

Zahlentafel Nr. 3.

1.		2.	3.	4.	5.	6.			7.	8.	9.
Druck in at abs. kg/qcm	i. at Über- druck kg/qcm	Tem- pera- tur t° C	Raum- inhalt von 1 kg Dampf v cbm/kg	Gewicht von 1 cbm Dampf γ kg/cbm	Flüssig- keits- wärme q WE	Verdampfungs- wärme			äuß. A p w WE	gesamte r WE	Ge- samt- wär- me i _s kg
						innere q WE	äuß. A p w WE	gesamte r WE			
0,02		17,3	68,126	0,01468	17,3	553,6	31,91	585,5	602,9		
0,04		28,8	35,387	0,02826	28,8	546,3	33,15	579,7	608,3		
0,06		36,0	24,140	0,04142	36,0	541,7	33,92	575,6	611,6		
0,08		41,3	18,408	0,05432	41,4	538,2	34,49	572,7	614,1		
0,10		45,6	14,920	0,06703	45,7	535,4	34,94	570,4	616,0		
0,12		49,2	12,568	0,07956	49,3	533,1	35,32	568,4	617,7		
0,15		53,7	10,190	0,09814	53,8	530,1	35,79	565,9	619,7		
0,20		59,8	7,777	0,12858	59,9	526,1	36,42	562,6	622,4		
0,25		64,6	6,307	0,1586	64,8	522,9	36,92	559,8	624,6		
0,30		68,7	5,316	0,1881	68,9	520,2	37,34	557,5	626,4		
0,35		72,3	4,600	0,2174	72,5	517,8	37,70	555,5	628,0		
0,40		75,5	4,060	0,2463	75,7	515,6	38,02	553,7	629,4		
0,50		80,9	3,2940	0,3036	81,2	512,0	38,56	550,5	631,7		
0,60		85,5	2,7770	0,3601	85,8	508,8	39,01	547,8	633,7		
0,70		89,5	2,4040	0,4160	89,9	506,1	39,39	545,5	635,3		
0,80		93,0	2,1216	0,4713	93,5	503,6	39,73	543,3	636,8		
0,90		96,2	1,9003	0,5262	96,7	501,4	40,03	541,4	638,1		
1,0		99,1	1,7220	0,5807	99,6	499,4	40,30	539,7	639,3		
1,1	0,1	101,8	1,5751	0,6349	102,3	497,5	40,55	538,1	640,7		
1,2	0,2	104,2	1,4521	0,6887	104,8	495,7	40,78	536,5	641,3		
1,4	0,4	108,7	1,2571	0,7955	109,4	492,6	41,18	533,7	643,1		
1,6	0,6	112,7	1,1096	0,9013	113,4	489,7	41,54	531,2	644,7		
1,8	0,8	116,3	0,9939	1,0062	117,1	487,1	41,85	528,9	646,0		
2,0	1,0	119,6	0,9006	1,1104	120,4	484,7	42,14	526,8	647,2		
2,5	1,5	126,7	0,7310	1,3680	127,7	479,4	42,74	522,2	649,9		
3,0	2,0	132,8	0,6163	1,6224	133,9	474,9	43,23	518,1	652,0		
3,5	2,5	138,1	0,5335	1,8743	139,4	470,8	43,65	514,5	653,8		
4,0	3,0	142,8	0,4708	2,1239	144,2	467,2	44,01	511,2	655,4		
4,5	3,5	147,1	0,4217	2,3716	148,6	463,9	44,33	508,2	656,8		
5,0	4,0	151,0	0,3820	2,6177	152,6	460,8	44,61	505,5	658,1		
5,5	4,5	154,6	0,3494	2,8624	156,3	458,0	44,87	502,9	659,2		
6,0	5,0	157,9	0,3220	3,1058	159,8	455,3	45,10	500,4	660,2		
6,5	5,5	161,1	0,2987	3,3481	163,0	452,8	45,32	498,1	661,1		
7,0	6,0	164,0	0,2786	3,5891	166,1	450,4	45,51	495,9	662,0		
7,5	6,5	166,8	0,2611	3,8294	168,9	448,2	45,67	493,9	662,8		
8,0	7,0	169,5	0,2458	4,0683	171,7	446,0	45,86	491,8	663,5		
8,5	7,5	172,0	0,2322	4,3072	174,3	443,9	46,02	489,9	664,2		
9,0	8,0	174,4	0,2200	4,5448	176,8	441,9	46,17	488,1	664,9		
9,5	8,5	176,7	0,2091	4,7819	179,2	440,0	46,30	486,3	665,5		
10,0	9,0	178,9	0,1993	5,018	181,5	438,2	46,43	484,6	666,1		
11,0	10,0	183,1	0,1822	5,489	185,8	434,6	46,67	481,3	667,1		
12,0	11,0	186,9	0,1678	5,960	189,9	431,3	46,88	478,2	668,1		
13,0	12,0	190,6	0,15565	6,425	193,7	428,2	47,08	475,3	668,9		
14,0	13,0	194,0	0,14515	6,889	197,3	425,2	47,26	472,5	669,7		
15,0	14,0	197,2	0,13601	7,352	200,7	422,4	47,43	469,8	670,5		
16,0	15,0	200,3	0,12797	7,814	203,9	419,7	47,58	467,3	671,2		
18,0	17,0	206,1	0,11450	8,734	210,0	414,6	47,85	462,4	672,4		
20,0	19,0	211,3	0,10365	9,648	215,5	409,8	48,08	457,9	673,4		

