dies ist wieder die adiabatische Gleichung von § 41, welche bereits in § 56 auf einem anderen und längeren Wege abgeleitet wurde.

59. Entropie-Temperaturdiagramm. Der gebräuchliche Weg, die Veränderungen graphisch darzustellen, welche die Arbeitssubstanz einer Wärmemaschine auf ihrem Wege durch die Maschine erfährt, ist der, daß man ein gewöhnliches Indikatordiagramm zeichnet, welches die Beziehungen zwischen Druck und Volumen darstellt. Ein anderer, weniger betretener, aber in mancher Hinsicht lohnenderer Weg besteht darin, daß man ein Diagramm entwirft, welches die Beziehung der Temperatur der Arbeitsflüssigkeit zur Entropie derselben zeigt. Diagramme dieser Art bilden eine interessante und vielfach nützliche Alternative des gewöhnlichen Indikatordiagramms.

Entropie-Temperaturdiagramme wurden mit anderen graphischen Methoden der Thermodynamik von Prof. J. Willard Gibbs beschrieben (*Trans. of the Connecticut Acad. of Sciences*, Vol. II. 1873). Die Anwendung derselben auf Dampfmaschinenprobleme ist das Verdienst von Mr. J. Macfarlane Gray (siehe *Proc. Inst. Mech. Eng.* 1889). Nach Prof. Boulvin wurde die erste Anwendung der Entropie-Temperaturdiagramme von M. Th. Belpaire gemacht (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique* 1872). Neuere Arbeiten über Anwendung des Entropie-Temperaturdiagrammes sind unter anderen: Boulvin (*Cours de mécanique appliquée aux machines*, Paris 1893); Mollier (*Das Wärmediagramm, Verhandl. des Vereines zur Beförderung des Gewerbfleißes*, 1893); Ugo Ancona (*Das Wärmediagramm der gesättigten Dämpfe und seine Anwendung auf Heiß- und Kaltdampfmaschinen; Zeitschrift d. Vereines deutscher Ingenieure*, Jhrg. 1897); Mollier (*Über die Beurteilung der Dampfmaschine*, ebendaselbst, Jhrg. 1898).

Sei $\delta\Phi$ die geringe Änderung der Entropie, welche eine Substanz erfährt, wenn sie irgend eine kleine Wärmemenge δQ bei einer Temperatur T aufnimmt. Nach der Definition der Entropie ist

$$\delta\Phi = \frac{\delta Q}{T}$$

oder

$$T\delta\Phi = \delta Q$$

und für eine unendlich kleine Zustandsänderung

$$\int T\delta\Phi = \int \delta Q. \tag{12}$$

Die Integration wird zwischen irgend welchen gegebenen Grenzen durchgeführt.

Zeichnet man nun eine Kurve mit T und Φ als Ordinaten, dann ist $\int T\delta\Phi$ die Fläche unter dieser Kurve. Diese Fläche ist nach obiger

Gleichung gleich $\int dQ$, das heißt, die Fläche unter irgend einer Partie der Entropie-Temperaturkurve ist der ganzen Wärmemenge gleich, welche die Substanz aufnimmt, während sie jene Zustandsänderung erfährt, die durch diese Partie der Kurve dargestellt ist.

Sei ab (Fig. 21) eine Partie der Φ- und T-Kurve. Die Fläche des schmalen schraffierten Streifens von der Breite $\delta\Phi$ und der Höhe T ist $T\delta\Phi = \delta Q$, gleich der Wärme, aufgenommen während der kleinen Entropieänderung $\delta\Phi$. Die ganze Fläche $mabn$ oder $\int T\delta\Phi$ zwischen den Grenzen a und b ist die Gesamtwärme, welche während der Veränderung der Arbeitssubstanz von dem Zustande dargestellt in a auf jenen, dargestellt in b, aufgenommen wurde. In gleicher Weise gibt die Substanz eine Wärmemenge, gemessen durch die Fläche $bamn$ ab, während sie sich längs der Linie ba von dem Zustande in b auf jenen in a verändert. Die Abscissenachse ox entspricht dem absoluten Nullpunkt der Temperatur.

