gezwungen ist, Verengungen der Rohrleitung, der Kanäle etc. zu passieren; der Dampf verliert hierdurch an Spannung und wird, wie man zu sagen pflegt, „gedrosselt". Indem der Dampf durch die Querschnittsverengungen hindurchströmt, bilden sich Wirbel; die hierzu aufgebrauchte Energie setzt sich in Wärme um, sobald die Tendenz der Wirbelbildung wieder verschwindet.

Der Betrag, um welchen ursprünglich feuchter Dampf getrocknet wird, wenn weder Wärme seitens der Flüssigkeit aufgenommen noch abgegeben wird, berechnet sich aus der Gleichung

$$q_1 L_1 + h_1 = q_2 L_2 + h_2,$$

worin die Zeiger 1 und 2 sich auf den Zustand vor und nach der Drosselung beziehen. Es wird hierbei vorausgesetzt, daß sowohl vor als auch nach der Drosselung ein stetiger Zustand existiert und daß die Übergangsräume groß genug sind, um auf die kinetische Energie des Dampfstromes sowohl vor Passierung der Einengung als auch nach Passierung derselben, sobald die Wirbel sich gelegt haben, keine Rücksicht nehmen zu müssen.

Daraus ergibt sich

$$q_2 = \frac{q_1 L_1 + h_1 - h_2}{L_2}.$$

Die Bedeutung der Buchstaben q und h wurde bereits an früherer Stelle (§§ 33 bis 38) erörtert.

In gleicher Weise wird hochgespannter trockener Dampf, welcher aus einem Kessel in die Atmosphäre ausströmt, zunächst und zwar in geringer Entfernung von der Ausströmöffnung überhitzt, dann aber infolge Wärmeabgabe an die Luft kondensiert.

53. Wärmeaufnahme bei verschiedenen Temperaturen. Carnots Kreisprozeß setzt voraus, daß die Arbeitssubstanz ihre gesamte Wärme bei der oberen Temperaturgrenze T_1 aufnimmt, somit Wärmezufuhr nur bei der höchsten Temperatur des Prozesses stattfindet. Es kommen jedoch wichtige Fälle vor, in welchen Wärme zum Teil bei dieser, zum Teil aber auch bei anderen Temperaturen eines einfachen Kreisprozesses aufgenommen wird. Bezüglich jeder dieser einzelnen Wärmemengen bleibt jedoch, die denkbar günstigstsn Verhältnisse vorausgesetzt, das Resultat aufrecht, daß das Maximum an Wärme, welches in Arbeit umgesetzt werden kann, gegeben ist durch das Verhältnis der Differenz der Temperaturen der Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe zur absoluten Temperatur der Wärmeaufnahme.

Bedeute Q_1 jenen Teil der Gesamtwärme, welcher bei der Temperatur

T_1, Q_2 jenen Teil, welcher bei einer anderen Temperatur T_2, Q_3 bei T_3 u. s. f. aufgenommen wurde, sei ferner T_0 die Temperatur, bei welcher die Maschine Wärme abgibt, dann ist die geleistete Arbeit, wenn die Prozesse umkehrbar sind, durch die Gleichung bestimmt

$$W = \frac{Q_1(T_1 - T_0)}{T_1} + \frac{Q_2(T_2 - T_0)}{T_2} + \frac{Q_3(T_3 - T_0)}{T_3} + \cdots \text{etc.} \tag{4}$$

Es ist nicht ohne Interesse, den vorliegenden Fall mit einem, allerdings in Wirklichkeit nicht bestehenden, Wasserrade zu vergleichen, in welches das Wasser, durch seine Schwere wirkend, in verschiedenen Höhen über dem Spiegel des Unterwassers eintritt. Seien M_1, M_2, u. s. f. die Wassermengen, welche in den Höhen l_1, l_2, etc. über dem Unterwasserspiegel eintreten und sei, auf dasselbe Niveau bezogen, l_0 die Höhe, bei welcher das Wasser das Rad verläßt, dann ist, von allen Effektverlusten abgesehen, die geleistete Arbeit

$$M_1(l_1 - l_0) + M_2(l_2 - l_0) + M_3(l_3 - l_0) + \cdots \text{etc.}$$

Vergleicht man nun diese beiden ähnlichen Fälle, dann ersieht man, daß die durch $\frac{Q_1}{T_1}$, $\frac{Q_2}{T_2}$, etc. ausgedrückte Wärmemenge das Analogon in der Wärmemaschine von M_1, M_2, etc. in dem Wasserrade ist. Die Arbeit, welche man erhalten kann, wenn eine gegebene Wärmemenge um ein gewisses Temperaturgefälle sinkt, ist somit nicht einfach proportional dem Produkte aus Wärmemenge und Temperaturgefälle, sondern dem Produkte aus $\frac{Q}{T}$ und dem Temperaturgefälle.

