllungsgrad und Durchsatz errechnet. Die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten der flüssigen Phase machten Farbmarkierungen sichtbar. Außerdem diente als Maßstab für die Vermischung bzw. Bewegungsintensität die gemessene Durchgangszeit der ersten und letzten Bestandteile der Farbmarkierungen durch eine Meßstrecke.

## 4. Versuchsergebnisse

Bild 2 zeigt — vergleichbar für die verschiedenen Versuchsvarianten — in Abhängigkeit vom Durchsatz den Vakuumverlauf in verschiedener Entfernung vom Leitungsanfang, die durch das Förderventil eingelassene Luftmenge  $Q_1$ , den Füllungsgrad der Leitung mit Flüssigkeit  $Z$  und die Strömungsgeschwindigkeit  $W_w$  der flüssigen Phase.



\*) Entfernung vom Meßpunkt bis zum Milchleitungsanfang  
 \*\*) rechnerisch über Durchsatz und Füllungsgrad ermittelt

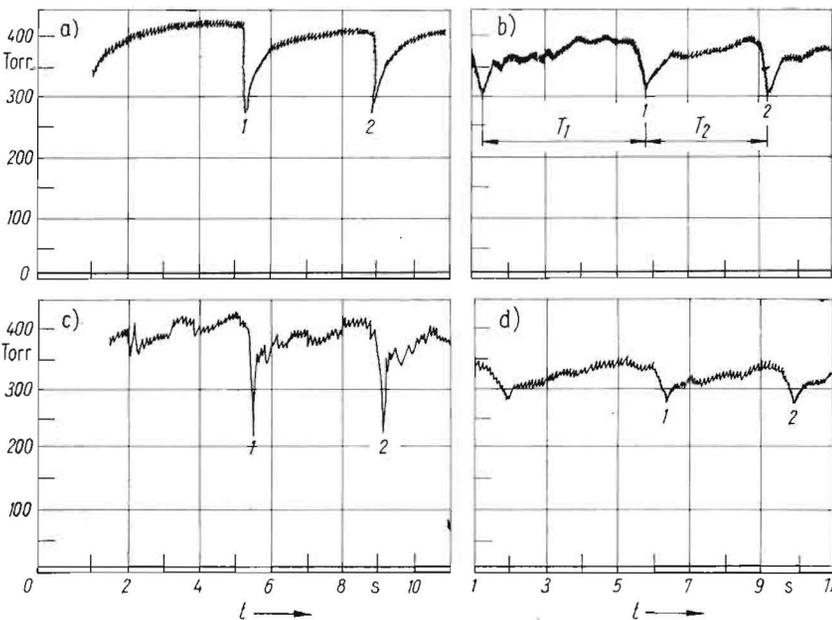


Bild 2

Vakuumverlauf  $P_v$ , mittlere Wassergeschwindigkeit  $W_w$  und Füllungsgrad der Leitung  $Z$  in Abhängigkeit vom Wasserdurchsatz  $Q_w$  unter Berücksichtigung des Luftdurchsatzes  $Q_L$  für die unter Pkt. 3 näher beschriebenen 5 Ausstattungsvarianten

Bild 3

Ausbreitung und Verlauf der Druckschwankungen (1 und 2), verursacht durch das Umschalten des Drucklöses (z. B. bei einem Durchsatz von  $Q_L = 25,3$  und  $Q_w = 14,7$  l/min; Entfernung vom Leitungsanfang: a) 0 m, b) 2,1 m, c) 10,9 m, d) 20,2 m

Der mittlere Vakuumabfall errechnete sich als Differenz zum Einstellwert des Vakuumregelventils  $P_{v1} = 450$  Torr.

Tafel 1 gibt außerdem den maximalen und minimalen Druck für die jeweilige Meßstelle wieder.

Bild 3 zeigt an einem Beispiel die Beeinflussung des Vakuumverlaufs durch den Betrieb eines Drucklöses.

### 5. Versuchsauswertung

Variante 3.1.: Bei geschlossenem Förderventil und Flüssigkeitssammlung im Milchtransportbehälter tritt mit Vergrößerung des Flüssigkeitsdurchsatzes und zunehmender Entfernung vom Milchleitungsanfang ein geringer Melkvakuumabfall von maximal 30 Torr ein. Die Füllung der Leitung mit

Flüssigkeit beträgt 40 bis 80 %. Die Strömungsgeschwindigkeit ist mit Werten um 25 m/min gering. Das eingestellte (Melk)-Vakuum von 450 Torr kann annähernd erreicht werden, wobei nur geringe Vakuumschwankungen auftreten (Tafel 1). Die Flüssigkeitsströmung erfolgt hauptsächlich infolge des Leitungsfalles. Das Herauspumpen einer Luftmenge aus dem vakuumbeaufschlagten System, die in ihrem Volumen der eingelassenen Wassermenge entspricht, wirkt sich auf den Vakuumverlauf entlang der Milchleitung aus. Da der verbleibende Restquerschnitt (z. B. bei einem Füllungsgrad von  $Z = 80$  %) beträgt der Strömungsquerschnitt für Luft  $F_L \approx 1$  cm<sup>2</sup>) für die Ausbreitung des Vakuums in der Rohrleitung zu gering ist, tritt der bereits genannte Vakuumabfall ein. Einzelwiderstände für die Flüssigkeits-

Tafel 1. Vakuumabfall zum Einstellwert ( $\Delta P$ ), mittleres Vakuum ( $P_v$ ), sowie maximale Vakuumchwankungen bei der Rohrleitung NW 25

