

Direktion
der städt. Betriebe

1. Teil

Gastafeln

Physikalische, thermodynamische und brenn-
technische Eigenschaften
der Gase und sonstigen Brennstoffe

Von

Dr.-Ing. Horst Brückner

Karlsruhe

A. Physikalische Eigenschaften.

1.) Atomgewichte.

(1936.)

	Symbol	Atomgewicht		Symbol	Atomgewicht
Aluminium	Al	26,97	Neon	Ne	20,183
Antimon	Sb	121,76	Nickel	Ni	58,69
Argon	Ar	39,944	Niob	Nb	92,91
Arsen	As	74,91	Osmium	Os	191,5
Barium	Ba	137,36	Palladium	Pd	106,7
Beryllium	Be	9,02	Phosphor	P	31,02
Blei	Pb	207,22	Platin	Pt	195,23
Bor	B	10,82	Praseodym	Pr	140,92
Brom	Br	79,916	Quecksilber	Hg	200,61
Cadmium	Cd	112,41	Radium	Ra	225,97
Caesium	Cs	132,91	Radon	Rn	222
Calcium	Ca	40,08	Rhenium	Re	186,31
Cassiopeium	Cp	175,0	Rhodium	Rh	102,91
Cer	Ce	140,13	Rubidium	Rb	85,44
Chlor	Cl	35,457	Ruthenium	Ru	101,7
Chrom	Cr	52,01	Samarium	Sm	150,43
Dysprosium	Dy	162,46	Sauerstoff	O	16,0000
Eisen	Fe	55,84	Scandium	Sc	45,10
Erbium	Er	167,64	Schwefel	S	32,06
Europium	Eu	152,0	Selen	Se	78,96
Fluor	F	19,000	Silber	Ag	107,880
Gadolinium	Gd	157,3	Silicium	Si	28,06
Gallium	Ga	69,72	Stickstoff	N	14,008
Germanium	Ge	72,60	Strontium	Sr	87,63
Gold	Au	197,2	Tantal	Ta	181,4
Hafnium	Hf	178,6	Tellur	Te	127,61
Helium	He	4,002	Terbium	Tb	159,2
Holmium	Ho	163,5	Thallium	Tl	204,39
Indium	In	114,76	Thorium	Th	232,12
Iridium	Ir	193,1	Thulium	Tm	169,4
Jod	J	126,92	Titan	Ti	47,90
Kalium	K	39,096	Uran	U	238,14
Kobalt	Co	58,94	Vanadium	V	50,95
Kohlenstoff	C	12,00	Wasserstoff	H	1,0078
Krypton	Kr	83,7	Wismut	Bi	209,00
Kupfer	Cu	63,57	Wolfram	W	184,0
Lanthan	La	138,92	Xenon	X	131,3
Lithium	Li	6,940	Ytterbium	Yb	173,04
Magnesium	Mg	24,32	Yttrium	Y	88,92
Mangan	Mn	54,93	Zink	Zn	65,38
Molybdän	Mo	96,0	Zinn	Sn	118,70
Natrium	Na	22,997	Zirkonium	Zr	91,22
Neodym	Nd	144,27			

2. Spezifisches Gewicht (bezogene Dichte).

I. Normkubikmetergewicht und spezifisches Gewicht (bezogene Dichte) von Gasen.

a) Normkubikmetergewicht und bezogene Dichte der Gase.

Das Normkubikmetergewicht (kg/Nm^3) stellt das in kg ausgedrückte Gewicht von einem Kubikmeter Gas im Normzustand (760 Torr, 0°C , trocken) dar.

Die bezogene Dichte (spezifisches Gewicht) eines Gases gibt die Zahl an, wievielmals so schwer ein Volumen des Gases ist als das gleiche Volumen trockener und kohlendioxidfreier Luft, beide im Normzustand gemessen.

Für die Umrechnung eines bei $t^\circ\text{C}$ und p Torr gemessenen Gasvolumens $V_{p,t}$ auf Normbedingungen gilt die Gleichung

$$V_N = V_{p,t} \cdot \frac{273}{760} \cdot \frac{B_0 + p_u - \varphi}{273 + t} \dots \dots \dots (1a)$$

bzw.
$$V_N = V_{p,t} \cdot 0,359 \cdot \frac{B_0 + p_u - \varphi}{273 + t} \dots \dots \dots (1b)$$

Darin bedeuten B_0 den reduzierten Barometerstand, p_u den Überdruck des Gases (Torr), φ den Wasserdampfdruck des Gases (Torr) und t die Gastemperatur ($^\circ\text{C}$).

Für genaue Berechnungen ist ferner die Abweichung vom idealen Gaszustand zu berücksichtigen, indem die rechte Seite der Gleichungen (1a) und (1b) mit dem Korrektionsglied

$$[1 - z_0 (p - 760)]$$

multipliziert wird.

Das Molvolumen V_M eines Gases vom Molgewicht M ist das im Normzustand in Nm^3 gemessene Volumen von M kg . Für technische Rechnungen gilt mit genügender Genauigkeit

$$V_M = 22,4 \text{ Nm}^3/\text{kmol}.$$

Für genaue Berechnungen muß auch in diesem Fall die Abweichung von dem idealen Gasgesetz berücksichtigt werden. Dies gilt vor allem für Gase, deren kritische Temperatur oberhalb der durchschnittlichen Raumtemperatur liegt.

Für wärmetechnische Rechnungen ist wichtig der Kohlenstoffgehalt von 1 Nm^3 Kohlenstoff enthaltenden Gase. Dieser ist durchschnittlich anzunehmen mit $0,535 \text{ kg}/\text{Nm}^3$. Für genaue Rechnungen ist dieser jedoch verschieden und beträgt beispielsweise für Kohlenoxyd $0,536$, für Kohlendioxyd $0,539$, für Methan $0,537$, für Azetylen $2 \cdot 0,540$ und für Propan $3 \cdot 0,550 \text{ kg}/\text{Nm}^3$.

Das Normkubikmetergewicht und die bezogene Dichte von Gasgemischen errechnet sich additiv aus den entsprechenden Werten der Einzelgase.

Normkubikmetergewicht und bezogene Dichte der Gase (DIN 1871).

Gas	Molekulargewicht M	Molvolumen bei 0° und 760 Torr Nm ³ /kmol	Norm- kubikmeter- gewicht kg/Nm ³	Bezogene Dichte bei 0° und 760 Torr	$\rho \cdot 10^6$	
Luft (CO ₂ -frei)		28,96	22,40	1,2928	1,0000	— 0,8
Helium	He	4,002	22,42	0,1785	0,1381	— 0,7
Neon	Ne	20,183	22,43	0,8999	0,6961	— 0,6
Argon	Ar	39,944	22,39	1,7839	1,3799	— 1,3
Wasserstoff	H ₂	2,0156	22,43	0,08987	0,06952	— 0,8
Stickstoff	N ₂	28,016	22,40	1,2505	0,9673	— 0,6
Luftstickstoff			22,39	1,2567	0,9721	
Sauerstoff	O ₂	32,0000	22,39	1,42895	1,1053	— 1,3
Chlor	Cl ₂	70,914	22,02	3,22	2,49	— 22,9
Kohlenoxyd	CO	28,00	22,40	1,2500	0,9669	— 0,6
Stickoxyd	NO	30,008	22,39	1,3402	1,0367	— 1,5
Stickoxydul	N ₂ O	44,016	22,25	1,9780	1,5300	— 9,7
Kohlendioxyd	CO ₂	44,00	22,26	1,9768	1,5291	— 9,2
Schwefeldioxyd	SO ₂	64,06	21,89	2,9263	2,2635	— 31,2
Methan	CH ₄	16,03	22,36	0,7168	0,5545	— 2,9
Azetylen	C ₂ H ₂	26,02	22,22	1,1709	0,9057	— 11,8
Äthylen	C ₂ H ₄	28,03	22,24	1,2605	0,9750	— 10,5
Äthan	C ₂ H ₆	30,05	22,16	1,356	1,049	— 15,5
Propylen	C ₃ H ₆	42,05	21,96	1,915	1,481	— 26,4
Propan	C ₃ H ₈	44,06	21,82	2,019	1,562	— 34,6
Butylen ¹⁾	C ₄ H ₈	56,06	[22,4]	[2,50]	[1,93]	—
Normal-Butan	C ₄ H ₁₀	58,08	21,49	2,703	2,091	— 54,0
Iso-Butan	C ₄ H ₁₀	58,08	21,77	2,668	2,064	— 37,6
Benzoldampf ²⁾	C ₆ H ₆	78,05	[22,4]	[3,48]	[2,69]	—
Ammoniak	NH ₃	17,031	22,08	0,7714	0,5967	— 20,3
Chlorwasserstoff	HCl	36,465	22,25	1,6391	1,2679	— 9,8
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	34,08	22,14	1,5392	1,1906	— 13,7
Methylchlorid	CH ₃ Cl	50,48	21,88	2,307	1,784	— 32,4
Wasserdampf ²⁾	H ₂ O	18,0156	[22,4]	[0,804]	[0,622]	—

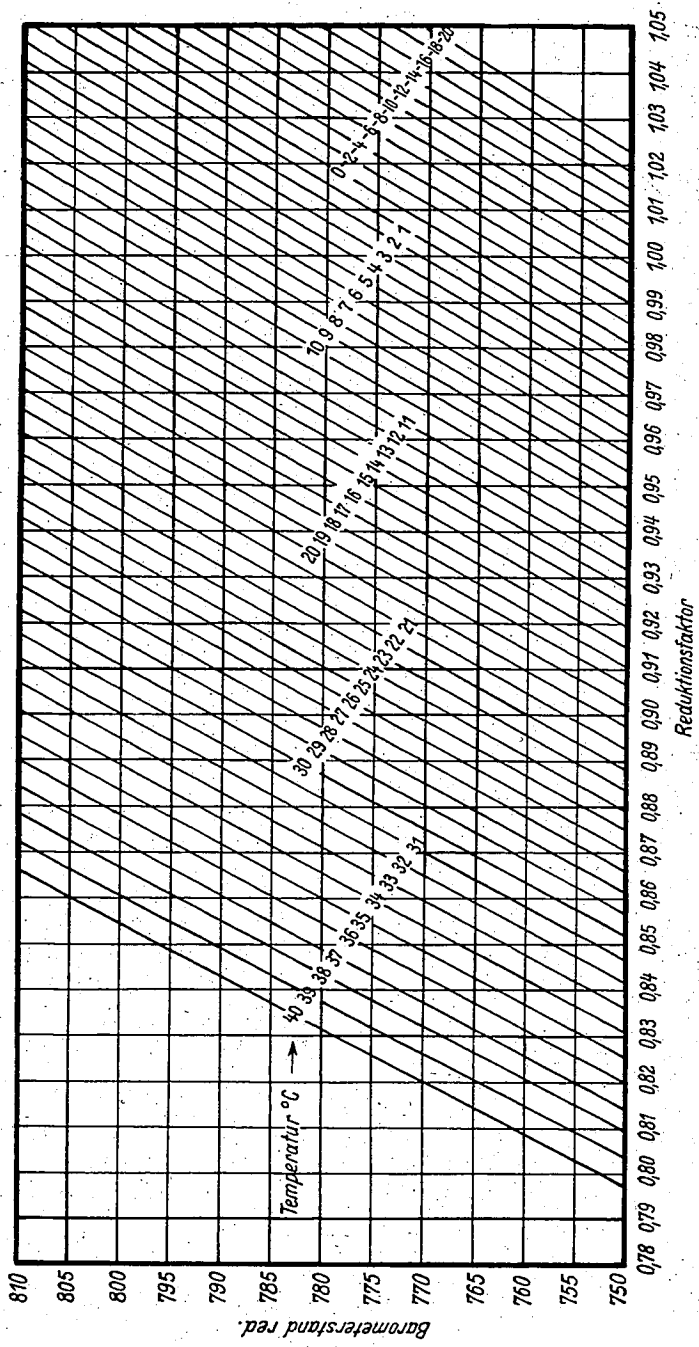
¹⁾ Das Normkubikmetergewicht des Butylens ist bisher nicht gemessen worden; die angegebene Zahl, die nur als Anhaltswert gelten soll, wurde ermittelt durch Division des Molekulargewichts durch das Molvolumen: Normkubikmetergewicht = $\frac{M}{22,4}$.

²⁾ Dämpfe können nicht in den Normzustand übergeführt werden; für technische Berechnungen genügt als Anhaltswert: Normkubikmetergewicht = $\frac{M}{22,4}$.

