

Ablesungen direkt ermittelt. Diese letztere Methode ist die gebräuchlichere und zweckmäßigere; man nennt so eingerichtete Thermometer Luftthermometer von konstantem Volumen. Die Luft muß vollkommen trocken sein, indem bei dem geringsten Feuchtigkeitsgehalt derselben das Volumen in dem einen und der Druck in dem anderen Falle nicht mehr proportional der Temperatur sind.

**50. Berechnung der Dichte gesättigten Dampfes.** Bei Erörterung der physikalischen Eigenschaften des gesättigten Dampfes (§ 32) wurde erwähnt, daß das Volumen von 1 kg gesättigten Dampfes in der dritten Rubrik der Tabelle I nicht durch direkte Versuche ermittelt, sondern auf Grund anderer bekannter Eigenschaften des Dampfes berechnet wurde. Um dieses Verfahren zu erklären, müssen wir auf die in § 43 besprochene ideale Dampfmaschine zurückgreifen, in welcher Carnots Kreisprozeß mit einer Mischung aus Wasser und Dampf als Arbeitssubstanz durchgeführt gedacht ist.

Wir erhielten das Indikatordiagramm Fig. 14, aus zwei Kurven konstanten Druckes (Isothermen) verbunden durch zwei adiabatische Linien. Die pro kg der Arbeitssubstanz aufgenommene Wärme war  $L$ , und nachdem die Maschine umkehrbar ist, berechnet sich der Wirkungsgrad derselben mit

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

und daraus die geleistete Arbeit, beziehungsweise die Fläche des Diagramms, mit

$$\frac{L(T_1 - T_2)}{T_1}$$

in Wärmeeinheiten, somit in kgm durch Multiplikation mit dem Arbeitsäquivalent  $J$ .

Nun denke man sich diese Maschine zwischen zwei ungemein nahe liegenden Temperaturen arbeitend; wir wollen diese Temperaturen  $T$  und  $T - \delta T$  bezeichnen, wobei  $\delta T$  das kleine Temperaturintervall ist, innerhalb welchem die Maschine arbeitet. Der obige Ausdruck für die geleistete Arbeit in kgm geht dann über in

$$\frac{JL\delta T}{T}$$

Das Indikatordiagramm ist nun ein langer schmaler Strëifen (Fig. 19). Seine Länge  $ab$  ist  $v - \omega$ , wenn  $v$  das Volumen von 1 kg Dampf und  $\omega$  das Volumen von 1 kg Wasser (0,001 cbm) bezeichnet. Seine Höhe ist  $\delta p$ , wenn  $\delta p$  die Differenz des Druckes in  $ab$  und  $cd$  bedeutet; nachdem der Dampf in  $cd$  als auch in  $ab$  gesättigt ist, so ist  $\delta p$ , mit anderen

Worten ausgedrückt, die der Temperaturdifferenz ( $\delta T$ ) entsprechende Druckdifferenz gesättigten Dampfes.

Wird  $\delta p$  sehr klein, dann kann die Fläche des Diagramms durch das Produkt aus Länge und Höhe derselben, also durch den Ausdruck

$$\delta p (v - \omega)$$

bestimmt werden; diese Fläche ist der geleisteten Arbeit gleich, somit

$$\delta p (v - \omega) = \frac{J \cdot L \delta T}{T}. \quad (1)$$

Diese Gleichung ist nur angenähert richtig, wenn das Intervall  $\delta T$  oder  $\delta p$  ein kleines, also begrenztes Intervall bedeutet; für ein unendlich kleines Intervall, als Grenzzustand, wird die Gleichung jedoch richtig und kann in der Form geschrieben werden

$$v - \omega = \frac{J \cdot L}{T} \cdot \frac{dT}{dp}, \quad (2)$$

worin  $\frac{dT}{dp}$  der Betrag ist, um welchen sich die Temperatur gesättigten Dampfes im Verhältnis zum Drucke bei gegebener Temperatur  $T$  ändert.

Daraus ergibt sich weiter die Gleichung

$$v = \omega + \frac{J \cdot L}{T} \cdot \frac{dT}{dp}$$

als ein Mittel zur Berechnung des Volumens der Gewichtseinheit gesättigten Dampfes, wenn die Werte von  $L$  und  $\frac{dT}{dp}$  für verschiedene Temperaturen bekannt sind.

