

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Die calorische Maschine**

**Redtenbacher, Ferdinand**

**Mannheim, 1853**

Prüfung der entwickelten Theorie

[urn:nbn:de:bsz:31-266513](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-266513)

Diese Resultate sind nun in jeder Hinsicht sehr günstig. Der Cylinderquerschnitt A ist nun etwas kleiner, als der einer *Watt'schen* Maschine von gleicher Kraft. Die Heizfläche beträgt beinahe nur den dritten Theil von der eines Dampfkessels, und der Brennstoffverbrauch ist ebenfalls drei Mal kleiner, als bei der besten Dampfmaschine, die mit Condensation und mit Expansion arbeitet.

Wenn also diese Rechnungsergebnisse wenigstens annähernd richtig sind, und wenn es ferner praktisch möglich ist, die für einen günstigen Effekt aufgefundenen Bedingungen zu realisiren, so unterliegt es keinem Zweifel, dass diese calorischen Maschinen von bedeutendem praktischen Werth werden, dass sie sogar in sehr vielen Fällen die Dampfmaschinen mit Vortheil ersetzen könnten. Diese Resultate sind so viel versprechend, dass es als nothwendig erscheint, die Genauigkeit und Realisirbarkeit derselben auf das sorgfältigste zu prüfen, was in den folgenden Nummern geschehen soll.

#### *Prüfung der entwickelten Theorie.*

Die Rechnungsmethode, durch welche wir zu den Resultaten gekommen sind, beruht auf den allgemeinen Prinzipien der Mechanik, die ein für alle Mal feststehen, und durch keine neue Erfindung umgestossen werden. Die Durchführung der Rechnung ist sicherlich fehlerfrei, sie ist mehrmals wiederholt worden. Wenn also die Resultate unrichtig sind, so kann dies herrühren, theils von ungenauen Coefficienten, theils von nicht ganz naturgemässen Voraussetzungen, theils endlich von verschiedenen in der Rechnung vernachlässigten Einflüssen.

Die Coefficienten, welche in der Rechnung vorkommen, sind: 1)  $s = 0.2669$  die spezifische Wärme der Luft; 2) der Ausdehnungscoefficient für Gase  $\alpha = 0.00375$ ; 3)  $k = \frac{1}{253}$  der Wärmeleitungscoefficient; 4)  $\lambda = 2$  die Zahl, welche angibt, wie oftmals die in den Feuerungsraum einströmende Luft grösser ist, als die zum vollkommenen Verbrennen nothwendige kleinste Luftmenge; 5)  $\mathfrak{S} = 6000$  die Heizkraft der Steinkohlen.

Der obige Werth von  $s$  ist derjenige, welchen die Physiker für die spezifische Wärme der Gase bei mässigen Temperaturen gefunden haben. Sollte  $s$  mit der Temperatur bedeutend veränderlich und für hohe Temperaturen bedeutend grösser sein, als wir angenommen haben (z. B. noch ein Mal so gross), so würden die aufgefundenen numerischen Resultate viel zu günstig sein.



Für den Coefficienten  $\alpha$  haben wir denjenigen Werth in Rechnung gebracht, welchen die Physiker für mässigere Temperaturen gefunden haben. Wahrscheinlich ist  $\alpha$  nicht ganz constant. Sollte  $\alpha$  für hohe Temperaturen bedeutend kleiner sein, als wir angenommen haben, so würden die numerischen Resultate abermals zu günstig sein, wovon man sich durch die Gleichung (55) am leichtesten überzeugen wird.

Den Coefficienten  $k$  haben wir durch die mittleren Erfahrungen bestimmt, welche man an den Apparaten zur Erhitzung der Luft für Hochöfen gemacht hat. In diesem Werth kann auch eine Unrichtigkeit liegen, die jedoch nur auf die für den Heizapparat nothwendige Heizfläche, nicht aber auf die Leistungen der Maschine Einfluss haben kann. Wäre  $k$  veränderlich und für hohe Temperaturen bedeutend kleiner als  $\frac{1}{253}$ , so würde dies zur Folge haben, dass wir die Heizflächen zu klein bestimmt hätten. Wie aber auch  $k$  beschaffen sein mag, so steht doch der Satz fest, dass der Röhrenapparat mit Gegenströmen das beste Resultat zu geben vermag.

Für den Coefficienten  $\lambda$  haben wir denjenigen in Rechnung gebracht, welcher, der Erfahrung gemäss, für Kesselheizungen gilt, und es ist kein Grund vorhanden, wesshalb es sich bei diesen Luftheizungen anders verhalten solle. Eine unrichtige Annahme von  $\lambda$  würde übrigens nur allein auf die Heizfläche und auch auf diese nur einen sehr unbedeutenden Einfluss haben.

