

März 1975 / 14
 Herausgegeben von der Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft
 CH 3097 Liebefeld
 Direktor: Prof. Dr. B. Blanc

Vakuumpumpen für Melkanlagen

von E. Flückiger und F. de Martini

1. Bedeutung

Die Vakuumpumpe der Melkanlage hat das zum Melken notwendige Vakuum zu erzeugen, die über verschiedene Anlageteile in das System eintretende Luft schnell abzusaugen und eine ausreichende Reservekapazität des ganzen Systems sicherzustellen.

Eine Vakuumpumpe im Sinne obiger Anforderungen ist zwar nicht die einzige, aber doch die erste Voraussetzung für ein stabiles Vakuum- und Melksystem. Nach neueren Untersuchungen bringen unregelmässige Vakuumfluktuationen nicht nur längere Melkzeiten, sondern auch erhöhte Risiken für die Eutergesundheit mit sich. Die vielfach pumpenbedingten, unregelmässigen Vakuumschwankungen führen zusammen mit den in der Regel pulsatorbedingten regelmässigen Schwankungen zu einer erhöhten Rückflusswahrscheinlichkeit (wahrscheinlicher Rückfluss keimhaltiger Milch durch den Strichkanal).

2. Pumpentypen und Funktionsmerkmale

Die Vakuumpumpen der Melkanlagen, die alle im sogenannten Grobvakuumbereich arbeiten, gehören zur Klasse der **Verdränger-Vakuumpumpen**. Das gemeinsame Merkmal dieser Pumpen besteht darin, dass sie die Luft mit mechanischen Mitteln ansaugen, verdichten und wieder ausstossen.

Für Melkanlagen werden praktisch nur 2 Vertreter der Verdränger-

kumpumpen eingesetzt: die **Hubkolben- und die Drehkolben-Vakuumpumpen**.

Bei den Hubkolben-Vakuumpumpen wird das Vakuum des Zylinderraumes durch einen hin- und herbewegten Kolben periodisch verändert. Wegen verschiedener Nachteile, wie die stossweise Förderung, der komplizierte Aufbau (Ventile) und die kleinere Leistung (pro PS Antriebskraft), wurden die Hubkolben-Vakuumpumpen weitgehend durch Drehkolben-Vakuumpumpen ersetzt.

Von den Drehkolben-Vakuumpumpen haben sich die Drehschieber-Vakuumpumpen wegen ihrer hohen Betriebssicherheit bei niedrigem Wartungsaufwand eindeutig durchgesetzt. Sie bestehen im Prinzip aus einem zylindrischen Gehäuse, in dem ein exzentrisch angeordneter Drehkolben (Rotor) mit Schlitzen und gleitfähigen Schiebern rotiert. Die Schieber werden durch die Zentrifugalkraft gegen die Wand des Zylindergehäuses geschleudert und bilden so rotierende Kammern, die sich von der Saugseite her vergrössern und nach der Druckseite hin verkleinern (sichelförmiger Querschnitt des Arbeitsraumes). Die Schieber können radial (strahlenförmig) oder parallel versetzt (halbtangential) angeordnet sein (Abb. 1 und 2). Parallel versetzt sind die Schieber meist bei den kleineren Pumpentypen.

2.1 Oelversorgung und Schmiersysteme

Nach dem Schmiersystem können trockenlaufende, frischölgeschmierte und umlaufölgeschmierte Drehschieber-Vakuumpumpen unterschieden

Abb. 1
 Drehschieber-Vakuumpumpe
 (Schieber radial angeordnet)

