

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 38 (1976)
Heft: 3

Artikel: Die Strömungstechnik : Grundlage funktionstüchtiger Melkanlagen
Autor: Burgdorfer, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1070577>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Strömungstechnik, Grundlage funktionstüchtiger Melkanlagen

Referat von Masch.-Ing. A. Burgdorfer i. Fa. Aebi & Co. AG., Burgdorf

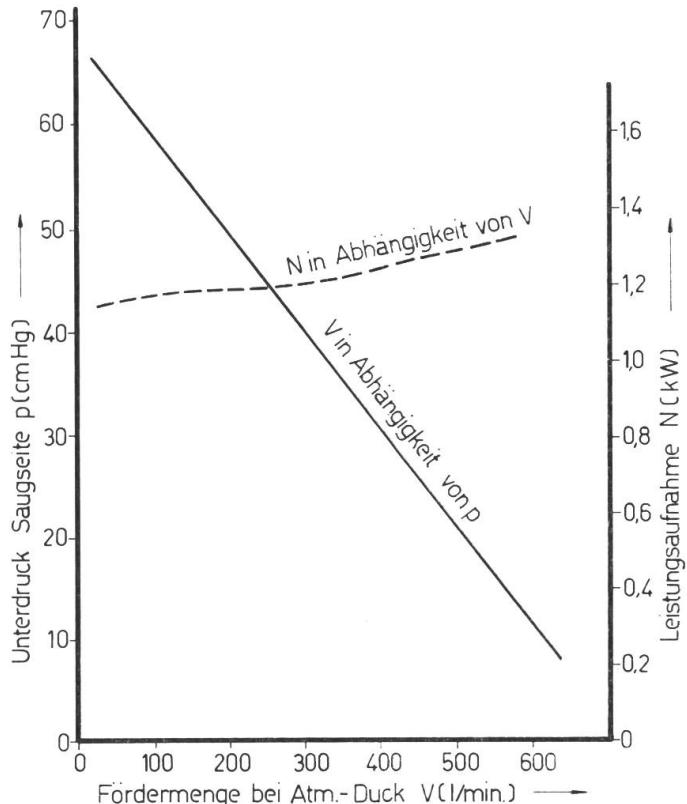
Der vorliegende Vortrag bietet einen Ausschnitt aus den strömungstechnischen Grundlagen, soweit sie zum Verständnis der Strömungsvorgänge beim Maschinenmelken nötig sind. Die sich abspielenden Strömungsvorgänge beim Maschinenmelken sind in Wirklichkeit sehr komplizierter Art und in ihren Abläufen auch heute noch wenig erforscht. In den folgenden Ausführungen werden nur Probleme behandelt, die von unmittelbarem Interesse für den Praktiker sind.

1. Ursache einer Strömung

Jede Strömung wird verursacht durch Druckunterschiede. Die Geschwindigkeit einer Strömung nimmt im allgemeinen mit grösser werdendem Druckunterschied zu. Dies gilt sowohl für Gase, zu denen auch die Luft gehört, wie auch für Flüssigkeit oder Gemische der beiden. Große Druckunterschiede, wie sie gerade beim Maschinenmelken nötig sind, können zu sehr hohen Geschwindigkeiten führen: wird z. B. ein Hahn einer Vakuumleitung geöffnet, dann kann im engsten Querschnitt des Hahns die Geschwindigkeit bis zur Schallgeschwindigkeit der Luft, d. h. auf ca. 340 m/Sek. oder 1200 km/Std. ansteigen! Auch durch den Lufteinlass des Milchsammelstückes strömt die Luft mit Schallgeschwindigkeit ein.