Die Heizkraft  $\mathcal{H}$  der Steinkohlen ist zuverlässig erfahrungsgemäss angenommen worden.

Durch einige der Voraussetzungen, welche gemacht wurden, können vielleicht merkliche Fehler entstehen.

Die Theorie der Heizapparate beruht auf den Voraussetzungen, dass die durch die Heizfläche gehende Wärmemenge der Differenz der Temperaturen, welche zu beiden Seiten der Heizfläche vorhanden sind, proportional sei, und dass in allen Punkten des Querschnittes eines Stromes einerlei Temperatur herrsche. Sollten diese Voraussetzungen unrichtig sein, so würde dies wohl auf die Grösse der Heizfläche, aber nicht auf die Leistungen der Maschine Einfluss haben.

Die Effektberechnung der Maschine beruht auf den Voraussetzungen, dass sich die Temperatur der Luft während ihrer Ausdehnung nicht ändere, dass also das *Mariott'sche* Gesetz gelte.

Diese Voraussetzung ist eine unrichtige; die Temperatur der Luft nimmt mit der Ausdehnung ab, die Spannkraft der Luft nimmt



daher mehr als im Verhältniss der Dichte ab; die Wirkung der Expansion ist demnach zu günstig berechnet; der dadurch entstehende Fehler wird jedoch wegen der hohen Temperatur nicht gross sein.

Vernachlässigt wurden in der Rechnung: die Abkühlungen des ganzen Apparates durch dessen Berührung mit der ihn umgebenden Luft; der Reibungswiderstand der Luft in den Röhren; das Entweichen der Luft zwischen den Kolben und Cylindern, an den Ventilen und an den Verbindungen der verschiedenen Bestandtheile des ganzen Apparates.

Gegen die Wärmeverluste durch Abkühlung kann man sich durch Einhüllungen des ganzen Apparates mit schlechten Wärmeleitern eben so gut schützen, wie bei den Dampfmaschinen, aber beträchtliche Luftverluste werden selbst bei äusserst vollkommener Ausführung der Maschine nur schwer zu vermeiden sein.

Aber ungeachtet all der aufgeführten Mängel der entwickelten Theorie dürfte doch das Hauptresultat derselben, dass nämlich die calorische Maschine, wenn ihre praktische Ausführung gut gelingt, hinsichtlich des Brennstoffverbrauches der Dampfmaschine vorzuziehen wäre; durch die Erfahrung bestätigt werden, denn dieses Urtheil könnte doch nur dann ein unrichtiges sein, wenn die Wärmekapazität der Luft bei hohen Temperaturen bedeutend grösser wäre, als wir in Rechnung gebracht haben.

*Praktische Schwierigkeiten, den Bedingungen einer zweckmässigen und vortheilhaften Einrichtung zu entsprechen.*

Eine starke Verdichtung und hohe Temperatur der Luft, grosse Geschwindigkeit der Kolben, starke Expansion, vollkommen luftdichter Verschluss in allen Theilen der Maschine, Schutz gegen Wärmeverlust, ein Röhrenapparat mit hinreichender Heizfläche und mit Gegenströmen: dies sind, wie wir gesehen haben, die Bedingungen, bei deren Erfüllung ein vortheilhaftes Resultat erwartet werden kann. Wir wollen nun sehen, ob und auf welche Weise diesen Anforderungen entsprochen werden kann.

Die starke Verdichtung von so grossen Luftmassen, wie sie zum Betrieb dieser Maschine nothwendig sind, verursacht mancherlei Schwierigkeiten, insbesondere aber wird es schwer halten, eine ganz befriedigende Construction der Verdichtungspumpe zu Stande zu bringen. Ein luftdichter Verschluss des Kolbens kann wohl durch die gegenwärtig bei Gebläsen übliche Einrichtung der Kolben-



dichtung erreicht werden, weil hier die Luft eine niedrige Temperatur hat; aber sehr schwierig wird es sein, die Ventile gut verschliessend zu machen. Lederklappen, wie man sie bei Gebläsen gebraucht, oder metallene Klappenventile werden wohl schwerlich genügen, sondern man wird wahrscheinlich eine grössere Anzahl metallene Kegelventile anwenden müssen, und die Gewichte derselben müssen durch Federn oder durch Gewichte balancirt werden, damit sie sich leicht und zur rechten Zeit öffnen und schliessen. Mit 4 Ventilen, nämlich mit 2 Einströmungs- und 2 Ausströmungsventilen, wird man nicht ausreichen, denn die Ein- und Ausströmungsöffnungen müssen, damit die Luft nicht zu stark beschleunigt werden muss, eine ansehnliche Grösse erhalten. Ausser diesen Schwierigkeiten, welchen man in der Konstruktion der Pumpe begegnet, verursacht die starke Verdichtung der Luft nur noch solche Schwierigkeiten, wie sie auch bei Dampfmaschinen, die mit höherer Spannung arbeiten, vorkommen; diese weiss man also zu überwinden.

