

Isothermische Linien eines Entropie-Temperaturdiagrammes sind für jedwede Arbeitssubstanz gerade, zur Abscissenachse parallele Linien; adiabatische Linien sind hingegen gerade, zur y -Achse parallele Linien konstanter Entropie. Der Carnotsche Kreisprozeß wird daher, ob mit Luft, Dampf oder irgend einer anderen Substanz als Arbeitsflüssigkeit durchgeführt, durch ein Rechteck $abcd$ Fig. 22 dargestellt, in welchem die aufgenommene Wärme

$$Q_1 = \text{area } abnm = T_1(\Phi - \Phi'),$$

die abgegebene Wärme

$$Q_2 = \text{area } cdmn = T_2(\Phi - \Phi')$$

und die geleistete Arbeit

$$W = \text{area } abcd = (T_1 - T_2)(\Phi - \Phi'),$$

wenn Φ die Entropie des adiabatischen Prozesses der Expansion und Φ' die Entropie des adiabatischen Prozesses der Kompression bedeutet. Der Wirkungsgrad ist

$$\frac{\text{area } abcd}{\text{area } abnm} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

60. Entropie-Temperaturdiagramm für Dampf, angewendet auf die ideale Dampfmaschine, arbeitend ohne Kompression, jedoch mit vollständiger Expansion.

Ein interessantes Beispiel für den Nutzen der Entropie-Temperaturdiagramme gibt die Maschine von § 46. In dem dieser Maschine zugrunde liegenden Kreisprozesse wird der Dampf nach erfolgter vollständiger adiabatischer Expansion von der Temperatur T_1 auf T_2 , bei dieser Temperatur T_2 isothermisch kondensiert und sodann als Wasser in den Kessel zurückgeführt. Um das Diagramm dieses Kreisprozesses zu entwerfen, beginnen wir mit dem Momente, daß das Wasser von der Temperatur T_2 erhitzt wird. Rechnet man von irgend einer, jedoch niedrigeren Anfangstemperatur T_0 und legt man der Berechnung durchweg die Gewichtseinheit (1 kg) der Arbeitsflüssigkeit zugrunde, dann ist die Entropie des Wassers bei irgend einer Temperatur T

$$= \int_{T_0}^T \frac{dh}{T} = \int_{T_0}^T \frac{\sigma dT}{T},$$

wenn σ die spezifische Wärme des Wassers bedeutet. Die spezifische Wärme ist gleich der Einheit bei niedrigen Temperaturen und wird nur bei hohen Temperaturen unbedeutend größer als die Einheit. Vernachlässigt man diese kleine Änderung, dann kann man schreiben

$$\text{Entropie des Wassers} = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dT}{T} = \log_e T_1 - \log_e T_0,$$

welcher Ausdruck sich auf irgend ein Stadium der Erhitzung des Speisewassers von T_2 auf T_1 bezieht. Der erste Teil des Diagramms ist daher eine logarithmische Kurve ab (Fig. 23) von der Eigenschaft, daß

$$T_a = T_2, T_b = T_1, \Phi_a = \log_e T_2 - \log_e T_0 \text{ und } \Phi_b = \log_e T_1 - \log_e T_0;$$

daher ist $\Phi_b - \Phi_a$ oder $mn = \log_e T_1 - \log_e T_2$.

Die Lage des Nullpunktes des Achsensystems zur Linken von m , oder mit anderen Worten, die Wahl des Wertes von T_0 ist für den Entwurf des Diagramms ohne Belang.

Für die vorstehende Figur wurde als Beispiel die Entropie des Wassers bei 0°C als Nullpunkt gewählt, ferner T_a korrespondierend einer Dampfspannung von $0,075 \text{ kg/qcm}$ ($t_a = 40^\circ \text{C}$) mit 313 , T_b korrespondierend einer Dampfspannung von $12,84 \text{ kg/qcm}$ ($t_b = 190^\circ \text{C}$) mit 463 .

