Die Luftexpansions-Maschine

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1853

Berechnung der Compressionspumpe

urn:nbn:de:bsz:31-266528

strömt, die jener, nach welcher sich die Verbrennungsgase bewegen, entgegengesetzt ist.

8. Die Heizfläche des Apparates fällt unter günstigen Umständen kleiner aus, als die eines Dampfkessels von gleicher Kraftleistung.

9. Die Grösse der Maschine, welche nach dem Querschnitte des Expansionscylinders und des Pumpencylinders beurtheilt werden kann, ist der Kolbengeschwindigkeit, dem Grad der Lufterhitzung und dem Logarithmus des Luftverdichtungsgrades verkehrt proportional. Wenn die Luftexpansions-Maschine nicht grösser ausfallen soll, als eine *Watt'sche* Dampfmaschine von gleicher Kraft, so muss die Luft auf 4 Atmosphären verdichtet, auf 300° erhitzt und muss eine Kolbengeschwindigkeit von 1·3 Meter in einer Sekunde zugelassen werden. Eine starke Lufterhitzung ist also nur nothwendig, damit die Maschine nicht zu gross ausfällt, denn die Wirkung der Maschine für jede im Brennstoff enthaltene Wärmeeinheit ist, wie schon oben angeführt wurde, von der Erhitzung unabhängig.

10. Obgleich die Luftexpansions-Maschinen hinsichtlich des zu ihrem Betrieb erforderlichen Brennstoffaufwandes ein drei Mal so günstiges Resultat versprechen, als die Dampfmaschinen, so muss ihre allgemeine Einführung statt der Dampfmaschinen noch so lange bezweifelt werden, bis die praktischen Mittel ausfindig gemacht sind, durch welche es möglich wird, die Bedingungen einer so vortheilhaften Verwendung des Brennstoffes mit Maschinen von mässiger und ausführbarer Grösse zu realisiren.

11. Die Mittel, durch welche eine praktische solide Construktion der Luftmaschine möglich würde, wären: a) für den Luftheizungsapparat, ein nicht zu kostspieliges Metall, welches den Einwirkungen der bis zu 1000° erhitzten Verbrennungsgase und der bis zu 300 bis 400 Grad erhitzten atmosphärischen Luft dauernd widerstünde; b) für die Maschine entweder eine Einrichtung, bei welcher die mit der erhitzten atmosphärischen Luft in Berührung kommenden Theile ihre relative Lage gegen einander nicht änderten, oder eine Substanz, welche sich bei einer Temperatur von 300 bis 400 Grad wie Oel bei mässiger Temperatur verhielte, also bei dieser Temperatur fettig und leicht flüssig bliebe.

Berechnung der Compressionspumpe.

Wenn der Kolben der Compressionspumpe seinen Schub beginnt, befindet sich hinter dem Kolben in dem schädlichen Raum atmosphärische Luft, von der im Röhrenapparat herrschenden Spannkraft p, vor dem Kolben dagegen ist das wirksame Volumen und der schädliche Raum mit Luft von einer atmosphärischen Spannkraft erfüllt. In diesem Moment sind aber noch sämmtliche Ventile des Cylinders geschlossen. Das untere Ausströmungsventil bleibt während des ganzen Kolbenschubes geschlossen. Das untere Finströmungsventil bleibt so lange geschlossen, bis die Spannung der Luft unter dem Kolben kleiner als eine Atmosphäre geworden ist. Sodann wird es durch den äusseren Luftdruck geöffnet, und lässt bis an's Ende des Hubes die äussere Luft einströmen. Das obere Einströmungsventil bleibt während des ganzen Hubes geschlossen. Das obere Ausströmungsventil dagegen bleibt nur so lange geschlossen, bis die über dem Kolben befindliche Luft eine Spannkraft p erreicht hat; ist dies geschehen, so öffnet es sich und lässt die comprimirte Luft in die nach dem Ofen führende Röhre eintreten.

