Die calorische Maschine

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1853

Die Effektverhältnisse

urn:nbn:de:bsz:31-266513

Sie stimmen erstens darin überein, dass ihre Leistungen nur allein von der Grösse, nicht aber von der Form der Heizfläche abhängen. Heizapparate der gleichen Art bringen also gleiche Leistungen hervor, wie auch die Form der Heizfläche beschaffen sein mag, wenn sie nur von gleicher Grösse sind. Dieselben haben ferner die übereinstimmende Eigenschaft, dass ihre Leistungen unabhängig sind von der Länge und auch von dem Querschnitt des Luftkanals, vorausgesetzt, dass dieser letztere klein genug ist, damit in jedem Punkt eines Querschnittes die gleiche Temperatur eintritt. Es ist also, um eine vortheilhafte Erhitzung der Luft hervorzubringen, nicht nothwendig, die Luft in mannigfaltigen, weitläufigen und complizirten Windungen um die Heizfläche herumzuführen, sondern es genügt, wenn man sie gerade aus oder in einfacher Krümmung nach dem Kamin leitet. Die Querschnitte der Kanäle, durch welche die Verbrennungsgase und die zu erwärmende Luft ziehen, dürfen jedoch nicht gar zu klein gemacht werden, weil sonst die Reibungswiderstände beträchtlich würden, was zur Folge hätte, dass man ein sehr stark ziehendes Kamin anwenden müsste, und dass der zum Betrieb der Compressionspumpe erforderliche Effekt vergrössert würde.

Diese Grundsätze gelten auch für Dampfkesselheizungen, nur hat für dieselben k einen andern und zwar einen grössern, daher günstigern Werth. Die Mehrzahl der Praktiker waren bisher und sind auch jetzt noch immer der Meinung, dass man durch die Form der Heizfläche und insbesondere auch durch die Anordnung und Länge der Luftzüge wesentliche Vortheile erzielen könne, und diese Ansicht hat zu den vielen complizirten Kesseleinrichtungen geführt, die aber immer wiederum verlassen wurden. Die Lokomotivkessel, die Röhrenkessel der Dampfschiffe, insbesondere aber die Versuche von *Cavé* zur Bestimmung der Leistungen verschiedener Kesseleinrichtungen, hätten schon längst diese irrige Meinung verdrängen sollen.

Theorie der calorischen Maschine, mit Zugrundlegung des Mariott'schen Gesetzes.

Die Effektverhältnisse.

In der folgenden Theorie der calorischen Maschine wird vorausgesetzt:

1. dass der Beharrungszustand der Bewegung eingetreten sei;

2. dass sich die Temperatur der Luft während ihrer Expansion im Cylinder nicht ändere, dass also die Ausdehnung der Luft nach dem *Mariott*'schen Gesetz erfolge;

3. dass zwischen Kolben und Cylinder und überhaupt an den verschiedenen Dichtungen keine Luft entweiche.

Im Beharrungszustand der Bewegung erfolgen alle einzelnen Kolbenschübe in ganz gleicher Weise. Am Anfange und am Ende jedes Schubes stimmen die Bewegungsgeschwindigkeiten und daher auch die lebendigen Kräfte der Massen vollkommen überein, was nur dann möglich ist, wenn die während eines Schubes durch den Druck der Luft gegen den Kolben entwickelte Wirkung durch die Gegenwirkungen sämmtlicher Widerstände consumirt wird. Am Ende des Anlaufes muss also die Luft im Innern des Röhrenapparates eine Spannung annehmen, bei welcher der mittlere Werth des Druckes, den die Luft während eines Schubes gegen den Kolben ausübt, dem totalen Widerstande gleich wird, der der Bewegung des Treibkolbens entgegenwirkt. Weil aber ferner nach jedem einzelnen Schub die gleiche Spannung eintritt, so muss die während eines Schubes durch die Compressionsmaschine in den Röhrenapparat getriebene Luft eben so gross sein, als jene, die bis zum Beginne der Expansion in den Expansionscylinder eintritt.

