Die calorische Maschine

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1853

Theorie des Regenerators

urn:nbn:de:bsz:31-266513

tenzirte *Mariott'sche* Gesetz gilt, dass eine Maschine, die mit Regeneratoren versehen wird, unter sonst gleichen Umständen noch grössere Dimensionen erfordert, als eine Maschine ohne Regeneratoren; denn die Netze erschweren das Entweichen der Luft aus dem Treibcylinder, verstärken daher den Vorderdruck r um ein Ansehnliches, und dadurch fallen (wie z. B. die Gleichungen (31), (32) zeigten), die Werthe von A und a grösser aus. Diese nachtheilige Wirkung des Regenerators auf den Vorderdruck r könnte nur durch sehr starke Luftverdichtungen gemässiget werden, denn die Nutzleistungen der Maschine hängen wesentlich von dem Verhältniss $\frac{r}{p}$ ab, und da r mit dem Wachsen von p bei weitem nicht in dem Maase zunimmt als p, so folgt daraus, dass der schädliche Einfluss von r durch starke Compressionen sehr gemässigt werden könnte. So lange es also nicht gelingt, Kolbendichtungen zu erfinden, welche hohen Temperaturen und starken Spannungen zu widerstehen vermögen, wird es auch nicht möglich werden, die Dampfmaschinen durch calorische Maschinen mit Vortheil zu ersetzen.

Theorie des Regenerators.

Durch eine wahre Theorie des Regenerators müsste für jeden beliebigen Zeitaugenblick die in einem beliebigen Punkt desselben in der Luft herrschende Spannnung und die Temperaturen eines beliebigen Netzes und der dasselbe umgebenden Luft bestimmt werden. Würde diese Bestimmung gelingen, so könnte man dann leicht die Wärmeleistungen, so wie auch den Widerstand, welchen ein Regenerator dem Durchströmen der Luft entgegensetzt, berechnen, und dadurch würde man zu einer vollständigen Einsicht in der Gesammtwirkung dieser in der That sehr schönen Erfindung gelangen. Allein eine so vollständige Theorie des Regenerators ist, weil in demselben keine gleichförmigen Beharrungszustände eintreten, und weil die Widerstände und Erwärmungsverhältnisse wechselseitig wirken, mit unüberwindbaren Schwierigkeiten verbunden, es bleibt also nichts übrig, als entweder die Theorie dieses Apparates ganz zu unterlassen oder sich mit einer Annäherung zu begnügen. Das letztere ist wohl doch das kleinere Uebel, daher habe ich versucht, der Wahrheit so nahe als möglich zu kommen.

Es scheint, dass die erwärmende und erkältende Wirkung eines Regenerators den vortheilhaftesten Grad erreichen müsste, wenn die Luft sowohl beim Ein- und Ausströmen so lange in demselben verweilen könnte, bis die Temperaturen der Netze und der Luft gleich gross geworden wären, und dass die Luft dann erst den Regenerator verliesse, um entweder in die Atmosphäre oder nach dem Treibcylinder zu gehen.

Lassen wir es vorläufig dahin gestellt sein, ob bei einer solchen Wirkungsweise des Regenerators, wenn sie überhaupt möglich wäre, das wahre Maximum seiner Leistungen hervorgebracht würde. Jedenfalls würde doch eine solche Wirkungsweise von der wirklich stattfindenden nicht sehr bedeutend abweichen.

Nennen wir

t_1 die Temperatur, mit welcher die Luft den Treibcylinder verlässt;

t_0 die Temperatur, mit welcher die Luft aus dem Verdichtungscylinder in den Regenerator übertritt;

Θ_1 die Temperatur der Netze und der Luft, wenn die mit t_1 aus dem Treibcylinder in den Regenerator strömende Luft in demselben so lange verbliebe, bis jede Temperaturdifferenz verschwunden wäre;

Θ_0 die Temperatur der Netze und der Luft, wenn die mit t_0 aus dem Verdichtungscylinder in den Regenerator strömende Luft in demselben so lange verweilte, bis die Netze und die Luft einerlei Temperatur angenommen hätten;

L das Gewicht der Luft, die bei jedem Kolbenschub in den Regenerator geht;

l die spezifische Wärme der Luft;

N das Gewicht aller Netze des Regenerators;

n die spezifische Wärme des Materials, aus welchem die Netze bestehen.

