

entschieden zu große Werte für die totale Wärme. Für eine höhere Überhitzung, z. B.  $t' = 300^{\circ} \text{C}$  (eigentliche Überhitzung um  $200^{\circ} \text{C}$ ) ergibt sich  $H' = 750,5$  und  $H = 637$ ; somit die Überhitzungswärme pro Grad der Überhitzung  $0,57$  Wärmeeinheiten, falls Rankines Werte für  $H'$  ein richtiges Maß für die Beurteilung der totalen Wärme wären. Wie man sieht, ist diese Formel auch für solche Fälle hochgehender Überhitzung nicht mit hinlänglicher Genauigkeit anwendbar; für höhere Spannungen würden die Abweichungen noch größer werden. Es scheint daraus hervorzugehen, daß die gebräuchliche Annahme der Unveränderlichkeit der spezifischen Wärme überhitzten Dampfes wahrscheinlich falsch ist und es dürfte im Wege des Experimentes nachweisbar sein, daß in dem anfänglichen Stadium der Überhitzung mehr Wärme pro Grad verbraucht wird, als im weiteren Verlaufe derselben\*).

Es sei hier bemerkt, daß Regnaults Versuche nur die Differenz der totalen Wärme stark und schwach überhitzten Dampfes behandeln, sich jedoch auf die spezifische Wärme schwach überhitzter Dämpfe, selbst bei geringen Spannungen, nicht erstrecken.

**66. Entropiediagramm einer Maschine, arbeitend mit Dampf, gesättigt durch die ganze Expansion.** Dieser Fall wurde bereits in § 47 als Grenzfall einer mit Dampfmantel arbeitenden Maschine erwähnt, unter der Voraussetzung, daß infolge des Mantels der Dampf während der ganzen Expansion trocken erhalten wird. Das Entropiediagramm ist für vollständige Expansion durch den Linienzug  $abcf$  Fig. 23 dargestellt; die Sättigungskurve  $cf$  repräsentiert den Prozeß der Expansion und die Fläche  $pcfl$  ist die vom Dampfmantel gelieferte Wärmemenge  $H_m$ . Die geleistete Arbeit  $W$  ist aus der Fläche des Diagramms leicht zu berechnen, wenn man berücksichtigt, daß die Breite derselben in irgend einer Höhe  $\frac{L}{T}$  ist.

$$W = \int_{t_2}^{t_1} \frac{L}{T} dT.$$

Um diesen Ausdruck integrieren zu können, müssen wir die latente Wärme  $L$ , wie in § 35, Gleichung (7) ausdrücken in der Form

$$L = a - bT.$$

\*) Bezüglich dieses Gegenstandes sei auf die Publikation von Professor Osborne Reynolds „On methods of determining the dryness of steam and the condition of steam-gas“ in Proc. of the Manchester Phil. Soc. Nov. 1896 hingewiesen; ferner auf die Arbeit von Prof. Ewing und Dunkerley „On the specific heat of superheated steam“, Rep. Brit. Association 1897.

Dann wird

$$W = \int_{T_2}^{T_1} \frac{a - bT}{T} dT = a \log_e \frac{T_1}{T_2} - b(T_1 - T_2).$$

Für britische Wärmeeinheiten ist  $a = 1437$  und  $b = 0,7$  zu setzen; für metrische Wärmeeinheiten wird

$$a = 797,6 \text{ und } b = 0,7,$$

nach den Formeln

$$L = 1114 - 0,7 t$$

für britische und

$$L = 606,5 - 0,7 t$$

für metrische Einheiten.

In § 47 wurde bereits ein Ausdruck für  $W$  gegeben; ein Vergleich beider Ausdrücke zeigt, daß daraus derselbe Wert resultiert.