Für die Berechnung der Maschine wählen wir folgende Bezeichnungen. Wir nennen:

A den Querschnitt des Expansionscylinders;

L Länge des Kolbenschubes;

V die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens per 1 Sekunde, welche gefunden wird, wenn man die Länge des Kolbenschubes durch die Zeit eines Schubes dividirt. Demnach ist:

$\frac{L}{V}$ die Zeit eines Kolbenschubes,

L_1 der Weg, den der Kolben zurücklegt, bis die Absperrung eintritt;

M der Coeffizient für den schädlichen Raum, d. h. die Zahl, mit welcher man das Volumen A L, welches der Kolben bei einem Schub beschreibt, multipliziren muss, um das am Ende eines Kolbenschubes zwischen dem Kolben und dem Einströmungsventil befindliche Volumen zu erhalten;

$\mathfrak{A}$ der Druck der Atmosphäre auf einen Quadratmeter = 10330 Kilogramm;

p der Druck der erhitzten Luft im Innern des Röhrenapparates und im Expansionscylinder, bis zum Eintritt der Expansion auf einen Quadratmeter. Streng genommen ist die Pressung im Innern der Röhre wegen des Reibungswiderstandes, wegen der veränderlichen Geschwindigkeit des Kolbens, und wegen der

Unterbrechungen, die in den Communikationen des Compressionscylinders und des Expansionscylinders mit dem Röhrenapparat eintreten, nicht constant; allein man kann durch zweckmässige Einrichtungen die Veränderlichkeit von p beinahe ganz aufheben. Dies kann bewirkt werden, indem man die Summe der Querschnitte der Röhren, welche die zu erhitzende Luft durchströmt, hinreichend gross macht, und dann noch einen Windkessel anbringt, in welchem sich die Luft entweder vor oder nach der Erhitzung ansammelt;

r der auf einen Quadratmeter der Kolbenfläche des Expansionscylinders bezogene schädliche Widerstand der Maschine, d. h. der Druck, welcher auf jeden Quadratmeter der Kolbenfläche wirken müsste, um zu überwinden 1) den vor dem Kolben des Expansionscylinders herrschenden Druck, welcher herrührt, theils von der äusseren Atmosphäre, theils von der nicht augenblicklich, sondern nur rasch erfolgenden Entweichung der Luft beim Beginn eines Schubes; 2) die mannigfaltigen, in der ganzen Maschine bis zum Schwungrad hin vorkommenden Reibungswiderstände. In r soll aber der Widerstand, den die Zusammenpressung der Luft in der Compressionspumpe verursacht, nicht enthalten sein;

$\gamma_0 = 1{\cdot}29$ Kilogramm das Gewicht von einem Kubikmeter atmosphärischer Luft bei 0° Temperatur und unter dem mittleren atmosphärischen Luftdruck;

$\alpha = 0{\cdot}00375$ der Ausdehnungscoeffizient der Gase durch die Wärme;

W die nutzbare Wirkung, welche die Maschine bei einem Kolbenschub entwickelt, in Kilogramm-Metern;

E_n der Nutzeffekt der Maschine in einer Sekunde, in Kilogramm-Metern;

$\left(\frac{W}{1}\right)$ die Nutzwirkung der Maschine für jede durch den Brennstoff entwickelte Wärmeeinheit;

y die Spannung der Luft hinter dem Kolben, nachdem derselbe einen Weg $x > L_1$ zurückgelegt hat;

R der auf einen Quadratmeter der Kolbenfläche des Expansionscylinders reduzirte Druck, welchen die zu betreibende Maschine verursacht, oder der constante Druck, welcher auf jeden Quadratmeter der Kolbenfläche wirken müsste, um die Widerstände der zu betreibenden Arbeitsmaschinen zu bewältigen.

Ausser diesen Bezeichnungen gelten in der folgenden Untersuchung noch die in den Theorien der Heizapparate und der Compressionspumpe aufgenommenen.

Dies vorausgeschickt, gehen wir nun über zur Entwicklung der Theorie.