Die Druckunterschiede entstehen nicht von selbst; bei Maschinenmelkanlagen werden sie durch die Vakuumpumpe erzeugt. Die heute verwendeten Vakuumpumpen arbeiten vorwiegend nach dem Drehzscheibenprinzip. Diese Pumpen saugen bei jeder Umdrehung dasselbe Volumen, d. h. dieselbe Anzahl Liter Luft an. Die Pumpenkapazität, d. h. der Luftdurchsatz der Vakuumpumpe bei Betriebstemperatur, wird in Liter Freiluft pro Minute angegeben. Wird das Vakuum vor der Pumpe erhöht, dann saugt die Pumpe wohl noch dasselbe Luftvolumen, aber weniger dichte Luft an. Bei der Umrechnung auf Liter-

Abb. 1: Kennlinien einer Vakuumpumpe



Freiluft nimmt die Pumpenkapazität deshalb mit zunehmendem Vakuum vor der Pumpe ab. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie wurde dem DLG-Prüfbericht einer handelsüblichen Vakuumpumpe entnommen.

2. Druckverluste in Leitungen

Sobald Gas oder Flüssigkeit durch eine Leitung strömt, entstehen unerwünschte Druckverluste, die durch die Reibung des strömenden Mittels an der Rohrwand hervorgerufen werden. Auch Richtungsänderungen in Rohrkrümmern sowie andere Strömungshindernisse verursachen Druckverluste. Bei Strömungen in Rohren von Melkanlagen gilt die Gesetzmässigkeit, dass eine Verdoppelung der Strö-

mungsgeschwindigkeit die Druckverluste auf den ca. vierfachen Wert erhöht.

Anderseits bewirkt eine Absenkung der Strömungsgeschwindigkeit auf die Hälfte, dass die Druckverluste auf einen Viertel ihres ursprünglichen Wertes reduziert werden.

In Tabelle 1 sind die Druckverluste einer geraden Rohrleitung pro Meter Leitungslänge für galvanisierte Eisenrohre zusammengestellt. Die Werte gelten für saubere Rohrleitungen; bei verschmutzten Rohrleitungen kann der Druckverlust auf das Doppelte bis Dreifache des jeweiligen Wertes in der Tabelle ansteigen.

Tabelle 1

Rohr Ø (Zoll)	Nennweite (mm)	Luftdurchsatz (l/min)	Druckverlust pro m-Rohrlänge (mm Hg)
1	25	300	1,27
1	25	600	4,78
1 1/4		600	1,51
1 1/2	40	1000	1,57
2	50	1000	0,38
1	25	60	0,07
1	25	2 x 60	0,23
1	25	3 x 60	0,49
1	25	4 x 60	0,84

Um unnötige Druckverluste zu vermeiden, sollen bei der Verlegung von Vakuumleitungen nur Rohrbogen und niemals scharfkantige Rohrwinkel verwendet werden. Der Druckverlust eines Rohrwinkels ist ungefähr 6 mal so gross wie derjenige eines Rohrbogens. Zur Bestimmung des Druckverlustes von Rohrbogen werden diese in gerade Rohrstücke umgerechnet, wofür folgende Werte gelten:

Rohrdurchmesser	Aequivalente Rohrlänge für Bogen 90°
1 Zoll	0,2 – 0,3 m
2 Zoll	0,4 – 0,5 m

Grosse Druckverluste können in der Vakuumleitung einer Melkanlage auch durch Kondenswasser verursacht werden. Strömt feuchte Umgebungsluft, wie sie z. B. im Melkeimer vorhanden ist, in die Vakuumleitung ein, dann kühlst sie sich bei der Entspannung auf den Innendruck der Vakuumleitung ab (dieser Vorgang ist jedermann geläufig, der einmal die Luft

aus einem Velo- oder Autopneu durch das Ventil abgelassen hat: nach dem Entweichen der Luft fühlt sich das Ventil sehr kalt an). Weil kalte Luft pro Kubikmeter weniger Wasser aufnehmen kann als warme Luft, wird bei der Entspannung der Luft ein Teil des Wassers als Kondenswasser in der Vakuumleitung ausgeschieden. Sofern sich dieses Wasser in der Rohrleitung sammelt, wird dadurch der freie Querschnitt für die Luftströmung vermindert. Bei halb gefüllter Rohrleitung steigt z. B. der Druckverlust in der Rohrleitung ungefähr auf den vierfachen Wert gegenüber demjenigen bei leerer Rohrleitung an. Es ist daher darauf zu achten, dass die Vakuumleitung mit Gefälle verlegt wird, damit das Kondenswasser abfließen kann.

