

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

Wandungen desselben besitzen ein sehr großes Wärmefassungsvermögen, so daß die von der Arbeitsflüssigkeit auf dieselben abwechselnd übertragene und denselben wieder entzogene Wärme keine merkliche Temperaturveränderung dieser Wandungen hervorzurufen vermag. Die Wandungen besitzen an dem einen Ende des Gefäßes die Temperatur T_1 , an dem anderen Ende die Temperatur T_2 ; der Übergang von T_1 auf T_2 , somit auch umgekehrt, ist ein ununterbrochener. Wenn die Arbeitsflüssigkeit von der Temperatur T_1 das heiße Ende des Regenerators betritt, so verläßt sie nach Passierung desselben das kalte Ende mit der Temperatur T_2 , nachdem sie auf diesem Wege eine bestimmte Wärmemenge an die Wandungen abgegeben hat. Passiert die Arbeitsflüssigkeit während des Rücklaufes den Generator in entgegengesetzter Richtung, dann steigt die Temperatur derselben von T_2 auf T_1 dadurch, daß sie die Wärme wieder aufnimmt, welche sie vorher an die Wandungen abgegeben hatte. Dieser Prozeß ist somit theoretisch vollkommen umkehrbar; in der Praxis läßt er sich jedoch nur angenähert korrekt durchführen, da einerseits der Regenerator kein unbeschränktes Wärmefassungsvermögen besitzen kann und andererseits vermöge der Leitungsfähigkeit der Wandungen desselben Wärme sowohl durch Ausstrahlung verloren geht, als auch vom heißen zum kalten Ende überströmt. Ein vollkommener Regenerator im Sinne obiger Forderungen ist daher ein Ideal, welches praktisch nicht verwirklicht werden kann.

28. Stirlings Regenerativluftmaschine. Die Maschine von Stirling war trotz ihrer Unvollkommenheit das erste praktische Beispiel einer reversiblen Maschine. Sie arbeitete mit Luft als Arbeitsflüssigkeit unter Anwendung eines Regenerators. Eine ausführlichere Beschreibung dieser Maschine folgt in einem späteren Abschnitte. Der Kreisprozeß derselben verläuft der Hauptsache nach wie folgt:

1. Atmosphärische Luft von der Temperatur T_1 , welche nach Passierung eines Generators diese Temperatur erlangt hatte, expandiert isothermisch unter Aufnahme von Wärme aus einem Ofen und hebt hierbei einen Kolben. Das Expansionsverhältnis sei r , somit die aufgenommene Wärme pro kg Luft $R T_1 \log_e r$.

2. Die Luft passiert nun den Regenerator vom heißen zum kalten Ende, gibt hierbei Wärme an denselben ab und erfährt eine Temperaturverminderung von T_1 auf T_2 ; das Volumen blieb ungeändert; die abgegebene Wärme beträgt daher $c_v(T_1 - T_2)$. Die Spannungsabnahme ist hierbei proportional der Temperaturabnahme.

3. Die Luft wird nun isothermisch auf ihr Anfangsvolumen bei der Temperatur T_2 durch Berührung mit einem Kühlapparat (oder Wärme-