

gummiinnenraum ein kontinuierlicher Unterdruck, der das Haften des Zitzenbeckers an der Zitze bewirkt, den Zitzenkanalwiderstand überwindet und die ausgetretene Milch abtransportiert (Melkvakuum).

4.2.2.1 Pulsierung
(Vakuumphasen des Pulssystems)

Als Pulsierung wird das vollständige Evakuieren und anschließende Belüften des Melkbecherzwischenraumes einer jeden Melkbecherhülse bezeichnet. Das komplette Bewegungen des Zitzengummis vom Öffnen über das Schließen bis zum nächsten Öffnen umfasst einen **Pulszyklus**. Der Milchfluss ist nur in einem bestimmten Zeitraum des Pulszyklus möglich, dieser Zeitabschnitt wird als **Milchflussphase** bezeichnet.

Jeder Zyklus des Vakuumverlaufes im Pulsraum wird in 4 Phasen unterteilt:

1. **Evakuierungsphase (A-Phase):** Durch Umschaltung des Ventils im Pulsator wird der Melkbecherzwischenraum evakuiert. Dabei baut sich dort ein Vakuum in Höhe des Anlagenvakuums

auf und das zuvor im Schaftbereich kollabierte Zitzengummi öffnet sich.

2. **Vakuumphase (B-Phase):** Der Druck im Pulsraum entspricht dem Anlagenvakuum und der Schaftbereich des Zitzengummis ist geöffnet. Dies hat eine Öffnung des Zitzenkanals zur Folge, so dass Milch ermolken werden kann.

Evakuierungsphase und Vakuumphase machen zusammen die **Saugphase** aus (**Abb. 4.3a**). Die Saugphase wird als prozentualer Anteil eines vollständigen Pulszyklus angegeben.

3. **Belüftungsphase (C-Phase):** Ein weiterer Schaltvorgang des Ventils im Pulsator sorgt dafür, dass atmosphärische Luft über den Pulsator und die kurzen Pulsschläuche in den Pulsraum der Melkbecherhülse gelangen kann. Dadurch wird dort das Vakuum abgebaut und der Schaft des Zitzengummis kann sich unter der Zitze schließen.

4. **Druckphase (D-Phase):** Die entstandene Druckdifferenz zwischen Pulsraum und Zitzengummiinnenraum führt zur Kompression der Zitzenspitze durch das Zitzengummi.

Belüftungsphase und Druckphase werden zusammen als **Entlastungsphase** bezeichnet (**Abb. 4.3b**).