Wenn wir die Kolbenreibung und die Luftverluste vernachlässigen, welche durch unvollkommenen Verschluss des Kolbens und der Ventile entstehen, so kann man den zum Betriebe der Pumpe erforderlichen Effekt und die für eine gewisse Luftlieferung nothwendige Grösse der Pumpe auf folgende Weise berechnen.

Nennen wir

a den Querschnitt des Cylinders der Pumpe,

l die Länge des Kolbenschubes,

v die Geschwindigkeit des Kolbens, welche gefunden wird, wenn man die Länge des Kolbenschubes durch die Zeit eines Schubes dividirt,

m den Coeffizienten für den schädlichen Raum, d. h. die Zahl, mit welcher das Volumen $a\,l$ multiplizirt werden muss, um das Volumen des schädlichen Raumes zu erhalten,

q die Luftmenge in Kilogrammen, welche im Mittel in jeder Sekunde durch die Pumpe geliefert wird,

$\mathfrak{A}$ den Druck der Atmosphäre auf einen Quadratmeter,

p den Druck der comprimirten Luft auf einen Quadratmeter in Kilogrammen,

t_0 die Temperatur der äusseren Luft, welche von der Pumpe eingesaugt wird,

$\alpha = 0{\cdot}00375$ den Ausdehnungscoeffizienten für die Luft,

x_1 den Weg, welchen der Kolben zurücklegt, bis das untere Einsrömungsventil geöffnet wird,

x_2 den Weg, den der Kolben zurücklegt, bis das obere Ausströmungsventil geöffnet wird,

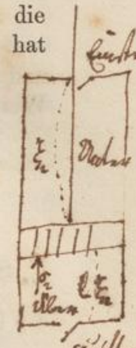
σ_1 die Spannung (Druck auf 1 Quadratmeter), welche unter dem Kolben vorhanden ist, wenn der Kolben einen Weg ξ_1 zurückgelegt hat, der kleiner als x_1 ist,

σ_2 die Spannung, welche über dem Kolben vorhanden ist, wenn derselbe einen Weg ξ_2 zurückgelegt hat, der kleiner als x_2 ist.

Vermöge des *Mariottischen* Gesetzes, nach welchem sich die Spannungen unterhalb und oberhalb des Kolbens verändern, hat man zunächst:

$$\mathrm{m\,a\,l\,p} = (\mathrm{m\,a\,l} + \mathrm{a}\,\xi_1)\,\sigma_1$$
$$\mathrm{m\,a\,l\,p} = (\mathrm{m\,a\,l} + \mathrm{a\,x_1})\,\mathfrak{A}$$

$$(\mathrm{m\,a\,l} + \mathrm{a\,l})\,\mathfrak{A} = [\mathrm{m\,a\,l} + \mathrm{a}\,(\mathrm{l} - \xi_2)]\,\sigma_2$$
$$(\mathrm{m\,a\,l} + \mathrm{a\,l})\,\mathfrak{A} = [\mathrm{m\,a\,l} + \mathrm{a}\,(\mathrm{l} - \mathrm{x_2})]\,\mathrm{p}.$$



Aus diesen Gleichungen folgt:

$$\left.\begin{aligned}
\sigma_1 &= \frac{\mathrm{m\,l}}{\mathrm{m\,l} + \xi_1}\,\mathrm{p} \quad \ldots\ldots\ldots \\
\mathrm{x_1} &= \mathrm{m\,l}\left(\frac{\mathrm{p}}{\mathfrak{A}} - 1\right) \ldots\ldots\ldots \\
\sigma_2 &= \frac{\mathrm{m\,l} + \mathrm{l}}{\mathrm{m\,l} + \mathrm{l} - \xi_2}\,\mathfrak{A} \quad \ldots\ldots\ldots \\
\mathrm{x_2} &= (\mathrm{m\,l} + \mathrm{l})\left(1 - \frac{\mathfrak{A}}{\mathrm{p}}\right) \quad \ldots
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Äußer. Die Luft im schädl. Raum drückt anfänglich mit p; sie dehnt sich von mal in mal+aξ₁ aus, also mal : ξ₁ = mal+aξ₁ : p

Äußer. Das Volumen mal+ … erfüllte den ges. … unter dem Drucke 𝔄, gelangt nach im Raume mal+a(l−ξ₂) den Druck σ₂, mal+al : mal+a(l−ξ₂) = σ₂ : 𝔄.

