

68. Joules Luftmaschine. Die seinerzeit von Joule vorgeschlagene Type einer Heißluftmaschine bietet aus verschiedenen Gründen großes Interesse; der Kreisprozeß derselben sei daher, des Zusammenhanges wegen, an dieser Stelle untersucht.

Man denke sich eine Kammer C (Fig. 31), gefüllt mit Luft von der Temperatur T_2 , und fortwährend, durch Wasserzirkulation oder auf andere Weise kalt erhalten; eine zweite Kammer A , durch einen Ofen oder auf irgend eine andere Weise erhitzt, sei mit heißer Luft im Zustande der Kompression gefüllt; die Temperatur derselben sei T_1 . M sei ein Kompressionscyylinder, mittels welchem Luft von C nach A gepumpt wird; N sei der Arbeitscyylinder, in welchem die Luft aus A expandiert, bevor

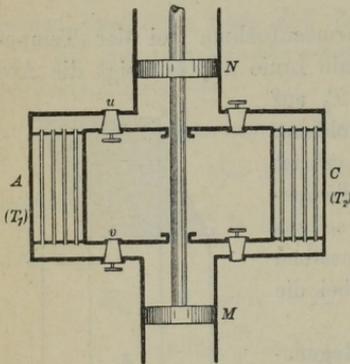


Fig. 31. Joules Heißluftmaschine.

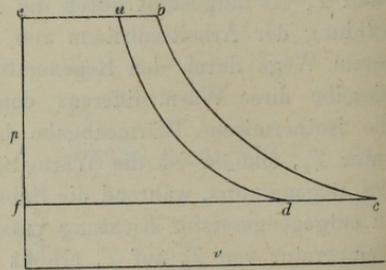


Fig. 32. Indikatoridiagramm von Joules Luftmaschine.

dieselbe in die kalte Kammer C zurückkehrt. Die Kammern A und C seien im Verhältnisse zu der Luftmenge, die dieselben bei jedem Hube passiert, so groß, daß der Druck in diesen Kammern als konstant angesehen werden kann. Die Wirkungsweise dieser Maschine ist nun folgende:

Die Pumpe M saugt Luft aus C an und komprimiert dieselbe adiabatisch, bis die Spannung derselben gleich der Spannung in A wird, und gibt dieselbe, nachdem Ventil v geöffnet wurde, an A ab. Das Indikatoridiagramm für diesen Teil des Arbeitsprozesses der Pumpe zeigt der Linienzug $fdac$ in Fig. 32. Während dieses Prozesses strömt die gleiche Menge heißer Luft aus der Kammer A nach dem Cylinder N ; nachdem das Ventil u geschlossen ist, expandiert die Luft in N adiabatisch, bis die Spannung auf jene in der kalten Kammer C gesunken ist; während des Kolbenrücklaufes von N wird diese Luft nach C geschafft. Der Arbeitsprozeß von N ist durch den Linienzug $ebcf$ in Fig. 32 dargestellt. Die Fläche $fdac$ gibt das Arbeitsmaß der zum Betriebe der Pumpe erforderlichen Arbeit,

während die Fläche $ebcf$ das Ausmaß der von der Luft im Arbeitscyliner N geleisteten Arbeit darstellt. Die Differenzfläche $abcd$ gibt die von der Maschine während eines Kreislaufes der aufgenommenen Luftmenge geleistete Nettoarbeit.

Wärme wird aufgenommen während der Temperaturerhöhung der Luft in der heißen Kammer A ; nachdem vorausgesetzt wurde, daß der Druck in dieser Kammer konstant sei, ist

$$Q_A = c_p (T_b - T_a),$$

worin T_b die Temperatur in A , also T_1 ist und T_a jene Temperatur bezeichnet, welche mit Ende der adiabatischen Kompression in der Pumpe erreicht wird. In gleicher Weise ist die Wärmeabgabe an die kalte Kammer C