Versuchsvarianten	$Q_w$ l/min	$l = 0$ m				$l = 2,1$ m				$l = 10,9$ m				$l = 20,2$ m				$l = 29,5$ m			
		$P_v$	$\Delta P$	$P_{max}$	$P_{min}$	$P_v$	$\Delta P$	$P_{max}$	$P_{min}$	$P_v$	$\Delta P$	$P_{max}$	$P_{min}$	$P_v$	$\Delta P$	$P_{max}$	$P_{min}$	$P_v$	$\Delta P$	$P_{max}$	$P_{min}$
		Torr				Torr				Torr				Torr				Torr			
800-l-Milchtransportbehälter $Q_1 = 0$	2,50	450	0	—	—	450	0	—	—	450	0	—	—	450	0	—	—	450	0	—	—
	8,17	450	0	—	—	448	2	12	12	450	0	12	12	448	2	8	8	443	17	10	10
800-l-Milchtransportbehälter, Förderventil $Q_1 = 154 \dots 35$ l/min	13,50	448	2	—	—	440	10	14	14	435	15	10	10	430	20	10	27	418	32	16	14
	2,86	406	44	9	9	399	51	15	31	395	55	28	25	387	63	28	22	379	71	43	20
138-l-Milchtransportbehälter, Förderventil $Q_1 = 133 \dots 16,6$ l/min	8,30	421	29	9	14	412	38	22	73	384	66	46	67	368	82	57	46	341	109	31	31
	13,85	434	16	10	7	411	39	33	16	392	58	22	22	362	88	2	30	334	116	19	14
Förderventil, Drucklöser $Q_1 = 138 \dots 25$ l/min	2,88	400	50	28	121	396	54	27	117	382	68	32	76	378	72	27	54	—	—	—	—
	8,84	418	32	32	130	405	45	45	225	382	68	54	85	360	90	72	58	—	—	—	—
800-l-Vakuumausgleichbehälter, Förderventil, Drucklöser; $Q_1 = 133 \dots 16,6$ l/min	14,70	423	27	31	135	410	40	49	198	382	68	32	76	351	99	27	59	—	—	—	—
	2,86	410	40	8	18	400	50	23	188	387	63	23	54	382	68	18	49	—	—	—	—
Förderventil, Pumpe zur Ausschleusung der Flüssigkeit $Q_1 = 150 \dots 30$ l/min	8,70	432	18	9	22	414	36	36	101	392	58	49	68	369	81	67	41	—	—	—	—
	14,58	436	14	8	18	418	32	37	206	342	108	86	27	360	90	22	36	—	—	—	—
Förderventil, Pumpe zur Ausschleusung der Flüssigkeit $Q_1 = 150 \dots 30$ l/min	2,82	405	45	18	18	400	50	14	41	387	63	18	36	—	—	—	—	378	72	18	22
	8,55	428	22	18	23	418	32	32	85	392	58	40	59	—	—	—	—	342	108	45	36
	14,70	436	14	14	18	423	27	27	67	396	54	50	32	—	—	—	—	333	117	23	31

strömung mit freier Oberfläche stellen die Rohrstöbe dar. Die Reynolds-Zahlen liegen im Bereich  $3 \cdot 10^3 < Re < 10^4$ . Die geringe Rohrrauigkeit  $K < 10^{-3}$  mm für Glas und die ermittelten Re-Zahlen weisen eine turbulente Strömung mit geringem Turbulenzgrad aus. Infolge des geringen Luftdurchsatzes stellte sich bei einem hohen Durchsatz eine Schichtenströmung mit vereinzelt Blasenbildungen ein.

Variante 3.2.: Durch den Lufteintritt am Förderventil kann bei gleichen Versuchsbedingungen nur im ersten Leitungsabschnitt ( $\approx 10$  m) ein Vakuum von rd. 400 Torr aufgebaut werden. Das am Förderventil eingestellte Vakuum wird nur bei einem Flüssigkeitsdurchsatz bis 4 l/min in der Leitung aufgebaut.

KOSTERIN weist bei einem Volumenanteil des strömenden Gases am Gemisch von  $\epsilon_t \approx 70\%$  (Füllungsgrad mit Flüssigkeit  $\approx 30\%$ ) in seinem Diagramm der Zweiphasenströmungsformen den Übergang von der Pfropfen- zur Schwallströmung aus [4]. In der flüssigen Phase sind umfangreiche Gasbläschen eingeschlossen. Große Luftblasen werden vereinzelt im Rohr durch Wellenkämme abgetrennt. Es herrscht eine turbulente Zweiphasenströmung vor.

Variante 3.3.: Bei Verwendung eines Drucklösers zur Ausschleusung der Flüssigkeit zeigen Vakuumverlauf, Strömungsgeschwindigkeit und Füllungsgrad ähnliche Werte. Jedoch ist eine zusätzliche Vakuumverringerng von durchschnittlich 10 bis 15 Torr, eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit um etwa 5 m/min und teilweise eine Erhöhung des Leitungsfüllungsgrades festzustellen. Der Lufteinlaß durch das Förderventil ist geringer als bei Verwendung eines Milchtransportbehälters. Eine wesentliche Veränderung der hauptsächlich Kennwerte einer RMA bei Verwendung eines Drucklösers anstelle des Milchtransportbehälters ist nicht festzustellen. Der ungünstige Einfluß des Drucklösers besteht hauptsächlich darin, daß bei jedem Umschaltvorgang des Drucklösers (alle 3,5 bis 4,5 s) plötzliche Druckschwankungen auftreten, deren Amplitude 150 bis 200 Torr erreicht. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Druckschwankungen beträgt rd. 20 m/s (s. Bild 3). Ausgehend von diesen Messungen kann eine negative Beeinflussung jedes 2. bis 4. Saugtaktes im Wirkungsbereich des Drucklösers festgestellt werden. Obgleich nach 20 m bereits eine Verringerung der Druckschwankungsamplitude auf 65 Torr eingetreten ist, muß entsprechend dem Abklingen der Druckstöße mit einer Reichweite von etwa 40 m ab Drucklöser gerechnet werden.

Variante 3.4.: Es wurde beim Betrieb des Drucklösers an die Vakuumleitung zusätzlich ein Vakuumreservebehälter angeschlossen. Wie ein Vergleich der Varianten 3.2., 3.3. und 3.4. in Bild 2 zeigt, kann die drucklöserbedingte Vakuumverringerng und die Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit weitgehend kompensiert werden. Trotzdem ist am verringerten Lufteinlaß am Förderventil (s. Variante 3.2. und 3.4. in Bild 2) erkennbar, daß durch den Drucklöser die Differenz-Luftmenge in die Leitung gelangt.

Variante 3.5.: Bei Anwendung einer Milchpumpe zur Ausschleusung der Flüssigkeit aus dem Vakuumsystem herrschen dieselben Vakuumbedingungen wie bei der Verwendung eines 800-l-Milchtransportbehälters mit Förderventil (vgl. Variante 3.2. und 3.5. in Bild 2). Druckschwankungen wie bei der Verwendung des Drucklösers treten bei der Milchpumpe nicht auf.