Wegen der vorausgesetzten vollkommenen Ausgleichung der Temperaturen hat man folgende Gleichungen:

$$(t_1 - \Theta_1)\, L\, l = (\Theta_1 - \Theta_0)\, N\, n$$

$$(\Theta_0 - t_0)\, L\, l = (\Theta_1 - \Theta_0)\, N\, n$$

Hieraus folgt:

$$\left.\begin{aligned} \Theta_0 &= \frac{t_1 + t_0\left(1 + \frac{L\,l}{N\,n}\right)}{2 + \frac{L\,l}{N\,n}} \\[2ex] \Theta_1 &= \frac{t_0 + t_1\left(1 + \frac{L\,l}{N\,n}\right)}{2 + \frac{L\,l}{N\,n}} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Ohne Regenerator wäre die Luft in einem Heizapparat von t_0 auf t_1 zu erwärmen, und dies erforderte eine Wärmemenge $L l (t_1 - t_0)$. Mit Regenerator ist die Luft in dem Heizapparat nur von Θ_0 auf t_1 zu erwärmen, und dazu gehört eine Wärmemenge $L l (t_1 - \Theta_0)$. Das Verhältniss zwischen dem Brennstoffaufwand, den eine Einrichtung mit Regenerator erfordert, und jenem einer Einrichtung ohne Regenerator ist demnach;

$$\frac{L l (t_1 - \Theta_0)}{L l (t_1 - t_0)} = \frac{t_1 - \Theta_0}{t_1 - t_0} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Setzt man hier für Θ_0 den Werth, den die erste der Gleichungen (1) darbietet, so wird das Verhältniss (2)

$$\frac{1 + \frac{L l}{N n}}{2 + \frac{L l}{N n}}.$$

Dieser Ausdruck wird am kleinsten oder der Nutzen des Regenerators wird am grössten, wenn $\frac{L l}{N n}$ möglichst klein ist. Nehmen wir $\frac{L l}{N n}$ verschwindend klein an, was ein ausserordentlich schweres Netzwerk erforderte, so würde obiges Verhältniss gleich $\frac{1}{2}$; d.h. unter der Voraussetzung einer vollständigen Ausgleichung der Temperaturen könnte selbst mit unendlich ausgedehnten Netzen doch nur die Hälfte der Wärmemenge gewonnen werden, oder mit einem Regenerator würde man im günstigsten Falle halb so viel Brennstoff brauchen, als ohne Regenerator. Dieses Ergebniss spricht aber nicht sehr zu Gunsten dieses Apparates, denn wenn man keinen Regenerator anwendet, und die heisse ausströmende Luft statt kalter atmosphärischer Luft in den Herd des Heizapparates leitet und damit die Verbrennung des Brennstoffes bewirkt, so kann man auch einen grossen Theil der Wärme gewinnen, und dann hat man nicht nur den Vortheil, dass der complizirte Apparat des Regenerators wegfällt, sondern auch dass vor dem Kolben des Treibcylinders ein kleinerer Widerstand eintritt.

Ein einzelner Regenerator der Maschine von *Ericson* enthält 100 Netze, die ein Gewicht von 1241 Kilogramm haben, und die Luftmenge, die bei einer Athmung in den Regenerator geht, ist 22 Kilogramm. Die spezifische Wärme der Luft ist 0·27, die des Kupfers der Dräthe 0·095. Es wird daher das Leistungsverhältniss 0·514.

Die Grenze der möglichen Leistungsfähigkeit eines Regenerators dürfte sich auch aus Folgendem ergeben.

Die Wärmemenge, welche die Drähte des Regenerators bei einer Durchströmung der heissen Luft in sich aufnehmen, ist gewiss kleiner als diejenige, welche sie in sich aufnehmen würden, wenn die sie umgebende Luft während der ganzen Dauer der Durchströmung die Temperatur t_1 beibehielte. Eben so ist auch die Wärmemenge, welche die Drähte während einer Durchströmung der kalten Luft verlieren, kleiner, als in dem Falle, wenn die Luft, welche die Drähte umgibt, während der ganzen Dauer der kalten Strömung eine Temperatur t_0 hätte. Die wirkliche Wirkung des Regenerators muss also schwächer sein, als in dem idealen Falle, wenn die durchströmenden Luftmassen ihre Temperatur nicht änderten. Diese ideale, zu günstige Wirkung wollen wir berechnen.

Es sei: S die Oberfläche aller Drähte des Regenerators, β die Wärmemenge, welche durch einen Quadratmeter einer Kupferplatte in einer Sekunde eindringt, wenn dieselbe in Luft eingetaucht ist, und die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Kupfer 1° beträgt, und geben wir ferner den Zeichen t_1 t_0 L l N n die Seite (92) ausgesprochene Bedeutung, nennen aber Θ_0 die Temperatur des Drahtes, wenn die heisse Luft einzuströmen beginnt, Θ_1 die Temperatur des Drahtes, wenn die kalte Luft einzuströmen anfängt, endlich τ die Zeit einer Strömung.

Nachdem die Strömung der heissen Luft eine gewisse Zeit u gedauert hat, hat der Draht eine Temperatur z. In dem auf u folgenden Zeitelement du geht durch die Oberfläche des Drahtes eine Wärmemenge $\beta S (t_1 - z) du$ und nimmt die Temperatur des Drahtes um dz zu, wozu eine Wärmemenge $N n dz$ erforderlich ist. Man hat daher:

$$\beta S (t_1 - z) du = N n dz$$

Hieraus folgt:

$$\frac{\beta S}{N n} du = \frac{dz}{t_1 - z}$$

Das Integrale dieser Gleichung ist:

$$\frac{\beta S}{N n} u = -\log.(t_1 - z) + \text{const.}$$

Da für $u = o$, $z = \Theta_0$ und für $u = \tau$, $z = \Theta_1$ sein soll, so hat man:

$$\frac{\beta S}{n N} \tau = \text{lognat.} \frac{t_1 - \Theta_0}{t_1 - \Theta_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Auf ähnliche Weise findet man für die Rückströmung

$$\frac{\beta S}{n N} \tau = \text{lognat.} \frac{t_0 - \Theta_1}{t_0 - \Theta_0} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Aus diesen zwei Gleichungen findet man:

$$\Theta_1 - \Theta_0 = (t_1 - t_0) \frac{e^{\frac{\beta S}{n N}\tau} - 1}{e^{\frac{\beta S}{n N}\tau} + 1} \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