$$Q_C = c_p (T_c - T_d),$$

worin $T_d = T_2$, der Temperatur von C , und T_c die Temperatur bedeutet, welche mit Ende der adiabatischen Expansion in N erreicht wurde. Da die Expansion und Kompression innerhalb derselben Druckgrenzen stattfinden, ist auch das Expansions- und Kompressionsverhältnis das gleiche; bezeichnen wir dasselbe mit r , dann ist

$$\frac{T_a}{T_d} = \frac{T_b}{T_c} = r^{x-1} \quad (\text{siehe § 16})$$

und daher

$$\frac{T_b}{T_a} = \frac{T_c}{T_d},$$

somit

$$\frac{T_b - T_a}{T_a} = \frac{T_c - T_d}{T_d};$$

ferner ist

$$\frac{Q_A}{Q_C} = \frac{T_b - T_a}{T_c - T_d} = \frac{T_b}{T_d} = \frac{T_b}{T_c};$$

und der Wirkungsgrad

$$\frac{Q_A - Q_C}{Q_A} = \frac{T_a - T_d}{T_a} = \frac{T_b - T_c}{T_b}.$$

Dieser Wirkungsgrad ist kleiner als der Wirkungsgrad einer vollkommenen zwischen denselben Temperaturgrenzen arbeitenden Maschine $\left(\frac{T_1 - T_2}{T_1}\right)$, weil die Wärme nicht bei den Grenztemperaturen aufgenommen, beziehungsweise abgegeben wurde.

Anstelle der kalten Kammer C mit Wasserzirkulation behufs Absorption der Wärme kann man die Maschine bei jedem Hube frische Luft aus der Atmosphäre aufnehmen und nach erfolgter Expansion im Arbeitscyliner N wieder in die Atmosphäre ausstoßen lassen.

Das Entropie-Temperaturdiagramm dieses Kreisprozesses ist in Fig. 33 skizziert; die Buchstaben beziehen sich auf dieselben Prozesse wie in Fig. 32. Nach der adiabatischen Kompression da wird die Luft in der heißen Kammer A erhitzt; die Kurve ab dieses Prozesses hat die Gleichung

$$\Phi = \int_{T_a}^T \frac{c_p \cdot dT}{T} = c_p (\log_e T - \log_e T_a).$$

Die darauffolgende adiabatische Expansion gibt die Linie bc ; cd ist eine andere logarithmische Kurve für die Wärmeabgabe an C infolge Abkühlung unter konstantem Druck. Das Verhältnis $\frac{T_a}{T_b}$, ausgedrückt durch $\frac{ea}{eb}$ in Fig. 32 und durch $\frac{ma}{nb}$ in Fig. 33, gibt das Verhältnis des Hubvolumens der Pumpe M zum Hubvolumen des Arbeitssylinders N .

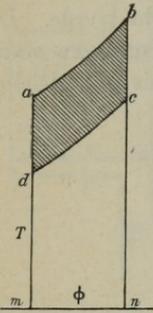


Fig. 33. Entropie-Temperaturdiagramm von Joules Luftmaschine.

Für die praktische Ausführung einer derartigen Maschine wäre die, notwendigerweise im Verhältnisse zum Arbeitssylinder, große Pumpe jedenfalls ein Nachteil, weil hierdurch nicht nur das Gewicht der Maschine unverhältnismäßig vermehrt, sondern auch der Wirkungsgrad infolge der erhöhten Reibungsarbeit nicht unwesentlich verringert würde.

Joule beabsichtigte, wie aus seinem Originalentwurf der Maschine hervorgeht, die Luft durch Berührung mit den von außen geheizten Wandungen der Kammer A zu erhitzen. Man kann jedoch das Brennmaterial in der Kammer selbst verbrennen; die durch die Kompressionspumpe stetig zugeführte frische Luft erhält die Verbrennung aufrecht. Als Brennstoff kann entweder festes, flüssiges oder gasförmiges Brennmaterial verwendet werden. Maschinen dieser Art nennt man Maschinen mit innerer Verbrennung. Solche Maschinen wurden für festes Brennmaterial nur in kleineren Größen ausgeführt; die ausgedehnteste Verwendung und weitgehendste Entwicklung fanden Maschinen dieser Type als Explosionsbeziehungsweise Verbrennungsmaschinen. Der Kreisprozeß derselben ist der Hauptsache nach jener Joules, jedoch wesentlich modifiziert, worauf in einem der späteren Abschnitte näher eingegangen werden soll.

