

GLÜCKAUF

Berg- und Hüttenmännische Zeitschrift

Nr. 24

17. Juni 1922

58. Jahrg.

Wasserdampf und Dampfverbrauch.

Von Oberingenieur A. Hinz, Essen.

Hierzu die Tafel 1.

Die Bestrebungen zur Verbesserung der Wärmewirtschaft können nicht besser gefördert werden als durch Schaffung klarer Erkenntnis über die in Betracht kommenden Vorgänge bei möglichst vielen beteiligten Personen. Diesem Zweck haben in der Not der Nachkriegszeit die beherrschenden Vorträge und Veröffentlichungen gedient, die von den verschiedensten Vereinigungen veranstaltet worden sind; diesem Zweck sollen auch die nachstehenden Ausführungen dienen, die in der Hauptsache die Umwandlung der Wärme des Wasserdampfes in mechanische Arbeit behandeln. Dabei ergeben sich die theoretischen und die praktischen Grenzen, die unserm Streben gesetzt sind, den Wirkungsgrad der Energieumwandlung soweit wie möglich zu steigern.

Eine dieser Maßnahmen, die Steigerung des Anfangsdruckes bis auf 50 at und mehr, ist erst im letzten Jahre bekannt geworden. Da die vorliegende Arbeit schon vor etwa sechs Jahren entstanden ist, so konnten darin Drücke über 20 at noch nicht vorkommen. Die Erweiterung der Mollier-Tafel (s. Tafel 1) auf Grund der vor kurzem veröffentlichten Untersuchung Knoblauch's¹ über c_p -Werte des Wasserdampfes bis zu 30 at Druck und schaubildliche Ausmittlung bis zu 50 at Druck bietet die Möglichkeit, auch die übrigen Schaubilder über Dampf für Drücke über 20 at zu erweitern. Ob hierfür einmal ein allgemeines Bedürfnis vorliegen wird, muß die Zukunft lehren; in den weitaus meisten Fällen wird vorläufig als Höchst-
druck 20 at ausreichend sein.

[Die Mollier-Tafel für Wasserdampf.

Als Grundlage aller Betrachtungen dient die Mollier-Tafel für Wasserdampf (s. Tafel 1), deren Aufbau im folgenden kurz erläutert werden soll.

Zur Vereinfachung der schaubildlichen Darstellung von Zustandsänderungen in Dampfkraftmaschinen hat Mollier das is-Diagramm für Wasserdampf entworfen. Der Wärmeinhalt i des Dampfes, die Wärmemenge zur Erzeugung von 1 kg Dampf aus Wasser von 0°C, ist als Ordinate

und die Entropie $s = \int \frac{di}{T}$, der Quotient aus der Zunahme des Wärmeinhaltes und der absoluten Temperatur $T = 273 + t^\circ\text{C}$, ist als Abszisse aufgetragen worden. In

Abb. 1 ist dieses is-Diagramm für Wasserdampf bis zum Nullpunkt der Koordinaten maßstäblich wiedergegeben.

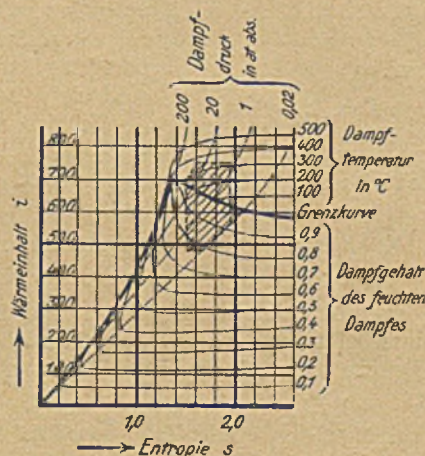


Abb. 1.
is-Diagramm für Wasserdampf.

Unter dem Namen Mollier-Tafel ist ein vergrößert gezeichneter Ausschnitt aus dem is-Diagramm mit dem für die Technik in Frage kommenden Dampfgebiet bekannt. Die Mollier-Tafel 1 ist der durch Schrägstrichelung gekennzeichnete Teil des kleinen Gesamtdiagramms der Abb. 1. Der Ordinatenmaßstab ist 1 mm = 1 WE/kg, der Abszissenmaßstab ist bedeutungslos. Die Grenzkurve, genauer gesagt der rechte Schenkel, der absteigende Ast der ganzen Grenzkurve, die Linie trocken-gesättigten Dampfzustandes, trennt das Gebiet des feuchten Dampfes unterhalb von dem Überhitzungsgebiet oberhalb. Ihre Ordinaten- und Abszissenwerte, Wärmeinhalt und Entropie, sind den bekannten Zahlentafeln über trocken-gesättigten Wasserdampf entnommen worden. In das Überhitzungsgebiet sind außer den Linien gleichen Druckes p , in at abs. (kg/qcm) gemessen, die Linien gleicher Temperatur t , in °C gemessen, eingetragen. Im Gebiet des feuchten Dampfes fallen p - und t -Linien zusammen, da dort die Temperatur lediglich vom Dampfdruck abhängt. Die Drucklinien des feuchten Dampfes verlaufen unterhalb der Grenzkurve bis zu ihrem linken Schenkel als Geraden

¹ Z. d. V. d. I. 1922, S. 418.

unter dem Winkel α zu den Abszissen, dessen Tangente gleich der absoluten Temperatur ist. $\text{tg } \alpha = \frac{di}{ds} = di : \frac{di}{T} = T$.

Oberhalb der Grenzkurve nehmen sie allmählich steiler werdenden Verlauf an. Ihr Charakter wird außer durch die steigende Temperatur durch die Veränderlichkeit der spezifischen Dampfwärme c_p bei unverändertem Druck beeinflusst.

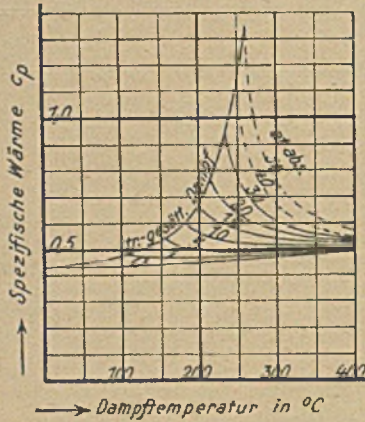


Abb. 2.

Spezifische Wärme c_p überhitzten Wasserdampfes nach Knoblauch und Raisch.

begrenzt. Die spezifische Wärme steigt an von $c_p = 0,45$ bis auf $c_p = 0,94$ bei 30 at abs. (ausgemittelt bis auf 1,35 bei 50 at); mit der Überhitzung nimmt sie bei hohen Drücken zunächst schnell wieder ab und hat bei 400 °C für alle Drücke angenähert den Wert $c_p = 0,5$ angenommen.

Die Drucklinien der Mollier-Tafel 1 (s. Tafel 1) sind im Überhitzungsgebiet unter Zugrundelegung dieser c_p -Werte durch schrittweise Integration des Wärmehaltes und der Entropie festgelegt worden. Schließlich sind noch die Linien gleicher spezifischer Dampfmengen x , gleichen Feuchtigkeitsgehaltes, gleicher Dampfnässe, eingetragen, welche die Drucklinien innerhalb der Grenzkurve in jeweils gleiche Abschnitte zerlegen.

Auf der zweiten Mollier-Tafel (s. Dampftafel 1) sind außer diesen p -, t - und x -Linien noch die Linien gleichen spezifischen Rauminhalts v , in cm^3/kg Dampf gemessen, eingetragen, und zwar zur Hervorhebung gepunktet, da sie wohl etwas steiler, aber annähernd im gleichen Sinne verlaufen. Der Vergleich beider Tafeln miteinander zeigt, daß gerade durch die v -Linien die Deutlichkeit der Darstellung stark beeinträchtigt wird. Außerdem geht aus den Anwendungsbeispielen hervor, daß in den meisten Fällen die Tafel ohne v -Linien die gewünschte Auskunft gibt, so daß im Gegensatz zu den bisherigen Veröffentlichungen das Fortlassen der v -Linien durchaus empfehlenswert erscheint.

Die vielseitige Verwendbarkeit der Mollier-Tafel wird in den folgenden einzelnen Abschnitten durch Beispiele erläutert.

Abhängigkeit der Dampftemperatur t vom Dampfdruck p bei feuchtem und trocken-gesättigtem Dampfzustand.

Bestimmung der Temperatur zu gegebenem Druck.

Beispiele:

1. $p = 1,0333$ at abs.; $t = 100$ C (1 alte Atmosphäre¹).
2. $p = 7,7$ at abs.; $t = 168$ C.
3. $p = 11,5$ at abs.; $t = 185$ C.

Die genauen Werte der Dampftemperaturen sind, abhängig vom Druck, in der Zahlentafel 1 zusammengestellt.

Für niedrige Dampfdrücke sind die zugehörigen Temperaturen außerdem auf den Meßstreifen in der untern rechten Ecke der Tafel 1 abzulesen.

Beispiele:

1. $p = 0,08$ at abs. ($\sim 92\%$ Vakuum); $t = 41,3^\circ\text{C}$.
2. $p = 0,15$ at abs. ($\sim 85\%$ Vakuum); $t = 53,7^\circ\text{C}$.

Ist der Dampfdruck richtig gemessen, so kann die Dampftemperatur nie geringer als der Tafelwert sein; ist die Temperatur richtig gemessen, so kann der Dampfdruck nie höher sein.

Bestimmung des Dampfdruckes aus der Dampftemperatur.

Beispiele:

1. $t = 34,0^\circ\text{C}$; $p = 0,054$ at abs. ($\sim 94,6\%$ Vakuum).
2. $t = 46,7^\circ\text{C}$; $p = 0,106$ at abs. ($\sim 89,4\%$ Vakuum).

Wird ein höherer Dampfdruck gemessen, so sind Meßfehler vorhanden. Ist der Dampfdruck niedriger, so liegt außerdem die Möglichkeit einer Überhitzung des Dampfes vor, die aber im Abdampf von Kraftmaschinen bei gutem Vakuum nur bei sehr hoher Anfangstemperatur und geringem Anfangsdruck oder bei schlechten Maschinen mit geringem Gütegrad auftreten kann.

Wärmehalt i des Wasserdampfes.

Beispiele:

1. $p = 1,03$ at abs., tr.-ges. Zust.; $i = 639,7$ WE/kg.
2. $p = 8,7$ at abs., tr.-ges. Zust.; $i = 664,5$ WE/kg.
3. $p = 15,5$ at abs., $t = 250$ °C; $i = 702,0$ WE/kg.
4. $p = 14,8$ at abs., $t = 312$ °C; $i = 736,0$ WE/kg.

Verdampfungswärme $i - i_w$ bei der Speisewassertemperatur t_w .

Bei t_w °C Temperatur des Speisewassers ist in 1 kg Wasser schon die Wärmemenge i_w enthalten; um diesen Betrag ist die Verdampfungswärme geringer als der Wärmehalt des erzeugten Dampfes. Praktisch genügt zur Bestimmung von i_w die Annahme unveränderter spezifischer Wärme, d. h., daß die Wärmemenge zur Erwärmung von

¹ 1 alte Atmosphäre (1 Atm) = 760 mm QS von 0°C
 = 762 mm QS von 15°C
 = 10,333 m WS von 4°C
 1 neue (metrische) Atmosphäre (1 at) = 10 m WS von 4°C
 = 1 kg/qcm.

Länge der Quecksilbersäule bei verschiedener Quecksilbertemperatur und 1 at abs. Luftdruck.

°C	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10
-20	732,0	733,0	732,2	733,3	733,4	733,5	733,7	733,0	733,9	734,1	734,2
-10	734,2	734,3	734,5	734,6	734,7	734,8	735,0	735,2	735,2	735,4	735,5
0	735,5	735,6	735,8	735,9	736,0	736,1	736,3	736,5	736,5	736,7	736,8
± 0	736,8	736,9	737,1	737,2	737,3	737,4	737,6	737,8	737,8	738,0	738,1
10	738,1	738,2	738,4	738,5	738,6	738,7	738,9	739,1	739,1	739,3	739,4
20	739,4	739,5	739,7	739,8	739,9	740,0	740,2	740,4	740,4	740,6	740,7
30	740,7	740,8	741,0	741,1	741,2	741,3	741,5	741,7	741,7	741,9	742,0

¹ a. a. O.

1 kg Wasser von 14,5 auf 15,5 °C, die Wärmeeinheit, auch für andere Temperaturen den gleichen Wert besitzt (der Fehler ist nicht größer als 3 ‰).

Beispiel:

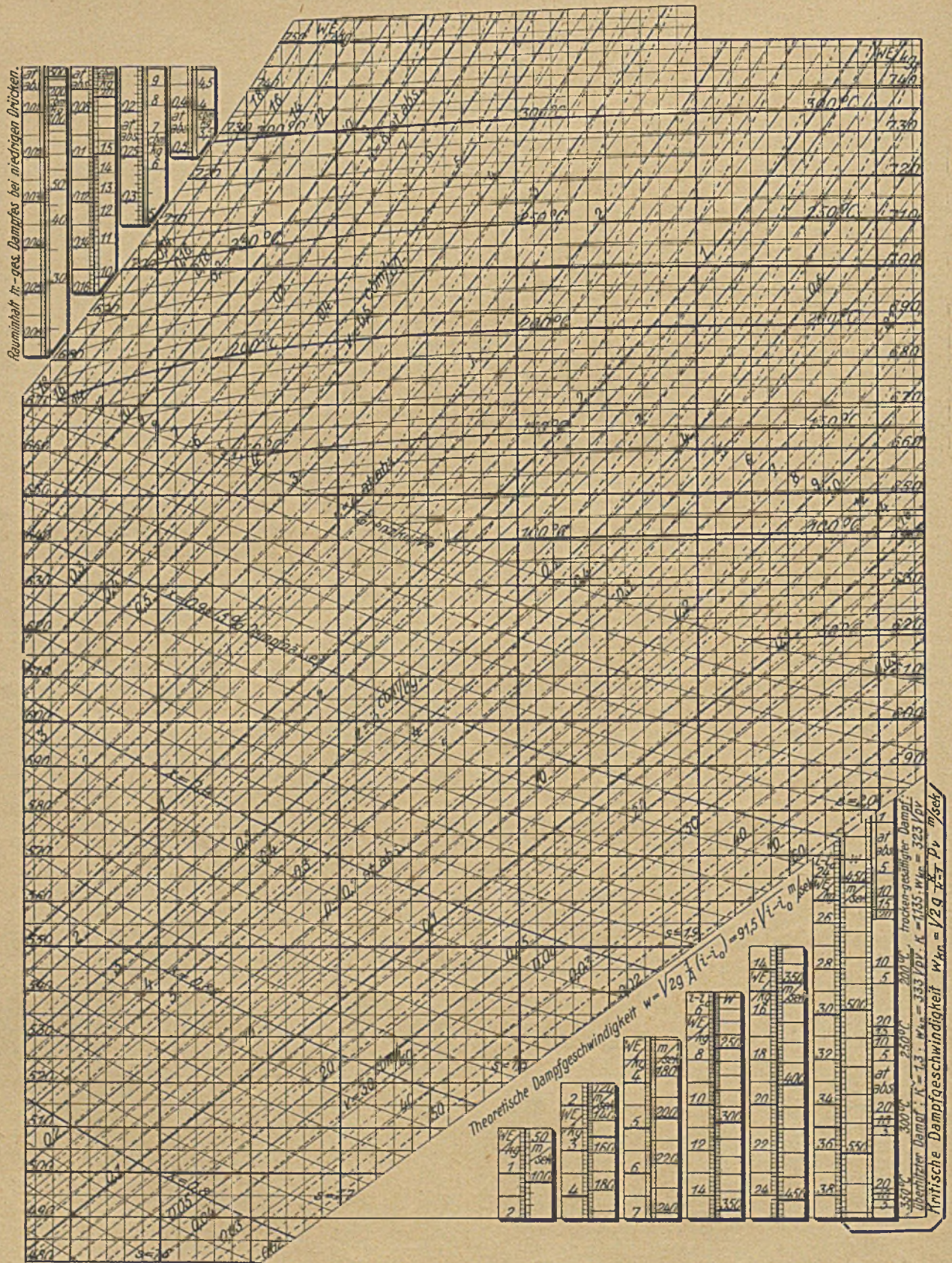
$$t_w = 32^\circ\text{C}, p = 13,2 \text{ atabs.}, t = 297^\circ\text{C};$$

$$i - i_w = 728 - 32 = 696 \text{ WE/kg.}$$

Zahlentafel 1.
Temperaturen trocken-gesättigten Wasserdampfes.

at abs.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00		-20	-13	-8,5	-5,4	-2,8	-0,5	+1,6	+3,5	+5,2	6,7
0,01	+6,7	8,1	9,4	10,6	11,7	12,8	13,8	14,8	15,7	16,5	17,3
0,02	17,3	18,1	18,9	19,6	20,3	20,9	21,6	22,2	22,7	23,3	23,9
0,03	23,9	24,4	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,4	27,9	28,4	28,8
0,04	28,8	29,3	29,7	30,1	30,5	30,9	31,2	31,6	32,0	32,3	32,6
0,05	32,6	33,0	33,4	33,7	34,1	34,4	34,7	35,1	35,4	35,7	36,0
0,06	36,0	36,3	36,6	36,9	37,2	37,5	37,7	38,0	38,3	38,5	38,8
0,07	38,8	39,1	39,3	39,6	39,8	40,1	40,3	40,6	40,8	41,1	41,3
0,08	41,3	41,6	41,8	42,0	42,2	42,5	42,7	42,9	43,1	43,4	43,6
0,09	43,6	43,8	44,0	44,2	44,4	44,6	44,8	45,0	45,2	45,4	45,6
0,10	45,6	45,8	46,0	46,2	46,4	46,6	46,8	46,9	47,1	47,3	47,5
0,11	47,5	47,7	47,8	48,0	48,2	48,4	48,5	48,7	48,9	49,1	49,2
0,12	49,2	49,4	49,6	49,7	49,9	50,0	50,2	50,4	50,5	50,7	50,8
0,13	50,8	51,0	51,2	51,3	51,5	51,6	51,8	51,9	52,0	52,2	52,3
0,14	52,3	52,5	52,6	52,8	52,9	53,0	53,2	53,3	53,5	53,6	53,7
0,15	53,7	53,8	53,9	54,1	54,2	54,4	54,5	54,7	54,8	54,9	55,0
0,16	55,0	55,1	55,3	55,4	55,5	55,7	55,8	55,9	56,0	56,1	56,3
0,17	56,3	56,4	56,5	56,7	56,8	56,9	57,0	57,1	57,2	57,4	57,5
0,18	57,5	57,6	57,7	57,8	58,0	58,1	58,2	58,3	58,4	58,6	58,7
0,19	58,7	58,8	58,9	59,0	59,1	59,2	59,3	59,4	59,5	59,7	59,8
0,2	59,8	60,8	61,8	62,8	63,7	64,6	65,5	66,4	67,2	68,0	68,7
0,3	68,7	69,5	70,2	70,9	71,6	72,3	73,0	73,6	74,3	74,9	75,5
0,4	75,5	76,1	76,7	77,2	77,8	78,3	78,8	79,4	79,9	80,4	80,9
0,5	80,9	81,4	81,8	82,3	82,8	83,3	83,7	84,2	84,6	85,0	85,5
0,6	85,5	85,9	86,3	86,7	87,1	87,5	87,9	88,3	88,7	89,1	89,5
10,7	89,5	89,9	90,2	90,6	90,9	91,3	91,6	92,0	92,3	92,7	93,0
0,8	93,0	93,4	93,7	94,0	94,3	94,7	95,0	95,3	95,6	95,9	96,2
0,9	96,2	96,5	96,8	97,1	97,4	97,7	98,0	98,3	98,6	98,8	99,1
1,0	99,1	99,4	99,7	99,9	100,2	100,5	100,7	101,0	101,3	101,5	101,8
1,1	101,8	102,0	102,3	102,5	102,8	103,0	103,3	103,5	103,8	104,0	104,2
1,2	104,2	104,5	104,7	105,0	105,2	105,4	105,7	105,9	106,1	106,4	106,6
1,3	106,6	106,8	107,0	107,2	107,4	107,7	107,9	108,1	108,3	108,5	108,7
1,4	108,7	108,9	109,2	109,4	109,6	109,8	110,0	110,2	110,4	110,6	110,8
1,5	110,8	111,0	111,2	111,4	111,6	111,8	112,0	112,2	112,4	112,5	112,7
1,6	112,7	112,9	113,1	113,3	113,5	113,7	113,9	114,0	114,2	114,4	114,6
1,7	114,6	114,8	114,9	115,1	115,3	115,5	115,6	115,8	116,0	116,2	116,3
1,8	116,3	116,5	116,7	116,8	117,0	117,2	117,3	117,5	117,7	117,8	118,0
1,9	118,0	118,2	118,3	118,5	118,6	118,8	118,9	119,1	119,2	119,4	119,6
2	119,6	121,1	122,6	124,0	125,4	126,7	128,0	129,3	130,5	131,7	132,8
3	132,8	133,9	135,0	136,1	137,1	138,1	139,1	140,1	141,0	142,0	142,9
4	142,9	143,8	144,6	145,5	146,3	147,1	147,9	148,7	149,5	150,3	151,0
5	151,0	151,8	152,5	153,2	153,9	154,6	155,4	156,0	156,7	157,4	158,0
6	158,0	158,7	159,3	159,9	160,5	161,2	161,8	162,4	163,0	163,5	164,1
7	164,1	164,7	165,2	165,8	166,4	166,9	167,4	167,9	168,5	169,0	169,5
8	169,5	170,0	170,6	171,1	171,6	172,1	172,6	173,1	173,5	174,0	174,5
9	174,5	175,0	175,4	175,9	176,3	176,8	177,2	177,7	178,1	178,6	179,0
10	179,0	179,4	179,9	180,3	180,7	181,1	181,5	181,9	182,3	182,8	183,2
11	183,2	183,5	183,9	184,3	184,7	185,1	185,5	185,9	186,3	186,7	187,0
12	187,0	187,4	187,8	188,1	188,5	188,8	189,2	189,6	189,9	190,3	190,6
13	190,6	191,0	191,3	191,7	192,0	192,4	192,7	193,1	193,4	193,7	194,1
14	194,1	194,4	194,8	195,1	195,4	195,7	196,0	196,4	196,7	197,0	197,3
15	197,3	197,6	197,9	198,3	198,6	198,9	199,2	199,5	199,8	200,2	200,4
16	200,4	200,7	201,0	201,3	201,6	201,9	202,2	202,5	202,7	203,0	203,3
17	203,3	203,6	203,9	204,2	204,4	204,7	205,0	205,3	205,6	205,9	206,2
18	206,2	206,4	206,7	206,9	207,2	207,5	207,7	208,0	208,3	208,5	208,8
19	208,8	209,1	209,3	209,6	209,9	210,1	210,4	210,6	210,9	211,1	211,4
20	211,4	213,9	216,2	218,5	220,8	223,9	225,0	227,0	229,0	230,9	232,8
30	232,8	234,6	236,4	238,1	239,8	241,5	243,1	244,7	246,3	247,9	249,3
40	249,3	250,8	252,2	253,6	255,0	256,3	257,7	259,0	260,3	261,5	262,8
50	262,8	264,1	265,3	266,5	267,6	268,8	270,0	271,1	272,2	273,3	274,4
60	274,4	275,5	276,6	277,6	278,6	279,7	280,7	281,7	282,7	283,7	284,7
70	284,7	285,6	286,6	287,5	288,4	289,3	290,2	291,1	292,0	292,9	293,8
80	293,8	294,7	295,5	296,4	297,2	298,0	298,8	299,6	300,4	301,2	302,0
90	302,0	302,8	303,6	304,4	305,2	305,9	306,6	307,4	308,1	308,9	309,6
100	309,6	310,7	311,8	312,9	314,0	315,1	316,2	317,3	318,4	319,5	320,6
200	364,4	368,5	372,4	376,3	380,2	384,1	388,0	391,9	395,8	399,7	403,6

374 = kritische Temperatur bei 224 at kritischem Druck.



Dampftafel 1. Zweite Molliertafel für Wasserdampf mit Linien gleichen Rauminhaltes.

Dampfkesselwirkungsgrad.

Wenn mit 1 kg Kohle bei einem Heizwert von 7480 WE/kg im vorstehenden Beispiel 8,2 kg Dampf erzeugt werden, so wäre der Wirkungsgrad des Dampfkessels

$$\eta_k = \frac{8,2 \cdot 696}{7480} = 0,763 (= 76,3 \%).$$

Die oft noch gebräuchliche Vergleichsverdampfungsziffer V_o , bezogen auf Verdampfung des Wassers von 0°C in Dampf von 100°C ($i = 639,7$ WE/kg) würde betragen

$$V_o = 8,2 \frac{696}{639,7} = 8,92.$$

Diese Zahl ändert sich aber bei demselben Kessel mit dem Heizwert der Kohle, während der Kesselwirkungsgrad auch diesen berücksichtigt. Zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeit eines Kessels und zu Vergleichszwecken sollte daher stets der Wirkungsgrad des Kessels oder, bei Rauchgasvorwärmern, der ganzen Kesselanlage benutzt werden.

Spezifischer Rauminhalt des Wasserdampfes.

In der zweiten Mollier-Tafel (s. Dampftafel 1) sind die Linien gleichen Rauminhaltes v , in kg/cbm gemessen, gepunktet eingezeichnet. Für einen beliebigen Dampfzustand, der durch Druck, Temperatur oder spezifische Dampfmenge festgelegt ist, läßt sich der Rauminhalt v durch Interpolation ermitteln.

Beispiele:

1. $p = 1,2$ at abs., tr.-ges. Zust.; $v = 1,45$ cbm/kg.
2. $p = 8,3$ at abs., $t = 246^\circ\text{C}$; $v = 0,29$ cbm/kg.
3. $p = 2,4$ at abs., $x = 0,965$ (3,5% Wasser); $v = 0,74$ cbm/kg.

Der Rauminhalt läßt sich nicht mit großer Genauigkeit ablesen, da der Aufbau der Tafel zur genauen Ermittlung des Wärmeinhaltes eingerichtet ist. Dagegen soll die später folgende Dampftafel 2 lediglich zur genauen Feststellung der v -Werte dienen; ihr Maßstab ist dementsprechend gewählt und ihre Benutzung in vielen Fällen zu bevorzugen.

Für niedrige Drücke und trocken-gesättigten Dampfzustand kann der spezifische Rauminhalt genauer den Meßstreifen auf der Dampftafel 1 oben links entnommen werden.

Beispiele:

1. $p = 0,23$ at abs.; $v = 6,8$ cbm/kg.
2. $p = 0,05$ at abs.; $v = 28,8$ cbm/kg.

Zustandsänderung des Wasserdampfes beim Drosseln.

Drosselvorgang.

Werden Wärmestrahlung und -ableitung vernachlässigt, so geht das Drosseln vom Druck p auf den geringeren Druck p' bei gleichbleibendem Wärmeinhalt vor sich. Die Drossellinie in der Mollier-Tafel ist deshalb eine von links nach rechts in der Höhe von i von p bis p' verlaufende Wage-rechte. Die Entropie nimmt beim Drosseln von s auf s' zu.

Beispiele:

1. $p = 16,4$ at abs., $t = 234^\circ\text{C}$, $p' = 11,5$ at abs.;
 $i = 692,5$ WE/kg, $t' = 228^\circ\text{C}$.

Die Temperatur hat beim Drosseln um $234 - 228 = 6^\circ\text{C}$ abgenommen, die Überhitzung ist jedoch um $(228 - 185) - (234 - 202) = 43 - 32 = 11^\circ\text{C}$ gestiegen.

2. $p = 12$ at abs., tr.-ges. Zust., $p' = 2$ at abs.;
 $i = 668$ WE/kg, $t' = 163^\circ\text{C}$.

Der vorher trocken-gesättigte Dampf ist nach dem Drosseln um $163 - 120 = 43^\circ\text{C}$ überhitzt.

Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes im ungedrosselten Dampf.

Beträgt die Drosseltemperatur im letzten Beispiel nur $t' = 142^\circ\text{C}$, so läßt sich durch Ziehen der wagerechten Drossellinie rückwärts von rechts nach links, vom Endzustand auf der p' -Linie bis zum Schnittpunkt mit der Linie des Anfangsdruckes p , feststellen, daß der Dampf zu Beginn des Drosselns nicht trocken-gesättigt war, sondern daß er nur einen Dampfgehalt von $x = 0,98$ hatte. (i' bei $p' = 2$ at abs. und $t' = 142^\circ\text{C} = 658,5$ WE/kg = i bei $p = 12$ at abs. und 2% Feuchtigkeit.) Der ungedrosselte Dampf führte also 2% Wasser, das bei arbeitleistender Expansion des Wasserdampfes keinen Arbeitsgewinn hätte bringen können, das aber unbeachtet den Dampfverbrauch einer Maschine zu Unrecht vergrößert hätte.

Grenze für die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes.

Beispiel:

$p = 7,5$ at abs., $p' = 0,5$ at abs. (~50% Vakuum), $t' = 80,9^\circ\text{C}$ = Temperatur des trocken-gesättigten und des feuchten Dampfes. Durch die rückwärts gezogene Drossellinie läßt sich ermitteln, daß der Dampfgehalt bei Beginn des Drosselns höchstens $x = 0,937$, der Feuchtigkeitsgehalt mindestens 6,3% war ($i' = 632$ WE/kg = i). Der Wassergehalt des Dampfes kann aber auch mehr als 6,3% betragen haben. In diesem Falle wäre infolge des Drosselns auf $p' = 0,5$ at abs. noch nicht die ganze Dampf-nässe verdampft; ein Rest bliebe noch im Drosseldampf enthalten, durch den aber die Drosseltemperatur, die dann lediglich vom Druck p' abhängt, nicht beeinflusst würde. Der Nachweis höhern Feuchtigkeitsgehaltes könnte nur durch Drosseln auf einen noch geringeren Druck erbracht werden. Die Messung wird erst eindeutig, sobald eine Überhitzung nach dem Drosseln auftritt, die allerdings nur ganz geringfügig zu sein braucht.

*Adiabatische Expansion des Wasserdampfes.**Gewinnbare Arbeit.*

Bei arbeitleistender Expansion des Dampfes vom Anfangsdruck p auf den Enddruck p_o ist dem Arbeitsgewinn L nach dem ersten Hauptsatz der Wärmetheorie eine ganz bestimmte Wärmemenge $Q = A \cdot L$ gleichwertig. $A = \frac{1}{427}$ ist das »mechanische Wärmeäquivalent«, d. h., 1 WE ist 427 mkg Arbeit gleichwertig.

Wird dem Dampf während der Expansion Wärme weder zugeführt noch entzogen, so wird bei dieser »adiabatischen« Zustandsänderung dem Dampf selbst diese der geleisteten Arbeit L_a gleichwertige Wärmemenge entzogen und es ist

$$i - i_o = A \cdot L_a.$$

Bei diesem idealen, »umkehrbaren« Vorgang bleibt die Entropie $s = \int \frac{di}{T}$ unverändert; Adiabaten sind demnach in der Mollier-Tafel Parallele zur Ordinatenachse, Senkrechte zwischen den Drucklinien p und p_o .

Aus der wärmetechnisch idealen und außerdem reibungslosen Dampfkraftmaschine könnte also eine Arbeit $L = \frac{1}{A} (i - i_0)$ mkg gewonnen werden. Der Rest i der Dampfwärme geht für den Zweck der Umwandlung von Wärme in Arbeit verloren, da weiteres »Wärmegefälle« fehlt, wenn bei der Expansion der durch äußere Umstände gegebene Enddruck p_0 erreicht ist.

Da im Ordinatenmaßstab der Mollier-Tafel 1 mm = 1 WE/kg ist, kann der Wärmewert der bei adiabatischer Expansion höchstens gewinnbaren Arbeit, das »verfügbare oder ausnutzbare Wärmegefälle«, als Länge der Adiabate in mm abgelesen werden, die WE/kg Dampf bedeuten. Die Subtraktion des Wärmeinhaltes i_0 am Ende der adiabatischen Expansion von i zu ihrem Beginn erfordert infolge des Millimeternetzes der Tafel kaum mehr Mühe, schließt dagegen Fehler des Maßstabes aus. Die Mollier-Tafel 1 hat im Vergleich mit der zweiten Mollier-Tafel (Dampf-tafel 1) lediglich den Vorteil größerer Übersichtlichkeit, der durch das Fortlassen der v -Linien erzielt worden ist.

Beispiele:

1. $p = 1,0$ at abs., tr.-ges. Zust., $p_0 = 0,08$ at abs.;
 $i - i_0 = 639,5 - 550,5 = 89$ WE/kg.
2. $p = 1,2$ at abs., tr.-ges. Zust., $p_0 = 0,08$ at abs.;
 $i - i_0 = 641,5 - 546,5 = 95$ WE/kg.
3. $p = 12$ at abs., tr.-ges. Zust., $p_0 = 1,2$ at abs.;
 $i - i_0 = 668 - 573,5 = 94,5$ WE/kg.
4. $p = 12$ at abs., $t = 250^\circ\text{C}$, $p_0 = 0,07$ at abs.;
 $i - i_0 = 704 - 509 = 195$ WE/kg.
5. $p = 14,3$ at abs., $t = 328^\circ\text{C}$, $p_0 = 0,05$ at abs.;
 $i - i_0 = 744,5 - 516,5 = 228$ WE/kg.

Theoretischer Dampfverbrauch D_a bei adiabatischer Expansion.

Die Einheit der Leistung ist

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ mkg/sek} = 75 \cdot 3600 = 270\,000 \text{ mkg/st.}$$

Im Wärmemaß ausgedrückt ist

$$1 \text{ PS} = A \cdot 75 \cdot 3600 = \frac{1}{427} 270\,000 = 632,3 \text{ WE/st}$$

(der entsprechende Wert der elektrischen Einheit ist 1 KW = 859,1 WE/st). Bei adiabatischer Expansion des Dampfes von p auf p_0 können $i - i_0$ WE/kg Dampf in Arbeit umgewandelt werden. Der stündliche theoretische, adiabatische Expansion voraussetzende Dampfverbrauch D_a für 1 PS ist demnach bei jeder reibungsfreien Dampfkraftmaschine

$$D_a = \frac{632,3}{i - i_0} \text{ kg/PS st.} \quad \left(\frac{\text{WE}}{\text{PS st.}} : \frac{\text{WE}}{\text{kg}} = \frac{\text{kg}}{\text{PS st.}} \right)$$

Beispiele:

Bei dem ausnutzbaren Wärmegefälle von $i - i_0 = 89$ WE/kg im ersten der vorstehenden Zahlenbeispiele wäre

$$D_a = \frac{632,3}{89} = 7,11 \text{ kg/PS st.}$$

im letzten Zahlenbeispiel bei neuzeitlichen Dampfverhältnissen wäre

$$D_a = \frac{632,3}{228} = 2,77 \text{ kg/PS st.}$$

Wirkungsgrade bei der Umwandlung der verfügbaren Dampfwärme in Arbeit.

Indizierter Gütegrad.

Es ist unmöglich, in einer Kolbendampfmaschine oder Dampfturbine das ganze verfügbare Wärmegefälle $i - i_0$ in Arbeit umzuwandeln; die Expansion verläuft nicht adiabatisch, die Entropie bleibt nicht unverändert. Infolge von Dampfdrosselung, Dampfreibung, Wärmeaustausch und -ableitung während der Arbeitsleistung weicht der praktische Vorgang von dem idealen Vorgang der Adiabate ab, und die Entropie nimmt praktisch mehr oder weniger zu. Die Expansionslinie in der Mollier-Tafel weicht also nach rechts hin ab und erreicht die Enddrucklinie p_0 bei einem Wärmeinhalt i_0' , der, je nach »Güte« der Maschine mehr oder minder größer als i_0 ist. Der Quotient $\frac{i - i_0'}{i - i_0}$ ist

der indizierte Gütegrad $\eta_{i, \text{güte}}$ der Dampfkraftmaschine, der sich in der Mollier-Tafel dadurch darstellen läßt, daß man von i_0' auf der p_0 -Linie aus eine Wagerechte nach links hin zieht, welche die senkrechte Adiabate zwischen Anfangszustand und Enddruck in zwei Teile zerlegt. Der indizierte Gütegrad ist dann das Verhältnis des obern Abschnitts zur ganzen Länge der Adiabate.

Beispiel:

$$\begin{aligned} p &= 10 \text{ at abs., } t = 330^\circ\text{C, } p_0 = 0,5 \text{ at abs., } t_0' = 105^\circ\text{C,} \\ i &= 746 \text{ WE/kg, } i_0 = 604 \text{ WE/kg, } i_0' = 643 \text{ WE/kg,} \\ i - i_0 &= 746 - 604 = 142 \text{ WE/kg,} \\ i - i_0' &= 746 - 643 = 103 \text{ WE/kg,} \end{aligned}$$

$$\eta_{i, \text{güte}} = \frac{i - i_0'}{i - i_0} = \frac{103}{142} = 0,725.$$

Anstatt des ganzen Wärmegefälles $i - i_0$ bei adiabatischer Expansion wird praktisch nur das kleinere $i - i_0' = \eta_{i, \text{güte}} \cdot (i - i_0)$ in Arbeit umgewandelt. Die erzeugte indizierte Arbeit ist

$$L_i = \frac{1}{A} (i - i_0') = \frac{1}{A} \cdot \eta_{i, \text{güte}} (i - i_0) = \eta_{i, \text{güte}} L_a.$$

Dementsprechend ist auch der tatsächliche Dampfverbrauch D_i für 1 PS st der indizierten Leistung größer als der theoretische D_a .

$$D_i = \frac{632,3}{i - i_0'} = \frac{632,3}{\eta_{i, \text{güte}} (i - i_0)} = \frac{1}{\eta_{i, \text{güte}}} D_a \text{ kg/PS st.}$$

Im letzten Beispiel wäre der Dampfverbrauch anstatt theoretisch bei adiabatischer Expansion

$$D_a = \frac{632,3}{142} = 4,45 \text{ kg/PS st}$$

in Wirklichkeit

$$D_i = \frac{632,3}{103} = \frac{632,3}{0,725 \cdot 142} = \frac{4,45}{0,725} = 6,14 \text{ kg/PS st.}$$

Die Bestimmung des indizierten Gütegrades und damit des Dampfverbrauches der indizierten Leistungseinheit mit Hilfe der Mollier-Tafel ist jedoch nur möglich, wenn die tatsächliche Expansionslinie wie im letzten Beispiel ganz im Überhitzungsgebiet verläuft und nicht die Grenzkurve berührt oder schneidet. Endigt sie auf oder unter der

Grenzkurve, so ist durch einfache Temperatur- und Druckmessung die genaue Lage ihres Endpunktes nicht zu bestimmen, da Druck- und Temperaturlinien im Gebiete des feuchten Dampfes zusammenfallen. Der indizierte Gütegrad ist dann nur aus dem Ergebnis der bekannten Dampf-

verbrauchsversuche zu berechnen, $\eta_{i, \text{güte}} = \frac{D_a}{D_i}$. Nachträg-

lich läßt er sich dann allerdings in die Mollier-Tafel zur Bestimmung des Endpunktes der tatsächlichen Expansionslinie eintragen.

Indizierter Gütegrad bei mehrmaliger Expansion.

Bei Maschinen mit mehrmaliger Expansion, die mit überhitztem Dampf betrieben werden, verläuft meistens die erste Expansion vollständig im Überhitzungsgebiet. Dann sind nach der Mollier-Tafel der indizierte Gütegrad des Hochdruckteiles und sein spezifischer Dampfverbrauch zu bestimmen, während sich der gesamte indizierte Gütegrad und Dampfverbrauch nur durch Versuche ermitteln lassen. Ist man in der Lage, auch noch die Leistung des Hochdruckteiles festzulegen, wie bei Kolbendampfmaschinen mit Hilfe des Indikators, so ergibt sich der gesamte Dampfverbrauch des Hochdruckteiles, der mit dem des Niederdruckteiles und der ganzen Maschine gleichbedeutend ist. Aus diesem und der Niederdruckleistung lassen sich dann Dampfverbrauch und indizierter Gütegrad des Niederdruckteiles und aus der Gesamtleistung die entsprechenden Werte für die ganze Maschine festlegen, ohne daß Dampfverbrauchsversuche stattzufinden brauchen, die häufig mit Umständenlichkeiten verknüpft sind.

Mechanischer Wirkungsgrad.

Die indizierte Arbeit L_i ist die im Innern der Maschine aus der Dampfwärme umgewandelte Arbeit, die sich bei Kolbendampfmaschinen durch Druckwirkung auf die bewegten Kolben äußert und mit dem Indikator gemessen werden kann. Bei Dampfturbinen ist es die durch den strömenden Dampf an die Turbinenwelle innerhalb des Gehäuses übertragene Arbeit, die sich unmittelbar überhaupt nicht messen läßt.

Ein Teil dieser ursprünglich erzeugten Arbeit geht sofort wieder verloren durch mechanische Reibung zwischen den Maschinenteilen, welche die gewonnene Arbeit fortleiten, durch Luftreibung des Schwungrades, durch den Arbeitsbedarf der Steuerung und andere Ursachen. Die wirklich nach außen abgegebene Arbeit L_e ist mehr oder weniger kleiner als L_i . Der Quotient aus beiden, eine Zahl kleiner als 1, ist der mechanische Wirkungsgrad der Maschine

$$\eta_{\text{mech.}} = \frac{L_e}{L_i}$$

Bei Kolbendampfmaschinen mit ihren hin und her gehenden schweren Maschinenteilen für erhebliche Kräfte sind diese Reibungsverluste beträchtlich größer als bei Dampfturbinen; während sie bei diesen nur etwa 1–3% ausmachen, betragen sie bei jenen 7–15% der erzeugten indizierten Arbeit.

Effektiver Gütegrad.

Der Quotient aus der Nutzarbeit L_e und dem Höchstbetrag an gewinnbarer Arbeit L_a ist der effektive Gütegrad der Dampfkraftmaschine

$$\eta_{e, \text{güte}} = \frac{L_e}{L_a}$$

Er ist also das Produkt aus dem indizierten Gütegrad und dem mechanischen Wirkungsgrad.

$$\eta_{e, \text{güte}} = \eta_{i, \text{güte}} \cdot \eta_{\text{mech.}}$$

Durch ihn werden wohl zwei ganz verschiedene Verlustquellen zusammengeworfen, und die Anschauung über die einzelnen Vorgänge könnte leiden. Es kommt aber letzten Endes nicht auf die indizierte, sondern auf die Nutzleistung an. Besonders bei Dampfturbinen mit ihrem verhältnismäßig geringen Verlust durch mechanische Reibung hat sich der effektive Gütegrad als Vergleichsmaßstab eingebürgert, zumal da die indizierte Leistung sich nicht unmittelbar messen läßt wie bei Indikatoruntersuchungen an Kolbendampfmaschinen. Sie stellt erst die Summe aus effektiver Leistung und Lagerreibung dar, von denen die letztere erst nach Messung der erzeugten Reibungswärme in den Lagern errechnet werden kann. Bei Kolbenmaschinen dagegen mit ihrem weit höhern Reibungsverlust hält man meist und mit Recht an der getrennten Ermittlung oder Voraussetzung des indizierten Gütegrades und des mechanischen Wirkungsgrades fest. Nur zu Vergleichszwecken mit Dampfturbinen ist die Ermittlung des Produktes $\eta_{i, \text{güte}} \cdot \eta_{\text{mech.}} = \eta_{e, \text{güte}}$ unbedingt erforderlich.

Der Dampfverbrauch D_e für 1 PS_est der Nutzleistung steht im umgekehrten Verhältnis zu D_i für 1 PS_ist der indizierten Leistung wie die Nutzleistung N_e zur indizierten Leistung N_i .

$$D_e = D_i \frac{N_i}{N_e} = D_i \frac{1}{\eta_{\text{mech.}}} \\ = \frac{1}{\eta_{\text{mech.}}} \cdot \frac{D_a}{\eta_{i, \text{güte}}} = \frac{D_a}{\eta_{e, \text{güte}}} = \frac{1}{\eta_{e, \text{güte}}} \cdot \frac{632,3}{i - i_o}$$

Beispiel:

$$p = 11,5 \text{ atabs.}, t = 244^\circ \text{C}, p_o = 0,12 \text{ atabs.}, D_i = 4,7 \text{ kg/PS}_i\text{st},$$

$$\eta_{\text{mech.}} = 91,5\%;$$

$$i - i_o = 701 - 524,5 = 176,5 \text{ WE/kg.}$$

$$D_a = \frac{632,3}{176,5} = 3,58 \text{ kg/PS}_i\text{st}, \eta_{i, \text{güte}} = \frac{3,58}{4,7} = 0,762.$$

$$D_e = \frac{4,7}{0,915} = 5,13 \text{ kg/PS}_e\text{st},$$

$$\eta_{e, \text{güte}} = \frac{3,58}{5,13} = 0,698 = 0,762 \cdot 0,915.$$

Umrechnung des Dampfverbrauches unter Annahme unveränderten Gütegrades.

Weichen die Dampfverhältnisse und damit die ausnutzbaren Wärmegefälle $(i - i_o)_1$ und $(i - i_o)_2$ nicht beträchtlich voneinander ab, so kann aus dem ermittelten Dampfverbrauch D_1 der Dampfverbrauch D_2 unter Zugrundelegung gleichen indizierten oder effektiven Gütegrades ermittelt werden.

Beispiel:

$$p_1 = 9,8 \text{ at abs.}, \quad t_1 = 271^\circ\text{C}, \quad p_{01} = 0,084 \text{ at abs.},$$

$$D_1 = 5,02 \text{ kg/PSst},$$

$$p_2 = 10,0 \text{ at abs.}, \quad t_2 = 275^\circ\text{C}, \quad p_{02} = 0,08 \text{ at abs.}, \quad D_2 = ?$$

$$(i - i_0)_1 = 716 - 528 = 188 \text{ WE/kg},$$

$$(i - i_0)_2 = 718 - 527,5 = 190,5 \text{ WE/kg},$$

$$D_2 = 5,02 \frac{188}{190,5} = 4,95 \text{ kg/PS}_2\text{st}$$

$$\left(\eta_{i. \text{güte } 1} = \frac{632}{5,02 \cdot 188} = 0,67 = \frac{632}{4,95 \cdot 190,5} = \eta_{i. \text{güte } 2} \right).$$

Ergäbe sich bei denselben Dampfverhältnissen

$$D_{e1} = 5,4 \text{ kg/PS}_e\text{st, so wäre}$$

$$D_{e2} = 5,4 \frac{188}{190,5} = 5,33 \text{ kg/PS}_e\text{st}$$

$$\left(\eta_{e. \text{güte } 1} = \frac{632}{5,4 \cdot 188} = 0,623 = \frac{632}{5,33 \cdot 190,5} = \eta_{e. \text{güte } 2} \right).$$

Beeinflussung des Dampfverbrauches durch das Drosseln des Anfangsdruckes.

Mit dem Drosseln vom Anfangsdruck p auf den Drossel-
druck p' nimmt die Entropie zu, das ausnutzbare Wärme-
gefälle dagegen ab; es wird gleich Null, wenn man bis
auf den Enddruck p_0 drosselt. Das verringerte Wärme-
gefälle $(i - i_0)'$ nach teilweiser Drosselung kann der Mollier-
Tafel als Länge der Adiabate vom Drossel-
druck p' und dem Wärmeinhalt i des ungedrosselten Dampfes bis zum
Enddruck p_0 entnommen werden. Der theoretische Dampf-
verbrauch D_a' wächst in demselben Verhältnis, in dem
sich das Wärmegefälle durch das Drosseln verringert hat;
der tatsächliche Dampfverbrauch und damit der Kohlen-
verbrauch wachsen angenähert im gleichen Maße.

Beispiele:

1. $p = 11 \text{ at abs.}$, tr.-ges. Zustand, Drossel-
druck $p' = 6 \text{ at abs.}$, $p_0 = 0,15 \text{ at abs.}$

$$i - i_0 = 667 - 510 = 157 \text{ WE/kg},$$

$(i - i_0)' = 667 - 530 = 137 \text{ WE/kg}$. Das Wärmegefälle
nimmt um 12,8% ab, der theoretische Dampfverbrauch

$$\text{steigt von } D_a = \frac{632}{157} = 4,03 \text{ auf } D_a' = \frac{632}{137} = 4,61$$

kg/PSst, nimmt also um 14,5% zu.

2. $p = 14,5 \text{ at abs.}$, $t = 320^\circ\text{C}$, Drossel-
druck $p' = 7 \text{ at abs.}$, $p_0 = 0,1 \text{ at abs.}$,

$$i - i_0 = 740 - 535,5 = 204,5 \text{ WE/kg},$$

$(i - i_0)' = 740 - 559 = 181 \text{ WE/kg}$. Ist der Dampf-
verbrauch der Maschine bei ungedrosseltem Dampf

$D_e = 4,7 \text{ kg/PS}_e\text{st}$, so ist der Verbrauch an Drossel-
dampf unter Annahme unveränderten effektiven Güte-

$$\text{grades } D_e' = 4,7 \frac{204,5}{181} = 5,31 \text{ kg/PS}_e\text{st. Der Kohlen-}$$

verbrauch würde also durch das Drosseln um 13%
gesteigert werden.

In Wirklichkeit ist der eine Faktor des effektiven Güte-
grades, der indizierte Gütegrad der Ausnutzung des ver-
ringerten Wärmegefälles des Drosseldampfes, um einen
geringen Betrag besser als beim ungedrosselten Dampf.

Der ungedrosselt trocken-gesättigte Dampf hat infolge der
Drosselung Überhitzung erhalten, der schon überhitzte
Dampf hat weitere Überhitzung gewonnen. Der Mollier-
Tafel ist zu entnehmen, daß die Überhitzung im ersten
Beispiel nach dem Drosseln $170 - 158 = 12^\circ\text{C}$ betragen
hat und im zweiten Beispiel von $320 - 194 = 126$ auf
 $316 - 164 = 152^\circ\text{C}$ gestiegen ist. Mit steigender Über-
hitzung nimmt der Gütegrad etwas zu. Praktisch wird
aber dieser kleine Vorteil durch die Wärmeausstrahlungs-
verluste beim Drosseln selbst wieder aufgehoben, so daß
der volle errechnete Verlust auch praktisch eintritt. Der
Verlust infolge des Drosselns wird verhältnismäßig desto
beträchtlicher, je geringer das verfügbare Wärmegefälle ist;
bei Auspuffmaschinen ist also das Drosseln verlustreicher
als bei Kondensationsbetrieb.

Zum Vergleich zweier Maschinen eignen sich ihre Güte-
grade nur, wenn beide unter gleichen oder annähernd glei-
chen Dampfverhältnissen arbeiten. Bei wesentlich ver-
schiedenen Dampfdrücken und Temperaturen würden auch
gleiche Maschinen mit beträchtlich verschiedenem Güte-
grad das jeweils verfügbare Wärmegefälle in Arbeit um-
wandeln. In den weiter unten folgenden Dampf-
tafeln 7-11 sind die indizierten Gütegrade von Kolbendampf-
maschinen abhängig von Anfangsdruck, Anfangstemperatur und End-
druck für verschiedene Leistungen, Kolbengeschwindig-
keiten und Maschinenbauarten dargestellt, Dampf-
tafel 12 zeigt die effektiven Gütegrade von Dampfturbinen in ähn-
licher Abhängigkeit.

Daß die Gütegrade kein Maßstab für die Wirtschaft-
lichkeit von Dampfkraftmaschinen sein können, zeigt am
augenscheinlichsten der Vergleich zwischen Auspuff- und
Kondensationsbetrieb bei Kolbendampfmaschinen. Die
Auspuffmaschine hat infolge des geringern Temperatur-
unterschiedes bei höherem Enddruck den bessern Gütegrad,
obgleich ihr Dampfverbrauch doch wesentlich höher als bei
Betrieb mit Kondensation ist. Einen Maßstab für die Wirt-
schaftlichkeit liefert erst der späterhin erläuterte thermische
Wirkungsgrad.

Feuchtigkeitsgehalt des Abdampfes von Dampfkraftmaschinen.

Bei arbeitender Expansion des Dampfes nimmt
sein Wärmeinhalt ab, überhitzter Dampf verliert seine Über-
hitzung und wird schließlich feucht. Entsprechend dem Höchst-
betrag an Arbeitsgewinn bei adiabatischer Expansion wird
auch nach diesem idealen Vorgang der Feuchtigkeitsge-
halt des Abdampfes, sofern die Expansionslinie die Grenz-
linie schneidet, einen Höchstwert erreichen. Entsprechend
dem Fehlbetrag an 100% Gütegrad der Energieumwand-
lung nimmt aber praktisch die Entropie zu, und die Ex-
pansionslinie endigt wohl auf der Enddrucklinie p_0 , aber
in einem Dampfgebiet, in dem ein geringerer Feuchtig-
keitsgehalt herrscht als am Endpunkt der Adiabate.

Beispiel:

$$p = 16 \text{ at abs.}, \quad t = 213^\circ\text{C},$$

$$p_0 = 0,09 \text{ at abs.}, \quad D_1 = 5,2 \text{ kg/PS}_1\text{st:}$$

$$i - i_0 = 680 - 492 = 188 \text{ WE/kg}, \quad D_a = \frac{632}{188} = 3,36 \text{ kg/PSst},$$

$$\eta_{i. \text{güte}} = \frac{3,36}{5,2} = 0,647.$$

$i - i_0' = 0,647 \cdot 188 = 121,5 \text{ WE/kg}$,
 $i_0' = i - (i - i_0') = 688 - 121,5 = 566,5 \text{ WE/kg}$. Bei diesem Wärmeinhalt und $p_0 = 0,09 \text{ at abs.}$ Druck herrscht eine spezifische Dampfmenge von $x = 0,915$ anstatt $x = 0,785$ am Endpunkt der Adiabate bei $i_0 = 492 \text{ WE/kg}$. Anstatt 21,5 % theoretisch sind praktisch nur 8,5 % Feuchtigkeit im austretenden Dampf, im Abdampf, enthalten.

Praktisch wird außer der Überhitzungswärme weniger Verdampfungswärme, weniger »latente Wärme« in Arbeit umgewandelt, als es bei adiabatischer Expansion der Fall sein würde.

Erreichbarer Mindestdampfdruck in Kondensatoren.

Infolge des geringen Feuchtigkeitsgehalts des Abdampfes ist sein Wärmeinhalt noch beträchtlich. Bei dem durch äußere Umstände festgelegten Enddruck p_0 ist ein weiterer Gewinn an Arbeit unmöglich; die große Restwärme i_0' geht für diesen Zweck verloren. Sie verpufft in die Atmosphäre, kann in Heizanlagen, Vorwärmern usw. für andere Zwecke benutzt werden oder muß, wenn man mit Enddrücken arbeiten will, die unter dem Druck der Umgebung liegen, in einer Kondensationsanlage an das Kühlwasser übergeleitet und mit diesem abgeführt werden. Obwohl es vielfach üblich ist, den Enddruck dann als Vakuum, als Unterdruck unter dem der Umgebung, in % der Atmosphäre anzugeben, ist diese Bezeichnung nicht eindeutig. Der Atmosphärendruck ist an verschiedenen Orten verschieden und ist auch am gleichen Ort Schwankungen unterworfen. Außerdem ist der Enddruck p_0 des Dampfes nicht vom Atmosphärendruck abhängig, sondern er wird allein durch die Temperatur des ablaufenden Kühlwassers begrenzt. Die Bezeichnung »absoluter Enddruck« ist daher der Angabe des Vakuums unbedingt vorzuziehen.

Die Kühlwasser-Austrittstemperatur t_a und damit der zugehörige theoretische absolute Dampfdruck, dessen Abhängigkeit von der Temperatur auf den Meßstreifen der ersten Mollier-Tafel (s. Tafel 1) unten rechts festgelegt ist, hängt ab vom Wärmeinhalt i_0' des Abdampfes, von der Kühlwasser-Eintrittstemperatur t_c und von der relativen

$$\text{Kühlwassermenge } y = \frac{\text{Kühlwassergewicht}}{\text{Dampfgewicht}}$$

Bei mittlern Dampfdrücken und Gütegraden ist der Wärmeinhalt des Abdampfes bei trocken-gesättigtem Dampf $i_0' = \sim 560 - 570 \text{ WE/kg}$, bei $t = 250^\circ\text{C}$ Anfangstemperatur $i_0' = \sim 580 - 590 \text{ WE/kg}$, schwankt also nicht beträchtlich.

Wenn das Kondensat mit der Kühlwasser-Austrittstemperatur t_a abläuft, so ist

$$(y + 1) t_a = i_0' + y \cdot t_c$$

$$t_a = \frac{i_0' + y \cdot t_c}{y + 1} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Der zur Temperatur t_a gehörende Dampfdruck würde im Dampfeintrittsstutzen des Kondensators herrschen, wenn er praktisch nicht durch Widerstände im Dampfweg des Kondensators, die von seiner Konstruktion abhängen,

durch den Teildruck der Luft im Kondensator, die durch nicht ganz zu vermeidende Undichtheiten eintritt, und durch die Trägheit des Wärmeüberganges vom Dampf zum Wasser bei der begrenzten Kühlfläche um einen gewissen Betrag erhöht würde.

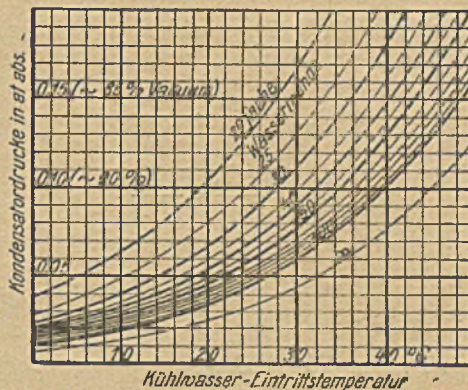


Abb. 3.
Theoretisch erreichbare absolute Kondensatorbrücke bei $i_0' = 575 \text{ WE/kg}$ Abdampf.

Abb. 3 ist für Abdampf mittlern Wärmeinhalts, für $i_0' = 575 \text{ WE/kg}$ berechnet. Die Eintrittstemperaturen t_c des Kühlwassers sind als Abszissen, die theoretisch erreichbaren Mindestdampfdrücke in at abs. als Ordinaten aufgetragen. Praktisch wird der absolute Druck im Kondensator aus den zuvor genannten Gründen um 0,01 bis 0,02 at höher sein, das Vakuum also um 1 bis 2 % geringer als der Darstellung entsprechend. Die Unsicherheit in der Annahme dieses Zuschlages berechtigt unbedingt dazu, den geringen Fehler zu vernachlässigen, der durch die Annahme unveränderten Wärmeinhaltes des Abdampfes $i_0' = 575 \text{ WE/kg}$ entsteht. Das Rechenverfahren, den höhern Kondensatorbrücke durch einen Temperaturzuschlag von 3 bis 6 °C zur theoretischen Ablauftemperatur zu berücksichtigen, deutet wohl auf eine der Ursachen hin, auf die Trägheit des Wärmeüberganges, ergibt aber für verschiedene Temperaturgebiete keine gleichen Werte und ist nicht zuverlässiger als der unmittlere Zuschlag zum Druck.