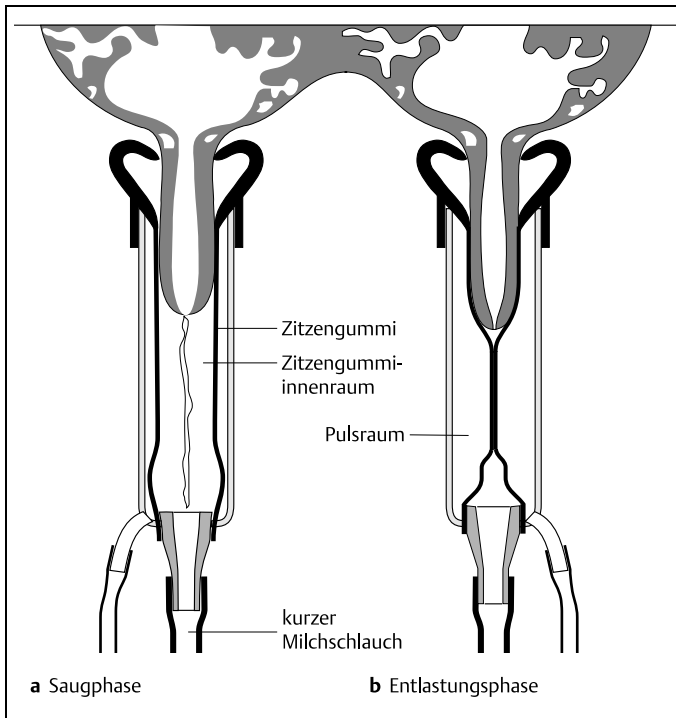


Abb. 4.3 Saugphase (a) und Entlastungsphase (b) beim maschinellen Milchentzug

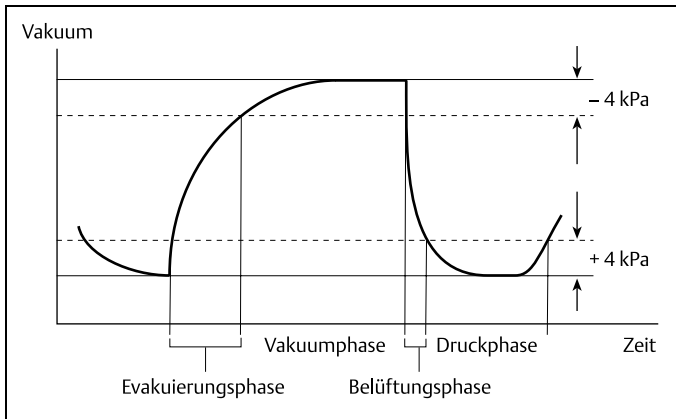


Abb. 4.4 Druckdiagramm im Pulsraum (Pulszyklus/Pulscurve; ISO 3918)

Die Dauer jeder Phase, angegeben als prozentualer Anteil der gesamten Zyklusdauer, wird zwischen den Schnittpunkten der Pulscurve mit zwei Linien gemessen, die parallel zur Abszisse jeweils 4 kPa unter dem Nennvakuum und über dem atmosphärischen Druck verlaufen (**Abb. 4.4**). Die Länge der einzelnen Phasen ist neben der Umschaltgeschwindigkeit des Pulsators vom Luftvolumen des Melkzeugs und dem Strömungswiderstand der Pulsschläuche abhängig. Dieser ergibt sich aus der Länge und dem Durchmesser der Pulsschläuche zwischen Pulsator und Melkzeug.

Aus technischer Sicht sind möglichst kurze Evakuierungs- und Belüftungsphasen anzustreben, um die für die Milchgewinnung effektiven Vakuum- und Druckphasen möglichst lang auszudehnen. Allerdings wird vor zu kurzen Evakuierungsphasen gewarnt, da diese zu einer schlagartigen Öffnung des Zitzengummis mit nachfolgenden Vakuumschwankungen und damit zum Risiko von Erregerübertragungen in die Milchdrüse führen können.

► Grundsätzlich steigt mit zunehmender Länge der Vakuumphase die Belastung des Zitzengewebes und damit das Risiko für Kongestionen und Ödeme. ◀

Zu kurzen Belüftungsphasen wird jedoch zugeschrieben, bei Milchkühen über das schlagartige Kollabieren des Zitzengummis Missempfindungen auszulösen. Eine abschließende Angabe zum biologischen Optimum der Phasenlängen kann also noch nicht gemacht werden. Üblich sind folgende Phasenlängen:

- für die A-Phase von etwa 100–160 ms
- für die B-Phase von 400–500 ms
- für die C-Phase von 90–120 ms
- für die D-Phase von 200–300 ms

Normalerweise werden Pulsatoreinstellungen mit Saugphasenlängen zwischen 50 und 70% verwendet.

Wenn Saug- bzw. Entlastungsphase in allen vier Bechern eines Melkzeuges gleichzeitig auftreten, wird von **Gleichtakt-** oder **Simultanpulsierung** gesprochen. Als **Wechseltakt-** oder **alternierende Pulsierung** wird ein Verfahren bezeichnet, bei dem sich jeweils zwei Becher (zumeist rechts gegen links) in der Saug- oder in der Entlastungsphase befinden. Während bei Gleichtaktpulsierung höhere Vakuumschwankungen während des Melkens unterhalb der Zitzen auftreten, muss bei Wechseltaktpulsierung auf gleichlange Zyklusdauern beider Hälften geachtet werden. Diese Form der Pulsierung wird im deutschsprachigen Raum am häufigsten angewandt. Bei Wechseltaktpulsierung soll die Differenz in den Saugphasen der beiden Melkzeughälften um nicht mehr als 5% vom Sollwert abweichen (= Hinkgrad).

Die Anzahl der Pulszyklen pro Minute ergibt die **Pulszahl**. Während Rinder mit 40–60 Zyklen pro Minute gemolken werden, sind für Schafe, Ziegen und Stuten Pulszahlen bis 120 üblich (**Tab. 4.1**). Von der Saugphase zu unterscheiden ist die Zitzengummioffenphase (= **Milchflussphase**, s. o.), die mit der Öffnung des Zitzengummis beginnt und mit dem Schluss des Gummis endet. Der Milchfluss kann Schwankungen des Vakuums vor der Zitze bewirken und in Abhängigkeit von seiner Höhe das Vakuum verändern.