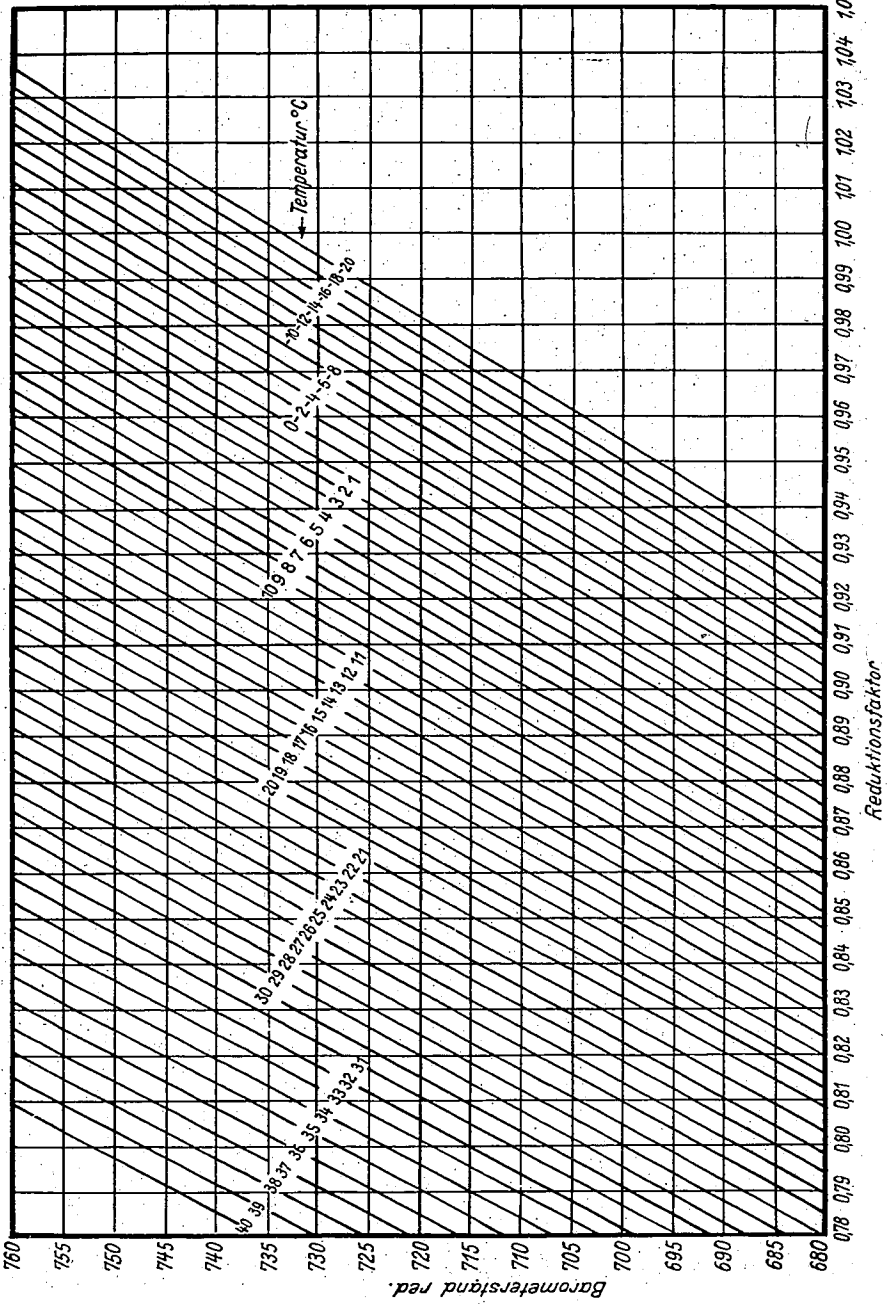
b) Zusammensetzung der Luft.

Gas	Vol.-%	Gew.-%
Sauerstoff	20,93	23,1
Stickstoff	78,03	75,6
Kohlendioxyd	0,03	0,046
Wasserstoff	5 · 10 ⁻⁵	3,5 · 10 ⁻⁶
Helium	5 · 10 ⁻⁴	7 · 10 ⁻⁵
Neon	1,5 · 10 ⁻³	1 · 10 ⁻³
Argon	0,932	1,285
Krypton	1 · 10 ⁻⁴	3 · 10 ⁻⁴
Xenon	1 · 10 ⁻⁵	4 · 10 ⁻⁵

e) Tafel zur Bestimmung des Reduktionsfaktors von Gasen für die Umrechnung eines bei beliebigen Bedingungen feucht gemessenen Gasvolumens auf Normalbedingungen (0°, 760 Torr, tr.)



Für die Ermittlung des Reduktionsfaktors sucht man den Schnittpunkt der entsprechenden Linien für die Temperatur und den reduzierten Barometerstand unter Berücksichtigung eines etwaigen Überdruckes auf, worauf auf der Abszissenachse der gesuchte Reduktionsfaktor abgelesen wird.



Barometerstand red.

Reduktionsfaktor

c) Umrechnung des spezifischen Gewichts von wasserdampfgesättigten Gasen auf trockenem Zustand.
(Zipperer, Gas- und Wasserfach 75, 839, 1932.)

$$\gamma_{\text{trocken}} = \gamma_{\text{feucht}} - \frac{0,622 \cdot \varphi \cdot (1 - \gamma_{\text{feucht}})}{B_0 + p_{\ddot{u}} - \varphi}$$

Darin bedeuten:

Korrektionsglied.

γ_{trocken} = spezifisches Gewicht des Gases unter Betriebsbedingungen trocken,

γ_{feucht} = spezifisches Gewicht des Gases unter Betriebsbedingungen feucht,

B_0 = reduzierter Barometerstand (Torr),

$p_{\ddot{u}}$ = Überdruck des Gases (Torr oder $\frac{\text{mm WS}}{13,595}$). (Bei Bestimmung des spezifischen Gewichts von Gasen im Bunsen-Schilling-Gerät beträgt $p_{\ddot{u}} = 14-16$ Torr)

φ = Wasserdampf-sättigungsdruck bei t °C in Torr.

1000-facher Wert des Korrektionsgliedes für $B_0 + p_{\ddot{u}} = 740, 760$ und 780 Torr.

t °C	$\gamma = 0,4$			$\gamma = 0,5$		
	740	760	780	740	760	780
18	8,0	7,7	7,6	6,6	6,5	6,3
19	8,5	8,3	8,0	7,1	6,9	6,7
20	9,1	8,8	8,6	7,6	7,4	7,2
21	9,6	9,4	9,1	8,0	7,8	7,6
22	10,3	10,0	9,7	8,6	8,3	8,1

Für sehr genaue Bestimmungen ist zu beachten, daß nach Kretschmer¹⁾ und Schiller²⁾ der Ausflußbeiwert nicht mehr als konstant angenommen werden darf. Die Unterschiede bleiben jedoch auf die dritte Dezimale beschränkt.

d) Umrechnung des spezifischen Gewichts von Gasen auf Betriebszustand (in kg/m^3).

$$\gamma_t = \frac{273}{(273 + t) \cdot 760} [0,804 \cdot w + \gamma_0 (B_0 + p_{\ddot{u}} - \varphi)].$$

Darin bedeuten:

γ_t = spezifisches Gewicht des Gases im Betriebszustand (kg/m^3),

γ_0 = spezifisches Gewicht des Gases unter Normalbedingungen (0°, 760 Torr, tr.),

B_0 = reduzierter Barometerstand (Torr),

$p_{\ddot{u}}$ = Überdruck des Gases (Torr oder $\frac{\text{mm WS}}{13,595}$),

φ = Wasserdampf-sättigungsdruck bei t °C in Torr,

t = Temperatur des Gases (°C).

¹⁾ Forschung 3, 150, 286 (1932). — ²⁾ Forschung 4, 225 (1933).

f) Umrechnung von mm Wasserdruck in mm Quecksilberdruck (Torr).

mm	Wasserdruck in mm									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	entsprechender Druck in Torr (mm.QS)									
0	0,00	0,07	0,15	0,22	0,29	0,37	0,44	0,51	0,59	0,66
10	0,74	0,81	0,88	0,96	1,03	1,10	1,18	1,25	1,32	1,40
20	1,47	1,54	1,62	1,69	1,77	1,84	1,91	1,99	2,06	2,13
30	2,21	2,28	2,35	2,43	2,50	2,57	2,65	2,72	2,80	2,87
40	2,94	3,02	3,09	3,16	3,24	3,31	3,38	3,46	3,53	3,60
50	3,68	3,75	3,82	3,90	3,97	4,05	4,12	4,19	4,27	4,34
60	4,41	4,49	4,56	4,63	4,71	4,78	4,85	4,93	5,00	5,08
70	5,15	5,22	5,30	5,37	5,44	5,52	5,59	5,66	5,74	5,81
80	5,88	5,96	6,03	6,10	6,18	6,25	6,33	6,40	6,47	6,55
90	6,62	6,69	6,77	6,84	6,91	6,99	7,06	7,13	7,21	7,28
100	7,36	7,43	7,50	7,58	7,65	7,72	7,80	7,87	7,94	8,02
110	8,09	8,16	8,24	8,31	8,39	8,46	8,53	8,61	8,68	8,75
120	8,83	8,90	8,97	9,05	9,12	9,19	9,27	9,34	9,41	9,49
130	9,56	9,64	9,71	9,78	9,86	9,93	10,00	10,08	10,15	10,22
140	10,30	10,37	10,44	10,52	10,59	10,67	10,74	10,81	10,89	10,96
150	11,03	11,11	11,18	11,25	11,33	11,40	11,47	11,55	11,62	11,70
160	11,77	11,84	11,92	11,99	12,06	12,14	12,21	12,28	12,36	12,43
170	12,50	12,58	12,65	12,72	12,80	12,87	12,95	13,02	13,09	13,17
180	13,24	13,31	13,39	13,46	13,53	13,61	13,68	13,75	13,83	13,90
190	13,98	14,05	14,12	14,20	14,27	14,34	14,42	14,49	14,56	14,64
200	14,71	14,78	14,85	14,93	15,00	15,07	15,15	15,22	15,29	15,37

g) Luftfeuchtigkeit.

Der Gehalt der Luft oder eines anderen Gases an Wasserdampf wird angegeben. 1. als absolute Feuchtigkeit A in g/m^3 Luft (Gas), 2. als spezifische Feuchtigkeit φ in g/kg Luft (Gas) oder 3. als relative Feuchtigkeit, d. h. als das Verhältnis des vorhandenen Wasserdampfes e zum vollen Sättigungsdruck E bei der betreffenden Temperatur: $e : E$.

Die letztere wird zumeist in Prozenten angeführt: $r = \frac{100 e}{E}$.

Für die absolute Feuchtigkeit A und die spezifische Feuchtigkeit φ gelten, wenn gleichzeitig $\alpha = \frac{1}{273}$ und B_0 den Luftdruck in Torr bedeuten, folgende Beziehungen zum Dampfdruck:

$$A = \frac{1,060}{1 + \alpha t} \cdot e$$

$$\varphi = 623 \frac{e}{B_0 + 0,377 e}$$

Bei gleichem Druck ist feuchte Luft spezifisch leichter als trockene Luft: Raumluft enthält durchschnittlich 50% relative Feuchtigkeit.

Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes eines Gases erfolgt zumeist mit dem Haarhygrometer von Saussure und Klinkerfues. Dieses

beruht darauf, daß das Menschenhaar durch den Feuchtigkeitsgehalt eine diesem proportionale Ausdehnung erfährt. Der Feuchtigkeitsgrad wird an einer empirisch geeichten Skala abgelesen.

Genäue Bestimmungen der Luft- oder Gasfeuchtigkeit werden mit dem Augustschen Psychrometer vorgenommen. Bei diesem wird die Kugel eines Quecksilberthermometers mit feuchtem Mull umwickelt und diese zugleich mit einem trockenen Thermometer dem zu untersuchenden Luft- (Gas-)strom bei der Temperatur t ausgesetzt. Bei dem feuchten Thermometer erhält man dadurch einen Abfall der Temperatur auf diejenige, bei der die von diesem abziehende Luft den gleichen Wärmeinhalt besitzt wie die ungesättigte untersuchte Luft zuzüglich der Verdampfungswärme der zur Sättigung notwendigen Feuchtigkeit. Zwischen den beiden Thermometern entsteht daher ein theoretisch er-rechenbarer Temperaturunterschied Δ . Theoretisch gilt $\Delta = t - f$, der volle Unterschied wird jedoch bei den handelsüblichen Geräten nicht erreicht, so daß $\Delta > t - f$ wird. Die Gütezahl des Gerätes $a = [t - f]/\Delta < 1$ soll folgende Werte aufweisen:

$t =$	20	40	60	90	120 °C
$a =$	0,995	0,985	0,955	0,95	0,95.

Theoretisch ($a = 1,00$) ergibt sich der Teildruck p_D des Wasserdampfes aus der Psychrometerdifferenz Δ zu

$$p_D = \frac{B_0}{1 + \frac{r_f + (\lambda_t - \lambda_f)}{r_f \cdot p_f (B_0 - p_f) - c_p \Delta \frac{R_D}{R_L}}} \quad (1)$$

Darin bedeuten:

B_0 = Barometerstand,

r = Verdampfungswärme,

λ = Wärmeinhalt,

p = Sättigungsdruck des Wasserdampfes,

c_p = spezifische Wärme der Luft (kcal/kg),

R = Gaskonstante von Dampf und Luft.