Beispiele:

1. $t_a = 22^\circ\text{C}$, $y = 45$ fach;
 p_0 theoretisch = 0,06 at abs.
 p_0 praktisch = $\sim 0,07 - 0,08$ at abs.
 ($\sim 92 - 93$ % Vakuum).
2. $t_a = 30^\circ\text{C}$, $y = 55$ fach;
 p_0 theoretisch = 0,075 at abs.
 p_0 praktisch = $\sim 0,09$ at abs. (~ 91 % Vakuum).

Thermische Wirkungsgrade der Dampfkraftmaschinen.

Der Gütegrad einer Dampfkraftmaschine ist der Quotient aus der gewonnenen indizierten oder effektiven Arbeit und dem Höchstwert, den eine verlustlos arbeitende Maschine aus der Dampfwärme in Arbeit umwandeln würde. Vergleicht man dagegen den Wärmewert der erzeugten Arbeit

mit der aufgewandten Wärme, mit dem Wärmeinhalt i des Dampfes vor dem Eintritt in die Maschine, so erhält man den thermischen Wirkungsgrad der Dampfkraftmaschine.

$$\eta_{\text{therm.}} = \frac{AL}{i} = \frac{632}{D_1 \cdot i}$$

Man muß auch hier sinngemäß einen indizierten und einen effektiven thermischen Wirkungsgrad unterscheiden.

$$\eta_{\text{L.therm.}} = \frac{AL_1}{i} = \frac{632}{D_1 \cdot i}$$

$$\eta_{\text{e.therm.}} = \frac{AL_e}{i} = \frac{632}{D_e \cdot i}$$

Beispiel:

$$p = 12,5 \text{ at abs.}, t = 260 \text{ }^\circ\text{C}, D_1 = 4,7 \text{ kg/PSst.}$$

$$D_e = 5,2 \text{ kg/PSest.}$$

$$\eta_{\text{mech.}} = 90\%, i = 709 \text{ WE/kg.}$$

$$\eta_{\text{L.therm.}} = \frac{632}{4,7 \cdot 709} = 0,19$$

$$\eta_{\text{e.therm.}} = \frac{632}{5,2 \cdot 709} = 0,17 = 0,19 \cdot 0,9.$$

Der erreichbare thermische Wirkungsgrad ist nur gering; er wird selbst bei den neuzeitlichsten Maschinen und Dampfverhältnissen 20 % schon überschreiten. Daran hat nur zum geringsten Teil die Maschine selbst schuld; der Hauptverlustfaktor liegt in der begrenzten Ausnutzungsmöglichkeit der Dampfwärme. Selbst bei idealer, adiabatischer Expansion würden beträchtliche Wärmemengen mit dem Abdampf unangemischt die Maschine verlassen. Die starke Entropiezunahme während der Dampferzeugung ist leider durch kein Mittel rückgängig zu machen; selbst bei dem idealen, umkehrbaren Vorgang der adiabatischen Expansion kann die Entropie nicht wieder vermindert, sondern höchstens bei Ausschaltung aller Verluste unverändert erhalten werden. Aus dem kleinen i -Gesamtdiagramm (s. Abb. 1) ist die Höhe des Verlustes maßstäblich ersichtlich. (Die Verhältnisse liegen infolge des Aufwandes der latenten Wärme bei der Verdampfung noch ungünstiger als bei vollkommenen Gasen, bei denen der thermische Wirkungsgrad durch den Carnotschen Kreisprozeß begrenzt

$$\text{wird, } \eta_{\text{Carnot}} = \frac{T - T_0}{T} = \frac{t - t_0}{273 + t}$$

Diese Betrachtung des theoretischen Vorganges bei der Dampferexpansion führt zwanglos zu einer Zerlegung der thermischen Wirkungsgrade. Nennt man den Quotienten aus dem Höchstwert der bei adiabatischer Expansion in Arbeit umzuwandelnden Wärmemenge $i - i_0$ und der aufgewandten Wärmemenge i den thermischen Wirkungsgrad der Adiabate $\eta_{\text{therm. a.}}$, so ist der thermische Wirkungsgrad der praktischen Wärmenumwandlung aus Produkt aus diesem und dem Gütegrad der Maschine.

$$\eta_{\text{therm.}} = \eta_{\text{therm. a.}} \cdot \eta_{\text{Güte}} = \frac{i - i_0}{i} \cdot \eta_{\text{Güte}} = \frac{632}{D_1 \cdot i} \cdot \eta_{\text{Güte}}$$

$$\eta_{\text{e.therm.}} = \eta_{\text{therm. a.}} \cdot \eta_{\text{Güte}} = \frac{i - i_0}{i} \cdot \eta_{\text{Güte}} = \frac{632}{D_e \cdot i} \cdot \eta_{\text{Güte}} \cdot \eta_{\text{mech.}}$$

Beispiel:

$$p = 9,8 \text{ at abs.}, t = 262 \text{ }^\circ\text{C}, p_0 = 0,11 \text{ at abs.}, D_1 = 4,7 \text{ kg/PSst.},$$

$$D_e = 5,2 \text{ kg/PSest.}$$

$$\eta_{\text{mech.}} = \frac{4,7}{5,2} = 0,904, i - i_0 = 712 - 534 = 178 \text{ WE/kg.}$$

$$D_1 = \frac{632}{178} = 3,55 \text{ kg/PSst.}$$

$$\eta_{\text{therm.}} = \frac{178}{712} = 0,25,$$

$$\eta_{\text{L.güte}} = \frac{3,55}{4,7} = 0,755 = \frac{632}{4,7 \cdot 178},$$

$$\eta_{\text{e.güte}} = \frac{3,55}{5,2} = 0,683 = \frac{632}{5,2 \cdot 178} = 0,755 \cdot 0,904,$$

$$\eta_{\text{L.therm.}} = 0,25 \cdot 0,755 = 0,189 = \frac{632}{4,7 \cdot 712},$$

$$\eta_{\text{e.therm.}} = 0,25 \cdot 0,683 = 0,171 = \frac{632}{5,2 \cdot 712} = 0,25 \cdot 0,755 \cdot 0,904.$$

Der eine Faktor des thermischen Wirkungsgrades, der den Hauptverlustanteil in sich schließt, der thermische Wirkungsgrad der Adiabate, ist ein theoretischer Wert, der nach der Mollier-Tafel genau ermittelt werden kann. Er steigt mit dem Anfangsdruck und der Temperatur des Dampfes, beträchtlich jedoch mit der Abnahme des Enddruckes. Die im untern Teil der weiter unten folgenden Dampfataeln 4 und 5 dargestellten theoretischen Wirkungsgrade veranschaulichen den Einfluß der drei Faktoren.

Für sich allein ist aber der theoretische thermische Wirkungsgrad der Adiabate kein Maßstab für die Güte der Dampfausnutzung und damit des Brennstoffes. Seine Erhöhung durch Verbesserung der Dampfverhältnisse brächte wirtschaftlich keinen Vorteil, wenn damit eine Verschlechterung des Gütegrades, des zweiten Faktors des tatsächlichen thermischen Wirkungsgrades, verknüpft wäre, wie es beispielsweise bei normalen Kolbendampfmaschinen durch Erhöhung des Vakuums über 85–90 % der Fall ist. Erst das Produkt aus dem thermischen Wirkungsgrad der Adiabate und dem effektiven Gütegrad berücksichtigt alle Verlustquellen.

Will man daher die Wirtschaftlichkeit der Dampfausnutzung zweier Maschinen miteinander vergleichen, die unter ganz verschiedenen Dampfverhältnissen arbeiten, so ist nur der effektive thermische Wirkungsgrad der richtige Vergleichsmaßstab. Für die Beurteilung ist dann nur noch die Übereinstimmung der Dampfverhältnisse mit den Entwurfsgrundlagen und die jeweilige relative Belastung in Betracht zu ziehen.

Dampfgeschwindigkeit beim Ausströmen durch Düsen.

Strömt Dampf mit der Geschwindigkeit w durch eine Düse aus einem Raum höhern Druckes p in einen andern niedrigeren Druckes p_0 , so findet in der Düse adiabatische Expansion statt, wenn von Reibungsverlusten und Wärmeleitung abgesehen wird. Der Wärmewert $i - i_0$ der Expansionsarbeit $\int v dp$ ist der Mollier-Tafel in WE/kg Dampf zu entnehmen. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der

Energie muß sich die vernichtete potentielle Energie $\int v \cdot dP = \frac{1}{A}(i-i_0)$ in der kinetischen der Strömung $M \frac{w^2}{2}$ wiederfinden. Demnach ist

$$\frac{w^2}{2g} = \frac{1}{A}(i-i_0)$$

$$w = \sqrt{2g \frac{1}{A}(i-i_0)} \text{ m/sek} \left(\sqrt{\frac{\text{m}}{\text{sek}^2} \frac{\text{mkg}}{\text{kg}} \frac{\text{m}}{\text{sek}}} \right)$$

Da $g = 9,81 \text{ m/sek}^2$ und $A = \frac{1}{427}$ ist, so wird

$$w = 91,5 \sqrt{i-i_0} \text{ m/sek.}$$

Beispiele:

1. $p = 12,6 \text{ at abs.}$, $t = 264 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_0 = 1,2 \text{ at abs.}$

$$i-i_0 = 711,5 - 604,5 = 107 \text{ WE/kg,}$$

$$w = 91,5 \sqrt{107} = 947 \text{ m/sek.}$$

2. $p = 1,2 \text{ at abs.}$, tr.-ges. Zustand, $p_0 = 0,08 \text{ at abs.}$

$$i-i_0 = 614,5 - 546 = 95,5 \text{ WE/kg,}$$

$$w = 91,5 \sqrt{95,5} = 894 \text{ m/sek.}$$

Auf den vier Meßstreifen der Dampftafel 1 unten rechts sind die theoretischen Dampfgeschwindigkeiten ohne weiteres ablesbar.

Beispiele:

1. $i-i_0 = 2,3 \text{ WE/kg}$; $w = 138,8 \text{ m/sek.}$

2. $i-i_0 = 9,4 \text{ WE/kg}$; $w = 281 \text{ m/sek.}$

3. $i-i_0 = 18,7 \text{ WE/kg}$; $w = 396 \text{ m/sek.}$

4. $i-i_0 = 34,2 \text{ WE/kg}$; $w = 535 \text{ m/sek.}$

Die neben dem letzten dieser Meßstreifen angegebene kritische Dampfgeschwindigkeit für verschiedene Drücke und Temperaturen wird in den Ausführungen zur Dampftafel 3 bei der Ermittlung des ausströmenden Dampfgewichtes erläutert.

Für sehr geringe Druckunterschiede $p-p_0$, deren Wärmegefälle auf der Mollier-Tafel nicht mehr genau ablesbar ist, sind zur Bestimmung der trotzdem schon erheblichen Dampfgeschwindigkeit in der Beschreibung der Dampftafel 2 Näherungsgleichungen entwickelt, die nur ganz unerheblich vom theoretischen Wert abweichen und mit dem Rechenschieber in einfachster Weise ausgewertet werden können.

Die tatsächliche Dampfgeschwindigkeit am Ende der Düse ist $\varphi \cdot w$, wenn φ den Ausströmoeffizienten, eine Zahl kleiner als 1, bezeichnet. φ ist abhängig von der Höhe des Druckunterschiedes $p-p_0$, vom Zustand des Dampfes, der überhitzt, trocken-gesättigt oder feucht sein kann, und schließlich von der Düse selbst, von ihrer Form und der Beschaffenheit ihrer Wandung.

Rauminhalt des Wasserdampfes.

Spezifischer Rauminhalt v , Rauminhalt von 1 kg Dampf, und spezifisches Gewicht γ , Gewicht von 1 cbm Dampf (nicht bezogen auf Luft = 1), sind einander reziproke Werte. Ihre Größe ist nicht wie bei vollkommenen Gasen durch die einfache Zustandsgleichung $Pv = RT$ zu ermitteln. Einmal ist die Temperatur bei feuchtem und trocken-gesättigtem Dampf schon eine Funktion lediglich des Druckes; sodann

hat die sinngemäß benutzte Gaskonstante R infolge der Nähe des Verflüssigungspunktes einen veränderlichen Wert. Über die Größe dieses Wertes und seine Veränderlichkeit gibt die Zahlentafel 2 einen Überblick.

Zahlentafel 2.
Gaskonstante R für Wasserdampf.

Dampfdruck p in at abs.	0,1	0,5	1	2	5	10	15	20
Temperatur des trocken-ges. Dampfes in $^\circ\text{C}$	45,6	80,9	99,1	119,6	151,0	178,9	197,2	211,3
Trocken-ges. Zustand	46,8	46,5	46,3	45,9	45,0	44,1	43,4	42,8
Temperatur des überhitzten Dampfes $^\circ\text{C}$	200	250	300	350				
Werte von R					45,8	44,6	43,5	
					46,2	45,5	44,8	44,1
					46,5	46,1	45,6	45,2
					46,7	46,4	46,1	45,8

Der Wert R fällt mit steigendem Druck. Mit dem Übergang ins Überhitzungsgebiet, mit der Zunahme der Entfernung vom Verflüssigungspunkt, steigt R wieder und nähert sich seinem Höchstwert, der nach dem Gesetz von

$$\text{Avogadro } R = \frac{848}{2,016 + 16} = 47,07 = \sim 47 \text{ betragen muß.}$$

Man ist mit Hilfe dieser Zahlentafel in der Lage, bei bekannter Temperatur, also ohne weiteres in Überhitzungsgebiet, nach Interpolation des Wertes R durch Anwendung der Zustandsgleichung den Rauminhalt des Wasserdampfes

$$v = \frac{RT}{P} \frac{R(273+t)}{10000 p}$$

ziemlich genau zu berechnen.

In die zweite Mollier-Tafel (Dampftafel 1) sind die Linien gleichen Rauminhaltes gestrichelt eingezeichnet. Für beliebigen Dampfzustand kann dort also v in cbm/kg unmittelbar abgelesen werden. Die Genauigkeit der Ermittlung ist aber nicht sehr groß, da der Aufbau der Mollier-Tafel zur Bestimmung des Wärmeinhaltes zweckentsprechend gewählt ist.

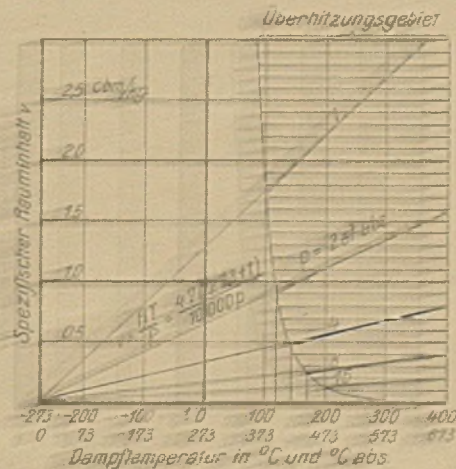


Abb. 4.
Abhängigkeit des Rauminhaltes v von der absoluten Temperatur T und Abweichung vom Gasgesetz $P \cdot v = R \cdot T$.

Die Dampftafel 2 soll dagegen lediglich zur genauen Ermittlung des spezifischen Rauminhaltes dienen. In der Abb. 4 sind als Ordinaten die Rauminhalte des Dampfes, als Abszissen die Temperaturen, vom absoluten Nullpunkt $-273 \text{ }^\circ\text{C}$

ausgehend, aufgetragen. Die geringe Abweichung von der Zustandsgleichung für vollkommene Gase zeigt sich maßstäblich im Überhitzungsgebiet als Abstand der v -Linien für gleiche Drücke von den entsprechenden dünnen Linien, die dem Mariotte-Gay-Lussacschen Gasgesetz entsprechend geradlinig am absoluten Nullpunkt der Temperatur zusammenlaufen. Bei feuchtem Dampf nimmt der Rauminhalt im gleichen Verhältnis mit der relativen Feuchtigkeit ab unter Beibehaltung seiner Temperatur, in der Abb. 4 also bei unveränderter Abszisse.

In der Dampf tafel 2 sind drei Teilgebiete der Abb. 4 vergrößert dargestellt; die Maßstäbe sind so gewählt, daß das ganze für die Praxis wichtige Dampfgebiet umfaßt wird. Beispiele:

1. $p = 10$ at abs., tr.-ges. Zust.;

$$v = 0,199 \text{ cbm/kg}, \quad \gamma = \frac{1}{0,199} = 5,02 \text{ kg/cbm.}$$

2. $p = 10$ at abs., $t = 300^\circ\text{C}$;

$$v = 0,264 \text{ cbm/kg}, \quad \gamma = \frac{1}{0,264} = 3,79 \text{ kg/cbm.}$$

3. $p = 6,9$ at abs., $t = 268^\circ\text{C}$;

$$v = 0,362 \text{ cbm/kg}, \quad \gamma = \frac{1}{0,362} = 2,76 \text{ kg/cbm.}$$

4. $p = 1,94$ at abs., $t = 183^\circ\text{C}$;

$$v = 1,09 \text{ cbm/kg}, \quad \gamma = \frac{1}{1,09} = 0,92 \text{ kg/cbm.}$$

5. $p = 1,52$ at abs., tr.-ges. Zust.;

$$v = 1,17 \text{ cbm/kg}, \quad \gamma = \frac{1}{1,17} = 0,855 \text{ kg/cbm.}$$

6. $p = 25$ at abs., $t = 325^\circ\text{C}$;

$$v = 0,118 \text{ cbm/kg}, \quad \gamma = \frac{1}{0,118} = 8,47 \text{ kg/cbm.}$$

Rauminhalt tr.-ges. Dampfes
bei niedrigen Drücken



Dampf tabel 2. Rauminhalt des Wasserdampfes in cbm/kg.

Auf der linken Seite der Abbildung ist schließlich auf 3 Meßstreifen der spezifische Rauminhalt des Wasserdampfes bei trocken-gesättigtem Zustand für niedrige Drücke ablesbar.

Beispiele:

1. $p = 1,2$ at abs.; $v = 1,452$ cbm/kg,
 $\gamma = 0,689$ kg/cbm.

2. $p = 1,0333$ at abs.; $v = 1,67$ cbm/kg,
 $\gamma = 0,699$ kg/cbm.

3. $p = 1,0$ at abs.; $v = 1,722$ cbm/kg,
 $\gamma = 0,581$ kg/cbm.

4. $p = 0,586$ at abs.; $v = 2,84$ cbm/kg,
 $\gamma = 0,352$ kg/cbm.

5. $p = 0,15$ at abs.; $v = 10,19$ cbm/kg,
 $\gamma = 0,098$ kg/cbm.

6. $p = 0,08$ at abs.; $v = 18,4$ cbm/kg,
 $\gamma = 0,0543$ kg/cbm.

Ist Wasserdampf feucht, so ist sein spezifischer Rauminhalt um den relativen Feuchtigkeitsgehalt geringer, sein Gewicht entsprechend höher als bei trocken-gesättigtem Zustand. Der Rauminhalt des im Dampf dann enthaltenen Wassers ist für technische Rechnungen zu vernachlässigen.

$$v_f = x \cdot v_{\text{tr.-ges.}}; \quad \gamma^f = \frac{1}{x} \gamma_{\text{tr.-ges.}}$$

Beispiel:

$p = 9,9$ at abs., relative Dampfmenge
 $x = 0,95$;

$v_{\text{tr.-ges.}} = 0,2$ cbm/kg, $v_f = 0,95 \cdot 0,2$
 $= 0,19$ cbm/kg,

$\gamma = 0,527$ kg/cbm. (Genauer ist
 $v_f = 0,95 \cdot 0,2 + 0,05 \cdot 0,001$
 $= 0,19005$ cbm/kg. Die Abweichung
der ersten Rechnung von der genauern
ist also für die Praxis belanglos.)

Man wird zuweilen die Ermittlung des Rauminhaltes mit Hilfe der Dampf tabel 1 bevorzugen, da man dort z. B. für

den Endpunkt irgendeiner Expansionslinie v unmittelbar ablesen kann. Die Benutzung der Dampf tabel 2 nach Festlegung des Dampfzustandes bietet aber stets den Vorteil größerer Genauigkeit.

Zunahme des Rauminhaltes bei der Expansion des Wasserdampfes.

Bei gesetzmäßiger, adiabatischer oder polytropischer Expansion des Dampfes mit dem Exponenten n der Zustandsänderung vom Druck p auf p_0 ist $pv^n = \text{unveränderlich}$. Aus dem Anfangsvolumen v läßt sich daher das Endvolumen v_0 rechnerisch bestimmen, sobald der Exponent n der Expansionslinie bekannt ist.

$$v_0 = v \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Der Zahlentafel 3 kann für das Anfangsvolumen $v = 100$ das Endvolumen v_0 , also das 100fache Verhältnis $\frac{v_0}{v} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{n}}$ für verschiedene Druckverhältnisse und Exponenten entnommen werden. Umgekehrt ist aus dem

Zahlentafel 3.

Endvolumen v_0 nach Expansion von p auf p_0 beim Anfangsvolumen $v = 100$.

$$v_0 = 100 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$\frac{p}{p_0}$	Exponent der Expansionslinie									
	1,0	1,05	1,1	1,135	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4
0,95	105,3	105,0	104,8	104,6	104,4	104,2	104,0	103,9	103,7	103,7
0,90	111,1	110,6	110,1	109,7	109,6	109,2	108,8	108,4	108,1	107,8
0,85	117,6	116,7	115,9	115,4	115,2	114,5	113,9	113,3	112,8	112,3
0,80	125,0	123,4	122,2	121,5	121,2	120,0	119,3	118,5	117,8	117,1
0,75	133,3	131,5	129,9	128,8	128,4	127,1	125,9	124,8	123,8	122,8
0,70	142,9	140,5	138,3	136,9	136,4	134,6	133,0	131,6	130,2	129,0
0,65	153,8	150,7	147,9	146,2	145,4	143,2	141,1	139,3	137,6	136,0
0,60	166,7	162,6	159,1	156,8	155,9	153,1	150,5	148,1	146,0	144,0
0,55	181,8	176,8	172,2	169,3	168,2	164,6	161,3	158,4	155,7	153,3
0,50	200	193,5	187,8	184,2	182,7	178,2	174,1	170,4	167,1	164,1
0,48	208	201	194,9	190,9	189,3	184,3	179,9	175,9	172,2	168,9
0,46	217	209	203	198,2	196,5	191,0	186,1	181,7	177,7	174,1
0,44	227	219	211	206	204	198,2	192,9	188,0	183,7	179,8
0,42	238	228	220	215	213	206	200	194,9	190,1	185,8
0,40	250	239	230	224	222	215	208	202	197,1	192,4
0,38	263	251	241	235	232	224	217	210	205	199,6
0,36	278	265	253	246	243	234	226	219	213	207
0,34	294	279	267	259	256	246	237	229	222	216
0,32	313	296	282	273	269	258	249	240	233	226
0,30	333	315	299	289	285	273	262	252	244	236
0,28	357	336	318	307	303	289	277	266	257	248
0,26	385	361	340	328	323	307	294	282	271	262
0,24	417	389	366	352	346	328	313	300	288	277
0,22	455	423	396	380	373	353	336	321	307	295
0,20	500	463	432	413	405	382	362	345	329	316
0,19	526	486	453	432	424	399	378	359	342	327
0,18	556	512	475	454	445	418	395	374	356	340
0,17	588	541	501	476	467	438	413	391	372	355
0,16	625	573	529	503	492	461	433	409	390	370
0,15	667	609	561	532	521	486	456	430	408	388
0,14	714	650	597	565	553	515	482	454	429	407
0,13	769	698	639	604	590	547	511	480	453	429
0,12	833	753	687	648	632	585	545	511	481	455
0,11	909	818	744	699	682	629	585	546	513	484
0,10	1000	896	811	760	741	681	631	588	550	518

$\frac{p}{p_0}$	Exponent der Expansionslinie									
	1,0	1,05	1,1	1,135	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4
1,1	110	109,5	109,1	108,8	108,6	108,3	107,9	107,6	107,3	107,0
1,2	120	119,0	118,0	117,4	117,2	116,4	115,7	115,1	114,5	113,9
1,3	130	128,4	126,9	126,0	125,6	124,4	123,4	122,4	121,5	120,6
1,4	140	137,8	135,8	134,5	134,0	132,4	130,9	129,5	128,3	127,1
1,5	150	147,1	144,6	142,9	142,3	140,2	138,3	136,6	135,0	133,6
1,6	160	156,5	153,3	151,3	150,5	147,9	145,6	143,6	141,6	139,9
1,7	170	165,8	162,0	159,6	158,6	155,6	152,9	150,4	148,2	146,1
1,8	180	175,0	170,6	167,8	166,7	163,2	160,0	157,2	154,6	152,2
1,9	190	184,3	179,2	176,0	174,7	170,7	167,1	163,8	160,9	158,2
2,0	200	193,5	187,8	184,2	182,7	178,2	174,1	170,4	167,1	164,1
2,2	220	212	205	200	198,5	192,9	187,8	183,4	179,3	175,6
2,4	240	230	222	216	214	207	201	196,1	191,3	186,9
2,6	260	248	238	232	230	222	215	209	203	197,9
2,8	280	267	255	248	245	236	228	221	214	209
3,0	300	285	272	263	260	250	241	233	226	219
3,2	320	303	288	279	275	264	254	245	237	230
3,4	340	321	304	294	290	277	266	256	248	240
3,6	360	339	321	309	305	291	279	268	258	250
3,8	380	357	337	324	319	304	291	279	269	260
4,0	400	374	353	339	334	317	303	290	279	269
4,2	420	392	369	354	348	331	315	302	290	279
4,4	440	410	385	369	363	344	327	313	300	288
4,6	460	428	400	384	377	357	339	323	310	297
4,8	480	445	416	398	391	370	351	334	320	307
5,0	500	463	432	413	405	382	362	345	329	316
5,5	550	507	471	449	440	414	391	371	354	338
6,0	600	551	510	485	475	445	419	397	377	360
6,5	650	594	548	520	509	476	447	422	400	381
7,0	700	638	586	555	543	506	474	447	423	401
7,5	750	681	624	590	577	536	501	471	445	422
8,0	800	724	662	625	610	566	528	495	467	442
8,5	850	768	700	659	643	595	554	519	488	461
9,0	900	811	737	693	676	624	580	542	509	480
9,5	950	853	774	727	708	653	606	565	530	499
10	1000	896	811	760	741	681	631	588	550	518

Endvolumen v_0 nach der Expansion bei einem bestimmten Druckverhältnis auf den Wert des Exponenten n zu schließen.

- Der Exponent des Sonderfalls der Adiabate ist bei feuchtem Dampf mit der relativen Dampfmenge x $\kappa = 1,035 + 0,1 x$,
- bei trocken-gesättigtem Dampf ($x = 1$) demnach $\kappa = 1,135$,
- bei überhitztem Dampf $\kappa = 1,3$.

Beispiele:

- $p = 1,2$ at abs., tr.-ges. Zust., $p_0 = 0,5$ at abs., adiabatische Expansion ($\kappa = 1,135$);
 $v = 1,452$ cbm/kg, $\frac{p}{p_0} = 2,4$,
 $v_0 = 2,16 \cdot 1,452 = 3,14$ cbm/kg.
- $p = 11,5$ at abs., $t = 318^\circ \text{C}$, $p_0 = 2,6$ at abs.,
 $\frac{p}{p_0} = 0,226$, $v = 0,237$ cbm/kg,
 a) adiabatische Expansion ($\kappa = 1,3$);
 $v_0 = 3,15$. $v = 3,15 \cdot 0,237 = 0,746$ cbm/kg,
 b) polytropische Expansion, $n = 1,2$;
 $v_0 = 3,46$. $v = 3,46 \cdot 0,237 = 0,82$ cbm/kg.

3. $p = 11,2$ at abs., $t = 295$ °C, $p_0 = 3,5$ at abs.,

$$v_0 = 0,63 \text{ cbm/kg}, \frac{p_0}{p} = 0,312 = \frac{1}{3,2}$$

$$v = 0,233 \text{ cbm/kg}, \frac{v_0}{v} = \frac{0,63}{0,233} = 2,70.$$

Exponent der Expansionslinie $n = \sim 1,17$.

Rechnerisch kann der Exponent nur mit Hilfe der Logarithmen ermittelt werden.

$$n = \frac{\lg p - \lg p_0}{\lg v_0 - \lg v}$$

Im letzten Beispiel ist

$$n = \frac{1,049 - 0,544}{(0,799 - 1) - (0,367 - 1)} = \frac{0,505}{0,432} = 1,17.$$

Dampfgeschwindigkeit beim Strömen durch Düsen.

Expandiert Dampf beim Strömen durch eine Düse vom Druck p auf p_0 reibungsfrei und ohne Wärmeaustausch zwischen Düsenwandung und Dampf, so entspricht bei der Ausströmgeschwindigkeit w seine kinetische Energie

$$M \frac{w^2}{2} \text{ der geleisteten Expansionsarbeit } L_a = \int v \, dP.$$

Die theoretische Dampfgeschwindigkeit kann einmal mit Hilfe der Mollier-Tafel ermittelt werden, auf der sich der Wärmewert dieser Expansionsarbeit $A \cdot L_a = i - i_0$ in WE/kg Dampf als adiabatisches Wärmegefälle ablesen läßt. Das Verfahren wird aber ungenau, wenn bei geringen Druckunterschieden das Ablesen des Wärmegefälles auf der Mollier-Tafel normalen Maßstabes (1 mm = 1 WE/kg) unsicher wird, zumal geringstes Wärmegefälle schon beträchtliche Dampfgeschwindigkeit zur Folge hat.

$$(i - i_0 = 1 \text{ WE/kg}; w = \sqrt{2g \frac{1}{A} (i - i_0)} = 91,5 \cdot \sqrt{1}$$

$$= 91,5 \text{ m/sek})$$

Für die rechnerische Bestimmung ergibt die Integration, da bei adiabatischer Expansion $Pv^\kappa = \text{unveränderlich}$ ist,

$$L_a = Pv \frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right], \text{ und es wird}$$

$$w = \sqrt{2gPv \frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]} \text{ m/sek} \left(\sqrt{\frac{\text{m}}{\text{sek}^2} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{kg}} = \frac{\text{m}}{\text{sek}}} \right)$$

Für trocken-gesättigten Dampf ist

$$\kappa = 1,35, \frac{\kappa}{\kappa - 1} = 8,41, \frac{\kappa - 1}{\kappa} = 0,119.$$

Für überhitzten Dampf ist

$$\kappa = 1,3, \frac{\kappa}{\kappa - 1} = 4,33, \frac{\kappa - 1}{\kappa} = 0,231.$$

Mit diesen Werten und $g = 9,81$ m/sek², 10 000 kg/qm ($P = 1$ kg/qcm (p) wird für trocken-gesättigten Dampf

$$w = 1284 \sqrt{pv \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{0,119} \right]} \text{ m/sek,}$$

für überhitzten Dampf

$$w = 922 \sqrt{pv \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{0,231} \right]} \text{ m/sek.}$$

Der spezifische Rauminhalt v ist der Dampftafel 2 zu entnehmen. Trotz der teilweisen Auswertung der unveränderlichen Größe bleibt die Formel unhandlich, da sie nicht in einfachster Weise mit dem Rechenstab gelöst werden kann. Die Zahlentafel 4 gibt einige Zahlenbeispiele.

Zahlentafel 4.

Theoretische Dampfgeschwindigkeit in m/sek.

Druckverhältnis $p_0 : p$	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$p = 1$ at abs., tr.-ges. Dampf	131	188	273	343	409	474	542	616	704	825
$p = 10$ at abs., tr.-ges. Dampf	141	202	293	370	440	510	582	662	757	887
$p = 10$ at abs.,	162	232	335	421	499	570	654	738	834	973
$t = 300$ °C										

Im Pv -Diagramm ist die Expansionsarbeit angenähert durch ein Trapez bestimmt, das als Höhe den Druckunterschied $P - P_0$ hat und dessen Seitenlängen die Rauminhalte v und v_0 zu Beginn und am Ende der Expansion sind. Das Trapez ist ungefähr einem Rechteck $v_m (P - P_0)$ inhaltsgleich, wenn v_m den mittlern Rauminhalt während der Expansion bezeichnet. Die Dampfgeschwindigkeit ist demnach angenähert

$$w = \sim \sqrt{2gv_m (P - P_0)} = 4,43 \sqrt{v_m (P - P_0)} \text{ m/sek.}$$

Zu beachten ist, daß der Druckunterschied $P - P_0$ in kg/qm = 10 000 mal kg/qcm eingeführt werden muß, wenn man w in dem üblichen Maß, in m/sek, erhalten will. Der Fehler dieser handlichen Näherungsgleichung wird außerordentlich gering, wenn man als v den Rauminhalt des Dampfes bei dem mittlern Druck, aber bei dem Dampfgehalt bzw. bei der Temperatur vor der Expansion einführt. Der Zahlenwert v_m ist nach Bestimmung des mittlern

Druckes $p_m = \frac{p + p_0}{2}$ der Dampftafel 2 zu entnehmen, für

anfangs trocken-gesättigten Zustand wieder bei trockner Sättigung, für überhitzten Dampf bei unveränderter Temperatur. Die Größe des Fehlers ist der Zahlentafel 5 zu entnehmen.

Zahlentafel 5.

Fehler der Näherungsgleichung

$$w = \sim \sqrt{2gv_m (P - P_0)} = \sim 4,43 \sqrt{v_m (P - P_0)} \text{ m/sek.}$$

Druckverhältnis $p_0 : p$	0,95	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
Trocken-gesättigter Dampf	+0,07	+0,11	+0,13	+0,05	-0,25	-0,8
Überhitzter Dampf	+0,3	+0,6	+1,2	+1,7	+2,1	+2,4

Die Näherungsgleichung ergibt bei geringen Druckunterschieden etwas zu große Werte. Mit abnehmendem Druckverhältnis wächst der Fehler zunächst, nimmt dann wieder ab und wird schließlich negativ; bei überhitztem Dampf ist der Fehler etwas größer.

Beispiele:

1. $p = 1,18$ at abs., tr.-ges. Zustand, $p_0 = 0,84$ at abs.

$$\frac{p + p_0}{2} = 1,01 \text{ at abs., } v_m = 1,706 \text{ cbm/kg,}$$

$$P - P_0 = 3400 \text{ kg/qm}$$

$$w = \sim 4,43 \sqrt{1,706 \cdot 3400} = \sim 337 \text{ m/sek}$$

$$\frac{p_0}{p} = 0,71,$$

$$\text{Fehler} = \sim + 0,06 \% = \sim 0,2 \text{ m/sek} = \text{belanglos.}$$

2. $p = 13,4$ at abs., $t = 306$ °C, $p_0 = 2,2$ at abs.

$$\frac{p + p_0}{2} = 7,8 \text{ at abs., } v_m = 0,344 \text{ cbm/kg,}$$

$$P - P_0 = 112000 \text{ kg/qm,}$$

$$w = \sim 4,43 \sqrt{0,344 \cdot 112000} = \sim 869 \text{ m/sek}$$

$$\frac{p_0}{p} = 0,164, \text{ Fehler} = \sim - 1,6 \% = \sim 12 \text{ m/sek.}$$

$$\text{Genau } w = 869 + 12 = 881 \text{ m/sek.}$$

Die tatsächliche Dampfgeschwindigkeit ist kleiner als die errechnete theoretische; sie ist $\varphi \cdot w$, wenn φ den Ausströmoeffizienten, eine Zahl kleiner als 1, bezeichnet. φ ist sowohl von der Düsenform als auch von der Reibung des Dampfes an der Düsenwandung abhängig, berücksichtigt also Kontraktion des Dampfstrahls sowie Wärmeableitung während der Expansion in der Düse.

Durch Düsen ausströmendes Dampfgewicht.

Mit der Ausströmgeschwindigkeit w ist bei gegebenem Düsenquerschnitt F in qm das ausströmende Dampf-volumen V_0 vom Zustand hinter der Düse in cbm/kg festgelegt.

$$V_0 = F \cdot w.$$

Vor der adiabatischen Expansion hatte der ausströmende Dampf das geringere Volumen

$$V = V_0 \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\kappa}}.$$

Durch Einführung des schon in der Geschwindigkeitsgleichung benutzten spezifischen Rauminhalts v vom Dampfzustand vor der Expansion ergibt sich der Ausdruck für das ausströmende Dampfgewicht, das allen Rechnungen zugrunde gelegt wird.

$$G = \frac{V}{v} = \frac{1}{v} \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\kappa}} V_0$$

$$G = F \sqrt{2g \frac{P}{v} \frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} \text{ kg/sek,}$$

$$\left(\text{m}^2 \sqrt{\frac{\text{m}}{\text{sek}^2} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \frac{\text{kg}}{\text{sek}} \right)}$$

Nach Einführung der unveränderlichen Werte ergibt sich für trocken-gesättigten Dampf

$$G = 1284 F \sqrt{\frac{P}{v} \left[\left(\frac{p_0}{p} \right)^{1,762} - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{1,881} \right]} \text{ kg/sek,}$$

für überhitzten Dampf

$$G = 922 F \sqrt{\frac{P}{v} \left[\left(\frac{p_0}{p} \right)^{1,538} - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{1,769} \right]} \text{ kg/sek.}$$

Die Gleichungen sind ebenfalls unhandlich und nicht unmittelbar mit dem Rechenstab auszuwerten. Gute Annäherung gibt die Gleichung

$$G \sim F \sqrt{2g v_m (P - P_0) \frac{p_0}{p}}$$

$$\sim 4,43 F \sqrt{v_m (P - P_0) \frac{p_0}{p}} \text{ kg/sek}$$

oder stündlich für 1 qcm Düsenquerschnitt

$$G \sim 0,36 F \sqrt{2g v_m (P - P_0) \frac{p_0}{p}}$$

$$\sim 1,595 \sqrt{v_m (P - P_0) \frac{p_0}{p}} \text{ kg/st.}$$

v_m bedeutet wieder den spezifischen Rauminhalt des Dampfes bei dem mittlern Druck $\frac{p + p_0}{2}$, aber bei gleichem Dampfgehalt bzw. gleicher Temperatur wie zu Beginn der Expansion. Die Größe des Fehlers dieser Näherungsgleichung ist der Zahlentafel 6 zu entnehmen.

Zahlentafel 6.

Fehler der Näherungsgleichung

$$G = F \cdot \sqrt{2g v_m (P - P_0) \frac{p_0}{p}}$$

$$= 1,595 \sqrt{v_m (P - P_0) \frac{p_0}{p}} \text{ kg/sek.}$$

Druckverhältnis $p_0 : p$	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Trocken-gesättigter Dampf Fehler	- 0,4	- 0,7	- 1,2	- 1,6	- 1,7	- 1,4
Überhitzter Dampf in %	- 0,9	- 1,7	- 3,4	- 5,1	- 6,6	- 8,0

Die für Überslagsrechnungen sehr brauchbare Gleichung ergibt etwas zu geringe Werte. Der Fehler wächst mit abnehmendem Druckverhältnis und ist wieder bei überhitztem Dampf etwas größer als bei trocken-gesättigtem Dampf.

Beispiele:

1. $p = 2,36$ at abs., tr.-ges. Zustand, $p_0 = 1,5$ at abs., 20 Düsen von je 25 mm kleinstem Durchmesser mit $F = 20 \cdot 0,625^2 \frac{\pi}{4} = 0,0098$ qm Gesamtquerschnitt,

$$\frac{p + p_0}{2} = 1,93 \text{ at abs., } v_m = 0,93 \text{ cbm/kg,}$$

$$P - P_0 = 8600 \text{ kg/qm, } \frac{p_0}{p} = 0,635;$$

$$G = \sim 4,43 \cdot 0,0098 \sqrt{0,93 \cdot 8600 \cdot 0,635}$$

$$\sim 3,09 \text{ kg/sek.}$$

$$\text{Fehler} = \sim - 1,6\%.$$

$$\text{Genauer } G = \frac{3,09}{0,984} = 3,14 \text{ kg/sek.}$$

2. $p = 11,5$ at abs., $t = 298$ °C, $p_0 = 8,1$ at abs.:

$$\frac{p + p_0}{2} = 9,8 \text{ at abs.}, \quad v_m = 0,2685 \text{ cbm/kg,}$$

$$p - p_0 = 34\,000 \text{ kg/qm}, \quad \frac{p_0}{p} = 0,704;$$

$$G = \sim 1,595 \sqrt{0,2685 \cdot 34\,000 \cdot 0,704} = \sim 127,8 \text{ kg/st}$$

und 1 qcm Düsenquerschnitt.

Fehler = $\sim -5,2\%$.

$$\text{Genauer } G = \frac{127,8}{0,948} = 135 \text{ kg/st und 1 qcm Düsenquerschnitt.}$$

Die errechneten Werte sind wieder mit dem Ausströmungskoeffizienten φ zu multiplizieren, damit man das kleinere, tatsächlich ausströmende Dampfgewicht erhält.

Kritisches Druckverhältnis.

Soll der Dampfdruck beim Ausströmen durch eine Düse in ihr stetig von p auf p_0 abnehmen (die einzelnen Bezeichnungen erläutert Abb. 5), so muß für jeden beliebigen Düsenquerschnitt F_x die Bedingung erfüllt sein:

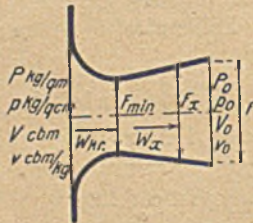


Abb. 5. Zeichenerklärung.

$$V_x = F_x \cdot w_x.$$

$$\text{Nun ist } G \cdot v_x = G \cdot v \left(\frac{p}{p_x} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \text{ und}$$

$$w_x = \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} P \cdot v \left[1 - \left(\frac{p_x}{p} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}.$$

Daraus folgt

$$F_x = G: \frac{1}{v} \left(\frac{p_x}{p} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} P \cdot v \left[1 - \left(\frac{p_x}{p} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}$$

$$F_x = G: \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P}{v} \left[\left(\frac{p_x}{p} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_x}{p} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}$$

$$F \text{ wird ein Mindestwert, wenn } \left(\frac{p_x}{p} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{2}{\kappa+1},$$

$$\text{wenn das Druckverhältnis } \frac{p_x}{p} = \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = \beta \text{ ist.}$$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte erhält man dieses »kritische Druckverhältnis« für trocken-gesättigten Dampf

$$\beta = \left(\frac{2}{2,135} \right)^{8,407} = 0,577 = \frac{1}{1,732}$$

$$\text{für überhitzten Dampf } \beta = \left(\frac{2}{2,3} \right)^{13} = 0,546 = \frac{1}{1,832}$$

Ist das Druckverhältnis $\frac{p_0}{p}$ geringer als das kritische, so

muß eine Düsenerweiterung nach dem engsten Düsenquerschnitt F_{\min} eintreten, wenn eine weitere Druckabnahme und Geschwindigkeitszunahme stattfinden soll. Ist das nicht der Fall, so wird bei einem Druckver-

hältnis $\frac{p_0}{p} < \beta$ am Ende der Düse nur der Druck $p_e = \beta p$ erreicht, der größer als der Enddruck p_0 ist. Der Dampfstrahl breitet sich dann sofort nach dem Austritt aus der Düse infolge seines Überdruckes $p_e - p_0$ aus, die adiabatische Expansion, die verlustlose Energieumwandlung, ist gestört.

Kritische Dampfgeschwindigkeit.

$$\text{Führt man das kritische Druckverhältnis } \beta = \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

in die Gleichung für die Ausströmgeschwindigkeit w ein, so erhält man die »kritische« Dampfgeschwindigkeit.

$$w_{\text{krit.}} = \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa+1} P v} \text{ m/sek} \left(\sqrt{\frac{\text{m kg m}^3}{\text{sek}^2 \text{m}^2 \text{kg}} = \frac{\text{m}}{\text{sek}}} \right)$$

Durch Einführung der Unveränderlichen ergibt sich

$$\text{für trocken-gesättigten Dampf } w_{\text{kr. tr-ges.}} = 323 \sqrt{pv} \text{ m/sek,}$$

$$\text{für überhitzten Dampf } w_{\text{kr. überh.}} = 333 \sqrt{pv} \text{ m/sek.}$$

Die kritische Dampfgeschwindigkeit schwankt wie der Wert $pv \left(= \frac{RT}{10\,000} \right)$ nicht befrächtlich; einige Werte sind in der Zahlentafel 7 zusammengestellt.

Zahlentafel 7.

Theoretische kritische Dampfgeschwindigkeit in m/sek.

Dampfdruck p in at abs.	0,2	0,5	1	2	5	8	10	12	14	16	18	20
Trocken-gesättigter Dampf	403	415	424	433	446	453	456	458	460	462	464	465
Überhitzer (200 °C)	490	487	484	482	480	—	—	—
Überhitzer (250 °C)	518	516	514	512	510	509	507	506
Dampf (300 °C)	544	542	541	540	539	538	537	536
Dampf (350 °C)	568	567	566	565	564	563	562	562

Auf der Dampftafel 1 ist die theoretische kritische Dampfgeschwindigkeit an der rechten Seite unten für verschiedene Dampfdrücke und Temperaturen eingetragen. Beachtenswert ist, wie auch aus der vorstehenden Zahlentafel ersichtlich ist, daß bei gesättigtem Dampf die kritische Geschwindigkeit mit dem Dampfdruck steigt, daß sie dagegen im Überhitzungsgebiet bei gleicher Temperatur mit steigendem Druck abnimmt; der Grund liegt in der ungleichen Überhitzung bei gleicher Temperatur und verschiedenem Druck.

Bei kritischer Geschwindigkeit ausströmendes Dampfgewicht.

Bei F_{\min} qm engstem Düsenquerschnitt ist der Rauminhalt des ausströmenden Dampfes vom Zustand während der kritischen Geschwindigkeit

$$V_{o.kr.} = F_{min.} w_{kr.} = F_{min.} \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa+1} Pv} \text{ cbm/sek.}$$

Vor der adiabatischen Expansion hatte der Dampf den Rauminhalt

$$V_{kr.} = \beta^{\frac{1}{\kappa}} V_{o.kr.} = \left[\left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \right]^{\frac{1}{\kappa}} V_{o.kr.}$$

$$= F_{min.} \sqrt{2g \frac{\kappa}{2} \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}} Pv} \text{ cbm/sek.}$$

Bei kritischer Dampfgeschwindigkeit, bei einem Druckverhältnis $\frac{p_0}{p} \leq \beta$, strömt demnach das Dampfgewicht

Bei trocken-gesättigtem Zustand durch 1 qcm engsten Düsenquerschnitt theoretisch ausströmendes Dampfgewicht.

$$G_{kr.} = \frac{1}{v} V_{kr.} = F_{min.} \sqrt{2g \frac{\kappa}{2} \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}} \frac{P}{v}} \text{ kg/sek aus.}$$

Mit den Zahlenwerten ergibt sich für trocken-gesättigten Dampf

$$G_{kr. \text{ tr.-ges.}} = 199 F_{min.} \sqrt{\frac{p}{v}} \text{ kg/sek,}$$

für überhitzten Dampf

$$G_{kr. \text{ überh.}} = 209 F_{min.} \sqrt{\frac{p}{v}} \text{ kg/sek.}$$

Durch Multiplikation mit $\frac{3600}{10000}$ ergeben sich die Gleichungen

für tr.-ges. Dampf

$$G_{kr. \text{ tr.-ges.}} = 71,6 \sqrt{\frac{p}{v}} \text{ kg/st und 1 qcm}$$

engsten Düsenquerschnitt, für überhitzten Dampf

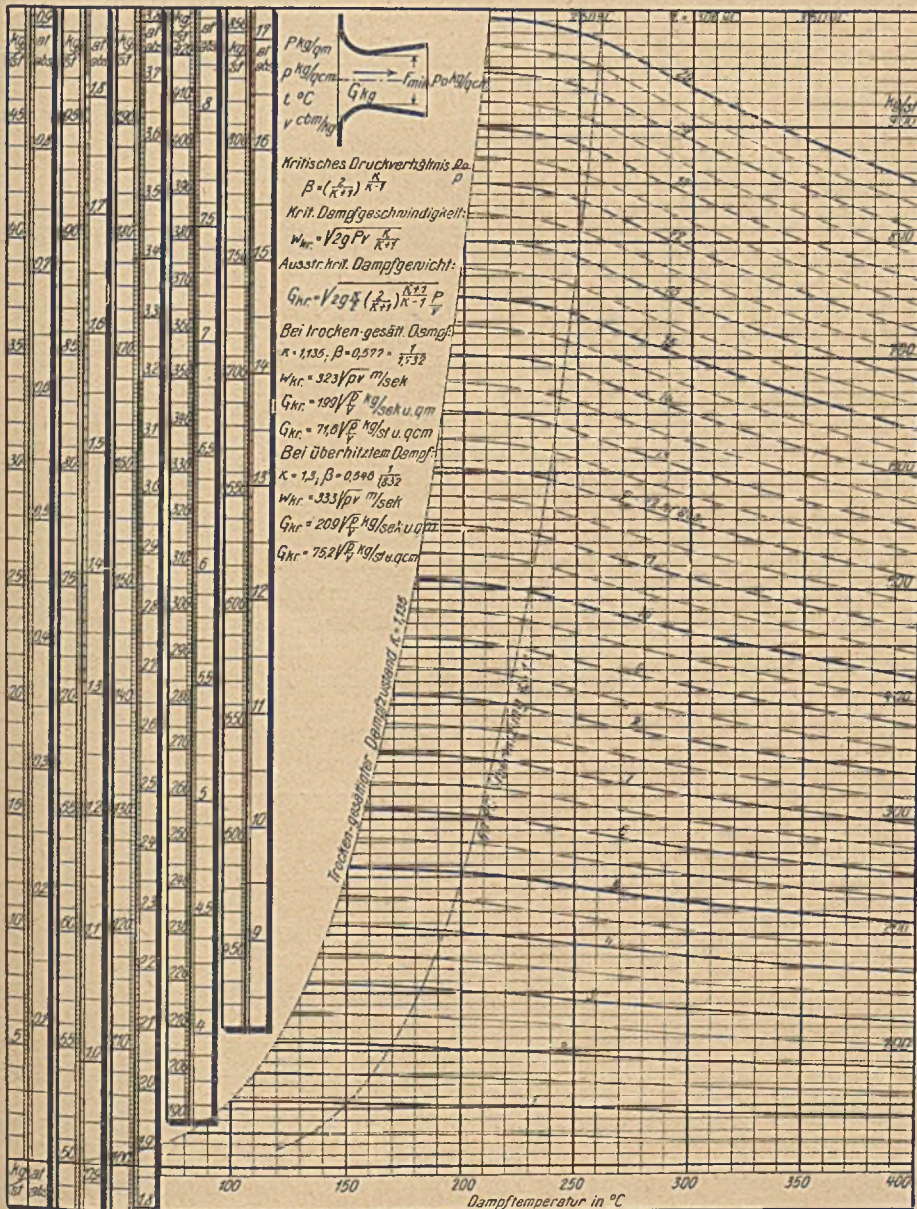
$$G_{kr. \text{ überh.}} = 75,2 \sqrt{\frac{p}{v}} \text{ kg/st und}$$

1 qcm engsten Düsenquerschnitt.

In der Dampftafel 3 finden sich diese letzten Werte, die stündlichen Dampfgewichte, mit denen die Praxis rechnet, schaubildlich aufgetragen. Die theoretischen Dampfgewichte sind als Ordinaten, die Dampftemperaturen als Abszissen eingezeichnet. Da der Übergang im Werte des Exponenten von $\kappa = 1,135$ für trocken-gesättigten Dampf auf $\kappa = 1,3$ für überhitzten Dampf nicht sprunghaft erfolgen kann, ist mit $\kappa = 1,3$ erst von 50°C Überhitze an gerechnet; erst dann verläuft die Expansion bis zur kritischen Geschwindigkeit annähernd ganz im Überhitzungsgebiet. Zwischen der Linie für trocken-gesättigten Dampf und der für 50° Überhitze steigt der Exponent der Adiabate allmählich von $\kappa = 1,135$ auf $\kappa = 1,3$. Trotz der Zunahme dieses Wertes nimmt für gleiche Drücke das ausströmende Gewicht ab; die Zunahme des spezifischen Rauminhaltes im Nenner überwiegt den Einfluß des wachsenden Exponenten. Auch bei höherer Überhitzung bei gleichbleibendem Exponenten nimmt das ausströmende Dampfgewicht mit der Temperatursteigerung ab, obgleich die kritische Dampfgeschwindigkeit zunimmt.

Beispiele:

1. $p = 11,5$ at abs., tr.-ges. Zustand; $G_{kr.} = 582$ kg/st und 1 qcm.



Dampftafel 3. Bei kritischer Geschwindigkeit durch 1 qcm engsten Düsenquerschnitt theoretisch ausströmendes Wasserdampfgewicht in kg/st.

- 2. $p = 11,5$ at abs., $t = 236^\circ\text{C}$; $G_{kr.} = 562$ kg/st und 1 qcm.
- 3. $p = 11,5$ at abs., $t = 250^\circ\text{C}$; $G_{kr.} = 510$ kg/st und 1 qcm.

Dem Gedächtnis läßt sich für Schätzungsrechnungen der Näherungswert $G_{kr.} = \sim 50$ kg/st und 1 qcm für jede at abs. Druck leicht einprägen.

Auf den fünf Meßstreifen an der linken Seite der Dampftafel 3 ist für trocken-gesättigten Dampf die Beziehung zwischen dem Dampfdruck und dem bei kritischer Geschwindigkeit ausströmenden Dampfgewicht in größerm Maßstabe ablesbar.

Beispiele:

- 1. $p = 9,5$ at abs., tr.-ges. Zustand; $G = 27,8$ kg/st und 1 qcm.
- 2. $p = 1,2$ at abs., tr.-ges. Zustand; $G = 65,1$ kg/st und 1 qcm.
- 3. $p = 3,24$ at abs., tr.-ges. Zustand; $G = 170,3$ kg/st und 1 qcm.
- 4. $p = 5,6$ at abs., tr.-ges. Zustand; $G = 289$ kg/st und 1 qcm.
- 5. $p = 12,8$ at abs., tr.-ges. Zustand; $G = 645$ kg/st und 1 qcm.

Ist der Dampf vor dem Eintritt in die Düse feucht, so ist sein spezifischer Rauminhalt im Verhältnis der relativen Feuchtigkeit geringer als bei trocken-gesättigtem Zustand; das ausströmende Dampfgewicht ist daher bei feuchtem Dampf größer. Je 1% Dampfeuchtigkeit bedingt $\sim 0,5\%$ Zunahme des Ausströmgewichtes. Die Abnahme des Exponenten für feuchten Dampf ist von geringerm Einfluß.

Beispiel:

$p = 8,7$ at abs., $x = 0,94$; $G_{kr.} = 442$ kg/st und 1 qcm;

$$G_{kr. f.} = 442 \sqrt{\frac{1}{0,94}} = 456 \text{ kg/st.}$$

Wissenswert ist noch das Verhältnis des Rauminhaltes vom expandierten Dampf mit der kritischen Geschwindigkeit $v_{kr.}$ zu v vor dem Ausströmen;

$$\frac{v_{kr.}}{v} = \left(\frac{1}{\beta}\right)^{\frac{1}{x}} = \left[\left(\frac{x+1}{2}\right)^{\frac{x}{x-1}}\right]^{\frac{1}{x}} = \left(\frac{x+1}{2}\right)^{\frac{1}{x-1}}$$

Für trocken-gesättigten Dampf ist

$$v_{kr. \text{ tr.-ges.}} = \left(\frac{2,135}{2}\right)^{\frac{1}{0,135}} \cdot v = 1,622 v = \frac{1}{0,616} v,$$

für überhitzten Dampf ist

$$v_{kr. \text{ überh.}} = \left(\frac{2,3}{2}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot v = 1,593 v = \frac{1}{0,628} v.$$

Beispiel:

- 1. $p = 10$ at abs., tr.-ges. Zustand;
 $v_{kr.} = 1,622 \cdot 0,199 = 0,323$ cbm/kg, $\gamma = 3,10$ kg/cbm.
- 2. $p = 10$ at abs., $t = 300^\circ\text{C}$;
 $v_{kr.} = 1,539 \cdot 0,264 = 0,421$ cbm/kg, $\gamma = 2,38$ kg/cbm.

Querschnitt der Düsenweiterung.

Ist das Druckverhältnis $\frac{p_0}{p} < \beta$, so nehmen bei sich

erweiternder Düse Geschwindigkeit und Dampfgewicht gesetzmäßig auch über die sich beim kritischen Druckverhältnis ergebenden Werte hinaus zu. Als Düsenquerschnitt F hat man aber den Endquerschnitt der Düse einzuführen, der größer als an der engsten Stelle ist, an der das kritische Druckverhältnis erreicht wird. Seine Größe ergibt sich aus der Gleichung für F_x bei der Ableitung des kritischen Druckverhältnisses. Die Zahlentafel 8 enthält einige Werte von F für den engsten Querschnitt $F_{min} = 1$.

Die Bestimmung der überkritischen Geschwindigkeit nach der allgemeinen Gleichung ist im Gegensatz zu der bei kritischem Druckverhältnis unbequem. Für die Praxis genügt aber die Ermittlung nach dem Wärmegefälle, das der Mollier-Tafel zu entnehmen ist, zumal da eine gewisse Ungenauigkeit in der Annahme eines bestimmten Ausströmoeffizienten φ liegt. Zur Festlegung des Dampfgewichtes, das bei überkritischer Geschwindigkeit im Endquerschnitt einer sich erweiternden Düse ausströmt, wird man stets den engsten Düsenquerschnitt der Rechnung zugrunde legen, in dem die kritische Geschwindigkeit herrscht, und mit den dann gültigen einfachen Beziehungen rechnen.