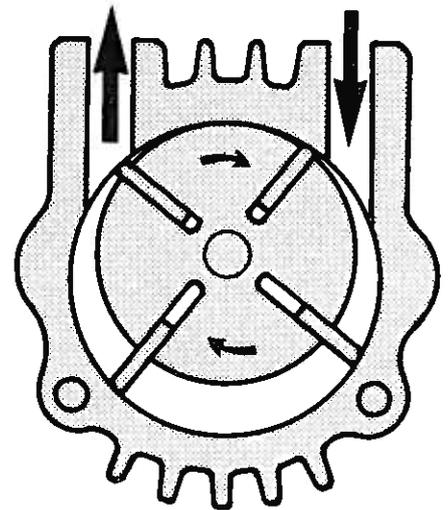
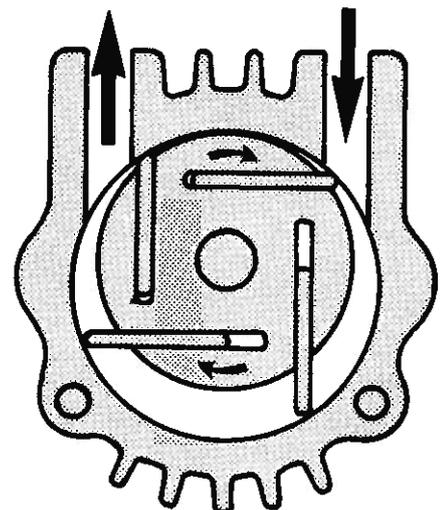


Abb. 2
 Drehschieber-Vakuumpumpe
 (Schieber parallel versetzt)



werden. Die trockenlaufenden Pumpen werden in der Regel nur für kleinere Leistungen gebaut (bis ca. 200 l Freiluft/min). Sie sind mit selbstschmierenden Graphitschiebern ausgestattet und brauchen, ja sie dürfen nicht geölt werden. Bei den geschmierten Pumpen hat das Öl 3 Aufgaben zu erfüllen:

- die Abdichtung der aufeinander gleitenden Flächen
- die Schmierung der beweglichen Teile
- und die Abführung von Reibungswärme.

Die Ölversorgung der geschmierten Drehschieberpumpen erfolgt meistens unter Ausnutzung der Druckdifferenz zwischen der äusseren Atmosphäre und dem Innern der Pumpe.

Bei den vorherrschenden Schmiersystemen wird das Öl entweder über ein Kapillarrohr (Kapillarrohr-Schmierung), ein Tropfventil (Tropf-Schmierung) oder einen Docht (Oeldocht-Schmierung) angesaugt und in feiner Verteilung über die Lager oder direkt an den Rotor gebracht. Das gebrauchte Öl (ca. 2—5 ml/h) sammelt sich im Oelabscheider an. Es wird entweder dem Altölbehälter (Frischölschmierung) oder dem Vorratsbehälter zu erneuter Verwendung (Umlaufölschmierung) zugeführt (Abb. 3 und 4).

In einigen Fällen wird durch eine Kleinheizung für eine gleichbleibende Konsistenz des Oeles gesorgt. Die Erwärmung der Pumpe verhindert die Kondensation von Wasserdampf und die nachteilige Bildung einer Öl-Wasser-Emulsion weitgehend. Bei der Reinigung ist besonders in Rohrmelkanlagen mit grossen Mengen Wasserdampf zu rechnen. Die Frischölschmierung verdrängt deshalb in zunehmendem Masse die Umlaufschmierung.

2.2 Schlebermaterial

Bei den selbstschmierenden Pumpen bestehen die Schieber aus Graphit und bei den geschmierten Pumpen aus Kombinationen von Kunststoffen (z. B. Teflon, Epoxyd- und Polyesterharzen) mit Asbest, Glasfasern u. a. Materialien.

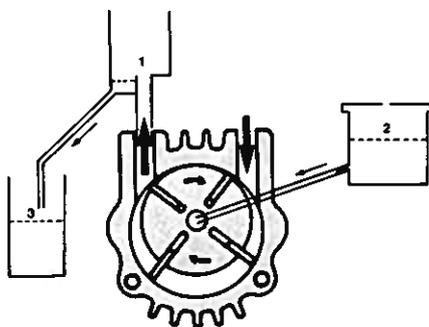
3. Maschinensatz

Zum sogenannten Maschinensatz zählen im allgemeinen:

- die Vakuumpumpe mit Oelabscheider, Schalldämpfer und An-

triebsmotor auf gemeinsamer Grundplatte

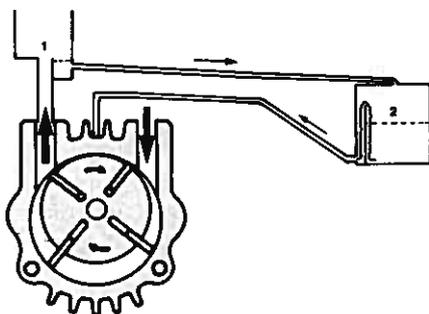
Abb. 3
Frischölschmierung des Rotors über die Lager
(Dosierung durch Kapillarrohr)