Für Temperaturen bis 40° gilt die Formel von Sprung:

$$p_D = p_f - 0,5 \cdot \frac{B_0}{755} (t - f) \text{ Torr} \quad (2)$$

Psychrometertafel.

t = Temperatur des trockenen Thermometers (°C),

f = Temperatur des feuchten Thermometers (°C),

A = absoluter Feuchtigkeitsgehalt (Torr),

r = relativer Feuchtigkeitsgehalt (%),

T_p = Taupunkt (Sättigungstemperatur) (°C).

t °C	Psychrometrische Differenz $t - f$											
	0°			1°			2°			3°		
	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C
0	4,6	100	0	3,7	81	-2,5	2,9	63	-5,5	2,1	45	-9,3
1	4,9	100	1	4,1	82	-1,4	3,2	65	-4,2	2,4	48	-7,7
2	5,3	100	2	4,4	83	-0,4	3,6	68	-3,0	2,7	51	-6,2
3	5,7	100	3	4,8	84	+0,6	3,9	69	-1,9	3,1	54	-4,7
4	6,1	100	4	5,2	85	1,7	4,3	70	-0,8	3,4	56	-3,5
5	6,5	100	5	5,6	86	2,8	4,7	72	+0,3	3,8	58	-2,3
6	7,0	100	6	6,0	86	3,9	5,1	73	1,5	4,2	60	-1,1
7	7,5	100	7	6,5	87	4,9	5,5	74	2,6	4,6	61	+0,1
8	8,0	100	8	7,0	87	6,0	6,0	75	3,7	5,0	63	1,3
9	8,6	100	9	7,5	88	7,0	6,5	76	4,9	5,5	64	2,6
10	9,2	100	10	8,1	88	8,1	7,0	76	6,0	6,0	65	3,8
11	9,8	100	11	8,7	88	9,2	7,6	77	7,2	6,5	66	5,0
12	10,5	100	12	9,3	89	10,2	8,2	78	8,3	7,1	68	6,2
13	11,2	100	13	10,0	89	11,3	8,8	79	9,4	7,7	69	7,4
14	12,0	100	14	10,7	89	12,3	9,5	79	10,5	8,3	70	8,5
15	12,8	100	15	11,5	90	13,4	10,2	80	11,6	9,0	71	9,7
16	13,6	100	16	12,3	90	14,4	11,0	81	12,7	9,7	71	10,8
17	14,5	100	17	13,1	90	15,4	11,8	81	13,7	10,5	72	12,0
18	15,5	100	18	14,0	91	16,5	12,6	82	14,8	11,3	73	13,1
19	16,5	100	19	15,0	91	17,5	13,5	82	15,9	12,1	74	14,2
20	17,5	100	20	16,0	91	18,5	14,5	83	16,9	13,0	74	15,3
21	18,6	100	21	17,1	91	19,5	15,5	83	18,0	14,0	75	16,4
22	19,8	100	22	18,2	92	20,6	16,5	83	19,1	15,0	76	17,5
23	21,1	100	23	19,4	92	21,6	17,6	84	20,1	16,1	76	18,6
24	22,4	100	24	20,6	92	22,6	18,8	84	21,2	17,2	77	19,6
25	23,8	100	25	21,9	92	23,6	20,1	84	22,2	18,4	77	20,7
26	25,2	100	26	23,3	92	24,6	21,4	85	23,2	19,6	78	21,8
27	26,7	100	27	24,7	92	25,7	22,8	85	24,3	20,9	78	22,8
28	28,3	100	28	26,2	93	26,7	24,2	85	25,3	22,3	78	23,9
29	30,0	100	29	27,8	93	27,7	25,7	86	26,4	23,7	79	25,0
30	31,8	100	30	29,5	93	28,7	27,3	86	27,4	25,2	79	26,0

t °C	Psychrometrische Differenz $t - f$											
	4°			5°			6°			7°		
	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C
0	1,3	28	14,6	0,5	11	24,2						
1	1,6	32	12,4	0,8	16	19,9						
2	1,9	35	10,4	1,1	20	16,6						
3	2,2	39	8,5	1,4	24	13,8	0,6	10	23,0			
4	2,6	42	6,8	1,7	28	11,4	0,9	14	18,6			
5	2,9	45	5,3	2,1	32	9,3	1,2	19	15,2	0,4	6	27,1
6	3,3	47	3,9	2,4	35	7,5	1,6	23	12,3	0,7	10	20,8
7	3,7	49	2,6	2,8	37	5,9	1,9	26	10,1	1,1	14	16,5
8	4,1	51	1,3	3,2	40	4,3	2,3	29	8,1	1,4	18	13,5
9	4,5	53	0,1	3,6	42	2,9	2,7	31	6,3	1,8	21	11,0
10	5,0	54	1,2	4,0	44	1,5	3,1	34	4,6	2,2	24	8,7

t °C	Psychrometrische Differenz t-f											
	4°			5°			6°			7°		
	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C
11	5,5	56	2,6	4,5	46	0,2	3,5	36	3,1	2,6	26	6,7
12	6,0	57	3,9	5,0	48	1,2	4,0	38	1,6	3,0	29	4,9
13	6,6	59	5,1	5,5	49	2,7	4,5	40	0,2	3,5	31	3,2
14	7,2	60	6,4	6,1	51	4,0	5,0	42	1,3	4,0	34	1,6
15	7,8	61	7,6	6,7	52	5,4	5,6	44	2,8	4,5	36	0,1
16	8,5	62	8,8	7,3	54	6,7	6,2	46	4,3	5,1	37	1,5
17	9,2	64	10,0	8,0	55	8,0	6,8	47	5,6	5,7	39	3,1
18	10,0	65	11,2	8,7	56	9,2	7,5	49	7,0	6,3	41	4,6
19	10,8	65	12,4	9,5	58	10,5	8,2	50	8,3	7,0	43	6,0
20	11,6	66	13,5	10,3	59	11,7	9,0	51	9,6	7,7	44	7,4
21	12,5	67	14,7	11,1	60	12,9	9,8	52	10,9	8,5	46	8,8
22	13,5	68	15,8	12,0	61	14,1	10,6	54	12,2	9,3	47	10,1
23	14,5	69	16,9	13,0	61	15,2	11,5	55	13,4	10,1	48	11,4
24	15,5	69	18,1	14,0	62	16,4	12,5	56	14,6	11,0	49	12,7
25	16,7	70	19,2	15,0	63	17,5	13,5	57	15,8	12,0	50	14,0
26	17,8	71	20,3	16,1	64	18,7	14,4	58	17,0	13,0	51	15,2
27	19,1	71	21,4	17,3	65	19,8	15,7	59	18,2	14,0	52	16,5
28	20,4	72	22,4	18,6	65	20,9	16,8	59	19,3	15,2	53	17,7
29	21,8	72	23,5	19,9	66	22,0	18,1	60	20,5	16,3	54	18,9
30	23,3	73	24,6	21,3	67	23,2	19,4	61	21,6	17,6	55	20,0

t °C	Psychrometrische Differenz t-f											
	8°			9°			10°			11°		
	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C	A Torr	r %	T _p °C
11	1,7	17	11,6	0,8	8	19,7						
12	2,1	20	9,1	1,2	11	15,5						
13	2,5	23	7,0	1,6	14	12,2	0,7	6	21,2			
14	3,0	25	5,0	2,0	17	9,5	1,1	9	16,3			
15	3,5	27	3,2	2,5	20	7,1	1,5	12	16,2	0,6	5	22,6
16	4,0	30	1,5	3,0	22	5,0	2,0	15	9,6	1,0	8	16,8
17	4,6	32	0,1	3,5	24	3,1	2,5	17	7,1	1,5	10	12,8
18	5,2	34	1,8	4,1	27	1,3	3,0	20	4,9	2,0	13	9,6
19	5,8	35	3,4	4,7	29	0,4	3,6	22	2,9	2,5	15	6,9
20	6,5	37	5,0	5,3	30	2,1	4,2	24	1,0	3,1	18	4,6
21	7,2	39	6,4	6,0	32	3,8	4,8	26	0,8	3,7	20	2,5
22	8,0	40	7,9	6,7	34	5,4	5,5	28	2,6	4,3	22	0,6
23	8,8	42	9,3	7,5	36	6,9	6,2	30	4,3	5,0	24	1,3
24	9,6	43	10,7	8,3	37	8,4	7,0	31	5,9	5,7	26	3,1
25	10,5	44	12,0	9,1	38	9,9	7,8	33	7,5	6,5	27	4,9
26	11,5	46	13,3	10,0	40	11,3	8,6	34	9,0	7,3	29	6,6
27	12,5	47	14,6	11,0	41	12,7	9,7	36	10,5	8,1	30	8,2
28	13,5	48	15,9	12,0	42	14,0	10,5	37	11,9	9,0	32	9,7
29	14,7	49	17,1	13,0	43	15,3	11,5	38	13,3	10,0	33	11,2
30	15,8	50	18,4	14,1	44	16,6	12,5	39	14,7	11,0	34	12,7

h) Barometerstand und Ortshöhe.

Bei einem Barometerstand nahe 760 Torr entspricht ein Höhenunterschied von 10 m einer Veränderung des Luftdrucks von 0,95 Torr.

Wenn für eine Höhe H in m über dem Meere der korrigierte Barometerstand B_1 und für die Höhe des Meeresspiegels der korrigierte Barometerstand B_0 beträgt, gilt mit genügender Annäherung die Gleichung

$$H = \frac{16000 (B_0 - B_1)}{B_1 + B_0}.$$

H	B_1	H	B_1	H	B_1	H	B_1
0	760	400	723	800	688	3000	527
100	751	500	714	900	680	5000	417
200	740	600	705	1000	671	10000	229
300	732	700	697	2000	593	15000	124

i) Berechnung des Höhenunterschiedes aus den Barometerständen.

Wenn B_0 den korrigierten Barometerstand an einem unteren Ort der zu bestimmenden Höhe und B_1 zur gleichen Zeit den korrigierten Barometerstand an dem höher gelegenen Ort mit den entsprechenden Temperaturen t_0 und t_1 darstellen, kann der Höhenunterschied H (in m) errechnet werden nach der Formel

$$H = 18420 \cdot (\log B_0 - \log B_1) \cdot \left(1 + \frac{2(t_0 + t_1)}{1000}\right).$$

Wenn der untere Ort der Höhe des Meeresspiegels entspricht und die Temperaturen t_0 und t_1 gleich (t) sind, vereinfacht sich die obige Formel zu

$$H = 18420 \cdot (\log B_0 - \log B_1) \cdot \left(1 + \frac{4t}{1000}\right).$$

k) Mittlere Luftdruckverteilung in Deutschland¹⁾.

Über die Höhe des mittleren Luftdruckes in den verschiedenen Gebieten Deutschlands gibt die nachstehende Zusammenstellung, in der die wichtigsten Orte aufgenommen sind, Aufschluß. Es ergibt sich, daß der mittlere Luftdruck in der Norddeutschen Tiefebene und im Rheintal etwa 750—760 Torr, in Mitteldeutschland 735—750 Torr und in Süddeutschland 710—735 Torr beträgt.

¹⁾ Schumacher, Gas- und Wasserfach 74, 479 (1931).

Stadt	Durchschnittl. Barometerstand Torr	Stadt	Durchschnittl. Barometerstand Torr	Stadt	Durchschnittl. Barometerstand Torr
Aachen	742,8	Göttingen	747,3	Magdeburg	756,3
Ansbach	723,8	Halle a. S.	752,2	Mainz	753,3
Augsburg	718,6	Hamburg	759,5	Mannheim	753,5
Bamberg	736,8	Hannover	752,9	Marburg	740,2
Bayreuth	730,0	Heilbronn	745,0	München	716,9
Berlin	755,6	Herford	753,3	Münster i. W.	755,7
Bremen	759,2	Hof	719,7	Norden	760,1
Chemnitz	731,9	Instenburg	756,8	Nürnberg	734,3
Cleve	756,9	Jena	747,7	Oppeln	746,0
Donaueschingen	701,8	Kaiserslautern	741,0	Osteroede	750,5
Dresden	751,4	Karlsruhe	751,4	Plauen i. V.	728,6
Emden	760,0	Kassel	743,5	Ratibor	745,0
Erfurt	742,6	Koblenz	756,2	Regensburg	732,1
Erlangen	736,8	Köln	756,5	Rostock	756,2
Essen	751,6	Königsberg	758,1	Schwerin i. M.	755,2
Flensburg	758,6	Konstanz	723,8	Stettin	758,5
Frankfurt a. M.	751,8	Köslin	756,6	Stuttgart	737,2
Frankfurt a. O.	757,3	Landsberg a. W.	758,5	Tilsit	759,0
Freiberg	725,5	Landshut	727,7	Trier	748,0
Freiburg i. Br.	737,7	Leipzig	749,9	Ulm a. D.	718,7
Fürth	735,4	Leignitz	749,8	Waren	754,7
Glogau	746,9	Lindau	726,8	Würzburg	746,3
Görlitz	742,8	Lübeck	759,2	Zwickau	737,9

1) Druckzunahme des Stadtgases infolge des Auftriebs für verschiedene Höhenunterschiede (mm Wassersäule).

Druckunterschied ε mm WS

Höhenunterschied m m

Gewicht der Luft G kg/m³

spezifisches Gewicht des Gases γ

$$\pm \varepsilon = \pm m \cdot G (1 - \gamma).$$

Spez. Gewicht des Gases	Höhenunterschied in Metern								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,38	0,80	1,60	2,41	3,21	4,01	4,81	5,61	6,41	7,22
0,39	0,79	1,58	2,37	3,16	3,94	4,73	5,52	6,31	7,10
0,40	0,78	1,55	2,33	3,10	3,88	4,66	5,43	6,21	6,98
0,41	0,76	1,53	2,29	3,05	3,81	4,58	5,34	6,10	6,87
0,42	0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00	6,75
0,43	0,74	1,47	2,21	2,95	3,69	4,42	5,16	5,90	6,63
0,44	0,72	1,45	2,17	2,90	3,62	4,34	5,07	5,79	6,52
0,45	0,71	1,42	2,13	2,85	3,56	4,27	4,98	5,69	6,40
0,46	0,70	1,40	2,10	2,79	3,49	4,19	4,89	5,59	6,28
0,47	0,69	1,37	2,06	2,74	3,43	4,11	4,80	5,48	6,17
0,48	0,67	1,35	2,02	2,69	3,36	4,03	4,71	5,38	6,05
0,49	0,66	1,32	1,98	2,64	3,30	3,96	4,62	5,28	5,94
0,50	0,65	1,29	1,94	2,59	3,23	3,88	4,53	5,17	5,82

II. Spezifisches Gewicht (bezogene Dichte) und Schüttgewicht sonstiger Stoffe.

a) Physikalische Eigenschaften der wichtigsten Bestandteile des Steinkohlenteers und sonstiger organischer Stoffe.