## 6. Schlußfolgerungen

Erfolgt die Flüssigkeitssammlung innerhalb des Vakuumsystems und der Flüssigkeitstransport demnach nur infolge des Leitungsfalles ohne Förderluftzuführung, so ist unter den bei RMA für gerade Strangabschnitte üblichen Bedingungen in der Milchleitung eine durchsatzabhängige Rohrfüllung vorhanden. Mit dem Ansteigen der durchschnittlichen Füllung des Rohrquerschnittes mit Flüssigkeit verringern sich die Ausbreitungsmöglichkeiten des Melkvakuums in dieser Rohrleitung. Die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit ist gering.

Die durch das Förderventil eingeschleuste Luftmenge führt bei allen untersuchten Varianten zu einer Pfropfen- und Schwallströmung mit geringen Leitungsfüllgraden. Durch die intensive Vermischung der Förderluft mit der flüssigen Phase werden evtl. negative Auswirkungen des Luftsauerstoffes auf die Milchqualität begünstigt. Die Dosierung der Luftzuführung durch das Förderventil erfolgt nicht in funktionaler Abhängigkeit von der zu befördernden Flüssigkeitsmenge, sondern in Abhängigkeit von einer Druckdifferenz (Vakuumregler eingestellt auf 450 Torr und Förderventil eingestellt auf 380 Torr). Diese Druckdifferenz kann sich, bedingt durch Leitungslänge und Durchsatzmenge und der dadurch verschlechterten Ausbreitungsbedingungen für das Vakuum, ab einem Grenzbereich nicht aufbauen. Dadurch funktioniert in diesen Fällen auch das Förderventil nicht mehr.

Bei Verwendung des Drucklösers [5] verschlechtern sich geringfügig die Kennwerte des Vakuumverlaufs entlang der Leitung und der Strömungsgeschwindigkeit bzw. erhöht sich der Füllungsgrad. Die Vakuumchwankungen sind intensiver und häufiger. Durch Druckausgleichbehälter in der Vakuumleitung kann man diese Auswirkungen des Drucklösers weitgehend kompensieren, ohne die eigentlichen Ursachen für diese nachteiligen Auswirkungen zu beseitigen, die in der falschen konstruktiven Auslegung des Kugelventils [5] in den Behältern des Drucklösers zu suchen sind. Zur Vermeidung unnötiger technischer Anwendungen in Form von Ausgleichbehältern an jedem Drucklöser zur Ausschleusung von Milch ist das Kugelventil I (s. Bild 1, 20, 21) konstruktiv so zu gestalten und über den Steuerpulsator bzw. Pulsverstärker so zu steuern, daß es bei jedem Umschalten erst dann öffnet, wenn in den Behältern des Drucklösers und in der Milchleitung gleicher Druck herrscht. Bei der vorhandenen Ausführung öffnet das Kugelventil I wegen der Wirkung seiner Masse und der Masse der vertikalen Milchsäule 22 vor dem völligen Druckausgleich in beiden genannten Räumen. Vielfach vermutet man, daß die bei Vorhandensein eines Drucklösers auftretenden Vakuumchwankungen durch eine Unterbrechung der Verbindung zur Vakuumpumpe während des Umschaltens des Drucklösers eintritt. Diese Erklärung ist irreführend und verdeckt die eigentlichen Ursachen. Würde nämlich diese Verbindung zur Vakuumquelle (s. Bild 1 von Pos. 32 über 24, 25, 23, 16) durch den Pulsverstärker 25 unterbrochen, so bliebe das Vakuum im Leitungsabschnitt 22 konstant, bis vom Förderventil her seine Verringerung verursacht würde. Wie die Messungen nachweisen, tritt aber vom Drucklöser her beim Umschalten ein Vakuumabfall ein, der sich als Druckwelle unter allmählicher Abschwächung in Richtung Förderventil ausbreitet.

## 7. Zusammenfassung

Für die Produktionsbedingungen der Milchgewinnung in landwirtschaftlichen Großbetrieben wurden noch keine Einsatzgrenzen von RMA und Melkständen erarbeitet. Eine Voraussetzung zur Erarbeitung dieser Kennwerte ist die Ermittlung der Einsatzmöglichkeiten von vakuumbeaufschlagten Milchrohrleitungen.

Unter Ausschaltung der Einflüsse von Melkzeug und Steigungsabschnitten in Milchleitungen von RMA wurden in geraden Milchleitungsabschnitten die Melkvakuumverhältnisse, der Flüssigkeitsdurchsatz und die Strömungsgeschwindigkeit in einer Versuchsanlage untersucht und hierbei besonders die Auswirkungen des Förderventils und des Drucklöser ermittelt. Die Ursachen der drucklöserbedingten Melkvakuumschwankungen werden aufgezeigt und Hinweise für ihre Beseitigung angegeben.

Bei einem Flüssigkeitsdurchsatz bis 4,5 l/min verursacht das Förderventil einen anteiligen Gasdurchsatz von mehr als 80 %, der zu einem

hohen Turbulenzgrad bei verhältnismäßig geringer Fließgeschwindigkeit ( $< 1$  m/s) der flüssigen Phase führt.

Bei einem Flüssigkeitsdurchsatz bis 15 l/min tritt Luft unzeitig in die Leitung ein, wobei sich ihr Anteil stark verringert.

### Literatur

- [1] KEHR, K.: Melktechnische Untersuchungen an RMA und Schlußfolgerungen für die Praxis. Tierzucht, Berlin, 21 (1967) H. 7, S. 348 bis 352
- [2] SCHWIDERSKI, H.: Der Einsatz der RMA in großen Milchviehanbindeställen. Tierzucht, Berlin, 21 (1967) H. 5, S. 287 bis 290
- [3] ACHMEDOVA, M.: Ein Beitrag zur Diskussion um die RMA. Deutsche Agrartechnik 17 (1967) H. 2, S. 106 bis 108
- [4] KOSTERIN, S. J.: Untersuchung des Einflusses von Durchmesser und Rohranordnung auf den hydraulischen Strömungswiderstand und die Struktur des Gas-Flüssigkeitgemisches. Nachrichten der Akademie der Wissenschaften der UdSSR. Abt. Technische Wissenschaften Moskau 1949, H. 12, S. 1824 bis 1835
- [5] —: Ersatzteilkatalog-RMA VEB Eifa Elsterwerda A 7079

## Teil II: Im horizontalen Leitungsabschnitt

Die Probleme des optimalen Melkvakuums und des erforderlichen Flüssigkeitsdurchsatzes in Melkausrüstungen für Bedingungen der sozialistischen Großbetriebe wurden bereits erörtert [1] [2] [3] [4].