Durch die Versuche Regnaults wurde  $L$  bestimmt, sowie die Beziehung zwischen  $p$  und  $T$ ; es ist daher leicht,

das Verhältnis  $\frac{dT}{dp}$  zu berechnen, entweder durch Messung der Neigung der an die  $T$  und  $p$ -Kurve gelegten Tangente, oder durch Differentiation einer Formel, wie Gleichung (1) des § 31, welche die experimentellen Beziehungen dieser beiden Größen ausdrückt. Auf diesem Wege wurden die Werte von  $v$  in der Tabelle I ermittelt.

Der Vorteil dieser Methode liegt darin, daß  $L$  und  $\frac{dT}{dp}$  mit größerer Genauigkeit ge-

messsen werden können, als  $v$  selbst gemessen werden kann und daß daher die aus diesen Messungen indirekt ermittelten Werte von  $v$  größeren Anspruch auf Genauigkeit besitzen, als die im Wege direkter Messung bestimmten  $v$ -Werte. Obige Gleichung für  $v$  zeigt, daß die auf diesem

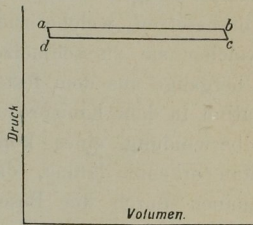


Fig. 19.

Wege ermittelten Zahlenwerte von  $J$  abhängig und nachdem  $\omega$  sehr klein ist, auch nahezu proportional zu  $J$  sind, worauf bereits an früherer Stelle (siehe Fußnote § 32) hingewiesen wurde.

**51. Ausdehnung obiger Resultate auf andere Veränderungen der physikalischen Zustände.** In der Gleichung (2) ist der Vordersatz immer positiv, weil  $v$ , das Volumen der Gewichtseinheit Dampf, stets größer ist als das Volumen  $\omega$  der Gewichtseinheit Wasser. Es muß somit die rechte Seite der Gleichung, somit  $\frac{dT}{dp}$  auch positiv sein, das heißt mit anderen Worten, die Erhöhung des Druckes, unter welchem sich Dampf entwickelt, erhöht den Siedepunkt. Die Gleichung kann aber auch in umgekehrter Weise angewendet werden, sobald der Betrag gegeben ist, um welchen sich das Volumen des Wassers bei seiner Verwandlung in Dampf vergrößert; man kann dann daraus  $\frac{dT}{dp}$ , die Erhöhung der Siedetemperatur bei zunehmender Pressung berechnen.

Die Betrachtung, welche zu der obigen Gleichung geführt hat, ist allgemein anwendbar, also in keiner Weise auf Dampf allein beschränkt. Die Maschine, deren Indikatordiagramm in Fig. 19 skizziert ist, kann ebensogut irgend eine andere Substanz als Arbeitsflüssigkeit besitzen. Die isothermische Linie der ersten Operation, während welcher Wärme aufgenommen wird, stellt in ganz allgemeiner Weise die Änderung des Volumens irgend einer Arbeitssubstanz dar, welche sich vollzieht, während dieselbe ihren physikalischen Zustand ändert. In dem früher erörterten Beispiele veränderte sich die Arbeitssubstanz aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand. Man könnte aber ebensogut eine feste Substanz voraussetzen, welche zuerst auf die Temperatur  $T$  gebracht wurde, bei welcher sie zu schmelzen beginnt; die Ausdehnung der Substanz beim Übergange aus dem festen in den flüssigen Zustand bildet die erste Operation in dem Kreisprozesse; die Substanz verrichtet, indem sie sich unter Überwindung eines konstanten Widerstandes ausdehnt, äußere Arbeit. Man erkennt daraus, daß die früher aufgestellte Gleichung im allgemeinen durch die Beschaffenheit der Arbeitssubstanz unberührt bleibt, daher für irgend eine Umwandlung des Zustandes irgend welcher Arbeitssubstanz in der allgemeinen Form geschrieben werden kann

$$U - U' = \frac{J\lambda}{T} \cdot \frac{dT}{dp}, \quad (3)$$

worin  $U'$  das Volumen der Masseneinheit der Substanz im ursprünglichen Zustande,  $U$  das Volumen derselben nach vollzogener Umwandlung bedeutet.  $\lambda$  ist die während der Umwandlung des Zustandes verbrauchte