Der Maschinenbau

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1863

Die Gasmaschine mit comprimirtem Gas

urn:nbn:de:bsz:31-270981

gehen soll, die Verbrennungsgase der Feuerung entweichen daher in die Züge mit einer Temperatur von vielleicht 1000 Grad, d. h. beinahe im glühenden Zustand und diese Wärme ist rein verloren; 2) die Koks, welche die Retorten liefern, sind nahezu hinreichend, um den Gasofen zu heizen, sind also verloren.

Die Gasmaschine mit comprimirtem Gas. Es bietet sich die Frage dar, ob es nicht vortheilhaft ist, das Gasgemenge, bevor man es in die Maschine eintreten lässt, zu comprimiren. Man darf sich allerdings wenig Hoffnung machen, dass hierdurch in praktischer Hinsicht ein erheblicher Vortheil erreicht werden kann, denn zur Comprimirung des Gases ist eine Pumpe nothwendig, und die praktischen Schwierigkeiten sind bei Anwendung von comprimirtem Gas noch grösser als bei nicht comprimirtem. Indessen ist es doch nicht ohne theoretisches Interesse, die angeregte Frage zur Entscheidung zu bringen.

Wir legen unserer Rechnung eine Maschine zu Grunde, die ganz so eingerichtet ist, wie die calorische Maschine des Verfassers, nehmen also einen Verdichtungscylinder und einen Treibcylinder an. Auch wählen wir die gleichen Bezeichnungen, wie bei der calorischen Maschine. Nur bei einzelnen Grössen werden wir die Bezeichnungen ändern. Die eigenen Reibungswiderstände und die schädlichen Räume wollen wir vernachlässigen.

In der Theorie der calorischen Maschine haben wir für die Verdichtungspumpe nachstehende Ausdrücke gefunden:

$$w_1 = a\, l\, \mathfrak{A} \frac{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}} - 1}{\frac{\mu-1}{\mu}} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

$$q = \frac{a\, v\, \gamma_0}{1 + \alpha\, t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Der erste gibt die Wirkung, welche ein Kolbenschub der Pumpe erfordert, der zweite die Gasmenge (Gemisch von Leuchtgas und atmosphärischer Luft) in Kilogrammen, welche in jeder Sekunde comprimirt wird.

Nach dem potenzirten Mariott'schen Gesetz ist die Temperatur t_0 des durch die Pumpe comprimirten Gases:

$$t_0 = \left(\frac{1}{\alpha} + t\right)\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}} - \frac{1}{\alpha} \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Nehmen wir auch hier an, dass die Entzündung des Gasgemenges plötzlich erfolge und dann eintrete, nachdem der Kolben des Treibcylinders einen Weg L_1 zurückgelegt hat, so ist die Pressung p_1, welche nach erfolgter Entzündung eintritt:

$$p_1 = p \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_0} \quad \dots\dots\dots \quad (4)$$

und ist die Temperatur t_1 des entzündeten Gases:

$$t_1 = t_0 + \frac{\mathfrak{H}}{0{\cdot}167\,(1 + \lambda)} \quad \dots\dots\dots \quad (5)$$

Der Werth von $\frac{p_1}{p}$ wird vermittelst (5):

$$\frac{p_1}{p} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_0} = 1 + \frac{\alpha \mathfrak{H}}{0{\cdot}167\,(1 + \alpha t_0)} \frac{1}{1 + \lambda}$$

und wenn man vermittelst (3) t_0 durch t ausdrückt:

$$\frac{p_1}{p} = 1 + \frac{\alpha \mathfrak{H}}{0{\cdot}167\,(1 + \alpha t)} \frac{1}{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu - 1}{\mu}} (1 + \lambda)}$$

oder wenn wir zur Abkürzung setzen:

$$\frac{\alpha \mathfrak{H}}{0{\cdot}167\,(1 + \alpha t)} = k \quad \dots\dots\dots \quad (6)$$

$$\frac{p_1}{p} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_0} = 1 + \frac{k}{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu - 1}{\mu}} (1 + \lambda)} \quad \dots \quad (7)$$