Stoff	Formel	Molekular- gewicht	Dichte 20/4°	Schmelz- punkt ° C	Siede- punkt ° C	Verdampfungs- wärme kcal/kg bei ° C	
I. Methanreihe C_nH_{2n+2}							
Methan	CH_4	16,03	0,415 (-164)	— 184	— 161,4	131,4	— 161,4
Äthan	C_2H_6	30,05	0,546 (-88)	— 172	— 88,3	129	— 88,3
Propan	C_3H_8	44,06	0,585 (-44,5)	— 189,9	— 44,5	349	— 20
n-Butan	C_4H_{10}	58,08	0,600 (0)	— 135	0,6	333	20
i-Butan	C_4H_{10}	58,08	0,603 (0)	— 145	— 10,2	366	20
n-Pentan	C_5H_{12}	72,09	0,631	— 131,5	36,2	85,8	30
i-Pentan	C_5H_{12}	72,09	0,621	— 159,7	28,0	88,7	28
n-Hexan	C_6H_{14}	86,11	0,660	— 94,3	69,0	79,4	68
n-Heptan	C_7H_{16}	100,12	0,684	— 90,0	98,4	74,0	98
n-Oktan	C_8H_{18}	114,14	0,702	— 56,5	124,6	71,1	125
n-Dekan	$C_{10}H_{22}$	142,17	0,747	— 32,0	174	60,1	160
II. Äthylenreihe C_nH_{2n}							
Äthylen	C_2H_4	28,03	0,566 (-102)	— 169,4	— 103,8	125	— 103,5
Propylen	C_3H_6	42,05	0,609 (-47)	— 185,2	— 47,0	109	— 47
n-Butylen	C_4H_8	56,06	0,668 (0)	— 130	+ 1	96	+ 1
i-Butylen	C_4H_8	56,06	—	—	6	96	— 6
n-Amylen	C_5H_{10}	70,08	0,651	— 139	36,4	75,0	12,5
n-Hexylen	C_6H_{12}	84,09	0,683	— 98,5	64,1	92,8	0
III. Cycloparaffine C_nH_{2n}							
Cyclohexan	C_6H_{12}	84,09	0,779	— 6,5	81,4	85,4	81
Methylcyclohexan	C_7H_{14}	98,11	0,764	— 126,4	100,8	75,7	98
Cycloheptan	C_7H_{14}	98,11	0,811	— 12	118,1	—	—
IV. Acetylenreihe C_nH_{2n-2}							
Acetylen	C_2H_2	26,02	0,613 (-80)	— 81,8	— 83,6	198	— 83,6
Allylen	C_3H_4	40,03	0,660 (-13)	— 104,7	— 27,5	131	— 27,5
Crotonylen	C_4H_6	54,05	0,668 (0)	—	28,9	—	—
V. Tetrahydro- benzolkohlen- wasserstoffe C_nH_{2n-2}							
Tetrahydrobenzol	C_6H_{10}	82,08	0,810	— 103,7	83	88,6	83
Tetrahydrotoluol	C_7H_{12}	96,09	0,809	—	111	—	—
VI. Cyclopenta- dienreihe							
Cyclopentadien	C_5H_6	66,05	0,805	—	42,5	—	—
VII. Dihydrobenz- zolkohlenwasser- stoffe C_nH_{2n-4}							
Dihydrobenzol (1,3)	C_6H_8	80,06	0,830	—	80,5	—	—
Dihydrotoluol (1,3)	C_7H_{10}	94,08	0,835	—	110,1	—	—

Stoff	Formel	Molekular- gewicht	Dichte 20/4°	Schmelz- punkt ° C	Siede- punkt ° C	Verdampfungs- wärme kcal/kg bei ° C
VIII. Benzolreihe C_nH_{2n-6}						
Benzol	C_6H_6	78,05	0,878	— 5,5	79,6	94,4 80
Toluol	C_7H_8	92,06	0,866	— 95,1	110,5	86,5 110
o-Xylol	C_8H_{10}	106,08	0,879	— 27,1	144	82,5 144
m-Xylol	C_8H_{10}	106,08	0,865	— 53,6	139	81,8 139
p-Xylol	C_8H_{10}	106,08	0,861	— 13,2	137,7	81,0 138
Äthylbenzol	C_8H_{10}	106,08	0,868	— 92,8	136	76,4 135
Trimethylbenzol (1, 2, 3)	C_9H_{12}	120,09	0,895	—	176,5	—
Trimethylbenzol (1, 2, 4) Pseudocumol	C_9H_{12}	120,09	0,87	— 61,0	169,8	72,8 168
Trimethylbenzol (1, 3, 5) Mesitylen	C_9H_{12}	120,09	0,863	— 52,7	164,6	74,4 165
IX. Benzolkohlenwasserstoffe mit unges. Seitenkette						
Styrol	C_8H_8	104,06	0,903	—	146	—
Inden	C_9H_8	116,06	1,006	— 2	182,4	—
X. Naphthalinreihe C_nH_{2n-12}						
Naphthalin	$C_{10}H_8$	128,06	1,145	— 80,1	217,9	75,4 218
α -Methylnaphthalin	$C_{11}H_{10}$	142,08	1,025	— 22	243	—
β -Methylnaphthalin	$C_{11}H_{10}$	142,08	1,029	— 35,1	245	—
XI. Sonstige aromatische Kohlenwasserstoffe						
Acenaphthen	$C_{12}H_{10}$	154,08	1,024 (99)	95	277,5	—
Diphenyl	$C_{12}H_{10}$	154,08	1,041	69	254,9	74,4 255
Fluoren	$C_{13}H_{10}$	166,08	—	116	295	—
Anthracen	$C_{14}H_{10}$	178,08	1,25 (27)	218	342	—
Phenanthren	$C_{14}H_{10}$	178,08	1,025	99,6	340	—
Fluoranthren	$C_{15}H_{10}$	190,08	—	110	251 (60)	—
Pyren	$C_{16}H_{10}$	202,08	—	150	> 360	—
Chrysen	$C_{18}H_{12}$	228,09	—	251	448	—
Reten	$C_{18}H_{18}$	234,14	1,13 (16)	98,5	394	—
XII. Sauerstoffhaltige Stoffe						
Methanol	CH_4O	32,03	0,792	— 97,8	64,5	263 64,5
Äthylalkohol	C_2H_6O	46,05	0,789	— 117,3	78,5	216 78
Aceton	C_3H_6O	58,05	0,792	— 94,3	56,1	125 56
Äthylmethylketon .	C_4H_8O	72,06	0,805	— 86,4	79,6	106 79,6
Phenol	C_6H_6O	94,05	1,071 (25)	41	182	—
o-Kresol	C_7H_8O	108,06	1,051	30,1	190,8	—
m-Kresol	C_7H_8O	108,06	1,035	10	202,8	101 203
p-Kresol	C_7H_8O	108,06	1,039 (15)	34,8	201,1	—
1, 3, 5-Xylenol . . .	$C_8H_{10}O$	122,08	—	68	219,5	—
α -Naphthol	$C_{10}H_8O$	144,06	1,224	96	280	—
β -Naphthol	$C_{10}H_8O$	144,06	1,217	122	286	—
Cumaron	$C_{10}H_8O$	118,05	1,091	<— 18	175	—
Diphenylenoxyd . . .	$C_{12}H_8O$	168,06	—	87	288	—

Stoff	Formel	Molekular- gewicht	Dichte 20/4°	Schmelz- punkt ° C	Siede- punkt ° C	Verdampfungs- wärme kcal/kg bei ° C
XIII. Stickstoff- haltige Stoffe						
Anilin	C ₆ H ₇ N	93,06	1,022	— 6,2	184,4	110 184
Pyridin	C ₅ H ₅ N	79,05	0,982	— 42	115,3	102 115
α-Picolin	C ₆ H ₇ N	93,06	0,950	— 69,9	128	90,75 128
β-Picolin	C ₆ H ₇ N	93,06	0,952	—	143,5	—
γ-Picolin	C ₆ H ₇ N	93,06	0,957	—	143,1	—
α-α-Lutidin	C ₈ H ₉ N	107,08	0,947 (0)	—	156,5	—
Chinolin	C ₈ H ₇ N	129,06	1,093	— 19,5	237,7	—
Isochinolin	C ₈ H ₇ N	129,06	1,099	23	243	—
Acridin	C ₁₃ H ₉ N	179,08	—	108	346	—
Pyrrrol	C ₄ H ₅ N	67,05	0,948	—	131	—
Carbazol	C ₁₂ H ₉ N	167,08	—	244,8	354,8	—

**XIV. Schwefel-
haltige Stoffe**

Kohlenoxysulfid	COS	64,07	1,24 (— 87)	— 138	— 48	—
Schwefelkohlenstoff	CS ₂	76,13	1,262	— 111,6	— 46,3	86,5 46,3
Äthylmerkaptan	C ₂ H ₅ S	62,11	0,840	— 121	34,7	—
Thiophen	C ₄ H ₄ S	84,10	1,065	— 40	85	—
Methylthiophen	C ₃ H ₄ S	98,12	—	— 114	—	—
α-α-Thioxen	C ₆ H ₄ S	112,13	0,976	—	137,5	—
Thionaphthen	C ₈ H ₆ S	134,11	1,165	32	221	—

**b) Spezifisches Gewicht (bezogene Dichte) fester Stoffe
(bei 15—20°).**

(Bezogen auf Wasser bei + 4° C = 1,000.)

Metalle und Elemente.	Quecksilber s. bes. Tab.	Sonstige anorganische Stoffe.
Aluminium, rein 2,703	Rhenium 20,5	Ätzkali 2,1
Aluminiumblech 2,713	Rhodium 12,4	Ätznatron (22,2% H ₂ O) 2,0
Blei, rein 11,32	Schwefel rhomb. 2,07	Asbest 2,1—2,5
Brom 3,14	Silber 10,51	Basalt 2,6—3,0
Cadmium 8,64	Silicium, krist. 2,34	Beton 1,8—2,8
Calcium 1,54	Vanadium 5,8	Bimsstein, natür- lich 0,4—0,9
Cer 6,8	Wolfram 19,1	Bimsstein, Wie- ner 2,2—2,5
Chrom, rein 6,92	Zink 7,1	Bleiglätte, natür- lich 7,8—8,0
Eisen, rein 7,86	Zinn 7,28	Bleiglätte, künst- lich 9,3—9,4
Gold 19,30		Bleiweiß 6,7
Jod 4,93	Legierungen.	Calciumkarbid 2,24
Kalium 0,862	Roheisen, grau 7,04—7,18	Chlornatrium 2,16
Kobalt 8,83	» , weiß 7,6—7,7	Dolomit 2,2—2,8
Kohlenstoff:	Schmiedeeisen 7,8—7,85	Eis 0,88—0,92
Diamant 3,51	Flußstahl 7,70	Erde, gestampft, trocken 1,6—1,9
Graphit 2,2—2,3	Aluminium- bronze 8,35	Erde, gestampft, feucht 2,0
Kohlenstoff 1,7—1,9	Phosphorbronze 8,8	
Kupfer 8,933	Rotguß 8,8—8,9	
Mangan 7,3	Messingblech 8,5	
Nickel 8,85	Schmiedemessing 8,5	
Palladium 11,9	Weißmetall 7,5—8,5	
Platin 21,4	Silumin 2,6	

Spezifisches Gewicht (bezogene Dichte) fester Stoffe
(bei 15—20°).
(Bezogen auf Wasser bei + 4° C = 1,000.)

Erde, mager, trocken	1,3—1,4	Sandstein	2,2—2,5	Fichte	0,4—0,7 0,6—1,0
Gips, gebrannt	1,81	Schamotte	1,8—2,2	Kiefer	0,3—0,7 0,5—1,0
Glas, Thür.	2,4—2,6	Schlacke	2,4—3,0	Rot-	
» , Kristall-	2,8—3,0	Soda, krist.	1,45	buche 0,7—0,95 0,85—1,1	
Gneis	2,5—2,7	Steinsalz	2,3—2,4	Tanne	0,4—0,7 0,8—1,1
Granit	2,3—2,7	Ton	1,8—2,6	Holzkohle, luft-	
Isolierbims	0,38	Zement	1,3—1,8	frei	1,4—1,5
Kalk, gebr.	0,9—1,3	Ziegel gew.	1,4—1,6	Holzkohle, luft-	
Kalkbrei	1,1—1,3	» , Klinker	1,6—1,9	erfüllt	0,4
Kalkstein	2,4—2,8	Ziegelmauerwerk	1,4—1,6	Koks (im Stück)	1,2—1,4
Kies	1,8—2,0	Organische Stoffe ¹⁾		Kork	0,24
Kieselsäure, krist.	2,6	Anthrazit	1,4—1,7	Leder, trocken	0,85
Kunstsandstein	2,0—2,1	Asphalt	1,15—1,4	» , gefettet	1,0
Lava	2,2—3,0	Braunkohle	1,2—1,45	Papier	0,7—1,1
Lehm, trocken	1,5—1,6	Fette	0,92—0,95	Paraffin	0,86—0,92
» , feucht	1,7—1,8	Gummi, roh	0,90—0,95	Pech	1,07—1,12
Magnesit	3,0	» , vulk.	1,2—2,0	Preßkohle	1,2—1,3
Marmor	2,5—2,7	Harze	1,0—1,1	Steinkohle (im	
Porzellan	2,3—2,5	Holzarten.		Stück)	1,2—1,45
Quarz	2,5—2,7	lufttrocken frisch		Torf	0,6—0,9
Sand, trocken	1,4—1,7	Eiche	0,7—1,0 0,9—1,2	Torfstreu, gept.	0,2—0,25
» , feucht	1,8—2,0	Esche	0,6—0,9 0,7—1,1	Wachs	0,92—0,97

¹⁾ Vgl. ferner Zahlentafel IIa auf Seite 13 ff.

c) Schüttgewicht technischer Stoffe (kg/m³).

