Der Buchstabe T für die absolute Temperatur bleibt hier ohne Zeiger, nachdem sich ja die Temperatur während des isothermischen Prozesses nicht ändert.

Die Gleichung (14) gibt sowol die während einer isothermischen Expansion geleistete, als auch die für die isothermische Kompression des Gases verbrauchte Arbeit*).

Während einer isothermischen Zustandsänderung erfährt die innere Energie des Gases (§ 11), nachdem T konstant, keine Änderung; es muß daher während der Expansion des Gases eine der geleisteten Arbeit äquivalente Wärmemenge **aufgenommen** und während der Kompression derselben eine der verbrauchten Arbeit äquivalente Wärmemenge nach außen **abgegeben** worden sein. Der obige Ausdruck $RT \log_e r$ gibt somit nicht nur das Maß der geleisteten oder verbrauchten Arbeit, sondern auch das Maß der während der Expansion zugeführten oder während der Kompression abgeführten Wärmemenge.

Die Kurve AB in Figur 11 entspricht der isothermischen Expansion, Kurve AC der adiabatischen Expansion eines vollkommenen Gases, beide Kurven von demselben Anfangspunkte A ausgehend.

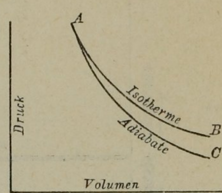

Fig. 11.

In einem nicht wärmedichten, d. h. aus leitungsfähigem Material gebildeten Cylinder wird für Luft oder irgend ein anderes Gas die Kompressionslinie nahezu adiabatisch verlaufen, wenn der Prozeß sehr rasch erfolgt, hingegen nahezu isothermisch, wenn bei langsam verlaufendem Prozesse der Wärme Zeit bleibt, durch Leitung zu entweichen.

18. Der Carnotsche Kreisprozeß. Es sei nun die Wirkungsweise einer idealen Wärmemaschine betrachtet, deren Arbeitsflüssigkeit ein vollkommenes Gas ist, welches gezwungen wird, eine Reihe von isothermischen und adiabatischen Zustandsänderungen zu durchlaufen. Dieser Kreisprozeß wurde zuerst von Carnot untersucht und soll daher von vornherein als Carnotscher Kreisprozeß bezeichnet werden.

Man denke sich einen Cylinder samt Kolben aus einem vollkommen wärmedichten Material, nur der Boden des Cylinders sei ein Wärmeleiter. Man denke sich ferner einen heißen Körper oder eine unerschöpfliche Wärmequelle A, welche stets die Temperatur T_1 besitzt; dann einen vollkommenen wärmedichten Boden B; endlich einen kalten Körper oder unbegrenzten Wärmereceiver C, dessen Temperatur T_2 konstant bleibt, wobei

*) $\log_e$ (hyperbolischer oder natürlicher Logarithmus) für irgend eine Zahl ist gleich 2,3026 multipliziert mit dem gewöhnlichen Logarithmus dieser Zahl.

T_2 niedriger sei als T_1; A, B und C können nach Belieben an dem Boden des Cylinders angebracht werden. A und B seien ferner vollkommene Wärmeleiter und von so großem Inhalt, daß alle vorkommenden Wärme-Zu- und Abfuhren die Temperatur derselben nicht zu verändern vermögen. Der Cylinder enthalte 1 kg eines vollkommenen Gases von der Temperatur T_1, dem Volumen v_a und dem Drucke p_a als Funktionen des Anfangszustandes. Diese sowie die folgenden Zeiger beziehen sich auf die betreffenden Punkte a, b, c und d des Indikatordiagramms Fig. 12.

1) A trete anstelle des Cylinderbodens; der Kolben bewege sich langsam nach rechts bis b. Das Gas expandiert isothermisch bei konstanter Temperatur T_1, Wärme aus dem Reservoir aufnehmend und Arbeit verrichtend; der Druck sinkt von p_a auf p_b, das Volumen nimmt zu von v_a auf v_b.

2) A werde nun entfernt und an dessen Stelle trete B. Der Kolben setze seinen Weg fort von b nach c. Das Gas expandiert adiabatisch, Arbeit auf Kosten seiner inneren Energie verrichtend und die Temperatur sinkt. Im Punkte c sei die Temperatur T_2, der Druck p_c, das Volumen v_c.

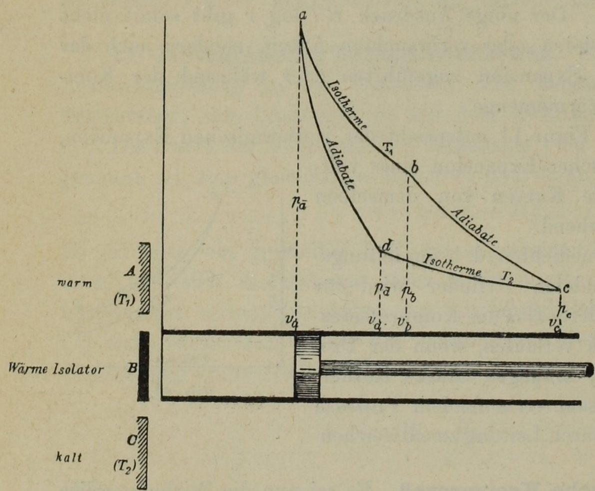

Fig. 12.
Carnotscher Kreisprozeß mit Gas als Arbeitsflüssigkeit.

3) Nun werde B entfernt und an dessen Stelle C gesetzt. Der Kolben werde langsam zurückgedrückt. Das Gas wird isothermisch bei konstanter Temperatur T_2 komprimiert, indem die der geringsten Temperatursteigerung entsprechende Wärme sofort von C aufgenommen wird. Arbeit wird verbraucht und Wärme in den kalten Receiver C geleitet. Im Punkte d sei der Druck p_d und das Volumen v_d und die Lage von d so gewählt, daß die nun folgende Operation den Kreisprozeß schließt.

4) Schließlich werde C entfernt und an dessen Stelle wieder B gesetzt. Die Kompression, nun adiabatisch, werde fortgesetzt. Druck und Temperatur nehmen zu und wenn Punkt d richtig gewählt wurde, muß

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

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

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

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

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