Für gesättigten Dampf gelten angenähert folgende Formeln:

$$r = 607 - 0,708 t, \tag{5}$$

$$i_s = 606,5 + 0,305 t, \tag{6}$$

$$p^{1,5} \cdot v = 1,7235 \quad (p \text{ in kg/qcm, } v \text{ in cbm/kg}). \tag{7}$$

Für den praktischen Gebrauch sind jedoch alle für den gesättigten Wasserdampf wichtigen Größen berechnet und in einer Zahlentafel zusammengestellt worden, zunächst auf Grund der Versuche Regnaults durch Fliegner und Zeuner und neuerdings nach den Versuchen von Knoblauch, Linde und Klebe durch R. Mollier¹⁾.

Diese Werte sind in der nebenstehenden Zahlentafel Nr. 3 teilweise abgedruckt.

3. Überhitzter Dampf.

Führt man gesättigtem Dampf noch mehr Wärme zu, so steigt seine Temperatur und man nennt solchen Dampf überhitzten Dampf. Die zur Überhitzung des Dampfes von t° C auf t'° C nötige Wärmemenge ist, wenn die Überhitzung bei konstantem Volumen erfolgt,

$$Q_v = c_v(t' - t), \tag{8}$$

und wenn sie bei konstantem Druck erfolgt,

$$Q_p = c_p(t' - t). \tag{9}$$

Der erste Fall hat für die Praxis wenig Bedeutung. Überhitzter Dampf kann die Wärme c_p(t' - t) abgeben und um t' - t abkühlen, ohne daß ein Teil desselben kondensiert; erst dann geht er in den Zustand des gesättigten Dampfes über und befolgt dessen Gesetze.

Die Temperatur des überhitzten Dampfes ist nicht abhängig von dem Drucke; nur kann sie nicht niedriger sein als diejenige des gesättigten Dampfes von gleichem Drucke. Überhitzter Dampf verhält sich im allgemeinen wie ein Gas.

Es kommen noch folgende Formeln in Betracht:

a) Die Zustandsgleichung von Tumlirz und R. Linde:

$$p(v + 0,016) = 47,1 T \quad (p \text{ in kg/qm}) \tag{10}$$

und

$$v = \frac{47,1 T}{p} - 0,016 \quad (v \text{ in cbm}). \tag{11}$$

b) Für die adiabatische Zustandsänderung (ohne Änderung des Wärmehaltes) gilt nach Zeuner:

$$p \cdot v^{1,3} = \text{konstant}. \tag{12}$$

c) Gesamtwärmehalt des Heißdampfes:

$$i_h = i_s + c_p(t' - t). \tag{13}$$

4. Das Wärmediagramm.

Zur deutlichen Veranschaulichung ist in Fig. 5 (Seite 6) das Wärmediagramm des Wasserdampfes von seiner Entstehung aus Eis an gezeichnet, worin der auf den absoluten Nullpunkt zulaufende Zweig der Kurve natürlich hypothetisch ist.