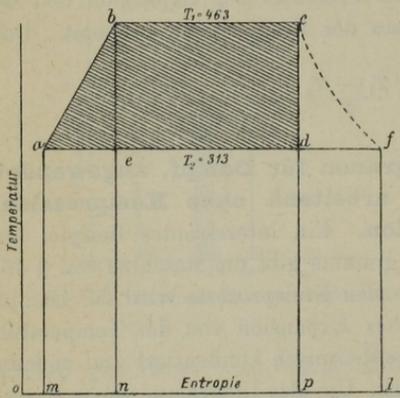


Fig. 23.
Entropie-Temperaturdiagramm für Dampf.

Im Punkte b beginnt die Dampfbildung; bc entspricht der Änderung der Entropie der Substanz während der Verdampfung bei konstanter Temperatur T_1 und ist daher, vollständige Verdampfung vorausgesetzt, gleich $\frac{L_1}{T_1}$; bei unvollständiger Verdampfung wäre bc gleich $\frac{q_1 L_1}{T_1}$. Die Linie cd repräsentiert den adiabatischen Prozeß vollständiger Expansion bis herab zur Temperatur T_2 ; da ist der Prozeß der Kondensation, welcher den Kreisprozeß der Maschine vollendet.

Die Fläche $mabn$ entspricht somit der während der Erhitzung des Speisewassers aufgenommenen Wärme; Fläche $nbcp$ entspricht der Wärme während der Verdampfung; die geleistete Arbeit ist bestimmt durch die Fläche $abcda$; die abgegebene Wärme durch die Fläche $pdam$.

Von der während der Verdampfung aufgenommenen Wärme wird der durch die Fläche $bede$ gemessene Teil in Arbeit umgesetzt; dieselbe entspricht dem Bruche $\frac{be}{bn}$ oder $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ der ganzen aufgenommenen Wärme. Von der während der Erhitzung des Speisewassers aufgenommenen Wärme wird ein kleinerer Bruchteil, entsprechend dem Quotienten $\frac{abe}{mabn}$ in Arbeit

verwandelt, weil die Wärme während dieses Prozesses, da die Verwandlungstemperatur niedriger ist als T_1 , weniger vorteilhaft ausgenutzt wird.

Eine nach dem Carnotschen Kreisprozeß arbeitende Maschine würde das Diagramm $ebcd$ ergeben; die vorliegende Maschine gibt eine um die Fläche abe größere Leistung; dieselbe wurde jedoch durch eine Wärmemenge gewonnen, welche außer Verhältnis zur erzielten Leistung steht; der Wirkungsgrad der Maschine ist daher geringer wie jener der Carnotschen Maschine.

Das Entropiediagramm ergibt, wie aus dem folgenden zu ersehen, in sehr einfacher Weise Resultate, zu welchen wir bereits früher auf anderen Wegen gelangten.

Zieht man in dem Diagramm eine Kurve cf derart, daß die Entfernung irgend eines Punktes derselben von irgend einem Punkte der Linie ab horizontal, d. h. parallel zur x -Achse gemessen, gleich dem Werte $\frac{L}{T}$ dieses Punktes der ab ist und macht man af gleich $\frac{L_2}{T_2}$, dann ist f jener Punkt, in welchem die Verlängerung von ad die Kurve cf schneidet; der Bruch $\frac{ad}{af}$ gibt sodann die Trockenheit des Dampfes nach erfolgter, durch die cd dargestellten adiabatischen Expansion. Dies folgt aus dem Umstande, daß, wenn der Dampf bei der Temperatur T_2 vollkommen trocken wäre, die während seiner Kondensation ausgegebene Wärme gleich sein würde der Fläche $lfam$, während die wirklich ausgegebene Wärme gleich ist der Fläche $pdam$; das heißt mit anderen Worten, die erstere Fläche ist L_2 , die letztere $q_2 L_2$, wenn q_2 die Trockenheit in dem Stadium d des Prozesses, also $q_2 = \frac{ad}{af}$ ist.

