

übertroffen werden kann; keine andere Maschine wäre imstande, bei denselben Temperaturverhältnissen einen größeren Teil der aufgenommenen Wärme in Arbeit zu verwandeln. Sobald die Bedingung der Umkehrbarkeit erfüllt ist, ist hinsichtlich des Wirkungsgrades die Natur der Arbeitsflüssigkeit sowie die Arbeitsmethode der Maschine selbst vollkommen belanglos.

### 23. Wirkungsgrad einer vollkommenen Wärmemaschine.

Nachdem, wie wir gesehen, alle reversiblen Maschinen gleich wirtschaftlich sind, sobald sie innerhalb derselben Temperaturgrenzen arbeiten, so wird auch ein Ausdruck für den Wirkungsgrad einer Maschine auf alle übrigen volle Anwendung finden. In § 19 wurde der Wirkungsgrad für eine den Carnotschen Kreisprozeß genau befolgende Maschine bestimmt; diese mit Gas als Arbeitsflüssigkeit arbeitende Maschine ist ein Beispiel einer reversiblen Maschine; es ist daher der in § 19 gefundene Ausdruck für den Wirkungsgrad dieser Maschine

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

zugleich der Wirkungsgrad aller reversiblen Wärmemaschinen, welche Wärme bei der Temperatur  $T_1$  aufnehmen und bei der niedrigeren Temperatur  $T_2$  abgeben. Nachdem ferner, wie früher nachgewiesen, keine Maschine wirtschaftlicher arbeiten kann als eine reversible Maschine, so ist obiger Ausdruck zugleich der höchste Wirkungsgrad, welcher von einer Wärmekraftmaschine erwartet werden kann. Aus dem Gesagten resultiert somit die hochwichtige Tatsache, daß keine Wärmemaschine von der ihr zugeführten Wärme einen größeren Teil in Arbeit umsetzen kann, als durch das Verhältnis des Temperaturüberschusses der zugeführten und abgeführten Wärme zur Temperatur der zugeführten Wärme ausgedrückt ist.

**24. Kurze Zusammenfassung der Argumente.** Die Beweismittel, welche zu diesem eminent wichtigen Resultate führten, sind in gedrängter Kürze wiederholt die folgenden. Nach Feststellung der experimentellen Gesetze, welchen sich alle Gase anpassen und Bestimmung der absoluten Temperatur, wurde die Wirkungsweise einer Wärmemaschine untersucht, deren Arbeitssubstanz Wärme aufnahm, sobald deren Temperatur jene der Wärmequelle erreicht hatte und umgekehrt Wärme bei der Temperatur des Receivers abgab; der Übergang von der oberen zur unteren Temperatur und umgekehrt wurde durch adiabatische Expansion und Kompression vermittelt. Für den speziellen Fall eines permanenten Gases als Arbeitsflüssigkeit wurde hierauf der Wirkungsgrad nach Gleichung (15) mit  $1 - \frac{T_2}{T_1}$  bestimmt und konstatiert, daß diese Maschine

im Sinne der Thermodynamik eine reversible (umkehrbare) Maschine sei § (21). Wir fanden sodann durch Anwendung des zweiten thermodynamischen Gesetzes, daß keine Wärmemaschine einen höheren Wirkungsgrad ergeben kann als eine reversible Maschine, sobald beide Wärme bei der Temperatur  $T_1$  aufnehmen und bei der Temperatur  $T_2$  abgeben; es wurde dies damit bewiesen, daß eine gegenteilige Annahme zu einer Verletzung des zweiten Gesetzes führen würde (§ 22). Daraus ergab sich der Schluß, daß alle reversiblen Wärmemaschinen, welche Wärme bei denselben Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  aufnehmen beziehungsweise abgeben, gleich wirtschaftlich sind und daß somit der für irgend eine reversible Maschine gefundene Wirkungsgrad

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

der Wirkungsgrad aller umkehrbaren Maschinen ist und als Grenzwert betrachtet werden muß, welcher von keiner Wärmemaschine überschritten werden kann.

Die Bedingung der Vollkommenheit einer Wärmemaschine kann auch durch das Verhältnis

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \quad (16)$$

ausgedrückt werden, wenn  $Q_1$  die aufgenommene und  $Q_2$  die abgegebene Wärmemenge bezeichnet; die Gleichung für den Wirkungsgrad kann daher auch durch diese Wärmemengen ausgedrückt werden

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

## 25. Bedingungen für ein Maximum des Wirkungsgrades.

Die Leistungsfähigkeit der Wärme bei ihrer Umsetzung in Arbeit hängt hauptsächlich von dem Temperaturgefälle ab, denn nur ein Temperaturunterschied der in Wirksamkeit tretenden Körper ermöglicht, daß ein Teil der Wärme derselben in Arbeit verwandelt werden kann. Ein mechanischer Effekt könnte durch Wärme, selbst mit den größten Mengen derselben, niemals erzeugt werden, wenn alle Körper dieselbe Temperatur hätten; andererseits ist es nicht möglich, irgend eine zur Verfügung stehende Wärmemenge vollkommen in Arbeit umzusetzen, weil es unmöglich ist, mit dem unteren Niveau des Temperaturgefälles den absoluten Nullpunkt der Temperatur zu erreichen.

Wenn  $T_1$  und  $T_2$  als die höchste und niedrigste Temperatur des Gefälles, mit welchem eine Maschine arbeitet, gegeben sind, so ist klar, daß das Maximum des Wirkungsgrades nur dann erreicht werden kann, wenn die Maschine alle ihre Wärme bei der Temperatur  $T_1$  aufnimmt und den unbenützten Teil der Wärme bei der Temperatur  $T_2$  abgibt.