Die eingeschriebenen Entropiewerte sind der vollständigen Dampftabelle²⁾ entnommen. Die Flächen unterhalb der Kurve bis zur Abszissenachse stellen den jeweiligen Wärmehalt dar. Man sieht an der waagrechten dick gezogenen Linie unterhalb der Strecke cd,

¹⁾ Siehe R. Mollier, Neue Tabellen und Diagramme für Wasserdampf. Berlin 1906.

²⁾ Hütte I, S. 334. 1908.

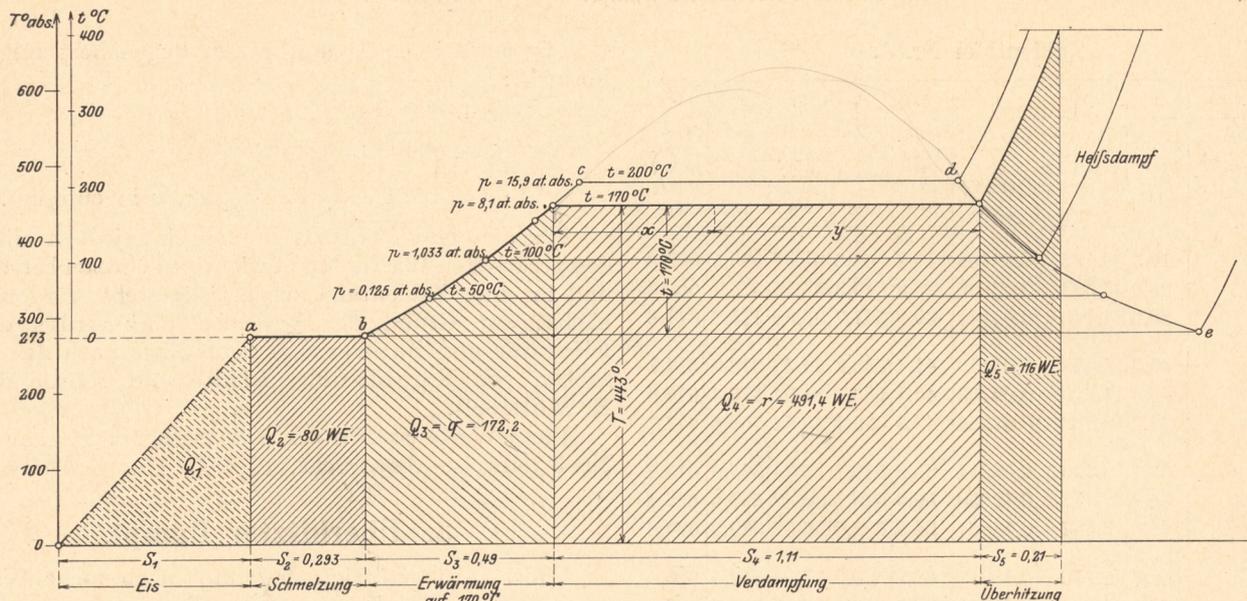


Fig. 5. Wärmediagramm des Wasserdampfes.

wie die Temperatur während der Verdampfung, hier z. B. bei 170° C und 8,1 at abs. konstant bleibt, während der Wärmeinhalt zunimmt. Die Kurve *bc*, untere Grenzkurve, bedeutet den Zustand der Flüssigkeit und den Beginn der Verdampfung, *de*,

obere Grenzkurve, bedeutet den Zustand der vollendeten Verdampfung und des trockenen Sattdampfes. Das Gebiet zwischen den beiden Grenzkurven ist dasjenige des Gemisches von Flüssigkeit und Dampf, das Gebiet rechts von der oberen Grenzkurve dasjenige des Heißdampfes.