Tab. 4.1 Pulsatoreinstellungen verschiedener Milchtierarten (praxisübliche Werte)

Tierart	Pulszahl	Phasenverhältnis	Vakuumbreite (kPa)
Milchschafe	120	50/50	34–38
Ziege	90	60/40	36–40
Wasserbüffel	60	60/40	38–45
Kamel (Dromedar)	90	60/40	36–40
Pferd	90–120	50/50	32–36
Kuh	55–65	50/50 bis 70/30	35–45

4.2.2.2 Mindestdurchfluss

Für die Luftleitung sind wie für die Melkleitung Mindestrohrdurchmesser vorgeschrieben, die sich nach der Förderleistung der Vakuumpumpe richten. Die erforderliche Mindestförderleistung der Vakuumpumpe richtet sich nach dem Anlagentyp (Eimer- oder Rohrmelkanlage), nach der Anzahl der Melkeinheiten und nach dem Luftdurchfluss eventueller Zusatzausrüstungen. Dieser Bedarf wird Mindestdurchfluss genannt und in Litern atmosphärischer Luft (aL/min) gemessen. Vakuumhöhe und Luftdurchsatz der Pumpe stehen zueinander in einer linearen Beziehung. Die DIN/ISO 5707 für Melkanlagen legt Mindestluftdurchflüsse fest.

Der Luftdurchfluss muss (größer) gleich dem Mindestdurchfluss sein. Bei der Auswahl einer Vakuumpumpe ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass für das Spülen (Reinigen) von Anlagen mit Melkleitungsdurchmessern von 50 mm oder mehr unter Umständen ein größerer Luftbedarf als für das Melken notwendig ist. Zur Aufrechterhaltung des Vakuums wird für Zusatzeinrichtungen ein zusätzlicher Luftdurchsatz benötigt. Beispielhaft können folgende vakuumverbrauchende Zusatzeinrichtungen benannt werden:

- automatische Melkzeugabnahmen
- Nachmelkautomaten
- Milchmengenmessgeräte
- Türöffner
- Kraftfutterdosierung (im Melkstand)

Jede Melkanlage muss darüber hinaus über eine bestimmte Luftreserve (**Mindestreservedurchfluss**) verfügen, damit bei geringfügigem Lufteinbruch (herabgefallenes Melkzeug, Ansetzen und Abnehmen der Melkeinheiten) die anderen Kühe

weiter gemolken werden können. Praxiserfahrungen zeigen, dass die von der DIN/ISO 5707 für Melkmaschinen geforderten Luftleistungen nicht immer stabile Vakuumverhältnisse im Melkbetrieb bzw. bei der Reinigung gewähren können (z.B. bei leichtmelkigen Kühen mit sehr hohen Milchflüssen, Milchleitungsverlegung mit hohen Reibungswiderständen, Leckluft etc.). Dies hat dazu geführt, dass die meisten Melkmaschinenhersteller für ihre Anlagen größere Luftdurchsatzleistungen fordern.

4.2.2.3 Melkvakuum

Die Differenz zwischen dem in der Anlage herrschenden Druck und dem Atmosphärendruck wird als Melkvakuum bezeichnet und in kPa gemessen. Das vorherrschende Melkvakuum ist in der Regel recht stabil – ohne Milchfluss liegt das Vakuum im Melkbecherinnenraum in gleicher Höhe wie im Melkbereich der Anlage vor. Wird bei normalem Druck der Außenluft und 20 °C Umgebungstemperatur in Meereshöhe (ca. 100 kPa) in der Melkanlage ein absoluter Druck von 55 kPa erzeugt, beträgt das Melkvakuum 45 kPa. Die Höhe des Melkvakuums ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Neben der Art der Melkanlage, der Pulsation sowie der Bauweise und dem Gewicht des Melkzeugs nehmen (tier-)morphologische Parameter Einfluss auf die optimale Vakuumhöhe; letztlich soll der Milchentzug schonend, vollständig und zügig ablaufen. Kommerzielle Melkanlagensysteme werden mit Betriebsvakua von 30–55 kPa betrieben.

Je nach Milchfluss reduziert sich dieses Vakuum unterhalb der Zitze abhängig vom Füllungsgrad des Milchsammelstücks und dem der kurzen Milchschläuche. Da durch Öffnung und Schluss des Zitengummis das Volumen unter der Zitze beein-

flusst werden kann, führt auch diese Bewegung zu einer Beeinflussung des Vakuums unter der Zitze.