Zahlentafel 8.

$$\text{Düsenendquerschnitt } F = F_{min.} \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{2}{x+1}\right)^{\frac{2}{x-1}} - \left(\frac{2}{x+1}\right)^{\frac{x+1}{x-1}}\right] : \left[\left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{2}{x}} - \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{x+1}{x}}\right]}$$

Druckverhältnis $p_0 : p$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,577	0,546	0,5	0,4	0,30,25	0,20,15	0,125	0,1	0,075	0,05	0,04	0,03	0,025	0,02	0,018	0,016	0,014	0,012	0,01		
tr.-ges. Dampf $F : F_{min.}$	1,52	1,17	1,04	1,00	1,00	—	1,01	1,07	1,23	1,35	1,53	1,84	2,07	2,41	2,95	3,97	4,69	5,83	6,71	7,98	8,68	9,51	10,56	11,83	13,80
Überh. Dampf $F : F_{min.}$	1,60	1,20	1,06	1,01	—	1,00	1,01	1,05	1,16	1,26	1,40	1,64	1,82	2,08	2,48	3,22	3,73	4,52	5,12	5,96	6,41	6,96	7,64	8,51	9,68

Druckverhältnis $p : p_0$	1,1	1,2	1,4	1,6	1,732	1,832	2	2,5	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
tr.-ges. Dampf $F : F_{min.}$	1,59	1,24	1,05	1,01	1,00	—	1,01	1,07	1,16	1,35	1,53	1,72	2,07	2,41	3,21	3,97	4,69	5,38	6,71	7,98	9,20	10,39	11,55	12,69	13,80
Überh. Dampf $F : F_{min.}$	1,65	1,28	1,07	1,01	—	1,00	1,01	1,05	1,12	1,26	1,40	1,55	1,82	2,08	2,67	3,22	3,73	4,21	5,12	5,96	6,76	7,53	8,27	8,99	9,68

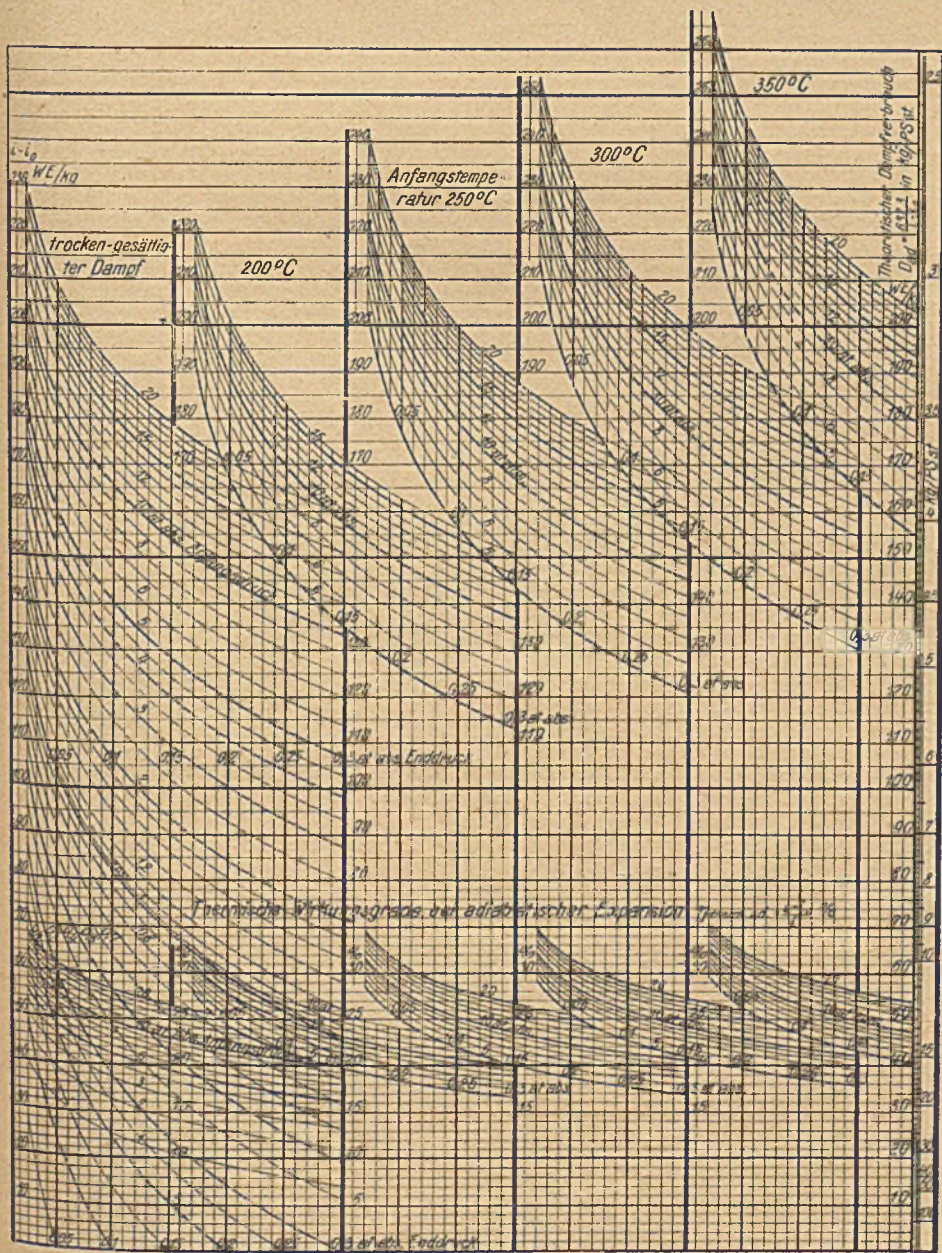
Ausnutzbares Wärmegefälle bei adiabatischer Expansion des Wasserdampfes.

Auf den Dampftafeln 4 und 5 sind die Dampfenddrücke p_o bis 3 bzw. 0,3 at abs. je fünfmal nebeneinander als Abszissen aufgetragen und die Wärmegefälle $i-i_o$ bei adiabatischer Expansion vom Anfangsdruck p auf den Enddruck p_o jedesmal als Ordinaten eingezeichnet. Von der linken Seite ausgehend stehen nebeneinander die verfügbaren Wärmegefälle für trocken-gesättigten Dampf-Anfangszustand, bei 200, 250, 300 und 350 °C Anfangstemperatur. Der Ordinatenmaßstab ist 0,6 mm = 1 WE/kg, die Abszissenmaßstäbe sind bedeutungslos. Das Wärmegefälle $i-i_o$ für gegebenen Anfangszustand und Enddruck ist unmittelbar abzulesen, eine Subtraktion der Restwärme i_o von der Erzeugungswärme i nicht

mehr erforderlich. Für Überhitzungen, die zwischen den aufgeführten, je 50 °C voneinander entfernten Dampf-temperaturen liegen, kann geradlinig interpoliert werden.

Beispiele:

1. $p = 19$ at abs., tr.-ges. Zust., $p_o = 2,3$ at abs.;
(Dampftafel 4) $i-i_o = 74$ WE/kg.
2. $p = 1,2$ at abs., tr.-ges. Zust., $p_o = 0,1$ at abs.;
(Dampftafel 5) $i-i_o = 88$ WE/kg.
3. $p = 12,5$ at abs., $t = 300$ °C, $p_o = 0,95$ at abs.;
(Dampftafel 4) $i-i_o = 121$ WE/kg.
4. $p = 15,3$ at abs., $t = 350$ °C, $p_o = 0,059$ at abs.;
(Dampftafel 5) $i-i_o = 2315$ WE/kg.
5. $p = 13$ at abs., $t = 320$ °C, $p_o = 0,15$ at abs.;
(Dampftafel 5) $i-i_o = 181,5 +$



Dampftafel 4. Ausnutzbares Wärmegefälle bei adiabatischer Expansion in WE/kg Wasserdampf.

$$\frac{20}{50} (198 - 185,5) = 191 \text{ WE/kg.}$$

6. $p = 11,2$ at abs., $t = 288$ °C,
 $p_o = 1,27$ at abs.;

$$\text{(Dampftafel 4)} \quad i-i_o = 98 + \frac{38}{50} (106 - 98) = 104 \text{ WE/kg.}$$

Auf der rechten Seite des Schaubildes ist je ein Meßstreifen angeordnet, auf dem der theoretische Dampfverbrauch D_a bei adiabatischer Expansion in kg/PSst abgelesen werden kann.

$$D_a = A \frac{75 \cdot 3600}{i-i_o} = \frac{1}{427} \frac{270\,000}{i-i_o} = \frac{632,3}{i-i_o} \text{ kg/PSst.}$$

Da die Meßstreifen an der Ordinatenachse beginnen, bestimmt eine Wagerechte vom ermittelten Wärmegefälle bis zum Meßstreifen ohne weiteres den theoretischen Dampfverbrauch für 1 PSst.

Beispiele:

1. $p = 10$ at abs., tr.-ges. Zust.;
 $p_o = 1,2$ at abs.;
(Dampftafel 4); $i-i_o = 87$ WE/kg, $D_a = 7,3$ kg/PSst.
2. $p = 14$ at abs., $t = 350$ °C;
 $p_o = 0,07$ at abs.;
(Dampftafel 5); $i-i_o = 221$ WE/kg, $D_a = 2,76$ kg/PSst.

Die Dampftafeln 4 und 5 geben ein anschauliches Bild von der Veränderung des Wärmegefälles durch die einzelnen Faktoren, und dies ist neben der bequemen Ermittlung ihr eigentlicher Zweck.

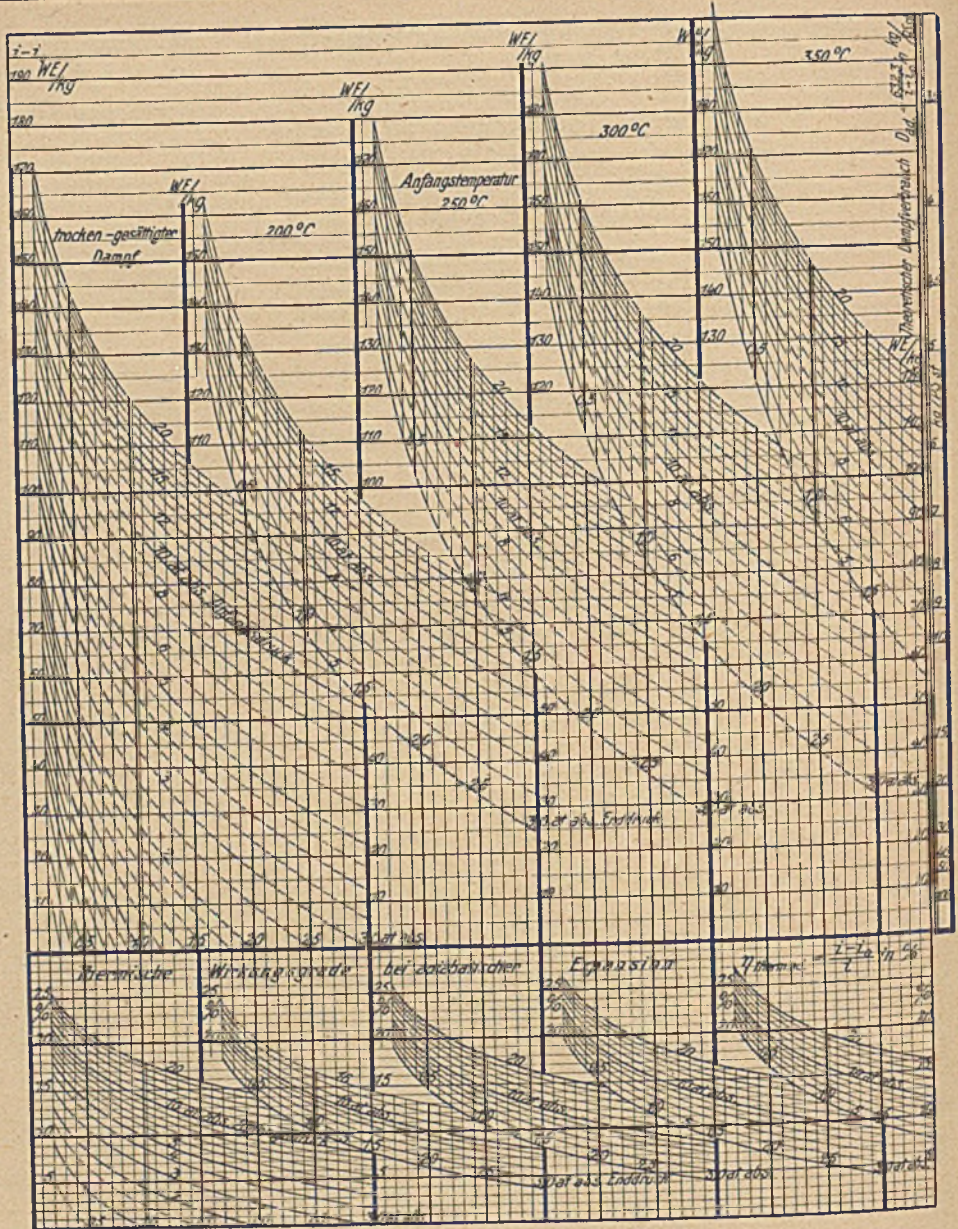
Der Einfluß des Dampfenddruckes ist ersichtlich aus dem

Abstand der Linien gleichen Druckes voneinander, der des Dampfdruckes aus ihrem gekrümmten Verlauf und schließlich der Dampfüberhitzung aus dem Vergleich der Wärmegefälle mit je 50°C verschiedener Anfangstemperatur. Je höher der Anfangsdruck, desto geringer ist der Gewinn an Wärmegefälle für jede weitere Atmosphäre Drucksteigerung, je geringer der Enddruck, desto größer ist der Gewinn für jedes weitere Zehntel oder Hundertstel Atmosphäre Druckverminderung. Dagegen steigt das Wärmegefälle annähernd im gleichen Verhältnis mit der Zunahme der Anfangstemperatur. (Beispiele s. u.)

Regeln über die Änderung des Wärmegefälles in %, wie sie die Zahlentafel 9 zeigt, gelten infolge der Veränderlichkeit des Einflusses von Anfangsdruck und Enddruck immer nur für ein begrenztes Dampfgebiet.

Der theoretische Dampfverbrauch einer Maschine ändert sich im umgekehrten Sinne um den gleichen Betrag wie die untenstehenden Zahlenwerte. Infolge ihrer Veränderlichkeit ist es aber einfacher, das jeweilige Wärmegefälle, das von Fall zu Fall der Mollier-Tafel oder den Dampf-tafeln 4 und 5 entnommen werden kann, unmittelbar in die Umrechnung einzuführen.

Bei der Umrechnung des praktischen Dampfverbrauches im umgekehrten Sinne des theoretischen Wärmegefälles muß beachtet werden, daß die Dampfverhältnisse nicht so weit voneinander abweichen, daß eine wesentliche Änderung des Güte-



Dampftafel 5. Ausnutzbares Wärmegefälle bei adiabatischer Expansion in WE/kg bei geringen Enddrücken.

Beispiele:	Einfluß des Anfangsdruckes	Zunahme des Wärmegefälles
trocken-gesättigter Zustand, p _o = 1,2 at abs.	1. p = 8 at abs.; i - i _o = 78 WE/kg	5 WE/at = 6 %.
	2. p = 9 at abs.; i - i _o = 83 WE/kg	
	3. p = 16 at abs.; i - i _o = 116 WE/kg	
	4. p = 17 at abs.; i - i _o = 118 WE/kg	
p = 11 at abs. t = 300 °C	Einfluß des Enddruckes	
	1. p _o = 1,2 at abs.; i - i _o = 107 WE/kg	3 WE/0,1 at = 3 %.
	2. p _o = 1,1 at abs.; i - i _o = 110 WE/kg	
	3. p _o = 0,2 at abs.; i - i _o = 171 WE/kg	21,5 WE/0,1 at = 12 %.
p = 13 at abs. p _o = 0,1 at abs.	Einfluß der Anfangstemperatur	
	1. t = 250 °C; i - i _o = 186,5 WE/kg	11,5 WE/50 °C = 6 %.
	2. t = 300 °C; i - i _o = 198 WE/kg	12,5 WE/50 °C = 6 %.
	3. t = 350 °C; i - i _o = 210,5 WE/kg	

Zahlentafel 9.
Änderung des Wärmegefälles in %.

Dampfenddruck		at abs.		0,05	0,08	0,10	0,15	1,1
Einfluß des Anfangs- druckes	± 0,1 at	Trocken- gesättigter Zustand	1,1 at abs.	± 2,8	3,3	3,7	4,4	—
			10 " "	± 1,9	2,1	2,2	2,4	4,5
			12 " "	± 1,6	1,7	1,8	2,0	3,7
	± 1 at	300 °C	15 " "	± 1,1	1,2	1,3	1,4	2,4
			10 " "	± 1,4	1,5	1,6	1,8	3,5
			12 " "	± 1,2	1,3	1,4	1,6	3,1
	300 °C	300 °C	15 " "	± 0,9	1,0	1,1	1,2	2,0
			1,1 " "	± 0,11	0,12	0,12	0,13	—
			10 " "	± 0,11	0,11	0,11	0,11	0,15
	± 1 °C	Trocken- gesättigter Zustand	15 " "	± 0,11	0,11	0,11	0,11	0,14
			10 " "	± 0,12	0,12	0,12	0,12	0,16
			15 " "	± 0,12	0,12	0,12	0,12	0,15
Einfluß des Enddruckes	± 0,01 at (± 1 % Vakuum)	Trocken- gesättigter Zustand	1,1 " "	± 5,4	4,1	3,8	3,1	—
			10 " "	± 2,8	2,0	1,7	1,3	0,33
			15 " "	± 2,6	1,9	1,6	1,2	0,29
	300 °C	300 °C	10 " "	± 2,7	1,8	1,6	1,2	0,30
			15 " "	± 2,5	1,7	1,5	1,1	0,27

grades der Maschine eintreten würde. Über diese Gütegrade und ihre Änderung mit den Dampfverhältnissen geben die Zusammenstellungen der weiter unten folgenden Dampf tafeln 7–12 Auskunft.

Thermischer Wirkungsgrad bei adiabatischer Expansion des Wasserdampfes.

Im untern Teil der Dampf tafeln 4 und 5 sind die thermischen Wirkungsgrade bei adiabatischer Expansion

$$\eta_{\text{therm. a.}} = \frac{i - i_0}{i}$$

zur Veranschaulichung des Einflusses von

Dampfdruck, Temperatur und Enddruck auf die Wärme-wirtschaft zusammenfassend in ähnlicher Weise wie die Wärmegefälle im obern Teil angeordnet. Die theoretischen thermischen Wirkungsgrade steigen in genau demselben Verhältnis wie die Wärmegefälle mit abnehmendem Enddruck, sie steigen ebenso, aber in weniger als dem gleichen Maße mit wachsendem Anfangsdruck und zunehmender Überhitzung, da mit höherm Druck und vor allem mit der steigenden Dampf temperatur auch der Wärmeinhalt, der Aufwand an Erzeugungswärme, zunimmt. Trotzdem läge es im Sinne der Wirtschaftlichkeit jeder Dampfkraftmaschine, abgesehen von der Verringerung des Enddruckes auf einen Mindestwert, den Anfangsdruck und die Anfangs-temperatur möglichst zu steigern. Man hat aber Rück-sicht auf das Material der Kessel und Maschinen zu nehmen. Ferner ist der Enddruck infolge der Beziehungen zwischen Druck und Temperatur wohl von der Temperatur des Kühlwassers, aber auch von der in Umlauf gebrachten Kühlwassermenge abhängig, für welchen Zweck Arbeit aufgewandt werden muß. Schließlich ist nicht der theo-retische thermische Wirkungsgrad bei adiabatischer Expan-sion, sondern erst das Produkt aus diesem und dem Güte-grad der Maschine, der praktische thermische Wirkungs-grad $\eta_{\text{therm.}} = \eta_{\text{therm. a.}} \cdot \eta_{\text{güte}}$, für die Wirtschaftlichkeit ausschlaggebend. Trotz der Zunahme des adiabatischen Wirkungsgrades, der auf den Dampf tafeln 4 und 5 im untern Teil ablesbar ist, kann der praktische thermische Wirkungsgrad abnehmen, wenn sein zweiter Faktor in stärkerm Maße fällt, als ersterer zunimmt.

Die Wirkungsgrade auf den beiden Tafeln stellen aber Höchstwerte dar, die theoretisch nicht überschritten, prak-tisch nie ganz erreicht werden können. Ideale Maschinen mit 100% Gütegrad würden also bei 20 at Anfangsdruck und Auspuffbetrieb 18–20%, bei bestem Kondensations-betrieb mit 95% Vakuum 31–32% der Dampf wärme in Arbeit umwandeln können. Praktisch bleibt das Er-gebnis bei mittlern Verhältnissen um 28–40%, je nach der Güte der Maschine, hinter diesen anzustrebenden Höchstwerten zurück.

Leistung der Kolbendampfmaschinen.

Bei jeder Dampfmaschine ist die abgegebene Leistung N_e geringer als die ursprünglich aus der Spannkraft des Dampfes gewonnene indizierte Leistung N_i . Der Verlust entsteht in der Hauptsache durch mechanische Reibung zwischen den aneinander gleitenden Maschinenteilen, in geringerm Maße durch Luftreibung der bewegten Teile und durch den Antrieb der Steuerung. Er wird ausgedrückt

$$\text{durch den mechanischen Wirkungsgrad } \eta_{\text{mech.}} = \frac{N_e}{N_i}$$

Bezeichnet man mit F die wirksame Kolbenfläche in qcm, mit p_i den mittlern indizierten Dampfdruck auf diese Kolbenfläche in kg/qcm und mit c die mittlere Kolben-geschwindigkeit in m/sek, so ist die indizierte Leistung jeder Kolbendampfmaschine

$$N_i = \frac{F \cdot p_i \cdot c}{75} = \frac{\text{Kraft} \times \text{Weg/sek}}{75}$$

$$= \frac{1}{75} \text{ cm}^2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \frac{\text{m}}{\text{sek}} = \frac{1}{75} \frac{\text{mkg}}{\text{sek}} = \text{PS.}$$

Die mittlere Kolbengeschwindigkeit ergibt sich bei doppeltwirkenden Maschinen zu $c = \frac{2 s \cdot n}{60} = \frac{s n}{30}$, wenn s den Kolbenhub in m und n die Umlaufzahl in 1 min bezeichnet.

Bei ausgeführten Maschinen mit fester Drehzahl ist der Wert $\frac{F \cdot c}{75}$ eine unveränderliche Größe; die Leistung ändert

sich dann nur noch mit dem jeweiligen mittlern indizierten Druck p_i , der aus dem Indikatordiagramm als Quotient aus mittlerer Diagrammhöhe und Federmaßstab ermittelt werden kann. Bei Maschinen mit zweimaliger Expansion, Verbundmaschinen, ist es zur bequemern Vorausberechnung einer Maschinenleistung üblich, den p_i -Wert des kleinern Hochdruckzylinders mit der wirksamen Kolbenfläche f auf den Niederdruckzylinder mit der Kolbenfläche F im Verhältnis der Kolbenfläche $F : f$ zu »reduzieren«. Der gesamte »reduzierte« mittlere indizierte Druck $p_{i, red.}$ ist dann die Summe aus dem Niederdruck- p_i und dem

Quotienten $\frac{p_i \text{ hochdruck}}{F : f}$. Dasselbe Verfahren wird sinn- gemäß bei Maschinen mit mehrmaliger Expansion angewandt.

Hat man sich bei der Vorausberechnung einer Maschinenleistung mit Rücksicht auf Modelle und aus andern Gründen für bestimmte Abmessungen entschieden, so liegt ebenfalls der Wert $\frac{F \cdot c}{75}$ fest; veränderlich ist dann wiederum nur noch der Wert p_i .

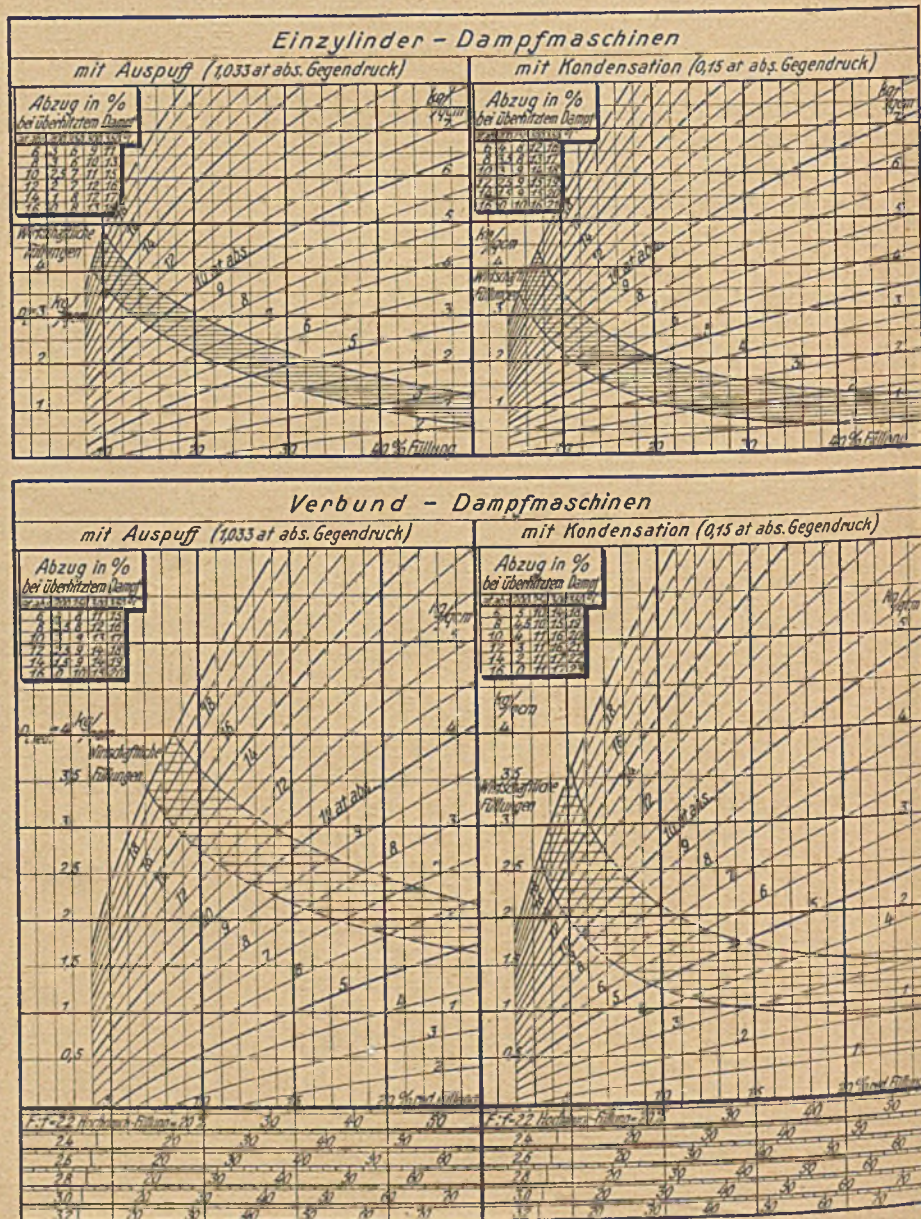
p_i und $p_{i, red.}$ sind in der Hauptsache abhängig vom Dampfandruck, vom Dampfenddruck und von der Zylinderfüllung ϵ , die das Verhältnis des Volldruckkolbenweges zum ganzen Hub festlegt und die bei Maschinen mit mehrmaliger Expansion wieder auf den Niederdruckzylinder reduziert wird,

$$p_{i, red.} = \frac{\epsilon_{hochdruck}}{F : f}$$

Liegen diese drei Hauptfaktoren fest, so wird der p_i -Wert noch beeinflusst vom Druckverlust in den Dampfeinlaßorganen, vom Verlauf der Expansionslinie, von der mehr oder weniger vollendeten Expansion beim Voraustritt, vom Druckverlust in den Auslaßorganen, von der Kompressionsarbeit des Restdampfes und von der Größe des schädlichen Raumes, der den Verlauf sowohl der Expansions- als auch der Kompressionslinie mitbestimmt. Welchen Einfluß diese einzelnen Faktoren auf die Güte der Maschine haben, soll hier nicht erörtert werden; es ist lediglich ihre Einwirkung auf das Indikatordiagramm, auf den p_i -Wert berücksichtigt worden. Es sei nur erinnert an die bekannteste Erscheinung: trotz Verringerung des p_i -Wertes durch die zu leistende Kompressionsarbeit des Restdampfes nimmt der Dampfverbrauch einer Maschine infolge der Kompression für die Leistungseinheit ab, die

Güte der Maschine wird durch den geopferten Verlust erhöht.

Auf der Dampf tafel 6 sind die mittlern indizierten Drücke p_i bei normalen Verhältnissen dargestellt, d. h. bei $\sim 2-4$ m/sek mittlerer Kolbengeschwindigkeit, $\sim 30-50$ m/sek Dampfeintrittsgeschwindigkeit, $\sim 20-30$ m/sek Dampfaustrittsgeschwindigkeit und Kompression bis auf annähernd vollen Anfangsdruck bei $m = 5\%$ schädlichem Raum bei Einzylindermaschinen und $m = 4\%$ bei Verbundmaschinen. Ferner ist Betrieb mit trocken-gesättigtem Dampf vorausgesetzt, bei dem die Expansionslinie annähernd wie eine gleichseitige Hyperbel verläuft. Auf den Zylinderfüllungen als Abszissen sind die mittlern indizierten Drücke p_i als Ordinaten aufgetragen, im obern Teil für Einzylinder-, im untern Teil für Verbunddampfmaschinen, auf der linken Tafelseite für freien Auspuff in die Atmosphäre



Dampf tafel 6. Mittlere indizierte Drücke von Kolbendampfmaschinen in kg/qcm.

von 760 mm QS = 1,0333 at abs. Druck, auf der rechten Tafelseite für Betrieb mit Kondensation bei 0,15 at abs. Kondensatordruck (~ 85% Vakuum).

Beispiele:

1. Einzylinder-Auspuffbetrieb, $p = 10$ at abs., $\varepsilon = 20\%$; $p_i = 3,5$ kg/qcm.
2. Einzylinder-Kondensationsbetrieb, $p = 10$ at abs., $\varepsilon = 20\%$; $p_i = 4,3$ kg/qcm.
3. Verbund-Auspuffbetrieb, $p = 12,5$ at abs., $\varepsilon = 11\%$; $p_{i \text{ red.}} = 2,8$ kg/qcm.
4. Verbund-Kondensationsbetrieb, $p = 12,5$ at abs., $\varepsilon = 11\%$; $p_{i \text{ red.}} = 3,7$ kg/qcm.

Für Verbunddampfmaschinen kann unterhalb der Ordinatenachse bei bestimmter Zylinderfüllung die der reduzierten Füllung entsprechende Hochdruckfüllung unmittelbar abgelesen werden.

$$\varepsilon_{\text{hochdr.}} = \varepsilon_{\text{niederdr.}} \frac{F}{f}$$

Beispiele:

1. Verbund-Kondensationsbetrieb, $F:f = 2,8$, $\varepsilon_{\text{red.}} = 9\%$; $\varepsilon_{\text{hochdr.}} = \sim 25\%$.
2. Verbund-Auspuffbetrieb, $F:f = 2,55$, $\varepsilon_{\text{hochdr.}} = 30\%$; $\varepsilon_{\text{red.}} = \sim 12\%$.

Infolge des angenähert hyperbolischen Verlaufes der Expansionslinie bei Betrieb mit trocken-gesättigtem Dampf ist bei $m\%$ schädlichem Raum der Expansionsenddruck im Hochdruckzylinder $p_{\text{end.}} = \frac{p(\varepsilon + m)}{100 + m}$ und der Dampfdruck im Aufnehmer bei dem vorteilhaften geringen Druckabfall beim Voraustritt

$$p_{\text{aufn.}} = \sim 0,9 \frac{p(\varepsilon + m)}{100 + m}$$

Beispiel:

$$p = 12 \text{ at abs.}, \varepsilon = 30\%, m = 4,2\%;$$

$$p_{\text{aufn.}} = 0,9 \cdot \frac{12(30 + 4,2)}{100 + 4,2} = \sim 3,6 \text{ at abs.} \\ = \sim 2,6 \text{ at Überdruck.}$$

Man kann bei der Wahl des Zylinderverhältnisses gleiche Drücke, $f(p - p_{\text{aufn.}}) = F(p_{\text{aufn.}} - p_0)$, gleiche Leistungen oder gleiche Temperaturgefälle in beiden Zylindern anstreben. Übliche Zylinderverhältnisse gibt die Zahlentafel 10.

Zahlentafel 10.

Zylinderverhältnisse F:f von Verbund-Dampfmaschinen.

Dampfanfangsdruck in at abs.	6	8	10	12	14	16
Betrieb mit tr.-ges. Dampf	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Betrieb mit 250° C	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1
mit 300° C	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
überhitztem Dampf 350° C	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3

Abweichungen von diesen Werten haben geringen Einfluß auf den Gütegrad der Dampfausnutzung, zumal da man meistens durch Veränderung der Niederdruckfüllung ebenfalls auf den Aufnehmerdruck und damit auf die Leistung in jedem Zylinder einwirken kann.

Sowohl für die Expansions- als auch für die Kompressionslinie gilt das Gesetz $p v^n = \text{unveränderlich}$. Bei Betrieb mit trocken-gesättigtem Dampf müßte, wenn keine Wärmeausstrahlung stattfände, $n = \kappa = 1,135$ sein. Praktisch sinkt der Wert auf 1. Bei Betrieb mit überhitztem Dampf müßte der Exponent, wie der bei wärmedichthem Zylinder und Kolben, auf $\kappa = 1,3$ steigen. Praktisch werden etwa die Werte der Zahlentafel 11 erreicht.

Zahlentafel 11.

Werte des Exponenten der Expansionslinie.

Dampfanfangsdruck in at abs.	6	8	10	12	14	16
Dampfanfangs-temperatur						
250° C	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08
300° C	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14
350° C	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20

Die Abnahme des Exponenten mit steigenden Drücken bei gleichbleibender Temperatur ist durch die abnehmende »Überhitze« begründet.

Mit dem Charakter $p v^n = \text{unveränderlich}$ verlaufen Expansions- und Kompressionslinie des überhitzten Dampfes steiler als bei einer gleichseitigen Hyperbel, entsprechend $p v = \text{unveränderlich}$ bei trocken-gesättigtem Dampf. Da der Einfluß der steilern Expansionslinie den der Kompressionslinie überwiegt, nehmen die Diagrammfläche und damit p_i und Maschinenleistung bei gleicher Füllung mit der Überhitzung ab. Von den p_i -Werten der Dampf-tafel 6 sind demnach bei Betrieb mit überhitztem Dampf gewisse Abzüge zu machen, über deren Höhe die kleinen Zahlentafeln bei den verschiedenen Betriebsarten der Dampf-tafel 6 Auskunft geben.

Beispiele:

1. Einzylinder-Auspuffbetrieb, $p = 10$ at abs., $t = 250^\circ \text{C}$, $\varepsilon = 19\%$; $p_i = 3,4 - 9\% = \sim 3,1$ kg/qcm.
2. Verbund-Kondensationsbetrieb, $p = 13,2$ at abs., $t = 282^\circ \text{C}$, $\frac{F}{f} = 2,8$, $\varepsilon = 18\%$; $p_i = 2,5 - 17\% = \sim 2,1$ kg/qcm.

Bei unveränderter Füllung fällt auch der Aufnehmerdruck bei Betrieb mit überhitztem Dampf geringer aus als bei trocken-gesättigtem Dampf. Man kann ihn angenähert durch einen Abzug in gleicher Höhe wie beim p_i -Wert bestimmen.

Beispiel:

$$\text{Verbund-Auspuffbetrieb, } p = 11,5 \text{ at abs., } t = 320^\circ \text{C, } \varepsilon = 35\%, m = 3,8\%.$$

Bei tr.-ges. Dampf ist

$$p_{\text{aufn.}} = 0,9 \frac{11,5(35 + 3,8)}{100 + 3,8} = \sim 3,85 \text{ at abs.}$$

Bei $t = 320^\circ \text{C}$ ist

$$p_{\text{aufn.}} = 3,85 - 16\% = 0,84 \cdot 3,85 = \sim 3,25 \text{ at abs.} \\ = 2,25 \text{ at Überdruck.}$$

Diese Erscheinung ist mit ein Grund für die Wahl kleinerer Hochdruckzylinder bei steigender Überhitzung.

Den p_i -Werten der Dampf-tafel 6 sind die Enddrücke 1,0333 und 0,15 at abs. zugrunde gelegt. Bei kleinern und größern absoluten Enddrücken erhält man mit sehr guter Annäherung den neuen p_i -Wert, indem man die Abweichung des Enddruckes den Tafelwerten zuzählt oder

sie von ihnen abzieht. Darin liegt die einfache Überlegung, daß der Unterschied sich auf der ganzen Diagrammlänge während des Ausströmens bemerkbar machen muß. Änderungen im Drosselverlust der Steuerung und in der Kompressionsarbeit sind von geringem Einfluß.

Beispiele:

1. Einzylindermaschine, $p = 13,7$ at abs., tr.-ges. Zustand, $p_o = 1,8$ at abs., $\epsilon = 15\%$;
 $p_i = 4,25 - (1,8 - 1,033) = 4,25 - 0,77 = \sim 3,48$ kg/qcm.
2. Verbundmaschine, $p = 12,4$ at abs., $t = 285$ °C, $p_o = 0,11$ at abs. ($\sim 89\%$ Vakuum). $\epsilon_{red} = 6,5\%$;
 $p_{i \text{ tr.-ges.}} = 2,52$ kg/qcm bei $p_o = 0,15$ at abs.
Abzug für Überhitzung $\sim 16\%$.
Zusatz für abweichenden Enddruck $0,15 - 0,11 = 0,04$ at,
 $p_i = 2,52 \cdot 0,84 + 0,04 = 2,16$ kg/qcm.

Wirtschaftlich günstigste Zylinderfüllungen.

Bei jeder Dampfmaschine wird der geringste Dampfverbrauch für die Leistungseinheit angestrebt. Der Dampfverbrauch einer Kolbendampfmaschine setzt sich zusammen aus dem nutzbaren Dampfverbrauch, dem Abkühlungsverlust und dem Lässigkeitsverlust.

Der nutzbare Dampfverbrauch ließe sich erzielen, wenn alle Teile, mit denen der Dampf in Berührung kommt, absolut dicht und wärmeleitfähig wären. Er wäre dann aus dem Rauminhalt des verbrauchten Dampfes ohne weiteres nach dem Indikatordiagramm zu berechnen und müßte desto geringer sein, je vollkommener die Expansion durchgeführt würde. Kleinere Füllungen müßten also geringern Dampfverbrauch ergeben, solange keine Schleifenbildung im Diagramm, keine Expansion unter den Enddruck eintritt.

Praktisch gibt es aber keine Maschinenteile, die absolut dicht sind, und kein Maschinenmaterial, das die Wärme nicht ableitet. Der erstgenannte Übelstand ist die Ursache des Lässigkeitsverlustes. Trotz bester Konstruktion und Ausführung lassen sich geringe Undichtigkeiten nicht vermeiden, durch die ein Bruchteil des Dampfes ohne oder ohne volle Arbeitsleistung einen nicht gewünschten Weg einschlägt. Dieser Lässigkeitsverlust beträgt aber bei guter Ausführung der Maschine nur einige Zehntel Kilogramm Dampf für 1 PSst, während auf den Abkühlungsverlust, dessen Ursache in der Wärmeleitfähigkeit des Materials liegt, ein viel größerer Betrag entfällt. Der Dampf kühlt sich ab, wenn er anfangs überhitzt, und kondensiert teilweise, wenn er trocken-gesättigt ist, sobald er mit kältern Maschinenteilen in Berührung kommt. Schon während des Dampfeintritts schrumpft also sein Rauminhalt zusammen, und dieser Dampf kann dann bei der Expansion nicht mehr die volle Arbeit leisten. Im Indikatordiagramm zeigt sich dieser Temperatursturz bei überhitztem Dampf und diese Volumenverringerung bei jeder Art Dampf nur deshalb nicht, weil Ersatzdampf sofort nachströmt, solange das Einlaßorgan geöffnet ist. Auch nach dem Expansionsbeginn findet ein weiterer Wärmeübergang an die Zylinderwandungen statt, selbst wenn sie nach außen hin mit bestem Wärmeschutz versehen sind. Am Ende der Expansion geht zwar umgekehrt ein Wärmestrom von der Wand an den kühleren Dampf von geringerer Spannung über, der aber den vollen Verlust nicht mehr gutmachen kann, weil

die Arbeit dann zum größten Teil geleistet ist; die Wärme wandert nutzlos mit dem Abdampf durch die Auslaßorgane in die Abdampfleitung. Der Abkühlungsverlust muß verhältnismäßig desto größer werden, je tiefer das Temperaturmittel des Dampfes im Zylinder während eines Kolbenspieles sinkt, das wiederum vom mittlern Druck, also von der Zylinderfüllung abhängt. Die Erfahrung hat auch bestätigt, daß das Anwachsen des Abkühlungsverlustes mit sich verringender Füllung nicht nur den Gewinn infolge Abnahme des nutzbaren Dampfverbrauches teilweise aufzehrt, sondern ihn sogar von einer gewissen Füllung ab übersteigt. Es gibt also eine Zylinderfüllung, bei der die Summe der einzelnen Faktoren des Dampfverbrauches einen Mindestwert erreicht. Diese Füllung, bzw. der zugehörige p_i -Wert, ist für verschiedene Anfangs- und Enddrücke verschieden, ist bei Einzylindermaschinen anderswertig als bei Verbundmaschinen. Der Dampfverbrauch steigt aber sowohl bei kleinerem als auch bei größerem p_i zunächst ganz unbeträchtlich, so daß man praktisch zwischen mehreren Werten die Wahl hat. Ist eine öfter vorkommende Überlastung der Maschine wahrscheinlich, so wird man sich für den kleineren Wert entscheiden; wird die Maschine öfter teilbelastet sein, so wird man den größeren Wert wählen. Ist keine p_i -Steigerung zu erwarten, so ist der größere Wert der wirtschaftlich richtige mit Rücksicht auf die höhern Kosten einer Maschine mit kleinerem p_i . In Betracht der Herstellungskosten liegt allgemein die wirtschaftlich günstigste Füllung etwas oberhalb derjenigen geringsten Dampfverbrauches.

Der Hauptvorteil des Betriebes mit überhitztem Dampf beruht darauf, daß sich die Abkühlungsverluste bis auf 20 bis 5% ihres Betrages bei trocken-gesättigtem Dampf verringern. Der Gesamtdampfverbrauch wird daher bei sich verkleinernder Füllung nicht sobald wieder ansteigen, der Mindestdampfverbrauch liegt bei geringerer Füllung, und man wird bei überhitztem Dampf die kleineren p_i -Werte der Normalleistung der Maschine zugrunde legen.

Auf der Dampf tafel 6 sind die Füllungen bzw. p_i -Werte wirtschaftlichsten Betriebes der Dampfmaschinen durch Strichelung gekennzeichnet. Entsprechend den vorhergehenden Betrachtungen wird man beim Entwurf einer Maschine einen dieser Werte wählen.

Beispiele:

1. Einzylinder-Auspuffbetrieb, $p = 8$ at abs.;
 $p_i = 2,4$ bis $2,8$ kg/qcm.
2. Einzylinder-Kondensationsbetrieb, $p = 12$ at abs.;
 $p_i = 2,7$ bis $3,3$ kg/qcm.
3. Verbund-Auspuffbetrieb, $p = 14$ at abs.;
 $p_{i \text{ red.}} = 2,8$ bis $3,3$ kg/qcm.
4. Verbund-Kondensationsbetrieb, $p = 12,5$ at abs.;
 $p_{i \text{ red.}} = 2,1$ bis $2,7$ kg/qcm.

Dreimalige Expansion des Dampfes.

Zur Berechnung von Maschinen mit dreimaliger Expansion sind die erforderlichen Werte in den Zahlentafeln 12–14 zusammengestellt; die p_i -Werte, welche diejenigen geringsten Dampfverbrauches einschließen, sind schräg gedruckt. Es sind nur die Zahlen für Betrieb mit Kondensation bei 0,15 at abs. Enddruck ($\sim 85\%$ Vakuum) aufgeführt, da Auspuffbetrieb unwirtschaftlicher als bei Verbundmaschinen wäre.

Zahlentafel 12.
 Übliche Zylinderverhältnisse $f_1:f_2:F$ bei Maschinen mit dreimaliger Expansion.

Dampfanfangsdruck in at abs.	6	9	12	15	18
Betrieb mit tr.-ges. Dampf	1:2,0:4,0	1:2,2:5,0	1:2,4:6,0	1:2,6:7,0	1:2,8:8,0
Betrieb mit überhitztem Dampf	250°C	1:2,1:4,5	1:2,3:5,5	1:2,5:6,5	1:2,7:7,5
	300°C	1:2,2:5,0	1:2,4:6,0	1:2,6:7,0	1:2,8:8,0
	350°C	1:2,3:5,5	1:2,5:6,5	1:2,7:7,5	1:2,9:8,5
				1:2,9:8,5	1:3,1:9,5

Zahlentafel 13.
 Mittlere indizierte Drücke $p_{i \text{ red.}}$ in kg/qcm bei Maschinen mit dreimaliger Expansion und Kondensation (0,15 at abs. Enddruck).

Reduz. Füllung in %	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
6	0,54	0,59	0,67	0,74	0,83	0,96	1,10	1,22	1,35	1,46	1,58
7	0,60	0,67	0,77	0,86	0,96	1,11	1,27	1,42	1,57	1,70	1,84
Dampf-	8	0,67	0,75	0,87	0,98	1,08	1,26	1,45	1,62	1,79	1,94
anfangs-	9	0,74	0,83	0,97	1,09	1,21	1,41	1,63	1,82	2,01	2,18
druck	10	0,80	0,92	1,07	1,20	1,34	1,56	1,81	2,02	2,23	2,42
in	11	0,86	1,01	1,17	1,32	1,47	1,72	1,98	2,23	2,45	2,66
at. abs.	12	0,92	1,09	1,27	1,44	1,60	1,87	2,16	2,43	2,68	2,88
	13	0,99	1,17	1,37	1,55	1,72	2,03	2,35	2,63	2,90	3,15
	14	1,05	1,26	1,47	1,67	1,85	2,18	2,53	2,83	3,12	3,39
	15	1,11	1,35	1,57	1,79	1,98	2,34	2,70	3,03	3,34	3,64
	16	1,18	1,44	1,67	1,90	2,11	2,49	2,88	3,24	3,56	3,88
	17	1,25	1,53	1,77	2,02	2,24	2,65	3,06	3,44	3,78	4,13
	18	1,31	1,62	1,87	2,14	2,37	2,80	3,24	3,64	4,00	4,37
	19	1,37	1,70	1,97	2,26	2,50	2,95	3,42	3,84	4,22	4,61
	20	1,44	1,79	2,07	2,37	2,63	3,10	3,60	4,04	4,45	4,86

Zahlentafel 14.

Verringerung des mittlern indizierten Druckes $p_{i \text{ red.}}$ in % bei Betrieb mit überhitztem Dampf und dreimaliger Expansion.

Dampftemperatur in °C	200	250	300	350
6	6	11	16	21
8	7	12	17	22
Dampf-	10	8	13	18
anfangs-	12	9	14	19
druck	14	10	15	20
in	16	11	16	21
at. abs.	18	12	17	22
	20	13	18	23

Dampfverbrauchswerte.

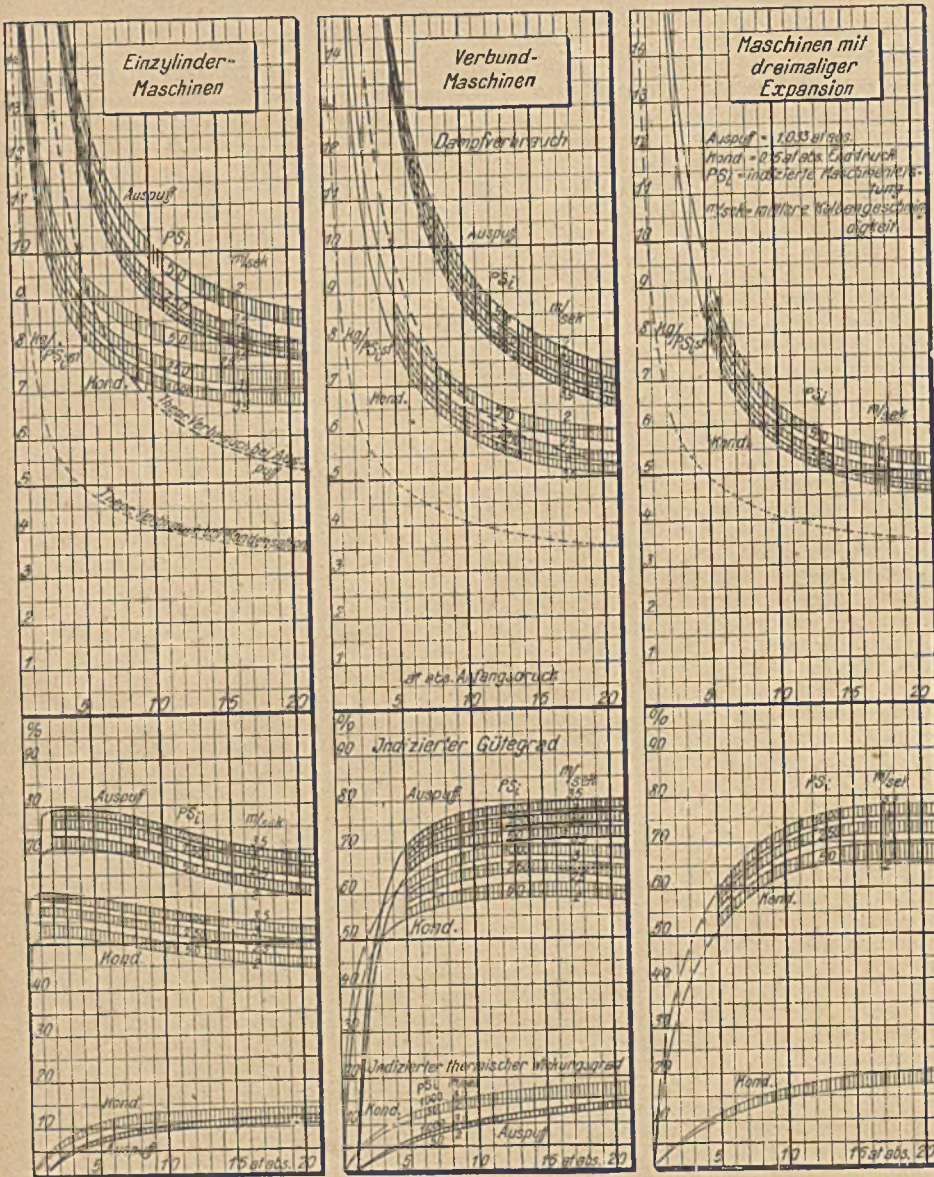
Die Mollier-Tafel 1 und die Dampf tafeln 1–5 zeigen Darstellungen, die sämtlich genaue, theoretisch festgelegte Unterlagen haben. Die Darstellung der indizierten Drücke auf der Dampf tafel 6 stützt sich teils auf Rechnung und teils auf Versuchswerte, die aber durch eine Reihe von zahlenmäßigen Zusammenstellungen schon bekannt sind. Auf den folgenden Tafeln sollen Zusammenstellungen von Dampfverbrauchswerten gegeben werden, die lediglich durch Versuche ermittelt werden konnten. Als Unterlagen wurden dabei die Werke von Hrabák¹, die zahlreichen Angaben in der Fachliteratur sowie eine große Anzahl eigener Versuche benutzt. Die aufgetragenen Dampfverbrauchs ziffern sind mit guten Maschinen von normaler Bemessung und Bauart bei Ventilsteuerung zu erzielen. Sie können in Ausnahmefällen um einige Hundertteile unterschritten werden, während andererseits bei Maschinen

mit weniger genau arbeitender Schiebersteuerung Zuschläge von etwa 5–15 % zu machen sind.

Da eine Dampfverbrauchs ziffer allein selbst bei genauer Angabe der Dampfverhältnisse usw. nicht ohne weiteres ein Bild von der Güte der Maschine geben kann, ist für alle Verbrauchszahlen aus dem jeweils verfügbaren Wärmegefälle der Gütegrad berechnet und in ähnlicher Weise aufgetragen worden. Beide Darstellungen, schließlich noch in Verbindung mit dem zugehörigen thermischen Wirkungsgrad, lassen dann die Einflüsse der verschiedenen Faktoren auf die thermodynamischen Vorgänge in der Dampf kraftmaschine schon klarer erkennen.

Die Dampf tafel 7 setzt Betrieb mit trocken-gesättigtem Dampf beim Eintritt in die Maschine voraus. Die Dampf anfangsdrücke von 0–21 at abs. sind dreimal nebeneinander als Abszissen aufgetragen, für Einzylinder-Kolbendampfmaschinen, für Verbundmaschinen und für Maschinen mit dreimaliger Expansion. In den oberen Teilen sind als Ordinaten die Dampfverbrauchs zahlen in kg/PS_i eingezeichnet, die sich bei den auf der Dampf tafel 6 gekennzeichneten günstigsten Füllungen für Normalleistungen von 50, 250 und 1000 PS_i bei 2 und 2,5, bzw. 2,5 und 3, bzw. 3 und 3,5 m/sek mittlerer Kolbengeschwindigkeit ergeben, einmal freien Auspuff in die Atmosphäre von 1,033 at abs. Druck, sodann Betrieb mit Kondensation bei 0,15 at abs. Enddruck (~ 85 % Vakuum) vorausgesetzt. Dampfverbrauchs zahlen gleicher Leistung und Kolbengeschwindigkeit sind durch Kurven verbunden, Kurven gleicher Leistung sind durch Strichelung in Zusammenhang gebracht. Gepunktet sind als theoretische Mindestwerte die Dampfverbrauchs zahlen bei adiabatischer, vollkommener Expansion, die eine verlustlose Maschine mit 100 % Gütegrad zur Voraussetzung haben.

¹ Hilfsbuch für Dampfmaschinentechnik, 3 Bde., Berlin 1906.



Dampf tafel 7. Dampfverbrauch, Gütegrad und thermischer Wirkungsgrad guter Kolbendampfmaschinen bei Betrieb mit trocken-gesättigtem Dampf.

gleicher Leistung und Kolbengeschwindigkeit sind wieder durch Kurven verbunden, Kurven gleicher Leistung sind durch Strichlung vereinigt.

Aus der obern Darstellung geht hervor, daß selbst bei Einzylindermaschinen die Steigerung des Dampfdruckes immer noch eine Abnahme des Dampfverbrauches zur Folge hat. Die untere zeigt aber, daß der Gütegrad infolge Zunahme der Kondensationsverluste innerhalb der Maschine mit steigendem Anfangsdruck bei Einzylindermaschinen sehr bald wieder abnimmt. Bei Verbundmaschinen liegt der Wendepunkt infolge Verringerung der Kondensationsverluste bei Verteilung des Druck- und Temperaturgefälles auf zwei Zylinder erst bei höhern Drücken und rückt bei dreimaliger Expansion noch weiter hinaus.

Der Gütegrad gestattet aber nur einen Vergleich bei Maschinen, die unter gleichen Dampfverhältnissen arbeiten; ein Maßstab für die Wirtschaftlichkeit ist er nicht mehr, sobald das theoretische Wärmegefälle verschieden groß ist. Das zeigt deutlich der Vergleich zwischen Auspuß- und Kondensationsbetrieb. Der Gütegrad von Auspußmaschinen, wieder durch stärkere Linien hervorgehoben, ist besser als bei Betrieb mit Kondensation, trotzdem ihr Dampfverbrauch selbstverständlich größer ist. Der Gütegrad ist eben lediglich ein Maßstab für die mehr oder minder große Vollkommenheit der Maschine bei der Ausnutzung des Wärmegefälles, das infolge äußerer Umstände durch Anfangs- und Enddruck festgelegt wird. Der Abstand der Gütegradkurven von der 100 %-Linie zeigt maßstäblich den Verlust infolge der Unvollkommenheit der Maschine.

Der gekrümmte Verlauf der Linien zeigt den Einfluß des Dampfanzugsdruckes, ihr Abstand voneinander den Einfluß der Maschinengröße und der Kolbengeschwindigkeit sowie den Gewinn durch die Kondensation. Der Auspußbetrieb ist durch verstärkte Linien gekennzeichnet. Schließlich zeigt der Vergleich der drei Felder den Gewinn, der durch Verringerung des Kondensationsverlustes bei Verteilung des ganzen Druckgefälles auf zwei oder drei Zylinder zu erzielen ist. Auspuß mit dreimaliger Expansion kommt als Dauerbetrieb nicht vor; die Dampfverbrauchsziffern mußten wegen Mangels an Unterlagen fortgelassen werden.

Die Wirtschaftlichkeit veranschaulicht dagegen der thermische Wirkungsgrad, der Quotient aus der in Arbeit umgewandelten Dampfwärme und dem Wärmeinhalt des Dampfes vor dem Eintritt in die Maschine. Er berücksichtigt also nicht nur das jeweils verfügbare Wärmegefälle und den Gütegrad der Maschine, durch welche beiden Faktoren der Dampfverbrauch festgelegt wird, sondern auch den mit dem Dampfdruck steigenden Wärmehinzufluss bei der Erzeugung des Dampfes. Diese indizierten thermischen Wirkungsgrade sind für 50 und 1000 PSi bei 2 bzw. 3,5 m mittlerer Kolbengeschwindigkeit in dasselbe Koordinatensystem eingetragen, für Auspußbetrieb wieder mit verstärkten Linien. Kondensationsbetrieb zeigt hier wieder die bessern Werte; sie steigen mit dem Anfangsdruck und mit der Unterteilung des Druckgefälles.

Im untern Teil der Tafel sind auf den gleichen Abszissen als Ordinaten zunächst die indizierten Gütegrade aufgetragen, die sich rechnerisch als Quotienten aus dem theoretischen Dampfverbrauch und dem jeweiligen tatsächlichen der indizierten Leistung ergeben. Gütegrade

kurven von der 100 %-Linie zeigt maßstäblich den Verlust infolge der Unvollkommenheit der Maschine.

Beispiele:

N = 250 PS_i, c = 3 m/sek.

Dampf- Anfangsdruck in at abs.	Auspuffbetrieb						Kondensationsbetrieb								
	Dampfverbrauch in kg/PS _i st		Indiz. Gütegrad in %		Indiz. therm. Wirkungsgrad in %		Dampfverbrauch in kg/PS _i st			Indizierter Gütegrad in %			Indizierter thermischer Wirkungsgrad in %		
	Einzyl.	Verbund	Einzyl.	Verbund	Einzyl.	Verbund	Einzyl.	Verbund	3 malige Exp.	Einzyl.	Verbund	3 malige Exp.	Einzyl.	Verbund	3 malige Exp.
6	11,7	12,4	76	71	8	7,5	8,4	7,6	7,7	56	62	61	11,5	12,6	12,4
9	9,6	9,6	75	75	10	10	7,7	6,5	6,2	55	65	68	12,5	14,5	15
12	8,8	8,3	72	76	10,5	11,5	7,3	5,9	5,5	54	67	72	13	16	17
15	8,3	7,5	69	77	11,5	12,5	7,2	5,6	5,1	52	67	74	13,1	17	18,5
20	7,8	6,9	67	77	12	13,5	7,1	5,3	4,8	50	66	74	13,2	17,5	19,5

Bei Auspuffbetrieb ist bei 6 at Dampfdruck der Dampfverbrauch der Verbundmaschine infolge der größeren Drosselverluste bei den längern Dampfwegen größer als bei der Einzylinderbauart, bei 9 at ist der Dampfverbrauch gleich, da der Gütegrad der Einzylindermaschine infolge Zunahme der Kondensationsverluste schon wieder abgenommen hat, und erst bei höhern Drücken bietet die Verbundmaschine Vorteile. Die Gütegrade und thermischen Wirkungsgrade zeigen ein ähnliches Verhalten.