Nachdem der Hauptkolben einen Weg $x > L_1$ zurückgelegt hat, ist nach dem potenzirten Mariott'schen Gesetz die Spannung y des Gasgemenges:

$$y = p_1 \left(\frac{L_1}{x}\right)^{\mu} \quad \dots\dots\dots \quad (8)$$

und nun ist die nützliche Wirkung eines Kolbenschubes:

$$W = A L_1 p + \int_{L_1}^{L} y\, A\, dx - O\, r\, L - w_1$$

Führt man für y seinen Werth aus (8) ein, verrichtet die Integration und setzt für w_1 seinen Werth aus (1), so folgt:

$$W = \left\{ \begin{array}{l} A\,p\,L_1 + A\,p_1\,L_1\,\dfrac{1 - \left(\dfrac{L_1}{L}\right)^{\mu - 1}}{\mu - 1} \\[2ex] - A\,r\,L - a\,l\,\mathfrak{A}\,\dfrac{\left(\dfrac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu - 1}{\mu}} - 1}{\dfrac{\mu - 1}{\mu}} \end{array} \right\} \quad \ldots \quad (9)$$

Allein im Beharrungszustand der Bewegung ist die Gasmenge $\frac{a\,l\,\gamma_0}{1 + \alpha t}$, welche die Pumpe bei einem Schub liefert, gleich der Gasmenge $A\,L_1\,\frac{p}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma_0}{1 + \alpha t_0}$ die in den Treibcylinder bei einem Schub eintritt; es ist demnach:

$$\frac{a\,l\,\gamma_0}{1 + \alpha t} = A\,L_1\,\frac{p}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma_0}{1 + \alpha\,t_0}$$

oder

$$a\,l\,\mathfrak{A} = A\,L\,\frac{L_1}{L}\,p\,\frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha\,t_0}$$

Mit Berücksichtigung dieser Gleichung und des Ausdruckes (3) wird der Werth (9):

$$W = A\,L\,p \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{L_1}{L} + \dfrac{p_1}{p}\,\dfrac{L_1}{L}\,\dfrac{1 - \left(\dfrac{L_1}{L}\right)^{\mu - 1}}{\mu - 1} - \dfrac{\mathfrak{A}}{p} \\[2ex] - \dfrac{L_1}{L}\,\dfrac{\left(\dfrac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu - 1}{\mu}} - 1}{\dfrac{\mu - 1}{\mu}\left(\dfrac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu - 1}{\mu}}} \end{array} \right\} \quad \ldots \quad (10)$$

Die Menge an Leuchtgas, welche bei einem Schub konsumirt wird, ist:

$$\frac{A\,L_1\,\dfrac{p}{\mathfrak{A}}\,\dfrac{\gamma_0}{1 + \alpha\,t_0}}{1 + \lambda} \text{ Kilogramm} \quad \ldots\ldots \quad (11)$$

Dividirt man W durch diese Gasmenge, so erhält man den in Kilogrammmetern ausgedrückten Nutzeffekt $\left(\frac{E}{1}\right)$ von einem Kilogramm Leuchtgas. Man hat demnach:

$$\left(\frac{E}{1}\right) = \frac{\mathfrak{A}(1+\alpha t_0)}{\gamma_0}(1+\lambda)\left\{\begin{array}{l} 1+\frac{p_1}{p}\,\frac{1-\left(\frac{L_1}{L}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}}{\mu-1} \\ -\frac{\mathfrak{A}}{p}\,\frac{L}{L_1}-\frac{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}-1}{\frac{\mu-1}{\mu}\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}} \end{array}\right\} \quad . \; . \quad (12)$$

oder endlich, wenn man berücksichtiget, dass

$$1+\alpha t_0 = (1+\alpha t)\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}$$

$$\frac{p_1}{p} = 1 + \frac{k}{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}(1+\lambda)}$$

ist:

$$\left(\frac{E}{1}\right) = \frac{\mathfrak{A}(1+\alpha t)}{\gamma_0}(1+\lambda)\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}} \times$$

$$\left\{\begin{array}{l} 1+\frac{k}{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}(1+\lambda)}\;\frac{1-\left(\frac{L_1}{L}\right)^{\mu-1}}{\mu-1} \\ -\frac{\mathfrak{A}}{p}\,\frac{L}{L_1}-\frac{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}-1}{\frac{\mu-1}{\mu}\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}} \end{array}\right\} \quad . \; . \; . \quad (13)$$