Legende: 1 = Oelabscheider
2 = Oelvorratsbehälter
3 = Altölbehälter

Abb. 4

Umlaufölschmierung des Rotors direkt über das Gehäuse
(Dosierung durch Oeldocht)



Legende: 1 = Oelabscheider
2 = Oelvorratsbehälter

— der Vakuumkessel, der aber auch zwischen Pumpe und erstem Melkhahn an die Vakuumleitung angeschlossen sein kann (in letzterem Fall muss in der Leitung ein Gefälle von der Pumpe weg und zum Vakuumkessel hin bestehen)

— und die Schutzvorrichtungen wie Keilriemenschutz und Isolationsmuffe.

Es werden Wand- und Sockelmontage (für grössere Pumpen) unterschieden. Bei beiden Installationsarten sind zu beachten:

- kurze Entfernung zum ersten Melkhahn
- staubfreier, gut belüfteter und feuchtigkeitsgeschützter Ort
- leichte Zugänglichkeit für Bedienung, Wartung und Kontrolle (Idealhöhe 1,20 m über Boden)
- automatische Entleerungsmöglichkeit des Vakuumkessels
- gute Anschlussmöglichkeit für Messgeräte (Pumpenleistung, Tourenzahl).

4. Anforderungen an die Leistung der Vakuumpumpen

Die geforderten Pumpenleistungen ergeben sich aus einem Basiswert und einem Zuschlag pro Melkeinheit. Der Basiswert und der Zuschlag setzen sich wie folgt zusammen:

Tabelle 1

Basiswert und Zuschlag pro Melkeinheit in l Freiluft (FL) pro min

Luftverbrauchendes Element	Basiswert für die Anlage		Zuschlag pro Melkeinheit (ME)	
	Eimermelken	Rohrnelken	Eimermelken	Rohrnelken
Regelventil	25	50	—	—
Anlagereserve	25	40	—	—
Pulsator	—	—	25	25
Luftinlass (S.-Stück)	—	—	7	7
Zitzengummi (Leckage)	—	—	8	8
Vakuumpumpe (Alterung)	—	—	5	5
Rohrleitungen (Leckage)	—	—	5	10
Melkeinheiten (Umsetzen)	—	—	10	5
Basiswert für die Anlage	50	90	Zuschlag pro ME 60	60

Aus dem Basiswert und dem Zuschlag pro Melkeinheit kann die geforderte Pumpenleistung leicht berechnet werden. Sie beträgt z. B. für eine Eimermelkanlage mit 3 Melkeinheiten 50 (Basiswert) + 3mal 60 (Zuschlag für 3 ME) = 230 l Freiluft pro

min und für eine Rohrmelkanlage mit 3 Melkeinheiten 90 (Basiswert) + 3mal 60 (Zuschlag für 3 ME) = 270 l Freiluft pro min. Für Rohrmelkanlagen mit Milchschleuse ist ein weiterer Zuschlag von 75 l FL/min zu machen.

5. Aufschrift auf den Vakuumpumpen

Auf einem fest mit der Pumpe verbundenen Schild soll in gut leserlicher Schrift folgendes vermerkt sein:

- der Name des Herstellers oder der Vertriebsfirma
- Pumpentyp und -identifikation (z. B. Seriennummer)
- Tourenzahl und notwendige Antriebskraft
- Leistung bei 76 cm Hg gegen ein Vakuum von 38 cm Hg (Temperatur 20°C) in l FL/min
- empfohlenes Schmiermittel.