Bei Betrieb mit Kondensation ist die Dampfendtemperatur erheblich tiefer als bei Auspuffbetrieb. Die Kondensationsverluste sind daher viel einflußreicher, so daß schon bei 6 at Anfangsdruck die Verbundmaschine günstiger arbeitet. Dieser Vorteil nimmt mit steigendem Druck weiter zu. Die Maschine mit dreimaliger Expansion ist aber bei 6 at Dampfdruck der Verbundmaschine wieder unterlegen, da sich die Drosselverluste nochmals erhöht haben. Sie holt aber mit steigendem Druck die Verbundmaschine schnell ein, und ihr Vorteil wird desto größer, je höher der Dampfdruck steigt. Die Gütegrade zeigen gleichen Verlauf, die thermischen Wirkungsgrade ähnlichen. Bei den Einzylindermaschinen nimmt der Dampfverbrauch über 12 at Anfangsdruck so wenig ab, daß der thermische Wirkungsgrad, der auch die Zunahme der Erzeugungswärme berücksichtigt, kaum noch wächst. Das zeigt ebenfalls schon der Verlauf der Kurve des thermischen Wirkungsgrades für Einzylindermaschinen mit Kondensation.

Bei trocken-gesättigtem Dampf ist also bei Auspuffbetrieb die Verbundmaschine unwirtschaftlich, wenn der Dampfdruck geringer als 9 at abs. ist, während beim Betrieb mit Kondensation selbst bei den niedrigsten praktisch vorkommenden Dampfdrücken durch die Verbundwirkung Vorteile zu erzielen sind. Eine weitere Unterteilung, die dreimalige Expansion, bietet dagegen auch bei Kondensationsbetrieb erst von etwa 7 at abs. an Gewinn, bei geringern Drücken hat sie keine Berechtigung. Mit Rücksicht auf die Herstellungskosten rücken diese Grenzen noch etwas hinauf.

Bei Einzylindermaschinen mit Kondensation hat es keinen Zweck, den Dampfdruck über 12 at abs. zu steigern; der Dampfverbrauch wird wohl noch um ein geringes abnehmen, die Wirtschaftlichkeit des Betriebes wird aber praktisch nicht erhöht.

Leistungen und Kolbengeschwindigkeiten zwischen den aufgetragenen Werten der Dampf tafel 7 sind in bequemer Weise zu interpolieren.

Beispiele:

1. N = 60 PS_i, c = 2,1 m/sek, p = 9 at abs. Anfangsdruck.

Einzylinder-Auspuff:

Dampfverbrauch $D_i = \sim 10,5$ kg/PS_i.2. N = 350 PS_i, c = 2,8 m/sek, p = 11,5 at abs.Verbund-Kondensation: Gütegrad $\eta_{i.güte} = 66\%$.3. N = 80 PS_i, c = 2,7 m/sek, p = 9,3 at abs.Einzylinder-Kondensation: $D_i = 8,2$ kg/PS_i.4. N = 720 PS_i, c = 3,1 m/sek, p = 15,8 at abs.Verbund-Auspuff: $\eta_{i.güte} = 78\%$.5. N = 900 PS_i, c = 3,3 m/sek, p = 16,4 at abs.Dreimalige Expansion-Kondensation: $D_i = 4,8$ kg/PS_i.

Einfluß der Dampfüberhitzung.

Mit dem Übergang zum Betriebe mit überhitztem Dampf nimmt einmal das verfügbare Wärmegefälle zu, wie es die Dampf tafeln 4 und 5 zeigen. Außerdem verbessert sich je nach Bauart und Betriebsweise der Maschinen mehr oder weniger ihr Gütegrad, so daß der Dampfverbrauch für die Leistungseinheit ganz erheblich zurückgehen kann.

Die Dampf tafel 8 zeigt für die kleinste und größte Maschinenleistung der Dampf tafel 7, für 50 und 1000 PS_i, die Abnahme des Dampfverbrauches und die Zunahme der Wirkungsgrade, abhängig von der Dampfüberhitzung. Die Dampf anfangstemperaturen sind mehrmals nebeneinander als Abszissen aufgetragen, während als Ordinaten wieder im obern Teil die Dampfverbrauchs zahlen in kg/PS_i, im untern Teil die zugehörigen indizierten Gütegrade und thermischen Wirkungsgrade eingezeichnet sind. Werte gleichen Dampf anfangsdruckes sind durch Kurven verbunden, gleiche Betriebsweise, Auspuff oder Kondensation, ist durch Strichelung in Zusammenhang gebracht. Der Beginn der Überhitzung bei den verschiedenen Drücken ist durch eine Begrenzungslinie kenntlich gemacht.

Die Darstellung zeigt sowohl bei der Maschine von 50 PS_i Leistung links als auch bei der 1000 PS-Maschine rechts, daß der Dampfverbrauch beträchtlich mit der Überhitzung abnimmt. Die Abnahme ist im Verhältnis größer als die Zunahme des Gütegrades; der Grund ist die schon erwähnte Steigerung des verfügbaren Wärmegefälles mit dem Übergang zur Dampfüberhitzung.

Je größer bei Betrieb mit trocken-gesättigtem Dampf die Kondensationsverluste sind, desto mehr wird der Gütegrad durch die Überhitzung verbessert. Sie bringt also

bei Einzylindermaschinen größeren Gewinn als bei Verbundmaschinen und bei Betrieb mit Kondensation wieder mehr als bei Auspuffbetrieb. Das zeigt deutlich der Vergleich der Gütegrade, die verschieden große Steigerung mit der Überhitzung.

Der mehr oder minder gekrümmte Verlauf der Gütegrad- und auch der Dampfverbrauchskurven läßt erkennen,

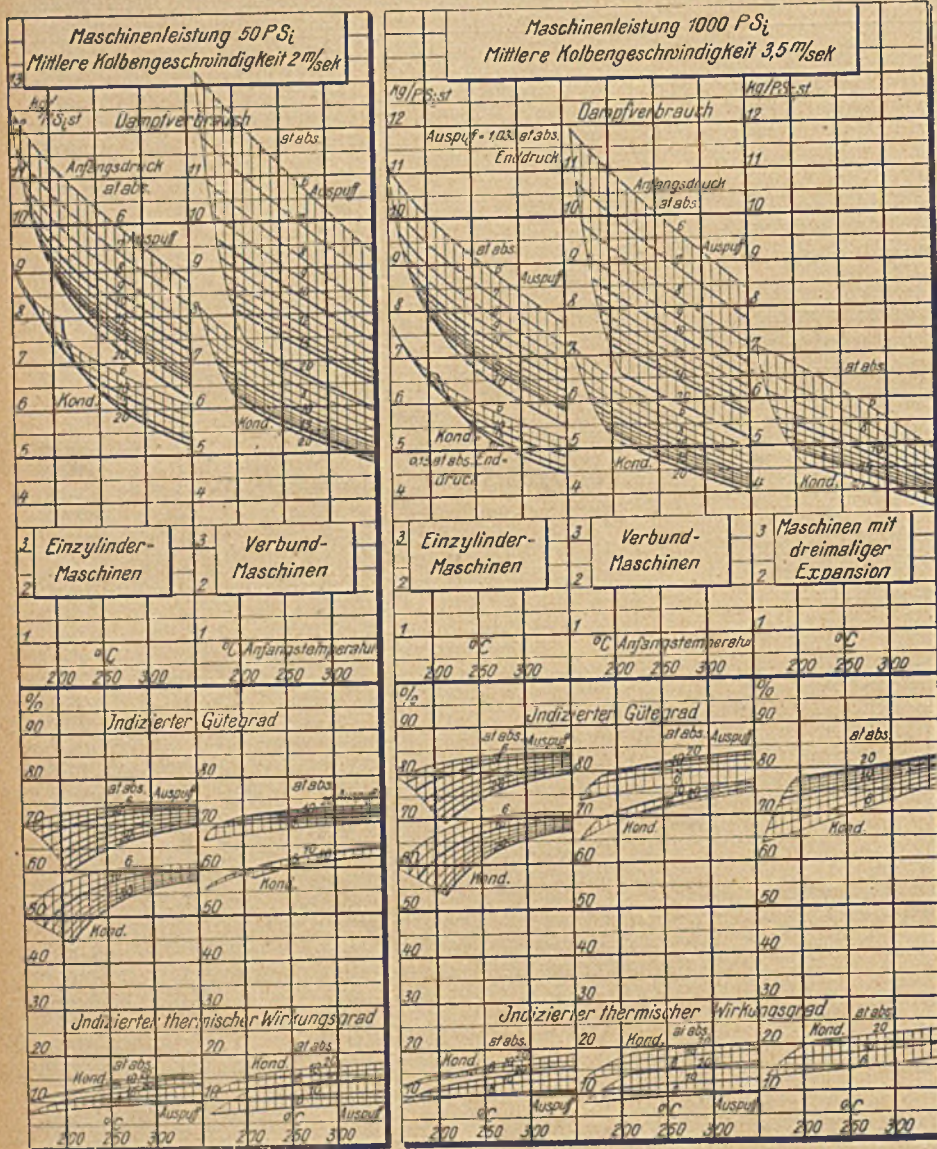
daß der Gewinn nicht proportional der Überhitzung ist. Bei Einzylindermaschinen mit ihrem großen Abkühlungsverlust bei Betrieb mit gesättigtem Dampf ist die Anfangsüberhitzung entschieden vorteilhafter als gleiche Temperaturzunahme im Gebiete höherer Überhitzung. Das ist bei Verbundmaschinen kaum noch und bei Maschinen mit dreimaliger Expansion sogar umgekehrt der Fall.

Der Verlauf der Dampfverbrauchslinien gleichen Druckes mit annähernd gleichem Abstand voneinander bei steigender Temperatur zeigt, daß der Einfluß des Dampf-anfangsdruckes bei überhitztem Dampf der gleiche bleibt wie bei trocken-gesättigtem Anfangszustand. Die Überhitzung ist also bei allen Drücken annähernd gleich vorteilhaft.

Mit der Überhitzung steigt natürlich der Wärmeinhalt des Dampfes, so daß zum mindesten ein Teil des Vorteils geringeren Dampfverbrauches von vornherein geopfert wird. Die im untern Teil der Tafel eingetragenen thermischen Wirkungsgrade zeigen aber, daß dieser Mehraufwand an Erzeugungswärme in keinem Falle den Gewinn vollständig aufhebt. Die Wirkungsgrade steigen alle mit der Überhitzung, die Wirtschaftlichkeit des Umwandlungsprozesses erhöht sich.

Beispiele:

1. $N = 50 \text{ PS}_i$, $c = 2 \text{ m/sek.}$
 - a) Einzylinder-Auspuff, $p = 8 \text{ at abs.}$, $t = 260^\circ \text{C}$; $D_i = 9,1 \text{ kg/PS}_i$.
 - b) Einzylinder-Kondensation, $p = 11 \text{ at abs.}$, $t = 295^\circ \text{C}$; $\eta_{i \text{ güte}} = 59\%$,
 - c) Verbund-Kondensation, $p = 13,5 \text{ at abs.}$, $t = 320^\circ \text{C}$; $\eta_{i \text{ therm.}} = 17\%$.
2. $N = 1000 \text{ PS}_i$, $c = 3,5 \text{ m/sek.}$, $t = 300^\circ \text{C}$.



Dampftafel 8. Einfluß der Überhitzung auf den Dampfverbrauch, den Gütegrad und den thermischen Wirkungsgrad guter Kolbendampfmaschinen.

Dampfdruck in at abs.	Auspuffbetrieb						Kondensationsbetrieb								
	Dampfverbrauch in kg/PS _i		Indizierter Gütegrad in %		Indiz. therm. Wirkungsgrad in %		Dampfverbrauch in kg/PS _i			Indizierter Gütegrad in %			Indizierter thermischer Wirkungsgrad in %		
	Einzykl.	Verb.	Einzykl.	Verb.	Einzykl.	Verb.	Einzykl.	Verb.	3 × Exp.	Einzykl.	Verb.	3 × Exp.	Einzykl.	Verb.	3 × Exp.
6	8,4	9,2	84	77	10,5	9,5	5,6	5,4	5,5	71	73	72	15,4	16	15,5
9	7,2	7,4	83	81	12	11,5	5,3	4,9	4,8	69	75	77	16,3	17,6	18
12	6,6	6,6	82	82	13	13	5,1	4,6	4,4	68	75,5	78	17	19	19,5
15	6,3	6,1	80	82,5	13,8	14,2	5,0	4,4	4,2	67	75	79	17,5	19,5	20,5
20	6,0	5,6	78	83	14,5	15,5	4,9	4,3	4,0	65	74	81	18	20	21,5

Bei niedrigen Dampfdrücken ist bei Auspuffbetrieb die Verbundmaschine der Einzylinderbauart wieder unterlegen, bei Kondensationsbetrieb ist die Maschine mit dreimaliger Expansion unvorteilhafter als die Verbundmaschine. Die Grenzen der Wirtschaftlichkeit rücken aber etwas hinauf, bei Auspuffbetrieb auf etwa 12 at, bei Kondensation auf etwa 8 at abs. Anfangsdruck, mit Rücksicht auf die Herstellungskosten um einen weitem Betrag.

Bei Betrieb mit trocken-gesättigtem Dampf brachte die Erhöhung des Druckes über 12 at abs. bei Einzylindermaschinen mit Kondensation keinen nennenswerten Vorteil mehr. Bei überhitztem Dampf sind die Kondensationsverluste so weit verringert, daß auch die thermischen

Wirkungsgrade mit der Steigerung des Dampfdruckes weiter zunehmen; die Einschränkung trifft für überhitzten Dampf also nicht mehr zu.

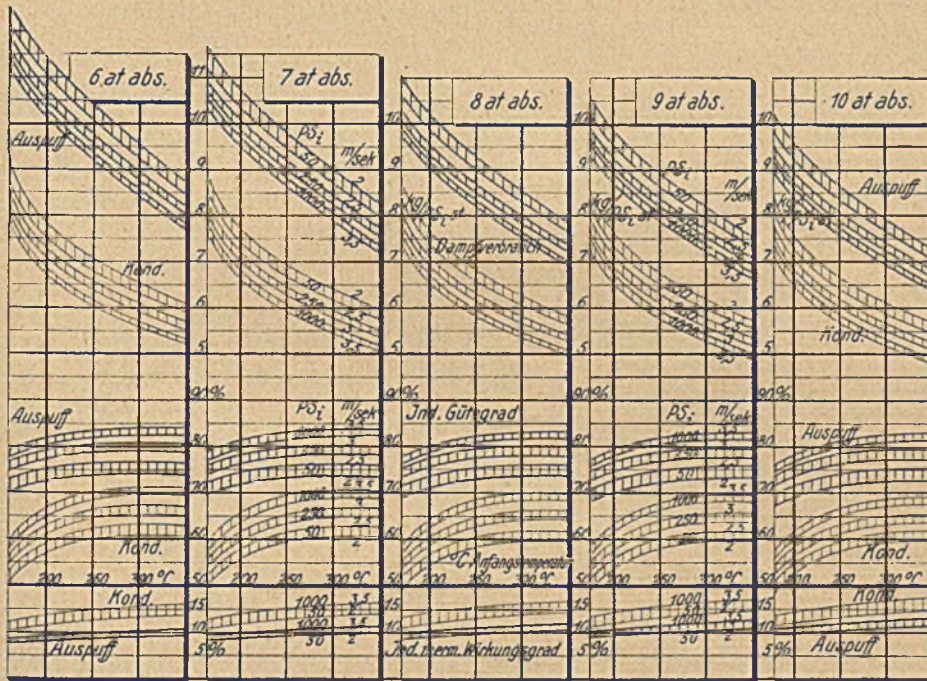
Um bei Betrieb mit überhitztem Dampf die Ablesung des Dampfverbrauches und der Wirkungsgrade für beliebige Maschinengrößen zu ermöglichen, ist auf den Dampf tafeln 9 und 10 der Einfluß der Überhitzung bei verschiedenen Dampf anfangsdrücken nebeneinander dargestellt, auf der Dampf tafel 9 für Einzylinder-, auf der Dampf tafel 10 für Verbund-Dampfmaschinen. Für jede volle Atmosphäre Anfangsdruck von 6 bis 15 und für 20 at abs. sind auf den Dampf-temperaturen als Abszissen die Dampfverbrauchszahlen in kg/PS_i für Normalleistungen von 50, 250 und 1000 PS_i bei 2 und 2,5, bzw. 2,5 und 3, bzw. 3 und 3,5 m/sec mittlerer Kolbengeschwindigkeit als Ordinaten aufgetragen, sowohl bei Betrieb mit freiem Auspuff in die Atmosphäre von 1,033 at abs. als auch für Betrieb mit Kondensation bei 0,15 at abs. Enddruck (~ 85 % Vakuum). In das gleiche System sind mit geändertem Ordinatenmaßstab die zugehörigen indizierten Gütegrade eingezeichnet und unterhalb der Dampfverbrauchs-Nulllinie die entsprechenden thermischen Wirkungsgrade.

Werte von Maschinen gleicher Leistung und Kolbengeschwindigkeit sind durch Kurven verbunden. Kurven gleicher Leistung sind durch Strichelung in Zusammenhang gebracht, die Auspuffwerte sind durch stärkere Linien gekennzeichnet. Auf der Dampf tafel 10 ist schließlich noch der Dampfverbrauch einer 1000 PS_i-Maschine mit dreimaliger Expansion und 3,5 m/sec mittlerer Kolbengeschwindigkeit gepunktet eingezeichnet.

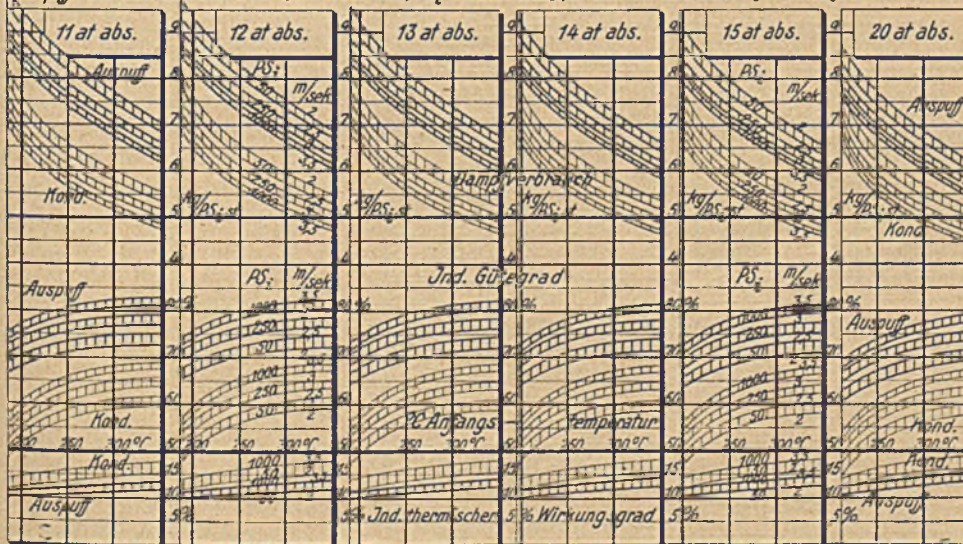
Die umstehenden Beispiele zeigen die gute Verwendbarkeit der beiden Tafeln zum Interpolieren nach Anfangsdruck, Überhitzung, Leistung und Kolbengeschwindigkeit.

Einfluß des Dampfendruckes.

Die Darstellungen auf den Dampf tafeln 7 bis 10 haben schon gezeigt, daß der Gütegrad einer Maschine bei Auspuffbetrieb infolge geringerer Kondensationsverluste bei dem kleinern Wärmegefälle besser ist als bei Betrieb mit Kondensation. Wie der Gütegrad mit dem Enddruck ansteigt,



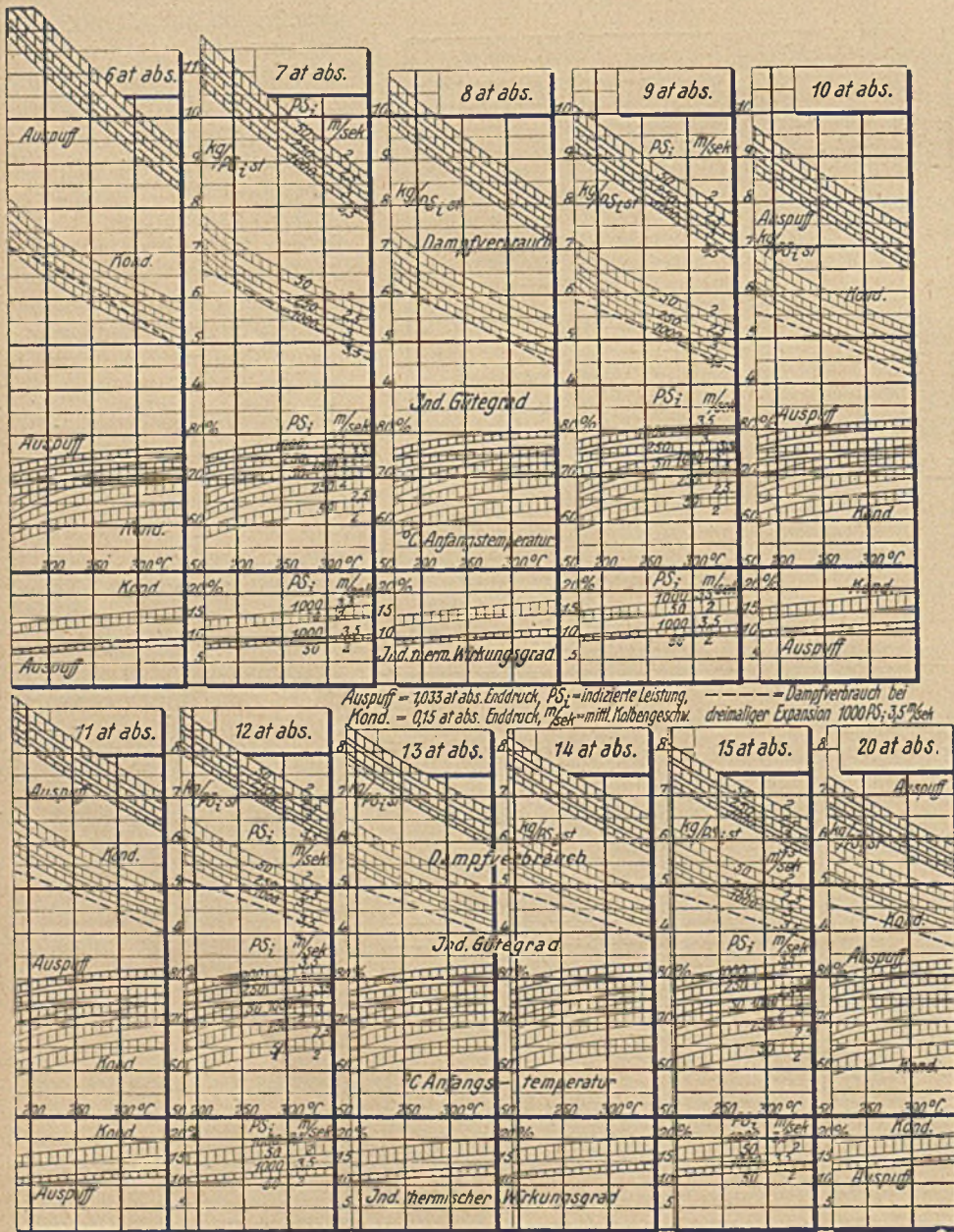
Auspuff-1,033 at abs. Enddruck, Kond.-0,15 at abs. Enddruck, PS_i-indizierte Leistung, m/sec - mittlere Kolbengeschwindigkeit.



Dampf tafel 9. Dampfverbrauch, Gütegrad und thermischer Wirkungsgrad guter Einzylinder-Dampfmaschinen.

Beispiele:

1. Einzylindermaschine, $p = 7$ at abs., $t = 250^\circ\text{C}$, Auspuffbetrieb, $N = 80$ PS_i, $c = 2,5$ m/sek;
Nach Dampf tabel 9: $D_i = 9,4$ kg/PS_i; $\eta_{i. \text{güte}} = 76\%$, $\eta_{i. \text{therm.}} = 9,5\%$.
2. Verbundmaschine, $p = 14$ at abs., $t = 270^\circ\text{C}$, Auspuffbetrieb, $N = 400$ PS_i, $c = 2,8$ m/sek;
Nach Dampf tabel 10: $D_i = 6,8$ kg/PS_i; $\eta_{i. \text{güte}} = 79\%$, $\eta_{i. \text{therm.}} = 13\%$.
3. Einzylindermaschine, $p = 11,5$ at abs., $t = 285^\circ\text{C}$, Kondensationsbetrieb, $N = 725$ PS_i, $c = 3,2$ m/sek,
Nach Dampf tabel 9: $D_i = 5,3$ kg/PS_i; $\eta_{i. \text{güte}} = 66\%$, $\eta_{i. \text{therm.}} = 16,5\%$.
4. Verbundmaschine, $p = 13,5$ at abs., $t = 325^\circ\text{C}$, Kondensationsbetrieb, $N = 900$ PS_i, $c = 3,3$ m/sek;
Nach Dampf tabel 10: $D_i = 4,35$ kg/PS_i; $\eta_{i. \text{güte}} = 76\%$, $\eta_{i. \text{therm.}} = 19,5\%$.
5. Dreimalige Expansion bei gleichen Dampfverhältnissen;
Nach Dampf tabel 10: $D_i = 4,05$ kg/PS_i.

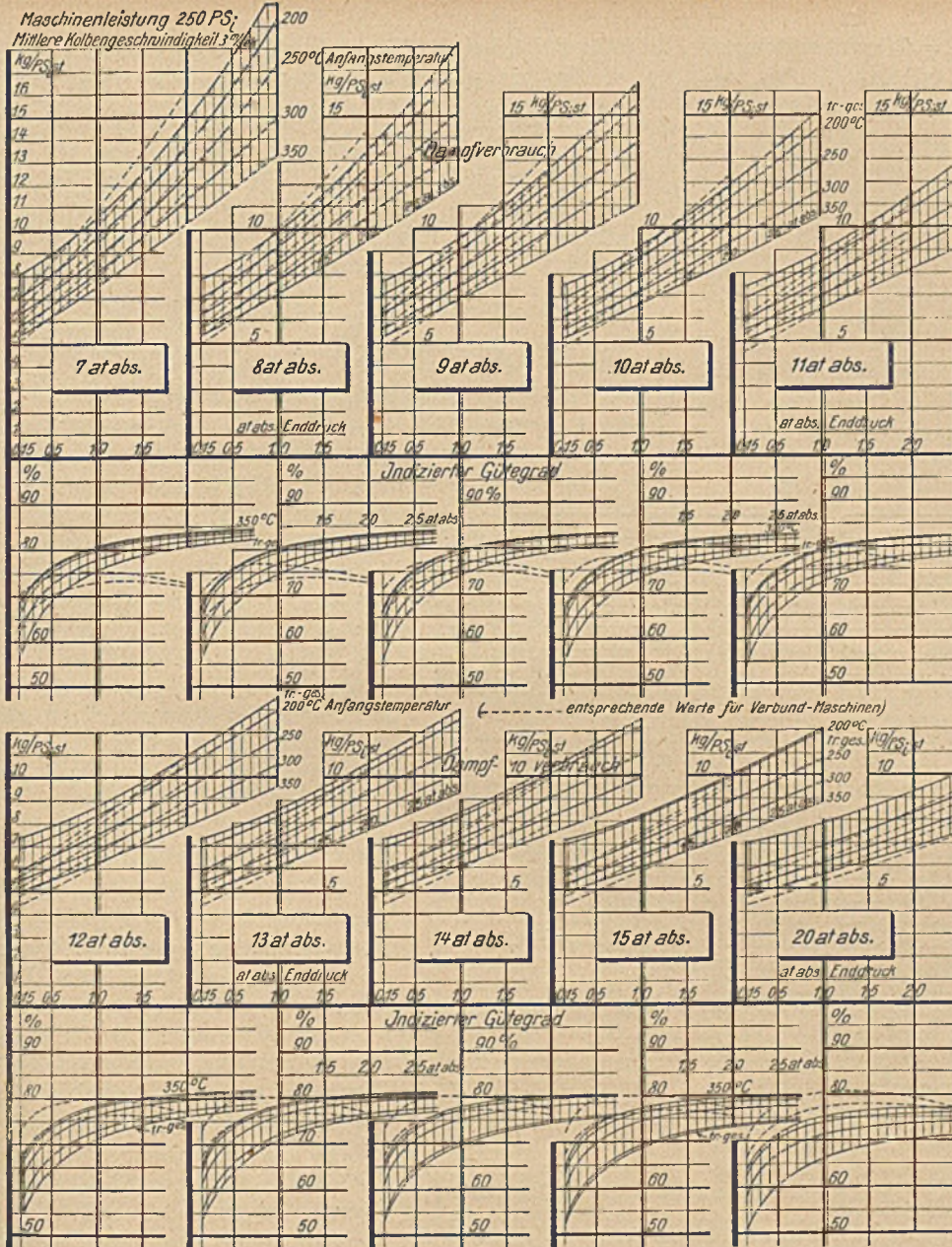


Dampf tabel 10. Dampfverbrauch, Gütegrad und thermischer Wirkungsgrad guter Verbund-Dampfmaschinen.

veranschaulicht (die Dampf tabel 11. Gleichzeitig ergeben sich dabei zwanglos die entsprechenden Werte für einen höhern Enddruck als 1,033 at abs. bei freiem Auspuff, für sogenannten Gegendruckbetrieb.

Für die Dampf anfangsdrücke von 7 bis 15 und für 20 at abs. sind nebeneinander die Dampf enddrücke von 0 bis 3 at abs. als Abszissen aufgetragen; die jeweiligen Abszissenachsen sind durch kräftige Linien kenntlich gemacht. Als Ordinaten sind die Dampfverbrauchszahlen einer Maschine von 250 PS_i Leistung und 3 m/sek mittlerer Kolbengeschwindigkeit eingezeichnet, bei Betrieb mit trocken-gesättigtem Dampf, bei 200, 250, 300 und 350 °C Dampf anfangstemperatur, sowohl für Einzylinderbauart als auch für eine Verbunddampfmaschine von gleicher Leistung. Dampfverbrauchszahlen des gleichen Anfangszustandes sind durch Kurven verbunden, die Dampfverbrauchskurven der Verbundmaschine sind gepunktet und nur bis zu 2 at abs. Enddruck durchgeführt.

Unterhalb der Dampfverbrauchswerte sind auf denselben Abszissen die zugehörigen indizierten Gütegrade als Ordinaten aufgetragen, für Einzylindermaschinen bis zu 2,75 at abs. Enddruck für jeden der obigen Anfangszustände, für Verbundmaschinen gepunktet nur bis zu 2 at abs. Enddruck und nur für trocken-gesättigten Zustand und 350 °C. Die Abszissen 0,15 und 1,033 at abs. sind als normale Enddrücke bei Kon-



Mit höhern Enddrücken rückt diese Grenze der Wirtschaftlichkeit noch hinauf, bis schließlich nur noch die Einzylindermaschine in Frage kommt.

Der Verlauf der Gütegradkurven zeigt, wie die Gütegrade mit steigendem Enddruck, mit abnehmendem Temperaturunterschied in der Maschine, schnell anwachsen und sich einem Höchstwert nähern, der bei Einzylindermaschinen mit ihrem geringern Drosselverlust höher liegt als bei Verbundmaschinen. Bei diesen überwiegt außerdem der mit steigendem Enddruck verhältnismäßig zunehmende Drosselverlust bald den Vorteil sinkenden Kondensationsverlustes, so daß die Gütegrade der Verbundmaschinen nach einem Höchstwert wieder abnehmen.

Schließlich zeigt wieder der Abstand der Gütegradkurven gleicher Überhitzung voneinander, daß die Anfangsüberhitzung den Hauptgewinn bringt; die annähernd unveränderte Abnahme des Dampfverbrauches ist eine Folge der Zunahme des Wärmegefälles.

Die Dampf-tafel ist für eine mittlere Leistung von 250 PS_i gezeichnet. Ist die Leistung einer Maschine größer oder kleiner, so wird sich doch ihr Dampfverbrauch annähernd in gleichem Sinne ändern wie die entsprechenden Tafelwerte. Nach dem Abgreifen des Dampfverbrauches für Auspuff oder für Kondensation auf den Dampf-tafeln 8, 9 und 10 ist die Interpolation auf der Dampf-tafel 11 ein einfaches Verfahren.

Dampf-tafel 11. Einfluß des Enddruckes auf den Dampfverbrauch und den Gütegrad guter Einzylinder-Dampfmaschinen.

densations- und Auspuffbetrieb besonders hervorgehoben.

Der Dampfverbrauch steigt mit wachsendem Enddruck, bei hochüberhitztem Dampf fast geradlinig, bei geringer Überhitzung und trocken-gesättigtem Dampf weniger proportional, in allen Fällen aber bei der Einzylindermaschine bei weitem nicht im gleichen Maße wie bei der Verbundmaschine. Für höhere Enddrücke ist schließlich die Einzylindermaschine beträchtlich im Vorteil. Der Schnittpunkt der gepunkteten mit den ausgezogenen Linien zeigt wieder die bereits festgestellte Erscheinung, daß schon bei freiem Auspuff die Verbundmaschine bei trocken-gesättigtem Anfangszustand erst von etwa 9 at abs. an, bei überhitztem Dampf erst von etwa 12 at abs. an Vorteile bietet.

Beispiele:

- $p = 10$ at abs., tr.-ges. Zustand, $p_0 = 0,5$ at abs.,
 $N_1 = 180$ PS_i, $c = 2,3$ m/sek, Einzylindermaschine:
 Nach Dampf-tafel 7 $D_{\text{kond.}} = 7,9$ kg/PS_i. Nach Dampf-tafel 11 von der Ordinate 7,9 und der Abszisse 0,15 bei 10 at Anfangsdruck parallel zur Einzylindermaschinenlinie
 $D_{0,5} = 8,5$ kg/PS_i.
 Vom Auspuffbetrieb ausgehend, muß das Ergebnis dasselbe sein.
 Nach Dampf-tafel 7 $D_{\text{ausp.}} = 9,7$ kg/PS_i. Nach Dampf-tafel 11 von der Ordinate 9,7 und der Abszisse 1,033 abwärts ergibt sich ebenfalls $D_{0,5} = 8,5$ kg/PS_i.

- $p = 14,5$ at abs., $t = 240^\circ\text{C}$, $p_0 = 0,9$ at abs. (Auspuffbetrieb in hochgelegener Gegend), $N_i = 300$ PS_i, $c = 2,7$ m/sek, Verbundmaschine: Nach Dampf tafel 10 $D_{\text{ausp.}} = 7,1$ kg/PS_i. Nach Dampf tafel 11 von der Ordinate 7,1 und der Abszisse 1,033 bei 14 oder 15 at Dampfdruck abwärts parallel zu den gepunkteten Linien für die Verbundmaschine $D_{0,9} = 6,8$ kg/PS_i.
- $p = 12$ at abs., $t = 315^\circ\text{C}$, $p_0 = 1,2$ at abs. (Auspuff zu Heizungszwecken), $N_i = 430$ PS_i, $c = 3,1$ m/sek, Einzylindermaschine: Nach Dampf tafel 9 $D_{\text{ausp.}} = 6,7$ kg/PS_i. Nach Dampf tafel 11 von der Ordinate 6,7 und der Abszisse 1,033 bei 12 at Dampfdruck aufwärts parallel zu den ausgezogenen Linien: $D_{1,2} = 7,0$ kg/PS_i.

- Bei 1,5 at abs. Gegendruck ist $D_{1,5} = 7,5$ kg/PS_i.
Bei 2,3 at abs. Gegendruck ist $D_{2,3} = 9,0$ kg/PS_i.

Schließlich zeigt noch die Darstellung der Dampf tafel 11. daß bei Kondensationsbetrieb die Herabsetzung des Enddruckes unter 0,15 at abs., die Erhöhung des Vakuums über 85%, keine wesentlichen Vorteile mehr bringen kann. Die Gütegrade nehmen mit dem Enddruck schließlich so stark ab, daß die Zunahme des verfügbaren Wärmegefälles annähernd ganz aufgehoben wird. Das zeigt deutlich der unter 0,15 at abs. Enddruck bis zur Abszissenachse verlängert gedachte Verlauf der Dampfverbrauchskurven.

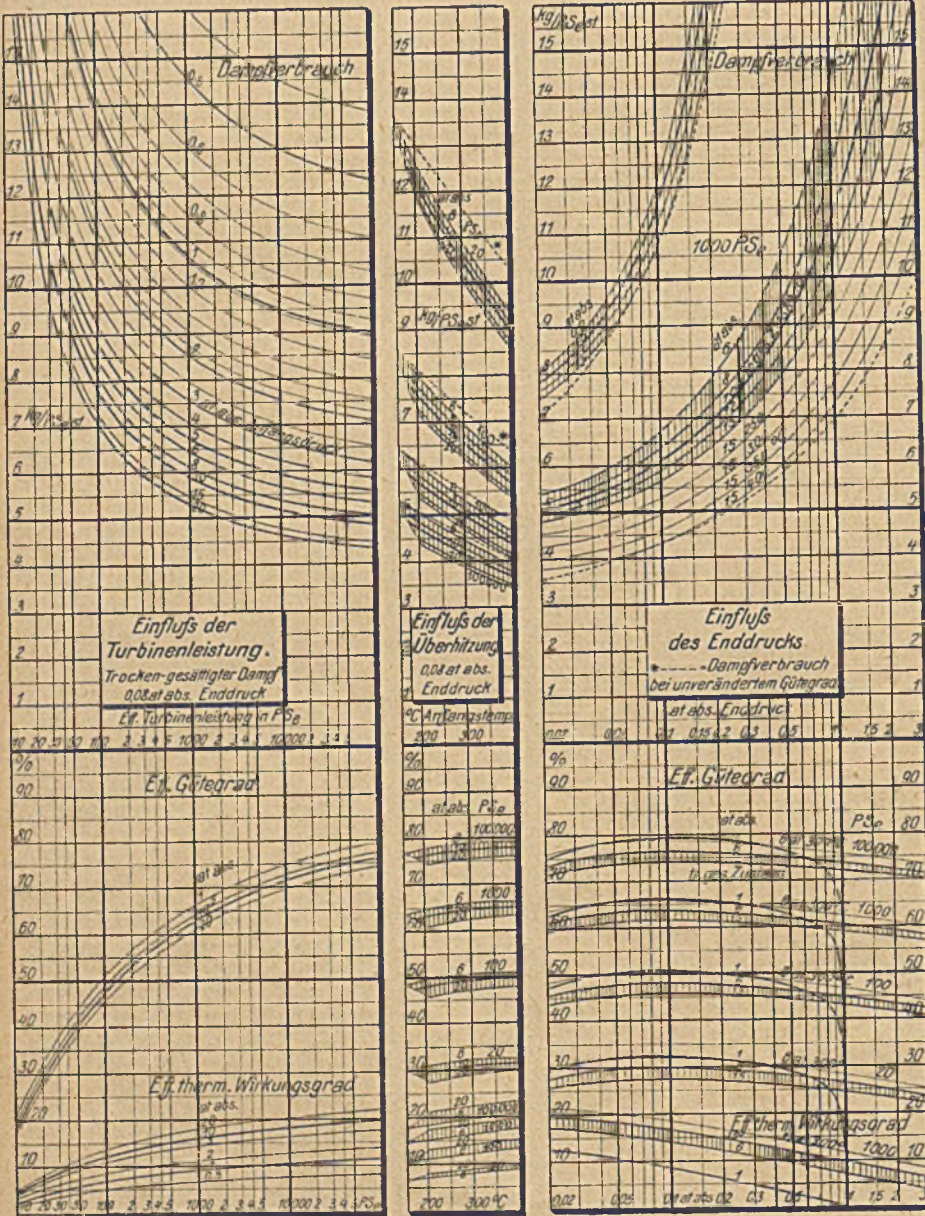
Dampfverbrauch von Turbinen.

Der Dampfverbrauch von Dampfturbinen ist außer von den Dampfverhältnissen in hohem Grade von ihrer Bauart abhängig; mangelhafte Expansion infolge unrichtiger Querschnittsbemessungen, andere konstruktive Fehler und schlechte Werkstattausführung können den Gütegrad bei der Umwandlung der verfügbaren Dampfwärme in Arbeit ganz beträchtlich herabsetzen. Für die Darstellung der Dampf tafel 12 sind Mittelwerte verschiedener Systeme verwertet worden, die nach den zahlreichen Veröffentlichungen mit Maschinen bester Konstruktion und Ausführung erzielt worden sind.

Es ist bei Dampfturbinen schwierig, einwandfrei die indizierte Leistung als Summe aus der abgegebenen effektiven Leistung und der Lagerreibung zu ermitteln. Im Gegensatz zu Kolbenmaschinen ist es daher zweckmäßig und üblich, alle Werte sofort auf die effektive Leistung zu beziehen.

Die Gütegrade hängen vor allem von der Maschinengröße ab; der Dampfanfangszustand, der Druck und die Temperatur sowie der Enddruck haben weit geringern Einfluß. Die Dampf tafel 12 zeigt daher zunächst auf der linken Seite die Zunahme des Gütegrades, die Abnahme des Dampfverbrauches mit steigender Maschinengröße unter der Annahme trocken-gesättigten Dampfanfangszustandes bei gleichem Enddruck von 0,08 at abs. (~ 92% Vakuum).

Damit die Darstellung ein weites Gebiet umfassen kann, sind die Leistungen von 10 bis 100 000 PS_e als Abszissen in logarithmischem Maßstabe aufgetragen, obwohl dadurch eine gewisse Verzerrung des Bildes entsteht. Als Ordinaten sind im oberen Teil die Dampfverbrauchszahlen in kg/PS_e eingezeichnet, gleiche



Dampf tafel 12. Dampfverbrauch, effektiver Gütegrad und effektiver thermischer Wirkungsgrad guter Dampfturbinen.

Anfangsdrücke sind durch Kurven verbunden. In der untern Hälfte sind auf den gleichen Abszissen sowohl die effektiven Gütegrade eingetragen, die Quotienten aus dem theoretischen Dampfverbrauch bei adiabatischer Expansion und dem tatsächlichen für die effektive Leistung, als auch die effektiven thermischen Wirkungsgrade, die Verhältniszahlen der effektiven Arbeit umgewandelten Wärme zum Wärmeinhalt des Dampfes vor dem Eintritt in die Maschine.

Der Dampfverbrauch nimmt bei gleichem Anfangsdruck beträchtlich mit steigender Maschinengröße ab, die Gütegrade steigen in demselben Verhältnis. Der Abstand der Kurven gleichen Druckes voneinander zeigt maßstäblich die Abnahme des Dampfverbrauches mit steigendem Anfangsdruck. Die Abnahme entspricht nicht ganz der Zunahme des Wärmegefälles bei adiabatischer Expansion, da die Gütegrade bei gleicher Leistung mit steigendem Dampfdruck, mit zunehmendem Gefälle, etwas geringer werden.

Die thermischen Wirkungsgrade zeigen, daß es trotz der Zunahme der Erzeugungswärme vorteilhaft ist, mit möglichst hohem Dampfdruck zu arbeiten; sie steigen sowohl mit der Turbinengröße als auch mit der Erhöhung des Anfangsdruckes.

Beispiele für trocken-gesättigten Anfangszustand und $p_0 = 0,08$ at abs. Enddruck:

1. $N = 200 \text{ PS}_e$, $p = 8$ at abs.;
 $D_e = 7,2 \text{ kg/PS}_e$, $\eta_{e.güte} = 54 \%$, $\eta_{e.therm.} = \sim 13 \%$.
2. $N = 1500 \text{ PS}_e$, $p = 1,1$ at abs. (Anfangsdruck von Abdampfturbinen);
 $D_e = 10,1 \text{ kg/PS}_e$, $\eta_{e.güte} = 68 \%$, $\eta_{e.therm.} = \sim 10 \%$.
3. $N = 20\,000 \text{ PS}_e$, $p = 13,5$ at abs.;
 $D_e = 4,8 \text{ kg/PS}_e$, $\eta_{e.güte} = 72,5 \%$, $\eta_{e.therm.} = \sim 19 \%$.

Der mittlere Streifen auf der Dampf tafel 12 veranschaulicht den Gewinn, der bei Dampfturbinen durch überhitzten Dampf zu erzielen ist. Die Dampftemperaturen von 150 bis 400 °C sind in normalem Maßstabe als Abszissen, die Dampfverbrauchszahlen und die Wirkungsgrade bei 0,08 at abs. Enddruck als Ordinaten aufgetragen für Turbinenleistungen von 20, 100, 1000 und 100 000 PS_e . Werte gleichen Anfangsdruckes von 6, 8, 10, 15 und 20 at abs. sind durch Kurven verbunden, Kurven gleicher Leistung sind durch Strichelung vereinigt. Der jeweilige Beginn der Überhitzung ist durch eine Begrenzungslinie kenntlich gemacht.

Bei Kolbenmaschinen wird durch die Überhitzung der Kondensationsverlust, eine Verlustquelle von beträchtlichem Einfluß, bekämpft. Im Gegensatz zu diesen Maschinen mit dauernd wechselnder Temperatur herrscht bei Dampfturbinen bei gleichbleibender Belastung an jeder Stelle dieselbe Temperatur, so daß die Kondensationsverluste und der Gewinn durch ihre Beseitigung viel geringer sind. Mit der Überhitzung nimmt aber die Radreibung in dem spezifisch leichter werdenden Dampf ab, so daß auch bei den Dampfturbinen der Gütegrad mit der Temperatur steigt, wenn auch nur um wenige Hundertteile. Der Dampfverbrauch sinkt dagegen unter dem Einfluß des größer werdenden Wärmegefälles erheblich stärker. Die

gepunkteten Linien stellen den Dampfverbrauch bei gleichbleibendem Gütegrad dar, heben also den Einfluß der Änderung von Wärmegefälle und Gütegrad getrennt hervor. Auch der thermische Wirkungsgrad verbessert sich mit steigender Überhitzung trotz Zunahme der Erzeugungswärme des überhitzten Dampfes.

Beispiele für $p_0 = 0,08$ at abs. Enddruck:

1. $N = 20 \text{ PS}_e$, $p = 8$ at abs.,
1a. $t = 250^\circ \text{C}$; $D_e = 11,5 \text{ kg/PS}_e$, $\eta_{e.güte} = 31 \%$, $\eta_{e.therm.} = \sim 12,5 \%$.
1b. $t = 350^\circ \text{C}$; $D_e = 9,9 \text{ kg/PS}_e$, $\eta_{e.güte} = 31,5 \%$,
 $\eta_{e.therm.} = \sim 13,5 \%$.
2. $N = 1000 \text{ PS}_e$, $p = 12$ at abs.,
2a. $t = 300^\circ \text{C}$; $D_e = 4,9 \text{ kg/PS}_e$, $\eta_{e.güte} = 64 \%$,
 $\eta_{e.therm.} = \sim 17,5 \%$.
2b. $t = 370^\circ \text{C}$; $D_e = 4,5 \text{ kg/PS}_e$, $\eta_{e.güte} = 64,5 \%$,
 $\eta_{e.therm.} = \sim 18 \%$.

Für Turbinengrößen, die zwischen den aufgetragenen Leistungen liegen, sind die Werte für trocken-gesättigten Dampf auf dem linken Streifen abzulesen und auf dem mittlern, von der Begrenzungslinie der Überhitzung ausgehend, zu interpolieren.

Beispiel:

- $N = 3000 \text{ PS}_e$, $p = 14,5$ at abs., $t = 325^\circ \text{C}$,
 $p_0 = 0,08$ at abs.;
 $D_{tr-ges.} = 5,1 \text{ kg/PS}_e$, $D_{325^\circ} = 4,35 \text{ kg/PS}_e$.
 $\eta_{e.güte \text{ tr-ges.}} = 66,5 \%$, $\eta_{e.güte 325^\circ} = 68 \%$.

Im Gegensatz zu Kolbenmaschinen nimmt der Gütegrad der Dampfturbinen infolge Zunahme der Radreibung in dichtem Dampf mit steigendem Enddruck ab. Ihr Dampfverbrauch muß also bei steigendem Enddruck stärker anwachsen, als der theoretischen Abnahme des Wärmegefälles entspricht und erheblich mehr zunehmen als bei Kolbenmaschinen, bei denen der Gütegrad mit wachsendem Enddruck steigt.

Auf der rechten Seite der Dampf tafel 12 sind als Abszissen die Dampfenddrücke von 0,02 bis 3 at abs. wieder in logarithmischem Maßstabe aufgetragen. Im untern Teil sind als Ordinaten für Turbinenleistungen von 20, 100, 1000 und 100 000 PS_e zunächst die effektiven Gütegrade eingezeichnet, jeweils für trocken-gesättigten Anfangszustand bei 1, 6 und 15 at abs. Anfangsdruck sowie für 6 at Druck und 300 °C Anfangstemperatur.

Die Gütegrade haben bei 0,08 at abs. Enddruck denselben Wert wie auf dem mittlern Streifen der Tafel. Mit steigendem Enddruck nehmen sie ab und nähern sich dem Werte Null, je näher der Enddruck dem Anfangsdruck kommt, wie es die Darstellung für 1 at abs. Anfangsdruck für Abdampfturbinen zeigt. Bei höherem Vakuum als 92 %, bei Enddrücken unter 0,08 at abs., wird der Rauminhalt des Dampfes so groß, daß die Unterbringung der erforderlichen Querschnitte bei Normalkonstruktionen Schwierigkeiten bereitet. Meistens wird daher der Gütegrad auch nach dieser Seite hin wieder abnehmen, wie es die Darstellung zeigt.

Im obren Teil sind als Ordinaten die Dampfverbrauchszahlen in kg/PS_e einer Turbine von 1000 PS_e aufgetragen. Die obere Gruppe links zeigt den Einfluß des Enddruckes auf den Verbrauch der Abdampfturbinen bei 0,9, 1,0, 1,1 und 1,2 at abs. Anfangsdruck, trocken-gesättigten Zustand vorausgesetzt. Bei diesen niedrigen Anfangsdrücken ist der Enddruck natürlich von großem Einfluß; das zeigt der steile Verlauf der Dampfverbrauchskurven trotz der geringen Änderung des Gütegrades. Die gepunktete Linie läßt den Verlauf des Dampfverbrauchs bei gleichbleibendem Gütegrad und den verhältnismäßig geringen Einfluß der Gütegradänderung erkennen. Ferner sind die Dampfverbrauchszahlen bei 6, 8, 10, 12 und 15 at abs. Anfangsdruck und trocken-gesättigtem Anfangszustand aufgetragen und durch Strichelung vereinigt. Unterhalb dieser Gruppe wird bei gleichbleibendem Druck von 15 at abs. der Einfluß steigender Anfangstemperatur veranschaulicht. Der Abstand der Kurven voneinander zeigt in der obren Hälfte mit Strichelung den Einfluß des steigenden Anfangsdruckes, in der untern Hälfte bei gleichem Druck die annähernd gleichmäßige Abnahme des Dampfverbrauches bei steigender Überhitzung. Der stark gekrümmte Verlauf aller Linien läßt den ausschlaggebenden Einfluß des Enddruckes erkennen, die gepunktete Linie bei unverändertem Gütegrad zeigt wieder die geringe Bedeutung der Gütegradänderung.

In gleicher Weise wie bisher sind im untern Teil die effektiven thermischen Wirkungsgrade für dieselbe Leistung von 1000 PS_e bei verschiedenen Anfangszuständen dargestellt. Sie nähern sich dem Werte Null, wenn der Enddruck dem Anfangsdruck nahekommt, sie steigen mit abnehmendem Enddruck, mit zunehmendem Anfangsdruck und steigender Temperatur.

Beispiele:

1. $N = 1000 \text{ PS}_e$, $p = 1,1$ at abs., tr.-ges. Zust.,
 $p_o = 0,09$ at abs.; $D = 10,7 \text{ kg/PS}_e$, $\eta_{e.güte} = 66,5 \%$.
2. $N = 1000 \text{ PS}_e$, $p = 14$ at abs., tr.-ges. Zust.,
 $p_o = 1,2$ at abs.; $D_e = 10,5 \text{ kg/PS}_e$, $\eta_{e.güte} = 59 \%$.

$$3. N = 1000 \text{ PS}_e, p = 5 \text{ at abs.}, t = 320^\circ \text{C},$$

$$p_o = 0,06 \text{ at abs.}; D_e = 4,5 \text{ kg/PS}_e, \eta_{e.güte} = 63 \%$$

Für größere oder kleinere Turbinenleistungen sind die gesuchten Werte zunächst auf der linken Tafelseite und im mittlern Streifen festzulegen und dann erst auf der rechten Seite, von der Abszisse für 0,08 at abs. Enddruck ausgehend, zu interpolieren.

Beispiele:

$$1. N = 150 \text{ PS}_e, p = 13 \text{ at abs.}, t = 240^\circ \text{C},$$

$$p_o = 0,2 \text{ at abs.}; \text{Bei } p_o = 0,08 \text{ at abs.},$$

$$D_{\text{tr.-ges.}} = 6,9 \text{ kg/PS}_e, D_{240^\circ} = 6,5 \text{ kg/PS}_e,$$

$$\text{bei } p_o = 0,2 \text{ at abs.}, D_{240^\circ} = 7,6 \text{ kg/PS}_e.$$

Da sich die Gütegrade viel weniger als die Dampfverbrauchswerte ändern, ist die Bestimmung des Gütegrades durch Interpolation übersichtlicher; der Dampfverbrauch ist dann rechnerisch aus dem verfügbaren Wärmegefälle und diesem Gütegrad zu ermitteln. Im letzten Beispiel ist

$$\text{bei } p_o = 0,08 \text{ at abs. } \eta_{e.güte \text{ tr.-ges.}} = 50,5 \%$$

$$\eta_{güte 240^\circ} = 51 \%$$

$$\text{bei } p_o = 0,2 \text{ at abs. } \eta_{e.güte 240^\circ} = 50,5 \%$$

Da sich das verfügbare Wärmegefälle nach der Dampftafel 5 zu $i - i_o = 164 \text{ WE/kg}$ ergibt, ist schließlich

$$D_e = \frac{632}{164 \cdot 0,505} = 7,6 \text{ kg/PS}_e.$$

$$2. N = 1800 \text{ PS}_e, p = 16,5 \text{ at abs.}, t = 325^\circ \text{C},$$

$$p_o = 0,05 \text{ at abs.}$$

$$\text{Bei } p_o = 0,08 \text{ at abs. } \eta_{e.güte \text{ tr.-ges.}} = 64,5 \%$$

$$\eta_{e.güte 325^\circ} = 67 \%$$

$$\text{bei } p_o = 0,05 \text{ at abs. } \eta_{e.güte 325^\circ} = 66 \%$$

$$\text{Nach Dampftafel 5 ist } i - i_o = 232 \text{ WE/kg}$$

$$D_e = \frac{632}{232 \cdot 0,66} = 4,15 \text{ kg/PS}_e.$$

Liegt für bestimmte Verhältnisse der Dampfverbrauch fest, so ermöglicht die Dampftafel 12 in einfachster Weise die Umrechnung auf ähnliche Dampfverhältnisse.

Zahlentafel 15.

Änderung des Dampfverbrauches in % mit Anfangsdruck, Anfangstemperatur und Enddruck.

Dampfenddruck		at abs.	0,05	0,08	0,10	0,15	1,1	
Einfluß des Anfangs- druckes	± 0,1 at	Trocken- gesättigter Zustand	1,1 at abs.	± 2,6	3,0	3,5	4,1	—
			10 " "	± 1,8	1,9	2,1	2,3	4,2
			12 " "	± 1,3	1,5	1,6	1,7	2,9
	± 1 at	300 °C	15 " "	± 1,0	1,2	1,3	1,4	2,2
			10 " "	± 1,3	1,5	1,6	1,7	3,8
			12 " "	± 1,0	1,1	1,2	1,3	2,3
15 " "	± 0,8	0,9	1,0	1,1	1,8			
Einfluß der Anfangs- temperatur	± 1 °C	Trocken- gesättigter Zustand	1,1 " "	± 0,13	0,14	0,14	0,14	—
			10 " "	± 0,13	0,14	0,14	0,14	0,16
			15 " "	± 0,13	0,14	0,14	0,14	0,16
	300 °C	300 °C	10 " "	± 0,12	0,13	0,13	0,13	0,15
			15 " "	± 0,12	0,13	0,13	0,13	0,15
			15 " "	± 0,12	0,13	0,13	0,13	0,15
Einfluß des Enddruckes	± 0,01 at ± 1%	Trocken- gesättigter Zustand	1,1 " "	± 5,0	4,3	3,8	2,9	—
			10 " "	± 2,3	2,0	1,8	1,3	0,34
			15 " "	± 2,1	1,9	1,7	1,2	0,30
	Vakuum	300 °C	10 " "	± 2,1	1,9	1,7	1,2	0,32
			15 " "	± 1,9	1,8	1,6	1,1	0,30
			15 " "	± 1,9	1,8	1,6	1,1	0,30

Beispiele:

1. Wenn bei tr.-ges. Dampf und $p = 8,5$ at abs.
 $D_e = 6,0$ kg/PS_e,
wäre bei $p' = 10$ at abs. $D'_e = 5,8$ kg/PS_e.
2. Wenn bei $t = 330$ °C $D_e = 5,1$ kg/PS_e,
wäre bei $t' = 330$ °C $D'_e = 5,3$ kg/PS_e.
3. Wenn bei $p_o = 0,095$ at abs. $D_e = 4,85$ kg/PS_e,
wäre bei $p_o = 0,08$ at abs. $D'_e = 4,7$ kg/PS_e.

Für Überschlagsrechnungen ist in der Zahlentafel 15 zusammengestellt, um wieviel sich der Dampfverbrauch in Hundertteilen ändert, wenn Anfangsdruck, Anfangstemperatur und Enddruck um geringe Beträge schwanken. Die wichtigsten Zahlenwerte lassen sich leicht dem Gedächtnis einprägen.

Alle dargestellten Werte der Dampf tafel 13 sind aber nur dann zu erzielen, wenn die Turbine für die jeweiligen Dampfverhältnisse richtig bemessen ist. Das gilt ebenfalls für die Zahlentafel 15. Stimmen die wirklichen Dampfverhältnisse nicht mit den der Berechnung zugrunde gelegten überein, so verschlechtert sich der Gütegrad, und der Dampfverbrauch nimmt je nach den abweichenden Verhältnissen mehr oder weniger zu. Die Werte der Zahlentafel werden dann etwas größer oder kleiner ausfallen, je nachdem, ob die Dampfverhältnisse günstiger oder ungünstiger vorliegen, als vorausgesetzt worden war.

Zusammenfassung.

