

bildung stattfinden soll, welche immer sein, so besteht die Beziehung aufrecht, daß die erforderliche Gesamtwärme die Summe aus der inneren Energie des Dampfes und der durch die Ausdehnung desselben während des Prozesses verrichteten äußeren Arbeit bildet. Es ist daher die zur Dampfbildung erforderliche Wärme

$$= I + \frac{1}{J} \int p dv \quad (9)$$

in Wärmeeinheiten; die Grenzen der Integration bilden das Endvolumen des Dampfes und das Anfangsvolumen des Wassers.

Wenn gesättigter Dampf in einem geschlossenen Gefäße von konstantem Volumen gebildet wird, dann kann keine äußere Arbeit verrichtet werden; die Dampfbildungswärme ist dann gleich der inneren Energie  $I$  (Flüssigkeitswärme + innerer latenter Wärme) und daher um  $\frac{p}{J}(v - 0,001)$  kleiner, als die Gesamtwärme  $H$  des Dampfes bei der Bildung unter konstantem Druck.

**38. Nasser Dampf.** In den Cylindern unserer Dampfmaschinen haben wir es gewöhnlich nicht mit trockenem gesättigten Dampf, sondern mit nassem oder feuchtem Dampf zu tun, also mit Dampf, welcher mit größeren oder kleineren Quantitäten mitgerissenen oder in irgend einer Weise mit demselben gemischten Wassers vereint zur Wirkung gelangt. In jeder solchen Mischung haben Dampf und Wasser dieselbe Temperatur und der Dampf ist gesättigt. Die Trockenheit des feuchten oder nassen Dampfes wird ausgedrückt durch den Teilbetrag  $q$  trockenen Dampfes jeder Gewichtseinheit (kg) der Mischung aus Dampf und Wasser; wenn daher diese Trockenheit bekannt ist, dann ist es auch leicht, die übrigen physikalischen Konstanten wie folgt zu bestimmen:

Latente Wärme von 1 kg nassen Dampfes	=	$qL$ ;
Gesamtwärme „ 1 kg „ „	=	$h + qL$ ;
Volumen „ 1 kg „ „	=	$qv + (1 - q)0,001$ nahezu = $qv$ ,

außer der Dampf ist so naß, daß er zum größeren Teile aus Wasser besteht.

Innere Energie von 1 kg nassen Dampfes =  $h + q\varphi$ .

**39. Überhitzter Dampf.** Wasserdampf ist überhitzt, wenn seine Temperatur bei gegebener Spannung höher ist, als die dieser Spannung entsprechende Sättigungstemperatur. Sehr stark überhitzter Dampf verhält sich ähnlich wie ein vollkommenes Gas und mag daher, Rankines Bezeichnung benützend, Dampfgas genannt werden. Es folgt daraus die Beziehung

$$pv = 47,025 T;$$

ferner ist die spezifische Wärme bei konstantem Druck  $c_p = 0,48$  Wärmeinheiten oder 204,5 kgm. Bei sehr niedrigen Temperaturen nähert sich bereits wenig überhitzter, sogar gesättigter Dampf, hinsichtlich seiner Eigenschaften jenen eines vollkommenen Gases, während bei hohen Temperaturen eine viel größere Überhitzung erforderlich ist, um eine Annäherung an den gasförmigen Zustand zu erreichen. Rankines Versuche haben gezeigt, daß die Gesamtwärme, welche zur Bildung von überhitztem Dampf bei irgend einer Spannung erforderlich ist, um die Überhitzung so weit zu treiben, daß der Dampf in Dampfgas übergeht, derart berechnet werden kann, daß man zur Gesamtwärme gesättigten Dampfes von irgend einer niedrigen Temperatur das Produkt addiert aus  $c_p$  und dem Temperaturüberschuß, welcher erzielt werden soll. Nimmt man nach Rankine gesättigten Dampf bei 0° C. als Gas an, dann lautet die Rankinesche Formel

$$\begin{aligned} H' &= (H \text{ bei } 0^\circ \text{ C.}) + 0,48t' \\ &= 606,50 + 0,48t'. \end{aligned}$$

$H'$  ist somit die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um überhitzten Dampf von irgend einer Überhitzungstemperatur  $t'$  zu bilden, sobald  $t'$  so weit über der Sättigungstemperatur gleich hoch gespannten Dampfes liegt, daß derselbe als vollkommenes Gas behandelt werden kann.