Die starke Expansion wird sich ebenfalls durch gut angeordnete Schieber oder Ventilsteuerungen hervorbringen lassen.

Die bedeutende Geschwindigkeit von 1·3 Meter in einer Sekunde, mit welcher sich die Kolben bewegen müssen, damit die Dimensionen der Maschine nicht übermässig gross gemacht werden müssen, ist ein misslicher Umstand, denn es müssen desshalb die Ein- und Ausströmungsöffnungen, sowohl an der Pumpe als auch an dem Expansionscylinder verhältnissmässig gross gemacht werden.

Die Heizfläche, welche nach unserer Rechnung nothwendig zu sein scheint, um eine vortheilhafte Erwärmung der Luft zu erzielen, ist in Vergleich mit jener, welche Dampfkessel erfordern, klein, kann also ohne Schwierigkeit ausgeführt werden. Auch hält es nicht schwer, die Einrichtung zu treffen, dass die Verbrennungsgase und die zu erwärmende atmosphärische Luft nach entgegengesetzten Richtungen circuliren.

Die Wärmeverluste können, wie schon früher gesagt wurde, durch Einhüllungen der ganzen Maschine mit schlechten Wärmeleitern grösstentheils vermieden werden.

Die Hauptschwierigkeit liegt aber in der hohen Temperatur, bis zu welcher die treibende atmosphärische Luft erhitzt werden muss, damit die Dimensionen der Maschine eine noch ausführbare Grösse erhalten.

Es ist zunächst sehr zu besorgen, dass die einerseits mit den glühenden Verbrennungsgasen, anderseits mit der ebenfalls stark erhitzten atmosphärischen Luft in Berührung stehenden Heizröhren



in verhältnissmässig kurzer Zeit verbrennen werden. Länger als ein Jahr wird ein solcher Heizapparat schwerlich gebraucht werden können, wo hingegen ein Dampfkessel 5 oder 10 Jahre gute Dienste leistet. Die grösste Schwierigkeit, welche die bis zu 300 oder 400° erhitze Luft verursacht, liegt aber in dem Umstande, dass die ineinander und aneinander laufenden Theile des Expansionscyllinders dieser heissen Luft ausgesetzt sind. Womit soll man da den Kolben, die Kolbenstange, die Steuerungsschieber oder Steuerungsventile einfetten? Mir ist kein Fett bekannt, das bei einer Temperatur von 300 oder 400° nicht eintrocknet; und im trockenen Zustande kann man doch diese Theile nicht aufeinander laufen lassen, denn sie würden sich in kurzer Zeit aufreiben. Vielleicht dass es der Chemie gelingen wird, eine Substanz ausfindig zu machen, die sich bei einer Temperatur von 300 bis 400° wie Oehl bei mässiger Temperatur verhält.

Die beste Aushilfe wäre eine Maschineneinrichtung ohne Kolben und überhaupt ohne Bestandtheile, die sich reibend an einander zu bewegen hätten. Die Turbinen hätten wohl diese Eigenschaft, allein diese müssten sich mit so grosser Geschwindigkeit bewegen, dass die Erhaltung ihrer Axen ganz unmöglich wäre, und überdies wären noch sehr weitläufige und krafterschöpfende Räderübersetzungen nothwendig, um von der Geschwindigkeit der Turbinenaxe auf die gewöhnliche Umdrehungsgeschwindigkeit zu kommen.

Die Schwierigkeiten, welche die hohe Temperatur der Luft verursacht, weiss ich nicht zu beseitigen, und so lange dies nicht gelingt, wird man sich wohl noch mit den Dampfmaschinen begnügen müssen.

*Bestimmung aller Verhältnisse des Beharrungszustandes einer bereits existirenden Maschine, wenn derselben ein gewisser Widerstand zu überwinden aufgebürdet und auf dem Rost des Feuerherdes eine gewisse Quantität Brennstoff verbrannt wird.*

Die gegebenen Grössen sind in diesem Falle:

$$\Delta \lambda S s t_0 B \Phi F_g A \frac{L_1}{L} M m a \mathfrak{R}$$

Die zu suchenden sind dagegen folgende:

$$T_0 T_1 t_1 q E_n V p Q \left( \frac{W}{1} \right)$$

Aus den Gleichungen der Zusammenstellung findet man diese unbekannt Grössen auf folgende Art.