Der Aufbau des is-Diagramms für Wasserdampf und die Mollief-Tafel werden erläutert und ihre Verwendungsmöglichkeiten an einer Reihe von Zahlenbeispielen gezeigt. Für beliebige Dampfdrücke und Temperaturen läßt sich an Hand der Tafel zunächst der theoretische Dampfverbrauch für die Leistungseinheit und damit die Grenze für alle Bestrebungen ermitteln, den Wirkungsgrad bei der Umwandlung der Dampfwärme in Arbeit auf einen Höchstwert zu bringen. Aus den im Text gebrachten Dampf tafeln kann man durch einfaches Ablesen den spezifischen Rauminhalt des Dampfes, das durch Düsen ausströmende Dampfgewicht und das ausnutzbare Wärmegefälle feststellen.

An diese theoretischen Betrachtungen schließen sich Erfahrungswerte über Leistung von Ein- und Mehrzylinderdampfmaschinen bei verschiedener Betriebsweise, Dampfverbrauchswerte und Wirkungsgrade bei Sattdampfbetrieb und ihre Veränderung beim Übergang zur Dampfüberhitzung. Der Einfluß der Maschinengröße und der Kolbengeschwindigkeit sowie schließlich des Dampfgegendruckes wird besonders behandelt. Der Dampfverbrauch von Dampfturbinen und ihre Wirkungsgrade sind von der Turbinenleistung, der Überhitzung und den Dampf anfangs- und Enddrücken abhängig gemacht worden.

Die Bedeutung der Feuerungsverluste durch Unverbranntes bei minderwertigen Steinkohlen.

Von Dipl.-Ing. F. Ebel,

Ingenieur des Dampfkessel-Überwachungs-Vereins der Zechen im Oberbergamtsbezirk Dortmund zu Essen.

Die Verluste einer Dampfkesselanlage gliedern sich, wie bekannt, in fünf Gruppen: 1. Verluste durch die fühlbare Wärme der Rauchgase (Schornsteinverluste), 2. Verluste durch unvollständig verbrannte Gase (Kohlenoxydbildung), 3. Verluste durch Unverbranntes in den Rückständen, 4. Verluste durch Flugkoks und Rußbildung, 5. Verluste durch Leitung und Strahlung als Restglied. Die Reihenfolge 1–4 entspricht der von hochwertigen Brennstoffen her gewohnten Verlustwertung, die bisher ohne Bedenken auch auf minderwertige Steinkohlen in der Weise übertragen worden ist, daß man allgemein den Schornsteinverlust als den wichtigsten und die Verluste durch Unverbranntes und Flugkoks als die geringsten angesehen und behandelt hat. Über Flugkoksverluste im besondern ist noch wenig Tatsächliches bekanntgeworden, so daß sie meist mit Stillschweigen übergangen werden.

Nachstehend soll geprüft werden, ob sich diese Wertung der einzelnen Verlustquellen für minderwertige Steinkohlen aufrechterhalten läßt, wobei mit dem unter 3 genannten Verlust durch Unverbranntes begonnen sei.

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß dieser Verlust desto größer sein muß, je schlechter der Ausbrand der Rückstände ist und je größer die anfallenden Schlacken- und Aschenmengen sind. Die Summe der letztern ist

aber annähernd gleich dem Aschengehalt des Brennstoffes. Der Ausbrand der Schlacke wird durch den bei der Untersuchung in 1 kg Schlacke und Asche gefundenen Kohlenstoffgehalt in Gewichtsprozenten gekennzeichnet. Man hat sich daran gewöhnt, Rückstände mit etwa 15–25% verbrennlichen Bestandteilen als gut und solche mit 30–50% als mittelmäßig bis schlecht ausgebrannt zu bezeichnen. Auch weiß man aus Erfahrung, daß der Ausbrand der Rückstände mit dem steigenden Aschengehalt des Brennstoffes immer ungünstiger wird, daß also die schlecht ausgebrannten Rückstände gerade bei minderwertigen Steinkohlen die Regel bilden dürften.

Welcher Teil des im Brennstoff enthaltenen Kohlenstoffes sich dabei in den Rückständen wiederfinden muß, zeigt Abb. 1. Über der wagerechten Achse des Schaubildes mit der Einteilung für die verschiedenen Aschengehalte sind als Senkrechte, von der Reinkohle ausgehend, die Kohlenstoffgehalte aufgetragen, so daß bei Gasflamkohle dem Reinkohlenzustand 800 g Kohlenstoff und dem Aschengehalt von 100% 0 g Kohlenstoff entsprechen. Die zu der Geraden für trockne Kohle parallel laufenden schrägen Linien geben die weitere Verminderung des Kohlenstoffgehaltes durch die Feuchtigkeit des Brennstoffes an. Die vom Achsenschnittpunkt des Schaubildes schräg

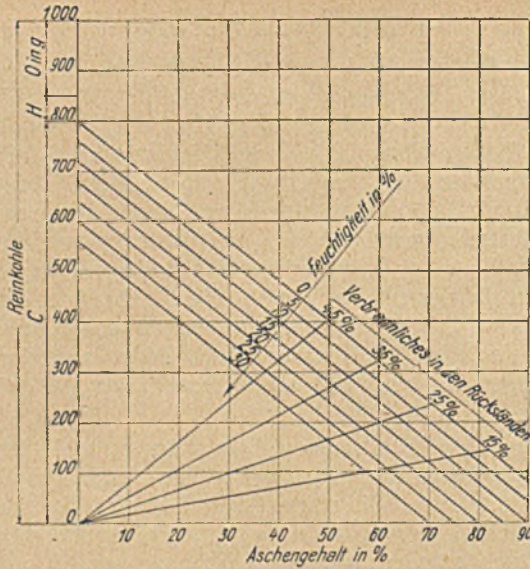


Abb. 1. Kohlenstoffgehalt von Gasflammkohle und Rückständen in Abhängigkeit vom Aschen- und Wassergehalt der Kohle.

nach rechts ansteigenden Linien zeigen an, welche Kohlenstoffmengen sich in den Rückständen vorfinden müssen, wenn darin die gesamte Aschenmenge enthalten und deren Ausbrand bis auf 15, 25, 35 und 45% Verbrennliches erfolgt ist. Ersteres trifft zwar nicht ganz zu, da ein Teil des Aschengehaltes als Flugasche anfällt. Der Einfachheit halber sei aber das Unverbrennliche in den Rückständen gleich der Aschenmenge des Brennstoffes gesetzt und als Ausgleich dafür angenommen, daß die Verluste durch Flugkoks, die ja zusammen mit der Flugasche auftreten, in dieser Berechnung des Unverbrannten mit enthalten sind; sie werden also nicht besonders berücksichtigt.

Ein Blick auf das Schaubild lehrt, welchen ausschlaggebenden Einfluß der Ausbrand der Rückstände bei steigendem Aschen- und Wassergehalt der Brennstoffe hat. Die Schnittpunkte der sich kreuzenden Linien lassen erkennen, wo jedesmal überhaupt die Möglichkeit der Verbrennung des im Brennstoff vorhandenen Kohlenstoffes aufhört. Selbstverständlich liegt die Grenze der Wirtschaftlichkeit weit vorher. Kann man sich bei hochwertigen Brennstoffen fast den schlechtesten Ausbrand der Rückstände ohne großen wirtschaftlichen Schaden leisten, so erreicht auch der beste Ausbrand der Rückstände bei minderwertigen Steinkohlen noch immer ansehnliche Verlustzahlen.

Zur Erlangung dieser Werte sowohl in WE als auch in % des Heizwertes ist für zwölf verschiedene Gasflammkohlen von geringen bis großen Aschen- und Wassergehalten eine allgemeine Durchrechnung der Verbrennungsverhältnisse erfolgt, die gleichzeitig wesentliche andere Ergebnisse gezeitigt hat.

In der nachstehenden Zahlentafel gibt die Spalte a Auskunft über die Zusammensetzung des Brennstoffes von wechselnder Güte. Die Heizwerte sind dem hier veröffentlichten Heizwertschaubild¹ entnommen. Die Spalte b enthält die sich aus Abb. 1 ergebenden Zahlenwerte. Der Wärmeinhalt der Rückstände in Form unverbrannten

Kohlenstoffes ist in Abb. 2, abhängig vom Aschengehalt des Brennstoffes und vom Ausbrand der Rückstände, schaubildlich dargestellt. Abb. 3 zeigt denselben Verlust in % des Heizwertes und wirkt besonders eindringlich. Während dieser Verlust bei hochwertigem Brennstoff, übereinstimmend mit der bisherigen Einschätzung, etwa 2–5% ausmacht, wächst er schon bei 30% Aschengehalt auf

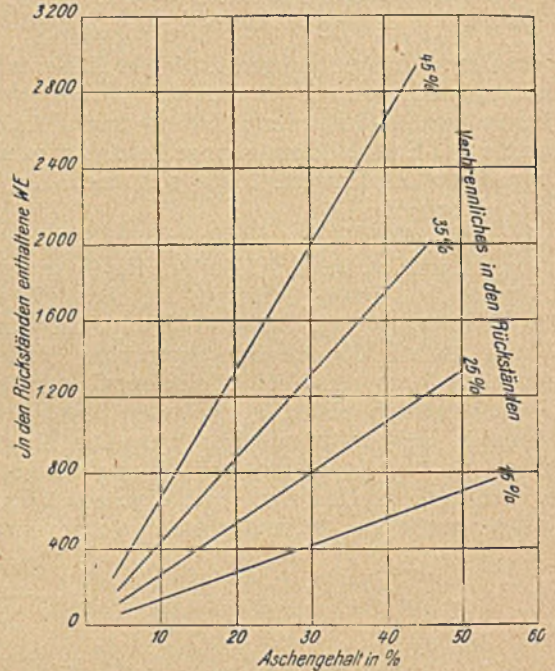


Abb. 2. Verluste durch Unverbranntes in WE bei Gasflammkohle.

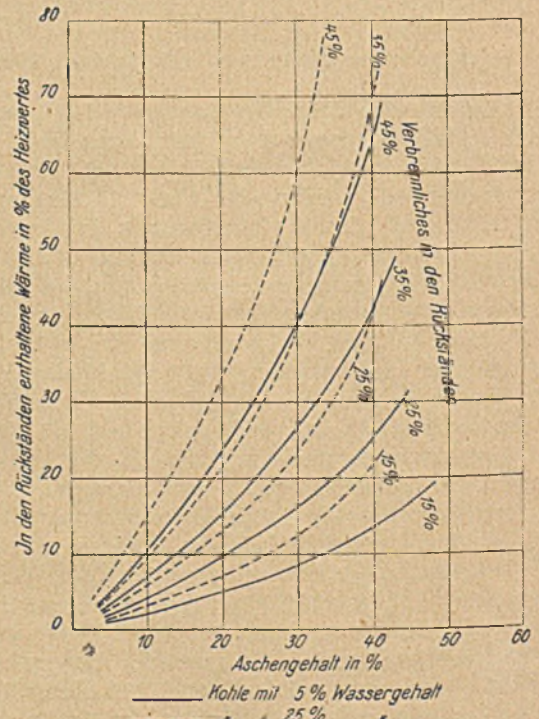


Abb. 3. Verluste durch Unverbranntes in % des Heizwertes bei Gasflammkohle.

¹ s. Glückauf 1921, S. 619, Abb. 1.

Verbrennungsverhältnisse für minderwertige Gasflammkohle.

Nr.	a							b				c			d		e		
	Der Brennstoff enthält							Die Rückstände enthalten				Die Verbrennung erfolgt für eine Reinkohlensammensetzung von			Dabei können entstehen		Die Rauchgase können bei 12% CO ₂ und 275° enthalten		
	Asche %	Wasser %	Brennbares %	C g	H g	O g	WE	Brennbares %	C g	vom gesamten C %	WE	C %	H %	O %	CO ₂ max. %	CO max. %	CO ₂ cbm	O+N cbm	WE
1	10		85	680	42,5	127,5	6425	15	17,5	2,6	142	79,6	5,1	15,3	19,2	30,0	1,23	9,0	864
								25	33	4,9	267	79,2	5,2	15,6	19,15	29,9	1,21	8,9	858
								35	54	8,0	438	78,7	5,3	16,0	19,1	29,8	1,17	8,6	828
								45	82	12,0	664	77,9	5,5	16,6	19,0	29,6	1,12	8,2	795
2	20	5	75	600	37,5	112,5	5675	15	35	5,8	284	79,1	5,2	15,7	19,13	29,8	1,05	7,7	742
								25	66	11,0	534	78,1	5,5	16,4	19,0	29,6	0,995	7,3	708
								35	108	18,0	875	76,7	5,8	17,5	18,8	29,2	0,92	6,8	659
								45	164	27,4	1330	74,4	6,4	19,2	18,6	28,5	0,81	5,95	582
3	30		65	520	32,5	97,5	4900	15	52	10,0	411	78,3	5,4	16,3	19,0	29,7	0,87	6,4	619
								25	99	19,1	801	76,4	5,9	17,7	18,8	29,0	0,78	5,7	561
								35	162	31,2	1311	73,3	6,7	20,0	18,5	28,4	0,67	4,9	490
								45	246	47,4	1990	67,8	8,1	24,1	17,9	26,9	0,51	3,7	376
4	40		55	440	27,5	82,5	4175	15	70	15,9	567	77,1	5,7	17,2	18,9	29,4	0,69	5,1	500
								25	132	30,0	1070	73,7	6,6	19,7	18,5	28,3	0,57	4,2	417
								35	216	49,1	1750	67,1	8,2	24,7	17,8	26,8	0,42	3,1	314
								45	328	74,8	2660	60,5	12,4	37,1	15,5	21,9	0,21	1,5	166
5	10		75	600	37,5	112,5	5650	15	17,5	2,9	142	79,5	5,1	15,4	19,15	29,9	1,09	8,0	788
								25	33	5,5	267	79,1	5,2	15,7	19,1	29,9	1,06	7,8	770
								35	54	9,0	438	78,4	5,4	16,2	19,0	29,7	1,02	7,5	743
								45	82	13,7	664	77,5	5,6	16,9	18,8	29,5	0,97	7,1	704
6	20	15	65	520	32,5	97,5	4875	15	35	6,7	284	78,9	5,3	15,8	19,1	29,8	0,90	6,6	654
								25	66	12,7	534	77,7	5,6	16,7	19,0	29,5	0,85	6,2	616
								35	108	20,8	875	76,0	6,0	18,0	18,8	29,1	0,77	5,7	570
								45	164	31,6	1330	73,3	6,7	20,0	18,5	28,4	0,66	4,8	486
7	30		55	440	27,5	82,5	4125	15	52	11,8	411	77,8	5,5	16,7	19,0	29,6	0,72	5,3	530
								25	99	22,5	801	75,1	6,2	18,7	18,8	29,0	0,63	4,6	465
								35	162	36,9	1311	71,6	7,1	21,3	18,3	28,0	0,52	3,8	389
								45	246	56,0	1990	63,9	9,0	27,1	17,3	25,7	0,36	2,6	278
8	40		45	360	22,5	67,5	3350	15	70	19,5	567	76,3	5,9	17,8	18,8	29,2	0,54	4,0	403
								25	132	36,8	1070	71,7	7,1	21,2	18,3	27,8	0,42	3,1	320
								35	216	60,0	1750	61,5	9,6	28,9	17,0	25,2	0,27	2,0	216
								45	328	91,0	2660	26,4	18,5	55,1	10,2	12,8	0,06	0,44	71
9	10		65	520	32,5	97,5	4825	15	17,5	3,4	142	79,5	5,1	15,4	19,1	29,9	0,94	6,9	690
								25	33	6,4	267	78,9	5,3	15,8	19,1	29,9	0,91	6,7	670
								35	54	10,4	438	78,2	5,4	16,4	19,0	29,7	0,87	6,4	643
								45	82	15,8	664	77,1	5,7	17,2	18,9	29,4	0,82	6,0	607
10	20	25	55	440	27,5	82,5	4050	15	35	8,0	284	78,7	5,3	16,0	19,1	29,8	0,75	5,5	556
								25	66	15,0	534	77,3	5,7	17,0	18,9	29,4	0,70	5,1	520
								35	108	24,5	875	75,1	6,2	18,7	18,7	28,8	0,62	4,6	471
								45	164	37,4	1330	71,5	7,1	21,4	18,3	27,9	0,51	3,7	390
11	30		45	360	22,5	67,5	3300	15	52	14,4	411	77,4	5,6	17,0	18,9	29,4	0,57	4,2	430
								25	99	27,5	801	73,6	6,6	19,8	18,6	28,6	0,49	3,6	374
								35	162	45,0	1311	68,7	7,8	23,5	18,0	27,2	0,37	2,7	290
								45	246	68,3	1990	56,0	11,0	33,0	16,2	23,4	0,21	1,5	179
12	40		35	280	17,5	52,5	2550	15	70	25,0	567	75,6	5,6	18,8	18,7	28,9	0,39	2,9	314
								25	132	47,1	1070	67,9	8,0	24,1	18,0	27,2	0,28	2,1	230
								35	216	77	1750	47,8	13,1	39,1	15,0	21,1	0,12	0,9	119
								45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

15–40% an und wird damit entscheidend für den Wirkungsgrad der Kesselanlage. In diesem Schaubild sind der Übersichtlichkeit halber die Werte für Brennstoffe mit 15% Feuchtigkeit nicht aufgenommen worden; sie liegen zwischen den beiden Grenzwerten.

Die Werte der Spalte c zeigen, wie sich die ideale Zusammensetzung der Reinkohle des Brennstoffes dadurch gestaltet, daß der in den Rückständen verbleibende Kohlenstoff für die Verbrennung ausscheidet. Sie stellt sich durchschnittlich erheblich anders dar, als man sie sich gewöhn-

lich für Gasflammkohle oder überhaupt für Steinkohle vorstellt. Hierbei ist als wahrscheinlich vorausgesetzt, daß der Wasserstoff der Steinkohle wegen seiner Flüchtigkeit und leichten Entzündbarkeit restlos und ohne Verlust verbrennt. Ob das besonders für sehr nasse Brennstoffe und für handbeschickte Feuerungen immer zutrifft, bedarf allerdings noch der Feststellung.

Die ursprüngliche Reinkohlensammensetzung liegt der Aufstellung der zuerst von Wa. O s t w a l d vorgeschlagenen Abgasschaubilder zugrunde¹. Dabei ergab sich für

¹ s. Glückauf 1920, S. 532.

80% Kohlenstoffgehalt ein CO_2 -Maximum von 19,23% für Gasflammkohle.

Die Spalte d läßt erkennen, daß das CO_2 -Maximum unter dem Einfluß der Verluste durch Unverbranntes bei minderwertigen Brennstoffen auf 17% und noch weniger heruntergehen kann.

Nach dem Ergebnis der vorstehenden Durchrechnung müssen daher die Abgasschaubilder je nach Lage der Verhältnisse bei minderwertigen Brennstoffen eine Berichtigung erfahren. Abb. 4 zeigt, wie diese Berichtigung für Gasflammkohle von etwa 30% Aschen- und 15% Wasser-

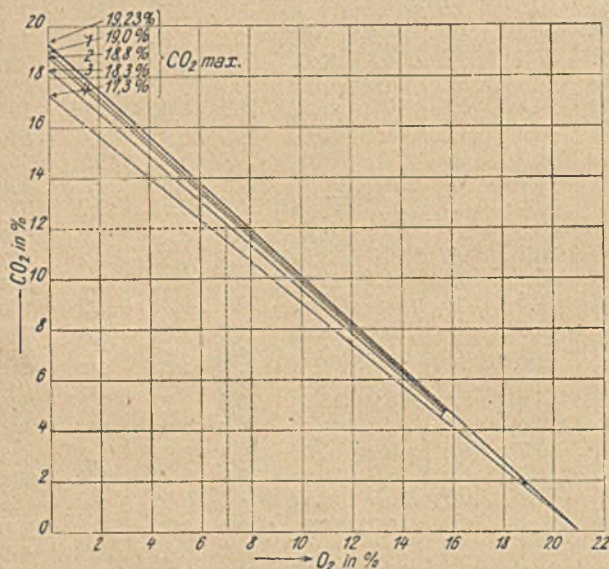


Abb. 4. Einfluß des Unverbrannten auf das Abgasdreieck für Gasflammkohle mit 30% Asche und 15% Wasser.

gehalt je nach dem Ausbrand der Rückstände ausfällt. Die Dreieckspitze des Abgasschaubildes wandert nach den mit 1–4 bezeichneten Punkten, wenn die Rückstände, wie in der Rechnung ausgeführt ist, 15–45% Verbrenliches enthalten. Wie wesentlich eine solche Berichtigung ist, zeigt das eingestrichelte Beispiel. Bei 12% CO_2 und 7% O müßte bei hochwertiger Kohle auf unvollkommene Verbrennung geschlossen werden, während dieser Schluß bei minderwertigen Brennstoffen mit mäßigem Schlackenausbrand nicht mehr zulässig erscheint! Diese Erkenntnis ist nicht unwichtig, da ein falscher Schluß auf die Kohlenoxydbildung naturgemäß zu falschen Gegenmaßnahmen, d. h. zur Vermehrung der Luftzufuhr Veranlassung geben würde. Letztere bedeutet aber in den meisten Fällen Erhöhung der Schornsteinverluste und Steigerung der Flugkoksgefahr, also würde die versuchte Abstellung eines vermeintlichen, durch Kohlenoxydbildung hervorgerufenen Verlustes erst wirklich neue Verluste hervorrufen. Jeder Feuerungstechniker weiß, daß es verhältnismäßig schwer ist, Kohlenoxyd in den Rauchgasen durch technische Analysen nachzuweisen, während dieser Nachweis mit denselben Mitteln im unverbrannten Koksofengas und bei Generatorgasen weit leichter gelingt. Vielleicht hat diese unbeachtete Verschiebung für die Beurteilung einer Rauchgasanalyse bei minderwertigen Brennstoffen mit dazu beigetragen, das Kohlenoxyd so schwer feststellbar erscheinen zu lassen.

In der Spalte e der Zahlentafel sind die Zusammensetzung und der Wärmeinhalt der wirklich entstehenden Rauchgase aufgeführt, wenn diese mit 12% Kohlensäure und 275° bei 25° Außenlufttemperatur abziehen. Abb. 5 zeigt klar, wie dieser Wärmeinhalt bei minderwertigen Brennstoffen schnell sinkt, und zwar desto schneller, je schlechter der Ausbrand der Rückstände ist. Bei stark wasserhaltigen Brennstoffen wird dieses Sinken durch die höhere spezifische Wärme des Wasserdampfes etwas verlangsamt.

Überraschend ist vor allem das nächste Schaubild (s. Abb. 6), da es zeigt, daß der Wärmeinhalt der Rauchgase bei gleicher Temperatur und gleichem CO_2 -Gehalt schneller sinkt als der Brennstoffheizwert. Der Schornsteinverlust in % des Heizwertes wird also bei steigender Minderwertigkeit der Steinkohle und bei steigendem Verlust durch Unverbranntes bei sonst gleichen Rauchgaszuständen immer kleiner und kleiner.

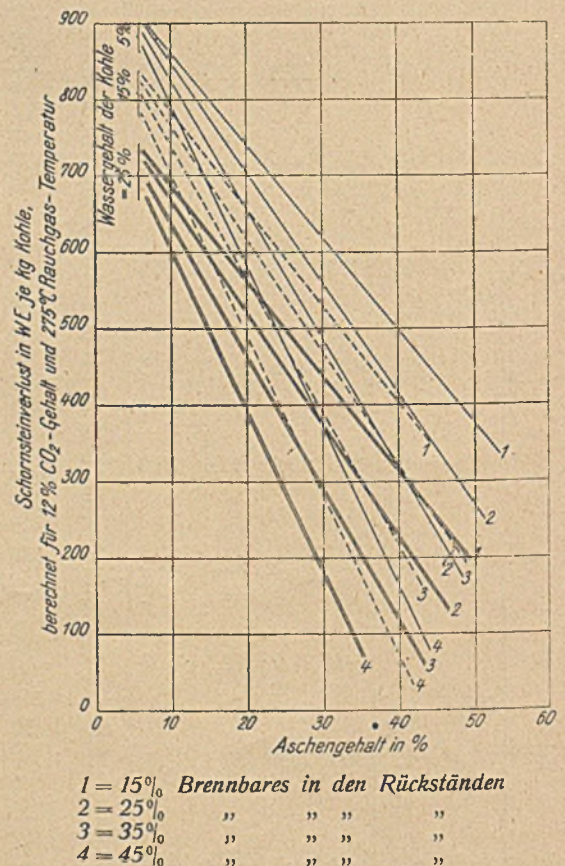
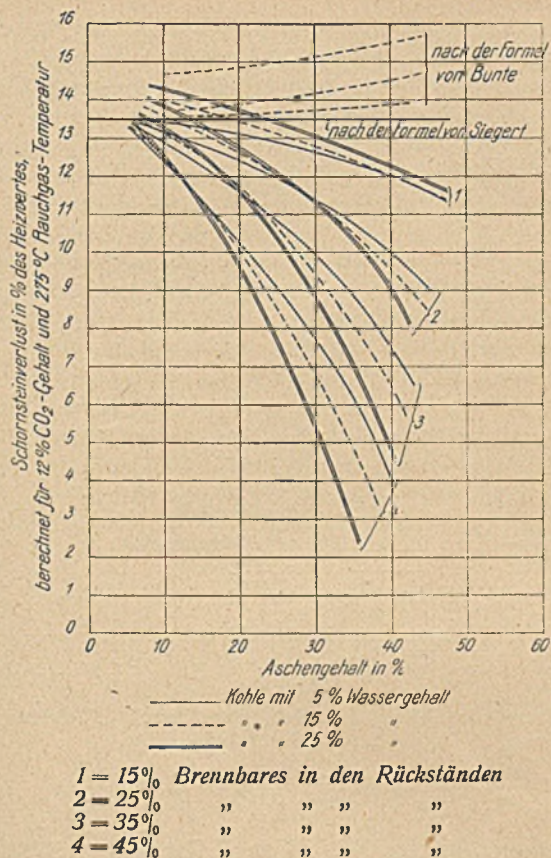


Abb. 5. Schornsteinverluste in WE in Abhängigkeit vom Aschen- und Wassergehalt von Gasflammkohle und vom Ausbrand der Rückstände.

Die von den hochwertigen Brennstoffen her übernommenen Berechnungsarten des Schornsteinverlustes erweisen sich für die vorliegenden Beispiele als falsch. Als solche sind bekannt die sogenannte Verbandsformel von Bunte und die wegen ihrer Einfachheit wohl am meisten angewendete Siegertsche Näherungsformel. Die sich nach den beiden Formeln ergebenden Schornsteinverluste für 12% CO_2 und 275° sind mit in das Schaubild aufgenommen worden. Die Siegertsche Formel ergibt einen Verlust von



1 = 15% Brennbares in den Rückständen
 2 = 25% " " " "
 3 = 35% " " " "
 4 = 45% " " " "

Abb. 6. Schornsteinverluste in % des Heizwertes in Abhängigkeit vom Aschen- und Wassergehalt von Gasflammkohle und vom Ausbrand der Rückstände.

13,5% für alle Brennstoffe, stellt sich also im Bild als waagrechte Linie dar. Die Verbandsformel ergibt 13,6–15% Verluste je nach dem Wassergehalt. Der Aschengehalt des Brennstoffes bewirkt eine nur geringe Vermehrung des Verlustes.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung liefern das umgekehrte Bild. Der Schornsteinverlust sinkt auch beim besten Ausbrand der Rückstände mit steigendem Aschen- und Wassergehalt (Kurvenschar 1). Bei mäßigem Ausbrand der Schlacke (Kurvenschar 3) geht der Abfall so stark vor sich, daß sich bei 30% Aschengehalt und 15% Feuchtigkeit nur noch 9% Schornsteinverluste ergeben. Bei 45% Verbrenlichem in den Rückständen (Kurvenschar 4) geht dieser Verlust sogar bis auf 6% des Heizwertes herunter, d. h. die hierfür bisher auch bei minderwertigen Brennstoffen angewendeten Formeln liefern bis um 100% zu hohe Werte.

Diese Erkenntnis erscheint sofort sehr wesentlich, wenn man die Schornsteinverluste als Unterlagen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung eines Rauchgasvorwärmers benutzen will. Es ist an sich bedauerlich, daß das Vertrauen in die bisher angewendeten Rechnungsverfahren zum Teil zerstört werden muß. Hoffentlich gelingt es, durch anzu-stellende Versuche einen für minderwertige Brennstoffe brauchbaren und einfachen Ersatz zu schaffen.

Die Untersuchung wurde zum Schluß noch auf die durch Kohlenoxydbildung in den Rauchgasen auftretenden

Verluste ausgedehnt. Wie hoch diese im allgemeinen bei Reinkohle höchstens sein können, zeigt Abb. 7. Für die weitere Rechnung wurde der Sonderfall gewählt, daß nur ein Zehntel des an der Verbrennung überhaupt beteiligten Kohlenstoffes unvollständig zu Kohlenoxyd verbrennt, daß

$$\text{also } x = \frac{\text{CO \%}}{(\text{CO}_2 + \text{CO}) \%} \text{ gleich } 0,1 \text{ ist.}$$

Für Gasflammkohle kann der Verlust dann im Höchsthalle nach Abb. 7 455 WE betragen. Für die in der Spalte c der Zusammenstellung aufgeführten Kohlenstoffgehalte wird der Verlust entsprechend kleiner. Diese in Abb. 8 schaubildlich dargestellten Verluste nehmen, wie ersichtlich, auch wieder mit steigendem Aschengehalt des Brennstoffes ab. Die Abnahme wird durch die Zunahme des Verbrenlichen in den Rückständen wesentlich beschleunigt. Setzt man diese Zahlenwerte in Beziehung zum Heizwert des Brennstoffes, so ergibt sich das nächste Schaubild (s. Abb. 9). Hier zeigt sich ein ähnlicher Verlauf wie bei den Schornsteinverlusten: die steigende Minderwertigkeit der Kohle ist mit einem Sinken der Verluste verbunden. Wesentlich beeinflußt wird das Sinken wiederum durch den Ausbrand der Schlacke, so daß sich bei 45% Verbrenlichem in den Rückständen Unterschiede von 100% zwischen hochwertigen und minderwertigen Brennstoffen ergeben.

Aus diesen hier nur für Gasflammkohle mitgeteilten Untersuchungen geht ohne weiteres hervor, daß dieselben Verhältnisse auch bei den andern Kohlensorten auftreten müssen. Deshalb kann allgemein der Schluß gezogen werden: Den Verlusten durch Unverbranntes ist bei aschenreichen Brennstoffen die erste und größte Aufmerksamkeit zuzuwenden. Die Schornsteinverluste und die Verluste durch die Kohlenoxydbildung kommen erst in zweiter Linie. Sie können sogar bei Mißachtung der erstern überhaupt zu einer unwesentlichen Nebensache werden und gewinnen erst wieder an Bedeutung, wenn der Ausbrand der Rückstände zu einer bisher nur erhofften Güte gediehen ist. Ein Teil der bis jetzt als solche verrechneten Schornsteinverluste und Kohlenoxydverluste wird künftig wohl dem Posten Flugkoks und Rußbildung zugeschrieben und diesem Posten dadurch verstärkte Beachtung zugewendet werden müssen.

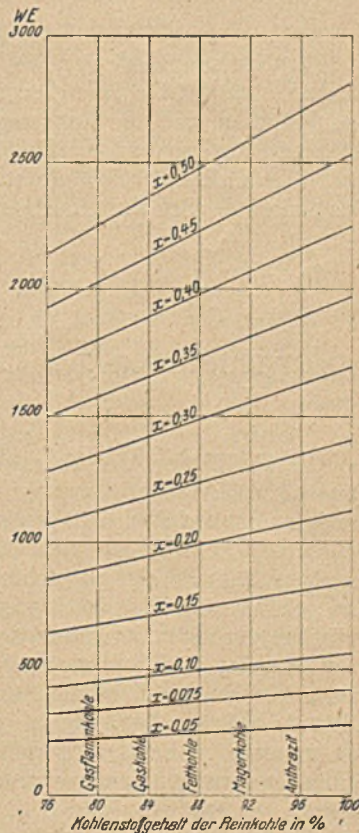
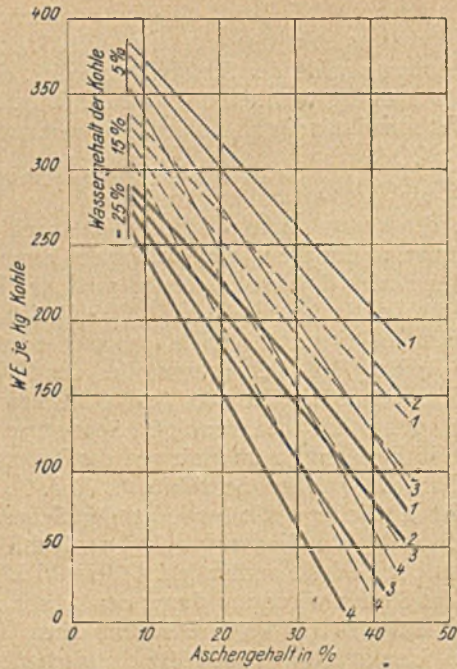


Abb. 7. Wärmeverlust durch CO-Bildung je kg Reinkohle.



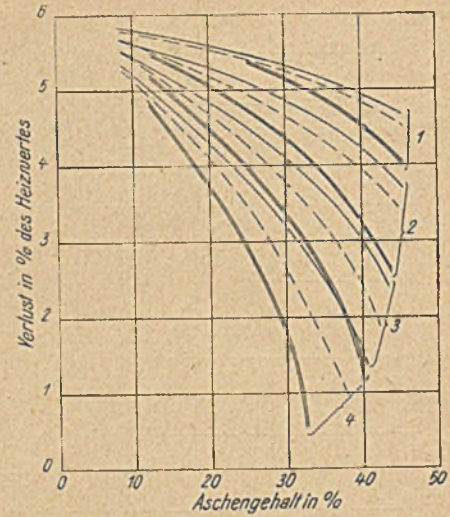
Brennbares in den Rückständen:
 1 = 15% 2 = 25% 3 = 35% 4 = 45%.

Abb. 8.

Wärmeverlust durch CO-Bildung bei Gasflammkohle,
 wenn $\frac{\text{CO} \%}{(\text{CO}_2 + \text{CO}) \%} = 0,1$ ist.

Zusammenfassung.

Für Gasflammkohle von wechselnder Minderwertigkeit wird an Hand von Rechnungsergebnissen und Schaubildern nachgewiesen, daß die Verluste durch Unverbranntes bestimmend für die Wirtschaftlichkeit der Verbrennung sind und die andern Verlustquellen erheblich beeinflussen. Das Sinken der Schornsteinverluste und der Verluste durch



Brennbares in den Rückständen:
 1 = 15% 2 = 25% 3 = 35% 4 = 45%.

Abb. 9.

Wärmeverlust in % des Heizwertes durch CO-Bildung bei Gasflammkohle,

wenn $\frac{\text{CO} \%}{(\text{CO}_2 + \text{CO}) \%} = 0,1$ ist.

Kohlenoxydbildung bei gleichen Rauchgasverhältnissen gegenüber hochwertiger Steinkohle wird erläutert und der Nachweis erbracht, daß die bisher üblichen Berechnungsverfahren für beide Verlustarten für minderwertige Brennstoffe bis um 100% zu hohe Werte ergeben. Die Anwendung von Abgasschaubildern wird erwähnt und auf die bei minderwertigen Brennstoffen möglichen Fehlerquellen hingewiesen.

Vorrichtungen zur Erhöhung der Wärmewirtschaftlichkeit bei der Teerdestillation.

Von Oberingenieur A. Thau, Gelsenkirchen.

Die Destillation des Teers ist ein so einfacher und gewissermaßen roher Vorgang, daß zu einer Einheit nur wenige und verhältnismäßig sehr einfache Vorrichtungen gehören. Die Teerblase wird durch ein Verbindungsrohr an einen Wasserkühler angeschlossen, aus dessen Schlange das gekühlte Destillat in flüssigem Zustand durch eine zwischengeschaltete Probenvorlage in die einzelnen Vorratsbehälter gelangt. Der Bodenauslaß der Blase ist außerdem mit einem als Pechkühler dienenden Behälter verbunden. Diese Anordnung hat man in jahrzehntelangem Betriebe fast unverändert beibehalten und nur die Blase selbst baulichen Änderungen unterworfen, um die Beschickungsmengen zu erhöhen, jedoch auch dabei, abgesehen von dem Fassungsvermögen der Blasen, eine gewisse Einheitlichkeit gewahrt. Man unterscheidet nur stehende oder liegende Blasen, von denen die letztern in der Anordnung den Flammrohrkesseln ähnlich sind.

Die Teerdestillation erfolgt auf weitaus den meisten Anlagen in unterbrochenem Betriebe. Die verschiedenen ununterbrochen arbeitenden und halbstetigen Verfahren führen sich nur sehr langsam ein und sind verhältnismäßig noch wenig verbreitet. Abgesehen von diesen Bestrebungen, eine ununterbrochene Betriebsweise zu erzielen, konnte bei den an sich sehr einfachen Vorrichtungen eine Verbesserung nur durch eine Erhöhung der Wärmewirtschaftlichkeit erreicht werden, denn da für die Wartung nur ein Mann in Frage kommt, fallen Arbeitslöhne kaum ins Gewicht.

Ausnutzung der Destillationswärme zur Vorwärmung und Entwässerung.

In England ist man mit den Bestrebungen, eine bessere Wärmewirtschaftlichkeit bei der Teerdestillation zu erzielen, schon seit einer Reihe von Jahren bahnbrechend voran-

gegangen und hat den Kreislauf der Verfahren durch Nutzbarmachung der sonst im Kühler vernichteten Wärme der Destillationsdämpfe zur Vorwärmung und Entwässerung des Teeres erweitert. Die großen Brennstoffersparnisse eines solchen Betriebes sind in England so schnell erkannt worden, daß es heute wohl keine Teerdestillation mehr gibt, die nicht in dieser Weise eingerichtet wäre, während in Deutschland Anlagen dieser Bauart zu den seltenen Ausnahmen gehören. Auch in dem auf diesem Gebiete umfassendsten Nachschlagewerk von Lunge wird die Vorwärmung und Entwässerung des Rohteers durch die Eigenwärme der Destillationsdämpfe nur kurz erwähnt¹ und nicht als eine unbedingt erforderliche Ergänzung der Teerblase betrachtet.

Eine Teerdestillation mit Teervorwärmung und -entwässerung durch die Eigenwärme der Destillationsgase ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Die stehende Teerblase *a* ist durch den Helm *b* mit einer in dem Vorwärmer *c*

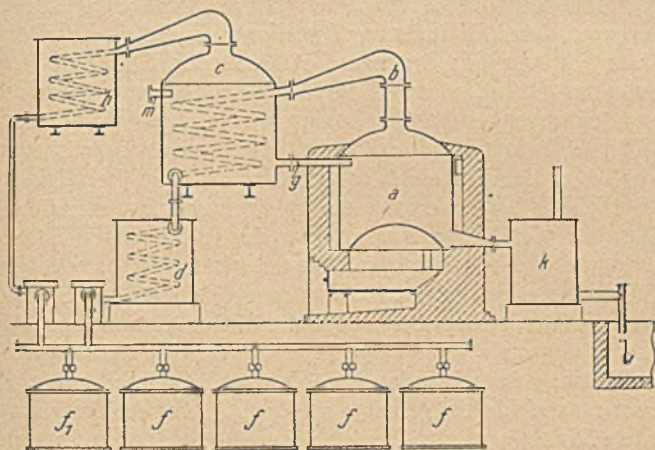


Abb. 1.

Teerdestillation mit Vorwärmung und Entwässerung des Teeres durch die Eigenwärme der Destillationsdämpfe.

verlegten Rohrschlange verbunden. Aus dem Helm treten die Dämpfe oben in die Schlange ein, während deren unteres Ende mit der Schlange des Wasserkühlers *d* verbunden ist. Das darin vollständig niedergeschlagene Destillat läuft in die kleine Probenvorlage *e* und wird aus dieser, seiner jeweiligen Beschaffenheit entsprechend, in einen der Lagerbehälter *f* geleitet, von denen der der Vorlage *e* nächstliegende *f*₁ als Leichtölbehälter dient und mit Vorrichtungen zur Abscheidung des Wassers ausgerüstet ist. Der Rauminhalt des Vorwärmers *c* entspricht der Nutzfüllung einer Blase. Durch das an seinem Boden angeschlossene, mit einem Hahn versehene Rohr *g* ist er mit der Blase *a* verbunden. Der Oberteil des Vorwärmers stimmt mit dem der Blase überein und trägt wie diese einen Helm, der ihn mit der Rohrschlange des Wasserkühlers *h* verbindet; dessen Auslauf mündet in die Probenvorlage *i*, die ebenfalls an die Verteilungsleitung der Vorratsbehälter *f* angeschlossen ist. Der Pechkühler *k* und die Pechgrube *l* vervollständigen die Anlage:

Bei Inbetriebsetzung der kalten Anlage werden Blase und Vorwärmer mit Rohteer gefüllt, der durch den mit

einem Hahn versehenen Einlaufstutzen *m* des Vorwärmers *c* aus einem Hochbehälter oder durch Druck zuläuft, und zwar erhält die Blase dabei nur eine Dreiviertel-, der Vorwärmer dagegen eine volle Beschickung. Die Blase wird je nach dem Wassergehalt des Teeres, um sein Aufwallen und Überschäumen zu vermeiden, sehr vorsichtig geheizt und das Wasser langsam ausgetrieben. Bei Beginn der Mittelölfraction setzt der normale Betrieb ohne besondere Vorsichtsmaßregeln ein. Die entwickelten Leichtöl- und Wasserdämpfe werden bereits im Vorwärmer *c* durch den die Schlange umgebenden kalten Teer niedergeschlagen und fließen durch die Schlange des Kühlers *d* in die Vorlage *e*. Da man mit einer solchen Verflüssigung des Destillats in der Vorwärmerschlange stets rechnen muß, ist Bedingung, daß bei der Wahl der Höhenlage des Vorwärmers *c* nicht nur dem Auslauf des Teerinhalt durch die Verbindung *g* in die Blase, sondern vor allem auch dem freien Ablauf des niedergeschlagenen Destillats in den beiden Schlangen *c* und *d* Rechnung getragen und dadurch ein Überdruck in der Blase vermieden wird. Die Kühlung der Dämpfe im Vorwärmer *c* hat einen Wärmeaustausch zur Folge, wobei der Teer einen Teil der Wärme von den Destillationsdämpfen aufnimmt. In der letzten Hälfte des Destillationsabschnitts steigt die Temperatur des Teeres im Vorwärmer bis auf etwa 150°, je nach seinem ursprünglichen Wassergehalt, wobei, einen 4–5% nicht übersteigenden Wassergehalt des Teeres vorausgesetzt, Wasser und Leichtöl restlos abgetrieben, im Kühler *h* niedergeschlagen und durch die Vorlage *i* dem Vorratsbehälter *f*₁ zugeführt werden.

Sobald die Destillation der Blasenbeschickung beendet ist, wird das Feuer stark gedeckt; bei Anwendung von Gas oder flüssigen Brennstoffen unterbricht man die Beheizung für kurze Zeit. Der Blasenrückstand wird in den Pechkühler *k* abgelassen und der Inhalt des Vorwärmers *c* durch Öffnen der Verbindung *g* in die Blase übergeführt. Darauf wird der Vorwärmer erneut mit Rohteer beschickt und zugleich die Blase ohne besondere Vorsichtsmaßregeln beheizt, denn da sie nun gänzlich wasserfreien und bereits vorgewärmten Teer enthält, ist ein Überschäumen auch bei starker Erwärmung nicht mehr zu befürchten.

Da die englischen Teerdestillationen fast ausschließlich in dieser Art erbaut sind, liegen Vergleichszahlen über den Brennstoffverbrauch im Dauerbetriebe mit und ohne Vorwärmung nicht vor. Zum Vergleich können aber die Werte dienen zwischen der erstmaligen Destillation, bei der die Blase ebenfalls mit Rohteer beschickt werden muß, und den darauf folgenden, bei denen vorgewärmter, entwässerter Teer in die Blase kommt und das Mauerwerk so warm bleibt, daß durch Absorption kaum Wärme verloren geht. Die Unterschiede im Brennstoffverbrauch betragen bei stehenden Blasen mit 24 t Nutzungsraum und einem Teer von 3–5% Wassergehalt rd. 36%, wobei sich die Destillationsdauer ebenfalls um ein Drittel verkürzt. Nicht in Betracht gezogen ist dabei der geringere Wasserverbrauch für die Kühlung, der allerdings weniger stark in die Erscheinung tritt.

Vom Verfasser geleitete Anlagen dieser Art haben sich ohne die geringsten Anstände in jahrelangem Dauerbetriebe bewährt, und es ist einigermaßen verwunderlich, daß auf neuzeitlichen deutschen Teerdestillationsanlagen nur

¹ Lunge und Köhler: Steinkohlenteer und Ammoniak. 5. Aufl. Bd. 1, S. 420.

in verhältnismäßig geringem Umfange von dieser sonst unter Kühlwasseraufwand zu vernichtenden Wärmequelle Gebrauch gemacht wird. Man entwässert den Teer vielfach noch unter Anwendung großer Mengen gespannten Dampfes, der dazu oft in besondern Stochkesseln erzeugt werden muß, in eigenen Vorrichtungen und führt ihn einem Sammelbehälter zu, aus dem die Blasen unmittelbar gespeist werden. Bei dieser Betriebsart geht die vom Teer während der Entwässerung aufgenommene Wärme z. T. wieder verloren.

Ununterbrochen arbeitende Entwässerungsblase.

Da die stehenden Blasen aus technischen Gründen nur für ein beschränktes Fassungsvermögen gebaut werden können, ist man seit einer Reihe von Jahren, zuerst in Deutschland, wieder auf die früher schon eingeführten, dann aber wieder aufgegebenen liegenden zylindrischen Blasen zurückgekommen, die bei einem Nutzungsraum von 50 t und darüber eine bessere Wärmewirtschaftlichkeit gewährleisten. Sie werden als glatte Zylinder wie liegende Dampfkessel eingemauert und an der Unterseite beheizt. Wesentlich wirtschaftlicher wird der Betrieb liegender Blasen durch Anordnung eines oder mehrerer Flammrohre in der untern Hälfte, die jedoch so tief liegen müssen, daß sie auch nach beendeter Destillation noch vollständig von dem Pechrückstand bedeckt sind.

Eine liegende Blase neuerer Bauart, wie sie sich in England bewährt hat, zeigt Abb. 2 im schematischen Längsschnitt. Sie ist in erster Linie als Entwässerungsblase ge-

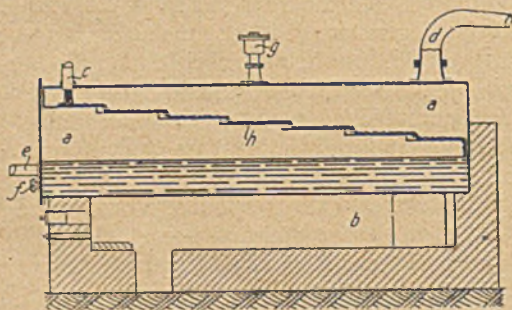


Abb. 2.
Liegende Teerentwässerungsblase.

dacht, um wasser- und leichtölfreien Teer für Straßenbauzwecke in ununterbrochenem Betriebe zu liefern. Die Entwässerung größerer Teermengen bereitet Schwierigkeiten, weil bei starker Beheizung das Wasser an die Oberfläche in Form kleiner Dampfblasen steigt, die bei dichter Lagerung und raschem Emporschnellen ein sehr gefürchtetes Überschäumen, das sogenannte »Kotzen« der Blase herbeiführen. Man darf daher eine mit sehr wasserhaltigem Teer gefüllte Blase nur äußerst langsam und vorsichtig beheizen, was zeitraubend und unwirtschaftlich ist. Bei der in Abb. 1 dargestellten Anordnung wird der Teer im Vorwärmer entwässert und dabei die Heizwirkung durch die von den Destillationsdämpfen durchströmte Schlange so allmählich gesteigert, daß ein Überschäumen nicht eintreten kann. Handelt es sich jedoch um die Entwässerung größerer Teermengen, so kann eine wirksame

Vorwärmung durch die Destillationsdämpfe nicht in Frage kommen, weil die Blasentemperatur an und für sich nur so hoch getrieben wird, um das Wasser zu verdampfen, mithin überschüssige Wärme kaum oder doch nur in ganz geringem Umfang aus dem Kreislauf gezogen werden kann. Aus den schon angeführten Umständen ist man gezwungen, den Teer zwecks Entwässerung in so dünner Lage zu erwärmen, daß kein Überschäumen eintritt. Man verwendet dazu vielfach mit gespanntem Dampf beschickte Heizkörper, die vom Teer bespült werden, wobei die Nutzwirkung recht mangelhaft, die Unterhaltung aber recht kostspielig ist. Bei Anwendung stehender Blasen zur Entwässerung versieht man den Helm mit einem Kolonnenaufsatz, um die von den Wasserdämpfen mitgerissenen Öle zurückzuhalten.

Bei der in Abb. 2 wiedergegebenen Bauart hat man einen besonders hinsichtlich seiner Wärmewirtschaftlichkeit sehr einleuchtenden neuen Weg zur Teerentwässerung beschritten. Die liegende Blase besteht hier aus dem glatten zylindrischen Kessel *a*, dessen untere Hälfte eingemauert ist und den die Feuerung *b* von unten beheizt. Der Roh-teer wird an der Brennerseite durch den Stutzen *c* von oben zugeführt, während die Destillationsdämpfe die Blase am entgegengesetzten Ende durch die Leitung *d* verlassen. Der Abflußanschluß *e* für den entwässerten Teer ist etwa 150 mm über dem Boden angebracht, so daß bei stetigem Betrieb die Blase nie ganz leerlaufen und der Boden infolgedessen nicht durchbrennen kann. Zur vollständigen Entleerung der Blase ist nahe am Boden der besondere, mit einem Hahn versehene Anschluß *f* angebracht; ein weiterer Stutzen oben mitten auf der Blase trägt das Sicherheitsventil *g*. Die Blase durchzieht ihrer ganzen Länge nach eine aus dachziegelartig übereinander verlegten Blechen gebildete, von vorn nach hinten geneigte und auf Querstreben angeordnete Rinne *h*, die an beiden Seiten hochgebogen ist und zwischen Blasen- und Rinnenwand je einen schmalen Spalt freiläßt, durch den die entwickelten Dämpfe nach oben steigen und das Austrittsrohr *d* erreichen können. Die Stöße der einzelnen Platten sind lose übereinander gelegt, so daß die Rinne den Ausdehnungen der Blase nachzugeben vermag, ohne ihre Form einzubüßen.

Durch die beschriebene Anordnung wird die Blase in drei unter sich verbundene Zonen geteilt, und zwar in eine untere, ständig mit siedendem Teer beschickte, eine mittlere darüber, die oben von der Rinne *h* begrenzt wird und mit Teerdämpfen angefüllt ist, und eine obere über der Rinne zur Aufnahme der abgetriebenen Wasserdämpfe.

Der durch den Rohranschluß *c* eintretende Teer fällt auf das hochliegende Ende der innern Rinne *h*, auf der er sich gleichmäßig ausbreitet und langsam abwärts nach dem hintern Blasenende fließt, wobei durch die einzelnen Plattenstöße Teerdämpfe aus der Mittelzone in geringem Maße hindurchtreten und eine mehrmalige Mischung des Teeres erfolgt, so daß jedes Teilchen auf dem Wege über die Rinne mit dem Blech selbst in Berührung kommt. Die der untersten, von der Feuerung unmittelbar beeinflussten Teerzone entströmenden Dämpfe sammeln sich in der Mittelzone unter der Rinne, die dadurch von unten erwärmt wird und eine Verdampfung des in dem sie überströmenden Teer enthaltenen Wassers herbeiführt. Der Teer tritt mithin zum größten Teil entwässert und bereits vorgewärmt am hintern Ende in die untere Teerzone, wo

die letzten Reste des Wassers und je nach der Betriebsweise bestimmte Ölfractionen abgetrieben werden. Der entwässerte Teer läuft durch den Stutzen *e* ständig ab.

Bei der Vorbehandlung von Teer zwecks Verwendung beim Wegebau haben sich mehrere solcher in England erbauter und betriebener Blasen bewährt, ohne daß ein Übersäumen eingetreten wäre. Auf einer Anlage wird ein Gaserzeugerteer, der 40 % Wasser enthält, ohne Anstände verarbeitet, wobei die flüssigen Destillate durchsichtig und von blaßgelber Farbe sind, ein sicheres Zeichen dafür, daß sich die Teerzone der Blase trotz dieser ungünstigen Umstände in Ruhe befindet und kein Rohteer von den Dämpfen mitgerissen wird.

Die Erbauer dieser Anlagen erheben den Anspruch, die Blase auch zur Destillation des Teers bis auf Hartpech anwenden zu können. Dazu ließe sie sich jedoch in der vorliegenden Form nur unter Verzicht auf die ununterbrochene Betriebsweise nutzbar machen, da sonst die Destillate als eine Mischung mehrerer Fraktionen entfielen. Der Vorzug der Bauart kommt meines Erachtens nur in ihrer Verwendung als Entwässerungsblase zur Geltung, wobei eine gute Wärmewirtschaftlichkeit erzielt wird.

Liegende Blase mit U-förmigem Flammrohr.

Auch in Deutschland macht sich das Bestreben geltend, im Teerdestillationsbetriebe eine größere Wärmewirtschaftlichkeit zu erzielen. So hat Dr. Weickel auf der Teerdestillation der Asphalt-, Teerprodukten- und Dachpappenfabrik Phil. Weickel bei Worms im Jahre 1917 eine liegende Blase erbaut, für die neue Gesichtspunkte zur Erzielung hoher Wärmewirtschaftlichkeit maßgebend gewesen sind. Die Blase ist in Abb. 3 als senkrechter und in Abb. 4 als wagerechter Längsschnitt schematisch wiedergegeben. Die beiden Hauptunterschiede gegenüber den bisher angewandten liegenden Blasen mit eingebauten Heizrohren bestehen 1. darin, daß die beiden Flammrohre nicht durch die zur Feuerung entgegengesetzt liegende Blasenwand treten, sondern kurz vor dem Blasenende durch einen

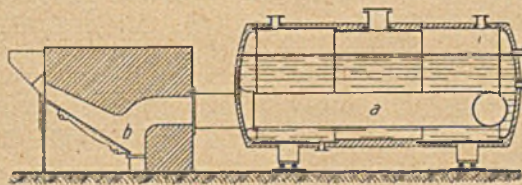


Abb. 3.
Senkrechter Längsschnitt.

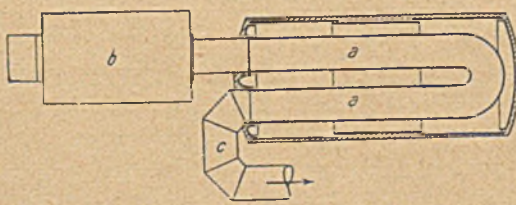


Abb. 4.
Wagerechter Längsschnitt.

Abb. 3 und 4. Teerblase mit U-förmigem Flammrohr von Weickel.

Doppelkrümmer verbunden sind und 2. darin, daß die Blase nicht mehr eingemauert wird, sondern auf Böcken frei verlegt und ringsherum mit Wärmeschutzmasse umgeben ist. Die Wärmeverluste werden durch den Fortfall der Einmauerung, die sonst viel Wärme abführt, wesentlich geringer, während die ganze Blase leichter und mit geringerem Kostenaufwand errichtet werden kann und außerdem von allen Seiten leicht zugänglich ist. Undichtigkeiten zwischen Ausmauerung und Blasenwand, die sonst infolge der ständigen Ausdehnung und Zusammenziehung des Blasenmantels nicht zu vermeiden sind, fallen hier gänzlich fort. Abweichend von der Abb. 4 hat man die beiden Krümmer der Flammrohre im Innern der Blase nicht unmittelbar, sondern durch ein kurzes rechtwinkliges Rohrstück verbunden, das die Heizfläche vergrößern und die durch die wechselnden Temperaturen entstehenden Spannungen besser aufnehmen soll. Aus demselben Grund bestehen auch die beiden Schenkel des Flammrohres auf eine Strecke aus stark gewelltem, leicht nachgiebigem Rohr. Undichtigkeiten in den Kopfwänden der Blase, wie sie bei durchgehenden Flammrohren nicht zu vermeiden sind, werden durch diese Anordnung verhütet. An das eine Schenkelende des Flammrohres wird die Feuerung oder ein Gasbrenner angeschlossen. Die Beheizung der Blase erfolgt auf der genannten Anlage durch die mit Schrägrost ausgerüstete und mit Preßbraunkohle beschickte Feuerung *b*. Das entgegengesetzte Flammrohrende, an dem die Verbrennungsgase austreten, verbindet der Krümmer *c* mit dem zum Kamin führenden Fuchs. Die Beheizung mit Gas oder flüssigen Brennstoffen gestaltet die Wärmewirtschaftlichkeit weit besser als die Verwendung fester Brennstoffe, da die Brenner unmittelbar in das Ende des beheizten Flammrohrschenkels eingebaut werden, während bei festen Brennstoffen die in den Abb. 3 und 4 angeordnete Vorfeuerung angeordnet werden muß, deren Wirkungsgrad Strahlungsverluste beeinträchtigen.

Die neue Bauart hat den gehegten Erwartungen in so hohem Maße entsprochen, daß inzwischen eine zweite Blase in gleicher Bauart errichtet worden ist. Der Teer wird dort ohne vorherige Entwässerung oder Vorwärmung mit einem Wassergehalt von 3–4 % eingefüllt, wobei der Nutzinhalt jeder Blase 20 t beträgt. Es wird bei gewöhnlichem Druck, ohne Anwendung von Vakuum destilliert; die Destillationsdauer beträgt für eine Beschickung etwa 12 st. Der Brennstoffverbrauch beläuft sich auf rd. 1500 kg rheinischer Preßbraunkohle für jede Blasenbeschickung. Setzt man den Heizwert der Preßlinge zu 4500–4800 WE ein und stellt ihnen eine Steinkohle mit 6800–7000 WE gegenüber, so entspricht die zur Destillation von 20 t Rohteer erforderliche Steinkohlenmenge rd. 1 t oder 5 Gewichtshundertteilen, auf den Blaseninhalt bezogen, während diese Zahl bei stehenden Blasen 8–10 % für nicht entwässerten kalten Teer oder 4,5–6 % bei vorgewärmtem Teer gleichzurechnen ist.

Da sich die gewellten Flammrohre bei dem Temperaturwechsel auf den Lagerböcken harmonikaartig frei bewegen können, fallen die sich auf ihnen niederschlagenden Pechkoksansätze von selbst ab, während die Blasenwände selbst, die ja nicht beheizt sind, davon ganz frei bleiben und sehr geschont werden. Während man eine stehende Blase in der Regel nach acht Beschickungen zwecks Entfernung

des gebildeten Pechkoks befahren muß, wird dies im vorliegenden Falle erst nach 20–25 Destillationen erforderlich; die 1917 erbaute Blase ist sogar während des Krieges einmal für drei Monate ohne besondere Reinigung in Betrieb geblieben.