Setzt man zur Abkürzung

$$\left.\begin{array}{l} \frac{L_1}{L} = \xi \\ 1+\frac{k}{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}(1+\lambda)} = \zeta \end{array}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (14)$$

so kann der Ausdruck für $\binom{E}{1}$ geschrieben werden, wie folgt:

$$\binom{E}{1} = \frac{\mathfrak{A}(1+\alpha t)}{\gamma_0}\,\frac{k}{\zeta-1}\left\{\begin{matrix} 1+\zeta\,\dfrac{1-\xi^{\mu-1}}{\mu-1}-\dfrac{\mathfrak{A}}{p}\,\dfrac{L}{L_1} \\[2ex] -\dfrac{\left(\dfrac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}-1}{\dfrac{\mu-1}{\mu}\left(\dfrac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}} \end{matrix}\right\} \quad . \quad . \quad (15)$$

Dieser Ausdruck ist in Bezug auf ζ von der Form

$$\binom{E}{1} = \frac{a+b\zeta}{(\zeta-1)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

wobei a und b kein ζ enthält. Hieraus folgt:

$$\frac{d E_1}{d\zeta} = -\frac{a+b}{(\zeta-1)^2}$$

Dieser Bruch kann nur dann zum Verschwinden gebracht werden, wenn ζ gleich ∞ genommen wird. Da aber ζ, wie (14) zeigt, niemals unendlich gross werden kann, so gibt es keinen realisirbaren Werth von ζ, für welchen E_1 ein Maximum wird. Der beste Werth von ζ ist daher der praktisch grösstmögliche.

Aus (15) folgt:

$$\frac{d E_1}{d\xi} = \frac{\mathfrak{A}(1+\alpha t)}{\gamma_0}\,\frac{k}{\zeta-1}\left(-\zeta\,\xi^{\mu-2}+\frac{\mathfrak{A}}{p}\,\frac{1}{\xi^2}\right)$$

Dieser Ausdruck verschwindet, wenn:

$$\zeta\,\xi^{\mu} = \frac{\mathfrak{A}}{p}$$

oder für

$$\xi = \left(\frac{\mathfrak{A}}{p}\right)^{\frac{1}{\mu}}\left(\frac{1}{\zeta}\right)^{\frac{1}{\mu}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Hierdurch ist die vortheilhafteste Expansion bestimmt. Aus (15) folgt noch:

$$\frac{d E_1}{d\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)} = \frac{\mathfrak{A}(1+\alpha t)}{\gamma_0}\,\frac{k}{\zeta-1}\left[\frac{\frac{L}{L_1}}{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^2}-\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{1-\mu}{\mu}-1}\right]$$

Dieser Ausdruck verschwindet für

$$\frac{p}{\mathfrak{A}} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^{\mu} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

Die Bedingungen der vortheilhaftesten Verwendung des Leuchtgases sind demnach:

$$\text{Erstens:} \quad \zeta = 1 + \frac{k}{\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}\right)^{\frac{\mu - 1}{\mu}} (1 + \lambda)} \quad \text{(möglichst gross)} \quad . \quad (19)$$

$$\text{Zweitens:} \quad \xi = \left(\frac{\mathfrak{A}}{p}\right)^{\frac{1}{\mu}} \left(\frac{1}{\zeta}\right)^{\frac{1}{\mu}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (20)$$

$$\text{Drittens:} \quad \frac{p}{\mathfrak{A}} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^{\mu} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (21)$$

Es ist eine möglichst starke Expansion vortheilhaft, daher muss $\frac{p}{\mathfrak{A}}$ möglichst gross sein, ist demnach eine starke Compression vortheilhaft. Damit aber bei einem grossen Werth von p, ζ gross werden kann, muss λ möglichst klein sein. Es ist demnach vortheilhaft, wenn das Leuchtgas gerade nur mit so viel atmosphärischer Luft gemengt wird, als zu seiner vollständigen Verbrennung nothwendig ist.

