

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;

$$\Phi_s - \Phi_w = \frac{L}{T}$$

Die numerischen Werte der Entropie beziehen sich auf die Gewichtseinheit (1 kg) Wasser oder Dampf und sind vom Wasser bei 0° C an gerechnet. Bei Berechnung der Entropie des Wassers wurde auf die Zunahme der spezifischen Wärme desselben bei hohen Temperaturen entsprechend Rücksicht genommen. Die Entropie des Wassers (Φ_w), sowie

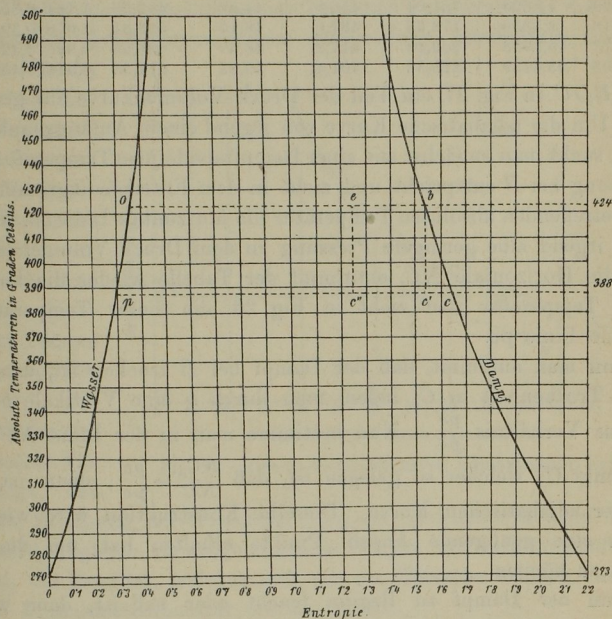


Fig. 26. Entropie von Wasser und Dampf.

jene des Dampfes (Φ_s) wurden behufs Konstruktion der beiden Kurven für gewisse Temperaturwerte der Tabelle I gerechnet; die so gerechneten Entropiewerte sind in nachstehender Tabelle II (S. 136) zusammengestellt.

Mit Hilfe des vorstehenden Diagramms und der Kenntnis der Beziehungen zwischen Druck und Volumen gesättigter Dämpfe ist es leicht, das Verhältnis des Wassers zu bestimmen, welches in irgend einem Stadium der adiabatischen Expansion oder Kompression vorhanden ist und das gewöhnliche Indikatordiagramm oder die Druck-Volumenkurve für einen beliebigen adiabatischen Prozeß zu zeichnen.

Tabelle II. Entropie von Wasser und Dampf.

t	T	Druck in kg/qcm	Flüssigk.- wärme h	L		Gesamt- wärme H	$\frac{L}{T}$	Φ_w	Φ_s
				Innere lat. Wärme	Äuß. lat. Wärme				
0	273	0,00625	0	575,4	31,1	606,50	2,221	0	2,221
35	308	0,05687	35	547,7	34,46	617,16	1,891	0,1130	2,004
65	338	0,25417	65,055	524,0	37,37	626,43	1,660	0,1930	1,853
100	373	1,03330	100,275	496,3	40,43	637,00	1,439	0,2690	1,708
125	398	2,3710	125,55	476,6	42,50	644,65	1,304	0,3150	1,619
150	423	4,8690	151,04	456,8	44,52	652,36	1,184	0,3580	1,542
175	448	9,1330	176,65	437,0	46,16	659,81	1,078	0,3950	1,473
200	473	15,8923	202,49	417,2	48,57	668,26	0,985	0,4280	1,413
220	493	23,6439	223,32	401,4	49,83	674,55	0,914	0,4540	1,368

Sei BDC in Fig. 27 ein Teil der Druck-Volumenkurve für gesättigten Dampf. Um die adiabatische Kurve von irgend einem Anfangspunkte B zu zeichnen, sucht man zunächst aus einer Dampftabelle jene Temperatur, welche der Pressung bei B entspricht und zieht in dem Entropiediagramm Fig. 26 bei der betreffenden absoluten Temperatur die horizontale Linie ob . Nun zieht man für irgend eine geringere Pressung in dem Druck-Volumendiagramm Fig. 27 die Horizontale NC , entnimmt der Tabelle wieder die korrespondierende Temperatur und zieht in Fig. 26 die dieser Temperatur entsprechende Linie pc .