3. Auswirkung der Druckverluste auf die Vakuumhöhe innerhalb der Vakuumleitung

Die Druckverluste innerhalb der Vakuumleitung sind dafür verantwortlich, dass der Unterdruck längs der Leitung variiert. Solange die Melkanlagen auf einen Unterdruck von 38 cm Quecksilbersäule in der Vakuumleitung für optimale Arbeit ausgelegt werden, ist es nötig, dass dieser für die Arbeit günstigste Unterdruck in Wirklichkeit auch vorhanden ist. Man kann sich fragen, was getan werden muss, damit das Vakuum in der Leitung möglichst wenig vom Sollwert 38 cm-Hg-Unterdruck abweicht. Bevor diese Frage beantwortet werden kann, muss untersucht werden, welche Abweichungen in der Vakuumleitung vom gewünschten Unterdruck auftreten können. Zu diesem Zweck sind in Abbildung 2 einige Beispiele zusammengestellt, aus denen wichtige Forderungen in bezug auf die Anordnung der Vakuumleitung abgeleitet werden können.

Alle Abbildungen beziehen sich auf dasselbe Beispiel:

- Vakuumpumpe mit 300 l/min
- Rohrleitung mit 43 m aequivalenter Rohrlänge und Durchmesser 1 Zoll
- Gleichzeitiger Anschluss von 3 Eimermelkeinheiten

In den Abbildungen 2a), 2b) und 2c) wird nur der Anschlussort der Melkeinheiten längs der Vakuumleitung verändert.

Folgende Tendenzen sind erkennbar:

- Die kleinste Abweichung vom idealen Wert, d. h. nur ca. 0,2 cm Hg tritt dann auf, wenn alle Melkeinheiten in der Nähe der Vakuumpumpe angehängt werden (Abb. 2c).
- Die grösste Abweichung von ca. 19 cm Hg tritt auf, wenn alle Melkeinheiten am andern Ende der Va-

kuumleitung, d. h. möglichst weit von der Vakuumpumpe weg, angeschlossen werden (Abb. 2b).

- Bei verteilt angeschlossenen Melkeinheiten tritt eine Abweichung zwischen diesen Extremwerten auf (Abb. 2a).

Abb. 2: Druckverteilung in Vakuumleitung

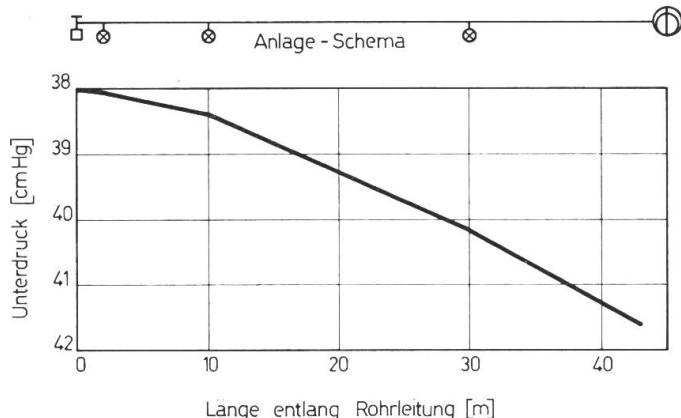
Die Werte gelten für folgendes Beispiel:

- Vakuumpumpe mit 300 l/min.
- Rohrleitungs durchmesser 1Zoll, gerade Länge 40m, 10 Rohrbogen 90°
- 3 Eimer-Melkanlagen mit je 60 l/min. Verbrauch an Freiluft