Wenig atmosphärische Luft anwenden, das Gasgemenge stark comprimiren und eine starke Expansion veranlassen, sind demnach die Bedingungen einer möglichst vortheilhaften Benützung des Leuchtgases als motorische Substanz, allein diesen Bedingungen kann man in der Praxis nicht entsprechen.

Erfahrungen über die Gasmaschine. In dem Conservatoir des arts et métiers wurden sorgfältige Versuche mit einer von *Marinoni* nach dem System von *Lenoir* construirten Gasmaschine angestellt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind folgende:

Querschnitt des Cylinders	255^{qcm}
Kolbenschub	$0{\cdot}100^{\text{m}}$
Gewicht der Maschine	700^{Klg}
Umdrehungen in einer Minute	130
Mit der Bremse gemessene Pferdekraft der Maschine	0·57
Gasverbrauch pro Pferdekraft und pro Stunde .	$3{\cdot}476^{\text{Kbm}}$
Steinkohlenaufwand zur Erzeugung der Gasmenge für 1 Pferdekraft und 1 Stunde . . .	7^{Klg}

Abkühlungswasser pro Pferdekraft und pro eine Stunde	73^{Klg}
Temperatur des Wassers { beim Eintritt . . .	14^{0}
Temperatur des Wassers { beim Austritt . .	95^{0}

Von den 73^{Klg} Wasser, welche eintreten, entweichen 64^{Klg} als Wasser mit 95^{0} Temperatur und 9^{Klg} Wasserdampf.

Verhältniss zwischen der Wärme, welche im entweichenden Wasser und Dampf enthalten ist, zur Wärmemenge, welche im Gas enthalten ist	$\frac{1}{2}$
Mischungsverhältniss von Leuchtgas und atmosphärischer Luft	0·09
Grösste Spannkraft im Cylinder	6 Atmosph.
Expansion	$\frac{1}{2}$
Oelverbrauch stündlich	36·5 Gramm
Temperatur der aus dem Cylinder entweichenden durch das Wasser abgekühlten Gase	150^{0}
Wärmemenge { im Wasser und Dampf	0·59
Wärmemenge { den Reibungswiderständen entsprechend	0·37
Wärmemenge { der Nutzleistung entsprechend .	0·04
	1·00

Schlußbetrachtungen über die calorische und die Gasmaschine. Aus diesen Studien über die Luft- und Gasmaschinen geht hervor, dass es der Praxis bisher noch nicht gelungen ist, die vielversprechenden Grundsätze, auf welchen diese Maschinen beruhen, mit befriedigendem Erfolg in Anwendung zu bringen. Mit einigem Erfolg wurden bis jetzt nur kleinere Maschinen ausgeführt, und diese haben für jede Pferdekraft stündlich 4 bis 6^{Klg} Steinkohlen, also so viel Brennstoff verbraucht, als die unvollkommenen kleineren Dampfmaschinen. Hinsichtlich des Brennstoffverbrauches ist also sicherlich noch kein Grund vorhanden, die älteren Dampfmaschinen aufzugeben und dafür calorische oder Gasmaschinen anzuwenden. Ein in praktischer Hinsicht wesentlicher Missstand ist bei diesen Luft- und Gasmaschinen die hohe trockene Hitze, die eine Oelung gar nicht zulässt. Vermindert man die Erhitzung durch Abkühlung mit kaltem Wasser, so verliert man einen so beträchtlichen Theil der Wärme, dass der Krafterfolg zu ungünstig ausfallen muss. Diese hohe Temperatur ist auch sehr nachtheilig wegen der Her-