

75. Kraftübertragung durch komprimierte Luft. Es sei hier im Zusammenhange mit dem bisher behandelten Stoff in Kürze ein Arbeitsprozeß besprochen, welcher in Paris und anderwärts in großem Stile ausgeführt wurde und der Wesenheit nach darin besteht, daß aus einer Zentrale Kraft auf große Entfernungen mittelst komprimierter Luft übertragen und am Bestimmungsorte durch Röhren an Kraftmaschinen, zumeist Kolbenmaschinen, abgegeben wurde.

Die Kompression der Luft werde in einem gut wärmeleitenden Cylinder so langsam durchgeführt gedacht, daß die hierdurch erzeugte Wärme, in dem Maße ihrer Entwicklung, durch Leitung nach außen abgegeben wird; für diesen Fall ist der Kompressionsprozeß isothermisch von der Temperatur der Atmosphäre. Setzt man ferner voraus, daß die so komprimierte Luft ohne Änderung ihrer Temperatur verteilt und der Expansionsprozeß in der Maschine des Verwendungsortes auch so langsam vollzogen werde, daß er als isothermischer Prozeß angenommen werden kann, dann würde in dem ganzen kombinierten Prozesse der Kraftübertragung kein Kraftverlust eintreten, wenn man von den Bewegungswiderständen in der Rohrleitung etc. absieht.

Es würde somit das Indikatordiagramm des Kompressors dasselbe sein, wie jenes des Luftdruckmotors, nämlich *faec* in dem einen und *eacf* (Fig. 38) in dem anderen, wobei *ac* eine Isotherme ist.

Im Gegensatze hierzu sei Kompression und Expansion adiabatisch angenommen, ein Fall, welcher näherungsweise bei sehr raschem Verlaufe dieser beiden Prozesse eintreten wird. Das Diagramm der Kompression ist in diesem Falle *fbce* (Fig. 39), und das Diagramm der Expansion in dem Luftdruckmotor *cadf* (Fig. 40), worin *cb* einerseits und *ad* andererseits adiabatische Linien sind. Die Änderung des Volumens der komprimierten Luft von *eb* (Fig. 39) auf *ea* (Fig. 40) ist eine Folge der Abkühlung derselben auf dem Wege ihrer Verteilung durch die Rohrleitung von der Kompressionsendtemperatur auf die Temperatur der Atmosphäre.

Legt man die beiden Diagramme 39 und 40 wie in Fig. 41 zusammen und zeichnet man eine isothermische Linie zwischen *a* und *c* (beides sind Punkte bei atmosphärischer Temperatur), dann erkennt man, daß die adiabatische Kompression einen Arbeitsverlust, ausgedrückt durch die Fläche *cba*, die adiabatische Expansion gleichfalls einen weiteren Arbeitsverlust, ausgedrückt durch die Fläche *acd*, zur Folge hat.

Bei adiabatischer Kompression und Expansion bestimmt sich der Wirkungsgrad des Prozesses leicht aus der Betrachtung, daß eine für irgend einen Druck gezogene horizontale Linie, welche die Kurven *ad* und *bc* schneidet, durch *ad* in zwei Abschnitte geteilt wird, deren Verhältnis konstant und gleich dem Verhältnisse von *ea* zu *ab* oder von *fd*

zu dc ist. Der Wirkungsgrad ergibt sich daraus durch das Verhältnis der Fläche des Expansionsdiagrammes zur Fläche des Kompressionsdiagrammes und ist somit

$$\frac{ea}{eb} \text{ oder } \frac{fd}{fc};$$

oder durch die Temperaturen ausgedrückt

$$\frac{T_d}{T_c} \text{ oder } \frac{T_a}{T_a},$$

nachdem

$$T_a = T_c.$$

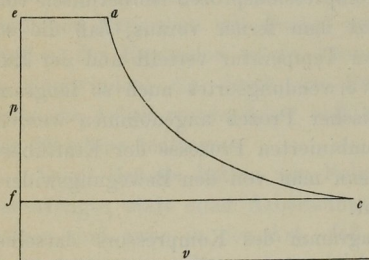


Fig. 38.

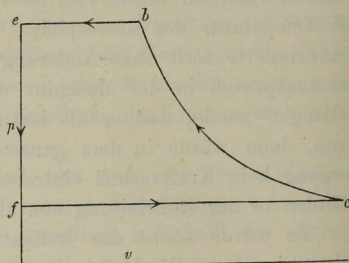


Fig. 39.

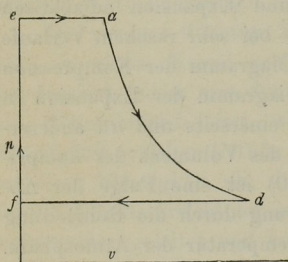


Fig. 40.

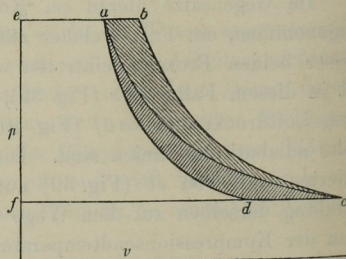


Fig. 41.