Zeuner hat auf diese Analogie der kalorischen und mechanischen Vorgänge aufmerksam gemacht und die Größe $\frac{Q}{T}$ das „**Wärmegewicht**" genannt.

Diese Analogie läßt sich auch auf andere als die oben dargelegte Weise ausführen*), doch soll an dieser Stelle nicht auf weitere Beispiele eingegangen werden.

Ein anderer Weg, den in Rede stehenden Gegenstand darzustellen, findet eine noch weitergehende Anwendung. Die Maschine nehme wie früher Wärmemengen auf, ausgedrückt durch Q_1, Q_2, Q_3, etc. bei den Temperaturen T_1, T_2, T_3, etc.; ferner sei $-Q_0$ die bei der Temperatur T_0 abgegebene Wärmemenge; das negative Vorzeichen diene zur Unterscheidung der abgeführten von der aufgenommenen Wärme. Nach dem Grundsatz, daß in einem umkehrbaren Kreisprozeß sich die abgegebene Wärme zu der aufgenommenen Wärme verhält, wie die absolute Temperatur der Abgabe zu der absoluten Temperatur der Aufnahme, wird

*) Siehe Müller-Pouillets *Lehrbuch der Physik,* 9. Aufl. 1898, II. Bd., S. 530.

$$\frac{-Q_0}{T_0} = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3} + \cdots,$$

und daraus folgt

$$\sum \frac{Q}{T} = 0, \tag{5}$$

wenn sich die Summation auf den ganzen umkehrbaren Kreisprozeß erstreckt. Es ist klar, daß dieses Resultat sofort auf alle Fälle ausgedehnt werden kann, wo Wärme bei verschiedenen Temperaturen abgeführt oder aufgenommen wird; Q wird positiv oder negativ, je nachdem Wärme aufgenommen oder abgegeben wurde.

In jenen Fällen, wo sich die Temperatur fortwährend ändert, während Wärme aufgenommen oder abgegeben wird, kann die Wärmeaufnahme oder -abgabe nicht wie oben in eine begrenzte Anzahl von Stufen geteilt werden. Die Gleichung (5) kann jedoch auch für diesen ganz allgemeinen Fall angewendet werden und zwar in der Form

$$\int \frac{dQ}{T} = 0, \tag{6}$$

wenn die Integration sich auf den ganzen Prozeß erstreckt.

54. Anwendung des Vorhergehenden auf den Fall, daß eine Dampfmaschine ohne Kompression, jedoch mit vollständig adiabatischer Expansion arbeitet. In § 46 betrachteten wir die Wirkungsweise einer idealen Dampfmaschine, in welcher der Dampf, gebildet bei der Temperatur T_1, adiabatisch bis zur Kondensatorspannung, entsprechend der Temperatur T_2 des Kondensators, expandierte und nach erfolgter Kondensation durch eine Speisepumpe nach dem Kessel zurückgeleitet und hier wieder zur Schließung des Kreisprozesses auf die Anfangstemperatur T_1 erhitzt wurde. Dieser Kreisprozeß ist von besonderer Bedeutung für die Untersuchung von Dampfmaschinen, denn er stellt die ideale, beste Leistung einer Maschine dar, welche mittelst Speisepumpe das Kondensat vom Kondensator direkt nach dem Kessel zurückbefördert, eine Leistung, welche von einer derartigen Maschine zustande gebracht werden könnte, vorausgesetzt, daß einerseits die Expansion so vollständig erfolgt, daß der Dampfaustritt ohne plötzlichen Spannungsausfall stattfindet und andererseits Cylinder und Kolben vollkommen wärmedicht hergestellt werden können.

Der Wirkungsgrad dieses Prozesses liegt sehr nahe an dem Grenzwert

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

ohne denselben jedoch zu erreichen, da während der vierten Periode die Erhöhung der Temperatur der Arbeitssubstanz von T_2 auf T_1 nicht durch