Zur weiteren Erhöhung der Wärmewirtschaftlichkeit will man neuerdings beim Betriebe dieser Blasen drei Einheiten abwechselnd betreiben und sie mit Hilfe von Umstellventilen und Krümmern an zwei vor den Blasen verlegte gleichlaufende Kanäle anschließen, von denen einer zum Kamin führt, während der andere die Abhitzeenden der Flammrohre der drei Blasen untereinander verbindet. Bezeichnet man die drei zusammengehörigen Blasen mit *a*, *b* und *c*, von denen *a* unter Feuer, *b* frisch beschickt und *c* bis auf den Rückstand abdestilliert sei, so wird durch eine entsprechende Ventilstellung die Abhitze aus dem Flammrohr der Blase *a* durch das der Blase *b* geleitet und dabei die Abhitze nutzbar gemacht und der Teer ohne besonderen Wärmehaufwand entwässert und vorgewärmt. Durch das Flammrohr der Blase *c* wird vom Kamin Luft durchgesaugt, bis der Pechrückstand soweit abgekühlt ist, daß er unter Umgehung eines besonderen Pechkühlers unmittelbar in die Pechgruben abgelassen werden kann. Der

Betrieb einer solchen Anordnung von drei Blasen entspricht ungefähr dem eines Ringofens, wobei sich drei Betriebsabschnitte regelmäßig wie folgt wiederholen: 1. *a* destilliert, *b* entwässert, *c* kühlt; 2. *a* kühlt, *b* destilliert, *c* entwässert; 3. *a* entwässert, *b* kühlt, *c* destilliert usw. Die Temperatur der aus dem Flammrohr der Entwässerungsblase entweichenden Verbrennungsgase beträgt im Durchschnitt 300°, so daß eine gute Wärmewirtschaftlichkeit erzielt wird. Das Ausführungsrecht für diese Blasenbauart ist der Firma Kogag in Essen übertragen worden, und zwar werden Einheiten von 15–50 t Nutzinhalt ausgeführt; das Verhältnis zwischen Heizfläche und Blaseninhalt stellt sich jedoch bei Blasen von 25 t Nutzinhalt am günstigsten.

Zusammenfassung.

Die Wärmewirtschaftlichkeit bei der Teerdestillation läßt sich durch Nutzbarmachung der sonst zu vernichtenden Wärme der Destillationsdämpfe oder durch Ausnutzung der Abhitze zur Vorwärmung und Entwässerung des Teeres beträchtlich erhöhen. Je eine diesen besondern Umständen Rechnung tragende Anlage sowie eine ununterbrochen arbeitende Entwässerungsblase werden kurz beschrieben.

Die Entwicklung des Preises der Ruhrkohle seit 1913.

Von Dr. Ernst Jüngst, Essen.

Die gewaltige Steigerung des Preises von Kohle, deren Zeugen wir seit einigen Jahren in Deutschland sind, hat eine dreifache Wurzel. In der Hauptsache ist sie das Widerspiel der Entwertung unserer Mark, mit deren Fortschreiten die Löhne der Bergarbeiter ebenso wie die Preise der Betriebsstoffe des Bergbaues immer mehr in die Höhe gehen mußten. Sodann kommt darin der große Rückgang der »Leistung« des Bergarbeiters zum Ausdruck, der insonderheit durch die Verkürzung der Arbeitszeit herbeigeführt worden ist, und schließlich ist die Kohle in weitgehendem Maße zum Träger öffentlicher Auflagen gemacht worden, zu deren Einbringung ihre Verbraucher höhere Preise bezahlen müssen.

Die Entwicklung der Preise der einzelnen vom Rheinisch-Westfälischen Kohlen-Syndikat vertriebenen Kohlensorten seit 1913 bis zur Gegenwart ist aus der dieser Nummer beigelegten Tafel 2 zu entnehmen. Die Preisbewegung wird veranschaulicht durch das nebenstehende Schaubild, das in logarithmischer Darstellung – deren Erklärung s. Glückauf 1922, S. 342 – die Entwicklung des Preises von Fettförderkohle zeigt, die man als Richtsorte anzusprechen gewohnt ist. Zu letztem ist jedoch darauf hinzuweisen, daß vom 1. Juli 1921 ab, um den Zechen einen Anreiz zu stärkerer Aufbereitung zu geben, die veredelten Sorten in höherem Maße im Preise heraufgesetzt worden sind als die andern, wodurch auch

in der Aufwärtsbewegung des Preises von Fettförderkohle vergleichsweise eine Verlangsamung eingetreten ist.

In den ersten drei Kriegsjahren ist, wie ersichtlich, die Erhöhung des Preises der Ruhrkohle außerordentlich bescheiden gewesen; das war nur möglich, weil die

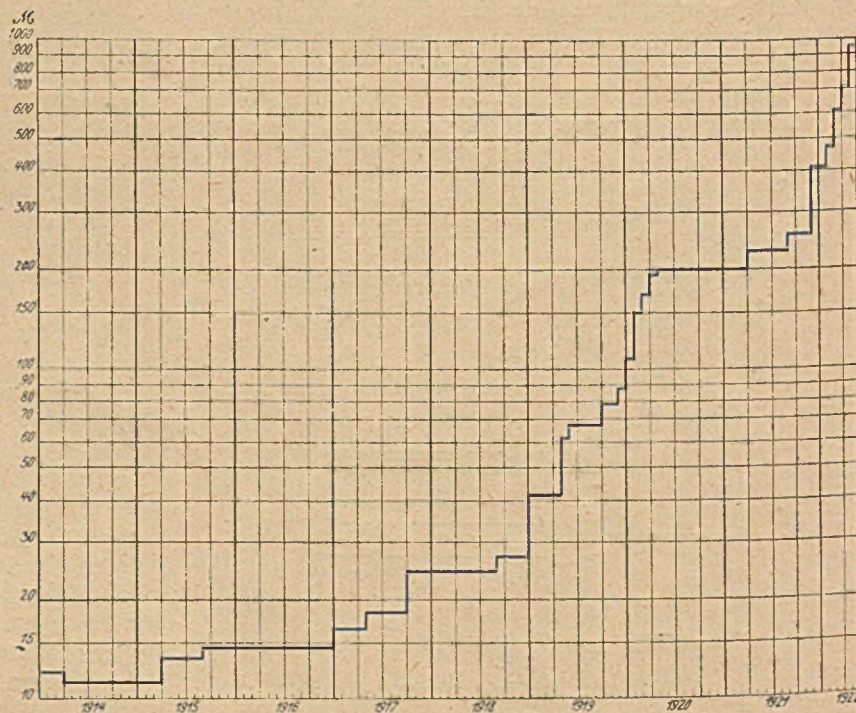


Abb. 1.
Entwicklung des Preises für Fettförderkohle 1914–1922.

Löhne den Friedensstand nicht nennenswert überschritten und die »Leistung« sich einigermaßen behauptete. Am Schluß des Jahres 1916 stand der Preis von Fettförderkohle bei 14,25 *M* nur 2,25 *M* oder 18,75 % höher als im Jahre 1913. Ein gutes Jahr später, im 1. Viertel 1918, begegnen wir schon einem Preise von 24,30 *M*; inzwischen waren die Betriebsstoffkosten wesentlich höher geworden und hatten im Zusammenhang mit der wachsenden Teuerung die Löhne beträchtlich heraufgesetzt werden müssen; dazu war ab 1. Okt. 1917 eine Kohlensteuer in Höhe von 20 % des Wertes der Kohle in Kraft getreten und ihr am 1. Sept. 1918 eine Umsatzsteuer von 1/2 % des Wertes gefolgt. Gleichwohl hatte bei Kriegsende der Kohlenpreis noch nicht einmal das Zweieinhalbfache seiner Friedenshöhe erreicht. Im Jahre 1919 überstürzten sich aber die Erhöhungen; sie nahmen gleichzeitig ein gewaltiges Ausmaß an, so daß mit Abschluß des Jahres der Preis siebenmal so hoch stand wie 1913. Im folgenden Jahre setzten sich zunächst die starken Erhöhungen fort, vom Mai 1920 ab trat jedoch in der Aufwärtsentwicklung eine längere Pause ein, und der Preis wurde bis zum April 1921 unverändert auf demselben Stand gehalten. Die dann vorgenommene Erhöhung galt für fünf Monate, die beiden darauf folgenden Erhöhungen waren drei und zwei Monate in Kraft, und vom Februar des laufenden Jahres ab ist in drei aufeinanderfolgenden Monaten eine neue Preisheraufsetzung erfolgt, deren letzte, wenn diese Zeilen erscheinen, bereits durch eine weitere überholt sein dürfte. Zurzeit ist der Preis der Ruhrkohle, am Stand der Fettförderkohle gemessen, rd. 76 mal so hoch wie in der letzten Friedenszeit.

Zu dieser Entwicklung haben in starkem Maße die in dem Kohlenpreis steckenden öffentlichen Auflagen beigetragen, deren ursprüngliches Ausmaß bei der Finanzlage des Reiches auf die Dauer nicht beibehalten werden konnte. Der Satz der Umsatzsteuer ist am 1. Jan. 1920 auf 1 1/2 % und mit Wirkung ab 1. Jan. 1922 auf 2 % erhöht worden; auch der Satz der Kohlensteuer hat neuerdings eine Verdopplung erfahren, so daß diese jetzt 40 % des Preises der Kohle ausmacht. Zu diesen beiden Steuern haben sich dann noch als weitere Preisbestandteile, für welche die Kassen der Grubenverwaltungen bzw. des Kohlensyndikats nur Durchgangsstellen sind, die Beträge für soziale Zwecke (Bergarbeiter-Heimstätten und für Aufbesserung der Lebenshaltung der Bergarbeiter) sowie die Entschädigung für den Handel gesellt. In welchem Maße diese Zuschläge auf den Zechenpreis (d. i. der unmittelbar der Zeche ver-

bleibende Erlös) den Verbraucher belasten, geht aus der Zahlentafel 1 und dem zugehörigen Schaubild 2 hervor; der gestrichelte Teil der Balken stellt jedesmal die in dem Verbraucherpreis enthaltenen Zuschläge dar.

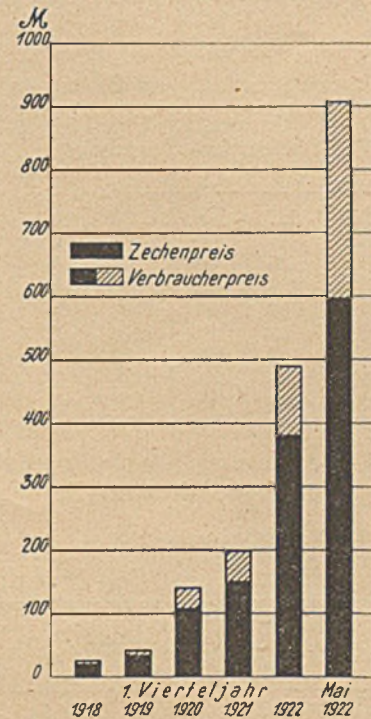


Abb. 2. Verhältnis von Zechenpreis und Verbraucherpreis.

Danach wird z. Z. mehr als ein Drittel des von dem Verbraucher ab Grube zu zahlenden Preises von den fraglichen Zuschlägen beansprucht.

Von noch größerem Einfluß auf die Gestaltung des Kohlenpreises war die Entwicklung der Löhne, die nachstehend für die Gesamtbelegschaft, für einen Untertagearbeiter und einen Hauer wiedergegeben ist.

Zahlentafel 2. Gesamtbezüge in der Schicht¹.

	Gesamtbelegschaft		Untertagearbeiter		Hauer	
	<i>M</i>	%	<i>M</i>	%	<i>M</i>	%
1. Vierteljahr 1913	5,96	100	6,44	100	7,11	100
1. „ 1914	6,05	102	6,49	101	7,11	100
1. „ 1915	5,84	98	6,34	98	7,08	100
1. „ 1916	6,75	113	7,41	115	8,36	118
1. „ 1917	7,96	134	9,03	140	10,14	143
1. „ 1918	10,30	173	11,61	180	13,08	184
1. „ 1919	17,05	286	18,90	293	20,87	294
1. „ 1920	35,99	604	39,81	618	44,12	621
1. „ 1921	63,97	1073	69,20	1075	76,93	1082
4. Vierteljahr 1921	99,46	1669	104,66	1625	114,48	1610
April 1922 ²	174,25	2924	181,83	2823	195,68	2752

¹ Die Gesamtbezüge, welche auf eine verfahrenre Schicht bezogen sind, umschließen neben dem sog. Leistungslohn auch die Zuschläge für Überarbeiten, das Hausstand- und Kindergeld, den geldwerten Vorteil des Bezuges der Deputatkohle und die Urlaubsvergütung; ferner die von dem Arbeitgeber zum Knappschaftsverein gezahlten Beiträge; nicht darin enthalten sind dagegen die Aufwendungen der Arbeitgeber für die Unfallversicherung.
² Geschätzt.

Zahlentafel 1.

Verhältnis von Zechenpreis und Verbraucherpreis.

	Zechenpreis	Zuschläge (Kohlensteuer usw.)	Verbraucherpreis	Zuschläge in % des Verbraucherpreises	Zechenpreis
	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>		<i>M</i>
1. Vj. 1918	20,25	4,05	24,30	16,67	83,33
„ 1919	34,21	7,09	41,30	17,17	82,83
„ 1920	107,80	33,70	141,50	23,82	76,18
„ 1021	149,45	48,95	198,40	24,67	75,33
„ 1922	380,31	111,39	491,70	22,65	77,35
Mai 1922	597,11	310,39	907,50	34,20	65,80

Mit der Steigerung des Lohnes, der sich für die Gesamtbelegschaft annähernd verdreifach hat, trat gleichzeitig, in besonders ausgeprägtem Maße im Zusammenhang mit der durch die Staatsumwälzung geschaffenen Sachlage, ein gewaltiger Rückgang der Leistung ein, wodurch

Zahlentafel 3.
Förderung in der Schicht.

		Gesamtbelegschaft		Untertagearbeiter		Hauer	
		kg	%	kg	%	kg	%
1. Vierteljahr	1913	902	100	1180	100	1802	100
1. "	1914	863	96	1138	96	1731	96
1. "	1915	865	96	1167	99	1886	105
1. "	1916	832	92	1125	95	1780	99
1. "	1917	731	81	1036	88	1583	88
1. "	1918	768	85	1078	91	1675	93
1. "	1919	657	73	970	82	1564	87
1. "	1920	595	66	834	71	1422	79
1. "	1921	581	64	793	67	1363	76
4. Vierteljahr	1921	585	65	806	68	1409	78

der auf 1 t Förderung entfallende Lohnaufwand eine entsprechende Steigerung erfahren mußte.

Zahlentafel 4.
Lohnaufwand je t Förderung.

		Gesamtbelegschaft		Untertagearbeiter		Hauer	
		M	%	M	%	M	%
1. Vj.	1913	6,61	100	5,46	100	3,95	100
"	1914	7,01	106	5,70	104	4,11	104
"	1915	6,75	102	5,43	99	3,75	95
"	1916	8,11	123	6,59	121	4,70	119
"	1917	10,89	165	8,72	160	6,41	162
"	1918	13,41	203	10,77	197	7,81	198
"	1919	25,95	393	19,48	357	13,34	338
"	1920	60,49	915	47,73	874	31,03	786
"	1921	110,10	1666	87,26	1598	56,44	1429
4. Vj.	1921	170,02	2572	129,85	2378	81,25	2057
April	1922	297,88	4507	225,59	4132	138,87	3516

Schließlich gesellte sich hierzu als weiterer preissteigernder Umstand noch die Abnahme des für den Absatz verfügbaren Teiles der Förderung infolge der verhältnismäßigen Steigerung, welche die für den Selbstverbrauch der Zechen und für die Bergmannskohle erforderlichen Kohlenmengen erfuhren.

Selbstverbrauch und Bergmannskohle in % der Syndikatsförderung.

1. Vj. 1913	6,31	1. Vj. 1918	10,93
" 1914	7,37	" 1919	16,33
" 1915	10,05	" 1920	15,92
" 1916	9,72	" 1921	12,49
" 1917	11,51	4. Vj. 1921	12,57

Dadurch ging der Lohnaufwand je t Absatz gemäß Zahlentafel 5 in die Höhe.

War durch die vorhin behandelten Zuschläge (für Kohlensteuer usw.) gegenüber der Friedenszeit eine Steigerung des Preises um 310,39 M herbeigeführt worden, so machte das aus der Erhöhung der Löhne bei gleichzeitigem Rückgang der Leistung und des für den Absatz verfügbaren Teiles der Förderung erwachsene Mehr an Lohnaufwand eine weitere Preissteigerung von 333,65 M erforderlich.

Zahlentafel 5.
Lohnaufwand je t Absatz.

		Arbeiter der Gesamtbelegschaft		Untertagearbeiter		Hauer	
		M	%	M	%	M	%
1. Vj.	1913	7,06	100	5,83	100	4,22	100
"	1914	7,57	107	6,15	105	4,44	105
"	1915	7,50	106	6,04	104	4,17	99
"	1916	8,98	127	7,30	125	5,21	123
"	1917	12,31	174	9,85	169	7,24	172
"	1918	15,06	213	12,09	207	8,77	208
"	1919	31,01	439	23,28	399	15,94	378
"	1920	71,94	1019	56,89	976	36,91	875
"	1921	125,81	1782	99,71	1710	64,50	1528
4. Vj.	1921	194,46	2754	148,52	2548	92,93	2202
April	1922	340,71	4826	258,02	4426	158,84	3764

In dem ersten Viertel der Jahre 1913 bis 1921 sowie im Mai d. J. beanspruchten die Lohnkosten¹ der Gesamtbelegschaft die folgenden Prozentsätze des Zechenpreises (Fettförderkohle):

1. Viertelj. 1913	62,76	1. Viertelj. 1919	90,65
" 1914	63,08	" 1920	66,73
" 1915	66,67	" 1921	84,18
" 1916	63,02	4. Viertelj. 1921	83,27
" 1917	75,75	Mai 1922	66,25
" 1918	74,37		

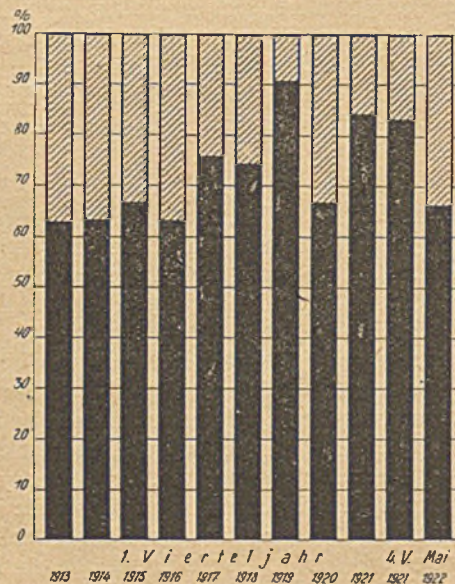


Abb. 3. Anteil der Lohnkosten der Gesamtbelegschaft am Kohlenpreis der Zeche.

In diesem Lohnanteil stecken allerdings auch Lohnbeträge, welche in dem Preis des als Kohle abgesetzten Förderproduktes nicht zum Ausdruck kommen, weil sie von außerhalb des eigentlichen Grubenbetriebes stehenden Arbeitern (d. s. die in den Kokereien, Preßkohlenwerken, Nebenproduktenanlagen Beschäftigten) verdient werden; jedoch liegen über die Löhne dieser Arbeiter für früher keine Nachweisungen vor. Nimmt man an, daß sie früher im gleichen Verhältnis an der Gesamtlohnsumme beteiligt waren wie im letzten Vierteljahr 1921 (6,15 %), so machten

¹ Auch diesmal sind die Kosten der Unfallversicherung außer Betracht gelassen, ihre Berücksichtigung (1913 14 Pf., 1921 131 Pf. je Tonne Absatz) würde jedoch das Bild nur unbedeutend verschieben.

danach die Lohnkosten der Arbeiter des Grubenbetriebes im Frieden etwa 60% des Zechenpreises aus, ein Verhältnis, das auch in den ersten Jahren der Kriegszeit weiter bestand. Im ersten Viertel 1917 war jedoch dieser Anteil auf 71% gestiegen, ein Satz, auf dem er sich annähernd auch in dem gleichen Zeitraum des folgenden Jahres hielt. Diese Steigerung war in erster Linie das Ergebnis des Rückgangs der Leistung, die, vornehmlich infolge der Verschlechterung der Ernährungsverhältnisse, in den beiden fraglichen Vierteljahre um 171 und 134 kg oder 18,96 und 14,86% niedriger stand als im ersten Vierteljahr 1913. Im ersten Vierteljahr 1919 erhoben sich die Lohnkosten der Grubenbelegschaft sogar auf 85% des Zechenpreises, wofür einmal der weitere Rückgang der Schichtleistung, sodann der große Ausfall in der Kohlenförderung durch die vielen Ausstände in dieser Zeit verantwortlich zu machen sind. Die Besserung im folgenden Jahre auf 63% deutet, da die Leistung weiter zurückgegangen ist, darauf hin, daß damals die Preise für diese Abnahme sowie für die gleichzeitig erfolgte Verdopplung der Löhne mehr als einen Ausgleich geschaffen haben. In der Tat stand der Zechenpreis für Fettförderkohle im 1. Vierteljahr 1920 um rd. 110 *ℳ* oder rd. 260% höher als ein Jahr zuvor. Im ersten und letzten Viertel des vergangenen Jahres erreichte der Lohnanteil dann wieder eine Höhe von 79 bzw. 78%, woraus die unbefriedigende Entwicklung der Preise abgeleitet werden kann. Nachdem diese seitdem beträchtlich erhöht worden sind, stellt sich der Lohnanteil der Grubenbelegschaft zurzeit auf 62%, womit er sich dem Friedensstand wieder einigermaßen genähert hat.

Neben die Lohnkosten treten als ein weiterer Teil der Arbeitskosten die Aufwendungen für die Gehälter. Für deren Höhe fehlt es an amtlichen Nachweisungen; sie ist im allgemeinen mit 10% der Lohnkosten anzunehmen. Ebenso wenig stehen unmittelbare Angaben über das Maß der Teuerung zur Verfügung, das aus der Steigerung der

Betriebsstoffkosten erwachsen ist, jedoch lassen die nachfolgende Zahlentafel 6 und das Schaubild 4 ersehen, daß mit Ausnahme von Grubenholz die aufgeführten Betriebsstoffe sich weit mehr verteuert haben als der Zechenpreis.

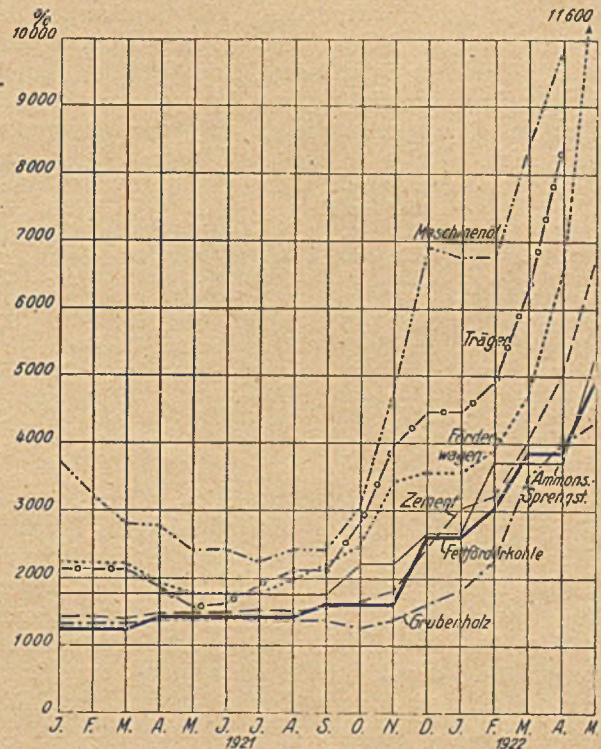


Abb. 4.

Entwicklung der Betriebsmittelpreise im Ruhrbergbau gegen den Friedensstand (= 100).

Zahlentafel 6.
Betriebsmittelpreise im Ruhrbergbau.

	Maschinenöl Raffinat		Ammonsalpetersprengstoff mit 30% Nitroglycerin		Nadelholz-Stempel frei Zeche		Zement		Träger		Förderwagen		Fettförderkohle Zechenpreis	
	100 kg in <i>ℳ</i>	%	1000 kg in <i>ℳ</i>	%	1 fm in <i>ℳ</i>	%	1 Stoffsack zu 50 kg in <i>ℳ</i>	%	1 t in <i>ℳ</i>	%	<i>ℳ</i>	%	<i>ℳ</i>	%
Durchschnitt 1914	28 — 35	100	1 300	100	19,65	100	1,72	100	110	100	140	100	12,00	100
Januar . . . 1921	895 — 1450	3722	22 960	1766	262,50	1336	24,585	1429	2340	2127	3100	2214	149,45	1245
Februar . . . "	750 — 1285	3230	22 960	1766	262,50	1336	24,585	1429	2340	2127	3100	2214	149,45	1245
März . . . "	695 — 1075	2810	22 960	1766	262,50	1336	24,085	1400	2340	2127	3100	2214	149,45	1245
April . . . "	695 — 1045	2762	22 960	1766	272, —	1384	25,775	1499	2000 — 2100	1864	2700	1929	172,44	1437
Mai . . . "	590 — 935	2421	22 960	1766	272, —	1384	25,775	1499	1700 — 1775	1579	2500	1786	172,44	1437
Juni . . . "	590 — 935	2421	22 960	1766	272, —	1384	25,775	1499	1800	1636	2500	1786	172,44	1437
Juli . . . "	525 — 895	2254	22 960	1766	272, —	1384	26,075	1516	2100	1909	2500	1786	172,44	1437
August . . . "	595 — 945	2444	22 960	1766	272, —	1384	26,075	1516	2340	2127	2800	2000	172,44	1437
September . . . "	595 — 945	2444	22 960	1766	272, —	1384	26,805	1558	2340	2127	3100	2214	193,47	1612
Oktober . . . "	790 — 1150	3079	28 700	2208	250, —	1272	28,425	1653	3150	2864	3500	2500	193,47	1612
November . . . "	1365 — 1685	4841	28 700	2208	273, —	1389	31,125	1810	4400	4000	4800	3429	193,47	1612
Dezember . . . "	2015 — 2335	6905	35 000	2692	317, —	1613	42,25	2456	4930	4482	5000	3571	313,52	2613
Januar . . . 1922	1875 — 2395	6778	35 000	2692	360, —	1832	52,25	3038	4930	4482	5000	3571	313,52	2613
Februar . . . "	1875 — 2395	6778	48 500	3731	445, —	2265	55,56	3230	5140	4945	5500	3929	363,52	3029
März . . . "	2350 — 2985	8468	48 500	3731	685, —	3486	69,06	4015	6920	6291	6600	4714	463,50	3863
April . . . "	2550 — 3685	9897	48 500	3731	785, —	3995	86,32	5019	9325	8477	9150	6536	463,50	3863
Mai . . . "			70 000	5385	849, —	4321	116,25	6759			11600	8286	597,11	4976

Auf die Entwicklung der Generalkosten im Vergleich mit der Friedenszeit einzugehen, muß ich mir in Ermangelung ausreichender einschlägiger Unterlagen versagen, jedoch seien noch einige Angaben zu der Frage gebracht, inwieweit die Erhöhung des Zechenpreises zu einer Steigerung der Dividende geführt hat. Dabei ist zu beachten, daß die Dividende auch die Gewinne aus den Nebenbetrieben des Steinkohlenbergbaues (Kokerei usw.) umfaßt. Unter dem Einfluß der Geldentwertung sind die Dividendensätze der meisten reinen Kohlenbergwerksgesellschaften des Ruhrbezirks, wie die folgende Zusammenstellung zeigt,

Dividendensatz		Dividendensatz	
1913	1921	1913	1921
%	%	%	%
Harpen	11 20	König Wilhelm Stamm-Aktien	18 25
Hibernia	15 20	Vorzugs-Aktien	23 30
Essener Steinkohlen	10 20	Köln-Neuessen	40 27
Consolidation	23 35	Magdeburger Bergwerks-Verein	38 27
Arenberg	25 23	Bochumer Bergwerks-Verein	10 .
Mülheimer Bergw.-Verein	11 20	Aplerbecker Verein	10 .
Königsborn	18 20		
Concordia	23 .		
Dahlbusch	14 ² / ₃ 25		

neuerdings gegen die Friedenszeit in die Höhe gegangen. Die Steigerung würde größer bzw. ein Rückgang der Dividenden ausgeblieben sein, wenn nicht die Gesellschaften z. T. eine Erhöhung ihres Aktienkapitals vorgenommen hätten, wodurch naturgemäß der Dividendensatz gedrückt worden ist. In diesem Zusammenhang handelt es sich aber nicht sowohl um den Dividendensatz als um den je Tonne Förderung (richtiger wäre je Tonne Absatz, dessen Höhe für die einzelnen Gesellschaften jedoch nicht bekannt ist) ausgeschütteten Dividendenbetrag. Er ist nachstehend aufgeführt.

	Dividende je t Förderung	
	1913	1921
	<i>M</i>	<i>M</i>
Harpen	1,00	2,33
Hibernia	1,66	2,80
Essener Steinkohlen	0,76	8,57
Consolidation	2,35	4,08
Arenberg	1,58	2,24
Mülheimer Bergw.-Verein	1,04	2,50
Dahlbusch	1,46	11,13
Königsborn	1,80	2,73
Concordia	1,53	
König Wilhelm	1,34	2,12
Köln-Neuessen	2,16	7,92
Bochumer Bergw.-Verein	1,50	
Magdeburger Bergw. Verein	1,95	6,29
Aplerbecker Verein	0,73	
Durchschnitt	1,43	3,91

Daraus ergibt sich, daß der Dividendenbetrag im letzten Jahre noch nicht das Dreifache des Friedensbetrages ausmachte und damit ganz außerordentlich weit hinter der Steigerung des Zechenpreises (bei Fettförderkohle das Fünzigfache) zurückgeblieben ist. Der Abschreibungssatz je Tonne Förderung hat sich bei den fraglichen Gesellschaften nur etwa verdoppelt, indem er im Durchschnitt von 0,94 *M* 1913 auf 2,02 *M* stieg. Die Geringfügigkeit des Dividendenbetrags je Tonne tritt erst in vollem Umfang in Erscheinung, wenn man ihn in Goldmark ausdrückt. Je Tonne Förderung verteilte Dividende, in Goldwert berechnet:

	1913	1921		1913	1921
	<i>fl.</i>			<i>fl.</i>	
Harpen	100	3,4	Concordia	153	
Hibernia	166	4,0	König Wilhelm	134	2,7
Essener Steinkohlen	76	12,4	Köln-Neuessen	216	11,4
Consolidation	235	5,9	Bochumer Bergw.-Verein	150	
Arenberg	158	3,2	Magdeburger Bergwerks-Verein	195	9,1
Mülheimer Bergw.-Verein	104	3,6	Aplerbecker Verein	73	
Dahlbusch	146	16,1	Durchschnitt	143	5,6
Königsborn	180	3,7			

Nachdem wir im vorausgehenden in einer kurzen Übersicht die wesentlichen den Preis der Ruhrkohle bestimmenden Bedingungen und Verhältnisse kennen gelernt haben, wenden wir uns nunmehr einer Betrachtung über die Entwicklung des Preises der Kohle im Verhältnis zur Bewegung des Preises anderer Waren zu; für diese Betrachtung kommt selbstverständlich nicht der Zechenpreis in Frage, es ist hierfür vielmehr der Verbraucherpreis heranzuziehen, der neben dem Erlös der Zeche auch noch die oben behandelten Zuschläge enthält.

Eingangs wurde die fortschreitende Entwertung der Mark als einer der bestimmenden Gründe für die gewaltige Steigerung des Kohlenpreises bezeichnet. Für die Kaufkraft der Mark auf dem innern Markt besitzen wir in dem Großhandelsindex und dem Reichsindex für Lebenshaltungskosten (Teuerungszahl) einen zweifachen Maßstab¹. Stellen

Zahlentafel 7.

Entwicklung des Preises der Ruhrkohle und der Reichsindexziffer für Lebenshaltungskosten sowie der Großhandelsindexziffer im Vergleich mit dem Friedensstand (= 100).

	Fettförderkohle	Reichsindexziffer für Lebenshaltungskosten	Großhandelsindexziffer
1913/14	100	100	100
1. Februar 1920	1 248	623	1670
1. März "	1 400	741	1694
1. April "	1 603	836	1556
1. Mai "	1 653	876	1502
1. Juni "	1 653	842	1377
1. Juli "	1 653	842	1363
1. August "	1 653	795	1446
1. September "	1 653	777	1495
1. Oktober "	1 653	827	1462
1. November "	1 653	872	1506
1. Dezember "	1 653	916	1437
1. Januar 1921	1 653	944	1439
1. Februar "	1 653	901	1376
1. März "	1 653	901	1338
1. April "	1 895	894	1326
1. Mai "	1 895	880	1308
1. Juni "	1 895	896	1366
1. Juli "	1 895	963	1428
1. August "	1 895	1045	1917
1. September "	2 116	1062	2067
1. Oktober "	2 116	1146	2460
1. November "	2 116	1397	3416
1. Dezember "	3 376	1550	3487
1. Januar 1922	3 376	1640	3665
1. Februar "	3 901	1989	4103
1. März "	5 014	2302	5433
1. April "	5 943	2804	6355
ab 20. April	7 563	3048 ²	

¹ s. hierzu den Aufsatz des Verfassers »Die Bewertung der Mark im In- und Auslande im Jahre 1921«, Glückauf 1922, S. 341.
² Im Mai 1922.

wir, wie das in der Zahlentafel 7 geschieht, Kohlenpreis, Großhandelsindex und Reichsindex in ihrer Entwicklung nebeneinander – der Vergleich läßt sich in Ermangelung von Unterlagen für die frühere Zeit nur bis zum 1. Febr. 1920 zurück durchführen – so sehen wir, daß der Kohlenpreis etwa doppelt so stark gestiegen ist wie die Teuerungszahl, die den für eine Familie von fünf Personen erforderlichen Aufwand für Nahrungsmittel, Wohnung, Heizung und Beleuchtung begreift. In den einzelnen Monaten des in der Zahlentafel umschriebenen Zeitraums bleibt die Steigerung der Teuerungszahl hinter der Kohle um 34–53 %, im Durchschnitt um etwa die Hälfte zurück.

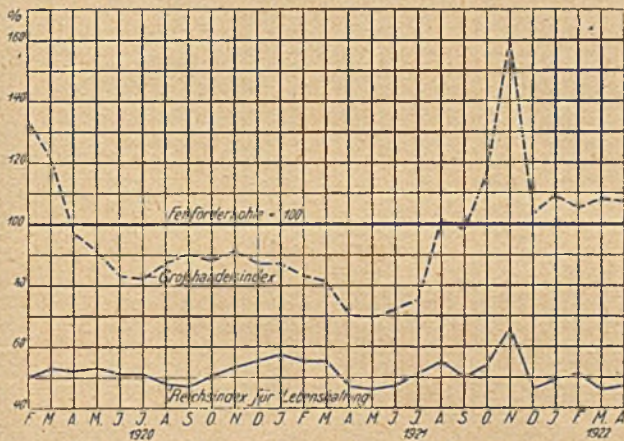


Abb. 5.

Erhöhung der Reichsindexziffer für Lebenshaltungskosten und der Großhandelsindexziffer im Verhältnis zur Steigerung des Preises der Ruhrkohle.

Die stärkere Steigerung des Kohlenpreises findet ihre Erklärung in erster Linie in der besondern Belastung (Kohlensteuer usw.), welche die Kohle zu tragen hat. Daneben mögen auch die Löhne im Ruhrbergbau mehr gestiegen sein als durchschnittlich in den andern Gewerben, wobei vielleicht auch die Leistung der Bergleute vergleichsweise stärker zurückgegangen ist. Die Steigerung des Großhandelsindex kommt dagegen der Erhöhung des Kohlenpreises viel näher; im Durchschnitt des fraglichen Zeitraums berechnet sie sich auf etwa 91% der Steigerung des letztern. Da der Großhandelsindex weitgehend von dem Valutawert der Mark bestimmt wird, so zeigt er auch die entsprechenden starken Schwankungen in seinem Verhältnis zum Kohlenpreis. Im Schaubild (s. Abb. 5) ist der Vergleich zwischen der Entwicklung des Kohlenpreises und den beiden Indexziffern in der Weise durchgeführt, daß die Steigerung des erstern gegenüber dem Frieden in jedem Zeitpunkt gleich 100 und die Steigerung der Teuerungszahl

zahl sowie der Großhandelsindexziffer an dem betreffenden Zeitpunkt dazu in Beziehung gesetzt ist.

Es liegt nahe, die Entwicklung des Kohlenpreises nicht nur, wie eben geschehen, ganz allgemein mit der Gesamtbewegung der Warenpreise, sondern auch mit der Entwicklung des Preises einzelner Waren zu vergleichen, insonderheit solcher, die zu ihrer Herstellung größerer Kohlenmengen bedürfen, für deren Preis mithin der Preis von Kohle stark mitbestimmend ist. Nachstehend geschieht dies für Gießereirohisen und Hochofenkoks, für Leuchtgas sowie Elektrizität und die entsprechenden Kohlenarten und schließlich noch für den Gütertarif der deutschen Eisenbahnen und den Preis für Lokomotivkohle.

Wie Zahlentafel 8 ersehen läßt, ist außer bei Hochofenkoks und Gießereirohisen der Brennstoff weit mehr im Preise gestiegen als die mit seiner Verwendung erzielte Ware oder Leistung. Besonders auffallend ist dies im Falle von Elektrizität und Gas; hier mögen neben den aus langfristigen Verträgen erwachsenden Hemmungen in erster Linie soziale Gesichtspunkte einer stärkern Steigerung der Preise entgegengewirkt haben. Bei Elektrizität erscheint auch die ausschließliche Gegenüberstellung des Steinkohlenpreises nicht ausreichend, da das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk, um dessen Lieferung es sich im vorliegenden Falle handelt, seinen Strom in immer stärker überwiegenderem Umfang anstatt aus Steinkohle aus Braunkohle erzeugt. Weniger bleibt schon die Entwicklung der Eisenbahntarife hinter der Steigerung der Kohlenpreise zurück, jedoch ist der Abstand mit einem Drittel immer noch sehr bedeutend. Bei Gießereirohisen und Hochofenkoks begegnen wir dem umgekehrten Verhältnis, der Preis

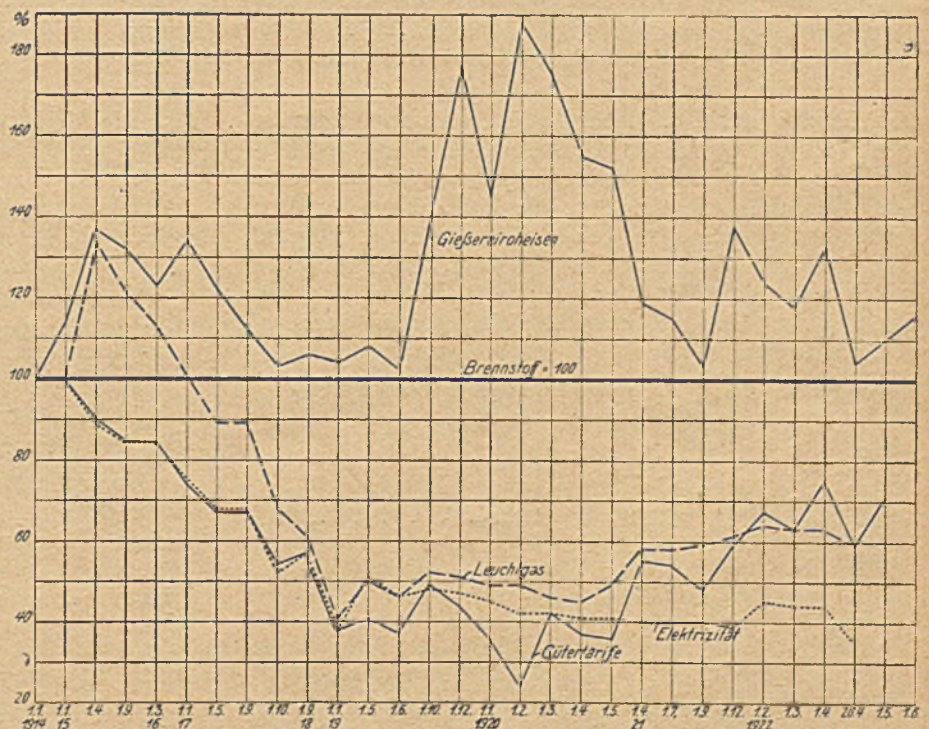


Abb. 6.

Erhöhung der Gütertarife sowie des Preises von Leuchtgas, Elektrizität und Roheisen im Verhältnis zur Steigerung des Preises der entsprechenden Brennstoffsorten.

Zahlentafel 8.

Entwicklung des Brennstoffpreises, der Preise für Roheisen, Elektrizität und Leuchtgas sowie der deutschen Eisenbahntarife.

Zeitpunkt der Preisänderung für Kohle und Koks	Gießerei-roheisen I		Hochofen-koks I. Sorte		Fett-rußkohle II		Elektrizität zu Beleuchtungszwecken (Essen)		Fett-rußkohle IV		Leuchtgas (Essen)		Lokomotiv-kohle		Tarife für allgemeine Güter für mittlere Entfernung (300 km)	
	€/t	Steigerung 1. 1. 14 = 100	€/t	Steigerung 1. 1. 14 = 100	€/t	Steigerung 1913 = 100	€/KWh	Steigerung 1913 = 100	€/t	Steigerung 1913 = 100	Pf./cbm	Steigerung 1913 = 100	€/t	Steigerung 1913 = 100	€/10 t	Steigerung 1913 = 100
1. April 1913	.	.	.	.	14,25	100	0,30	100	13,25	100	10	100	13,00	100	117	100
1. Januar 1914	75,50	100	18,50	100	14,25	100	0,30	100	13,25	100	10	100	13,00	100	117	100
1. Januar 1915	79,50	105	17,00	92	14,25	100	0,30	100	13,25	100	10	100	13,00	100	117	100
1. April "	86,50	115	15,50	84	16,00	112	0,30	100	13,00	98	13	130	14,50	112	117	100
1. September "	94,00	125	17,50	95	17,00	119	0,30	100	14,25	108	13	130	15,50	119	117	100
1. März 1916	96,00	127	19,00	103	17,00	119	0,30	100	15,25	115	13	130	15,50	119	117	100
1. Januar 1917	121,00	160	22,00	119	19,00	133	0,30	100	17,25	130	13	130	17,50	135	117	100
1. Mai "	124,90	165	25,00	135	21,00	147	0,30	100	19,25	145	13	130	19,50	150	117	100
1. September "	137,00	181	30,00	162	21,00	147	0,30	100	19,25	145	13	130	19,50	150	117	100
1. Oktober "	141,50	187	33,60	182	27,60	194	0,30	100	25,50	192	13	130	25,80	198	126	108
1. September 1918	161,50	214	37,20	201	30,15	212	0,36	120	28,05	212	13	130	28,35	218	145	124
1. Januar 1919	250,00	331	58,90	318	44,60	313	0,36	120	42,50	321	13	130	42,80	329	145	124
1. Mai "	391,00	518	88,90	481	66,60	467	0,71	237	62,50	472	23,75	238	62,80	483	231	197
15. Juni "	405,50	537	97,40	526	73,30	514	0,71	237	68,60	518	23,75	238	68,90	530	231	197
1. Oktober "	652,50	864	113,15	612	83,80	588	0,85	283	79,10	597	31,25	313	79,40	611	347	297
1. Dezember "	914,50	1211	126,65	685	95,20	668	0,94	313	88,10	665	34,00	340	88,40	680	347	297
1. Januar 1920	914,50	1211	155,00	838	117,70	826	1,12	373	108,10	816	39,75	398	108,40	834	347	297
1. Februar "	1666,00	2207	217,70	1177	179,10	1257	1,58	527	152,50	1151	56,00	560	162,30	1248	347	297
1. März "	1755,00	2325	244,50	1322	201,30	1413	1,76	587	171,20	1292	59,20	592	182,30	1402	694	593
1. April "	1776,00	2352	280,20	1515	230,90	1620	1,99	663	196,10	1480	66,40	664	208,90	1607	694	593
1. Mai "	1790,60	2372	288,90	1562	238,00	1670	2,05	683	202,20	1526	75,00	750	215,40	1657	694	593
1. April 1921	1610,00	2132	331,20	1790	273,10	1916	2,32	773	231,80	1749	101,50	1015	247,00	1900	1230	1051
1. Juli "	1560,00	2066	331,20	1790	304,60	2138	2,57	857	231,80	1749	101,50	1015	254,90	1961	1230	1051
1. September "	1560,00	2066	369,80	1999	340,50	2389	2,86	953	258,90	1954	115,10	1151	284,70	2190	1230	1051
1. Dezember "	3326,00	4405	590,60	3192	545,50	3828	4,47	1490	413,20	3118	191,60	1916	455,00	3500	2400	2051
1. Februar 1922	3447,00	4566	682,70	3690	630,90	4427	5,95	1983	477,50	3604	232,40	2324	526,00	4046	3180	2718
1. März "	4212,00	5579	878,10	4746	809,30	5679	7,55	2517	613,60	4631	293,65	2937	675,50	5196	3820	3265
1. April "	5549,00	7350	1024,40	5537	957,80	6721	8,90	2967	727,20	5488	344,00	3440	800,20	6155	5410	4624
20. April "	5549,00	7350	1308,10	7071	1221,10	8569	8,90	2967	925,40	6984	410,00	4100	1019,10	7839	5410	4624
1. Mai "	5870,00	7775	1308,10	7071	1221,10	8569	11,25	3750	925,40	6984	420,00	4200	1019,10	7839	6490	5547
1. Juni "	6206,00	8220	1308,10	7071	1221,10	8569	11,25	3750	925,40	6984	420,00	4200	1019,10	7839	6490	5547

des Eisens ist erheblich mehr gestiegen als der Kokspreis. Hierin kommt einmal die gewaltige Verteuerung des Rohstoffbezuges (ausländisches Erz) für unsere Hochofenwerke zum Ausdruck, wie sie durch die Entwertung der Mark im Auslande bedingt ist, welche über die Entwertung auf dem heimischen Markte weit hinausgeht; sodann mußte in gleicher Richtung die Zunahme der je Tonne Roheisen erforderlichen Menge Koks wirken, die gegen die Friedenszeit eingetreten ist.

Verbrauch an Koks je Tonne Roheisen- erzeugung seit 1913.

	t		t
1913	1,141	1918	1,268
1914	1,113	1919 ¹	1,365
1915	1,118	1920 ¹	1,300
1916	1,241	1921 ¹	1,300
1917	1,270		

¹ ab 1919 ohne die abgetretenen Gebiete.

Wie aus der Zahlentafel zu entnehmen ist, weisen die Preise für Leuchtgas und Elektrizität sowie die Eisenbahntarife eine viel größere Stetigkeit auf als der Kohlenpreis, neuerlich folgen sie dessen Änderungen jedoch weit mehr als früher; der Eisenpreis hat dagegen von vornherein fast jede Veränderung des Kokspreises mitgemacht.

Die Abbildung 6 zeigt in derselben Weise wie Schaubild 5 die Entwicklung des Preises von Roheisen usw. im Verhältnis zum Brennstoffpreis, wobei wieder die Steigerung des letztern gegen den Frieden in jedem Zeitpunkt gleich 100 gesetzt ist.

Zum Schlusse sei noch für die letzten beiden Jahre ein Bild von der Entwicklung des Ruhrkohlenpreises in Goldmark gegeben; daneben gesetzt ist der gleichzeitige britische Kohlenausfuhrpreis in Goldschilling ausgedrückt. Bei dem geringen Unterschied zwischen Goldschilling und Goldmark konnte davon abgesehen werden, beide auf den gleichen Nenner zu bringen.

Die Zahlentafel 9 läßt erkennen, daß unser Kohlenpreis nach dem Goldstandard in einzelnen Monaten des fraglichen Zeitraums beträchtlich unter dem Friedensstand gelegen hat, im Durchschnitt ist er darüber um ein Gerings hinausgegangen, dagegen hat der britische Kohlenpreis die ganze Zeit, und zwar meist um ein Mehrfaches, höher gestanden als im Frieden und macht z. Z. trotz seiner starken Herabsetzung immer noch etwa das Aundert-halb-fache des Friedensstandes aus. Die Bewegung des Preises der Ruhrkohle und der britischen Kohle nach dem Goldwert ist ab Februar 1920 im Vergleich mit 1913 (= 100) nachstehend auch bildlich zur Darstellung gebracht.

Zahrentafel 9.

Goldwert der Ruhrkohle und der britischen Ausfuhrkohle.

Mitte jeden Monats	Fettförderkohlenpreis		Englischer Kohlenausfuhrpreis	
	nach dem Wert			
	der Mark		des £	
	an der Neuyorker Börse			
	Gold- $\%$	%	Gold-s	%
April 1913	12,00	100	14	100
1920				
Februar	6,35	52,92	53	378,57
März	8,57	71,42	59	421,43
April	13,72	114,33	64	457,14
Mai	17,02	141,83	63	450,00
Juni	20,46	170,50	67	478,57
Juli	21,57	179,75	68	485,71
August	17,86	148,83	64	457,14
September	13,67	113,92	65	464,29
Oktober	11,86	98,83	62	442,86
November	9,92	82,67	59	421,43
Dezember	11,27	93,92	59	421,43
1921				
Januar	12,50	104,17	50	357,14
Februar	13,93	116,08	39	278,57
März	13,21	110,08	35	250,00
April	15,21	126,75	35	250,00
Mai	16,37	136,42	38	271,43
Juni	13,71	114,25	26	185,71
Juli	12,80	106,67	28	200,00
August	11,12	92,67	28	200,00
September	9,72	81,00	23	164,29
Oktober	7,13	59,42	23	164,29
November	4,09	34,08	22	157,14
Dezember	9,40	78,33	21	150,00
1922				
Januar	9,24	77,00	21	150,00
Februar	9,83	81,92	20	142,86
März	9,33	77,75	20	142,86
April	10,27	85,58	21	150,00
Mai	13,34	111,17		



Abb. 7.
Bewegung des Preises (Goldwert) der britischen und der Ruhrkohle im Vergleich zu 1913 (= 100).

Es braucht wohl kaum hervorgehoben zu werden, daß der Fettförderkohlenpreis und der britische Ausfuhrpreis nach ihrer unbedingten Höhe nicht mit einander verglichen werden können; Zahrentafel und Schaubild verfolgen nur den Zweck einer Darstellung der Entwicklung. Die daraus zu entnehmende Annäherung des Preises der Ruhrkohle an den Weltmarktpreis ist in Wirklichkeit weit mehr fortgeschritten, als das Bild erkennen läßt. Es ist dies nicht zuletzt durch die immer weitergehende Erhöhung der deutschen Eisenbahntarife herbeigeführt worden. Die Fracht Gelsenkirchen – Hamburg überschreitet z. Z. bei 495 *ℳ* je Tonne schon den Verschiffungssatz Tyne – Hamburg (5 s 3 1/2 d oder 318 *ℳ*), so daß es nicht überraschen kann, neuerdings von Angeboten britischer Kohle an unsrer Küste zu hören, die unter dem Preise erfolgen, zu dem dort gleichwertige Ruhrkohle zu haben ist.

U M S C H A U.

Verdampfungsversuche an einem Steilrohrkessel – Koks- und Schwelofen für ununterbrochenen Betrieb.

Verdampfungsversuche an einem Steilrohrkessel.

Im Dampfkesselbetriebe ist in den letzten Jahren der Dampfdruck ständig höher geworden und die Nachfrage nach Kesseln mit größerer Heizfläche und Dampfleistung gestiegen. Diesen Umständen hat die Firma K. & Th. Möller, G. m. b. H. in Brackwede, die vordem nur den Bau von Flammrohrkesseln betrieb, seit dem Jahre 1920 durch die Aufnahme des Baues von Steilrohrkesseln Rechnung getragen. Im Januar 1922 sind an einem für den Fabrikbetrieb der Firma dienenden Steilrohrkessel mit folgenden Hauptabmessungen Verdampfungsversuche vorgenommen worden:

Heizfläche	qm 228,6
Rostfläche (Wanderrost Bauart Weck)	qm 71,5
Rauchgasvorwärmerheizfläche	qm 156,0
Betriebsdruck	at 15

Weil die Betriebsmaschinen der Fabrik nur mit einer mittlern Überhitzung betrieben werden können, ist die Überhitzerheizfläche auf 44 qm verringert worden. Das Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche beträgt 1:26.

Der Kessel war an eine elektrisch angetriebene Saugzuganlage angeschlossen, welche die Abgase in den gemauerten Schornstein abführte. Verfeuert wurde Nuß IV der Zeche Graf Bismarck. Der Zweck der Untersuchung war, den Wirkungsgrad der Anlage bei erhöhter und bei normaler Leistung zu ermitteln.

Beschreibung des Kessels. Der Kessel (s. Abb.) gehört zu den Doppelsteilrohrkesseln und besitzt zwei Ober- und zwei Unterkessel, die gebogene Rohre von großem freien Querschnitt zu einem Körper verbinden. Die Trommeln für die Ober- und Unterkessel sind geschweißt. Durch die weiten Siederohre von 95 mm äußerem Durchmesser und 4 mm Wandstärke wird die dem umlaufenden Wasser zur Verfügung stehende Durchschnittsfläche vergrößert und der Reibungswiderstand des umlaufenden Wassers auf das Mindestmaß beschränkt. Die großen Querschnitte erlauben ferner den Dampfblasen ein leichtes Entweichen, so daß Wärmestauungen durch Festsetzen von Dampfblasen in den Rohren vermieden werden. Die Speisung des Kessels erfolgt in dem durch eine

Trennwand vom Kessel abgeschlossenen Teil des hintern Oberkessels. Das zugeführte Wasser fällt in den hintern Rohren zum hintern Unterkessel herab und steigt von dort langsam zu dem vordern Teil des hintern Oberkessels auf. Auf diesem Wege wird das Wasser bis auf die der Dampfspannung entsprechende Temperatur vorgewärmt. Die Kesselsteinbildner fallen bei diesen Temperaturen nahezu aus und sinken, da die Wassergeschwindigkeit sehr gering ist, in den hintern Unterkessel, wo sie sich von Zeit zu Zeit durch Abschlämmen entfernen lassen. Ein Festbrennen des Kesselsteins kann auf diesem Wege in den Rohren kaum stattfinden, da die Temperaturen der Rauchgase hier schon hinreichend herabgemindert sind. Das vordere Rohrbündel, in dem die eigentliche Dampfentwicklung vor sich geht, erhält somit schon nahezu steinfreies Wasser. Hierzu fällt dann das Wasser von dem hintern Oberkessel in den vordern Unterkessel, steigt von dort in den vordern Oberkessel und gelangt durch die Verbindungsrohre der beiden Oberkessel in den hintern Oberkessel zurück. Auf diesem Wege wird dem Wasser die Verdampfungswärme zugeführt, die zur Dampfbildung notwendig ist. Das Wasser läuft in diesen Rohren mit großer Geschwindigkeit um, so daß die Dampfblasen entweichen können. Der Dampf wird unter mehrmaliger Richtungsänderung dem hintern Oberkessel zugeleitet und gelangt aus ihm zum Überhitzer. Die Wasserzuführungsrohre, die den Steigrohren das Wasser zubringen, haben einen freien Querschnitt, der mindestens 50 % von dem der Verdampferrohre beträgt. Der Kessel besitzt sehr große Dampf- und Wasserräume und somit eine große Verdampfungsoberfläche und ist daher in allen Teilen bezüglich des Wasser- und Dampfhaltes so bemessen, daß eine ruhige Dampfentwicklung vor sich geht und ein Überreißen von Wasser zum Überhitzer ausgeschlossen erscheint.

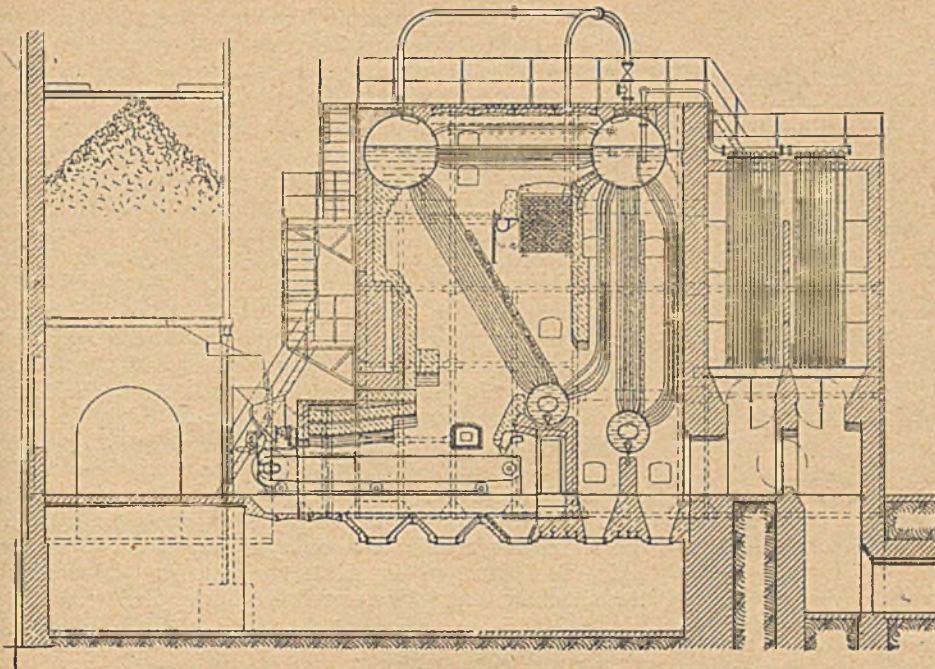
Durchführung der Versuche. Bei den vom Verein für Feuerungsbetrieb und Rauchbekämpfung in Hamburg vorgenommenen Versuchen war der Verfasser als Sachverständiger zugegen. Der Versuchsdurchführung lagen die Normen des Vereines deutscher Ingenieure zugrunde; die Kohlen und das Wasser wurden gewogen. Die Untersuchung der Rauchgase erfolgte durch Orsatvorrichtungen, die Feststellung der Speisewasser- und Rauchgastemperaturen durch Quecksilbermanometer und die Ermittlung des Dampfdruckes durch ein Kontrollmanometer. Wie schon eingangs erwähnt wurde, kam beim ersten Versuch hauptsächlich die erhöhte Leistung des Kessels in Betracht, während beim zweiten Versuch der Wirkungsgrad der Anlage im Normalbetriebe ermittelt werden sollte. Die laufend genommenen Kohlenproben wurden im Laboratorium des genannten Vereines auf ihren Heizwert und ihre Zusammensetzung untersucht. Die verfeuerte Gasflammkohle wies etwa 30 % Gasgehalt auf. Die Untersuchungsergebnisse sind in der nachstehenden Übersicht zusammengestellt.