Die über dem Kolben befindliche Luft wirkt durch den Weg $\mathrm{x_2}$ mit veränderlicher und durch den Weg $\mathrm{l} - \mathrm{x_2}$ mit constanter[1] Intensität der Bewegung des Kolbens entgegen. Die untere Luft wirkt dagegen während des ganzen Kolbenschubes treibend, und zwar durch den Weg $\mathrm{x_1}$ mit veränderlicher, und durch den Weg $\mathrm{l} - \mathrm{x_1}$ mit constanter Kraft. Die Wirkung $\mathrm{W_1}$, welche einem Schub entspricht, ist demnach:

$$\mathrm{W_1} = \left\{\begin{aligned}
&+\int_{\xi_2 = 0}^{\xi_2 = \mathrm{x_2}} \mathrm{a}\,\sigma_2\,d\xi_2 + \mathrm{a\,p}\,(\mathrm{l} - \mathrm{x_2}) \\
&-\int_{\xi_1 = 0}^{\xi_1 = \mathrm{x_1}} \mathrm{a}\,\sigma_1\,d\xi_1 - \mathrm{a}\,\mathfrak{A}\,(\mathrm{l} - \mathrm{x_1})
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

[1] Vermöge der Gleichungen (1) findet man nun

$$\int_{\xi_2 = 0}^{\xi_2 = \mathrm{x_2}} \mathrm{a}\,\sigma_2\,d\xi_2 = \mathfrak{A}\,\mathrm{a}\int_{\xi_2 = 0}^{\xi_2 = \mathrm{x_2}} \frac{\mathrm{m\,l} + \mathrm{l}}{\mathrm{m\,l} + \mathrm{l} - \xi_3}\,d\xi_2 =$$

$$= -\mathfrak{A}\,a\,(m\,l + l) \int\limits_{\xi_2 = o}^{\xi_2 = x_2} \frac{-\,d\,\xi_2}{m\,l + l - \xi_2} = \mathfrak{A}\,a\,(m\,l + l)\,\text{lognat.}\,\frac{m\,l + l}{m\,l + l - x_2}$$

und wenn man aus der letzten der Gleichungen (1) für x_2 seinen Werth setzt, so folgt:

$$\int\limits_{\xi_2 = o}^{\xi_2 = x_2} a\,\sigma_2\,d\,\xi_2 = \mathfrak{A}\,a\,(m\,l + l)\,\text{lognat.}\,\frac{p}{\mathfrak{A}} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Sodann wird:

$$a\,p\,(l - x_2) - a\,\mathfrak{A}\,(l - x_1) = a\,p\,\left[l - (m\,l + l)\left(1 - \frac{\mathfrak{A}}{p}\right)\right]$$
$$- a\,\mathfrak{A}\,\left[l - m\,l\left(\frac{p}{\mathfrak{A}} - 1\right)\right] = o \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Endlich ergibt sich:

$$\int\limits_{\xi_1 = o}^{\xi_1 = x_1} a\,\sigma_1\,d\,\xi_1 = a \int\limits_{\xi_1 = o}^{\xi_1 = x_1} \frac{m\,l}{m\,l + \xi_1}\,p\,d\,\xi_1 = a\,m\,l\,p \int\limits_{\xi_1 = o}^{\xi_1 = x_1} \frac{d\,\xi_1}{m\,l + \xi_1}$$