Ammoniumchlorid	750	Kalkmehl	480—580
Ammonsulfat	750	Kesselschlacke	700—800
Holzschelte, Fichte oder Tanne	320—340	Kies	1800—2000
Holzschelte, Buche	400	Kieselgur, pulv.	250—350
» , Eiche	420	Reinigungsmasse, frisch	700—800
Kalk, gebrannt	900—1100	» , ausgebr.	1000—1200
		Soda, calc.	700—800

vgl. ferner die nachfolgenden Zahlentafeln.

d) Schüttgewicht von Brennstoffen (kg/m³).

Braunkohle, stückig u. luft-trocken	650—780	Zechenkoks	350—550
Braunkohlenbriketts:		Koksgrus	800—1000
längliche Form	700—750	²⁾ Steinkohle ²⁾ :	
Semmelformat	800—850	Ruhr	730—880
geschichtet	1000—1050	Saar	700—820
Holzkohle, hart	200—250	Oberschlesien	760—820
» , weich	150—200	Niederschlesien	760—860
Koks ¹⁾		Torf, feucht	550—650
Gaskoks	350—550	» , lufttrocken	325—425
Hüttenkoks	500—650	Torfmuß	180—200

¹⁾ Nach Körnung; Art der Ausgangskohle und Entgasungsbedingungen verschieden.

²⁾ Nach Zeche und Körnung verschieden.

Unter Schüttgewicht eines festen Stoffes versteht man im Gegensatz zu dem mit genauen Verfahren festzustellenden spezifischen Gewicht des Stoffes ein technisches Raumgewicht, das den wirklichen, praktisch erreichbaren Gewichtswert des geschütteten Stoffes (auf Lagerhalden, in Bunkern oder sonstigen Hohlräumen) darstellt.

Schüttgewicht von Kohlen in Abhängigkeit von der Körnung.
(GWF 78, 107, 1935.)

Grobe Förder- und Stückkohle	890—800 kg/m ³
Gebrochene Förderkohle	855—730 «
zumeist	780—750 «
Mischkohle Grob mit Fein	780—750 «
Gewaschene Nußkohle	735—690 «
Feinkohle und gemahlene Kohle	740—655 «

e) Schüttgewicht von Feinkohle in Horizontalkammeröfen.
(Nach Koppers und Jenkner, Glückauf 66, 836, 1930.)

Anlage	Kammerhöhe mm	Körnung < 2 mm %	Wassergehalt der Kohle %	Raumgewicht	
				naß kg/m ³	trocken kg/m ³
A	3500	94	9,4	740	670
B	4000	79	8,5	762	697
C	4000	74	13,1	824	715
D	3300	61	8,5	801	733
E	3500	62	10,7	856	763
F	4000	63	11,6	878	775

Der Einfluß der Kohlekörnung auf das Schüttgewicht ist derart überwiegend, daß er den des Wassergehaltes der Kohle überdeckt.

f) Natürlicher Böschungswinkel bei loser Schüttung.
(In Winkelgraden.)

Erde	40—55°	Brechkokks I und II	36—44°
Erze	45°	» III » IV	35—39°
Kalkpulver, trocken	50°	Feinkohle, gewaschen	36—43°
Sand, feucht	27°	Nußkohle I und II	35—40°
» trocken	32°	» III—V	32—36°
Zement	40°	Stückkohle	35—40°

g) Spezifisches Gewicht (bezogene Dichte) flüssiger Stoffe
bei 20°).
(Wasser bei + 4° C = 1,000.)

Äthyläther	0,714	Mineralschmieröl	0,88—0,94
Benzin	0,68—0,76	Petroläther	0,66—0,68
Glycerin (28° Bé).	1,226	Petroleum	0,78—0,82
Kreosotöl	1,03—1,08	Terpentinöl	0,87
Leinöl, gek.	0,94	Tetrachlorkohlenstoff	1,594

h) Spezifisches Gewicht (bezogene Dichte) von verflüssigten Gasen bei t^{01} .
(Wasser bei $+4^{\circ}\text{C} = 1,000$.)

Gas	D_4	bei $^{\circ}\text{C}$	Gas	D_4	bei $^{\circ}\text{C}$
Ammoniak	0,638	0°	Schwefeldioxyd	1,46	— 10
Helium	0,122	— 269	Schwefelwasserstoff	0,96	— 60
Kohlendioxyd, fest	0,654	— 79	Stickstoff	0,811	— 196
Kohlenoxyd	0,793	— 190	Wasserstoff	0,0700	— 253
Sauerstoff	1,142	— 183			

¹⁾ Vgl. ferner Zahlentafel IIa auf Seite 13.

i) Wahre Dichte d (g/Ncm³) und Volumen v (Ncm³/g) des reinen Wassers bei verschiedenen Temperaturen ($^{\circ}\text{C}$).

Temp.	Dichte	Volumen	Temp.	Dichte	Volumen	Temp.	Dichte	Volumen
0	0,99987	1,00013	34	0,99440	1,00563	110	0,9510	1,0515
2	0,99997	1,00003	36	0,99371	1,00633	120	0,9435	1,0600
4	1,00000	1,00000	38	0,99299	1,00706	130	0,9351	1,0694
6	0,99997	1,00003	40	0,99224	1,00782	140	0,9263	1,0795
8	0,99988	1,00012	45	0,99024	1,00985	150	0,9172	1,0903
10	0,99973	1,00027	50	0,98807	1,01207	160	0,9076	1,1018
12	0,99952	1,00048	55	0,98573	1,01448	170	0,8973	1,1145
14	0,99927	1,00073	60	0,98324	1,01705	180	0,8866	1,1279
16	0,99897	1,00103	65	0,98059	1,01979	190	0,8750	1,1429
18	0,99862	1,00138	70	0,97781	1,02270	200	0,8628	1,1590
20	0,99823	1,00177	75	0,97489	1,02576	220	0,837	1,195
22	0,99780	1,00221	80	0,97183	1,02899	240	0,809	1,236
24	0,99732	1,00269	85	0,96865	1,03237	260	0,779	1,283
26	0,99681	1,00320	90	0,96534	1,03590	280	0,75	1,34
28	0,99626	1,00375	95	0,96192	1,03959	300	0,70	1,42
30	0,99567	1,00435	100	0,95838	1,04343	320	0,66	1,51
32	0,99505	1,00497						

k) Wahre Dichte d (g/Ncm³) des Quecksilbers.

$t^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
— 20	13,6450									
— 10	6202	6226	6251	6276	6301	6326	6350	6375	6400	6425
— 0	5955	5979	6004	6029	6053	6078	6103	6127	6152	6177
+ 0	13,5955	5930	5905	5880	5854	5831	5806	5782	5757	5732
10	5708	5683	5658	5634	5609	5584	5560	5535	5511	5486
20	5461	5437	5412	5388	5363	5339	5314	5290	5265	5241
30	5216	5191	5167	5142	5118	5094	5069	5045	5020	4996
40	4971	4947	4922	4898	4873	4849	4825	4800	4776	4751

t	d	t	d	t	d	t	d
50	13,4727						
60	4484	110	13,328	160	13,208	210	13,089
70	4241	120	304	170	184	220	065
80	3999	130	280	180	160	230	042
90	3757	140	256	190	137	240	018
100	352	150	232	200	113	250	12,994

l) Spezifisches Gewicht von Schwefelsäure.

Spez. Ge- wicht bei 15° 4°	Grad Baumé	100 Gewichtsteile entsprechen bei chemisch reiner Säure			1 Liter enthält Kilogramm bei chemisch reiner Säure		
		Proz. SO ₃	Proz. H ₂ SO ₄	Proz. 60 grad. Säure	SO ₃	H ₂ SO ₄	60 grad. Säure
1,00	0	0,07	0,09	0,12	0,001	0,001	0,001
1,01	1,4	1,28	1,57	2,01	0,013	0,016	0,020
1,02	2,7	2,47	3,03	3,88	0,025	0,031	0,040
1,03	4,1	3,67	4,49	5,78	0,038	0,046	0,059
1,04	5,4	4,87	5,96	7,64	0,051	0,062	0,079
1,05	6,7	6,02	7,37	9,44	0,063	0,077	0,099
1,06	8,0	7,16	8,77	11,24	0,076	0,093	0,119
1,07	9,4	8,32	10,19	13,05	0,089	0,109	0,140
1,08	10,6	9,47	11,60	14,87	0,103	0,125	0,161
1,09	11,9	10,60	12,99	16,65	0,116	0,142	0,181
1,10	13,0	11,71	14,35	18,39	0,129	0,158	0,202
1,11	14,2	12,82	15,71	20,13	0,143	0,175	0,223
1,12	15,4	13,89	17,01	21,80	0,156	0,191	0,245
1,13	16,5	14,95	18,31	23,47	0,169	0,207	0,265
1,14	17,7	16,01	19,91	25,13	0,183	0,223	0,287
1,15	18,8	17,07	20,91	26,79	0,196	0,239	0,308
1,16	19,8	18,11	22,19	28,43	0,210	0,257	0,330
1,17	20,9	19,16	23,47	30,07	0,224	0,275	0,352
1,18	22,0	20,21	24,76	31,73	0,238	0,292	0,374
1,19	23,0	21,26	26,04	33,37	0,253	0,310	0,397
1,20	24,0	22,30	27,32	35,01	0,268	0,328	0,420
1,21	25,0	23,33	28,58	36,66	0,282	0,346	0,444
1,22	26,0	24,36	29,84	38,23	0,297	0,364	0,466
1,23	26,9	25,39	31,11	39,86	0,312	0,382	0,490
1,24	27,9	26,35	32,28	41,37	0,327	0,400	0,513
1,25	28,8	27,29	33,43	42,84	0,341	0,418	0,535
1,26	29,7	28,22	34,57	44,30	0,356	0,435	0,558
1,27	30,6	29,15	35,71	45,76	0,370	0,454	0,581
1,28	31,5	30,10	36,87	47,24	0,385	0,472	0,605
1,29	32,4	31,04	38,03	48,73	0,400	0,490	0,629
1,30	33,3	31,99	39,19	50,21	0,416	0,510	0,653
1,31	34,2	32,94	40,35	51,71	0,432	0,529	0,677
1,32	35,0	33,88	41,50	53,18	0,447	0,548	0,702
1,33	35,8	34,80	42,66	54,67	0,462	0,567	0,727
1,34	36,6	35,71	43,74	56,05	0,479	0,586	0,751
1,35	37,4	36,58	44,82	57,43	0,494	0,605	0,775
1,36	38,2	37,45	45,88	58,79	0,509	0,624	0,800
1,37	39,0	38,32	46,94	60,15	0,525	0,643	0,824
1,38	39,8	39,18	48,00	61,51	0,541	0,662	0,849
1,39	40,5	40,05	49,06	62,87	0,557	0,682	0,873
1,40	41,2	40,91	50,11	64,21	0,573	0,702	0,899
1,41	42,0	41,76	51,15	65,55	0,589	0,721	0,924
1,42	42,7	42,57	52,15	66,82	0,604	0,740	0,949
1,43	43,4	43,36	53,11	68,06	0,620	0,759	0,973
1,44	44,1	44,14	54,07	69,29	0,636	0,779	0,998
1,45	44,8	44,92	55,03	70,52	0,651	0,798	1,023
1,46	45,4	45,69	55,97	71,72	0,667	0,817	1,047
1,47	46,1	46,45	56,90	72,91	0,683	0,837	1,072
1,48	46,8	47,21	57,83	74,10	0,699	0,856	1,097
1,49	47,4	47,95	58,74	75,27	0,715	0,876	1,122
1,50	48,1	48,73	59,70	76,50	0,731	0,896	1,147
1,51	48,7	49,51	60,65	77,72	0,748	0,916	1,174
1,52	49,4	50,28	61,59	78,93	0,764	0,936	1,199
1,53	50,0	51,04	62,53	80,13	0,781	0,957	1,226