Zunächst ergibt die Gleichung (19):

$$T_0 = \lambda + \frac{545}{\lambda S}$$

Sodann ergibt die Gleichung (20):

$$Q = \frac{B \cdot \lambda}{545}$$

Zur Bestimmung von p hat man vermöge (57) folgende in Bezug auf p transcendente Gleichung:

$$R = p \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_1}{L} + \left( M + \frac{L_1}{L} \right) \log_{\text{nat.}} \frac{L + ML}{L_1 + ML} \\ - \frac{r}{p} - \frac{a}{A} \frac{1}{L} \frac{p}{\mathfrak{A}} \left[ 1 - m \left( \frac{p}{\mathfrak{A}} - 1 \right) \right] \log_{\text{nat.}} \frac{p}{\mathfrak{A}} \end{array} \right\}$$

Ist p gefunden, so folgt aus der Gleichung (47):

$$1 + \alpha t_1 = \frac{A}{a} \frac{L}{1} \frac{p}{\mathfrak{A}} \frac{\left( \frac{L_1}{L} + M \right)}{1 - m \left( \frac{p}{\mathfrak{A}} - 1 \right)} (1 + \alpha t_0)$$

woraus  $t_1$  bestimmt werden kann.

Eliminirt man q aus den Gleichungen (26) und (32), so erhält man zur Bestimmung von  $T_1$  folgende transcendente Gleichung:

$$F_g = \frac{Q S}{k} \frac{\log_{\text{nat.}} \frac{T_0 - t_1}{T_0 - t_0}}{1 - \frac{t_1 - t_0}{T_0 - T_1}}$$

Hierauf findet man q aus Gleichung (26), aus welcher folgt:

$$q = Q \frac{S}{s} \frac{T_0 - T_1}{t_1 - t_0}$$

Ist auch q bestimmt, so erhält man zur Bestimmung von V folgenden aus Gleichung (50) sich ergebenden Ausdruck:



$$v = \frac{q}{A} \frac{\mathfrak{M}}{p} \frac{1 + \alpha t_0}{\gamma_0 \left( \frac{L_1}{L} + M \right)}$$

Und nun findet man  $E_n$  aus:

$$E_n = A v R$$

und endlich durch (52):

$$\left( \frac{W}{1} \right) = \frac{\mathfrak{M}}{s \gamma_0} \frac{T_0 - T_1}{T_0 - \mathcal{A}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{1 + \alpha t_1}{t_1 - t_0} \left[ 1 + \log_{\text{nat.}} \frac{L + M L}{L_1 + M L} \right] \\ - \frac{1 + \alpha t_0}{t_1 - t_0} \log_{\text{nat.}} \frac{p}{\mathfrak{M}} - \frac{\frac{r}{p} + M}{\frac{L_1}{L} + M} \frac{1 + \alpha t_1}{t_1 - t_0} \end{array} \right\}$$

Somit sind also alle unbekanntenen Grössen bestimmt:

### *Theorie des Schwungrades.*

Die drehende Bewegung des Schwungrades der Maschine ist selbst dann, wenn die zu treibenden Maschinen einen ganz unveränderlichen Widerstand verursachen, dennoch eine ungleichförmige. Sie ist ungleichförmig, 1) weil die Luft während ihrer Expansion mit veränderlicher Kraft gegen den Kolben drückt; 2) weil der Widerstand der Verdichtungspumpe einen periodisch veränderlichen Werth hat; 3) weil die Umwandlung der geradlinig hin- und hergehenden Bewegung der Kolben in die rotirende der Schwungradswelle mittelst eines Kurbelmechanismus bewirkt wird. Wir wollen uns nun die Aufgabe vorlegen, die Masse des Schwungrades so zu bestimmen, dass die Ungleichförmigkeit der Bewegung des Schwungrades innerhalb gewisser Grenzen bleiben müsse. Zur Vereinfachung der Rechnung setzen wir voraus: 1) dass die zu betreibenden Maschinen einen unveränderlichen Widerstand verursachen, so zwar, dass die Kraft, mit welcher man senkrecht auf den Kurbelarm auf dessen Zapfen drücken müsste, um jenen Widerständen das Gleichgewicht zu halten, einen unveränderlichen Werth hat; 2) dass die Massen und insbesondere dass die lebendige Kraft der Massen der zu betreibenden Maschine im Vergleich zu jener des Schwungrades vernachlässigt werden dürfe; 3) dass auch die hin- und hergehenden Massen der Kolben, Kolbenstangen und Schub-