

die Temperatur ihren anfänglichen Wert T_1 wieder erreicht haben, wenn der Druck von p_d auf den Anfangsdruck p_a gestiegen ist oder mit anderen Worten, die dritte Operation muß in einem Punkte d beendet werden, welcher so gelegen ist, daß eine durch denselben gezogene Adiabate durch den Ausgangspunkt a geht.

Die Lage des Punktes d bestimmt sich wie folgt: Nach Gleichung (11) ergibt sich die Abkühlung während der adiabatischen Expansion der Operation (2) aus

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_c}{v_b} \right)^{\gamma-1},$$

ferner die Erwärmung während der adiabatischen Kompression der Operation (4) aus

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_d}{v_a} \right)^{\gamma-1}.$$

Daher

$$\frac{v_c}{v_b} = \frac{v_d}{v_a}$$

und somit auch

$$\frac{v_c}{v_d} = \frac{v_b}{v_a}.$$

Daraus ergibt sich, daß das Kompressionsverhältnis der isothermischen Kompression der Operation (3) gleich sein muß dem Expansionsverhältnis der isothermischen Expansion der Operation (1), damit die durch d gelegte Adiabate den Kreislauf schließt. Der Kürze wegen soll jedes dieser beiden Verhältnisse für die Folge mit r bezeichnet werden.

Die von dem Gase während der vier aufeinanderfolgenden Operationen aufgenommene und abgegebene Wärme berechnet sich wie folgt:

- (1) Von A übertragene Wärme = $RT_1 \log_e r$ (nach § 17).
- (2) Wärme weder aufgenommen noch abgegeben.
- (3) Auf C übertragene Wärme = $RT_2 \log_e r$ (nach § 17).
- (4) Wärme weder aufgenommen noch abgegeben.

Die in dem vollständigen Kreisprozeß von dem Gase geleistete äußere Arbeit entspricht der Differenz der während der Operation (1) aufgenommenen und der während der Operation (3) abgegebenen Wärme:

$$R(T_1 - T_2) \log_e r;$$

dies ist somit die von den vier Kurven in Fig. 12 eingeschlossene Fläche.

19. Wirkungsgrad des Carnotschen Kreisprozesses. Der Wirkungsgrad des Prozesses, nämlich das Verhältnis

in Arbeit umgesetzte Wärme
aufgenommene Wärme

ist

$$\frac{R(T_1 - T_2) \log_e r}{R T_1 \log_e r} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right). \quad (15)$$

Der Bruch $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ stellt zugleich jenen Teil der dem Prozesse zugeführten Wärme dar, welcher durch eine den Carnotschen Kreisprozeß genau befolgende Maschine in Arbeit umgesetzt werden könnte. Die Maschine nimmt eine bestimmte Wärmemenge von der Temperatur der Wärmequelle, proportional zu T_1 auf und weist eine gewisse Wärmemenge von der Temperatur des Receivers, proportional zu T_2 ab. Die Maschine arbeitet, indem sich die Arbeitsflüssigkeit von der Temperatur T_1 auf T_2 abkühlt, mit dem Temperaturgefälle T_1, T_2 ; dieses Arbeitsvermögen wird somit um so größer sein, je tiefer die Temperatur T_2 , bei welcher Wärme abgeführt wird, unter der Temperatur T_1 liegt, bei welcher Wärme aufgenommen wird.

20. Die Umkehrung des Carnotschen Kreisprozesses. Der in den vorigen Paragraphen betrachtete Kreisprozeß ist namentlich dadurch charakterisiert, daß sowol der Druck zu beiden Seiten des Kolbens als auch die Temperaturen zu beiden Seiten des Bodens stets einander gleich sind. Die Herstellung einer kalorischen Maschine, welche genau nach dem Schema des Carnotschen Prozesses arbeiten würde, ist aber ebensowenig denkbar, als es in der Praxis möglich ist, eine Maschine ohne alle Reibung herzustellen, daher immer ein Überschuß von Arbeit vorhanden sein muß, um sie in Bewegung zu erhalten. Diese technische Unvollkommenheit soll jedoch keineswegs hindern, die aus der Annahme einer vollkommenen kalorischen Maschine sich ergebenden theoretischen Folgerungen zu ziehen.

Die erste Folgerung ist nun die, daß sich der Gang einer solchen Maschine, beziehungsweise der Kreisprozeß derselben, umkehren lassen muß, so daß dasselbe Indikatorgramm $abcd$ (Fig. 12), aber in entgegengesetzter Richtung $adcba$ beschrieben wird.

Geht man von demselben Punkte a bei derselben Temperatur T_1 des Gases aus, dann setzt sich der Prozeß in umgekehrter Reihenfolge aus den vier Zustandsänderungen zusammen:

(1) B trete anstelle des Cylinderbodens; der Kolben bewege sich nach rechts. Das Gas expandiert adiabatisch nach der Kurve ad ; sobald d erreicht ist, ist die Temperatur auf T_2 gefallen.

(2) Man entferne B und setze an dessen Stelle C . Der Kolben bewegt sich weiter nach rechts bis zum Punkte c ; das Gas expandiert iso-