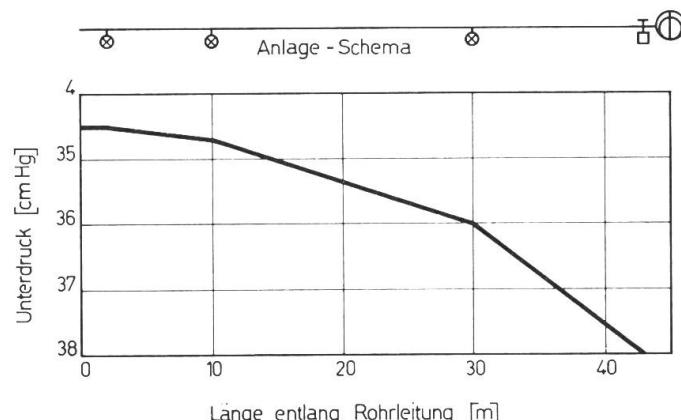
Zeichenerklärung:
 ☈ Ort der Eimer-Melkanlagen
 ☗ Ort des Regulierventils
 Ⓜ Ort der Vakuumpumpe

2a) Saubere Rohrleitung, Melkanlagen verteilt

2d) Saubere Rohrleitung, Melkanlage wie in 2a), Regulierventil am Ende Rohrleitung



2e) Verschmutzte Rohrleitung, sonst gleich wie 2a)

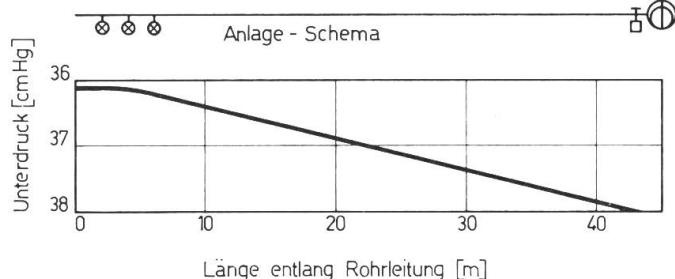


Sofern das Regulierventil vor der Vakuumpumpe angeordnet ist, bewirkt der Druckverlust in der Vakuumleitung eine Verkleinerung des Unterdruckes: statt 38 cm-Hg-Unterdruck sind in Wirklichkeit nur noch 37 oder 36 cm-Hg-Unterdruck vorhanden.

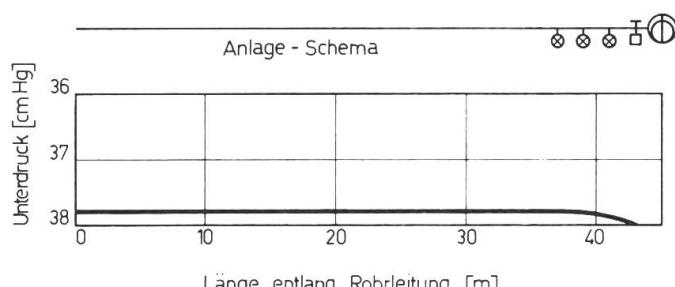
Die Abbildungen 2d) und 2e) zeigen Fälle, die in der Praxis möglichst vermieden werden müssen. In Abbildung 2d) ist der Fall gezeigt, bei dem das Regulierventil am Ende der Rohrleitung, also möglichst weit weg von der Pumpe angeordnet ist. Dieser Fall zeigt

- Die Abweichung vom idealen Wert des Unterdruckes (38 cm Hg) ist grösster als in den Fällen,

2b) Saubere Rohrleitung, Melkanlagen alle in Nähe Rohrende



2c) Saubere Rohrleitung, Melkanlagen alle in Nähe Vakuumpumpe



bei denen das Regulierventil vor der Vakuumpumpe angeordnet ist.

- Der Druckverlust in der Rohrleitung bewirkt eine Vergrösserung des Unterdruckes in der Vakuumleitung, was für den Melkvorgang schädlicher ist als ein zu geringer Unterdruck.

In Abbildung 2e) ist der Fall gezeigt, bei dem die Vakuumleitung stark verschmutzt ist. Die Melkeinheit nahe dem Vakuumleitungsende arbeitet bei einem Unterdruck von nur noch 34,5 cm Hg, also volle 4,5 cm Hg unterhalb vom Idealwert 38 Hg.