Das bei einem Schub aus dem Heizapparat in den Expansionscylinder übertretende Luftvolumen ist $A\,L_1 + M\,A\,L = A\,(L_1 + M\,L)$ und da diese Luft eine Spannkraft p und eine Temperatur t hat, so ist das Gewicht dieser Luftmenge $A\,(L_1 + M\,L)\,\frac{p}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma_0}{1+\alpha t_1}$. Diese Luftmenge ist, nachdem der Kolben einen Weg $x > L_1$ zurückgelegt hat, in einen Raum von der Grösse $A\,x + M\,A\,L = A\,(x + M\,L)$ eingeschlossen, hat eine Temperatur t und übt auf jeden Quadratmeter einen Druck y aus. Das Gewicht dieser Luftmenge ist demnach: $A\,(x + M\,L)\,\frac{y}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma_0}{1+\alpha t_1}$

Man hat daher die Gleichung:

$$A\,(L_1 + M\,L)\,\frac{p}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma_0}{1+\alpha t_1} = A\,(x + M\,L)\,\frac{y}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma_0}{1+\alpha t_1}$$

woraus sich ergibt:

$$x = p\,\frac{L_1 + M\,L}{x + M\,L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (44)$$

Nun ist die Nutzwirkung, welche während eines Schubes entwickelt wird, gleich der Wirkung, die der constante Druck p bis zur Absperrung entwickelt; mehr der Wirkung des veränderlichen Druckes y während der Expansion; weniger der Wirkung, die während des ganzen Schubes durch den schädlichen Widerstand r consumirt wird; weniger der Wirkung, die bei einem Schub durch die Compressionspumpe consumirt wird.

Nun ist

1) die Wirkung der Luft bis zur Absperrung:

$$A\,p\,L_1$$

2) die Wirkung der Luft durch Expansion:

$$\int_{x=L_1}^{x=L} A\,y\,d\,x = \int_{x=L_1}^{x=L} A\,p\,\frac{L_1 + M\,L}{x + M\,L}\,d\,x = A\,p\,(L_1 + M\,L)\int_{x=L_1}^{x=L}\frac{d\,x}{x + M\,L}$$

$$= A\,p\,(L_1 + M\,L)\ \mathrm{lognat.}\,\frac{L + M\,L}{L_1 + M\,L}$$

3) die dem Widerstande entsprechende Wirkung

$$A\,r\,L$$

4) die Wirkung, welche die Luftpumpe bei einem Schub consumirt, vermöge Gleichung (6)

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

Wir erhalten demnach folgenden Ausdruck:

$$W=\left\{\begin{array}{l} A\,p\,L_1+A\,p\,(L_1+m\,L)\,\text{lognat.}\,\dfrac{L+M\,L}{L_1+M\,L} \\ -A\,r\,L-a\,\mathfrak{A}\,l\left[1-m\left(\dfrac{p}{\mathfrak{A}}-1\right)\right]\text{lognat.}\,\dfrac{p}{\mathfrak{A}} \end{array}\right\}$$

oder

$$W=A\,L\,p\left\{\begin{array}{l} \dfrac{L_1}{L}+\left(M+\dfrac{L_1}{L}\right)\text{lognat.}\,\dfrac{L+M\,L}{L_1+M\,L} \\ -\dfrac{r}{p}-\dfrac{a\,l}{A\,L}\,\dfrac{\mathfrak{A}}{p}\left[1-m\left(\dfrac{p}{\mathfrak{A}}-1\right)\right.\text{lognat.}\,\dfrac{p}{\mathfrak{A}} \end{array}\right\}\quad .\ .\ (45)$$

Weil die Luftmenge $a\,l\left[1-m\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}-1\right)\right]\frac{\gamma_0}{1+\alpha\,t_0}$ welche die Compressionspumpe bei einem Schub liefert (Gleichung 8) gleich sein muss der Luftmenge $A\,(L_1+m\,L)\,\frac{p}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma_0}{1+\alpha\,t_1}$ so hat man auch:

$$a\,l\left[1-m\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}-1\right)\right]\frac{\gamma_0}{1+\alpha\,t_0}=A\,(L_1+M\,L)\,\frac{p}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma_0}{1+\alpha\,t_1}\quad .\ .\ (46)$$

woraus sich ergibt:

$$\frac{a\,l}{A\,L}\,\frac{\mathfrak{A}}{p}\left[1-m\left(\frac{p}{\mathfrak{A}}-1\right)\right]=\left(\frac{L_1}{L}+M\right)\frac{1+\alpha\,t_0}{1+\alpha\,t_1}\quad .\ .\ .\ .\ (47)$$

