

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

Wirkungsgrades erzielt, sind daher: 1. Wärme darf nur bei der höchsten Temperatur des Prozesses aufgenommen und bei der niedrigsten Temperatur abgeführt werden; 2. es muß dafür gesorgt werden, daß die Arbeitsflüssigkeit bei der Wärmeaufnahme die Temperatur der Wärmequelle und bei der Wärmeabführung die Temperatur jenes Körpers besitzt, an welchen die Wärme abgegeben werden soll; und 3. freie oder unvollkommene Expansion im Sinne obiger Erörterung muß vermieden werden. Sind diese Bedingungen erfüllt, dann ist die Maschine eine umkehrbare Wärmemaschine und arbeitet so wirtschaftlich, als dies überhaupt innerhalb des gegebenen Temperaturgefälles möglich ist.

Die erste und zweite Bedingung ist erfüllt, wenn die Arbeitsflüssigkeit ihre Temperatur von T_1 auf T_2 durch adiabatische Expansion und von T_2 auf T_1 durch adiabatische Kompression verändert und die Fähigkeit besitzt, Wärme nur bei den beiden Endtemperaturen des Gefälles aufzunehmen oder abzugeben, so daß Wärmeübertragung bei Zwischentemperaturen vollkommen ausgeschlossen ist. Dies ist der Arbeitsprozeß in Carnots idealer Maschine (§ 18).

27. Vollkommene Maschine mittelst Regenerator. Es gibt jedoch noch einen anderen Weg, auf welchem man die Arbeitsweise einer Wärmemaschine umkehrbar machen könnte. Geht man nämlich von der Annahme aus, daß die Arbeitsflüssigkeit veranlaßt werden kann, während sie das Temperaturgefälle von T_1 bis T_2 durchläuft, Wärme auf einen zur Maschine gehörenden Körper in der Art zu übertragen, daß diese Übertragung unter gleichzeitiger Erfüllung obiger Bedingung (2.) umkehrbar sei, dann kann diese Übertragung, sobald die Arbeitsflüssigkeit von der Temperatur T_2 nach T_1 zurückkehrt, umgekehrt und auf diese Weise die vorher in jenem Körper deponierte Wärme wieder zurück-erlangt werden. Dieses abwechselnde Aufspeichern und Zurückziehen von Wärme würde dazu dienen, die Temperatur der Arbeitsflüssigkeit auch ohne adiabatische Expansion und Kompression von dem Grenzwerte T_1 auf T_2 beziehungsweise von T_2 auf T_1 zu bringen. Das abwechselnde Aufspeichern und Zurückziehen der Wärme ist ein Prozeß, der sich vollkommen in der Maschine selbst abspielt und daher von dem Prozesse der Wärmeaufnahme und Abgabe seitens der Maschine vollkommen getrennt ist.

Ein Apparat, dessen Einrichtung ermöglichte, obigen Prozeß wirklich durchzuführen, wurde im Jahre 1827 von Robert Stirling ersonnen und von ihm „Regenerator“ benannt. Dem Prinzip nach ist der Regenerator ein Übergangsgefäß, welches die Arbeitsflüssigkeit in einer und der anderen Richtung passieren kann; die