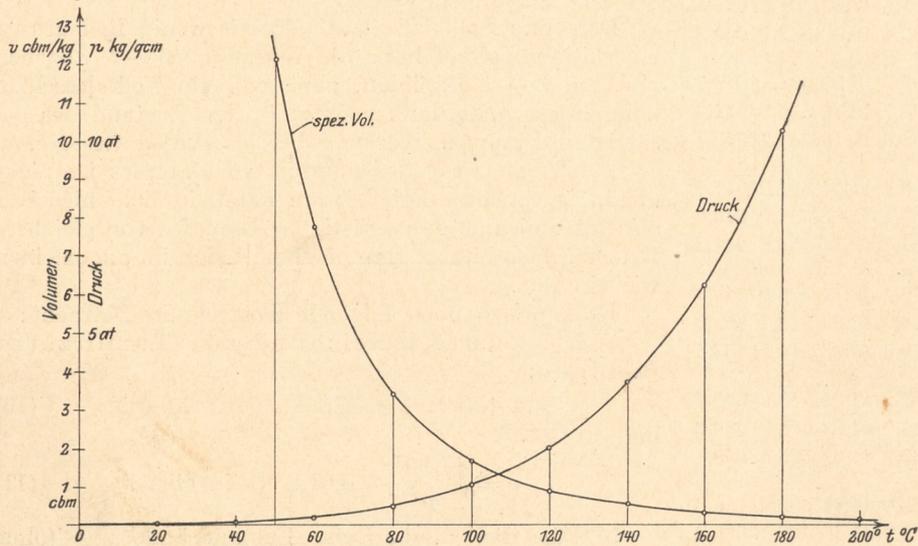


Fig. 6. Abhängigkeit von Druck und Volumen des gesättigten Dampfes von der Temperatur.

Die wagerechten Linien zwischen beiden Grenzkurven kennzeichnen nicht nur die Temperatur, sondern auch den Druck des nassen Sattdampfes. Jeder Punkt dieser Linien, der die Entfernung zwischen den Grenzkurven im Verhältnis $\frac{x}{y}$ teilt, bezeichnet dadurch zugleich das Verhältnis des Dampfes zu dem noch übrigen Wasser, sowie das Verhältnis der Wärmemengen, welche für die Verdampfung bereits verbraucht und noch aufzuwenden sind.

In Fig. 6 sind die abs. Drücke und spez. Volumina des gesättigten Dampfes in Abhängigkeit von der Temperatur aufgezeichnet.

IV. Die Verbrennung.

1. Vorbemerkung.

1 alte Atmosphäre = 760 mm Q.S. (Quecksilbersäule) = 10 333 mm W.S. (Wassersäule) = 1,033 kg/qcm.
 1 neue (metrische) Atmosphäre (1 at) = 735,5 mm Q.S. = 10000 mm W.S. = 1,0 kg/qcm; 1 mm Q.S. = 13,6 mm W.S.
 Gewicht trockner Luft bei 0° C und 760 mm Q. S. $\gamma_l = 1,293 \text{ kg/cbm}$.

Zusammensetzung der Luft:
 nach Gewichtsteilen: 23,2 G.-T. Sauerstoff, 76,8 G.-T. Stickstoff;

nach Raumteilen: 21 R.-T. Sauerstoff, 79 R.-T. Stickstoff.
 1 cbm Luft enthält 0,3 kg Sauerstoff und 0,993 kg Stickstoff.

Die Rauminhalte sind in folgenden Ausführungen allgemein auf 760 mm Q.S. und 0° C bezogen.

Bezeichnungen:

h = Heizwert d. Brennstoffes in WE/kg für 1 kg Brennstoff
 L_{g_0} = theoretischer Luftbedarf in kg „ „ „
 L_{v_0} = „ „ in cbm „ „ „