Wenn eine Entropie-Temperaturkurve für einen vollständigen Kreis-

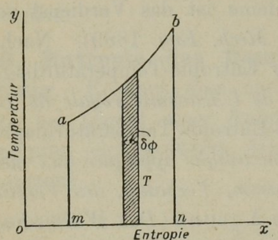

Fig. 21. Entropie-Temperaturkurve.

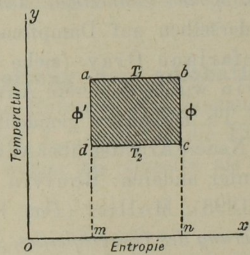

Fig. 22. Entropie-Temperaturdiagramm des Carnotschen Kreisprozesses.

prozeß gezeichnet wird, dann bildet dieselbe eine geschlossene Figur, da die Arbeitssubstanz wieder in ihren Anfangszustand zurückkehrt. Die Fläche dieser Figur findet man durch Integration über den ganzen Kreisprozeß. Ist Q_1 die während dieses Prozesses aufgenommene, Q_2 hingegen die während desselben abgegebene Wärmemenge, dann ist

$$\int T\delta\Phi = Q_1 - Q_2.$$

Die Differenz $Q_1 - Q_2$ ist jedoch die in Arbeit umgesetzte Wärme, somit

$$\int T\delta\Phi = W, \tag{13}$$

wenn sich die Integration über den ganzen Cyklus von Operationen erstreckt und W in Wärmeeinheiten ausgedrückt ist. Entropiediagramme haben somit mit den Druck-Volumendiagrammen die wichtige Eigenschaft gemein, daß die von dem Linienzug eingeschlossene Fläche das Maß bildet, für die während des Kreisprozesses geleistete Arbeit.

Isothermische Linien eines Entropie-Temperaturdiagrammes sind für jedwede Arbeitssubstanz gerade, zur Abscissenachse parallele Linien; adiabatische Linien sind hingegen gerade, zur y-Achse parallele Linien konstanter Entropie. Der Carnotsche Kreisprozeß wird daher, ob mit Luft, Dampf oder irgend einer anderen Substanz als Arbeitsflüssigkeit durchgeführt, durch ein Rechteck $abcd$ Fig. 22 dargestellt, in welchem die aufgenommene Wärme

$$Q_1 = \text{area}\, abnm = T_1 (\Phi - \Phi'),$$

die abgegebene Wärme

$$Q_2 = \text{area}\, cdmn = T_2 (\Phi - \Phi')$$

und die geleistete Arbeit

$$W = \text{area}\, abcd = (T_1 - T_2)(\Phi - \Phi'),$$

wenn Φ die Entropie des adiabatischen Prozesses der Expansion und Φ' die Entropie des adiabatischen Prozesses der Kompression bedeutet. Der Wirkungsgrad ist

$$\frac{\text{area}\, abcd}{\text{area}\, abnm} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

60. Entropie-Temperaturdiagramm für Dampf, angewendet auf die ideale Dampfmaschine, arbeitend ohne Kompression, jedoch mit vollständiger Expansion. Ein interessantes Beispiel für den Nutzen der Entropie-Temperaturdiagramme gibt die Maschine von § 46. In dem dieser Maschine zugrunde liegenden Kreisprozesse wird der Dampf nach erfolgter vollständiger adiabatischer Expansion von der Temperatur T_1 auf T_2, bei dieser Temperatur T_2 isothermisch kondensiert und sodann als Wasser in den Kessel zurückgeführt. Um das Diagramm dieses Kreisprozesses zu entwerfen, beginnen wir mit dem Momente, daß das Wasser von der Temperatur T_2 erhitzt wird. Rechnet man von irgend einer, jedoch niedrigeren Anfangstemperatur T_0 und legt man der Berechnung durchweg die Gewichtseinheit (1 kg) der Arbeitsflüssigkeit zugrunde, dann ist die Entropie des Wassers bei irgend einer Temperatur T

$$= \int_{T_0}^{T} \frac{dh}{T} = \int_{T_0}^{T} \frac{\sigma\, dT}{T},$$

wenn σ die spezifische Wärme des Wassers bedeutet. Die spezifische Wärme ist gleich der Einheit bei niedrigen Temperaturen und wird nur bei hohen Temperaturen unbedeutend größer als die Einheit. Vernachlässigt man diese kleine Änderung, dann kann man schreiben