Um die vom Dampfmantel gelieferte Wärme  $H_m$  zu finden, muß man berücksichtigen, daß

$$\text{die aufgenommene Gesamtwärme} = L_1 + h_1 - h_2 + H_m,$$

$$\text{die abgeführte Wärme} = L_2.$$

Somit

$$W = L_1 + h_1 - h_2 + H_m - L_2 \text{ (in Wärmeeinheiten)}$$

und daraus

$$H_m = W - (L_1 - L_2) - (h_1 - h_2)$$

$$= a \log_e \frac{T_1}{T_2} - b(T_1 - T_2) - (h_1 - h_2) - (a - bT_1) + (a - bT_2)$$

$$= a \log_e \frac{T_1}{T_2} - (h_1 - h_2).$$

Der Wirkungsgrad des ganzen Prozesses ist

$$\frac{a \log_e \frac{T_1}{T_2} - b(T_1 - T_2)}{a \log_e \frac{T_1}{T_2} + L_1}.$$

Als ein numerisches Beispiel zum Vergleiche mit dem in § 54 durchgeführten Beispiel vollständiger adiabatischer Expansion sei wie dort angenommen  $T_1 = 458$  (entsprechend einem Drucke von 11,5 kg/qcm) und  $T_2 = 288$  (Kondensation bei 15° C).

Aus obigen Gleichungen ergibt sich:

$$a \log_e \frac{T_1}{T_2} = 369, \quad H_m = 199, \quad W = 250;$$

ferner ist für  $t_1 = 185^0$  ( $T_1 = 458$ )  $L_1 = 476$ , somit die während des Prozesses aufgenommene Gesamtwärme 845 Wärmeeinheiten und daher



der Wirkungsgrad 0,296; in dem korrespondierenden Kreisprozeß mit adiabatischer Expansion wurde der Wirkungsgrad mit 0,330 ermittelt; der in Rede stehende Kreisprozeß gibt daher einen um rund 10 Prozent kleineren Wirkungsgrad. Diese Verminderung des Wirkungsgrades ist dadurch begründet, daß die vom Dampfmantel übertragene Wärme den Arbeitsdampf erreicht, wenn dessen Temperatur unter die höchste Temperatur der Reihe gesunken ist.

**67. Entropie-Temperaturdiagramm einer Maschine mit Regenerator.** Eine Maschine, wie z. B. die kalorische Maschine von Stirling, welche anstelle adiabatischer Expansion und Kompression im Carnotschen Kreisprozeß einen Regenerator benützt, hat ein Entropiediagramm wie in Fig. 30 dargestellt.

Die isothermische Operation der Wärmefaufnahme bei der Temperatur  $T_1$  ist dargestellt durch die horizontale Linie  $ab$ ;  $bc$  zeigt die Abkühlung der Arbeitssubstanz von  $T_1$  auf  $T_2$  auf ihrem Wege durch den Regenerator, in welchem dieselbe diese Wärmedifferenz deponiert;  $cd$  ist die isothermische Wärmeabgabe bei der Temperatur  $T_2$ , und  $da$  ist die Wärmerückgabe seitens des Regenerators, während die Substanz denselben in entgegengesetzter Richtung passiert, wobei die Temperatur von  $T_2$  auf  $T_1$  erhöht wird.

Nimmt man die Wirkungsweise des Regenerators als eine ideale oder vollkommene an, dann sind die beiden Kurven  $bc$  und  $ad$  einander vollständig gleich, welches auch immer ihre Form sei. Die Fläche der Figur ist unter dieser Voraussetzung gleich der Fläche des Rechteckes Fig. 22, welche den gewöhnlichen Carnotschen Kreisprozeß darstellt. Die gleichen Flächen  $pbcq$  und  $madn$  geben das Maß der im Regenerator aufgespeicherten und an die Maschine zurückgeleiteten Wärme.

Für Luft als Arbeitssubstanz und unter der Voraussetzung, daß die Regenerativveränderungen entweder bei konstantem Volumen, wie in Stirlings Maschine, oder bei konstantem Druck, wie in Ericssons Maschine, stattfinden, so daß die spezifische Wärme  $c$  konstant ist, sind  $ad$  und  $bc$  logarithmische Kurven von der Gleichung

$$\Phi = \int \frac{cdT}{T} = c \log_e T,$$

worin für  $c$  in dem einen Falle (konstantes Volumen)  $c_v$ , in dem anderen Falle (konstanter Druck)  $c_p$  zu setzen ist.

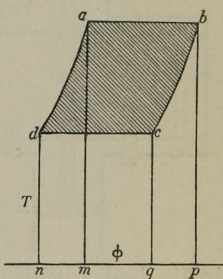


Fig. 30. Entropie-Temperaturdiagramm einer vollkommenen Maschine mit Regenerator.