

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.

Für jede beliebige aufgenommene und abgeführte Wärmemenge ist der größte ideale Wirkungsgrad

$$\frac{\text{Temperatur der Aufnahme} - \text{Temperatur der Abgabe}}{\text{Temperatur der Aufnahme}}$$

Jede Wärme, welche bei einer Temperatur unter T_1 aufgenommen oder bei einer höheren Temperatur als T_2 abgeführt würde, wird bei ihrer Umsetzung in Arbeit eine kleinere Leistung ergeben, als wenn die Aufnahme bei der Temperatur T_1 , die Abgabe bei T_2 erfolgt wäre; sind somit zwei Grenztemperaturen eines Arbeitsprozesses gegeben, dann kann das Maximum an Arbeit nur dann erreicht werden, wenn durch die Maschine Wärme nur bei der höchsten Temperatur aufgenommen und nur bei der tiefsten Temperatur des Prozesses abgeführt wird. Daraus ergibt sich unter Bezug auf § 22, daß eine Maschine von gegebenem Temperaturgefälle nur dann einen maximalen Wirkungsgrad ergeben kann, wenn sie reversibel ist.

26. Bedingungen der Umkehrbarkeit. Es drängt sich nun von selbst die wichtige Frage auf: welche Arbeitsmethoden sind im Sinne der Thermodynamik umkehrbar. Eine einfache Betrachtung ergibt, daß die Übertragung von Wärme von der Quelle auf die Arbeitsflüssigkeit oder von dieser auf den Receiver nur dann umkehrbar sein kann, wenn die Arbeitsflüssigkeit im Momente der Wärmeaufnahme oder Abgabe dieselbe Temperatur besitzt wie die Wärmequelle beziehungsweise der Receiver. Die Expansion einer Arbeitsflüssigkeit kann nur dann als reversibel betrachtet werden, wenn die die Flüssigkeit einschließende Hülle sich nur allmählich in der Weise ausdehnt, daß die expandierende Flüssigkeit hierbei äußere Arbeit auf die Hülle überträgt und in keinem wahrnehmbaren Betrage Energie dadurch verliert, daß sie Arbeit zur eigenen Beschleunigung verbraucht. Die sogenannte freie Expansion, wie sie z. B. bei dem Experimente Joules (§ 11) zur Ermittlung der inneren Energie der Gase benützt wurde, ist somit ausgeschlossen, ebenso wie die sogenannte unvollkommene Expansion, welche bei Überexpansion der Flüssigkeit in ein Gefäß, in welchem der Druck kleiner ist als jener der Flüssigkeit, oder bei Expansion unter dem Kolben eines Cylinders entsteht, welcher sich so schnell bewegt, daß infolge der Trägheit der expandierenden Flüssigkeit Druckschwankungen eintreten. Gleiches gilt bezüglich der Kompression der Arbeitsflüssigkeit. Expansion und Kompression, welche Wirbelbildungen der Arbeitsflüssigkeit hervorrufen, sollen daher vermieden werden.

Die Bedingungen, welche erfüllt werden müssen, damit eine zwischen gegebenen Temperaturgrenzen arbeitende Maschine ein Maximum des