Literatursauswertungen und Einschätzungen zur Gestaltung, Montage und Nutzung von Melkausrüstungen, insbesondere von Rohrmelkanlagen (RMA), lassen erkennen, daß noch viele Fragen zur optimalen Gestaltung von RMA ungeklärt sind. Besonders die empirisch gefundenen Einsatzbereiche von z. Z. ausgeführten RMA sind, im Zusammenhang mit Melkstandanlagen betrachtet, unzureichend fundiert und bedürfen deshalb in bezug auf die perspektivische Entwicklung der tierischen Produktion einer umfassenden Erforschung.

In Fortführung der bisherigen Arbeiten wird nunmehr über die Untersuchungen am horizontalen Leitungsabschnitt von RMA berichtet, wobei die Erhaltung des Melkvakuums und die Sicherung der erforderlichen Flüssigkeitsdurchsätze bei verschiedenen Nennweiten im Mittelpunkt stehen.

### 1. Aufgabenstellung

Ausgehend von versuchstechnischen Überlegungen und unter Berücksichtigung der bereits an anderen Melkausrüstungen für bestimmte Baugruppen von RMA gewonnenen Erkenntnisse blieben bei den zu untersuchenden Rohrleitungen der Einfluß der Baugruppen „Melkzeug und langer Milchschnlauch“, „Steigungen“ und „Überbrückungen“ unberücksichtigt.

Die Untersuchungen erstreckten sich somit auf die Rohrleitung selbst und betrafen zunächst die in ausgeführten RMA auftretenden Gemischströmungen, deren Parameter, Ursachen und Existenzbereiche, wobei gleichzeitig eine prinzipielle Überprüfung der Funktionstüchtigkeit am Anfang und Ende angeschlossener Baugruppen von RMA (z. B. des Förderventils) vorgenommen werden sollte.

Nach Auswertung der Ergebnisse von Versuchen an Rohrleitungen ausgeführter RMA mit 25 mm Nennweite wurden an der Versuchsanlage Art und Umfang der Luftdosierung zur Bildung der Zweiphasenströmung in zweckmäßigen Grenzen variiert und die Veränderung der Strömungsparameter gegenüber den ursprünglich in praktischen Anlagen vorhandenen Bedingungen ermittelt.

Bei diesen Untersuchungen war der Durchsatz der flüssigen Phase gleich oder größer als der Leitungsdurchsatz, der sich aus den summierten Minutengemelken aller gleichzeitig an einem Rohrstrang gemolkenen Kühe ergibt.

Anschließend wurde bei Wahrung der Vergleichbarkeit der Strömungsquerschnitt der Rohrleitung geändert (Versuche mit NW 32, 40 und 50) und die Beeinflussung der Strömungsparameter von Gemischströmungen festgestellt.

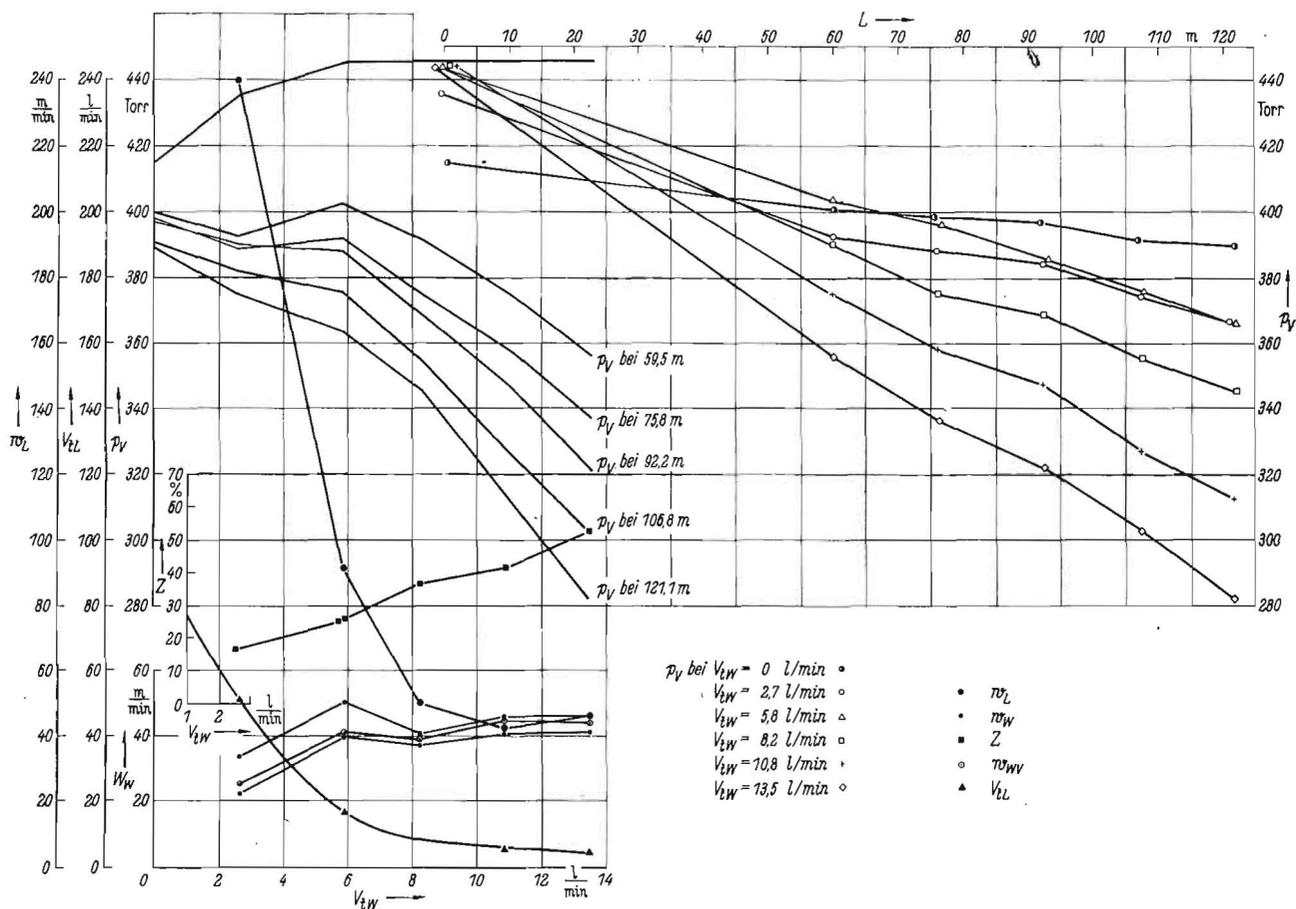
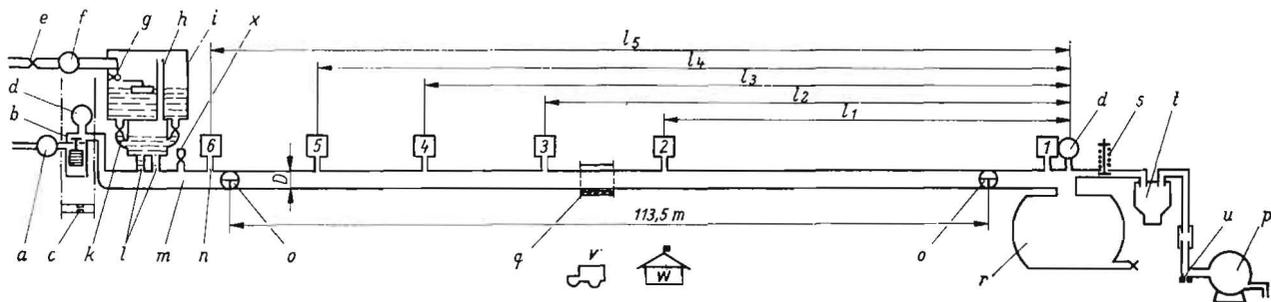
Bei diesen Strömungsuntersuchungen ergab sich der erforderliche Druckbereich aus dem gebräuchlichen Einstellwert des Vakuum-Regelventils (450 Torr) und des Förderventils (380 Torr).