Abweichungen von der empfohlenen Vakuumhöhe einer Melkanlage nach oben oder unten können unter Berücksichtigung der Melkbarkeitseigenschaften einer Milchviehherde und der Dimensionierung der Melkzeuge und der ableitenden Wege sinnvoll sein.

? Wie kommt der Wechsel zwischen Saug- und Entlastungsphase zustande?
 Welche Phasen umfasst ein Pulszyklus?
 Wie können durch unterschiedliche Phasenlängen (Vakuumphase/Entlastungsphase) unter Umständen Probleme auftreten?
 Was ist bei der Auswahl einer Vakuumpumpe zu beachten? ◀

4.2.3 Eimermelkanlagen

Bei der Eimermelkanlage, die den einfachsten und ältesten Melkanlagentyp darstellt, fließt die Milch vom Melkzeug in einen tragbaren Melkeimer, der mit dem Vakuumsystem verbunden ist (Abb. 4.5). Dieser Anlagentyp erfüllt die melktechnischen Anforderungen zufriedenstellend und zeichnet sich durch eine große Funktionssicherheit und Robustheit aus. Aufgrund der hohen Arbeitsbelastung durch den notwendigen manuellen Abtransport der Milch aus dem Stall ist der Anteil dieser Melkanlagen seit geraumer Zeit rückläufig.

4.2.4 Rohrmelkanlagen

Bei der **hochverlegten Rohrmelkanlage** (Absauganlage, Abb. 4.6), die immer noch den größten Anteil der verwendeten Melksysteme stellt, wird die Milch durch die Kraft des Vakuums in eine über den Kühen angebrachte Melkleitung gesogen und von dort in den Milchabscheider und anschließend – nach der Trennung der Milch von der Luft – in den Milchtank gepumpt. Die Arbeitsentlastung führt jedoch hierbei zu melktechnischen Nachteilen, da der Transport der Milch Vakuum verbraucht. Daher ist ein höheres Melkvakuum nötig, welches im Falle des Blindmelkens ungemindert die Zitze belastet. Weiterhin entstehen durch Pendelbewegungen der Milch im langen Milchschlauch langsame Vakuumschwankungen, die, wenn sie zeitgleich mit regelmäßigen und anderen unregelmäßigen Vakuumschwankungen auftreten, in der Lage sind, Zitzenwascheffekte, Respray oder Impacts hervorzurufen. Diese Phänomene können – die Anwesenheit von Erregern vorausgesetzt – zu einem erhöhten Kontaminationsrisiko der Milchdrüse beitragen. Zudem können Vakuumschwankungen die Integrität des Zitzengebewes nachteilig beeinflussen.

In Milchviehbetrieben mit Laufstallhaltung wird nahezu ausschließlich in Melkställen mit **tiefverlegten Rohrmelkanlagen** (auf Kuhplatzniveau oder tiefer) gemolken (Abb. 4.2). Diese minimieren die zuvor genannten melktechnischen Probleme von hochverlegten Rohrmelkanlagen, da für den Abtransport der Milch im Leitungssystem nur ge-

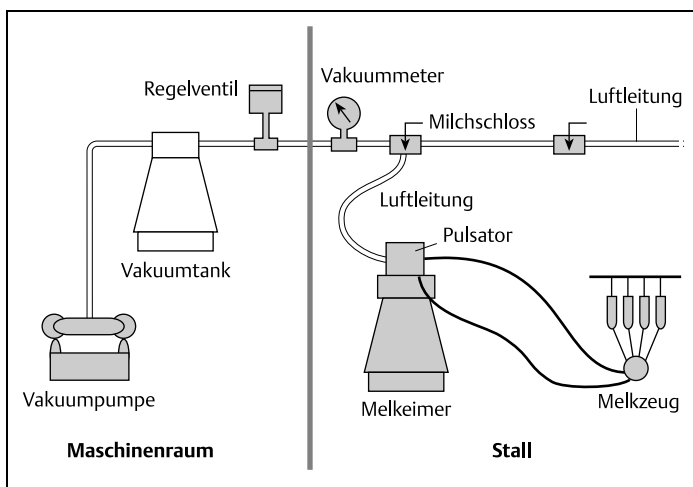


Abb. 4.5 Aufbau einer Eimermelkanlage