Es ist dies jedoch nicht der einzige Grund des Interesses, welches Joules Kreisprozeß für uns an dieser Stelle bietet; derselbe hat in der modernen Praxis noch eine andere wichtige Anwendung und zwar durch Umkehrung des Prozesses in den sogenannten Kältemaschinen gefunden. Kältemaschinen mit Luft als Arbeitsflüssigkeit werden unter anderem z. B.

zur Erhaltung der Temperatur von Schiffsräumen unter dem Gefrierpunkte behufs Konservierung von Fleisch etc. bei Seefahrten vielfach benützt, außerdem zur künstlichen Erzeugung von Eis etc.

69. Umkehrung des Kreisprozesses der Wärmemaschine. Kältemaschine oder Wärmepumpe. Unter einer Kältemaschine oder Wärmepumpe versteht man im allgemeinen eine Maschine, welche Wärme von einem kälteren auf einen wärmeren Körper überträgt; eine derartige Wärmetransmission kann nach dem zweiten Gesetze der Thermodynamik durch einen selbsttätig wirkenden Prozeß nicht erfolgen; es ist hierzu stets Verbrauch an äußerer mechanischer Arbeit erforderlich. Jede Wärmemaschine kann als Wärmepumpe dienen, wenn man sie zwingt, ihr Indikatordiagramm im verkehrten Sinne zu durchlaufen, sodaß die Fläche desselben die Arbeit darstellt, welche auf die Maschine von außen übertragen, statt von derselben erzeugt oder geleistet wurde. Die Wärme wird sodann von der kalten Quelle aufgenommen und an die warme Quelle abgegeben.

Nimmt man zum Beispiel den Carnot'schen Kreisprozeß für Luft als Arbeitssubstanz (Fig. 34) und denkt sich denselben verkehrt in der Reihenfolge $adcba$ der Einzeloperationen durchlaufen, sodaß die Fläche des Diagrammes negativ ist und die auf die Maschine übertragene Arbeit darstellt.

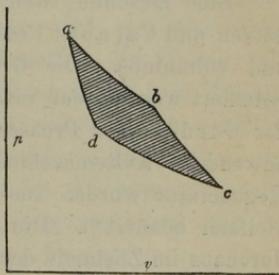


Fig. 34.

Während der Periode $d-c$ findet isothermische Expansion in Kontakt mit dem kalten Körper C (Fig. 31) statt; das Gas nimmt von C eine Wärmemenge gleich $RT_2 \log_e r$ (siehe § 17) auf; während der isothermischen Kompression $b-a$ wird hingegen eine Wärmemenge $RT_1 \log_e r$ an den wärmeren Körper A abgegeben. Während den Perioden $c-b$ und $a-d$ findet keine Wärmeübertragung statt. Dem kalten Körper C wird daher fortwährend Wärme entzogen; seine Temperatur kann somit niedriger erhalten werden als die Temperatur seiner Umgebung. Denkt man sich eine solche Maschine angewendet zur Erzeugung von Eis, dann besteht C aus einer Rohrspirale oder einer Serie enger gerader Rohre, die in einem mit Salzlösung gefüllten Cylinder angeordnet sind; die Salzlösung kann infolge der Wirkungsweise der Maschine auf einer Temperatur unter 0°C erhalten werden und wird ihrerseits benutzt, um dem Wasser durch Leitung Wärme zu entziehen, dasselbe somit zum Gefrieren zu bringen. Wasser hat seinen Schmelzpunkt oder Gefrierpunkt bei 0°C . Wirft man aber fein gepulvertes Salz in dasselbe, so sinkt die Temperatur der Lösung,