

woraus für

$$\begin{array}{cccccccc} q_1 = & 1,0 & 0,95 & 0,90 & 0,85 & 0,80 & 0,75 & 0,70 \\ n = & 1,135 & 1,130 & 1,125 & 1,120 & 1,115 & 1,110 & 1,105. \end{array}$$

Zeuner empfiehlt für die bei Dampfmaschinen gewöhnlich vorkommenden Druckgrenzen und sonstigen Verhältnisse einen Mittelwert für n und zwar $n = 1,135$ anzunehmen.

Wenn man eine adiabatische Linie für expandierenden Dampf zeichnet, dann muß man für n jenen Wert wählen, welcher sich auf den Feuchtigkeitsgrad zu Beginn der Expansion bezieht. Rankine gab für den Index n den Wert $\frac{10}{9} = 1,111$, welcher jedoch für anfänglich trockenen Dampf zu klein ist und nach oben für Dampf von 25% anfänglichen Wassergehalt geeignet wäre.

Wir werden später sehen, daß die Expansion des Dampfes in der Dampfmaschine keineswegs adiabatisch ist, infolge des steten Wärmeaustausches zwischen dem Dampf und den metallischen Wandungen der Cylinder.

43. Carnots Kreisprozeß für Dampf als Arbeitsflüssigkeit.

Wir sind nun in der Lage, die Vorgänge in einer Wärmemaschine studieren zu können, welche eine Mischung aus Wasser und Dampf (oder irgend einer anderen Flüssigkeit und deren Dampf) als Arbeitssubstanz benützt. Um die anfängliche Untersuchung so weit als möglich zu vereinfachen, sei auch hier, wie in § 18 angenommen, daß sich der ganze Prozeß in einem langen Cylinder abwickle, dessen Wandungen mit Ausnahme des Bodens aus wärmedichtem, also nicht leitungsfähigem Material bestehen; desgleichen sei der Kolben aus demselben Material, also gleichfalls wärmedicht. A sei eine Wärmequelle von der konstanten Temperatur T_1 ; C sei ein Wärmeempfänger oder besser gesagt ein Kondensator von einer beliebigen, aber niedrigeren Temperatur T_2 ; endlich sei B ein wärmedichter Boden. Dies vorausgesetzt, kann Carnots Kreisprozeß auf folgende Weise durchgeführt gedacht werden.

Im Cylinder befinde sich 1 kg Wasser von der Temperatur T_1 .

1. A trete an Stelle des Bodens; der Kolben bewege sich nach rechts unter konstantem Drucke p_1 , korrespondierend mit der Temperatur T_1 . Das Wasser nimmt von A Wärme auf, verwandelt sich in Dampf und expandiert isothermisch bei der konstanten Temperatur T_1 . Diese Zustandsänderung stellt die Linie ab Figur 14 dar.

2. An Stelle der Wärmequelle A trete nun der wärmedichte Boden B . Die Expansion setzt sich von b adiabatisch fort bis c , Spannung und Temperatur nehmen ab, bis die Endtemperatur T_2 in c erreicht ist. Die

Spannung ist auf p_2 , d. i. jene Spannung gesunken, welche in der Dampftabelle mit der Temperatur T_2 des Kondensators C korrespondiert.

3. An Stelle von B trete nun C und Kompression werde durch den Rückgang des Kolbens eingeleitet. Durch Wärmeabgabe an C wird Dampf kondensiert; der Prozeß verläuft isothermisch bei konstanter Temperatur T_2 und konstanter Spannung p_2 , bis zum Punkte d , welcher so gelegen ist, daß die in d beginnende adiabatische Kompression den Kreislauf in a schließt.

4. An Stelle von C trete wieder B . Die Kompression werde fortgesetzt; dieselbe verläuft nun im vollkommen wärmedichten Gefäße adiabatisch; die Arbeitssubstanz wird auf den Anfangszustand zurückgebracht; wenn der Kreisprozeß in a schließt, befindet sich im Cylinder wieder 1 kg Wasser von der Ausgangstemperatur T_1 .

Das Indikatordiagramm ist durch Figur 14 dargestellt; die Adiabaten bc und da wurden unter Benützung der Gleichungen § 41 und 42 für den speziellen Fall berechnet und aufgerissen, daß $p_1 = 6,32 \text{ kg/qcm}$, daher $T_1 = 433$ sei und die Expansion bis zur Spannung der Atmosphäre $p_2 = 1,03$ und $T_2 = 373$ fortgesetzt werde.