### 2. Erläuterungen zu den Versuchen

Abgesehen von Vorversuchen wurden etwa 120 Hauptversuche mit Wasser und Luft in der im Bild 1 schematisch dargestellten Versuchsanlage durchgeführt. Dieser Versuchsumfang teilt sich etwa zu gleichen Teilen auf Rohrleitungen mit der Nennweite 25, 32, 40 und 50 mm auf. Mit gleicher Nennweite der Rohrleitung erfolgten Versuche zur Ermittlung des Melkvakuumverlaufes entlang der Versuchsstrecke  $l_5$  (Bild 1). Die einzelnen Versuchsgruppen unterschieden sich außerdem durch den Flüssigkeitsdurchsatz (Wasser), der abgestuft im Bereich von 0 bis 27 l/min variierte sowie weiterhin durch die Art und Menge des Luftdurchsatzes (ohne Luftzuführung; Luftzuführung durch Düsen mit einer Bohrung 2,1, 2,3, bzw. 3,4 mm; Luftzuführung durch ein auf 380 Torr eingestelltes Förderventil).

Als Vakuumquelle dienten Zellenverdichter des Typs „Gigant“ VZ 40/130 V oder „Gigant“ VZT 40/92 V bzw. zwei parallel angeschlossene Zellenverdichter dieser Typen. Die Absaugleistung aus dem Rohrleitungssystem wurde mit einer Nebenluftdüse konstant gehalten. Das am Vakuumregelventil eingestellte maximale Melkvakuum betrug 450 Torr. Am Anfang und Ende der Meßstrecke ließen sich die Druckverhältnisse an Manometern beobachten. Entlang der Meßstrecke befanden sich Druck-Meßwertgeber, so daß mit Hilfe eines 6-Kanal-Meßwertverstärkers und eines Oszillografen der Druckverlauf in der Rohrleitung an allen Meßstellen gleichzeitig registriert werden konnte. Etwa in der Mitte der Meßstrecke wurden von den Strömungsformen der Zweiphasen-Zweikomponenten-Gemische photographische Aufnahmen angefertigt. Durch Absperren der Meßstrecke mit Hilfe von Dreivegehähnen ließen sich der durchschnittliche Füllungsgrad der Leitung ermitteln. Eine Farbeinlaßstelle gestattete die Beobachtung der Turbulenz

<sup>1</sup> Luft in abgeschlossenen Leitungssystemen von RMA u. a. Melkausrüstungen mit einem absoluten Druck kleiner als 760 Torr wird im praktischen Sprachgebrauch als „Vakuum“ bezeichnet. Es wird als Druckminderung in Torr gegenüber einem Absolutdruck von 760 Torr ausgewiesen.



**Bild 1.** Prinzipschema der Versuchsanlage zur Ermittlung der Vakuumverhältnisse in Rohrleitungen mit verschiedenen Nennweiten; a Gaszähler, b Förderventil, c Luftdüse, d Vakuummotor, e Absperrhahn, f Wasseruhr, g Schwimmerventil, h Vakuumausgleichrohr, i Dosiergerät, k Wasserdosierhöhe, l Wasser einlaß in die Rohrleitung, m Rohrleitung, n Vakuumgeber, o Dreiweghähne, p Zellenverdichter, q photographische Aufnahme der Strömungsformen, r Milchtank, s Vakuumregelventil, t Schwitzwasserabscheider, u Düse zum Einstellen der Saugleistung, v Meßwagen, w Arbeits- und Lagerräume, x Farbeinlaßstelle

**Bild 2.** Auswertungsdiagramm der Versuche mit NW 25 bei Verwendung eines Förderventils und verschiedenen Saugleistungen der Zellenverdichter. Abhängigkeit des Druckverlaufs in der Leitung als Funktion ihrer Länge (L) und vom Durchsatz von Flüssigkeit ( $V_{lW}$ ). Außerdem sind dargestellt Leitungsfüllungen mit Flüssigkeit (Z); Fließgeschwindigkeit von Luft ( $\omega_{vL}$ ) und des Wassers ( $\omega_{vW}$ ) bei volumetrischer Messung bzw.  $\omega_{vW}$  bei Messung des Farbdurchgangs sowie der Luftdurchsatz ( $v_{lL}$ ) als Funktion des Flüssigkeitsdurchsatzes ( $V_{lW}$ ). Alle Kennwerte wurden verglichen bei einer Saugleistung von 30 m<sup>3</sup>/h (1 Zellenverdichter) und 60 m<sup>3</sup>/h (2 Zellenverdichter), die dazu gehörenden Linien weichen nur geringfügig von denen mit 1 Zellenverdichter ab und wurden deshalb hier im Interesse der Übersichtlichkeit nicht mit eingezeichnet

und die Ermittlung der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Rohrquerschnitt. Ein Dosiergerät (s. auch [2]) ermöglichte die Einspeisung der Flüssigkeit unabhängig von den Druckverhältnissen in der Rohrleitung.