Wenn man annimmt, daß der Dampf bei B trocken ist, dann erhält man die Trockenheit in C , indem man durch b eine Vertikale $b'c'$ zieht, durch das Verhältnis $\frac{p'c'}{pc}$. Nun bestimme man in der Linie NC Fig. 27 einen Punkt C' , welcher so gelegen ist, daß $\frac{NC'}{NC} = \frac{p'c'}{pc}$; dann ist C' ein Punkt der adiabatischen Kurve. Dieselbe Konstruktion wird wiederholt, bis man eine genügende Anzahl Punkte erhalten hat, um die Kurve zeichnen zu können.

Wenn der Dampf zu Beginn feucht oder naß ist, dann wird das Anfangsvolumen pro Gewichtseinheit (1 kg) kleiner als MB , z. B. gleich ME sein; die adiabatische Linie beginnt daher in E . Man findet dieselbe wieder in der Weise, daß man in Fig. 26 einen Punkt e so annimmt, daß $\frac{oe}{ob} = \frac{ME}{MB}$ (der anfänglichen Trockenheit); zieht man weiters ec'' vertikal und wählt man in Fig. 27 den Punkt C'' derart, daß $\frac{NC''}{NC} = \frac{p'c''}{pc}$, dann ist C'' ein Punkt der verlangten Kurve und das Verhältnis $\frac{NC''}{NC}$ gibt die Trockenheit der Mischung nach erfolgter adiabatischer Expansion. Die Kurve $EC''D''$ wurde in dieser Weise skizziert, um die adiabatische Expansion des Dampfes von 25% Anfangsfeuchtigkeitsgehalt darzustellen.

Im obigen Diagramm Fig. 27 beträgt der Druck bei M 5 kg/qcm ($T = 424$), bei N hingegen 1,75 kg/qcm ($T = 388$); die zugehörigen

Volumen von 1 kg Dampf 0,375 beziehungsweise 1 cbm. Die Linien *ob* und *pc* in Fig. 26 entsprechen den beiden Temperaturen 424 resp. 388.

Das Entropie-Temperaturdiagramm bietet uns nicht nur ein Mittel, den Kreisprozeß einer Wärmemaschine graphisch darzustellen, sondern auch die Möglichkeit, die aufgenommene und abgegebene Wärme, sowie die geleistete Arbeit, somit auch den Wirkungsgrad derselben bestimmen zu können. Der Vorteil z. B., welcher aus einer Erhöhung der Anfangsspannung resultiert, ist direkt und einfach aus einem Diagramm nach Art der Fig. 23 zu entnehmen, indem man bei jenen Temperaturen, welche den zu vergleichenden Anfangsspannungen entsprechen, horizontale Linien und durch die Punkte,

wo diese die Entropiekurve gesättigten Dampfes (*ef*) treffen, vertikale Linien zieht und diese bis zur Basis, welche dem absoluten Nullpunkt der Temperatur entspricht, verlängert. Ein Vergleich der eingeschlossenen Flächen zeigt, daß

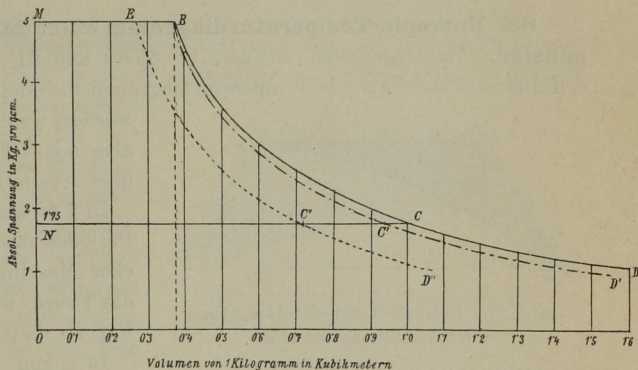


Fig. 27. Druck-Volumenkurven adiabatischer Expansion.

durch die Erhöhung der Kesselspannung ein merklicher Gewinn an Arbeit erzielt wird, obgleich die aufgenommene Wärme nur verhältnismäßig wenig zunimmt, ein Resultat, welches sich aus der Tatsache erklärt, daß die allgemeine Aufnahmetemperatur erhöht wurde.