Durch die Spannungen ausgedrückt ist der Wirkungsgrad

$$\left(\frac{p_d}{p_a}\right)^{\frac{x-1}{x}}.$$

Wenn als Beispiel die Luft auf 4 Atmosphären komprimiert wird, dann ist der Wirkungsgrad

$$\frac{1}{4^{\frac{1}{1,41}}} = \frac{1}{4^{0,29}} = 0,67.$$

Bei isothermischer Kompression und Expansion wäre der Wirkungsgrad, soweit diese beiden Prozesse in Betracht kommen, gleich Eins.

In Wirklichkeit kann die Kompression wegen Mangel an der hierzu erforderlichen Zeit nicht isothermisch durchgeführt werden; man trachtet jedoch durch Wasserinjektion in den Cylinder die Temperaturerhöhung möglichst zu vermindern und erreicht hierdurch eine Kurve, welche zwischen ca und cb (Fig. 41) liegt, von der annähernd richtigen Zustandsgleichung

$$pv^{1,2} = \text{const.};$$

der Wert des Exponenten bildet ungefähr das Mittel zwischen dem Exponenten der Zustandsgleichung der Isotherme $pv = \text{const.}$ und jenem der Zustandsgleichung der Adiabate $pv^{1,41} = \text{const.}$

Der Arbeitsverlust infolge der nicht isothermischen Kompression kann jedoch noch weiters dadurch vermindert werden, daß man den Prozeß in zwei oder mehreren Stufen (durch zwei oder mehrere zusätzliche Cylinder) durchführt und die Luft beim Übergange aus einem Cylinder in den darauffolgenden abkühlt. Auf diese Weise erhält man eine abgestufte Kompressionslinie $cghijk$ nach Art der Fig. 42, welche sich noch mehr der isothermischen Linie ca nähert, wodurch der Arbeitsverlust auf den Betrag der schraffierten Fläche reduziert wird.

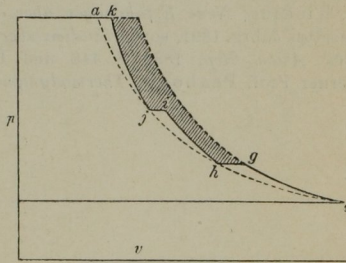


Fig. 42.

Bei hoch komprimierter Luft ist der hierdurch erzielte Arbeitsgewinn ziemlich bedeutend.

Ähnliche Einrichtungen können auch bei den Luftdruckmotoren getroffen werden, um die Expansionskurve näher der Isotherme zu bringen; es empfiehlt sich also auch hier wie dort entweder Wasserinjektion oder die Compoundanordnung, damit die Luft beim Übergange von einer Expansionsstufe zur nächsten Zeit findet, Wärme aufzunehmen und die Temperatur der Atmosphäre mehr oder minder nahe zu erreichen. Durch diese Mittel kann der Wirkungsgrad des ganzen Krafttransmissionssystems, wenn man von allen Arbeitsverlusten infolge der Reibung und sonstigen Bewegungswiderständen in der Rohrleitung, den Ventilen der Maschinen etc. absieht, der Einheit ziemlich nahe gebracht werden.

Bezüglich der Expansion muß hier jedoch noch eine andere Erscheinung berücksichtigt werden. Wenn man die Temperatur während der Expansion wesentlich sinken läßt, treten dieselben Schwierigkeiten hinsichtlich der Bildung von Schnee und Eis im Innern der Maschine auf,

die bereits bei Besprechung der Kältemaschinen Erwähnung fanden. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, leitet man in der Praxis die komprimierte Luft durch Öfen oder andere Vorrichtungen, um die Temperatur derselben vor der Expansion zu erhöhen und die Bildung von Niederschlägen zu verhindern. Die für diese „Nachheizer“ erforderliche Wärme wird selbstverständlich zum Teil in Arbeit umgesetzt und soll nach den im großen durchgeführten diesbezüglichen Versuchen an den Maschinenanlagen der Kraftversorgung von Paris durch Druckluft durch diese Nachheizung eine nicht unwesentliche Erhöhung des Wirkungsgrades solcher Anlagen erreicht werden*).

*) Über Krafttransmission durch komprimierte Luft sind zahlreiche wertvolle Publikationen erschienen; von diesen seien hier genannt: A. Riedler, *Die Kraftversorgung von Paris durch Druckluft*, Zeitschrift d. Vereins d. Ingenieure, 1889. A. Riedler, *Neue Erfahrungen über die Kraftversorgung von Paris durch Druckluft*, daselbst Jahrg. 1891, sowie *Studien über Kraftverteilung*, Jahrg. 1892. Prof. Kennedy, *Brit. Assoc. Rep.* 1889 S. 448 und Prof. Nicolson, *Engineering*, July 7, 1893. Ferner Prof. Peabody, *Thermodynamik der Dampfmaschine*, XX. Kap.