Dem Dosiergerät und dem Förderventil bzw. den Düsen waren jeweils Mengenmeßgeräte vorgeschaltet. Der Flüssigkeitssammelbehälter und der Schwitzwasserabscheider wirkten gleichzeitig als Druckausgleichbehältnisse. Sie wurden zur Erhaltung gleicher Versuchsbedingungen nach jedem Versuch geleert.

Um die Zusammenhänge der Einzelparameter zu verdeutlichen und eine Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen untereinander zu gewährleisten, wurden die aufbereiteten Meßwerte in zusammenfassende graphische Darstellungen eingetragen. Sie zeigen (s. als Beispiel Bild 2) für die jeweilige Nennweite und Art des Lufteinlasses die Druckverhältnisse in der Rohrleitung als Funktion von deren Länge ( $p_v = f(L)$ ). Außerdem sind im gleichen Diagramm über einer gemeinsamen Abszisse, dem Flüssigkeitsdurchsatz ( $V_{lW}$ ), das (Melk)Vakuum in der Rohrleitung ( $p_v$ ), die

Strömungsgeschwindigkeit der Luft ( $w_L$ ) und des Wassers ( $w_W$ ), der Anteil der flüssigen Phase im Rohrabschnitt ( $Z$ ) und der Luftdurchsatz durch den Rohrquerschnitt ( $V_{tL}$ ) dargestellt.

Für die Nennweiten 25, 32, 40 und 50 mm wurden jeweils 6 derartige Diagramme angefertigt: 1. ohne Förderluftzuführung; 2. bis 4. kontinuierliche Luftzuführung durch Drosselstellen ( $V_{tL} \approx 30, 60$  bzw.  $90$  l/min); 5. und 6. diskontinuierliche Luftzuführung durch ein Förderventil (bei 380 Torr öffnend) bei Verwendung eines oder zweier Zellenverdichter als Vakuumquelle. Bild 2 als Beispiel enthält die bereits aufgezählten Abhängigkeiten für die Nennweite 25 mm (Rasothermglas-Rohrleitung, aus 1,8 m langen Stücken zusammengesetzt) bei Verwendung eines handelsüblichen Förderventils und eines bzw. zweier Zellenverdichter gemäß Prinzipschema in Bild 1.

### 3. Versuchsergebnisse

#### 3.1. NW 25; diskontinuierlicher Lufteinlaß durch Förderventil, verschiedene Saugleistungen

Bei reiner Luftförderung ( $V_{tW} = 0$ ) ist bei Verwendung eines Förderventils in der Nähe des Vakuumregelventils das hier eingestellte Vakuum von 450 Torr nicht zu erreichen, da das Förderventil immer wieder öffnet und mehr atmosphärische Luft einläßt, als der Zellenverdichter abpumpen kann. Das sich einstellende Vakuum ist jedoch über die gesamte Rohrlänge  $l_5$  (Bild 1) größer als 380 Torr (angemommener zulässiger Wert für das Melkvakuum). Die Druckdifferenz zwischen  $l_1 = 0$  und  $l_5 = 120$  m charakterisiert den Reibungswiderstand der reinen Luftströmung ( $\Delta p_L$ ). Dieser Wert beträgt für NW 25  $\Delta p_L = 0,02$  Torr/m.

Wird der Luftströmung Wasser beigefügt, so vergrößert sich der Druckabfall in der Rohrleitung mit Gemischströmung ( $\Delta p_G$ ) sowohl als Funktion von der Leitungslänge ( $L$ ), als auch als Funktion vom Flüssigkeitsdurchsatz ( $V_{tW}$ ) (s. rechter Teil in Bild 2).

Der Druckverlauf in der Rohrleitung als Funktion des Flüssigkeitsdurchsatzes der Gemischströmung ist nicht linear.

Entsprechend dem gegenwärtigen Entwicklungsstand der Melkzeuge liegen die Grenzen des optimalen Melkvakuums zwischen 380 und 320 Torr. Sie sind in Bild 2 als gestrichelte Linien eingetragen. Ihre Schnittpunkte mit den Linien des Melkvakuums,  $p_v = f(L; V_{tW})$  ergeben die Einsatzgrenzen einer Rohrleitung in Abhängigkeit von ihrer Länge und dem anteiligen Flüssigkeitsdurchsatz. So beträgt z. B. der Grenzwert für den Flüssigkeitsdurchsatz einer 120 m langen Rohrleitung  $V_{tWmax} = 10,4$  l/min. Zum anderen ist ein Durchsatz von 13,5 l/min Flüssigkeit bei Einhaltung des minimalen Melkvakuums nur bis zu einer Leitungslänge von  $l = 95$  m zulässig.

Der Leitungsfüllungsgrad mit Flüssigkeit ( $Z$ ) zeigt eine steigende Tendenz bei Vergrößerung des Flüssigkeitsdurchsatzes.

Der Luftdurchsatz ( $V_{tL}$ ) nähert sich Null. Beide Werte sind für die Bestimmung des Strömungstyps von Bedeutung. Der Verlauf der Phasenströmungsgeschwindigkeiten für die Luft  $w_L$  und das Wasser  $w_W$  zeigt die Angleichung beider Phasengeschwindigkeiten beim Übergang von der Schichtenströmung zur Pfropfenströmung (s. Punkt 3.6).

Bis zu einem Flüssigkeitsdurchsatz von  $V_{tW} = 10$  l/min besteht bei den beschriebenen Bedingungen zwischen der gasförmigen Phase und der flüssigen Phase ein Phasenschlupf, da  $w_L \gg w_W$  ist, was auf eine hohe mechanische Beanspruchung der Milch während der Gemischströmung hindeutet.