Welches sind die Empfehlungen, die aus diesen Abbildungen hervorgehen? Sie lassen sich in folgende Punkte zusammenfassen:

1. Das Regulierventil soll immer in der Nähe der Vakumpumpe angebracht werden.
2. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Vakuumleitung sauber ist.
3. Die Vakuumleitung soll nie mit zu kleinem Durchmesser ausgeführt werden.

Die Richtwerte der Normen scheinen vernünftig zu sein:

Luftdurchsatz (l/min)	Rohrabmessung (Zoll)
bis 300	1
300 bis 600	1 1/4
600 bis 1000	1 1/2
grösser als 1000	2

4. Die Vakuumleitung muss mit Gefälle verlegt werden, damit sich kein Kondenswasser ansammeln kann.

Verschiedene Verkäufer versuchen, den Kunden Vakuum-Rohrleitungen mit Durchmessern zu verkaufen, die grösser sind als die in den Normen festgelegten Werte. Sie begründen ihren Standpunkt damit, dass die Druckverluste in der Leitung verkleinert und die Reserven der Anlage erhöht würden. Die Druckverluste werden wirklich verkleinert, daneben wird aber der Inhalt der Rohrleitung durch einen zu grossen Durchmesser vergrössert, was zu einer unerwünschten Verlängerung der Erholungszeit der Anlage führt. Bei Störungen, wie sie z. B. der Anschluss einer Melkeinheit an die Vakuumleitung verursacht, braucht die Vakumpumpe längere Zeit, um den Druck wieder auszugleichen. Die teuer bezahlte, vermeintliche Reserve wirkt sich dadurch ungünstig auf die Eigenschaften einer sonst guten Anlage aus.

4. Druckverhältnisse in der Milchleitung einer Rohrmelkanlage

Bei Rohrmelkanlagen wird das Vakuum der Zitengummi-Innenräume durch den Unterdruck in der Milchleitung bestimmt. Milch und Luft strömen während des Melkvorganges zusammen durch die Milchleitung und bilden mindestens in einem Teil der Rohrleitung eine Zweiphasenströmung. Die Voraussage des Druckverlaufes wird dadurch erschwert, dass die Strömung nicht stetig ist, sondern pulsiert. Im Gegensatz zur Vakuumleitung kann der Druckverlauf in der Milchleitung nicht mit der nötigen Genauigkeit vorausberechnet werden. Es können hier keine brauchbaren Werte über die auftretenden Druckverluste gegeben werden, obwohl dies zur Auslegung guter Melkanlagen dringend erwünscht wäre. Immerhin können einige wichtige Gesetzmässigkeiten und Massnahmen genannt werden, die bei solchen Anlagen zu beachten sind:

1. Die oben behandelten Beziehungen über die Druckverluste in Vakuumleitungen gelten auch für die Teile der Milchleitung, wo Milch und Luft getrennt voneinander strömen.
Auch die Milchleitung muss deshalb einen normgerechten Durchmesser haben.
2. Die Druckverluste werden umso grösser, je länger Milch und Luft als Zweiphasenströmung zusammen fliessen.
Es ist darum nötig, die Zweiphasenströmung so schnell als möglich in die beiden Einzelströme aufzutrennen.
3. Der Vakuumabfall im Zizengummi-Innenraum wird umso grösser, je höher die Milchleitung gegenüber dem Sammelstück liegt.
Hochverlegte Milchleitungen bieten mehr Probleme bei der Auslegung einer Anlage als tiefverlegte Milchleitungen an Melkständen.
4. Die Druckschwankungen im Zizengummi-Innenraum werden umso grösser, je dichter und je länger die Milchsäulen im Bereich der Zweiphasenströmung in der Milchleitung werden.

Ein verstopfter Lufteinlass im Milchsammelstück wirkt sich in dieser Beziehung äusserst schädlich aus. Durch den Luftmangel füllt sich der Zitzen-

gummi-Innenraum, das Sammelstück und ein Teil der Milchleitung mit Milch, was zu heftigen Druckschwankungen im Zitzengummi-Innenraum führt. Der Lufteinlass im Sammelstück muss deshalb unbedingt offen und sauber gehalten werden.