6. Messung der Pumpenleistung

Die Leistungsangaben der Firmen beziehen sich im allgemeinen auf folgende Messbedingungen:

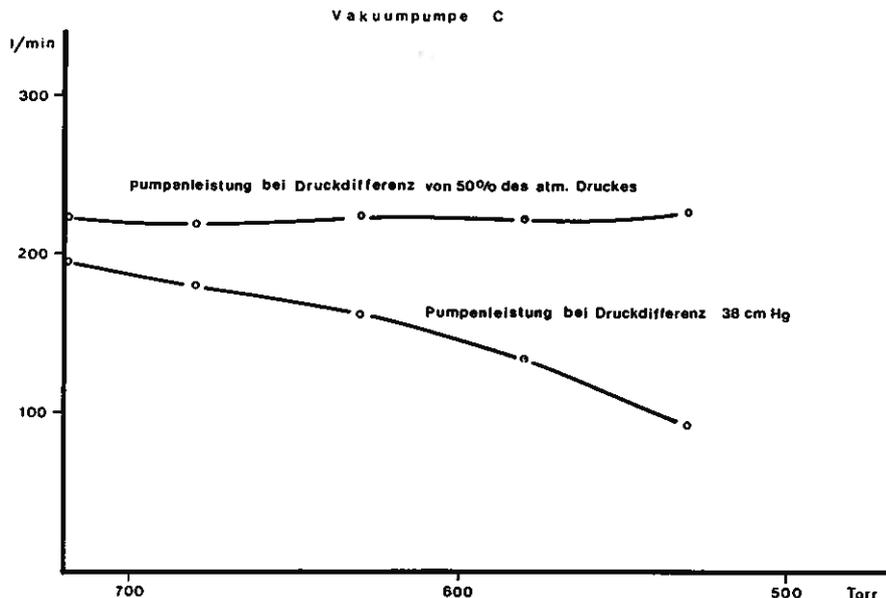
- Atmosphärendruck 76 cm Hg
- Vakuum (Differenzdruck) 38 cm Hg
- Expansionsverhältnis: 2 : 1 (2 l expandierte Luft = 1 l atm. Luft)
- Umgebungstemperatur: 20°C
- Pumpentemperatur: betriebswarm.

Die Pumpenleistung (der Luftdurchsatz) wird in l Freiluft (FL), l atm. Luft (aL) oder l Normalluft (NL) angegeben. Alle 3 Bezeichnungen besagen dasselbe. Etwas anderes bedeutet aber die Angabe in expandierter Luft (eL), die nicht mehr zulässig ist (2 l eL bei 38 cm Hg entsprechen 1 l FL bei 76 cm Hg).

In der Praxis werden die Pumpenleistungen zwar auch bei einem Vakuum von 38 cm Hg gemessen, der Atmosphärendruck liegt dabei aber meistens unter 76 cm Hg. Da die Pumpenleistung bei konstantem Vakuum und gleichzeitig sinkendem Atmosphärendruck jedoch kleiner wird, liegen die von den Firmen angegebenen Werte in der Regel höher als die in der Praxis gemessenen. Die auf 76 cm Hg Atmosphärendruck bezogene Firmenangabe lässt sich aber annähernd nachprüfen, indem nicht konstant bei einem Vakuum von 38 cm Hg gemessen wird, sondern statt dessen variabel bei 50% des jeweiligen Barometerstandes (bei einem Barometerstand von 70 cm Hg wäre z. B. bei 35 anstatt 38 cm Hg zu messen). Die Unterschiede der bei konstantem und variablem Differenzdruck (Vakuum) gemessenen Pumpenleistung werden in Abb. 5 an einem Beispiel gezeigt. Aus der Abbildung geht hervor, dass die bei variablem Differenzdruck gemessene Pumpenleistung trotz sinkendem Atmosphärendruck weitgehend gleich bleibt. Diese Leistung entspricht annähernd derjenigen, die die Pumpe bei einem Atmosphärendruck von 76 cm Hg und bei einem Vakuum von 38 cm Hg erbringen würde. Die Methode ist nur anwendbar, wenn es darum geht, eine Firmenangabe nachzuprüfen. Bei der praktischen Kontrolle der Vakuumpumpe ist aber immer gegen ein konstantes Vakuum von 38 cm Hg zu messen, wie es beim Melken angewendet wird.