Versuchsergebnisse.

	Vorversuch, erhöhte Leistung	Haupt- versuch, normale Leistung
Tag des Versuches	19. Januar	20. Januar
Dauer des Versuches st	4	8 ⁰¹
Bauart des Kessels	Steilrohrkessel, Bauart Möller Wanderrost mit Abstreifer	
Bauart der Feuerung:	228,6	
Heizfläche des Kessels qm	44,	
„ „ Überhitzers qm	155	
„ „ Vorwärmers qm	8,5	
Rostfläche qm	1 : 26,8	
Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche		

	Vorversuch, erhöhte Leistung	Haupt- versuch, normale Leistung		
Tag des Versuches	19. Januar	20. Januar		
Dauer des Versuches	4	8 ⁰¹		
Brennstoff:				
Art und Korn	Gasflammkohle Nuß4			
Brennbares %	85,60	87,19		
Wasser %	5,99	5,89		
Asche %	8,41	6,92		
Heizwert WE	6895	7023		
Verheizt insgesamt kg	4100	7000		
Rückstände an Asche und Schlacke insgesamt kg	290	518		
Rückstände, von der Brennstoffmenge Verbrenliches in den Rückständen %	7,1	7,4		
	7,48	5,07		
Speisewasser:				
Verdampft insgesamt kg	31700	55876		
Verdampft je qm Heizfläche kg/st	34,6	30,5		
Temperatur beim Eintritt in den Vorwärmer °C	7,0	6,5		
Temperatur beim Austritt aus dem Vorwärmer °C	101	98		
Dampf:				
Überdruck im Kessel at	12,9	12,7		
Temperatur beim Austritt aus dem Überhitzer °C	354	344		
Erzeugungswärme WE	748,1	743,4		
Heizgase:				
Temperatur am Kesselende °C	217	215		
Kohlensäuregehalt am Kesselende %	14,1	14,0		
Sauerstoffgehalt am Kesselende %	5,2	5,4		
Luftüberschuß	35	35		
Zugstärke über dem Rost mm WS	4,0	3,0		
Zugstärke am Kesselende mm WS	11,0	9,0		
Temperatur der Verbrennungsluft °C	13	11		
Verdampfung: 1 kg Brennstoff verdampft an Wasser kg	7,74	7,98		
Ergebnisse.				
Leistung von				
1 kg Brennstoff an Dampf von 640 WE kg	9,05	9,27		
1 qm Heizfläche an Dampf von 640 WE kg/st	40,4	35,4		
1 qm Rostfläche kg/st	121	103		
Wärmeverteilung.				
1. Nutzbar im:				
	WE	%	WE	%
Kessel	4400	63,9	4560	65,0
Überhitzer	663	9,6	641	9,1
Vorwärmer	727	10,5	731	10,4
Summe 1	5790	84,0	5932	84,5
2. Verloren:				
an freier Wärme in den Schornsteingasen durch Unverbranntes in den Herdrückständen	648	9,4	668	9,5
durch Leitung, Strahlung usw. als Restverlust	42	0,6	28	0,4
	415	6,0	395	5,6
Summe 2	1105	16,0	1091	15,5
Summe 1+2	6895	100	7023	100

Die erzielten Wirkungsgrade sind bei beiden Versuchen als sehr gut zu bezeichnen. Die Heizflächenleistung entspricht bei der festgestellten Rostleistung allen Anforderungen, die man an einen neuzeitlichen Steilrohrkessel stellen kann. Auffällig niedrig sind die Verluste durch Unverbranntes in den Herdrückständen mit 0,4–0,6 %. Für den guten Wasserumlauf im Kessel spricht der Umstand, daß der Wasserstand im hintern Oberkessel auch bei der stärksten Beanspruchung nie so stark



Aufriß des Steilrohrkessels.

schwankte, daß es nicht möglich gewesen wäre, ihn zu erkennen. Die Schwankungen des Wasserstandes betragen im Höchstfalle 40 mm. Auffällig niedrig ist der Zugbedarf am Kesselende von 11 und 9 mm; der Zugverlust im Kesselkörper ist daher als gering anzusehen.

M. Schimpf,
Ingenieur des Dampfkessel-Überwachungs-Vereins
der Zechen im Oberbergamtsbezirk Dortmund.

Koks- und Schmelofen für ununterbrochenen Betrieb.

Auf einer rheinisch-westfälischen Zeche soll demnächst ein neuartiger Koks- und Schmelofen in Betrieb genommen werden, der auf dem Grundsatz des zum Brennen von Ziegeln u. dgl. dienenden Kanalofens beruht¹. Er besteht aus der aus feuerfesten Steinen aufgebauten Ofenkammer *a* (s. Abb. 1), durch die der zu verarbeitende Brennstoff in Form gestampfter Kuchen *b* oder nach einem besondern Verfahren aufgebauter gepreßter Einzelstücke auf den Wagen *c* hindurchgeschoben wird.

Die einzelnen Wagen mit den in dem Kasten *d* gestampften Kuchen werden auf das Gleis *e* herabgesenkt und durch die Tür *f* in den Kanal gedrückt. Hierbei rücken sämtliche im Kanal befindliche Wagen um eine Wagenlänge weiter vor, so daß der vorderste mit dem fertigen Koks durch die Tür *g* ins Freie tritt. Dort wird er auf die Höhe der Ofenoberkante gehoben und auf dem Gleis *h* zur Füllstelle zurückgezogen, nach-

¹ Er wird von der Westdeutschen Industriebau-A. G. in Steele gebaut.

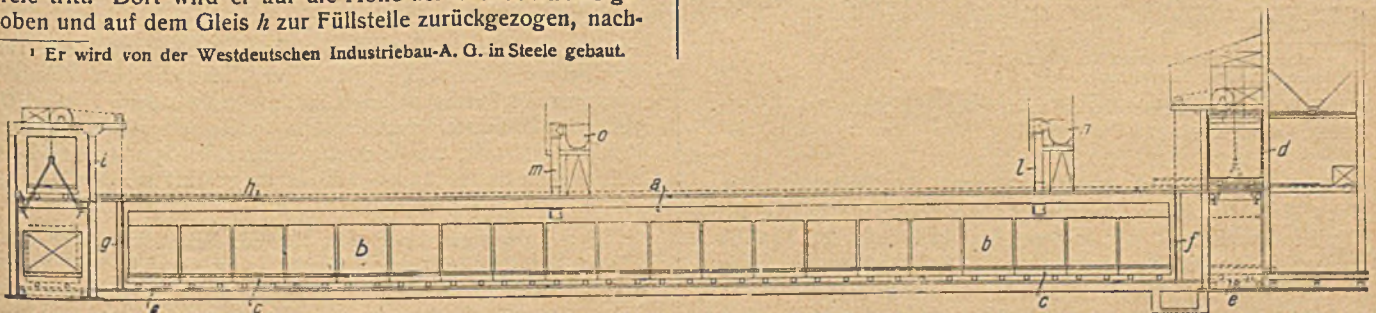


Abb. 1.
Längsschnitt durch den Koks- und Schmelofen.

dem der Abstreifer *i* den Koks vom Wagen entfernt hat. Das Füllen, Stampfen oder Pressen der zu verarbeitenden Brennstoffe sowie das Entleeren der Wagen und deren Zurückführung zur Füllstelle kann natürlich auch auf jede andere zweckentsprechende Art erfolgen.

Um die Wagengestelle gegen den Einfluß der hohen Heizgas-temperaturen zu schützen, sind ihre Böden mit einer Plattform aus feuerfesten Steinen belegt. Zur Verhütung des Eintritts von Luft in die Ofenkammern dienen längs der Wagenreihe laufende abdichtende Sandbetten.

Für die Verkokung von Steinkohle ist der Ofen in drei Zonen unterteilt, und zwar die zunächst der Füllstelle gelegene Verschmelzungszone, die Verkokungszone in der Mitte und die am andern Ende befindliche Kühlzone. Die Beheizung erfolgt in der Weise, daß das Heizgas durch eine Reihe von Brennern der die höchsten Temperaturen erfordernden Verkokungszone

zugeführt wird und hier mit der vorgewärmten Verbrennungsluft zusammenkommt. Die Brenngase ziehen dann in den wagerechten Zügen *k* (s. Abb. 2) die Schmelzzone entlang, geben hierbei den größten Teil ihres Wärmeinhalts für den Schmelvorgang her und sammeln sich schließlich im Rauchgaskanal, um durch den Schornstein ins Freie zu entweichen. Die Verbrennungsluft wird am Austragende in die wagerechten Züge der Heizwände eingeführt und zieht in diesen vor die Brenner der Verkokungszone, also im Gegenstrom zum glühenden Koks, den sie hierbei, ohne mit ihm in Berührung zu kommen, abkühlt, während sie sich selbst erhitzt. Die Regelung der Gas- und Luftzufuhr für jede Brennstelle ist einfach und in sehr weiten Grenzen möglich.

Die aus dem Verkokungsgut in der Schmel- und der Verkokungszone erhaltenen Gase werden getrennt durch die Steigrohre *l* und *m* in die Sammelvorlagen *n* und *o* abgesaugt und von dort aus der Kondensationsanlage zugeführt.

Kommt für einen Brennstoff lediglich Verschmelzung in Betracht, so fällt die Verkokungszone fort, so daß also nur 2 Zonen vorhanden sind. Umgekehrt ist es auch möglich, für bestimmte Fälle eine weitere Zonenunterteilung vorzunehmen.

Je nach der durchzusetzenden Menge können beliebig viele Ofenkammern mit ihren Längsseiten nebeneinander gebaut werden.

In wärmewirtschaftlicher Hinsicht ist der Fortfall der Kokslöschung durch Wasser, also die Gewinnung des größten Teiles der Wärme aus dem glühenden Koks für die Vorwärmung der Verbrennungsluft einer der wichtigsten Vorzüge des neuen Koksofens gegenüber den bisher verwendeten Kammeröfen. Weiter ist der neue Kanalofen dem Kammerofen wärmewirtschaftlich insofern überlegen, als das in der Koks-kohle enthaltene Wasser zu Beginn der Schwelzone zum größten Teil verdampft und für sich abgeführt werden kann. Dadurch verringert sich die Rohgasmenge auf nahezu die Hälfte und dementsprechend wird erheblich an Kühlwasser gespart und schließlich ein stärker angereichertes Ammoniakwasser erzielt, das zur Abtreibung des Ammoniaks weit weniger Dampf erfordert als das mit den üblichen Verfahren hergestellte geringprozentige Ammoniakwasser.

Vom Standpunkt der allgemeinen Wärme-wirtschaft bietet der trocken gewonnene Koks den Vorteil, daß er einen höhern Wärmewert hat als der mit Wasser gelöschte. Daher kann z. B. im Hochofen mit 1 t dieses Trockenkoks eine erheblich größere Menge Roheisen erzeugt werden als mit dem gleichen Gewicht des wasserhaltigen Koks.



Abb. 2.
Querschnitt durch den Ofen.

Günstig beeinflusst wird die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens auch dadurch, daß sich durch das geringere Gewicht des wasserfreien Koks Frachtersparnisse erzielen lassen, die bei den immer noch steigenden Eisenbahntarifen erheblich ins Gewicht fallen.

Die Anlagekosten des Ofens sind wesentlich geringer als die einer Koksofenbatterie alter Art mit derselben Leistung. Dazu kommt, daß auch die Kühlanlagen infolge des verminderten Kühlwasserbedarfs und die Ammoniakabtreibungsanlage wegen ihres geringen Dampfverbrauchs weniger umfangreich und daher billiger hergestellt werden können als die entsprechenden Nebenerzeugungsanlagen gewöhnlicher Kokereien.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Tatsache, daß sich der Kanalofen gegenüber dem normalen Koksofen infolge der weitgehenden Regelbarkeit der Temperaturen in den langgestreckten Einzelzonen nicht nur als reiner Schwelofen für die Stein- und Braunkohlenveredlung, sondern auch als vereiniger Schwel- und Koksofen für den Steinkohlenbetrieb verwenden läßt, so daß neben Erzeugnissen der Tieftemperaturverkokung, wie Urteer, auch diejenigen der normalen Verkokung, wie Ammoniak, Benzol mit seinen Homologen, zu gewinnen sind. Die leichte Regelbarkeit erlaubt auch, in einfacher Weise verschiedene Kokssorten herzustellen, wie leichter verbrennlichen Hochofenkoks und schwerer verbrennlichen Gießereikoks.

Sobald Betriebsergebnisse des ersten Ofens vorliegen, soll darüber berichtet werden.

Bergassessor F. W. Wedding, Essen.

WIRTSCHAFTLICHES.

Gewinnung, Absatz, Arbeiterverhältnisse – Verkehrswesen – Markt- und Preisverhältnisse.

Preiserhöhung für Roheisen. Mit Rücksicht auf die Steigerung der Herstellungskosten sowie auf die neue Erhöhung der Eisenbahnfrachten hat der Roheisen-Verband seine Verkaufspreise je Tonne ab 1. Juni d. J. wie folgt heraufgesetzt:

	bisheriger Preis	jetziger Preis	Erhöhung
	M	M	M
Hämatit	6 435 ¹	6 724 ¹	289
Gießerei-Roheisen I	5 870 ¹	6 206 ¹	336
„ „ III	5 800 ¹	6 136 ¹	336
Gießerei-Roheisen			
Luxemb. Qualität	5 335 ¹	5 708 ¹	373
Cu-armes Stahl Eisen	6 000	6 300	300
Stahl Eisen (Siegerl. Qualität)	6 000	6 300	300
Spiegeleisen 8/10 % Mn	6 825	7 137	312
Temper-Roheisen	6 395	6 695	300
Ferromangan 80 %	14 860 ²	15 415 ²	555
„ 50 %	13 735 ²	14 400 ²	665
„ „ 10 %	7 750	8 100	350

¹ mit bisherigem Preisnachlaß von 50 je Tonne.

² mit bisheriger Kursklausel.

Die neuen Preise haben Gültigkeit bis auf weiteres, mindestens aber bis zum 30. Juni d. J.

Ergebnis der bisherigen Bautätigkeit der Treuhandstellen. Nach einer Mitteilung der Fachgruppe Bergbau sind von den Treuhandstellen seit Beginn ihrer Tätigkeit bisher 24 643 Wohnungen in Angriff genommen und 11 881 Wohnungen fertiggestellt worden; auf das letzte Jahr entfallen davon 15 077 und 8 076 Wohnungen. Die Verteilung der Bautätigkeit der Treuhandstellen auf die verschiedenen Bergbaubezirke ist nachstehend ersichtlich gemacht.

Bergbaubezirk	Seit Beginn der Bautätigkeit sind Bergmannswohnungen		davon sind im Jahre 1921	
	in Angriff genommen	fertiggestellt	in Angriff genommen	fertiggestellt
Ruhrbezirk	14 385	5 756	8 339	5 100
Niederschlesien	1 351	841	838	497
Aachen	473	162	415	104
Sachsen	1 532	978	918	364 ¹
Niedersachsen	56	22	48	21
Mitteldentscher } Braun-	2 904	1 716	1 885	892
Ostelbischer } kohlen-	2 704	1 798	1 692	786
Rheinischer } bezirk	669	102	669	102
Bayern	569	506	273	210
zus.	24 643	11 881	15 077	8 076

¹ außerdem 351 rohbaufertig.

Brennstoffverkaufspreise des Reichskohlenverbandes. Der Reichsanzeiger vom 3. Juni 1922 veröffentlicht eine Bekanntmachung des Reichskohlenverbandes, in der die ab 1. Juni 1922 geltenden Brennstoffverkaufspreise des Rheinisch-Westfälischen Kohlen-Syndikats, des Aachener Steinkohlen-Syndikats und des Sächsischen Steinkohlen-Syndikats aufgeführt werden.

Steinkohlengewinnung von Neu-Süd-Wales im Jahre 1921. Die letztjährige Steinkohlenerzeugung von Neu-Süd-Wales, dem für die Kohlenerzeugung Australiens wichtigsten Staates, war bei 10,79 Mill. t größer als in irgendeinem früheren Jahre. Gegen das Vorjahr beträgt der Zuwachs 77 000 t. Bis dahin hatte das Jahr 1913 mit 10,4 Mill. t die Höchstförderung zu

verzeichnen gehabt. Die Verteilung der Gewinnung auf die einzelnen Bezirke ist nachstehend ersichtlich gemacht:

Bezirk	1920	1921
	l. t	l. t
Norden	7 320 510	7 493 002
Süden	1 902 889	2 062 958
Westen	1 492 600	1 237 427
zusammen	10 715 999	10 793 387

Der Gesamtwert der Förderung an der Grube belief sich 1921 auf 9,08 Mill. £ gegen 7,72 Mill. £ im Vorjahre. Für die Koks-erzeugung liegen noch keine abschließenden Angaben vor, doch

ist soviel sicher, daß die vorjährige Gewinnungsziffer von 568 000 t überschritten worden ist.

Kohलगewinnung des Deutschen Reiches im April 1922. Im April erfuhr die Steinkohलगewinnung gegen den entsprechenden Monat des Vorjahrs eine Abnahme um 617 000 t oder 5,18 %, dagegen erhöhte sich die Braunkohलगewinnung um 259 000 t oder 2,50 %. Auch die Koksherstellung verzeichnete einen Zuwachs (+ 124 000 t), wogegen Preßsteinkohle (- 61 000 t) und Preßbraunkohle (- 211 000 t) geringere Erzeugungsziffern aufweisen. Für die ersten vier Monate d. J. ergibt sich eine Steinkohलगeförderung von 48,3 Mill. t, was einer Jahresförder-ung von 145 Mill. t entspricht, während sich nach dem Ergebnis der ersten drei Monate eine Jahresförder-ung von 148 Mill. t berechnet hatte.

Kohलगewinnung des Deutschen Reiches im Monat April 1922.

Erhebungsbezirke	April					Januar—April				
	Stein- kohle	Braun- kohle	Koks	Preß- stein- kohle	Preß- braun- kohle	Stein- kohle	Braun- kohle	Koks	Preß- stein- kohle	Preß- braun- kohle
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
Oberbergamtsbezirk:										
Breslau: Niederschlesien . .	419 602	543 472	81 483	10 608	90 974	1 775 852	2 272 721	312 296	40 858	356 626
„ Oberschlesien	2 769 920	1 042	227 572	28 578	—	11 533 359	5 760	912 408	127 952	—
Halle	3 847	5 043 274	—	2 779	1 147 801	15 970	21 022 421	—	7 382	4 691 183
Clausthal	38 372	162 010	3 568	9 250	9 381	164 438	704 374	14 044	28 928	37 019
Dortmund	7 240 842	—	2 017 888	310 387	—	31 237 794	—	7 759 026	1 348 130	—
Bonn (ohne Saargebiet) . .	466 484	3 007 863	141 893	13 044	604 438	2 033 560	12 106 996	570 269	53 583	2 436 850
Preußen ohne Saargebiet 1922	10 939 067	8 757 661	2 472 404	374 646	1 852 594	46 760 973	36 112 272	9 568 043	1 606 833	7 521 678
1921	11 491 648	8 478 420	2 351 207	426 443	2 011 532	45 776 925	33 098 004	9 370 390	1 629 781	7 271 335
Berginspektionsbezirk:										
München	—	85 367	—	—	—	—	353 509	—	—	—
Bayreuth	6 372	98 950	—	—	10 757	28 255	496 915	—	—	51 081
Zweibrücken	487	—	—	—	—	1 782	—	—	—	—
Bayern ¹ 1922	6 859	184 317	—	—	10 757	30 037	850 424	—	—	51 081
1921	5 031	218 918	—	—	15 937	30 940	912 409	—	—	50 066
Berginspektionsbezirk:										
Zwickau I und II	160 225	—	15 294	819	—	720 502	—	57 679	3 969	—
Stollberg i. E.	138 189	—	—	—	—	628 043	—	—	—	—
Dresden (rechtseibisch) . .	32 592	139 039	—	—	15 013	137 286	655 705	—	—	61 518
Leipzig (linkselbisch) . . .	—	547 501	—	—	175 911	—	2 249 131	—	—	690 950
Sachsen 1922	331 006	686 540	15 294	819	190 924	1 485 831	2 904 836	57 679	3 969	752 468
1921	395 762	710 485	16 604	323	202 216	1 521 622	2 736 772	62 885	323	707 868
Baden	—	—	—	46 802	—	—	—	—	179 398	—
Hessen	—	43 383	—	5 732	1 800	—	188 451	—	24 336	6 758
Braunschweig	—	281 582	—	—	60 347	—	1 112 444	—	—	249 201
Sachsen-Altenburg und Reuß	—	589 834	—	—	150 111	—	2 456 786	—	—	644 080
Anhalt	—	90 449	—	—	10 879	—	412 111	—	—	48 723
übriges Deutschland	12 514	—	23 513	978	—	52 466	—	68 261	4 383	—
Deutsches Reich ohne Saar- gebiet 1922	11 289 446	10 633 766	2 511 211	428 977	2 277 412	48 329 307	44 037 324	9 693 983	1 818 919	9 273 989
dgl. 1921	11 906 674	10 374 292	2 387 151	489 962	2 488 681	47 385 981	40 446 464	9 502 198	1 867 616	8 966 804
dgl. u. ohne Els.-Lothr. . 1913	14 231 367	7 258 044	2 516 193	501 286	1 818 192	57 392 072	28 176 021	10 076 618	1 937 511	6 866 452
Deutsches Reich überhaupt 1913	15 821 006	7 258 044	2 668 455	501 286	1 818 192	63 379 455	28 176 021	10 660 315	1 937 511	6 866 452

¹ ohne die zum derzeitigen Saargebiet geschlagenen Teile der Rheinpfalz.

Die Entwicklung der Kohलगewinnung der wichtigsten Bergbaubezirke Deutschlands in den Monaten Januar—April 1922 ist in der folgenden Zusammenstellung und dem Schaubild ersichtlich gemacht (in 1000 t).

Monat	Steinkohle				Koks				Preßsteinkohle				Braunkohle				Preßbraunkohle									
	ins- gesamt	davon		ins- gesamt	davon		ins- gesamt	davon		ins- gesamt	davon		ins- gesamt	davon		ins- gesamt	davon									
		O. B. B. Dort- mund	Ober- schlesien		O. B. B. Dort- mund	Ober- schlesien		O. B. B. Dort- mund	O. B. B. Bonn		O. B. B. Halle	O. B. B. Halle														
1921	1922	1921	1922	1921	1922	1921	1922	1921	1922	1921	1922	1921	1922	1921	1922	1921	1922									
Januar	12 009	12 166	7819	7849	2814	2888	2350	2471	1900	1989	189	225	436	494	319	372	10 071	11 028	4813	5345	2775	2881	2108	2281	1038	1162
Februar	12 009	11 456	7914	7452	2801	2681	2277	2199	1809	1751	225	214	478	401	366	299	10 039	10 091	4534	4828	2783	2753	2117	2081	1047	1051
März	11 460	13 418	7460	8695	2693	3194	2442	2513	1935	1998	240	246	472	491	364	367	9 876	12 260	4527	5782	2927	3460	2254	2635	1087	1330
April	11 907	11 289	7649	7241	2921	2770	2387	2511	1907	2018	237	228	490	429	368	310	10 374	10 634	4916	5043	2935	3008	2489	2277	1561	1148



Entwicklung der Stein- und Braunkohlenförderung Deutschlands in Mill. t.

Der Saarbergbau im März 1922. Die Steinkohlenförderung des Saarbezirks belief sich im März d. J. auf 1 042 866 t gegen 888 184 t im Vormonat und 647 808 t im entsprechenden Monat des Vorjahrs, sie weist damit eine starke Zunahme (+ 154 682 t und + 395 058 t) auf. Im ersten Viertel d. J. betrug die Gewinnung 2,80 Mill. t gegen 2,14 Mill. t im Vorjahr, d. i. eine Steigerung um 658 000 t oder 30,80 %. Die arbeitstägliche Förderung war im Berichtsmonat bei 38 625 t um 6306 t = 19,51 % größer als in der gleichen Zeit des Vorjahrs, die Kokserzeugung zeigt gegen den Vormonat einen Zuwachs um rd. 2000 t oder 10,13 %. Die Herstellung von Preßkohle ist seit einigen Monaten eingestellt. Die Bestände stiegen um 76 000 t auf 637 000 t.

	März		Januar - März		± 1922 geg. 1921 %
	1921	1922	1921	1922	
Förderung:					
Staatsgruben . . .	631 911	1 014 539	2 089 179	2 721 908	+ 30,29
Grube Frankenholz	15 897	28 327	47 815	73 352	+ 53,41
insges.	647 808	1 042 866	2 136 994	2 795 260	+ 30,80
arbeitstäglich . . .	32 319	38 625	33 685	36 635	+ 8,76
Absatz:					
Selbstverbrauch . .	65 232	72 349	204 258	213 196	+ 4,38
Bergmannskohle . .	15 463	14 070	46 511	53 266	+ 14,52
Lieferung an Kokereien . . .	18 219	27 132	65 764	78 029	+ 18,65
Lieferung an Preßkohlenwerke . .	2 211	—	5 588	—	- 100
Verkauf . . .	463 032	853 500	1 649 053	2 496 859	+ 51,41
Kokserzeugung ¹	13 883	21 848	43 451	62 515	+ 43,87
Preßkohlenherstellung ¹	4 278	—	11 197	—	- 100
Lagerbestand am Ende des Monats ² . . .	330 945	637 337			

¹ Es handelt sich lediglich um die Kokserzeugung und Preßkohlenherstellung der Zechen.
² Kohle, Koks, Preßkohle ohne Umrechnung zusammengefaßt.

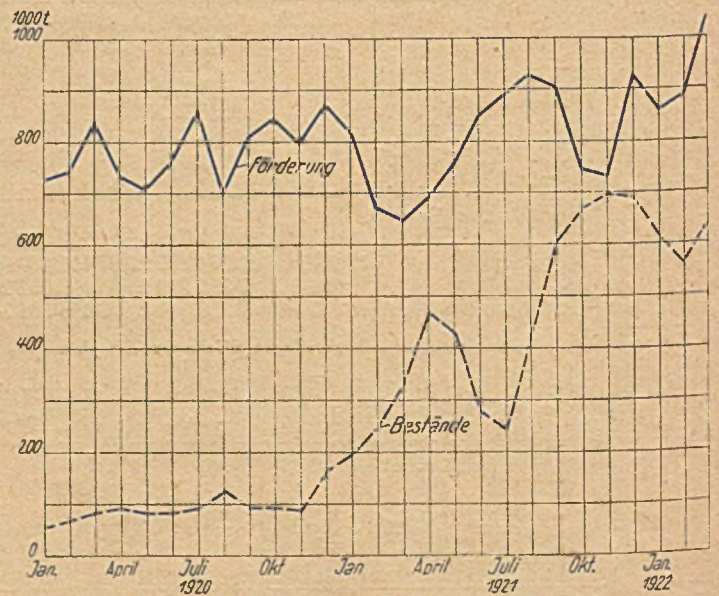
Die Arbeiterzahl ist gegen den Vormonat um 99 zurückgegangen, die Zahl der Beamten hat sich um neun erhöht. Der Förderanteil eines Arbeiters je Schicht ist von 474 kg im März 1921 auf 610 kg oder um 28,69 % gestiegen. Die Gliederung der Belegschaft ist aus der folgenden Zahlentafel ersichtlich.

	März		Januar - März		± 1922 geg. 1921 %
	1921	1922	1921	1922	
Arbeiterzahl am Ende des Monats:					
untertage	52 226	53 832	52 610	53 793	+ 2,25
übertage	17 583	15 991	17 276	16 115	- 6,72
in Nebenbetrieben . . .	1 454	2 232	1 427	2 229	+ 56,20
zus.	71 263	72 055	71 313	72 137	+ 1,16
Zahl der Beamten . . .	3 020	2 984	3 007	2 975	- 1,06
Belegschaft insges.	74 283	75 039	74 320	75 112	+ 1,07
Förderanteil je Schicht eines Arbeiters (ohne die Arbeiter in den Nebenbetrieben) kg	474	610	487	588	+ 20,74

Die nachstehende Zusammenstellung sowie das anschließende Schaubild lassen die Entwicklung von Förderung, Belegschaft und Leistung in den einzelnen Monaten der Jahre 1921 und 1922 ersehen.

Monat	Förderung		Bestände insges.		Belegschaft (einschl. Beamte)		Leistung ¹	
	1921	1922	1921	1922	1921	1922	1921	1922
Jan. .	817 910	864 210	197 003	616 022	74 660	75 166	505	562
Febr.	671 276	888 184	247 237	561 722	74 016	75 129	481	592
März	647 808	1 042 866	330 945	637 337	74 283	75 039	474	610

¹ d. i. Förderanteil je Schicht eines Arbeiters (ohne die Arbeiter in den Nebenbetrieben).



Der Saarbergbau in den einzelnen Monaten 1920, 1921 und 1922.

Förderung und Verkehrslage im Ruhrbezirk¹.

Tag	Kohlenförderung t	Kokserzeugung t	Preßkohlenherstellung t	Wagenstellung zu den Zechen, Kokereien u. Preßkohlenwerken des Ruhrbezirks (Wagen auf 10 t Ladegewicht zurückgeführt)		Brennstoffumschlag in den			Gesamt-brennstoff- versand auf dem Wasserweg aus dem Ruhrbezirk t	Wasser- stand des Rheines bei Caub (normal 2,30 m) m	
				rechtzeitig gestellt	gefehlt	Duisburg- Ruhrorter (Kipper- leistung) t	Kanal- Zechen- Häfen t	privaten Rhein- t			
Mai 28.	Sonntag	124 183	—	5 787	—	—	—	—	—	—	
29.	303 081		12 479	22 703	—	38 808	34 409	7 475	80 692	3,14	
30.	309 201		68 344	12 174	22 941	—	36 238	31 794	7 603	75 635	3,15
31.	308 725		70 408	12 268	22 703	—	35 129	55 410	6 859	97 398	3,15
Juni 1.	262 524	64 564	11 255	22 051	81	29 635	9 713	5 078	44 426	3,16	
2.	285 080	66 824	9 941	21 773	255	28 426	14 571	4 898	47 895	3,14	
3.	271 280	91 765	9 175	20 919	49	17 959	16 686	4 443	39 088	3,14	
zus. arbeitstägl.	1 739 891 289 982	486 088 69 441	67 292 11 215	138 877 23 146	385 64	186 195 31 033	162 583 27 097	36 356 6 059	358 134 64 189	—	
Juni 4.	Sonntag	156 633	—	4 260	—	—	—	—	—	—	
5.	2. Pfingsttag		—	5 222	—	—	—	—	—	—	
6.	263 547		9 914	20 744	—	32 222	26 797	4 814	63 833	3,16	
7.	285 100		68 009	10 827	21 735	—	33 449	24 001	5 485	62 935	3,16
8.	293 799		67 550	11 843	21 739	—	30 274	27 308	5 423	63 005	3,14
9.	298 126		68 180	11 198	21 629	—	27 989	25 478	5 276	58 743	3,09
10.	306 261		73 636	11 465	21 534	—	29 652	26 091	4 618	60 361	3,09
zus. arbeitstägl.	1 446 833 289 367	434 008 62 001	55 247 11 049	116 863 23 373	—	153 586 30 717	129 675 25 935	25 616 5 123	308 877 61 775	—	

¹ vorläufige Zahlen.

Über die Entwicklung der Lagerbestände in der Woche vom 3.—10. Juni unterrichtet die folgende Zusammenstellung.

	Kohle		Koks		Preßkohle		zus.	
	3. Juni t	10. Juni t	3. Juni t	10. Juni t	3. Juni t	10. Juni t	3. Juni t	10. Juni t
an Wasserstraßen gelegene Zechen	109 134	105 447	96 337	85 241	—	—	205 471	190 688
andere Zechen	218 366	195 723	193 155	169 603	6 684	5 215	418 205	370 541
zus. Ruhrbezirk	327 500	301 170	289 492	254 844	6 684	5 215	623 676	561 229

Deutsche Bergarbeiterlöhne. Der im folgenden nachgewiesene Leistungslohn je Schicht ist der Grundlohn zuzüglich Gedingeverdienst oder der Schichtlohn, beide ohne die Zuschläge für Überarbeiten. Da die Arbeitskosten wie die Kosten für Gezähe und Geleucht vom Arbeiter nicht mehr ersetzt zu werden brauchen, kommen die fraglichen Beträge,

die früher von den Löhnen abgezogen waren, bei der Lohnberechnung nicht mehr in Betracht. Einbezogen sind alle Aufschläge, die auf Grund des Verfahrens der gewöhnlichen Schicht zur Auszahlung gelangen, z. B. die Zulage für die Arbeiter untertage; ebenso sind eingeschlossen die Versicherungsbeiträge der Arbeiter, da sie mit zum Arbeitsverdienst gezählt werden müssen.

Leistungslohn der Kohlen- und Gesteinshauer.

	Ruhr- bezirk M	Aachen M	Ober- schlesien M	Nieder- schlesien M	Freistaat Sachsen M
1921					
Januar	58,64	52,03	59,12	49,97	56,32
Februar	59,04	52,04	59,55	50,26	57,21
März	59,14	52,06	59,73	50,55	57,26
April	61,68	52,47	60,32	50,90	57,61
Mai	64,00	52,75	60,21	50,78	57,38
Juni	64,73	52,92	59,73	51,28	57,89
Juli	65,18	55,26	60,33	56,84	57,95
August	65,75	55,48	61,48	57,08	58,49
September	76,90	65,44	70,74	65,70	64,40
Oktober	77,75	65,23	70,59	65,93	64,58
November	106,62	89,22	107,11	90,09	88,49
Dezember	106,88	89,38	106,83	90,10	88,19
1922					
Januar	107,71	90,00	108,26	91,25	89,02
Februar	122,09	104,15	129,82	104,11	101,98

Leistungslohn der Gesamtbelegschaft.

	Ruhr- bezirk M	Aachen M	Ober- schlesien M	Nieder- schlesien M	Freistaat Sachsen M
1921					
Januar	48,94	42,45	42,27	42,98	48,06
Februar	49,21	42,34	42,25	43,11	48,52
März	49,12	42,44	42,33	43,23	48,50
April	51,49	42,59	42,95	43,28	48,35
Mai	54,52	42,19	41,87	43,58	48,27
Juni	54,90	42,60	41,72	44,04	48,84
Juli	55,05	43,94	42,21	49,20	49,02
August	55,32	45,44	42,84	49,28	49,84
September	65,34	54,59	49,31	57,10	55,60
Oktober	65,85	54,91	49,49	57,84	55,95
November	92,49	78,07	76,21	79,34	79,19
Dezember	92,72	78,31	76,41	79,70	79,14
1922					
Januar	93,27	79,06	76,74	80,42	79,59
Februar	106,94	90,78	91,73	91,76	91,41

Aus dem Begriff Leistungslohn ergibt sich die Nichtberücksichtigung von Zuschlägen, die mit dem Familienstand des Arbeiters zusammenhängen (Hausstandgeld, Kindergeld, geldwerter Vorteil des Bezugs der Deputatkohle) sowie der Urlaubsschädigung.

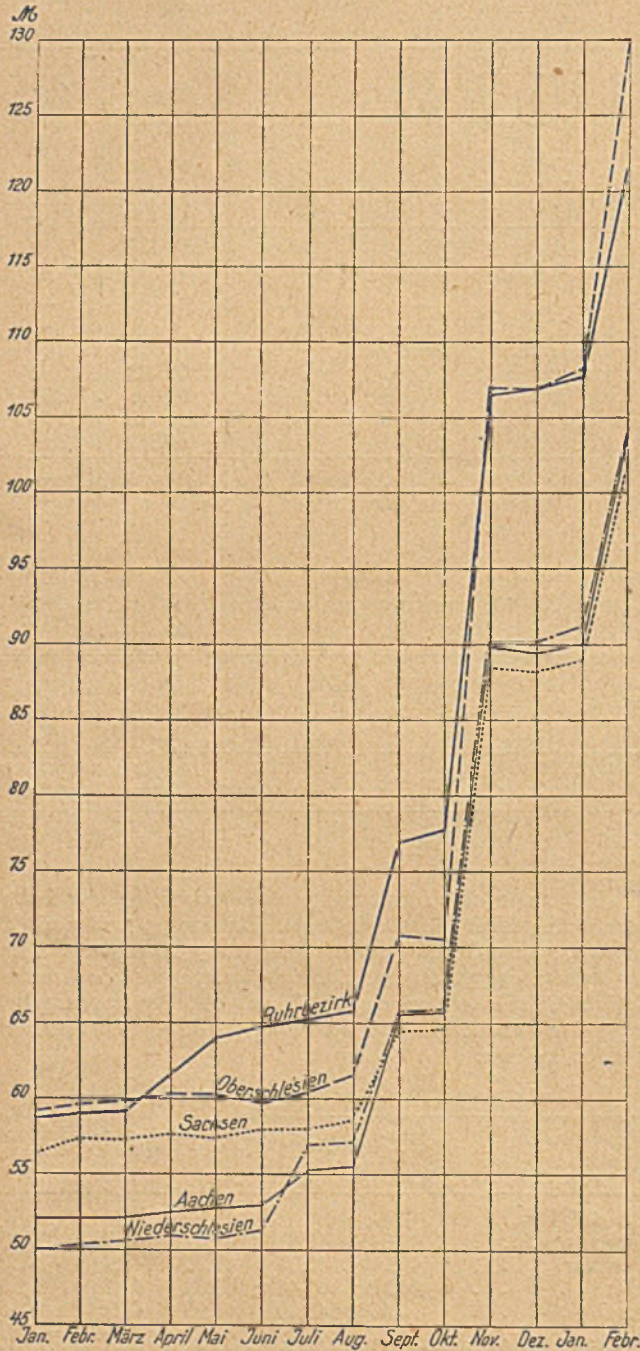


Abb. 1. Leistungslohn der Kohlen- und Gesteinhauer.

Nach den vorstehenden Zahlenangaben und den beiden Schaubildern sind die Leistungslohne in sämtlichen Bezirken in der Berichtszeit beträchtlich in die Höhe gegangen. Die folgende Zahlentafel gibt die Steigerung im Februar 1922 gegen Februar 1921 an.

	Hauer		Gesamtbelegschaft	
	M	|1921=100	M	|1921=100
Ruhrbezirk	+ 63,05	206,79	+ 57,73	217,31
Aachen	+ 52,11	200,13	+ 48,44	214,41
Oberschlesien . . .	+ 70,27	218,00	+ 49,48	217,11
Niederschlesien . .	+ 53,85	207,14	+ 48,65	212,85
Sachsen	+ 44,77	178,26	+ 42,89	188,40

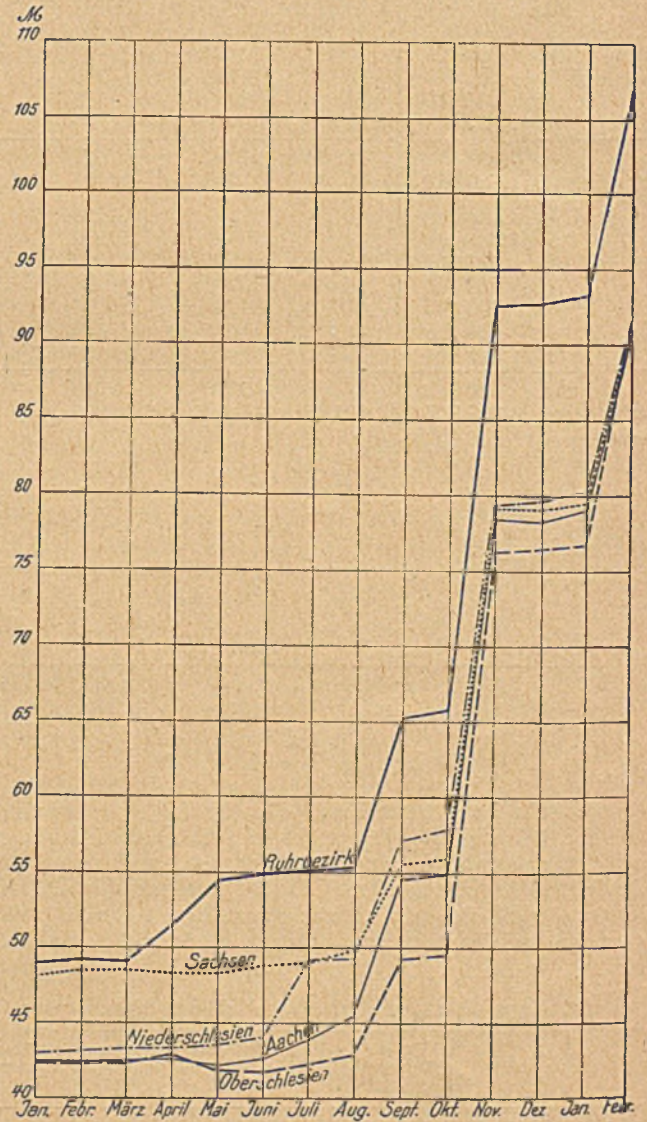


Abb. 2. Leistungslohn der Gesamtbelegschaft.

In frühern Jahren, vor dem Abschluß der Tarifverträge, stellte der jetzt unter der Bezeichnung »Leistungslohn« nachgewiesene Betrag gleichzeitig auch das gesamte Berufseinkommen des Bergarbeiters dar. Zuschläge für Überarbeiten, ferner der Soziallohn (Hausstand- und Kindergeld) sowie die Urlaubsschädigung, die inzwischen als Einkommensteile wachsende Bedeutung erlangt haben, sind erst mit den Tarifverträgen allgemein eingeführt worden. Nicht zuletzt spielt jetzt auch der geldwerte Vorteil, der den Arbeitern aus der Vergünstigung des Deputatkohlenbezugs erwächst, eine nicht unbedeutende Rolle bei der Bemessung des Wertes ihres Gesamteinkommens. Ob.

gleich die Bergarbeiter diese Vergünstigung schon seit Alters her genießen, so hat sie doch erst in der neuern Zeit mit ihren stark gestiegenen Kohlenpreisen besondere Bedeutung erlangt. Es geht daher nicht an, die oben erwähnten Einkommensteile bei einem Lohnnachweis der Bergarbeiter außer acht zu lassen und sich nur auf den sogen. Leistungslohn zu beschränken. Der rechnermäßige Wert des Gesamteinkommens darf jedoch nicht, wie der Leistungslohn, nur auf verfahrene Schichten bezogen werden, denn er umschließt auch Einkommensteile, die für nicht verfahrene Schichten gezahlt werden, wie z. B. die Urlaubsvergütung. Soll daher ein richtiger Lohnnachweis je Schicht geboten werden, so muß das gesamte Einkommen durch alle diejenigen Schichten geteilt werden, die an dem Zustandekommen der Endsumme in der Lohnstatistik beteiligt gewesen sind, mit andern Worten: für die der Arbeiter einen Anspruch auf Vergütung gehabt hat. Das sind, soweit der Ruhrbezirk in Frage kommt, die verfahrenen und die Urlaubsschichten. Daß in dem auf diese Weise festgestellten Divisor ein Bruchteil für den Wert der Deputatkohle fehlt, die auf die sonstigen Fehlschichten entfällt, mag als unwesentlich in den Kauf genommen werden, umsomehr als andererseits die Urlaubsschichten mit in die Überschichtenzuschläge dividiert werden, an denen sie nicht beteiligt sind.

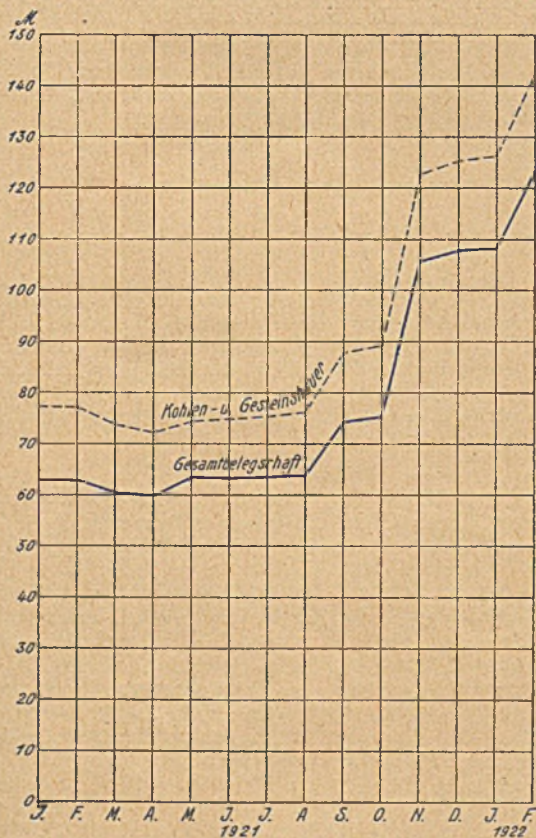


Abb. 3. Wert des Gesamteinkommens je vergütete Schicht im Ruhrbezirk.

Als Wert des Gesamteinkommens je vergütete Schicht ergeben sich für den Ruhrkohlenbezirk die folgenden Beträge, deren Bewegung seit Anfang 1921 in der beigegebenen zeichnerischen Darstellung noch verdeutlicht ist.

	Kohlen- und Gesteinslohn M	Gesamtbelegschaft M
1921 Januar . . .	77,21	62,90
Februar . . .	77,18	62,78
März . . .	73,72	60,33
April . . .	72,09	59,77
Mai . . .	74,47	63,28
Juni . . .	74,80	63,13
Juli . . .	75,36	63,40
August . . .	76,05	63,69
September . . .	87,70	74,22
Oktober . . .	89,06	75,17
November . . .	122,78	105,73
Dezember . . .	125,32	107,70
1922 Januar . . .	126,17	108,21
Februar . . .	142,37	123,34

Welche Steigerung im Ruhrbezirk der Wert des gesamten Einkommens innerhalb des letzten Jahres aufweist, zeigen für den Monat Februar folgende Angaben:

Hauer		Gesamtbelegschaft	
M	1921=100	M	1921=100
+ 65,19	184,46	+ 60,56	196,46

Im Zusammenhang mit den vorstehenden Ausführungen soll im folgenden an Hand der Entwicklung von Hauerlohn

Entwicklung von Hauerlohn und Teuerungszahl im Ruhrbezirk¹.

	Gesamteinkommen eines verheir. Hauers mit 3 Kindern in 4 Wochen (24 gewöhnlichen Schichten)		Teuerungszahl Essen			
	absolut M	1913/14 = 100	absolut M	1913/14 = 100	in % von Sp. 2	
	1	2	3	4	5	6
1913/14	157,47	100	98,12	100	62,31	
1920						
Februar	1 110	705	717	731	64,59	
März	1 114	707	832	848	74,69	
April	1 265	803	910	927	71,94	
Mai	1 250	794	1 017	1 036	81,36	
Juni	1 472	935	1 021	1 041	69,36	
Juli	1 483	942	1 035	1 055	69,79	
August	1 496	950	886	903	59,22	
September	1 506	956	892	909	59,23	
Oktober	1 720	1 092	945	963	54,94	
November	1 740	1 105	958	976	55,06	
Dezember	1 737	1 103	1 031	1 051	59,36	
1921						
Januar	1 815	1 153	951	969	52,40	
Februar	1 815	1 153	898	915	49,48	
März	1 817	1 154	893	910	49,15	
April	1 866	1 185	861	877	46,14	
Mai	1 918	1 218	849	865	44,26	
Juni	1 926	1 223	833	849	43,25	
Juli	1 938	1 231	923	941	47,63	
August	1 992	1 265	978	997	49,10	
September	2 266	1 439	1 024	1 044	45,19	
Oktober	2 302	1 462	1 199	1 222	52,08	
November	3 182	2 021	1 386	1 413	43,56	
Dezember	3 282	2 084	1 551	1 581	47,26	
1922						
Januar	3 299	2 095	1 706	1 739	51,71	
Februar	3 741	2 376	1 971	2 009	52,99	
März	4 205 ¹	2 670	2 329	2 374	55,39	
April	4 740 ¹	3 010	2 978 ²	3 035	62,83	

¹ vorläufige Zahlen.

² Teuerungszahl Essen ist aus Gründen der Vergleichbarkeit errechnet nach der alten Methode.

und Teuerungszahl noch gezeigt werden, wie sich die Lebenshaltung des Ruhrbergarbeiters seit der Vorkriegszeit gestaltet hat¹.

In dem Schaubild ist das Gesamteinkommen des Hauers gleich 100 angenommen und dazu die Teuerungszahl in Beziehung gesetzt, daraus ergibt sich, welcher Prozentteil des Gesamteinkommens nach Befriedigung der von der Teuerungszahl umschlossenen Bedürfnisse dem Arbeiter zu anderweitiger Verwendung übrig bleibt.

Wie das Schaubild ersehen läßt, ist die Lebenshaltung der Ruhrbergarbeiter, soweit die Teuerungszahl darüber ein Urteil ermöglicht, im April wieder auf dem Stand der Friedenszeit angelangt, nachdem sie von August 1920 bis März d. J. günstiger gewesen war; seit Dezember vor. Jahres hat die Erhöhung des Arbeitseinkommens nicht mehr mit der Teuerung Schritt gehalten.

¹ s. hierzu Jüngst: Der Lohn der Ruhrbergarbeiter im Lichte der amtlichen Teuerungsstatistik, Glückauf 1921, S. 295 ff.

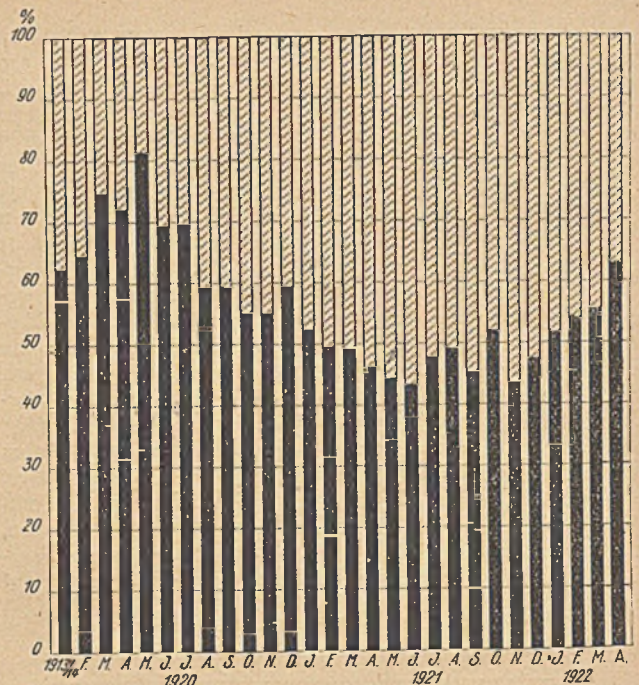


Abb. 4 Verhältnis der Essener Teuerungszahl zu dem Gesamteinkommen eines verheirateten Hauers, letzteres gleich 100 angenommen.

PATENTBERICHT.

Gebrauchsmuster-Eintragungen,

bekanntgemacht im Reichsanzeiger vom 8. Mai 1922.

5 b. 814134. Johann Tilla, Freimengen (Lothr.). Gesteinbohrmaschine für Handbetrieb. 20.10.21.

5 c. 814556. Wilhelm Braun, Essen-Bredeney. Sägevorrichtung für den Grubenbetrieb. 23.1.22.

10 a. 814154. Dipl.-Ing. Georg Hans Seitz, Essen, und Fritz Holstein, Eickel (Westf.). Isolierte Koksofen tür im Rahmenguß. 21.3.22.

20 a. 814880. Eduard Baum, Wanne (Westf.). Mitnehmerkasten für Seilbahnen. 15.4.22.

35 a. 814805. Josef Lindlbauer, Wetter (Ruhr). Fangvorrichtung für Förderkörbe. 23.10.20.

43 a. 814415. Anton Kleppek, Schwarzwald Kolonie b. Antonienhütte. Sicherheitsfördermarkenbefestigung an Förderwagen. 8.4.22.

80 a. 814506. Deutsche Maschinenfabrik A. G., Duisburg. Vorrichtung zur ruckweisen Vorschubbewegung von Formtischen für Brikettpressen u. dgl. 1.4.22.

81 e. 814754. Heinrich Nickolay, Bochum. Unterer Rollbock mit Tragstützen für Rollenschüttelrinnen. 25.3.22.

81 e. 814757. Heinrich Nickolay, Bochum. Tragstützen für die Versteifung der Seitenwände an Förderrinnen. 31.3.22.

87 b. 814481. Fried. Krupp A. G., Essen. Einlaßventil für Preßluftwerkzeuge. 11.8.19.

87 b. 814484. Fried. Krupp A. G., Essen. Ventilsteuerung für Preßlufthammer mit einem den Zylinder umgebenden hohlen Ventilkörper. 3.6.20.

Patent-Anmeldungen,

die während zweier Monate in der Auslegehalle des Reichspatentamtes ausliegen.

Vom 6. Mai 1922 an:

20 a, 10. N. 18690. Heinrich Nie, Grünberg (Schlesien). Eisenbahnförderwagen mit schrägliegenden Führungsrollen. 13.3.20.

26 d, 8. F. 49753. Dr. Peter von der Forst, Essen. Verfahren zum Auswaschen des Zyans aus Gasen. 18.7.21.

40 b, 1. K. 61300. Josef Katzinger, Berlin. Verfahren zur Verbesserung der Eigenschaften von Metallen. 13.10.15.

40 c, 6. B. 100317. Gerhard Berger und Werner Kühne, Halle (Saale). Verfahren zur Herstellung von metallischem Aluminium. 20.6.21.

Vom 11. Mai 1922 an:

10 a, 1. C. 29679. La Compagnie Générale De Construction De Fours, Paris. Ofen, besonders zur Erzeugung von Koks und Gas, mit stehenden Kammern oder Retorten und senkrechten Heizzügen. 20.9.20. Frankreich 26.11.19.

10 a, 17. M. 73450. Herbert Milinowski, Berlin. Verfahren zur Kühlung von Koks in hohlwandigen, mit Wasser gekühlten Kammern unter Gewinnung von Wasserdampf. 12.4.21.

10 a, 18. B. 97424. Wilhelm Bliemeister, Rauxel (Westf.), Post Castrop. Verfahren zur Erzeugung von hochwertigem Koks, besonders aus Magerkohle u. dgl. unter gleichzeitiger Steigerung der Ausbeute an Nebenerzeugnissen durch Zuführung von Kohlenwasserstoffen zur Rohkohle. 21.12.20.

10 a, 30. Y. 452. Dr.-Ing. Niels Young, Frankfurt (Main). Verfahren zur gleichzeitigen Gewinnung von Urteer, Halbkoks und eines hochwertigen Gases; Zus. z. Anm. Y. 421. 12.8.21.

10 b, 6. A. 32242. Dr. Ernst Andreas, Potsdam. Röhrenförmiges Brennstoffbrikett. 4.9.19.

20 h, 6. B. 102617. August Bäringer, Saarbrücken. Vorrichtung zum Einleisen von Druckluft-Lokomotiven. 5.12.21.

20 l, 30. K. 80137. Fritz Kühnel, Zeulenroda (Th.). Schaltung für elektrisch betriebene Hängebahnwagen. 10.12.21.

24 e, 4. E. 22759. Aktiengesellschaft für Brennstoffvergasung Berlin. Gaserzeuger mit Einhängerohr zum Gewinnen von Urteer. 19.11.17.

35 a, 22. A. 33893. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin. Einrichtung zur Begrenzung der Fahrgeschwindigkeit von Fördermaschinen. 6.8.20.

40 a, 4. M. 72271. Maschinenbau-Anstalt Humboldt, Köln-Kalk. Rufwerksanordnung für Ofen zum Rösten, Trocknen, Schwelen und zu ähnlichen Zwecken. 24.1.21.

40 a, 41. W. 53515. Dipl.-Ing. Heino Wunder, Neukölln. Verfahren zur Gewinnung von flüchtigen Metalloxyden durch Verblasen unter Brennstoffzusatz. 2.10.19.

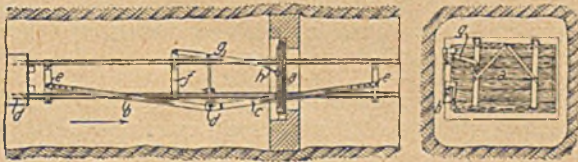
40 a, 46. P. 40240. Pfanstiehl Company, North Chicago (V. St. A.). Verfahren und Preßform zur Erzielung besonders fester und dichter Preßlinge aus Wolframpulver u. dgl. 8.7.20. V. St. Amerika 5.8.16. u. 9.10.16.

Deutsche Patente.

5 b (9). 352429, vom 15. Februar 1919. W. Knapp, Maschinenfabrik in Eickel (Westf.). *Stangenschrämmaschine mit Zylindermotor- und Kurbelantrieb.*

Der Bügel des zur Steuerung des Motors der Maschine dienenden, auf der Kurbelachse des Motors befestigten Exzenters umgibt diesen nur auf der oberen Hälfte, wodurch es ermöglicht wird, die Achse des Zylinders so tief wie möglich zu legen. Der halbkreisförmige Exzenterbügel kann mit zwei einander gegenüberliegenden Steuerschiebern gelenkig oder fest verbunden sein.

5 d (2). 352502, vom 4. November 1919. Stephan, Frölich & Klüpfel in Beuthen (O.-S.). *Vorrichtung zum selbsttätigen Öffnen und Schließen von Wettertüren mit Hilfe von Druckschienen.*



Die miteinander gelenkig verbundenen Druckschienen *b* und *c* sind mit ihren freien Enden zwischen oder neben dem Gleis drehbar an den Bolzen *e* derart befestigt, daß die Schienen bei geschlossener Wettertür einen stumpfen Winkel bilden und schräg über einer Fahrschiene liegen. Das die Druckschienen verbindende Gelenk *d* ist durch die Zugstange *f* und die Hebel *g* und *h* so mit der Tür *a* verbunden, daß diese sich öffnet, wenn eine der Druckschienen durch die Räder eines anrollenden Förderwagens zur Seite gedrückt, d. h. gedreht wird. Nach

der Durchfahrt des Förderwagens fällt die Tür infolge ihrer schrägen Aufhängung von selbst zu und wird durch den Wetterstrom auf ihren Rahmen gedrückt.

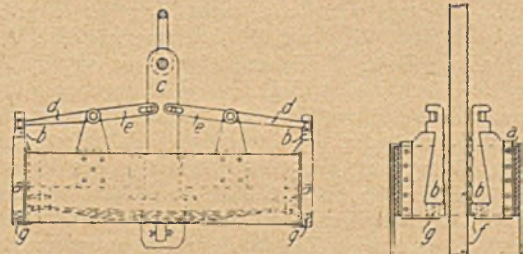
20 a (4). 352245, vom 5. Februar 1918. Paul Griese in Berlin-Lichterfelde. *Förderanlage mit wechselnden Neigungen für Seil- und Kettenantrieb, bei der das Zugglied in einzelne Strecken zerlegt ist.*

Die einzelnen endlosen Teile (Strecken) des Zuggliedes der Anlage werden für sich angetrieben und sind so bemessen, daß von den auf die am stärksten geneigten Streckenabschnitte entfallenden Teilen jeweilig nur ein Wagen gefördert wird.