Da der Prozeß umkehrbar ist, andererseits Wärme nur bei der höchsten Temperatur desselben T_1 aufgenommen und bei der niedrigsten Temperatur T_2 abgeführt wurde, rechnet sich der Wirkungsgrad nach der Gleichung

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Die pro kg der Arbeitssubstanz aufgenommene Wärme ist L_1 und die geleistete Arbeit ist äquivalent der Wärmemenge

$$L_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right).$$

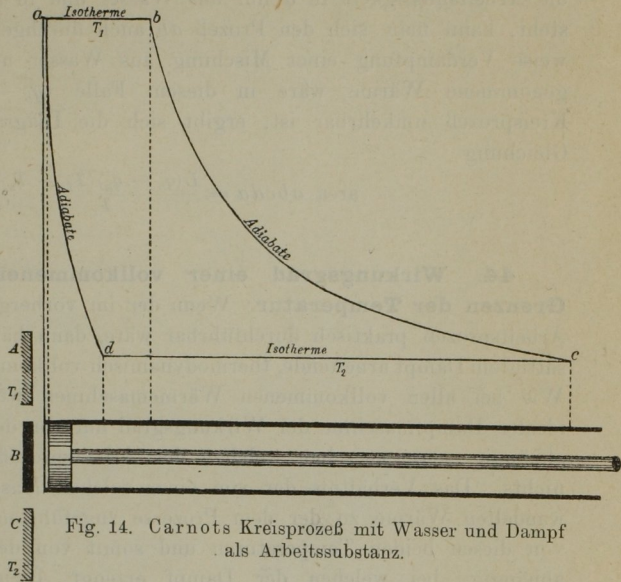


Fig. 14. Carnots Kreisprozeß mit Wasser und Dampf als Arbeitssubstanz.

Dieses Resultat kann als Kontrolle für die Richtigkeit der Diagrammlinien benützt werden, indem die von denselben eingeschlossene Fläche der geleisteten Arbeit entsprechen soll.

In gleicher Weise wie im vorhergehenden angenommen wurde, daß die Arbeitsflüssigkeit in a nur aus Wasser und in b nur aus Dampf besteht, kann man sich den Prozeß ab auch durchgeführt denken als teilweise Verdampfung einer Mischung aus Wasser und Dampf. Die aufgenommene Wärme wäre in diesem Falle $(q_b - q_a)L$ und da der Kreisprozeß umkehrbar ist, ergibt sich die Diagrammfläche durch die Gleichung

$$\text{area } abcda = \frac{L(q_b - q_a)(T_1 - T_2)}{T_1}.$$

44. Wirkungsgrad einer vollkommenen Dampfmaschine.

Grenzen der Temperatur. Wenn der im vorhergehenden beschriebene Arbeitsprozeß praktisch durchführbar wäre, dann hätte man eine mit gesättigtem Dampf arbeitende, thermodynamisch vollkommene Dampfmaschine. Wie bei allen vollkommenen Wärmemaschinen würde auch bei dieser idealen Dampfmaschine der Wirkungsgrad nur von den Grenztemperaturen abhängig sein, zwischen welchen der Arbeitsprozeß verläuft, sonst von nichts. Das Verhältnis der von einer solchen Maschine in Arbeit verwandelten Wärme zu der dem Prozesse zugeführten Wärme wäre daher von diesen beiden Temperaturen und somit von den beiden Pressungen abhängig, bei welchen der Dampf erzeugt, beziehungsweise kondensiert wurde.

Es ist daher von Interesse, die Temperaturgrenzen, zwischen welchen Dampfmaschinen zu arbeiten vermögen, einer näheren Betrachtung zu unterziehen. Die Temperatur der Kondensation ist durch den Umstand begrenzt, daß die abzuführende Wärme von irgend einer stetig und reichlich zu erneuernden Substanz absorbiert werden muß, damit die Temperatur T_2 möglichst konstant erhalten werden kann; gewöhnlich wird Wasser für diesen Zweck benützt, somit ist die untere Temperaturgrenze T_2 durch die Temperatur der verwendbaren Wassermenge bestimmt.

Die obere Temperatur T_1 und somit auch die Pressung p_1 wird praktisch begrenzt durch die bei hohen Dampfspannungen auftretenden mechanischen Schwierigkeiten hinsichtlich der Dichtung, Schmierung und der sonstigen baulichen Durchführung der Maschine. Durch ganz spezielle Konstruktionen von Kessel und Maschine nützte L. Perkins Spannungen bis 500 Pfund englisch pro Quadratzoll (ca. 35 kg/qcm) aus; bei Maschinen und Kesseln der gewöhnlichen Konstruktion arbeitet man jedoch nur mit Spannungen von ca. 15 kg/qcm abwärts.