

und die Verlängerung eines Stabes von der Länge  $l$  bei der Temperaturerhöhung  $t = t_1 - t_0$  ist

$$\Delta l = \beta l t.$$

Die Raumausdehnung läßt sich aus der linearen Ausdehnung ohne weiteres berechnen. Mit genügender Annäherung rechnet man jedoch mit einer Raumausdehnungszahl gleich der dreifachen Längenausdehnungszahl, also ist die Raumausdehnung

$$\Delta V = \alpha V \cdot t,$$

worin  $\alpha = 3\beta$  und

$$V_1 = V_0 [1 + \alpha (t_1 - t_0)].$$

Mittlere Ausdehnungszahlen einiger Stoffe:

Blei . . . . .	$\beta = 1/35100$
Kupfer . . . . .	$\beta = 1/60900$
Bronze . . . . .	$\beta = 1/57000$
Flußeisen . . . . .	$\beta = 1/85000$
Schweißeisen . . . . .	$\beta = 1/82500$
Gußeisen . . . . .	$\beta = 1/93700$
gewöhnliche Ziegelsteine . . . . .	$\beta = 1/180000$
feuerfeste „ . . . . .	$\beta = 1/200000$
bleifreies Glas . . . . .	$\beta = 1/114000$

Feuerfestes Mauerwerk nimmt beispielsweise bei einer

Temperaturerhöhung von  $500^\circ\text{C}$  um  $500 \cdot \frac{1000}{200000} = 2\frac{1}{2}$  mm auf 1 m an Länge zu.

Bei hohen Temperaturen ändert sich die Ausdehnungszahl, und zwar nimmt sie im allgemeinen zu.

Flüssige Körper haben nur Raumausdehnung; dieselbe ist weniger gleichförmig als die der festen Körper, besonders in der Nähe der Siedetemperatur.

Für Quecksilber ist  $\alpha = 1/5509$ .

Das Wasser hat seinen kleinsten Rauminhalt bei  $+4^\circ\text{C}$ , derselbe nimmt bei Abkühlung auf  $0^\circ$  um 0,013 v. H. bei Erwärmung auf  $100^\circ\text{C}$  um 4,34 v. H. zu.

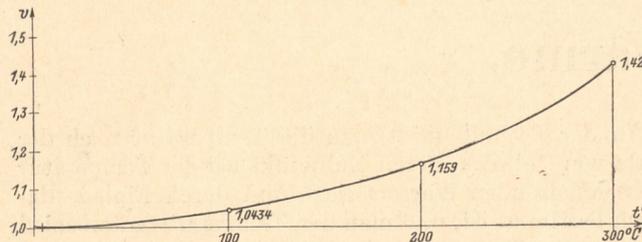


Fig. 1. Temperaturvolumenkurve des Wassers.

Gasförmige Körper haben alle ungefähr die gleiche

Ausdehnungszahl  $\alpha = \frac{1}{273} = 0,003665$ .

### 3. Wärmeeinheit.

Trotzdem die Wärme kein Stoff ist, spricht man von Wärmemengen. Die Einheit der Wärmemenge, Wärmeeinheit, WE, auch Calorie genannt, ist diejenige Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 kg Wasser von  $0^\circ\text{C}$  auf  $1^\circ\text{C}$  zu erhöhen vermag.

### 4. Spezifische Wärme.

Die spez. Wärme  $c$  eines Stoffes gibt die Zahl von Wärmeeinheiten an, die erforderlich sind, um die Temperatur von 1 kg dieses Stoffes um  $1^\circ\text{C}$  zu erhöhen.

Die spez. Wärme ist im allgemeinen eine mit der Temperatur veränderliche Größe; man rechnet aber mit mittleren Werten, welche für die Temperaturen von  $0^\circ$  bis  $100^\circ$  wenig von den genauen Werten abweichen.

Es ist für

Blei . . . . .	$c = 0,031$
Kupfer . . . . .	$c = 0,094$
Eisen und Stahl . . . . .	$c = 0,115$
Steinkohle . . . . .	$c = 0,31$
Ziegelsteine . . . . .	$c = 0,22$
Glas . . . . .	$c = 0,20$
Eichenholz . . . . .	$c = 0,57$
Eis . . . . .	$c = 0,50$

Die spez. Wärme des Wassers stellt man in der Regel mit  $c = 1$  in Rechnung. In Wirklichkeit ist  $c$  bei  $35^\circ$  um 0,29 v. H. kleiner, bei  $100^\circ$  um 0,43 v. H. größer als 1.

Der Mittelwert zwischen:

$0^\circ$ und $100^\circ\text{C}$ ist jedoch wieder	$c_m = 1,00$
$0^\circ$ „ $200^\circ\text{C}$ „	$c_m = 1,0155$
$0^\circ$ „ $300^\circ\text{C}$ „	$c_m = 1,0449$

Bei den Gasen unterscheidet man: die spez. Wärme bei konstantem Rauminhalt  $c_v$  und die spez. Wärme bei konstantem Druck  $c_p$ .

Die Werte  $c_v$  der verschiedenen Gase verhalten sich umgekehrt wie die spez. Gewichte derselben.

$c_p$  ist immer größer als  $c_v$ , weil die Erwärmung bei konstantem Druck wegen der Raumvergrößerung mit einer äußeren Arbeit verbunden ist, die zu der inneren Arbeit hinzutritt.

Beide spez. Wärmen sind abhängig von der Temperatur.

#### Zahlentafel Nr. 1.

Spezifische Wärme bezogen auf 1 kg, bei  $15^\circ\text{C}$  1).

	$c_v$	$c_p$
Wasserstoff . . . . .	2,443	3,431
Sauerstoff . . . . .	0,154	0,216
Stickstoff . . . . .	0,176	0,247
Kohlenoxyd . . . . .	0,176	0,248
Atmosphärische Luft . . . . .	0,170	0,239
Kohlensäure . . . . .	0,179	0,224
Wasserdampf . . . . .	$\sim 0,33$	$\sim 0,48$

Bei Wasserdampf kommt noch die Abhängigkeit von dem Druck in Betracht, jedoch erheblich nur in der Nähe des Sättigungszustandes. Dort schwankt der Wert von  $c_p$  zwischen 0,45 und 0,75, während er von etwa  $400^\circ\text{C}$  an durch die Gleichung

$$c_p = 0,372 + 0,000\ 238\ T \quad (1)$$

bestimmt ist.

Für technische Rechnungen hat man bisher allgemein den konstanten Wert  $c_p = 0,48$  benutzt; doch haben neuere Versuche erwiesen, daß dieser Wert zu gering ist.

Für angenäherte Berechnungen empfiehlt es sich,  $c_p = 0,54$  zu nehmen, welcher Wert den tatsächlichen Verhältnissen besser entspricht als  $c_p = 0,48$ . Weiteres ist im Abschnitt VIII enthalten.

Die spez. Wärme von Gasgemengen kann aus den Gewichtsteilen und den spez. Wärmen der Einzelgase berechnet werden. Von solchen Gasgemengen kommen hier die Feuergase bei der Verbrennung von Steinkohlen in Betracht, für welche bei durchschnittlicher Zusammensetzung

$$c_p = 0,236 + 0,000\ 055\ T \quad (2)$$

ist.

1) W. Schüle, Technische Wärmemechanik, Berlin 1909.