Spez. Gewicht bei 15° 4°	Grad Baumé	100 Gewichtsteile entsprechen bei chemisch reiner Säure			1 Liter enthält Kilogramm bei chemisch reiner Säure		
		Proz. SO ₂	Proz. H ₂ SO ₄	Proz. 60 grad. Säure	SO ₂	H ₂ SO ₄	60 grad. Säure
1,54	50,6	51,78	63,43	81,28	0,797	0,977	1,252
1,55	51,2	52,46	64,26	82,34	0,813	0,996	1,276
1,56	51,8	53,22	65,20	83,50	0,830	1,017	1,303
1,57	52,4	53,95	66,09	83,64	0,847	1,038	1,329
1,58	53,0	54,65	66,95	85,78	0,864	1,058	1,356
1,59	53,6	55,37	67,83	86,88	0,880	1,078	1,382
1,60	54,1	56,09	68,70	88,00	0,897	1,099	1,409
1,61	54,7	56,79	69,56	89,10	0,914	1,120	1,435
1,62	55,2	57,49	70,42	90,20	0,931	1,141	1,462
1,63	55,8	58,18	71,27	91,29	0,948	1,162	1,489
1,64	56,3	58,88	72,12	92,38	0,966	1,182	1,516
1,65	56,9	59,57	72,96	93,45	0,983	1,204	1,543
1,66	57,4	60,26	73,81	94,54	1,000	1,225	1,570
1,67	57,9	60,95	74,66	95,62	1,017	1,246	1,598
1,68	58,4	61,63	75,50	96,69	1,035	1,268	1,625
1,69	58,9	62,29	76,38	97,77	1,053	1,289	1,652
1,70	59,5	63,00	77,17	98,89	1,071	1,312	1,681
1,71	60,0	63,70	78,04	100,00	1,089	1,334	1,710
1,72	60,4	64,43	78,92	101,13	1,108	1,357	1,739
1,73	60,9	65,14	79,80	102,25	1,127	1,381	1,769
1,74	61,4	65,86	80,86	103,38	1,145	1,404	1,799
1,75	62,8	66,58	81,56	104,52	1,165	1,427	1,829
1,76	62,3	67,30	82,44	105,64	1,185	1,451	1,859
1,77	62,8	68,17	83,51	106,91	1,207	1,478	1,894
1,78	63,2	68,98	84,50	108,27	1,228	1,504	1,928
1,79	63,7	68,96	85,70	109,82	1,252	1,534	1,965
1,80	64,2	70,96	86,92	111,32	1,277	1,564	2,004
1,81	64,6	72,08	88,30	113,15	1,305	1,598	2,048
1,82	65,0	73,51	90,05	115,33	1,338	1,639	2,099
1,825	—	74,29	91,00	116,61	1,356	1,661	2,128
1,830	—	75,19	92,10	118,02	1,376	1,685	2,159
1,835	65,7	76,38	93,56	119,84	1,402	1,717	2,200
1,840	65,9	78,04	95,60	122,51	1,436	1,759	2,254
1,8410	—	78,69	96,38	123,45	1,448	1,774	2,273
1,8415	—	79,47	97,35	124,69	1,463	1,792	2,296
1,8410	—	80,16	98,20	125,84	1,476	1,808	2,317
1,8405	—	80,43	98,52	126,18	1,481	1,814	2,325
1,8400	—	80,59	98,72	126,44	1,483	1,816	2,327
1,8395	—	80,63	98,77	126,50	1,484	1,817	2,328
1,8390	—	80,93	99,12	126,99	1,488	1,823	2,336
1,8385	—	81,08	99,31	127,35	1,490	1,826	2,339

m) Umrechnungsformeln für °Twaddle und °Baumé in spezifisches Gewicht.

$$^{\circ}\text{Twaddle } d = \frac{200 + n}{200} \quad (15,55^{\circ}\text{C})$$

$$^{\circ}\text{Baumé } d = \frac{144,3}{144,3 + n} \quad (15^{\circ}\text{C}) \text{ gültig für Flüssigkeiten leichter als Wasser}$$

$$^{\circ}\text{Baumé } d = \frac{144,3}{144,3 - n} \quad (15^{\circ}\text{C}) \text{ gültig für Flüssigkeiten schwerer als Wasser.}$$

d = gesuchtes spezifisches Gewicht, n = Wert in °Twaddle bzw. °Baumé.

n) Spezifisches Gewicht von Ammoniaklösungen bei 15° C.
(Nach Lunge und Wiernik.)

Spez. Gewicht bei 15° C	Prozent NH ₃	1 Liter enthält NH ₃ bei 15° C g	Korrektion des spez. Gew. für ± 1° C	Spez. Gew. bei 15° C.	Prozent NH ₃	1 Liter enthält NH ₃ bei g 15° C	Korrektion des spez. Gew. für ± 1° C
1,000	0,00	0,0	0,00018	0,940	15,63	146,9	0,00039
0,998	0,45	4,5	0,00018	0,938	16,22	152,1	0,00040
0,996	0,91	9,1	0,00019	0,936	16,82	157,4	0,00041
0,994	1,37	13,6	0,00019	0,934	17,42	162,7	0,00041
0,992	1,84	18,2	0,00020	0,932	18,03	168,1	0,00042
0,990	2,31	22,9	0,00020	0,930	18,64	173,4	0,00042
0,988	2,80	27,7	0,00021	0,928	19,25	178,6	0,00043
0,986	3,30	32,5	0,00021	0,926	19,87	184,2	0,00044
0,984	3,80	37,4	0,00022	0,924	20,49	189,3	0,00045
0,982	4,30	42,2	0,00022	0,922	21,12	194,7	0,00046
0,980	4,80	47,0	0,00023	0,920	21,75	200,1	0,00047
0,978	5,30	51,8	0,00023	0,918	22,39	205,6	0,00048
0,976	5,80	56,6	0,00024	0,916	23,03	210,9	0,00049
0,974	6,30	61,4	0,00024	0,914	23,68	216,3	0,00050
0,972	6,80	66,1	0,00025	0,912	24,33	221,9	0,00051
0,970	7,31	70,9	0,00025	0,910	24,99	227,4	0,00052
0,968	7,82	75,7	0,00026	0,908	25,65	232,9	0,00053
0,966	8,33	80,5	0,00026	0,906	26,31	238,3	0,00054
0,964	8,84	85,2	0,00027	0,904	26,98	243,9	0,00055
0,962	9,35	89,9	0,00028	0,902	27,65	249,4	0,00056
0,960	9,91	95,1	0,00029	0,900	28,33	255,0	0,00057
0,958	10,47	100,3	0,00030	0,898	29,01	260,5	0,00058
0,956	11,03	105,4	0,00031	0,896	29,69	266,0	0,00059
0,954	11,60	110,7	0,00032	0,894	30,37	271,5	0,00060
0,952	12,17	115,9	0,00033	0,892	31,05	277,0	0,00060
0,950	12,74	121,0	0,00034	0,890	31,75	282,6	0,00061
0,948	13,31	126,2	0,00035	0,888	32,50	288,6	0,00062
0,946	13,88	131,3	0,00036	0,886	33,25	294,6	0,00063
0,944	14,46	136,5	0,00037	0,884	34,10	301,4	0,00064
0,942	15,04	141,7	0,00038	0,882	34,95	308,3	0,00065

o) Spezifisches Gewicht von Natronlauge bei 15°. (Nach Lunge.)

Spez. Gewicht	° Baumé	Proz.		1 Liter enthält g	
		Na ₂ O	NaOH	Na ₂ O	NaOH
1,007	1	0,46	0,59	4,6	6,0
1,014	2	0,93	1,20	9,4	12,0
1,022	3	1,43	1,85	14,6	18,9
1,029	4	1,94	2,50	20,0	25,7
1,036	5	2,44	3,15	25,3	32,6
1,045	6	2,94	3,79	30,7	39,6
1,052	7	3,49	4,50	36,7	47,3
1,060	8	4,03	5,20	42,7	55,0
1,067	9	4,54	5,86	48,4	62,5
1,075	10	5,10	6,58	54,8	70,7
1,083	11	5,66	7,30	61,3	79,1
1,091	12	6,25	8,07	68,3	88,0

Spez. Gewicht	° Baumé	Proz. Na ₂ O	Proz. NaOH	1 Liter enthält g NaOH	Na ₂ O
1,100	13	6,81	8,78	74,9	96,6
1,108	14	7,36	9,50	81,5	105,3
1,116	15	7,98	10,30	89,0	114,9
1,125	16	8,57	11,06	96,4	124,4
1,134	17	9,22	11,90	104,6	134,9
1,142	18	9,84	12,69	112,5	145,0
1,152	19	10,46	13,50	120,5	155,5
1,162	20	11,12	14,35	129,2	166,7
1,171	21	11,74	15,15	137,5	177,4
1,180	22	12,40	16,00	146,3	188,8
1,190	23	13,11	16,91	156,0	201,2
1,200	24	13,80	17,81	165,6	213,7
1,210	25	14,50	18,71	175,5	226,4
1,220	26	15,23	19,65	185,8	239,7
1,231	27	15,97	20,60	196,6	253,6
1,241	28	16,70	21,55	207,2	267,4
1,252	29	17,43	22,50	218,2	281,7
1,263	30	18,21	23,50	230,0	296,8
1,274	31	18,97	24,48	241,7	311,9
1,285	32	19,77	25,50	254,0	327,7
1,297	33	20,60	26,58	267,2	344,7
1,308	34	21,43	27,65	280,0	361,7
1,320	35	22,35	28,03	295,0	380,6
1,332	36	23,25	30,00	309,7	399,6
1,345	37	24,18	31,20	325,2	419,6
1,357	38	25,19	32,50	341,8	441,0
1,370	39	26,14	33,73	358,1	462,1
1,383	40	27,13	35,00	375,2	484,1
1,397	41	28,18	36,36	393,7	507,9
1,410	42	29,18	37,65	411,4	530,9
1,424	43	30,27	39,06	431,0	556,2
1,438	44	31,37	40,47	451,1	582,0
1,453	45	32,57	42,02	473,2	610,6
1,468	46	33,77	43,58	495,7	639,8
1,483	47	35,00	45,16	519,1	669,7
1,498	48	36,22	46,73	542,6	700,0
1,514	49	37,52	48,41	568,1	732,9
1,530	50	38,83	50,10	594,1	766,5

p) Spezifisches Gewicht von Kalkmilch.

Spez. Gewicht	° Baumé	Gehalt an g CaO/l	Spez. Gewicht	° Baumé	Gehalt an g CaO/l	Spez. Gewicht	° Baumé	Gehalt an g CaO/l
1,01	1,4	12	1,09	11,8	113	1,17	21,0	216
1,02	2,8	24	1,10	13,1	126	1,18	22,0	229
1,03	4,1	36	1,11	14,3	139	1,19	23,0	242
1,04	5,4	49	1,12	15,4	152	1,20	24,0	255
1,05	6,8	62	1,13	16,6	266	1,21	24,0	268
1,06	8,0	74	1,14	17,7	279	1,22	25,0	281
1,07	9,3	87	1,15	18,8	291	1,23	26,0	294
1,08	10,6	100	1,16	19,9	203	1,24	27,0	308

**q) Spezifisches Gewicht von Alkohol-Wasser-Gemischen.
(Gewichtsprozente.)**

Gew.-%	Spez. Gewicht		Gew.-%	Spez. Gewicht		Gew.-%	Spez. Gewicht	
	¹⁵ / ₁₅	²⁰ / ₁₅		¹⁵ / ₁₅	²⁰ / ₁₅		¹⁵ / ₁₅	²⁰ / ₁₅
1	0,9981	0,9972	35	0,9492	0,9458	85	0,8360	0,8316
2	0,9963	0,9954	40	0,9397	0,9361	90	0,8230	0,8187
3	0,9945	0,9937	45	0,9295	0,9257	95	0,8092	0,8049
4	0,9928	0,9920	50	0,9187	0,9147	96	0,8063	0,8021
5	0,9912	0,9903	55	0,9075	0,9034	97	0,8034	0,7991
10	0,9839	0,9828	60	0,8960	0,8919	98	0,8004	0,7962
15	0,9777	0,9762	65	0,8844	0,8802	99	0,7974	0,7932
20	0,9716	0,9696	70	0,8727	0,8684	100	0,7943	0,7901
25	0,9651	0,9626	75	0,8607	0,8564			
30	0,9564	0,9546	80	0,8485	0,8441			

(Volumenprozente.)

Vol.-%	Spez. Gewicht	Vol.-%	Spez. Gewicht	Vol.-%	Spez. Gewicht	Vol.-%	Spez. Gewicht
	¹⁵ / ₁₅		¹⁵ / ₁₅		¹⁵ / ₁₅		¹⁵ / ₁₅
1	0,9985	20	0,9761	55	0,9243	90	0,8339
2	0,9970	25	0,9710	60	0,9135	95	0,8161
3	0,9956	30	0,9654	65	0,9021	96	0,8121
4	0,9942	35	0,9591	70	0,8900	97	0,8079
5	0,9928	40	0,9518	75	0,8773	98	0,8035
10	0,9866	45	0,9436	80	0,8640	99	0,7988
15	0,9811	50	0,9344	85	0,8495	100	0,7938

3. Feuerfeste Ofenbaustoffe.

a) Unterteilung.

Als feuerfeste Baustoffe werden natürliche und künstliche Baustoffe bezeichnet, deren Kegelschmelztemperatur nicht unterhalb 1580° liegt. Die künstlichen feuerfesten Baustoffe, die durch Brennverfahren hergestellt werden, werden unterschieden in 1. (basische) Schamotterzeugnisse, 2. (halb-saure) Quarzschamotterzeugnisse, 3. (saure) Silikaerzeugnisse und 4. Sondererzeugnisse.

1. Die Herstellung der Schamotte erfolgt durch Brennen eines Gemisches von feuerfestem vorgebranntem und nicht vorgebranntem Ton. Durch Brennen von nicht vorgebranntem Ton allein werden Tonsteine erhalten.

2. Die Herstellung von Quarzschamotte erfolgt wie unter 1 beschrieben, dem Gemisch wird jedoch noch Quarz zugefügt.

3. Silikaerzeugnisse werden erhalten aus freier mineralischer Kieselsäure mit Kalk oder Ton als Bindemittel.

4. Sondererzeugnisse: Sillimanit (Tonerdesilikat), Magnesit, Chromit, Siliziumkarbid, Korund u. a. m.

Ofenlickmörtel nach Bellingen:

95—98% Silikamehl und 5—2% Natriumaluminat.

Ofenlickmörtel nach Offe:

40% gepulverte Schamotte, 40% Kraterzement, 20% Ton.

b) Eigenschaften feuerfester Baustoffe (nach Koppers).