$$= a\,m\,l\,p\,\text{lognat.}\,\frac{m\,l + x_1}{m\,l}$$

$$= a\,m\,l\,p\,\text{lognat.}\,\frac{m\,l + m\,l\left(\frac{p}{\mathfrak{A}} - 1\right)}{m\,l}$$

$$= a\,m\,l\,p\,\text{lognat.}\,\frac{p}{\mathfrak{A}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Führt man die Werthe, welche die Ausdrücke (3) (4) (5) darbieten, in (2) ein, so findet man:

$$W_1 = \mathfrak{A}\,a\,(m\,l + l)\,\text{lognat.}\,\frac{p}{\mathfrak{A}} - a\,m\,l\,p\,\text{lognat.}\,\frac{p}{\mathfrak{A}}$$

oder:

$$W_1 = a\,\mathfrak{A}\,l\left[1 - m\left(\frac{p}{\mathfrak{A}} - 1\right)\right]\,\text{lognat.}\,\frac{p}{\mathfrak{A}} \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Dividirt man diese Wirkung durch die Zeit $\frac{l}{v}$ eines Schubes, so erhält man den zum Betrieb der Pumpe erforderlichen Fffekt E_1 und es wird:

$$E_1 = a\,\mathfrak{A}\,v\left[1 - m\left(\frac{p}{\mathfrak{A}} - 1\right)\right] \text{ lognat. } \frac{p}{\mathfrak{A}} \quad . \quad (7)$$

Das obere Ausströmungsventil ist geöffnet, während der Kolben den Weg $(l - x_2)$ zurücklegt. Die Pumpe liefert daher bei jedem Schub eine Luftmenge, deren Volumen bei einer Spannung p und Temperatur t_0 gleich $a\,(l - x_2) = a\left[l - (m\,l + l)\left(1 - \frac{\mathfrak{A}}{p}\right)\right]$ $= a\,l\left[1 - (m + 1)\left(1 - \frac{\mathfrak{A}}{p}\right)\right]$ ist. Das Gewicht dieser Luft ist demnach:

$$a\,l\left[1 - (m+1)\left(1 - \frac{\mathfrak{A}}{p}\right]\frac{p}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma_0}{1 + \alpha\,t_0} =$$

$$a\,l\left[1 - m\left(\frac{p}{\mathfrak{A}} - 1\right)\right]\frac{\gamma_0}{1 + \alpha\,t_0}.$$

Dividirt man diesen Werth durch die Zeit $\frac{1}{v}$ eines Schubes, so erhält man die Luftmenge q in Kilogrammen, welche die Pumpe in jeder Sekunde liefert. Man findet:

$$q = a\,v\left[1 - m\left(\frac{p}{\mathfrak{A}} - 1\right)\right]\frac{\gamma_0}{1 + \alpha\,t_0} \quad . \; . \; . \quad (8)$$

Durch Division der Gleichungen (7) und (8) findet man auch

$$\frac{E_1}{q} = \mathfrak{A}\,\frac{1 + \alpha\,t_0}{\gamma_0} \text{ lognat. } \frac{p}{\mathfrak{A}} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (9)$$

Da dieser Ausdruck den Coeffizienten für den schädlichen Raum nicht enthält, so folgt, dass der Effekt, welcher erforderlich ist, um vermittelst der Pumpe eine gewisse Luftmenge in Kilogrammen zu liefern, von den schädlichen Räumen ganz unabhängig ist. Diese letzteren haben jedoch Einfluss auf den Querschnitt a, welchen eine Pumpe erhalten muss, damit sie in jeder Sekunde eine gewisse Luftmenge von q Kilogrammen liefern kann. Es folgt nämlich aus (8)

$$a = \frac{q}{v\left[1 - m\left(\frac{p}{\mathfrak{A}} - 1\right)\right]\frac{\gamma_0}{1 + \alpha\,t_0}} \quad . \; . \; . \quad (10)$$