Vermittelst dieser Gleichung wird der Werth von W

$$W=A\,L\,p\left\{\begin{array}{l} \dfrac{L_1}{L}+\left(M+\dfrac{L_1}{L}\right)\text{lognat.}\,\dfrac{L+M\,L}{L_1+M\,L} \\ -\dfrac{r}{p}-\left(\dfrac{L_1}{L}+M\right)\dfrac{1+\alpha\,t_0}{1+\alpha\,t_1}\,\text{lognat.}\,\dfrac{p}{\mathfrak{A}} \end{array}\right\}\quad .\ .\ (48)$$

Dividirt man diesen Ausdruck durch die Zeit $\frac{L}{V}$ eines Schubes, so erhält man

$$E_n = A\,V\,p \left\{ \begin{matrix} \frac{L_1}{L} + \left(M + \frac{L_1}{L}\right) \text{lognat.}\, \frac{L + M\,L}{L_1 + M\,L} \\ - \frac{r}{p} - \left(\frac{L_1}{L} + M\right) \frac{1 + \alpha\, t_0}{1 + \alpha\, t_1} \text{lognat.}\, \frac{p}{\mathfrak{A}} \end{matrix} \right\} \quad \ldots \quad (49)$$

Dividirt man die Luftmenge $A\,(L_1 + M\,L)\,\frac{p}{\mathfrak{A}}\,\frac{\gamma}{1 + \alpha\, t_1}$, die bei einem Schub in den Cylinder eintritt, durch die Zeit $\frac{L}{V}$ eines Schubes, so erhält man die in jeder Sekunde auf die Maschine wirkende Luftmenge q; man hat daher:

$$q = A\,V \left(\frac{L_1}{L} + M\right) \frac{p}{\mathfrak{A}}\, \frac{\gamma_0}{1 + \alpha\, t_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (50)$$

Vermöge der Gleichungen (B) oder (C) oder (D) ist aber

$$B\,\mathfrak{H} = (T_0 - \varDelta)\, Q\, s = (T_0 - \varDelta)\, q\, s\, \frac{t_1 - t_0}{T_0 - T_1}$$

Führt man hier für q den Werth (50) ein, so wird

$$B\,\mathfrak{H} = A\,V\,p\,\frac{s}{\mathfrak{A}} \left(\frac{L_1}{L} + M\right) \frac{T_0 - \varDelta}{T_0 - T_1}\, \frac{t_1 - t_0}{1 + \alpha\, t_1}\, \gamma_0 \quad \ldots \quad (51)$$

Der Quotient $\frac{E_n}{B\,\mathfrak{H}}$ ist die Wirkung, welche für jede im Brennstoffe enthaltene Wärmeeinheit gewonnen wird, ist also gleich $\binom{W}{1}$; man erhält demnach vermöge (49) und (51):

$$\binom{W}{1} = \frac{\mathfrak{A}}{s\,\gamma_0}\, \frac{T_0 - T_1}{T_0 - \varDelta} \left\{ \begin{matrix} + \frac{1 + \alpha\, t_1}{t_1 - t_0} \left\{ 1 + \text{lognat.}\, \frac{L + M\,L}{L_1 + M\,L} \right\} \\ - \frac{1 + \alpha\, t_0}{t_1 - t_0} \log.\, \frac{p}{\mathfrak{A}} - \frac{\left(\frac{r}{p} + M\right)}{\left(\frac{L_1}{L} + M\right)} \frac{\left(1 + \alpha\, t_1\right)}{\left(t_1 - t_0\right)} \end{matrix} \right\} \quad \ldots \quad (52)$$

Maximum des Effektes.

Der Expansionsgrad $\frac{L_1}{L}$, die Pressung p und die Temperaturerhöhung $t_1 - t_0$ sind drei von einander unabhängige Grössen;