Zieht man in Fig. 26 eine vertikale Linie, wie z. B. *ec''*, um die adiabatische Expansion einer Mischung aus Wasser und Dampf darzustellen, dann hängt der Verlauf derselben selbstverständlich von der Wahl des Punktes *e* ab, da eine anfänglich nasse Mischung (Punkt *e* näher an *o* gelegen), wenn sie zu expandieren beginnt, trockener wird, während eine Mischung mit geringem anfänglichen Feuchtigkeitsgehalt umgekehrt feuchter wird. Innerhalb der gewöhnlichen Betriebsspannungen (5 bis 15 kg/qcm) haben die beiden Kurven für Wasser und Dampf nahezu die gleiche Neigung gegen die den adiabatischen Prozeß darstellende vertikale Linie, wie aus dem Verlauf dieser Kurven in Fig. 26 zu ersehen. Wenn daher eine solche Kurve von einem Punkte ausgehend gezeichnet wird, welcher in der Mitte zwischen diesen beiden Kurven liegt, dann wird dieselbe auch

in ihrem weiteren Verlaufe nahezu in der Mitte zwischen denselben bleiben, das heißt mit anderen Worten, wenn die Arbeitsflüssigkeit mit Beginn der adiabatischen Expansion ungefähr 50% Wasser enthält, so wird auch während der Expansion dieser Prozentsatz ziemlich ungeändert bleiben; ist der Dampf jedoch wesentlich nasser zu Beginn der Expansion, dann wird er durch die adiabatische Expansion teilweise getrocknet.

Es soll an späterer Stelle gezeigt werden, daß das Entropie-Temperaturdiagramm auch gebraucht werden kann, um die Veränderung der Dampftrockenheit in wirklichen Dampfmaschinen, deren Arbeitsprozeß nichts weniger als adiabatisch verläuft, zu veranschaulichen.

63. Entropie-Temperaturdiagramm einer Maschine ohne Expansion. Im Gegensatz zu den in §§ 60 und 61 behandelten Fällen soll nunmehr das Entropie-Temperaturdiagramm für eine Maschine entworfen werden, welche ohne Expansion, also mit Vollfüllung des Cylinders arbeitet.

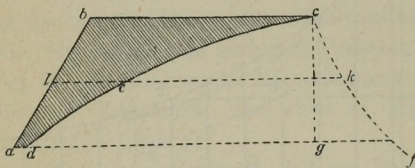


Fig. 28. Entropie-Temperaturdiagramm einer Vollfüllungsmaschine.

werden, welche ohne Expansion, also mit Vollfüllung des Cylinders arbeitet.

In § 45 wurden bereits die vier Perioden des Kreisprozesses solcher Maschinen besprochen und das Druck-Volumendiagramm in Fig. 15 dargestellt.

In dem Entropiediagramm Fig. 28 sind die vier korrespondierenden Linien ab , bc , cd und da . Linie ab entspricht der Erhitzung des Wassers von der Temperatur T_2 auf T_1 ; bc der Verwandlung des Wassers in Dampf; cd der partiellen Kondensation, hervorgerufen durch die Berührung des Dampfes mit dem kalten Receiver, während der Kolben in der Endstellung seines Hubes verbleibt, endlich da der restlichen Kondensation, während der Kolben seinen Vorwärtshub durchläuft. cd ist eine Linie konstanten Volumens, da während dieser Zustandsänderung die Arbeitsflüssigkeit im Cylinder verbleibt und keine Bewegung des Kolbens stattfindet.

Um Punkte der Kurve cd zu finden, zeichnet man, wie in früheren Beispielen beschrieben, die Sättigungskurve cf , zieht für irgend eine Temperatur T zwischen T_2 und T_1 die Horizontale lk und teilt dieselbe in einem Punkte e derart, daß $\frac{le}{lk}$ die Trockenheit des Dampfes q in dem Momente darstellt, als dessen Temperatur auf T gesunken ist. Die Trockenheit q ergibt sich durch die Betrachtung, daß $qV = V_1$, wenn V das Volumen der Gewichtseinheit (1 kg) gesättigten Dampfes von der Temperatur T und V_1 das Volumen der Gewichtseinheit vor Beginn der Kondensation.