Abb. 5

Pumpenleistung in Abhängigkeit vom Luftdruck — gemessen bei konstantem Vakuum von 38 cm Hg und bei 50% des Barometerstandes



7. Einflüsse auf die Pumpenleistung

7.1 Einfluss der Tourenzahl

Die Pumpenleistung ist direkt von der Tourenzahl abhängig. Doppelte Tourenzahl bedeutet innerhalb der mechanisch bedingten Grenzen auch doppelte Pumpenleistung und umgekehrt. Durch Austausch der Riemenscheiben lassen sich mit der gleichen Pumpe verschiedene Leistungen erzielen. Mit der Leistung ist deshalb grundsätzlich die Tourenzahl, bei der die Leistung erreicht wird, anzugeben.

7.2 Einfluss der Höhenlage bzw. des atmosphärischen Druckes

Je höher ein Ort über dem Meeresspiegel liegt, desto leichter ist die Luftsäule, die über ihm lastet und desto tiefer sind Luftdruck und Barometerstand. Die Beziehungen zwischen der Höhe über Meer und dem mittleren Luftdruck sind folgender Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 2
Höhenskala

Höhe über Meer m	Luftdruck mm Hg	Höhe über Meer m	Luftdruck mm Hg
0	760	1200	658
200	742	1400	642
400	725	1600	626
600	708	1800	611
800	691	2000	596
1000	674	2200	582

Der Einfluss der Höhenlage auf die Pumpenleistung, der im Höhensimulator (ETH-Z, Chamau) an 3 Pumpentypen untersucht wurde, ist in der folgenden Tabelle 3 dargestellt. Die Zahlen zeigen, dass die Pumpenleistung pro 100 m Höhendifferenz um ca. 2% abnimmt, wenn bei einem konstanten Differenzdruck von 38 cm Hg gemessen wird. Von 800 m aufwärts sind bei der Berechnung der Pumpenleistung also entsprechende Zuschläge zu machen. Der Grund für die Leistungsabnahme besteht darin, dass mit abnehmendem absolutem Druck auch der Wirkungsgrad der Pumpe sinkt. Die folgende Abb. 6 gibt einen Ueberblick über den Einfluss der Höhenlage bzw. des atmosphärischen Druckes auf die Leistung und Temperatur der Pumpe und auf den Luftdurchsatz durch eine starre 100-l-Düse bei einem Differenzdruck von 38 cm Hg. Die Temperatur der Pumpe steigt, weil sich mit abnehmendem Luftdurchsatz auch der Kühleffekt verschlechtert. Der Luftdurchsatz durch

Tabelle 3

Einfluss der Höhenlage auf die Pumpenleistung

Höhe über Meer m	Druck mm Hg	Pumpenleistung in l/min			Leistungsverlust pro 100 m in %		
		Pumpe A	B	C	A	B	C
500	716	160	261	196	0	0	0
900	680	146	240	180	2,1	2,0	2,0
1500	634	130	214	162	1,9	1,8	1,7
2200	582	107	176	134	1,9	1,9	1,9
2900	532	83	132	92	2,0	2,0	1,9
4000	462	48	—	—	2,0	—	—

Abb. 6

Einfluss des Luftdruckes auf die Leistung und Temperatur der Pumpe und auf den Luftdurchsatz durch eine starre 100-l-Düse bei 38 cm Hg Differenzdruck
Vakuumpumpe A