Die theoretische Basis dieser Formel wird in § 66 bei Besprechung der Gesamtwärme überhitzten Dampfes eingehend behandelt und möge hier der Hinweis darauf genügen.

Diese Formel ist für schwache Überhitzungen, ja selbst für höhere Überhitzungen unter den bei Dampfmaschinen gewöhnlich vorkommenden Spannungen jedoch nicht anwendbar. Ein gebräuchliches aber irriges Verfahren betrachtet die spezifische Wärme des Dampfes während der Überhitzung unter konstantem Druck als konstant (und gleich 0,48) und berechnet daher die totale Wärme in der Weise, daß die Gesamtwärme des Dampfes in gesättigtem Zustande um eine Wärmemenge vermehrt wird, welche der Anzahl Grade der Überhitzung proportional ist. Die Versuchsergebnisse über diesen Gegenstand sind lange noch nicht vollständig, doch läßt sich heute bereits mit genügender Sicherheit feststellen, daß die während der Überhitzung für jeden Grad derselben aufgenommene Wärmemenge während des Anfangszustandes der Überhitzung größer ist als im weiteren Verlaufe derselben.

Nach der chemischen Zusammensetzung berechnet, sollte die Dichte des Dampfes 0,622 der Dichte der Luft bei gleicher Spannung und Temperatur sein. Der Wert  $x = \frac{c_p}{c_v}$  für Dampfgas ergibt sich für  $c_p = 0,48$  und  $c_v = 0,37$  mit  $x = 1,30$ . Diese Konstanten, welche für

hoch überhitzten, also vollkommen gasförmigen Dampf anwendbar sind, gelten jedoch nicht für hochgespannten, aber nur wenig über die Sättigungstemperatur erhitzten Dampf. Die Beziehungen zwischen Volumen, Druck und Temperatur des Dampfes, dessen Zustand zwischen jenem des gesättigten und vollkommen vergastem Dampfes liegt, wurden experimentell von Hirn\*) untersucht und Formeln, welche mit größerer oder geringerer Genauigkeit auf Dampf im Zustande der Sättigung oder Überhitzung anwendbar sind, wurden von Hirn, Zeuner\*\*), Ritter\*\*\*) und anderen aufgestellt. Nach Zeuner ist für die absolute Spannung  $p$  kg/qcm, das spezifische Volumen  $v$  in cbm und die absolute Temperatur  $T$ ,

$$pv + C \cdot p^{\frac{x-1}{x}} = RT \text{ mkg.}$$

Hierin ist zu setzen  $R = 0,0050933$ ,  $C = 0,1925$ ,

$$x = 1,333 = \frac{4}{3}, \quad \frac{x-1}{x} = \frac{1}{4}.$$

Die Gleichung läßt sich auch schreiben

$$pv = R \left( T - \frac{C}{R} \cdot p^{\frac{x-1}{x}} \right)$$

und nach Einsetzung obiger Werte für die Konstanten:

$$pv = 0,0050933 (T - 37,79475 \sqrt[4]{p}) \text{ mkg.}$$

**40. Isotherme für Dampf.** Die Expansion im Zustande der Verwandlung des Wassers in Dampf unter konstantem Druck ist stets isothermisch. Nach den bisherigen Erörterungen ist es klar, daß Wasserdampf oder irgend ein anderer gesättigter Dampf nur dann isothermisch expandieren oder isothermisch komprimiert werden kann, wenn er naß ist, und daß umgekehrt Verdampfung in dem einen Falle und Kondensation im anderen Falle den isothermischen Prozeß begleiten muß. Die Isothermen einer Mischung aus Dampf und jener Flüssigkeit, aus welcher derselbe entstanden, sind daher gerade Linien gleichen Druckes.

**41. Adiabate für Dampf.** Die Adiabate für Mischungen aus einer Flüssigkeit und ihren Dämpfen hängt nicht nur von der Art der Flüssigkeit selbst, sondern auch von dem Verhältnisse der Flüssigkeit zum Dampfe der Mischung ab. Die lehrreichen Versuche von Rankine und Clausius haben bezüglich des Wasserdampfes gezeigt, daß trockener

\*) *Théorie mécanique de la Chaleur*. Part 5, Vol. II.

\*\*) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1866, S. 1. *Technische Thermodynamik*, 3. Aufl., 1890, II. Band.

\*\*\*) Wiedemanns *Annalen*, 1878. Eine Diskussion verschiedener dieser Formeln enthält die Abhandlung von H. Dyer in *Trans. Inst. of Engineers and Shipbuilders in Scotland*, 1885.