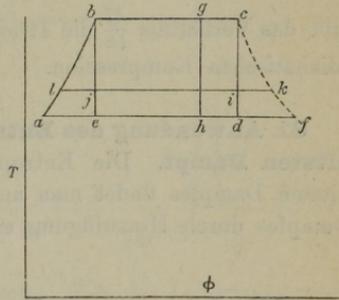


Fig. 24.

Zieht man ferner durch einen beliebigen Punkt i der Linie cd in Fig. 24 eine horizontale gerade Linie, welche die beiden Kurven ab und cf schneidet, dann teilt die Linie cd dieselbe in die Abschnitte il und ik . Diese sind proportional den Dampf- und Wassermengen, aus welchen die Arbeitsflüssigkeit gebildet ist, wenn die adiabatische Expansion bis zum Punkte i vorgeschritten ist; es ist daher $q = \frac{li}{ik}$ die Trockenheit in diesem Punkte.

Das Entropie-Temperaturdiagramm bildet somit eine geeignete Methode zur graphischen Bestimmung der Trockenheit q in irgend einem Stadium der adiabatischen Expansion.

Nehmen wir ferner an, der Dampf sei nicht trocken, wenn die adiabatische Expansion beginnt; dies kann in dem Diagramm dadurch zum Ausdruck gebracht werden, daß die Horizontale durch b in einem Punkte g endigt, der so gelegen ist, daß $bg = \frac{q_1 L_1}{T_1}$ oder mit anderen Worten $\frac{bg}{bc} = q_1$ ist. Die Linie gh stellt nun den Prozeß der adiabatischen Expansion dar; diese Konstruktion ist demnach anwendbar, um die Trockenheit q für irgend ein Stadium der Expansion zu finden. Im Punkte h ist $q = \frac{ah}{af}$ und $\frac{hf}{af}$ das Verhältnis des Wassers zum Dampf der eben vorhandenen Mischung im Punkte h .

Kehren wir wieder zum Carnotschen Kreisprozesse mit einer Mischung aus Wasser und Dampf als Arbeitssubstanz nach Fig. 14, § 43 zurück, dann können wir das Entropie-Temperaturdiagramm zur Ermittlung jenes Punktes benützen, in welchem die Kondensation bei der Temperatur T_2 beendet werden muß, damit die adiabatische Kompression die Substanz wieder zu dem Zustande Wasser von der Temperatur T_1 zurückführt. Der hierfür erforderliche Kompressionsprozeß ist gegeben durch die Linie cb in Fig. 23 oder 24; die Kompression muß daher beginnen, wenn der Anteil des noch unkondensierten Dampfes $\frac{ae}{af}$ beträgt. In gleicher Weise gibt das Verhältnis $\frac{lj}{lk}$ die Trockenheit in dem beliebigen Stadium j dieser adiabatischen Kompression.

61. Anwendung des Entropie-Temperaturdiagramms auf überhitzten Dampf. Die Entropie des bis zu einer Temperatur T' überhitzten Dampfes findet man aus dem Ausdrucke der Entropie gesättigten Dampfes durch Hinzufügung eines Summanden von der Form

$$\int_{T_1}^{T'} \frac{k dT}{T},$$

worin k die spezifische Wärme des Dampfes während der Überhitzung bedeutet, d. i. jene Wärmemenge, welche zur Erhöhung der Temperatur der Gewichtseinheit Dampf (1 kg) um 1°C erforderlich ist, sobald die Temperatur T_1 des gesättigten Dampfes überschritten ist. Nachdem bis heute genaue Kenntnisse der Vorgänge während der Überhitzung fehlen, nimmt man gewöhnlich k als konstant an. Der Wert von k ist bei hoher Überhitzung nicht viel von 0,5 Wärmeeinheiten verschieden (siehe § 39), wenn der Prozeß der Überhitzung bei konstantem Druck erfolgt, eine Bedingung, welche z. B. erfüllt wird, wenn Dampf dadurch überhitzt wird, daß derselbe auf dem Wege vom Kessel zur Maschine durch eine Rohrspirale oder Rohrwindungen geleitet wird, welche in den Feuerzügen oder in eigens geheizten