Stoff	Schamotte (hochbasisch)	Quarzschanotte	Silika (Koksofen)	Silika (Martinofen)	Magnesitstein
Durchschnittliche Zusammensetzung					
Al ₂ O ₃ %	42—45	15—17	1,8—2	1,2—1,5	—
SiO ₂ %	50—54	80—83	94—94,5	95—95,5	—
MgO %	—	—	—	—	93,0
Verhalten gegen Schlacke	bedingt durch die Zusammensetzung der Schlacke	empfindlich gegen Alkali	widerstandsfähig gegen Alkali	beständig gegen saure, empfindlich gegen basische Schlacken	sehr widerstandsfähig gegen basische Schlacken
Verhalten gegen Temperaturwechsel	im gesamten Temperaturbereich gut	unterhalb Rotglut empfindlich, oberhalb Rotglut genügend widerstandsfähig	unterhalb Rotglut sehr empfindlich, oberhalb Rotglut genügend widerstandsfähig	—	wenig beständig
Erweichungsbeginn unter 2 kg/cm ² Belastung °C	1250	1350	—	—	—
Grenze der Temperaturbeanspruchung °C	1500	1350	1600	1700	2000
Zusammensinken °C	1650	1450—1500	1550—1650	wenig unterhalb Schmelztemperatur	oberhalb 1750
ungefäher Schmelzpunkt °C	1750	1650—1670	1700	1700	2200
Verwendung	Feuerungen, Kohlenstaubfeuerungen, Winderhitzer, Hochöfen	Industrieöfen, Koksöfen	keramische Öfen, Koksöfen, Gewölbe in Glasschmelzöfen	Gewölbeköpfe und Pfeiler der Siemens-Martinofen	metallurgische Öfen

4. Festigkeitseigenschaften verschiedener Stoffe.
a) Festigkeit von Eisen und Stahl.

Benennung	DIN-Bezeichnungen	Statische Festigkeitswerte						Dynamische Festigkeitswerte		
		Elastizitätsmodul kg./mm ²	Zugfestigkeit kg./mm ²	Streckgrenze	Dehnung in % δ 5	Brinellhärte kg./mm ²	Zug-Wechselfestigkeit kg./mm ²	Biege-Wechselfestigkeit kg./mm ²	Kerb-schlagfestigkeit kg./mm ²	
Gußeisen	Ge 14.91	10000	14*	—	—	—	—	—	—	—
	Ge 22.91	12000	22*	—	—	—	—	—	—	—
	Ge 26.91	—	26*	—	—	—	—	—	—	—
Temperguß: Handelstahl, Temperguß hochwertiger weißer Temperguß hochwert. schwarzer Temperguß, Kurzbez. »Schwarzguße	Te 32.92	—	32*	18*	2*	—	—	—	—	—
	Te 38.92	—	38*	21*	4*	—	—	—	—	—
	Te 35.92	—	35*	19*	9*	—	—	—	—	—
Maschinenbaustahl	St 34.71	—	34—42*	19*	30*	95—120	12	17	—	—
	St 37.11	—	37—45*	—	25*	—	—	—	—	—
	St 42.11	—	42—50*	23*	25*	115—140	15	20	—	—
	St 50.11	—	50—60*	27*	22*	140—170	18	25	—	—
	St 60.11	—	60—70*	30*	17*	170—210	20	28	—	—
	St 70.11	—	70—85*	35*	12*	210—255	25	32	—	—
Einsatz- und Ver- gütungsstahl	StC 35.61	rd.	50—60*	28*	23*	—	—	—	—	—
	—	21000	55—65*	33*	22*	—	—	—	—	—
	—	—	70—85*	40*	15*	—	—	—	—	—
	StC 60.61	—	75—90*	45*	14*	—	—	—	—	—
Chromnickelstahl, Einsatzstahl	EN 15	—	55 ^{0,1})	65 ^{0,1})	20—10*	18—8*	—	—	—	16 ¹⁾
	EN 45	—	83*	75 ^{0,0} *	14—7*	240*	—	—	—	8
	VGN 15w	—	70*	69 ^{0,0} *	24—18*	16—13*	206*	23	32	15 ²⁾
	VGN 15h	—	70*	70 ^{0,0} *	22—16*	15—12*	206*	26	36	—
Stahlguß Normalgüte	VGN 45	—	90*	80 ^{0,0} *	15—9*	10—6*	265*	35	46	10
	Stg 38.81	rd.	38*	—	20*	—	—	—	—	—
	Stg 45.81	rd.	45*	—	16*	—	—	—	—	—
Stg 60.81	22000	60*	—	8*	—	—	—	—	—	

Die mit * versehenen Werte sind den Normen entnommen. 1) vergütet, 2) gegüht, 3) gehärtet bzw. vergütet.

b) Festigkeit von Nichteisenmetallen.

Benennung		Zugfestigkeit σ_B kg/mm ²	Bruchdehnung δ_{10} %	Brinellhärte (P = 10 D ²) kg/mm ²
a) Knetlegierungen.				
Reinaluminium	weich	7—11	40—30	15—25
	hart	15—20	8—4	35—45
Aluminiumlegierungen (DIN 1713)				
1. Gattung Al-Cu-Mg (Aludur, Bondur, Dural u. a.)	weich	16—22	25—15	40—60
	ausgehärtet ausgehärtet u. kalt verfestigt	34—52 42—58	24—8 15—5	90—140 120—150
2. Gattung Al-Cu-Ni (Duralumin W, Y-Legierung)	weich	16—22	25—15	40—60
	ausgehärtet	33—42	20—8	100—120
3. Gattung Al-Cu (Lautal, Allautal)	weich	16—22	25—15	50—60
	abgeschreckt	30—36	25—15	70—90
	ausgehärtet	38—42	20—8	100—120
	ausgehärtet u. kalt verfestigt	42—50	10—2	120—140
4. Gattung Al-Mg-Si (Aldrey, Duralumin K, Korfofestal, Pantal u. a.)	weich	11—13	27—15	30—40
	abgeschreckt	18—28	25—12	50—70
	ausgehärtet	26—35	20—10	60—100
	ausgehärtet u. kalt verfestigt	35—42	10—2	100—120
5. Gattung Al-Mg (BS-Seewasser, Hydronalium)	weich	20—45	25—15	45—90
	halbhart	25—48	15—10	60—100
6. Gattung Al-Mg-Mn (KS-Seewasser, Peraluman)	weich	16—24	25—15	50—60
	halbhart	20—30	8—4	60—80
	hart	24—38	5—2	70—90
7. Gattung Al-Si (Silumin)	weich	12—15	25—15	40—50
	halbhart	15—20	10—3	50—60
	hart	18—25	5—2	60—80
8. Gattung Al-Mn (Aluman, Heddal, Mangal u. a.)	weich	10—15	35—20	20—40
	halbhart	12—18	15—5	40—50
	hart	18—25	5—2	50—60
Bronze (91% Cu, 9% Sn)		25,4	19,5	76
Walzbronze	weich:	Stangen	—	—
		Drähte	40—50	50—70
		Bleche u. Bänder	40—50	60—70
	rd. 77	—	—	
hart:	Stangen	50—52	15—20	rd. 190
	Drähte	70—90	1,5—3	1—5
	Bleche u. Bänder	75—80	—	rd. 170
Elektron		gepreßt (VI)	34—37	7—9
		gepreßt, gehärtet (VIh)	38—42	2—5
		gepreßt (AZM)	28—32	12—16
		gepreßt (Z 1 b)	25—27	15—28
Kupfer	weich	21—24	> 38	rd. 50
	hart	35—45	2—5	rd. 90

Festigkeit von Nichteisenmetallen.

Benennung		Zugfestigkeit σ_B kg/mm ²	Bruchdehnung $\delta 10$ %	Brinellhärte ($P = 10 D^2$) kg/mm ²
Messing (Walz- und Schmiedemessing)		42—45	33—35	90—105
Nickel	weich gegläht	40—45	40—50	80—90
	hart gewalzt	70—80	2	180—220
Zinkblech	längs der Faser	19	18	—
	quer der Faser	25	15	—
b) Gußlegierungen.				
Aluminium-Gußlegierungen (DIN 1713)				
1. Gattung G Al-Cu (Amerik. Legierung)	Sandguß	12—18	4—0,5	60—90
	Kokillenguß	12—20	3—0,5	70—100
2. Gattung G Al-Zn-Cu (Dtsch. Legierung)	Sandguß	12—18	4—0,5	60—90
	Kokillenguß	12—20	3—0,5	70—100
3. Gattung G Al-Si (Silumin)	Sandguß	17—22	8—4	50—60
	Kokillenguß	18—26	5—3	60—80
4. Gattung G Al-Si-Mg (Silumin-Gamma)	Sandguß	25—29	4—1	80—100
	Kokillenguß	26—32	1,5—0,7	90—110
5. Gattung G Al-Mg (BS-Scwesser, Hydronalium u. a.)	Sandguß, hom.	15—20	5—2	60—70
	» unbeh. Kokillenguß	20—26 22—26	8—4 10—5	60—70 70—80
6. Gattung G Al-Mg-Si (Anticorodal, Pantal u. a.)	Sandguß aus-	17—28	4—1	70—100
	Kokillenguß geh.	20—30	4—1	80—100
Kupfer	gegossen	15—20	15—25	rd. 50
	normalisiert	21—24	> 38	rd. 50
Rotguß		15—20	6—12	50—70
(Rg. 5, Rg. 9, Rg. 10 nach DIN 1713)				

c) Festigkeit verschiedener Stoffe gegen Zug (Z), Druck (D), Biegung (B) und Schub (S) (in kg/mm²)¹⁾.

Stoff	Z	D	B	S	Stoff	Z	D	B	S
Blei					Holz d. Faser				
gezogen . . .	2,1	—	—	—	» Buche . . .	13	3,5—7	10—18	—
angelassen . . .	1,8	—	—	—	» Eiche . . .	5—17	4—7	7—15	0,5
Basalt	—	bis 40	—	—	» Esche . . .	3—22	4—5	9—10	—
Bronze	18—80	—	—	—	» Tanne . . .	8,5—11	4—5	9—10	1,5
Ebonit	2,6—5,5	—	5—6	—	Lederriemen . . .	2—6	—	—	—
Glas	3—9	60—126	—	—	Sandstein	—	7—10	0,6	—
Granit	0,5	8—20	0,8	0,8	Seil, Draht	140—250	—	—	—
					Ziegelstein	—	> 1,5	—	—

¹⁾ Nach Landolt-Börnstein, Phys.-chem. Tabellen, Bd. I, S. 87.

5. Kompressibilität von Flüssigkeiten.

a) Begriff.

Die Kompressibilität (Zusammendrückbarkeit) von Flüssigkeiten ist nur sehr gering und kann bei gleichbleibender Temperatur durch die Gleichung

$$\beta = \frac{1}{v} \left(\frac{\delta v}{\delta p} \right)$$

dargestellt werden. Dieser Kompressibilitätskoeffizient β ist druck- und temperaturabhängig. Mit steigender Temperatur nimmt er im allgemeinen zu, mit steigendem Druck vermindert er sich. Der Kompressibilitätskoeffizient von Wasser dagegen nimmt zunächst von 0 bis 50° ab, durchschreitet bei 50—60° ein Minimum und steigt bei höheren Temperaturen wieder an.

b) Kompressibilitätskoeffizient von Flüssigkeiten.

Stoff	Temp. °C	Druckgrenzen at	$\beta \cdot 10^6$	Stoff	Temp. °C	Druckgrenzen at	$\beta \cdot 10^6$
Alkohol	15	1 — 40	100	Paraffinöl	15	1 — 10	63
Benzol	15	1 — 10	75	Pentan	20	1 — 30	242
»	20	100 — 300	78	Petroleum	16	1 — 15	77
»	20	300 — 500	66,5	Quecksilber	20	0 — 100	3,9
Glycerin	15	1 — 10	22	Tetrachlor-			
n-Hexan	18	0 — 8	147	kohlenstoff	20	0 — 100	91,5
Methanol	0	1 — 500	79	Toluol	18	0 — 8	86
»	0	500 — 1000	58	Xylol	10	1 — 5	74
Nitrobenzol	18	0 — 8	47				

c) Kompressibilitätskoeffizient des Wassers ($\beta \cdot 10^6$).

(Nach Amagat.)

at	0°	5°	10°	15°	20°	at	0°	5°	10°	15°	20°
1 — 25	52,5	51,2	50,0	49,5	49,1	100 — 125	49,4	47,7	46,6	45,4	44,9
25 — 50	51,6	49,6	49,2	48,0	47,6	125 — 150	49,1	47,5	46,3	45,4	44,6
50 — 75	50,9	48,5	47,3	46,5	45,6	150 — 175	49,1	47,5	46,3	45,1	44,2
75 — 100	50,2	48,1	47,0	45,7	45,3	175 — 200	48,8	47,2	46,0	44,7	43,8

d) Mittlerer Kompressibilitätskoeffizient des Wassers bei 1—100 at ($\beta \cdot 10^6$).

°C	$\beta \cdot 10^6$	°C	$\beta \cdot 10^6$	°C	$\beta \cdot 10^6$
0	51,1	20	46,8	60	45,5
5	49,3	30	46,0	70	46,2
10	48,3	40	44,9	100	47,8
15	47,3	50	44,9		

6. Löslichkeit von Gasen.

a) Begriff.

Sämtliche Gase sind, wenn zum Teil auch in nur sehr geringem Maße, in Wasser und sonstigen Flüssigkeiten löslich. Die Löslichkeit des Gases ist hierbei proportional dem Druck (Henrysches Absorptionsgesetz) und fernerhin abhängig von der Temperatur. Von Gasgemischen wird jedes Gas seinem Partialdruck entsprechend aufgelöst (Daltonsches Summationsgesetz).