5. Ppropfenbildung in der Milchleitung verursacht langzeitige Druckschwankungen im Zitzengummi-Innenraum, welche sich in bezug auf die Euter gesundheit schädlich auswirken.

Diese Ppropfenbildung kann dadurch vermieden

werden, dass die Milchleitung mit genügend Gefälle verlegt wird.

Werden diese Regeln beachtet, so können auch Rohrmelkanlagen mit hochverlegter Milchleitung zufriedenstellend arbeiten. Gerade bei diesen Anlagen muss aber auf eine sorgfältige Planung beim Bau und Ueberwachung im Betrieb geachtet werden, weil sich Abweichungen gegenüber dem Idealzustand schlimmer auswirken als bei Eimermelkanlagen oder Rohrmelkanlagen mit tiefverlegter Milchleitung.

Wie bewähren sich zapfwellengetriebene Bodenbearbeitungsgeräte in der Praxis ?

(1. Teil)

Ing. Roman Sieg, Bundesversuchs- und Prüfungsanstalt für landw. Maschinen und Geräte, Wieselburg (A)

Die ersten derartigen Geräte sind in Form einer Fräse, die ja vom Gartenbau her bestens bekannt war, für den Ackerbau übernommen worden. Die Freude mit diesen Geräten war aber bald getrübt, und zwar aus den zwei folgenden Hauptgründen:

- Die Traktoren waren vorerst ohne ausreichende Motorleistung und
- durch die zwangsläufig bewegten Fräsmesser fürchtete man Bodenbeschädigungen.

Mit Zunahme der Motorleistung bei den Traktoren, der Notwendigkeit die Arbeitsproduktivität zu steigern, und mit der gleichzeitigen ständigen Abnahme von landw. Arbeitskräften, kam man zwangsläufig auf allen möglichen Mechanisierungsgebieten zu Zapfwellengeräten. Ausserdem wurde das Leistungsgewicht der Traktoren (kg pro PS) immer geringer und daher die Zugkraft pro PS kleiner. Damit eng verbunden stellte sich durch Messungen in der Praxis heraus, dass die Motorleistung des Traktors über die Zapfwelle mit rund 80% und über die Räder (gezogene Geräte) mit nur rund 50% ausgenutzt werden kann.

Was die Bodenstruktur betrifft, weiss man heute, dass es verschiedene Methoden gibt, den Boden trotz Einsatz von intensiv arbeitenden Werkzeugen gesund zu erhalten. Natürlich sollte man, wenn möglich, den günstigsten Bearbeitungszeitpunkt abwar-

ten, da dies die einfachste und natürlichste Art ist, Bodenschäden zu vermeiden. Ist das aber einmal aus witterungstechnischen Gründen aussichtslos, so wird man mit diesen Geräten trotzdem einen saatfähigen Acker bereiten können ohne dem Boden langfristig zu schaden. Auf wenig humosem Boden sollte man aber den Einsatz von zapfwellengetriebenen Geräten möglichst unterlassen. Einem derartigen Acker muss durch Stallmist, Gründüngung und dergleichen erst Humus zugeführt werden.

Die Bundesversuchs- und Prüfungsanstalt für landw. Maschinen und Geräte in Wieselburg/Erl. hat sich in den letzten beiden Jahren intensiv mit der Untersuchung von zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten befasst. Dies entsprach einem viel geäußerten Wunsche der Praxis, eine objektive Aussage über deren Wert zu machen. Ueber die während der Versuche gewonnenen praktischen Erfahrungen soll im nachstehenden Aufsatz berichtet werden: Derzeit stehen dem Landwirt folgende Bodenbearbeitungs-Gerätekombinationen mit Zapfwellenantrieb zur Verfügung:

- die Pendel- oder auch Rüttelegg e genannt,
- die Kreiselegg e