

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

Räumen situiert sind*). Das Additionsglied kann dann geschrieben werden

$$k \int_{T_1}^{T'} \frac{dT}{T} = k (\log_e T' - \log_e T_1).$$

Dies verlangt eine Erweiterung des Entropie-Temperaturdiagramms, wie in Fig. 25 dargestellt; die Linie *cr* zeigt die Vermehrung der Entropie infolge der Überhitzung, gerechnet für eine Reihe von *T'*-Werten. Nach erfolgter Überhitzung bis zu einem beliebigen Betrage wird der Kreisprozeß durch die adiabatische Expansion *rs* bis herab auf die Temperatur *T*₂ und darauffolgende Kondensation *sa* bei dieser Temperatur geschlossen. Das Diagramm zeigt, daß infolge der Überhitzung die von der Arbeitssubstanz geleistete Arbeit um die Fläche *dcrs*, die aufgenommene Wärme hingegen um das Ausmaß der Fläche *pcru* vermehrt wurde. Der Wirkungsgrad erfährt nur eine geringe Erhöhung, nachdem die zusätzliche Wärme bei Temperaturen aufgenommen wird, die etwas höher sind als jene, bei denen die übrige Wärme aufgenommen wurde. Wenn die Überhitzung nicht sehr hoch getrieben wird, ist die zusätzliche Wärme im Verhältnis zur ganzen aufgenommenen Wärme zu gering, um eine wesentliche Erhöhung des Wirkungsgrades der idealen, hier in Rede stehenden Maschine hervorbringen zu können. In der Skizze

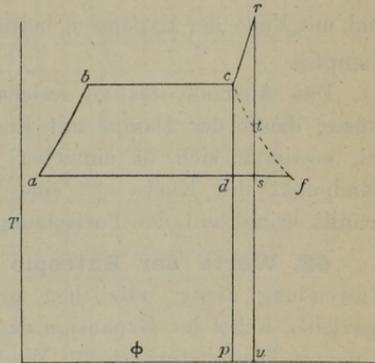


Fig. 25.

Fig. 25 war eine Überhitzung von rund 100° C über die Kesseltemperatur vorausgesetzt, aber das Diagramm zeigt, daß selbst diese nicht geringe Überhitzung keine wesentliche Verbesserung des idealen Wirkungsgrades zur Folge hat.

In Wirklichkeit ist die Differenz des Wirkungsgrades infolge der Überhitzung jedoch merklich größer; dieser Einfluß ist aber ein indirekter, dadurch begründet, daß die Kondensation des Dampfes bei Berührung mit den metallischen Wandungen des Cylinders und Kolbens verhindert wird. Dieser Nutzen der Überhitzung wird im nächsten Abschnitt eingehender besprochen werden. In der idealen Maschine kommen derlei Erscheinungen

*) Bei geringer Überhitzung kann *k* etwas größer angenommen werden, speziell bei hohen Spannungen. Der Wert von *k* ist streng genommen nicht konstant, denn die pro Grad aufgenommene Wärme ist zu Beginn der Überhitzung größer, als wenn die Temperatur bereits wesentlich erhöht ist (siehe § 65).

überhaupt nicht vor, da wir dort adiabatische Expansion, also vollkommen wärmedichte Cylinder- und Kolbenwandungen voraussetzen.

Es wäre unstreitig falsch, vorauszusetzen, daß die Anwendung erhöhter Temperaturen zufolge Überhitzung des Dampfes bei der idealen Maschine eine korrespondierende Erhöhung des Wirkungsgrades mit sich bringen würde, denn der größte Teil der Wärme wird trotzdem nur bei der Sättigungstemperatur aufgenommen und der Wert derselben für die Umwandlung in Arbeit hängt von der Temperatur ab, bei welcher dieselbe aufgenommen wird und nicht von jener Temperatur, bis zu welcher die Arbeitssubstanz nachträglich erhöht wurde.

Die adiabatische Linie rs im Diagramm Fig. 25 gibt in ihrem Schnittpunkte t mit der Kurve cf jenes Stadium der Expansion an, in welchem der Dampf aufhört überhitzt zu sein. In diesem Punkte t ist der Dampf trocken und gesättigt; mit fortschreitender Expansion wird derselbe feucht und mit Ende der Expansion beträgt der kondensierte Teil $\frac{sf}{af}$ des ganzen Dampfes.

Das Ausmaß, bis zu welchem die Überhitzung gesteigert werden müsse, damit der Dampf mit Ende der Expansion gerade noch trocken sei, bestimmt sich in einfacher Weise, indem man durch den Punkt f (Endpunkt der Kurve cf) eine Vertikale zieht und diese zum Durchschnitt bringt mit der Fortsetzung der Kurve cr .

62. Werte der Entropie von Wasser und Dampf. Bei der Anwendung dieser nützlichen graphischen Methode zur Untersuchung spezieller Fälle der Expansion des Dampfes ist es zweckmäßig, sich einer Entropie-Temperaturkarte für Wasser und Dampf zu bedienen, welche man für die ganze Reihe von Pressungen, welche in der Praxis vorkommen, am einfachsten unter Benutzung eines Millimeterpapiere aufreißt. Die horizontalen geraden Linien entsprechen der Bildung und Kondensation des Dampfes, während adiabatische Prozesse durch die vertikalen Linien dargestellt sind.

Ein solches Diagramm, im Maßstab gezeichnet, zeigt Fig. 26. Die beiden Kurven erstrecken sich über die Pressungsreihe (Temperaturreihe) der Tabelle I § 32. Die linke Kurve, bezeichnet mit „Wasser“, gibt die Beziehung der Entropie zur Temperatur bevor die Dampfbildung beginnt, die rechte Kurve, bezeichnet mit „Dampf“, gibt dieselbe Beziehung, wenn sämtliches Wasser in Dampf verwandelt ist.

Die horizontale Entfernung zwischen den beiden Kurven in irgend einem Punkte oder die Differenz der Entropie des Dampfes Φ_v und jener des Wassers Φ_w repräsentiert den Gewinn an Entropie, nämlich $\frac{L}{T}$, während der Verwandlung des Wassers in Dampf;