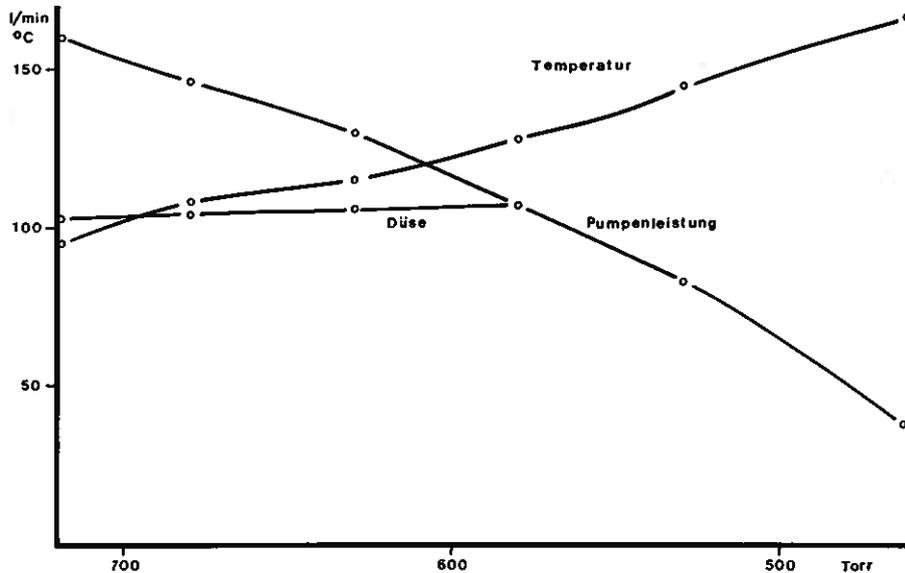


Tabelle 4

Einfluss von Gegendruck auf der Auspuffseite der Pumpe auf Leistung, Temperatur und Leistungsaufnahme

U/min	atü kp/cm ²	Leistung l/min	Leistungsaufnahme kW	Temperatur* °C
754	0,1	119	0,50	110
750	0,2	114	0,54	130
745	0,3	111	0,59	145
740	0,4	106	0,66	170
730	0,5	104	0,77	190

* im strömenden Auspuffgas gemessen

eine starre 100-l-Düse bleibt dagegen gleich, solange bei unverändertem Differenzdruck (38 cm Hg) gemessen wird und die Leistung der Pumpe über 100 l/min bleibt.

7.3 Einfluss der Temperatur

Die Leistung der meisten Pumpen nimmt mit zunehmender Erwärmung ab. Das Ausmass ist konstruktions- und werkstoffbedingt. Leistungsmessungen dürfen deshalb grundsätzlich erst durchgeführt werden, nach-

dem die Pumpe die Betriebstemperatur erreicht hat.

7.4 Einfluss von Gegendruck auf der Auspuffseite

Orientierende Untersuchungen haben gezeigt, dass sich eine Drosselung des Auspuffes (ungeeignete Schalldämpfer) nur relativ wenig auf die Pumpenleistung, dagegen relativ stark auf die Höhe der Betriebstem-

peratur und die Leistungsaufnahme (in kW) der Pumpe auswirkt (Tabelle 4)

Ein Gegendruck auf der Auspuffseite ist auch deshalb zu vermeiden, weil er die Lebensdauer der Pumpe verkürzt.

8. Wartung der Vakuumpumpe

Drehschiebervakuumpumpen stellen an die Wartung nur geringe Ansprüche. Ganz wartungsfrei sind sie aber keineswegs. Die in den Betriebsanleitungen vorgeschriebenen Unterhalts- und Kontrollarbeiten sind deshalb strikte durchzuführen. In der Regel werden folgende Arbeiten für nötig gehalten:

- tägliche Kontrolle des Ölstandes und der Funktion des Oelers (ausgenommen sind trockenlaufende Pumpen)
- wöchentliche Kontrolle des Vakuumschüssels (Sauberkeit, Zustand der Dichtungen, des Entwässerungsventils sowie der Ueberlaufschutzsicherung) und des Ölstandes im Oelabscheider (bei Frischölschmierung)
- monatliche Kontrolle der Kupplung zwischen Pumpe und Motor bzw. der Riemenspannung
- halbjährliche Kontrolle des Zustandes des Oelers, der Pumpe und der Schieber (zur Reinigung innen und aussen eignen sich normalerweise Benzin und Spiritus)
- jährliche Kontrolle der Pumpenleistung anlässlich der Ueberprüfung der gesamten Melkanlage gemäss Milchlieferungsregulativ (Art. 50); bei dieser Gelegenheit sind Oeler, Schrauben, Dichtungen, Riemenspannung bzw. Kupplung zwischen Pumpe und Motor sowie der Vakuumschüssel mit Dichtungen, Entwässerungsventil und Ueberlaufschutz ebenfalls zu kontrollieren.

Die Pumpe ist sofort zu öffnen und zu reinigen, wenn Wasser, Reinigungsmittellösungen oder Milch in das Gehäuse eingedrungen sind. Für die Reinigung der inneren Oberfläche des Pumpengehäuses dürfen niemals Metallwerkzeuge oder andere kratzende Hilfsmittel verwendet werden.