24 a (17). 352455, vom 20. März 1914. Dr. Siegfried Pfaff in Berlin-Wilmersdorf. *Verfahren zur Ausnutzung des Heizwertes des Grubengases in den ausziehenden Wettern der mechanischer Wetterführung betriebenen Bergwerke.*

Die ausziehenden Wetter sollen über Tage als Verbrennungsluft Feuerungsanlagen zugeführt werden, in denen die Verbrennungsgase Temperaturen annehmen, die über der Entzündungstemperatur des Grubengases liegt.

35 a (13). 352146, vom 22. August 1920. Franz Bartels in Kruckel (Westf.). *Fangvorrichtung für Förderkörbe mit zu beiden Seiten der Korbführung angeordneten keilförmigen Klemmbacken.*



Die keilförmigen Klemmbacken *b* der Vorrichtung sind durch die doppelarmigen Hebel *d* und *e* mit der abgefederten Königstange *c* des Förderkorbes verbunden und ruhen auf den Federn *g*. Die letztern sind in Aussparungen des aus einem Stück bestehenden, die Führungsschuhe *f* tragenden Rahmens *a* untergebracht, der auch die Führungen für die Klemmbacken *b* trägt.

B Ü C H E R S C H A U.

Die Wirtschaftlichkeit einer Großkraftverwertung der Kohlenenergie in Deutschland. Von Bergassessor Dr.-Ing. Sieben. 81 S. Düsseldorf 1921, Verlag Stahleisen. Preis geh. 16 M.

Die kleine 76 Seiten umfassende Schrift beschäftigt sich mit der heute für viele Stellen brennenden Frage, wo die Grenzen der Wirtschaftlichkeit elektrischer Zentralen liegen. In zahlreichen Köpfen besteht die Vorstellung, der Zustand, dem wir zwecks bester Erfassung unserer Energiequellen zustreben müßten, bestehe in der Schaffung weniger sehr großer Zentralen, die in den Gebieten unserer natürlichen Kraftspeicher, der Kohlenlager, der Torfgebiete und der Wasserkräfte, zu errichten seien. Diese Großkraftwerke, so meint man, sollten durch Hochspannungs-Sammelschienen miteinander gekuppelt werden. An sie müßten zahlreiche in die Brennpunkte gewerblicher Tätigkeit verlegte Unter-Kraftwerke angeschlossen werden, von denen aus mit den bekannten technischen Mitteln der Leben schaffende elektrische Kraft- und Lichtstrom durch ein vielmaschiges Netz den Stätten menschlicher Tätigkeit in Stadt und Land bis in die entlegensten Gegenden zuzuführen sei. Im Banne dieser Vorstellung sind schon in manchen Gemeinden und Körperschaften Beschlüsse gefaßt worden, die nicht zum Heile gedient haben.

Es ist deshalb ein verdienstvolles Werk des Verfassers, daß er auf Grund der Meinungen anerkannter Fachleute und an Hand der verfügbaren Erfahrungszahlen eine Nachprüfung vornimmt. Sie ist mit einem Fleiß und einer Gewissenhaftigkeit durchgeführt, die der geringe Umfang des Buches nicht vermuten läßt. Mit großem Geschick ist die Vielheit der voneinander abweichenden Verhältnisse in Rechnung gesetzt worden.

Der Verfasser bezeichnet in Übereinstimmung mit der heutigen Auffassung Zentralen mit 50 000—100 000 KW Gesamtleistung als Großkraftwerke, solche mit etwa 30 000 KW Leistung als Mittelkraftwerke und kommt zu folgenden Ergebnissen. Die Errichtung eines Großkraftwerkes auf einer Kohलगewinnungsstätte ist wirtschaftlich, je nachdem Preßsteinkohle oder -braunkohle verfeuert wird, wenn jährlich etwa 220 Mill. KWst nicht weiter als 30 oder 50 km zu verteilen sind, also auf 1 qkm Fläche etwa 35 000 oder 13 000 KWst verbraucht werden. Dient dagegen Rohbraunkohle als Brennstoff, so ist der elektrische Versand der Energie dem mechanischen annähernd gleichwertig oder ihm überlegen. Dann ist die Errichtung eines Großkraftwerkes immer vorteilhaft, wenn ein geschlossenes Absatzgebiet von genügender Größe

vorliegt. Die Errichtung von Großkraftwerken abseits der Kohलगewinnungsstätten ist nur dann zu rechtfertigen, wenn eine Jahreserzeugung von etwa 220 Mill. KWst auf einem Gebiet von 350 oder 500 qkm Fläche Absatz findet. In diesem Falle bringt nämlich der Transport des elektrischen Stromes dem Bahnversand gegenüber nur unwesentliche Ersparnisse. Großkraftwerke untereinander zu verbinden, läßt keinen wirtschaftlichen Gewinn erwarten, weil der Ausnutzungsfaktor nur so wenig verbessert wird, daß die Kosten der Verbindungsleitungen nicht ausgeglichen werden können.

An diese Feststellungen knüpft der Verfasser die Folgerung, daß eine planmäßige Zusammenfassung der gesamten Kohlenenergie Deutschlands mit Hilfe verkuppelter Großkraftwerke auf absehbare Zeit zu verwerfen sei. Nur in stetiger Entwicklung könne dem wachsenden Bedürfnis entsprechend eine allmähliche Ausdehnung der Großkraftwerke eine gewisse Annäherung an das vielfach erstrebte Ziel der einheitlichen Ausnutzung der Kohlenquellen auf elektrischem Wege bringen. Diese Meinung entspricht auch der Auffassung kühl abwägender Fachkreise. Jeder Zentrale ist wirtschaftlich eine natürliche Grenze gesetzt. Vermehrung der Abnehmer allein verbessert nicht den Ausnutzungsfaktor. Steigerung der Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn es möglich wäre, die Betriebszeiten und den Bedarf der Verbraucher annähernd gleichmäßig zu verteilen und nicht nur den Kraftbedarf, sondern auch den Wärmeabfall ohne unerträgliche Verluste zu zentralisieren. Diese Möglichkeit ist aber aus wirtschaftlichen, sozialen und technischen Gründen nicht gegeben. Deshalb wird immer eine größere Zahl von Betrieben, in denen Kraftbedarf und Wärmebedarf durch technische Maßnahmen einigermaßen in Einklang zu bringen sind, mit vollem Recht Wert auf Selbständigkeit legen und sich von dem Anschluß an elektrische Zentralen fernhalten. Außerdem dürfte in den wirtschaftlich unruhigen Zeiten der Gegenwart und sicher auch der nächsten Zukunft die Überlegung nicht ohne Einfluß sein, daß Großkraftwerke nicht nur eine Zentralisierung des Betriebes, sondern auch des Stillstandes darstellen.

Den Ausführungen des Verfassers liegen die Verhältnisse des letzten Friedensjahres zugrunde, was angesichts des Umstandes, daß in absehbarer Zeit mit stetigen Wirtschaftsverhältnissen nicht gerechnet werden kann, durchaus berechtigt ist. Im Wandel der Wirtschaftsverhältnisse mögen zwar Wertverschiebungen zwischen Lohn, Fracht und Stoff eintreten, jedoch kaum in einem Maße, daß dadurch die angegebenen grundsätzlichen Ergebnisse wesentlich beeinflusst werden.

Das Buch kann für alle, die sich beruflich oder sonstwie mit der Frage der zentralisierten Krafterzeugung zu befassen haben, ein reicher Quell der Anregung und Belehrung sein.
Goetze.

Die Preußischen Bergassessoren. Hrsg. von Oberbergrat Walter Serlo zu Bonn. 2. Aufl. 359 S. Essen 1922, Verlag Glückauf m. b. H. Preis geb. 50 *M.*, einschl. Teuerungszuschlag.

Die von dem Verfasser zum ersten Male im Jahre 1902 herausgegebene Liste der Preußischen Bergassessoren¹ liegt nach zwei Jahrzehnten, in denen sich die Zahl der Assessoren mehr als verdoppelt hat, in zweiter Auflage vor. Aus der Zusammenstellung sind bekanntlich, im Gegensatz zu den Verzeichnissen in der Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen und im Berg- und Hüttenkalender, mit Krug von Nidda 1850 beginnend, sämtliche Bergleute zu ersehen, die jemals die preußische Bergassessorprüfung abgelegt haben, also nicht nur die lebenden, sondern auch die bereits verstorbenen, die im Ruhestand befindlichen und die aus dem

Staatsdienst ausgetretenen Bergassessoren. Bei jedem Namen finden sich die Angaben über die wichtigsten Lebensdaten, die bisher bekleideten Stellungen usw., so daß sich der Werdegang jedes einzelnen genau verfolgen läßt. Bei der neuen, bis zum Oktober 1921 reichenden Auflage haben alle Zugänge und Veränderungen der Zwischenzeit eine sorgfältige Nachtragung erfahren. Den lebenden Assessoren waren vor der Drucklegung, die infolgedessen geraume Zeit in Anspruch nehmen mußte, die Aufzeichnungen zur Durchsicht und Berichtigung vorgelegt und damit die größtmögliche Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit beobachtet worden. Im übrigen bürgt ja auch der Name des Herausgebers für die Genauigkeit, die gerade bei solchen Verzeichnissen so wertvoll und so schwierig zu erreichen ist. Der verhältnismäßig kleine Kreis der preußischen Bergassessoren und der unter den Bergleuten stark entwickelte kameradschaftliche Geist bringen es mit sich, daß man dem Schicksal seiner Berufsgenossen besonders lebhaften Anteil entgegenbringt. So ergibt sich das Bedürfnis nach einer derartigen Zusammenstellung von selbst. Aber auch der Umstand, daß preußische Bergassessoren in die verschiedensten Zweige sowohl der Staatsverwaltungen als auch des Privatdienstes im In- und Auslande übergetreten sind, was die Verfolgung ihres Lebensweges naturgemäß erschwert, macht eine derartige Erscheinung auf dem Büchermarkt wünschenswert. Das Buch wird sich daher sicherlich neue Freunde erwerben und in dem gegebenen engern, aber auch im weitern mit dem Bergbau in Beziehung stehenden Kreise als Nachschlagewerk willkommen sein.
St.

Zur Besprechung eingegangene Bücher.

(Die Schriftleitung behält sich eine Besprechung geeigneter Werke vor.)

Aus der Praxis des Sprengluftverfahrens. Hrsg. von der Oxyliquit-Sprengluft G. m. b. H., Berlin. 22 S. mit 40 Abb.

Geitel, Max: Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. (Aus Natur und Geisteswelt, Bd. 28.) 2. Aufl. 107 S. mit 31 Abb. Leipzig, B. G. Teubner. Preis in Pappbd. 14 *M.*, geb. 18 *M.*

Getränke- und Verbrauchssteuern 1922: Branntweinmonopol, Kohlensteuer, Leuchtmittelsteuer, Zündwarensteuer, Biersteuer, Mineralwassersteuer, Tabaksteuer, Erhöhung von Zöllen, Zuckersteuer, Süßstoffgesetz. Textausgabe mit Sachregister. 107 S. Berlin, Carl Heymanns Verlag. Preis geh. 20 *M.*

Johnson, Edward L.: Bulletin of the Cleveland Technical Institute. A monthly periodical containing abstracts of the most important scientific articles published during the month. Vol. 1, Nr. 6, März 1922. 60 S. Middlesbrough, Corporation Road.

Meller, Karl: Die Elektromotoren in ihrer Wirkungsweise und Anwendung. Ein Hilfsbuch für Maschinentechniker. 125 S. mit 111 Abb. Berlin, Julius Springer. Preis geh. 48 *M.*, geb. 68 *M.*

Preger, Ernst: Werkzeuge und Werkzeugmaschinen. (Bibliothek der gesamten Technik, Bd. 215.) 5., überarb. Aufl. 426 S. mit 591 Abb. Leipzig, Dr. Max Jänecke. Preis in Pappbd. etwa 99 *M.*

Quantz, L.: Wasserkraftmaschinen. Eine Einführung in Wesen, Bau und Berechnung neuzeitlicher Wasserkraftmaschinen und -Anlagen. 4., erw. und verb. Aufl. 153 S. mit 179 Abb. Berlin, Julius Springer. Preis geh. 34 *M.*

—, —: Kreiselpumpen. Eine Einführung in Wesen, Bau und Berechnung neuzeitlicher Kreis- oder Zentrifugalpumpen. 108 S. mit 109 Abb. Berlin, Julius Springer. Preis geh. 48 *M.*

Die Schmelzschweißung. Zeitschrift für das gesamte Gebiet der autogenen Metallbearbeitung einschließlich der elektrischen Verfahren. Hrsg. vom Verband für autogene Metallbearbeitung e. V. unter Mitwirkung von Hermann Richter. Organ der Forschungsgemeinschaft für Schmelzschweißung zu Hamburg. 1. Jg. Nr. 10 vom 15. Mai 1922. 16 S. Hamburg, Paul Hartung. Bezugspreis jährlich 50 *M.*

¹ s. Glückauf 1902, S. 70.

ZEITSCHRIFTENSCHAU.

(Eine Erklärung der hierunter vorkommenden Abkürzungen von Zeitschriftentiteln ist nebst Angabe des Erscheinungsortes, Namens des Herausgebers usw. in Nr. 1 auf den Seiten 30–32 veröffentlicht. * bedeutet Text- oder Tafelabbildungen.)

Mineralogie und Geologie.

Über die Bildung von Lagerstätten nutzbarer Mineralien und Gesteine im und am ostbayerischen Grenzgebirge sowie verwandter Vorkommen. Von Peinert. Techn. Bl. 27. Mai. S. 211/2. Kritische Besprechung der Auffassung Weinschenks über die Vorgänge, die zur Bildung der nutzbaren Lagerstätten und bemerkenswerten Gesteinsvorkommen geführt haben.

The age of coals. Von Lewis. Coll. Guard. Beilage. Mai. S. 74/9. Betrachtungen über das absolute Alter der Kohlenablagerungen und die Länge der für ihre Bildung benötigten Zeiträume. Übersichtliche Zusammenstellung der wichtigsten Vorkommen der Welt nach ihrem geologischen Alter.

The preparation of transparent sections of coal. Von Lomax. Coll. Guard. Beilage. Mai. S. 79/84*. Ausführliche Beschreibung eines Verfahrens zur Herstellung von größeren Kohledünnschliffen: Probenahme, Vorbereitung der Probe zum Schneiden, Befestigung auf der Glasplatte, Schneiden, Schleifen und Fertigstellung der Probe.

Die Inventur der Brennstoffe in Hinsicht auf die neuern Kohlenverwertungsmethoden. Von Dolch und Gerstendoerfer. Braunk. 27. Mai. S. 165/9. Zusammenstellung der Kohlen Deutsch-Österreichs mit Angabe des Fundortes, des Gehaltes an Wasser, Asche, Reinkoks, flüchtigen Stoffen und Teer, der Gaszusammensetzung, der Koksbeschaffenheit und des Heizwertes.

Eisenerze in Finnland. Von Harden. Kohle u. Erz. 22. Mai. S. 174. Kurze Mitteilungen über die bekannten Vorkommen.

Les borates de l'Amérique et spécialement les borates du Pérou. Von Jochamowitz. Rev. univ. min. mét. 15. Mai. S. 280/5*. Übersicht über die Boraxlagerstätten in Nord- und Südamerika. Angaben über die Geologie und Mineralführung sowie die Gewinnung und Verarbeitung der Salze.

Bergwesen.

Der Bagger im Untertage-Betrieb bei Bergwerksanlagen. Von Wintermeyer. Bergb. 25. Mai. S. 750/6*. Überblick über die wichtigsten Bauarten von Baggern im allgemeinen: Eimerketten-Tiefbagger, -Hochbagger und -Kopfbagger; Löffelbagger. Verwendung und Sonderausbildung des Baggers im Untertage-Betrieb: der im Kalibergbau eingeführte Eimerketten-Kopfbagger der Maschinenfabrik Buckau; die besonders für Kohlen- und Erzgruben geeigneten amerikanischen Bauarten.

Coal-cutting by electricity at Greenside Colliery. Von Rochester. Ir. Coal Tr. R. 26. Mai. S. 787. Die Anwendung einer elektrisch angetriebenen Schrämmaschine in einem dünnen Flöz mit harter Kohle. Bauart, Arbeitsweise, Leistung und Betriebskosten.

Signalvorrichtungen in blinden Schächten im Steinkohlenbergbau Westfalens. Techn. Bl. 27. Mai. S. 212/3. Kritische Besprechung des jetzigen Standes der Signalgebung und ihrer Eignung in unfalltechnischer Beziehung. Die Zweckmäßigkeit der einzelnen Verbindungsmöglichkeiten: Von der Fördersohle zur Bremskammer, von den einzelnen Örtern zur Bremskammer, von der Bremskammer zur Fördersohle und den einzelnen Ortsanschlägen.

Large electric winders in a South Wales colliery. Coll. Guard. 26. Mai. S. 1291. Angaben über bauliche Einzelheiten einer großen elektrischen Fördermaschine.

Economies in mine pumping. Coll. Guard. 26. Mai. S. 1289/90*. Beschreibung einer Pumpenanordnung, bei der ein wirtschaftlicherer Betrieb erzielt wird. Kostenberechnung.

Miner's lamps committee. (Schluß.) Coll. Guard. 26. Mai. S. 1294/5. Berichterstattung der Grubenbesitzer über

Erfahrungen im Grubenlampenwesen. Versuche mit Lampen verschiedener Bauart.

Miner's portable electric lamps. Von Walker. Coll. Guard. 26. Mai. S. 1290/1. Die neuzeitlichen Grubenlampen. Die neuesten Bauarten von Akkumulatoren.

La pression géostatique et les manifestations mécaniques du massif. Von Phily. Rev. Ind. Min. 15. Mai. S. 247/56*. Untersuchungen über die Ursachen der plötzlichen Gasausbrüche in Gruben, die durch den Gasdruck allein nicht erklärt werden können. Erörterung der Wirkung des Gebirgsdruckes und seiner Bedeutung für das Auftreten von Gesteinschlägen und Gasausbrüchen. (Forts. f.)

The working of mines liable to sudden outbursts of CO₂. Coll. Guard. 26. Mai. S. 1292/3*. Betriebsregelung und Vorsichtsmaßnahmen in Gruben, in denen die Gefahr von plötzlichen Kohlendioxidgasausbrüchen besteht.

Coal and its carbonisation. Von Illingworth. Coll. Guard. Beilage. Mai. S. 65/7*. Weitere Mitteilungen zur Theorie des Verkokungsvorganges.

The effect of some physical conditions during carbonisation of coal upon the quality of coke produced. Von Biddulph-Smith. Coll. Guard. Beilage. Mai. S. 68/74*. Der Einfluß verschiedener physikalischer Bedingungen, wie Korngröße und Feuchtigkeitsgehalt der Kohle, Bauart des Ofens, Dichte der Ofenbeschickung und Dauer der Garungszeit auf die Eigenschaften des erzeugten Koks.

Recovery and utilization of cyanide from by-product coke ovens. Von Espenhahn. Chem. Metall. Eng. 17. Mai. S. 938/41*. Die Möglichkeit, Zyansalze aus Koks-Ofengasen zu gewinnen. Beschreibung des Espenhahn-Verfahrens nebst Angabe der gewinnbaren Menge und der Preise.

Brikettierung von Abfallbrennstoffen zu Eiformbriketts. Von Brandt. Betrieb. 13. Mai. S. 180/2*. Eiformbrikette aus Abfallkohle. Arbeitsgänge einer Brikettierungsanlage bei Anwendung eines Bindemittels. Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Dampfkessel- und Maschinenwesen.

Unvollkommene Verbrennung und Feuerungskontrolle. Von Haarmann. Feuerungstechn. 15. Mai. S. 173/6*. An Hand von Berechnungen erbrachter Nachweis, daß eine einwandfreie Dauerprüfung der Rauchgaszusammensetzung sich nicht nur auf den Gehalt an CO₂, sondern auch an CO erstrecken muß.

Verwertung von Brennstoffabfällen. Von Bartsch. (Forts.) Brennstoffwirtsch. 1. Mai. S. 36/40*. Ergebnisse von Vergleichsversuchen der trockenmagnetischen und naßmechanischen Aschenaufbereitung. Verwertung von Hausbrandaschen und von Schlacken. (Schluß f.)

Wärmeverluste in Ofenkonstruktionen. Von Ritter. Feuerungstechn. 15. Mai. S. 176/7. Einfluß der Größe der Ofenoberfläche und der Zusammensetzung der feuerfesten Steine auf die Wärmeverluste.

Beachtenswerte Mitteilungen über Dampfkondensationsanlagen. Von Rissmann. (Schluß.) Techn. Bl. 27. Mai. S. 209/11*. Beschreibung des elektrischen Gütegradmessers, Bauart Rissmann. Kondensatprüfer.

Dampfspeicher. Von Ruths. Z. d. Ing. 27. Mai. S. 509/13*. Die Dampfverbrauchsschwankungen in Kesselbetrieben. Möglichkeit der Ausgleichsschwankungen bei verschiedenen Kesseltypen. Die Bauart des Ruths-Dampfspeichers. (Forts. f.)

Dampf- und Warmwasserezeugung in elektrischen Dampfkesseln. Von Hindelang. Z. bayer. Rev. V. 31. Mai. Beschreibung einer Elektrodampfkesselanlage im Muffatwerk der Münchener Elektrizitätswerke.

Elektrotechnik.

Neuere Elektrizitätsbauten. Von Ziesel. Industriebau. 15. Januar. S. 1/17*. Beschreibung und bildliche Darstellung von Schalthäusern, Transformatorenkammern, Turbinenhallen, Großkraftwerken und Beamtenwohnhäusern.

Neuerungen im Starkstromapparatebau. Von Vogelsang. El. u. Masch. 28. Mai. S. 253/8. Abhängiger und unabhängiger Zeitrelais. Prüfeinrichtung für 400 000 Volt.. Öl-schalter für 100 000 Volt.

Hüttenwesen, Chemische Technologie, Chemie und Physik.

Die Quarzchana-Kupferhütte der von Siemenschen Berg- und Hüttenwerke im Kaukasus. Von Offerhaus. Metall u. Erz. 22. Mai. S. 237/48*. Geographische Lage und Transportverhältnisse. Geologie und Mineralführung des Erzvorkommens. Allgemeine Anordnung der Hütte, die nach dem Pyritverfahren arbeitet. Der Betrieb des Wassermantelofens, der Konverteranlage und des Raffinierofens. Staubkammern und Rauchkanal. Kostenberechnung.

Molybdän und andere Stahlveredlungsmittel. (Schluß.) Bergb. 25. Mai. S. 749/50. Angaben über die Nickelstahllegierung invar. Bauart und Vorteile des Newkirk-Ofens zur Herstellung hochfeinen Stahls. Das Aufschweißen von Plättchen aus Schnellschnittstahl auf Siemens-Martin Stahl.

Dichtebestimmung von Feinsilber. Von Hoffmann und Stahl. Metall u. Erz. 22. Mai. S. 348/9. Mitteilung von Versuchsergebnissen aus dem Metallhüttenmännischen Institut der Bergakademie zu Clausthal.

Beitrag zur Untersuchung des technischen Nickels. Von Breisch und Chalupny. Chem.-Ztg. 30. Mai. S. 481/4. Verfahren zur schnellen Bestimmung der häufigsten Verunreinigungen Silizium, Schwefel, Kupfer, Blei, Eisen, Mangan, Sauerstoff und Kohlenstoff.

Die Nutzarbeit des Walzvorgangs. Grundlagen einer Mechanik bildsamer Körper. Von Liss. (Forts.) St. u. E. 25. Mai. S. 806/16*. Praktische Anwendung der aufgestellten Theorien und Nachprüfung mit Hilfe der Versuche von Puppe. (Schluß f.)

Les phénomènes de trempe et leur généralisation. Von Guillet. Rev. Métall. März. S. 162/8*. Allgemeine Erklärung der beim Härten auftretenden Erscheinungen hinsichtlich der Zustandsänderungen binärer Legierungen.

Zur Bestimmung der Gase im Eisen. Von Oberhoffer und Piwowarsky. St. u. E. 25. Mai. S. 801/6*. Bestimmung der Gase durch Umsetzung mit Quecksilberchlorid und Brom auf nassem Wege. Vergleich der Ergebnisse mit den bei der Heißextraktion im Vakuum erhaltenen Zahlen.

Étude de l'éritage à chaud sur mandrin. Von Schneider. Rev. Métall. März. S. 121/44*. Untersuchungen über die Vorgänge beim Warmpressen von Stahlkörpern mit Hilfe des Dorns.

Sur les chaleurs spécifiques des gaz envisagées au point de vue de leur application aux problèmes industriels. Von Damour und Wolkowitsch. Rev. Métall. März. S. 145/61*. Betrachtungen über die Ergebnisse verschiedener Abhandlungen und Untersuchungen über die spezifische Wärme der Gase mit Rücksicht auf ihre Verwendung in der Industrie.

Low temperature carbonisation. Coll. Guard. 26. Mai. S. 1293. Ir. Coal Tr. R. 26. Mai. S. 775/6. Bericht des Kohlenforschungsausschusses über den gegenwärtigen Stand der Tieftemperaturverkokung. Allgemeine Grundlagen und Gesichtspunkte, Versuchsergebnisse.

Studies in the carbonization of coal: Characteristics of low-temperature coal tar. Von Morgan und Soule. Chem. Metall. Eng. 17. Mai. S. 923/8*. Darlegung des Untersuchungsganges für Tieftemperaturteere. Vergleich

der Zusammensetzung von Urteer, Koksofenteer und Gaswerksteer.

Über die Bildung der Blausäure aus Stickstoff und Kohlenwasserstoffen im elektrischen Lichtbogen. Von Hubbach. Z. Elektrochem. 1. Mai. S. 202/24*. Vorbemerkung über Elektro-Gasreaktionen im allgemeinen. Thermodynamische Betrachtungen. Geschichtliches zur elektrischen Zyan- und Blausäuresynthese. Arbeitsplan. Versuche bei Minderdruck mit gekühltem Lichtbogen. Versuche bei Atmosphärendruck mit rotierendem Lichtbogen. Zusammenfassung aller Versuchsergebnisse.

Wirtschaft und Statistik.

Le mouvement mondial des produits de la grosse métallurgie. Von Demay. (Forts.) Rev. Ind. Min. 15. Mai. S. 257/82. Die Entwicklung der Ausfuhr Deutschlands an Hüttenerzeugnissen nach dem Kriege. Die gegenwärtige Marktlage im Saargebiet, Luxemburg, Belgien und Frankreich. Der Bedarf der europäischen und überseeischen Länder an Hüttenerzeugnissen. Vergleich der Tätigkeit der Haupterzeugungsländer auf den einzelnen Absatzgebieten. (Forts. f.)

Die Entwicklung der anorganischen Großindustrie in den Jahren 1919 bis 1921. Von Waeser. (Forts.) Chem.-Ztg. 27. Mai. S. 474/6. 30. Mai. S. 482/4. Fortschritte und Neugründungen in verschiedenen europäischen Staaten und Nordamerika. Schrifttum. (Schluß f.)

Verkehrs- und Verladewesen.

Der Hansa-Kanal. Von Plate. Z. d. Ing. 27. Mai. S. 518/20*. Der Hansa-Kanal, seine Linienführung (vom nördlichsten Punkte des Mittellandkanals in nordöstlicher Richtung nach Hamburg), Baukosten, Bauart und die Bedeutung für die deutschen Seehäfen und den Ruhrbezirk.

Die englische Eisenbahnpolitik der letzten vierzig Jahre. Von Bochler. (Forts.) Arch. Eisenb. H. 3. S. 586/607. Die Sicherheit der Angestellten. Statistische Angaben über die Betriebsunfälle der Angestellten und ihre Ursachen. (Schluß f.)

Die Neuordnung des französischen Eisenbahnwesens. Von Knauf. Arch. Eisenb. H. 3. S. 535/85. Rückblick auf die Geschichte der französischen Eisenbahnen. Ausführliche Mitteilung und Besprechung des Gesetzes vom 28. Oktober 1921, das auf eine Reihe von Jahren die Eisenbahngeschicke Frankreichs bestimmen wird.

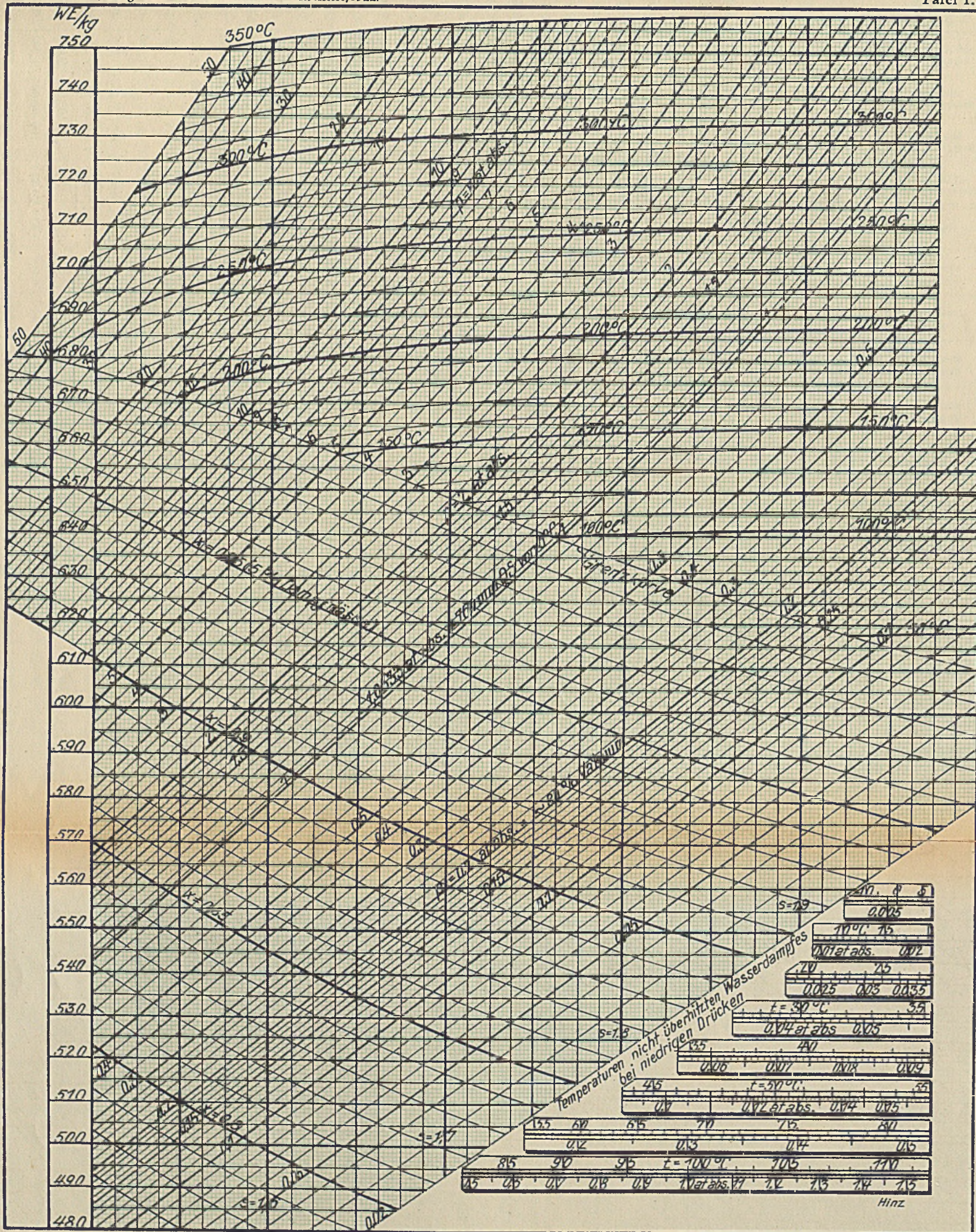
Ausstellungs- und Unterrichtswesen.

Die Ausbildung des Steigernachwuchses in Sachsen. Von Hilgenberg. (Schluß.) Braunk. 27. Mai. S. 169/74. Vergleich zwischen dem Ausbildungsgang der preußischen und sächsischen Bergschulen. Besprechung der Reformvorschläge des Reichsverbandes deutscher Bergbauangestellter. Die heutige Lage des sächsischen Bergschulwesens.

Verschiedenes.

Psychotechnik in Sport und Gewerbe. Von Fladrich. Gewerbefl. Mai. S. 135/45*. Die Auslese auf Grund von Eignungsprüfungen, die sich auf die Sinnestüchtigkeit, das Vorstellungs- und Gefühlsleben, die Willensvorgänge und die Arbeitsleistung erstrecken. Beschreibung zahlreicher Prüfgeräte.

Die wissenschaftliche Überwindung des Marxismus. Von Spann. St. u. E. 25. Mai. S. 816/22. Das Verhältnis der Gegenwart zum Marxismus. Besprechung der drei wichtigsten Gedanken der Wirtschaftstheorie von Marx, nämlich der Mehrwertlehre, des Konzentrationsgesetzes und der kommunistischen Wirtschaft.



Mollier-Tafel für Wasserdampf.

Verkaufspreise des Rheinisch-Westfälischen Kohlen-Syndikats 1913 bis 1922.

Die angegebenen Preise gelten jedesmal von dem nachstehend genannten Zeitpunkt ab	Gas- und Gasflammkohle													Fattkohle							Eßkohle															
	Fördergruskohle	Flammförderkohle	Gasflamm-Förderkohle	Generatorkohle	Gastförderkohle	Stückkohle (bis 1. April 1920 Stückkohle I)	Gewaschene Nußkohle I	Gewaschene Nußkohle II	Gewaschene Nußkohle III	Gewaschene Nußkohle IV	Gewaschene Nußkohle V	Nußgruskohle über 30 mm	Gewaschene Feinkohle	Fördergruskohle	Förderkohle (rd. 25% Stückgehalt)	Melierter Kohle (rd. 40% Stückgehalt)	Bestimel. Kohle (rd. 50% Stückgehalt)	Stückkohle (bis 1. April 1920 Stückkohle I)	Gewaschene Nußkohle I	Gewaschene Nußkohle II	Gewaschene Nußkohle III	Gewaschene Nußkohle IV	Gewaschene Nußkohle V	Kokskohle	Fördergruskohle (rd. 10% Stückgehalt)	Förderkohle (rd. 25% Stückgehalt)	Förderkohle (rd. 35% Stückgehalt)	Bestimel. Kohle (rd. 50% Stückgehalt)	Stückkohle	Gewaschene Nußkohle I	Gewaschene Nußkohle II	Gewaschene Nußkohle III	Gewaschene Nußkohle IV	Feinkohle		
	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl	fl
1. April 1913	10,75	11,50	12,50	13,00	13,50 ⁸	14,00	14,25	14,25	14,25	13,75	13,00	10,50	10,25	11,00	12,00	12,60	13,00	14,00	14,25	14,25	14,25	13,75	13,25	13,25 ⁶	11,00	11,50	12,00	13,00	14,00	17,75 ⁸	17,75 ⁸	14,50	14,00	9,50		
1. April 1914	10,00	11,00	11,75	12,50	12,50 ⁸	13,50	13,75	13,75	13,50	13,00	12,00	9,75	9,25	10,25	11,25	12,00	12,50	13,50	13,75	13,75	13,50	13,00	12,25	12,25 ⁷	10,25	10,75	11,25	12,50	13,25	17,25 ⁸	17,25 ⁸	14,00	13,25	8,50		
1. April 1915	11,75	13,00	13,75	14,25	13,75	15,50	16,00	16,00	15,75	15,25	14,00	11,50	11,25	12,00	13,25	14,00	14,50	15,50	16,00	16,00	15,75	15,25	14,00	13,00	12,00	12,75	13,25	14,50	15,25	17,50	17,50	16,25	15,25	10,25		
1. Sept. 1915	12,75	14,00	14,75	15,25	15,75	16,50	17,00	17,00	16,75	16,25	15,00	12,50	12,25	13,00	14,25	15,00	15,50	16,50	17,00	17,00	16,75	16,25	15,00	14,25	13,00	13,75	14,25	15,50	16,25	20,25	20,25	17,25	16,25	11,25		
1. März 1916	12,75	14,00	14,75	15,25	15,75	16,50	17,00	17,00	16,75	16,25	15,00	12,50	12,25	13,00	14,25	15,00	15,50	16,50	17,00	17,00	16,75	16,25	15,00	15,25	13,00	13,75	14,25	15,50	16,25	20,25	20,25	17,25	16,25	11,25		
1. Jan. 1917	14,75	16,00	16,75	17,25	17,75	18,50	19,00	19,00	18,75	18,25	17,00	14,50	14,25	15,00	16,25	17,00	17,50	18,50	19,00	19,00	18,75	18,25	17,00	17,25	15,00	15,75	16,25	17,50	18,25	22,25	22,25	19,25	18,25	13,25		
1. Mai 1917	16,75	18,00	18,75	19,25	19,75	20,50	21,00	21,00	20,75	20,25	19,00	16,50	16,25	17,00	18,25	19,00	19,50	20,50	21,00	21,00	20,75	20,25	19,00	19,25	17,00	17,75	18,25	19,50	20,25	24,25	24,25	21,25	20,25	15,25		
1. Sept. 1917	16,75	18,00	18,75	19,25	19,75	20,50	21,00	21,00	20,75	20,25	19,00	16,50	16,25	17,00	18,25	19,00	19,50	20,50	21,00	21,00	20,75	20,25	19,00	19,25	17,00	17,75	18,25	19,50	20,25	24,25	24,25	21,25	20,25	15,25		
1. Okt. 1917 ¹	22,50	24,00	24,90	25,50	26,10	27,00	27,60	27,60	27,30	26,70	25,20	22,20	21,90	22,80	24,30	25,20	25,80	27,00	27,60	27,60	27,30	26,70	25,20	25,50	22,80	23,70	24,30	25,80	26,70	31,50	31,50	27,90	26,70	20,70		
1. Sept. 1918 ²	25,05	26,55	27,45	28,05	28,65	29,55	30,15	30,15	29,85	29,25	27,75	24,75	24,45	25,35	26,85	27,75	28,35	29,55	30,15	30,15	29,85	29,25	27,75	28,05	25,35	26,25	26,85	28,35	29,25	34,05	34,05	30,45	29,25	23,25		
1. Jan. 1919	39,50	41,00	41,90	42,50	43,10	44,00	44,60	44,60	44,30	43,70	42,20	39,20	38,90	39,80	41,30	42,20	42,80	44,00	44,60	44,60	44,30	43,70	42,20	42,50	39,80	40,70	41,30	42,80	43,70	48,50	48,50	44,90	43,70	37,70		
1. Mai 1919	59,50	61,00	61,90	62,50	63,10	64,00	66,60	66,60	66,30	65,70	64,20	59,20	58,90	59,80	61,30	62,20	62,80	64,00	66,60	66,60	66,30	65,70	64,20	62,50	59,80	60,70	61,30	62,80	63,70	70,50	70,50	66,90	65,70	57,70		
1. Juni 1919	59,50	61,00	61,90	62,50	63,10	64,00	66,60	66,60	66,30	65,70	64,20	59,20	58,90	59,80	61,30	62,20	62,80	64,00	66,60	66,60	66,30	65,70	64,20	62,50	59,80	60,70	61,30	62,80	63,70	70,50	70,50	66,90	65,70	57,70		
16. Juni 1919	65,60	67,10	68,00	68,60	69,20	70,10	73,30	73,30	73,00	72,40	70,90	65,30	65,00	65,90	67,40	68,30	68,90	70,10	73,30	73,30	73,00	72,40	70,90	68,60	65,90	66,80	67,40	68,90	69,80	77,20	77,20	73,60	72,40	63,80		
1. Juli 1919	65,60	67,10	68,00	68,60	69,20	70,10	73,30	73,30	73,00	72,40	70,90	65,30	65,00	65,90	67,40	68,30	68,90	70,10	73,30	73,30	73,00	72,40	70,90	68,60	65,90	66,80	67,40	68,90	69,80	77,20	77,20	73,60	72,40	63,80		
1. Aug. 1919	65,60	67,10	68,00	68,60	69,20	70,10	73,30	73,30	73,00	72,40	70,90	65,30	65,00	65,90	67,40	68,30	68,90	70,10	73,30	73,30	73,00	72,40	70,90	68,60	65,90	66,80	67,40	68,90	69,80	77,20	77,20	73,60	72,40	63,80		
1. Okt. 1919	76,10	77,60	78,50	79,10	79,70	80,60	83,80	83,80	83,50	82,90	81,40	75,80	75,50	76,40	77,90	78,80	79,40	80,60	83,80	83,80	83,50	82,90	81,40	79,10	76,40	77,30	77,90	79,40	80,30	87,70	87,70	84,10	82,90	74,30		
1. Dez. 1919	85,10	86,60	87,50	88,10	88,70	89,60	95,20	95,20	94,90	94,30	92,80	84,80	84,50	85,40	86,90	87,80	88,40	89,60	95,20	95,20	94,90	94,30	92,80	88,10	85,40	86,30	86,90	88,40	89,30	99,10	99,10	95,50	94,30	83,30		
1. Jan. 1920 ³	105,10	106,60	107,50	108,10	108,70	109,60	117,70	117,70	117,40	116,80	115,30	104,80	104,50	105,40	106,90	107,80	108,40	109,60	117,70	117,70	117,40	116,80	115,30	108,10	105,40	106,30	106,90	108,40	109,30	121,60	121,60	118,00	116,80	103,30		
1. Febr. 1920	146,90	149,70	156,70	162,30	169,30	174,90	179,10	179,10	179,10	172,10	165,10	146,90	152,50	146,90	149,70	158,10	162,30	174,90	179,10	179,10	179,10	172,10	165,10	162,50	146,90	148,30	149,70	162,30	174,90	197,20	197,20	188,80	172,10	144,10		
1. März 1920	164,90	168,00	176,00	182,30	190,20	196,50	201,30	201,30	201,30	193,40	185,50	164,90	171,20	164,90	168,00	177,50	182,30	196,50	201,30	201,30	201,30	193,40	185,50	171,20	164,90	166,40	168,00	182,30	196,50	221,80	221,80	212,30	193,40	161,70		
1. April 1920	188,90	192,40	201,70	208,90	218,10	225,30	230,90	230,90	230,90	221,80	212,60	188,90	196,10	188,90	192,40	203,40	208,90	225,30	230,90	230,90	230,90	221,80	212,60	196,10	188,90	190,60	192,40	208,90	225,30	254,60	254,60	243,60	221,80	185,20		
1. Mai 1920 ⁴	194,70	198,40	207,90	215,40	224,80	232,30	238,00	238,00	238,00	228,70	219,20	194,70	202,20	194,70	198,40	209,70	215,40	232,30	238,00	238,00	238,00	228,70	219,20	202,20	194,70	196,50	198,40	215,40	232,30	262,50	262,50	251,10	228,70	190,90		
1. April 1921	223,10	227,40	238,30	247,00	257,80	266,50	273,10	273,10	273,10	262,30	251,70	223,10	231,80	223,10	227,40	240,40	247,00	266,50	273,10	273,10	273,10	262,30	251,70	231,80	223,10	225,20	227,40	247,00	267,10	302,80	302,80	288,50	262,30	218,70		
1. Mai 1921	223,10	227,40	238,30	247,00	257,80	266,50	273,10	273,10	273,10	262,30	251,70	223,10	231,80	223,10	227,40	240,40	247,00	266,50	273,10	273,10	273,10	262,30	251,70	231,80	223,10	225,20	227,40	247,00	267,10	302,80	302,80	288,50	262,30	218,70		
1. Juli 1921	223,10	227,40	238,30	247,00	257,80	298,00	304,60	304,60	304,60	293,80	283,20	223,10	231,80	223,10	227,40	240,40	247,00	298,00	304,60	304,60	304,60	293,80	283,20	231,80	223,10	225,20	227,40	247,00	254,90	298,60	334,30	334,30	320,00	293,80	218,70	
1. Sept. 1921	249,10	253,90	266,00	275,80	288,00	333,10	340,50	340,50	340,50	328,50	316,40	249,10	258,90	249,10	253,90	268,50	284,70	333,10	340,50	340,50	340,50	328,50	316,40	258,90	249,10	251,50	253,90	284,70	333,70	373,80	373,80	357,80	328,50	244,10		
1. Nov. 1921	249,10	253,90	266,00	275,80	288,00	333,10	340,50	340,50	340,50	328,50	316,40	249,10	258,90	249,10	253,90	268,50	284,70	333,10	340,50	340,50	340,50	328,50	316,40	258,90	249,10	251,50	253,90	284,70	338,70	373,80	373,80	357,80	328,50	244,10		
1. Dez. 1921	397,40	405,10	424,90	440,70	460,40	533,50	545,50	545,50	545,50	525,90	506,40	397,40	413,20	397,40	405,10	428,80	455,00	533,50	545,50	545,50	545,50	525,90	506,40	413,20	397,40	401,20	405,10	455,00	534,50	599,40	599,40	573,60	525,90	389,30		
1. Febr. 1922	459,20	468,10	491,10	509,40	532,30	617,00	630,90	630,90	630,90	608,20	585,60	459,20	477,50	459,20	468,10	495,60	526,00	617,00	630,90	630,90	630,90	608,20	585,60	477,50	459,20	463,60	468,10	526,00	618,20	693,50	693,50	663,50	608,20	449,90		
1. März 1922 ⁵	590,40	601,70	631,10	654,4																																

Die angegebenen Preise gelten jedesmal von dem nachstehend genannten Zeitpunkt ab	Magerkohle (Östliches Revier)										Magerkohle (Westliches Revier)								
	Fördergruskohle (rd. 10% Stückgehalt)	Förderkohle (rd. 25% Stückgehalt)	Förderkohle (rd. 35% Stückgehalt)	Bestmel. Kohle (rd. 50% Stückgehalt)	Stückkohle	Gewaschene Nußkohle I	Gewaschene Nußkohle II	Gewaschene Nußkohle III	Gewaschene Nußkohle IV	Feinkohle ungewaschen	Fördergruskohle (rd. 10% Stückgehalt)	Förderkohle (rd. 25% Stückgehalt)	Förderkohle (rd. 35% Stückgehalt)	Melierte Kohle (rd. 45% Stückgehalt)	Stückkohle	Gewaschene Anthrazitnußkohle I	Gewaschene Anthrazitnußkohle II	Gewaschene Anthrazitnußkohle III	
	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
1. April 1913	10,25	11,50	12,00	12,50	14,25	18,25 ^a	18,25 ^a	14,50	14,00	8,00	10,00	11,25	11,75	12,25	15,00	20,75 ^a	24,75 ^a	18,25	
1. April 1914	9,50	10,75	11,25	12,00	14,25	17,75 ^a	17,75 ^a	13,75	13,25	7,00	9,25	10,50	11,00	11,75	14,75	20,25 ^a	24,25 ^a	18,00	
1. April 1915	11,25	12,75	13,25	14,00	15,50	18,00	18,00	16,25	15,25	8,75	11,00	12,50	13,00	13,75	16,00	20,00	24,00	20,25	
1. Sept. 1915	12,25	13,75	14,25	15,00	16,50	20,50	20,50	17,25	16,25	9,75	12,00	13,50	14,00	14,75	17,00	23,50	27,50	21,25	
1. März 1916	12,25	13,75	14,25	15,00	16,50	20,50	20,50	17,25	16,25	9,75	12,00	13,50	14,00	14,75	17,00	23,50	27,50	21,25	
1. Jan. 1917	14,25	15,75	16,25	17,00	18,50	22,50	22,50	19,25	18,25	11,75	14,00	15,50	16,00	16,75	19,00	25,50	29,50	23,25	
1. Mai 1917	16,25	17,75	18,25	19,00	20,50	24,50	24,50	21,25	20,25	13,75	16,00	17,50	18,00	18,75	21,00	27,50	31,50	25,25	
1. Sept. 1917	16,25	17,75	18,25	19,00	20,50	24,50	24,50	21,25	20,25	13,75	16,00	17,50	18,00	18,75	21,00	27,50	31,50	25,25	
1. Okt. 1917 ¹	21,90	23,70	24,30	25,20	27,00	31,80	31,80	27,90	26,70	18,90	21,60	23,40	24,00	24,90	27,60	35,40	40,20	32,70	
1. Sept. 1918 ²	24,45	26,25	26,85	27,75	29,55	34,35	34,35	30,45	29,25	21,45	24,15	25,95	26,55	27,45	30,15	37,95	42,75	35,25	
1. Jan. 1919	38,90	40,70	41,30	42,20	44,00	48,80	48,80	44,90	43,70	35,90	38,60	40,40	41,00	41,90	44,60	52,40	57,20	49,70	
1. Mai 1919	58,90	60,70	61,30	62,20	64,00	70,80	70,80	66,90	65,70	55,90	58,60	60,40	61,00	61,90	64,60	74,40	79,20	71,70	
1. Juni 1919	58,90	60,70	61,30	62,20	64,00	70,80	70,80	66,90	65,70	55,90	58,60	60,40	61,00	61,90	64,60	74,40	79,20	71,70	
16. Juni 1919	65,00	66,80	67,40	68,30	70,10	77,50	77,50	73,60	72,40	62,00	64,70	66,50	67,10	68,00	70,70	81,10	85,90	78,40	
1. Juli 1919	65,00	66,80	67,40	68,30	70,10	77,50	77,50	73,60	72,40	62,00	64,70	66,50	67,10	68,00	70,70	81,10	85,90	78,40	
1. Aug. 1919	65,00	66,80	67,40	68,30	70,10	77,50	77,50	73,60	72,40	62,00	64,70	66,50	67,10	68,00	70,70	81,10	85,90	78,40	
1. Okt. 1919	75,50	77,30	77,90	78,80	80,60	88,00	88,00	84,10	82,90	72,50	75,20	77,00	77,60	78,50	81,20	91,60	96,40	88,90	
1. Dez. 1919	84,50	86,30	86,90	87,80	89,60	99,40	99,40	95,50	94,30	81,50	84,20	86,00	86,60	87,50	90,20	103,00	107,80	100,30	
1. Jan. 1920 ³	104,50	106,30	106,90	107,80	109,60	121,90	121,90	118,00	116,80	101,50	104,20	106,00	106,60	107,50	110,20	125,50	130,30	122,80	
1. Febr. 1920	146,90	148,30	149,70	156,70	179,10	201,40	201,40	188,80	172,10	141,30	145,50	148,30	149,70	152,50	180,50	197,20	223,80	197,20	
1. März 1920	164,90	166,40	168,00	176,00	201,30	226,50	226,50	212,30	193,40	158,50	163,30	166,40	168,00	171,20	202,90	221,80	251,80	221,80	
1. April 1920	188,90	190,60	192,40	201,70	230,90	260,00	260,00	243,60	221,80	181,50	187,00	190,60	192,40	196,10	232,70	254,60	289,20	254,60	
1. Mai 1920 ⁹	194,70	196,50	198,40	207,90	238,10	268,10	268,10	251,20	228,70	187,10	192,80	196,50	198,40	202,20	239,90	262,50	298,10	262,50	
1. April 1921	223,10	225,20	227,40	238,30	274,60	308,70	308,70	290,40	262,30	214,30	220,90	225,20	227,40	231,80	275,20	301,30	342,40	301,90	
1. Mai 1921 ¹⁰	223,10	225,20	227,40	238,30	274,60	308,70	308,70	290,40	262,30	214,30	220,90	225,20	227,40	231,80	275,20	301,30	342,40	301,90	
1. Juli 1921 ¹⁰	223,10	225,20	227,40	246,20	306,10	340,20	340,20	321,90	293,80	214,30	220,90	225,20	227,40	238,10	306,70	332,80	373,90	333,40	
1. Sept. 1921	249,10	251,50	253,90	275,00	342,20	380,30	380,30	359,90	328,50	239,30	246,50	251,50	253,90	265,80	342,80	372,10	418,20	372,90	
1. Nov. 1921	249,10	251,50	253,90	275,00	342,20	380,30	380,30	359,90	328,50	239,30	246,50	251,50	253,90	265,80	342,80	372,10	418,20	372,90	
1. Dez. 1921	397,40	401,20	405,10	439,30	548,20	610,00	610,00	576,90	525,90	381,50	393,30	401,20	405,10	424,60	549,20	596,70	671,50	597,90	
1. Febr. 1922	459,20	463,60	468,10	507,80	634,10	705,80	705,80	667,40	608,20	440,80	454,50	463,60	468,10	490,80	635,30	690,30	777,10	691,70	
1. März 1922 ⁴	590,40	595,90	601,70	652,40	813,40	904,80	904,80	855,80	780,30	566,80	584,40	595,90	601,70	630,70	814,90	885,10	995,70	886,80	
1. April 1922 ⁵	699,80	706,40	713,20	773,00	962,60	1070,40	1070,40	1012,60	923,80	672,00	692,60	706,40	713,20	747,40	964,50	1047,30	1177,50	1049,20	
20. April 1922	890,30	898,70	907,50	984,20	1227,30	1365,50	1365,50	1291,40	1177,40	854,70	881,20	898,70	907,50	951,40	1229,80	1335,90	1502,80	1338,30	

¹ Ab 1. Okt. 1917 einschl. 20% Kohlensteuer. ² Ab 1. Sept. 1918 einschl. 1/2% Umsatzsteuer. ³ Ab 1. Jan. 1920 Umsatzsteuer auf 1 1/2% erhöht, außerdem einschl. 2% für Lebensmittelverdoppelt. ⁴ Am 1. April 1922 Kohlensteuer auf 40% erhöht. ⁵ Vom 1. April bis 30. Sept. 1913. ⁶ Vom 1. Jan. bis 30. Sept. 1914. ⁷ Preis für die Wintermonate. ⁸ Leistungen des Verkäufers in Anspruch nimmt. Diese Preise sind also mit den vorhergehenden nicht ohne weiteres vergleichbar.

Die angegebenen Preise gelten jedesmal von dem nachstehend genannten Zeitpunkt ab	Koks																	Preßkohle		
	Gewaschene Nußkohle IV (8/15 mm)	Ungewaschene Feinkohle	Gewaschene Feinkohle (bis 7% Asche)	Großkoks I. Sorte	Großkoks II. Sorte	Großkoks III. Sorte	Gießereikoks	Brechkoks I 50 mm und darüber	Brechkoks II 40/60 mm, 40/70 mm, über 30 mm	Brechkoks III über 20 mm	Brechkoks IV unter 20 mm	Halb gesiebter u. halb gebroch. Koks	Knabbelkoks	Kleinkoks gesiebt	Perikoks	Koksgrus	I. Sorte	II. Sorte	III. Sorte	
	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
1. April 1913	12,50	6,75	8,50	18,50 ⁶	17,50 ⁶	16,50 ⁶	19,00	21,00	21,50	14,50	10,00	18,00	17,00	14,50	9,50	2,50	14,50	13,50	11,50	
1. April 1914	11,50	5,75	7,50	17,00 ⁷	16,00 ⁷	15,00 ⁷	17,50	19,00	20,00	14,50	8,50	16,50	16,00	13,50	8,00	1,75	13,75	12,75	11,00	
1. April 1915	13,50	7,50	9,25	15,50	14,50	13,50	16,00	17,50	18,50	14,50	8,50	15,50	15,00	13,00	8,00	1,75	15,75	14,75	13,00	
1. Sept. 1915	14,50	8,50	10,25	17,50	16,50	15,50	18,00	19,50	20,50	16,50	10,50	17,50	17,00	15,00	10,00	2,25	16,75	15,75	14,00	
1. März 1916	14,50	8,50	10,25	19,00	18,00	17,00	19,50	21,00	22,00	18,00	12,00	19,00	18,50	16,50	11,50	3,25	17,25	16,25	14,50	
1. Jan. 1917	16,50	10,50	12,25	22,00	21,00	20,00	22,50	24,00	25,00	21,00	15,00	22,00	21,50	19,50	14,50	6,25	20,50	19,50	17,75	
1. Mai 1917	18,50	12,50	14,25	25,00	24,00	23,00	25,50	27,00	28,00	24,00	18,00	25,00	24,50	22,50	17,50	8,25	23,00	22,00	20,25	
1. Sept. 1917	18,50	12,50	14,25	30,00	28,80	27,60	30,60	32,40	33,60	28,80	21,60	30,00	29,40	27,00	21,00	9,90	26,50	25,30	23,20	
1. Okt. 1917 ¹	24,60	17,40	19,50	33,60	32,40	31,20	34,20	36,00	37,20	32,40	25,20	33,60	33,00	30,60	24,60	13,50	29,00	27,80	25,70	
1. Sept. 1918 ²	27,15	19,95	22,05	37,20	36,20	35,20	37,80	40,20	41,40	36,00	28,80	37,20	36,60	34,20	28,20	15,70	31,55	30,35	28,2	
1. Jan. 1919	41,60	34,40	36,50	58,90	57,90	56,90	59,50	61,90	63,10	57,70	50,50	58,90	58,30	55,90	43,90	20,70	47,25	46,05	43,95	
1. Mai 1919	63,60	54,40	56,50	88,90	87,90	86,90	89,50	97,90	99,10	93,70	80,50	88,90	88,30	85,90	79,90	25,70	70,75	69,55	67,45	
1. Juni 1919	63,60	54,40	56,50	88,90	87,90	86,90	89,50	97,90	99,10	93,70	80,50	88,90	88,30	85,90	79,90	25,70	73,20	72,00	69,90	
16. Juni 1919	70,30	60,50	62,60	97,40	96,40	95,40	98,00	108,10	109,30	103,90	89,00	97,40	96,80	94,40	88,40	27,40	78,10	76,90	74,80	
1. Juli 1919	70,30	60,50	62,60	97,40	96,40	95,40	98,00	108,10	109,30	103,90	89,00	97,40	96,80	94,40	88,40	27,40	79,85	78,65	76,55	
1. Aug. 1919	70,30	60,50	62,60	97,40	96,40	95,40	98,00	108,10	109,30	103,90	89,00	97,40	96,80	94,40	88,40	27,40	82,75	81,55	79,45	
1. Okt. 1919	80,80	71,00	73,10	113,15	112,15	111,15	113,75	123,85	125,05	119,65	104,75	113,15	112,55	110,15	104,15	29,90	97,25	96,05	93,95	
1. Dez. 1919	92,20	80,00	82,10	126,65	125,65	124,65	127,25	142,35	143,55	138,15	121,25	129,65	129,05	126,65	120,65	32,90	108,25	107,05	104,95	
1. Jan. 1920 ³	114,70	100,00	102,10	155,00	154,00	153,00	155,60	175,90	177,10	171,70	152,60	161,00	160,40	158,00	152,00	42,40	150,40	149,20	147,10	
1. Febr. 1920	160,90	139,90	142,70	217,70	216,30	214,90	226,10	258,30	258,30	241,50										