Bei Verwendung von zwei Zellenverdichtern ( $60$  m<sup>3</sup>/h anstelle von  $30$  m<sup>3</sup>/h Saugleistung bei 400 Torr) verbessert sich

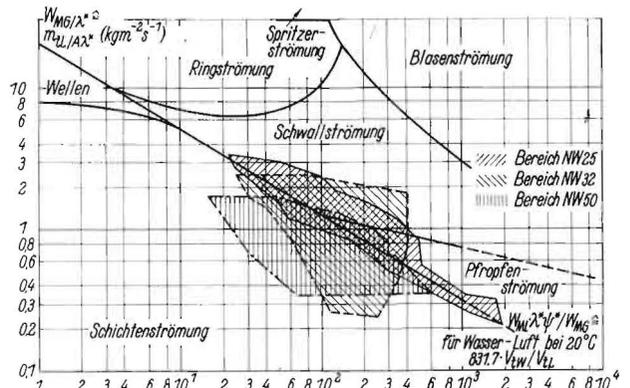


Bild 3. Baker-Diagramm zur Strömungsmodell-Vorhersage bei Wasser-Luft-Gemischen, der Bereich NW 40 wurde zur besseren Übersichtlichkeit nicht eingetragen, er liegt erwartungsgemäß zwischen NW 32 und NW 50

der Melkvakuumverlauf nur minimal ( $\approx 2\%$ ). Eine Vergrößerung der Saugleistung ist deshalb nur in den Fällen gerechtfertigt, in denen die Pulsatoren so viele Luft beanspruchen, daß am Leitungsanfang das eingestellte Vakuum des Vakuumregelventils nicht mehr erreicht wird.

#### 3.2. NW 25; kontinuierlicher Lufteinlaß, 1 Zellenverdichter

Bei kontinuierlicher Luftzuführung von  $V_{tL} \approx 30$  l/min erhöht sich die Strömungsgeschwindigkeit der flüssigen Phase auf 60 m/min. Der Flüssigkeitsanteil in der Rohrleitung ist gering und überschreitet 40 % nicht. Die Strömungsgeschwindigkeit der Gasphase bleibt bei allen Durchsätzen größer als die der Flüssigkeit. Der Vakuumabfall sowohl über der Leitungslänge als auch durchsatzabhängig ist größer als bei der Verwendung eines Förderventils.

Eine weitere Erhöhung des kontinuierlichen Lufteinlasses auf etwa 90 l/min erhöht die Strömungsgeschwindigkeit der flüssigen Phase auf Werte um 90 m/min, während sich die Werte des Druckverlaufs stark verschlechtern, so daß sich dieser Betriebszustand nur noch für die Reinigung der Leitung eignet.

#### 3.3. NW 25; ohne Luftzuführung, 1 Zellenverdichter

Wider Erwarten ist der Melkvakuumverlauf in Rohrleitungen ohne Luftzuführung bis zu einer Leitungsfüllung mit Flüssigkeit von etwa 70 % äußerst gut. Besonders auffällig sind die geringen Schwankungen des Melkvakuums. Andererseits ist jedoch auf die geringe Fließgeschwindigkeit der Flüssigkeit (10 bis 20 m/min) hinzuweisen.

Der Einsatz einer 120 m langen Rohrleitung NW 25 ohne Luftzuführung ist bis zu einem Durchsatz von 10 l/min Flüssigkeit möglich; das entspricht dem gleichzeitigen Melken mit 4 Melkzeugen, deren Minutengemilk mit maximal 2,5 l/min angenommen wurde.

#### 3.4. NW 32; alle Varianten

Als wesentliches Unterscheidungsmerkmal zur Nennweite 25 ist erwartungsgemäß festzustellen, daß durch den größeren Strömungsquerschnitt günstigere Ausbreitungsbedingungen für das Melkvakuum existieren.

Ohne Luftzuführung läßt sich ein Flüssigkeitsdurchsatz bis zu 14,5 l/min bei einem maximalen Druckabfall von 0,4 Torr/m gewährleisten. (Das entspricht dem gleichzeitigen Einsatz von 6 Melkzeugen je Strang.)

Bei gleichem kontinuierlichem Lufteinlaß (30, 60 bzw. 90 l/min) tritt im Vergleich zur NW 25 bei höherer Strömungsgeschwindigkeit des Wassers ein geringerer Druckabfall ein als bei der NW 25. Allerdings sind bei der NW 32 die Absolutwerte des Druckabfalls bei kontinuierlichem Lufteinlaß noch ungünstig.

Bei Anwendung des Förderventils erreicht der Druckabfall bei einem Durchsatz von 15 l/min Wasser maximal 1 Torr/m. Durch Erhöhung der Saugleistung (2 Zellenverdichter) lassen sich bei der NW 32 die Vakuumverhältnisse besonders bei hohem Flüssigkeitsdurchsatz verbessern.

Bei der Nennweite 32 ist ohne Luftzuführung oder bei Verwendung des Förderventils ohne wesentliche Beeinträchtigung des Melkvakuums ein Flüssigkeitsdurchsatz von 15 l/min bei einer Rohrlänge von 120 m gewährleistet. Das entspricht dem gleichzeitigen Melken mit 6 Melkzeugen.

### 3.5. NW 40 und 50; alle Varianten

Die Verwendung dieser Nennweiten führt zu einer weiteren Steigerung des möglichen Flüssigkeitsdurchsatzes. Bei gleichen und weit größeren Durchsätzen wie bei den bisher untersuchten Rohrleitungen tritt fast keine Beeinflussung des Melkvakuums auf. Nur bei einer Leitungsfüllung mit über 80 % Flüssigkeit kommt es zu den bereits bei kleineren Nennweiten beschriebenen verschlechterten Ausbreitungsbedingungen für das Melkvakuum. Die Durchlaßfähigkeit der Nennweiten 40 bis 50 als vakuumbaufschlagte Milchrohrleitung in RMA überschreitet um ein Vielfaches das in Rohrsträngen anfallende summierte Minutengemerk aller gleichzeitig gemolkene Kühe.

Die NW 50 verfügt z. B. über eine Durchlaßfähigkeit von über 36 l/min ohne Beeinträchtigung des Melkvakuums. Eine derartige Milchmenge würde im ungünstigsten Fall nur beim gleichzeitigen Einsatz von etwa 14 Melkzeugen anfallen. Durch eine Luftdosierung in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsdurchsatz bestehen weitere Möglichkeiten zur Steigerung dieses Kennwertes.