Die Wärmemenge $\mathfrak{W}$, die der Regenerator aufnimmt und abgibt, ist demnach:

$$\mathfrak{W} = N n (t_1 - t_0) \frac{e^{\frac{\beta S}{n N}\tau} - 1}{e^{\frac{\beta S}{n N}\tau} + 1}$$

Es ist aber $\frac{\beta S}{n N} \tau$ eine kleine Grösse, daher kann man $e^{\frac{\beta S}{n N}\tau} = 1 + \frac{\beta S}{n N} \tau$ setzen und dann wird:

$$\mathfrak{W} = \frac{\beta S \tau (t_1 - t_0)}{2 + \frac{\beta S}{n N}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Ein einzelner Regenerator der Maschine von *Ericson* enthält 100 Netze, die eine Drahtoberfläche von 576 Quadratmeter darbieten. Das Gewicht dieser 100 Netze beträgt 1241 Kilogramm. Die Temperatur der heissen Luft beträgt 200°. Die Temperatur der Luft, wenn sie die Verdichtungspumpe verlässt, ungefähr 60°. Die Zeit einer Strömung kann höchstens gleich gesetzt werden der Zeit eines Kolbenschubes, kann also höchstens 2″ betragen. Der Coeffizient β scheint nahe $\frac{1}{225}$ zu betragen. Die Wärmekapazität des Kupfers ist 0·095. Man hat also für diesen Regenerator:

$$S = 576, \quad N = 1241, \quad \tau = 2'', \quad \beta = \frac{1}{225}, \quad n = 0{\cdot}095, \quad t_1 = 200, \quad t_0 = 60$$

und mit diesen Daten fände man: $\mathfrak{W} = 358$ Wärmeeinheit. Nun beträgt die Luftmenge einer Füllung des Verdichtungscylinders 22 Kilogramm, und um diese Luft von 60° auf 200° zu bringen, ist eine Wärmemenge von 22 (200 — 60) 0·27 = 733 Wärmeeinheiten. Durch den Regenerator wird also auch nach dieser Berechnungsart höchstens $\frac{358}{733}$ oder nahe die Hälfte der Wärmemenge gewonnen.

Die beiden Methoden zur Bestimmung der Grenzen der Leistungsfähigkeit eines Regenerators stimmen auch darin überein, dass sie beide für den Unterschied der höchsten und tiefsten Temperatur der Drähte nur einen kleinen Werth geben, was auch in der Natur der Sache liegt, denn eine so grosse Kupfermasse von 1241 Kilogramm, also von 24 Zentner, erfordert zu einer ansehnlichen Temperaturerhöhung eine weit grössere Wärmemenge, als jene ist, die 22 Kilogramm Luft von 200° Temperatur in der kurzen Zeit von einigen Sekunden abgeben können.

Vermittelst der oben angegebenen dem Regenerator von *Ericson* entsprechenden Zahlenwerthe geben die Gleichungen (1) $\Theta_0 = 128°$, $\Theta_1 = 131$, also $\Theta_1 - \Theta_0 = 3°$. Die Gleichung (5) gibt dagegen $\Theta_1 - \Theta_0 = 2{\cdot}96$, also beinahe den gleichen Werth.

Die für den ersten Anblick beinahe überraschend schöne Erfindung des Regenerators scheint also nach diesen Prüfungen nicht das glänzende Resultat zu versprechen, das uns die Zeitungsberichte glauben machen wollen.

Das calorische Schiff von Ericson.

Nach den bis jetzt eingegangenen Berichten ist die Einrichtung und Aufstellung der Maschine des von *Ericson* erbauten calorischen Schiffes im Wesentlichen folgende:

Das Schiff wird durch vier einfach wirkende calorische Maschinen getrieben. Sie sind in der Richtung des Kieles aufgestellt. Zwei derselben vor, die beiden andern hinter der Ruderradwelle. Tafel (4) Figur (5) zeigt diese Aufstellung der Maschine. Die Kolben der Maschine I. und II. wirken auf einen Winkelbalancier a, jene der Maschinen III. und IV. auf einen Winkelbalancier a_1, und diese Winkelbalancier wirken durch zwei unter rechtem Winkel geneigte Schubstangen b und b_1 auf die Doppelkurbel c, und treiben die Welle derselben herum. Die Wirkung dieser vier so verbundenen einfachwirkenden Maschinen ist gleich jener von zwei doppeltwirkenden unter rechtem Winkel auf eine Kurbel wirkenden Maschinen.