### 3.6. Strömungsformen der Wasser-Luft-Gemische

Für die Erhaltung der Milchqualität während des Melkens und dem anschließenden Milchtransport ist die Kenntnis der eintretenden Strömungsformen von großer Bedeutung. Einerseits ermöglicht sie Rückschlüsse auf die Intensität der mechanischen Bewegung und zum anderen läßt sich die Durchmischung beider Phasen charakterisieren. Bekanntlich wird mit einer Einwirkung des Luftsauerstoffs auf die Milchfettstruktur gerechnet, die zur Beeinträchtigung der Milchqualität führt.

Aus diesem Grunde wurden von allen Nennweiten photographische Aufnahmen der Strömungsformen angefertigt. Mit Hilfe der erforderlichen Strömungsparameter konnte man diese Aussagen mit dem Baker-Diagramm zur Strömungsmodellvorhersage bei Wasser-Luft-Gemischströmung in horizontalen Rohrleitungen [5] vergleichen. In Bild 3 wurden in das Baker-Diagramm mit den abgegrenzten Strömungstypen nach ALVES die Strömungsbereiche für die untersuchten Nennweiten eingetragen. Danach traten bei diesen Nennweiten die Strömungstypen Schichten-, Schwall- und Pfropfenströmung auf, wobei bei den größeren Nennweiten eine Verlängerung der Bereiche in Richtung der günstigeren Schichtenströmung zu erkennen ist.

Durch eine zweckmäßige, auf den Flüssigkeitsdurchsatz bezogene Luftzuführung kann man hiernach die gewünschte Strömungsform erzwingen.

## 4. Zusammenfassung

Es werden Versuche zur Beeinflussung des Melkvakuums<sup>2</sup> im horizontalen Leitungsabschnitt von RMA beschrieben. Die Auswertung zeigt, daß die NW 25 (bei einem für den gegenwärtigen Stand der Melkzeugentwicklung angenommenen optimalen Melkvakuum zwischen 380 und 320 Torr) ohne Förderluftzuführung für eine Stranglänge von 120 m verwendet werden kann, wenn der Flüssigkeitsdurchsatz 7,5 l/min nicht überschreitet. Bei Verwendung von Luftzuführung zur Bildung einer Gemischströmung in Form des verbreiterten Förderventils ist bei einer Stranglänge von 120 m ein Flüssigkeitsdurchsatz von 10,4 l/min möglich. Bei einem maximalen Flüssigkeitsdurchsatz von 13,5 l/min für diese Nennweite ist nur eine Stranglänge von 95 m zulässig.

Bei der Nennweite 32 kann auch bei einem Flüssigkeitsdurchsatz bis zu 15 l/min und einer Leitungslänge von 120 m ein optimales Melkvakuum gewährleistet werden. Die Verwendung größerer Nennweiten als NW 32 ist für RMA nicht notwendig.

Bei allen untersuchten Nennweiten treten Schicht-, Pfropfen- und Schwallströmungsformen der Flüssigkeits-Gas-Gemische in Abhängigkeit von Flüssigkeitsdurchsatz und Luftzuführung auf.

Die gewonnenen Untersuchungsergebnisse sind nach Berücksichtigung weiterer Einflußfaktoren außerhalb des horizontalen Leitungsabschnittes direkt für die konstruktive Auslegung von RMA verwendbar.

### Literatur

- [1] ACHMEDOVA, M.: Ein Beitrag zur Diskussion um die RMA. Deutsche Agrartechnik 17 (1967) H. 3, S. 106 bis 108
- [2] ACHMEDOVA, M.: Zur Beeinflussung des Melkvakuums durch Förderventil und Drucklöser in RMA. Arbeit aus dem Inst. für Mechanisierung der Landw. Potsdam-Bornim (unveröffentlicht)
- [3] ACHMEDOVA, M.: Untersuchungen zu Milchfluß und Druckverlauf im horizontalen Leitungsabschnitt von RMA. Dissertation an der Humboldt-Universität zu Berlin, 1967
- [4] ACHMEDOVA, M.: Untersuchungen zur Verbesserung von großen RMA. Forschungsbericht I des Instituts für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, 1968
- [5] LEHMANN, K.: Untersuchung der Existenzbereiche verschiedener Strömungsformen von Wasser-Luft-Gemischen in horizontalen und leicht geneigten Rohren. Dipl.-Arbeit, TU Dresden, 1967, S. 55 und 56  
A 7296

Ing. R. BARTMANN\*

In unserer Landwirtschaft sind viele Rohrmelkanlagen vom VEB Elfa Elsterwerda in Betrieb. Auf Grund zahlreicher Veröffentlichungen und der großen Verbreitung kann vorausgesetzt werden, daß Aufbau und Funktion dieser Melkanlagen allgemein bekannt sind [1] [2].

In einer Vielzahl von Betrieben, auch solchen mit Hochleistungsherden (z. B. LVG Berge, LVG Bornim, LVG Dunmerstorf, VEG Hammer, LVG Iden-Rohrbeck, LVG Paulinenaue u. a.), erfolgt die Milchgewinnung mit Rohrmelkanlagen. Diese Tatsache könnte zu der Schlußfolgerung führen, daß gerade dieser Melkanlagentyp vorzüglich für das Maschinmelken geeignet sei. Das trifft jedoch leider nicht immer zu.

\* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim der DAL zu Berlin (Direktor: Obering. O. BOSTELMANN)

## Hinweise für die Verbesserung der Arbeit mit Rohrmelkanlagen

### Vakuumschwankungen

Zweifelloos bedeutet das Melken mit der Rohrmelkanlage gegenüber der Kannenmelkanlage einen wesentlichen Fortschritt. Durch Wegfall des Milchtransports zum Milchhaus wird die Arbeit erleichtert und beschleunigt und die sofort einsetzende Milchkühlung ist hygienisch vorteilhaft. Andererseits treten jedoch in den derzeit eingesetzten Rohrmelkanlagen durch die Doppelaufgabe, die bei ihnen das Melkvakuum zu erfüllen hat,

1. die Milch aus den Eutern herauszusaugen und
2. sie bis in den Lagerbehälter im Milchhaus abzutransportieren,

Vakuumschwankungen innerhalb der Anlage auf. Ferner kann ein Absinken des Melkvakuums vorkommen.