Die Löslichkeit eines Gases wird zumeist angegeben in Form des Bunsenschen Absorptionskoeffizienten α . Dieser gibt das von der Volumeneinheit des Lösungsmittels bei einer gegebenen Temperatur aufgenommene Volumen des Gases (unter Normalbedingungen) an, unter der Voraussetzung, daß der Teildruck des Gases 760 mm Hg beträgt. Zuweilen wird die Löslichkeit (nach Ostwald) als Absorptionskoeffizient α' angeführt, der das Verhältnis der Konzentration des Gases in der Flüssigkeit zu der in der Atmosphäre angibt. α' ist somit bei Gültigkeit des Henry-Daltonschen Gesetzes für eine gegebene Temperatur vom Teildruck des Gases in der Atmosphäre unabhängig.

c) Löslichkeit verschiedener Gase in Benzol bei 20° C.

Gas	α'	Gas	α'	Gas	α'
Wasserstoff	0,071	Schwefelwasserstoff	15,68	Methan	0,568
Stickstoff	0,111	Schwefeldioxyd	84,81	Äthan	4,36
Sauerstoff	0,219	Kohlendioxyd	2,54	Propan	16,3
Ammoniak	9,95	Kohlenoxyd	0,170	Äthylen	3,59
				Azetylen	5,20

d) Löslichkeit von Azetylen in Azeton.

Temp. °C	α'	Temp. °C	α'	Temp. °C	α'
0	38,6	15	27,3	30	19,8
5	34,4	20	24,5	35	17,9
10	30,7	25	22,0	40	16,2

e) Löslichkeit von Gasen in Wasser bei erhöhtem Druck. Absorptionskoeffizient α .

(Nach Wiebe und Gaddy, Journ. Amer. chem. Soc. 56, 77, 1934.)

Wasserstoff at abs							Stickstoff at abs					
°C	25	50	100	150	200	300	°C	25	50	100	200	300
0	0,536	1,068	2,130	4,187	4,187	6,139	25°	0,348	0,674	1,264	2,257	3,061
10	0,487	0,969	1,932	2,872	3,796	5,579	50°	0,273	0,533	1,011	1,830	2,572
20	0,450	0,895	1,785	2,649	3,499	5,158	75°	0,254	0,494	0,946	1,732	2,413
30	0,426	0,848	1,689	2,508	3,311	4,897	100°	0,266	0,516	0,986	1,822	2,546
40	0,413	0,822	1,638	2,432	3,210	4,747						
50	0,407	0,809	1,612	2,395	3,165	4,695						
75	0,414	0,826	1,643		3,420							
100	0,462	0,912	1,805	2,681	3,544	5,220						

Sauerstoff
Für 0 — 70 at gültig bei + 25° C
 $\alpha = 0,0258 \cdot at$

b) Löslichkeit von Gasen in Wasser bei 1 at abs.
(Absorptionskoeffizient α .)

t °C	Luft)	Atmosph. Stickstoff)	Stickstoff (rein)	Sauerstoff	Wasserstoff	Am- moniak	Schwefel- wasserstoff	Schwefel- dioxid ¹⁾	Kohlen- oxyd	Kohlen- dioxid	Methan	Äthy- len	Pro- pylen	Aze- thylen
0	0,02885	0,02359	0,02319	0,04922	0,02148	1186	4,670	79,79	0,03537	1,713	0,05563	0,226	0,50	1,73
2	0,02742	0,02251	—	0,04661	0,02105	1125	4,379	74,69	0,03375	1,584	0,05244	0,211	0,41	1,63
4	0,02609	0,02151	0,02068	0,04426	0,02064	1067	4,107	69,78	0,03222	1,473	0,04946	0,197	0,365	1,53
6	0,02486	0,02057	(5°)	0,04214	0,02025	1010	3,852	65,20	0,03078	1,377	0,04669	0,184	0,325	1,45
8	0,02372	0,01972	—	0,04020	0,01989	957	3,616	60,81	0,02942	1,282	0,04413	0,173	0,295	1,37
10	0,02268	0,01895	0,01863	0,03842	0,01955	903	3,399	56,65	0,02816	1,194	0,04177	0,162	0,27	1,31
12	0,02174	0,01825	—	0,03679	0,01925	852	3,206	52,72	0,02701	1,117	0,03970	0,152	0,255	1,24
14	0,02088	0,01761	0,01702	0,03530	0,01897	807	3,028	49,03	0,02593	1,050	0,03779	0,143	0,24	1,18
16	0,02009	0,01703	(15°)	0,03391	0,01869	763	2,865	45,58	0,02494	0,985	0,03606	0,136	0,23	1,13
18	0,01937	0,01649	—	0,03293	0,01844	721	2,717	42,39	0,02402	0,928	0,03448	0,129	0,22	1,08
20	0,01871	0,01598	0,01572	0,03145	0,01819	683	2,582	39,37	0,02310	0,878	0,03308	0,122	0,21	1,03
25	0,01727	0,01489	0,01465	0,02887	0,01754	602	2,282	32,79	0,02142	0,759	0,03006	0,108	—	0,93
30	0,01607	0,01398	0,01375	0,02673	0,01699	539	2,037	27,16	0,01998	0,665	0,02762	0,098	—	0,84
35	0,01504	0,01320	0,01299	0,02492	0,01666	488	1,831	22,49	0,01877	0,592	0,02546	—	—	—
40	0,01419	0,01252	0,01233	0,02340	0,01644	446	1,660	18,77	0,01775	0,530	0,02369	—	—	—
45	0,01352	0,01189	0,01171	0,02211	0,01624	409	1,516	—	0,01690	0,479	0,02238	—	—	—
50	0,01298	0,01133	0,01116	0,02101	0,01608	375	1,392	—	0,01615	0,436	0,02134	—	—	—
60	0,01216	0,01023	—	0,01946	0,01600	314	1,190	—	0,01488	0,359	0,01954	—	—	—
70	0,01156	0,00977	—	0,01833	0,0160	256	1,022	—	0,01440	—	0,01825	—	—	—
80	0,01126	0,00958	—	0,01761	0,0160	203	0,917	—	0,01430	—	0,01770	—	—	—
90	0,0111	0,0095	—	0,0172	0,0160	150	0,84	—	0,0142	—	0,01735	—	—	—
100	0,0111	0,0095	—	0,0170	0,0160	98	0,81	—	0,0141	0,26	0,0170	—	—	—

¹⁾ Sauerstoffgehalt der gelbsten Luft bei 0° 34,9%, bei 15° 34,2%, bei 30° 33,6%.

²⁾ Atmosphärischer Stickstoff, bestehend aus 98,815 Vol.-% N₂ + 1,185 Vol.-% Ar.

³⁾ Infolge Nichtgrüchtigkeit des Henry-Dalton'schen Gesetzes beträgt nicht der Partialdruck des Schwefeldioxyds, sondern der Gesamtdruck

Löslichkeit von Kohlendioxyd in Wasser unter erhöhtem Druck. (Absorptionskoeffizient α .)

at. abs	25	30	35	40	45	50	60	65	70
20° C	15,9	17,8	19,7	21,6	23,3	25,1	26,9	—	—
35° C	8,1	9,6	11,3	13,0	14,6	16,2	17,9	19,7	21,6
60° C	—	—	—	—	9,0	9,7	10,5	11,4	12,3

Löslichkeit von Ammoniak in Wasser bei erhöhtem Druck.
(Nach Wilson, University of Illinois, Bull. 146.)

1 kg Lösung kann bei dem Druck p folgende Mengen Ammoniak enthalten

p at abs	Temperatur °C								
	0	10	20	30	40	60	80	100	
0,2	0,253	0,202	0,155	0,110	0,068	—	—	—	—
0,5	0,347	0,294	0,244	0,197	0,152	0,071	—	—	—
1,0	0,438	0,378	0,325	0,275	0,228	0,140	0,062	—	—
1,5	0,503	0,433	0,384	0,332	0,286	0,198	0,116	0,033	—
2,0	0,566	0,483	0,418	0,363	0,314	0,225	0,141	0,067	—
2,5	0,627	0,526	0,454	0,396	0,345	0,255	0,170	0,091	—
3,0	0,702	0,568	0,487	0,424	0,371	0,280	0,195	0,115	—
4,0	0,930	0,656	0,547	0,473	0,414	0,318	0,234	0,154	—
5,0	—	0,790	0,611	0,520	0,453	0,350	0,265	0,186	—
6,0	—	0,971	0,681	0,564	0,490	0,379	0,292	0,214	—
8,0	—	—	0,935	0,670	0,560	0,429	0,336	0,257	—
10,0	—	—	—	0,824	0,630	0,473	0,372	0,290	—

f) Löslichkeit von Gasen in Gasöl bei erhöhtem Druck bei 25° C.
Absorptionskoeffizient α .

(Nach Frolich, Tauch, Hogan und Peer, Ind. Eng. Chem. 23, 548, 1931)

Druck at abs	O ₂	H ₂ S	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈
1	0,137	10,0	2,51	17,0	10,6
2	0,274	13,7	5,02	34,0	21,2
3	0,412	17,4	7,53	51,0	31,8
4	0,549	21,0	10,04	68,0	42,4
5	0,686	24,8	12,55	85,0	53,0
6	0,824	28,5	15,06	102,0	63,6
8	1,097	36,0	20,08	136,0	84,8
10	1,372	39,6	25,10	170,0	106,0

g) Löslichkeit verschiedener organischer Stoffe in Wasser
bei 20°. g Substanz in 100 g Wasser.

Ather.	7,41	<i>m</i> -Kresol	2,18	Resorcin	103
Äthylbenzol	0,020	<i>p</i> -Kresol	1,94	Schwefelkohlenstoff	0,217
Anilin	3,6	Naphtalin	0,0027	Tetrachlor-	—
Benzol	0,178	Nitrobenzol	0,19	kohlenstoff	0,080
Chloroform	0,822	Pentan	0,036	Toluol	0,053
Heptan	0,005	Phenol	9,12	<i>o</i> -Xylol	0,023
Hexan	0,014	Phenolphthalein	0,0175	<i>m</i> -Xylol	0,019
Hydrochinon	7,8	Pikrinsäure. (0°)	0,68	<i>p</i> -Xylol	0,019
<i>o</i> -Kresol	2,45	» (20°)	1,11	—	—

i) Gehalt des Benzolwäschöls und des Gases an Benzolkohlenwasserstoffen in Abhängigkeit von der Temperatur.
(Nach Brückner und Gruber, GWF 77, 897, 1934.)

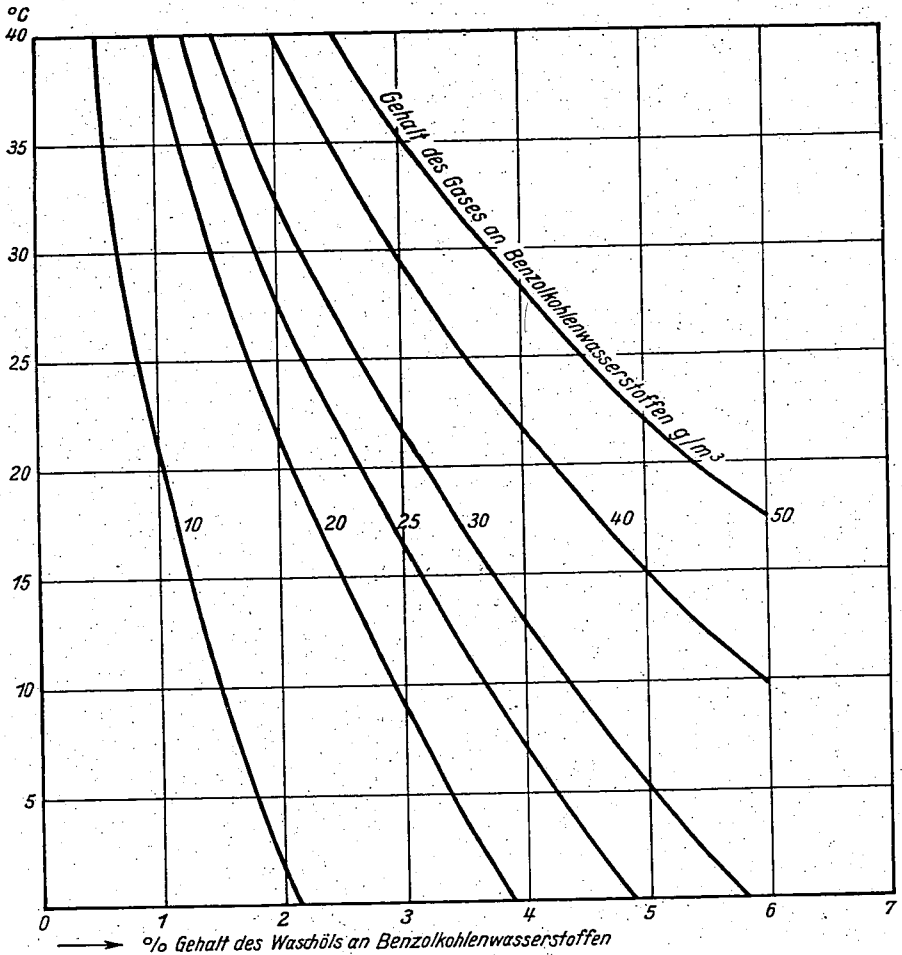


Abb. 1.

k) Gleichgewichtsdrucke zwischen Gehalt von Steinkohlengas und Benzolwäscheöl
an Benzolkohlenwasserstoffen.

(Nach Brückner und Gruber, GWF 77, 897, 1934.)

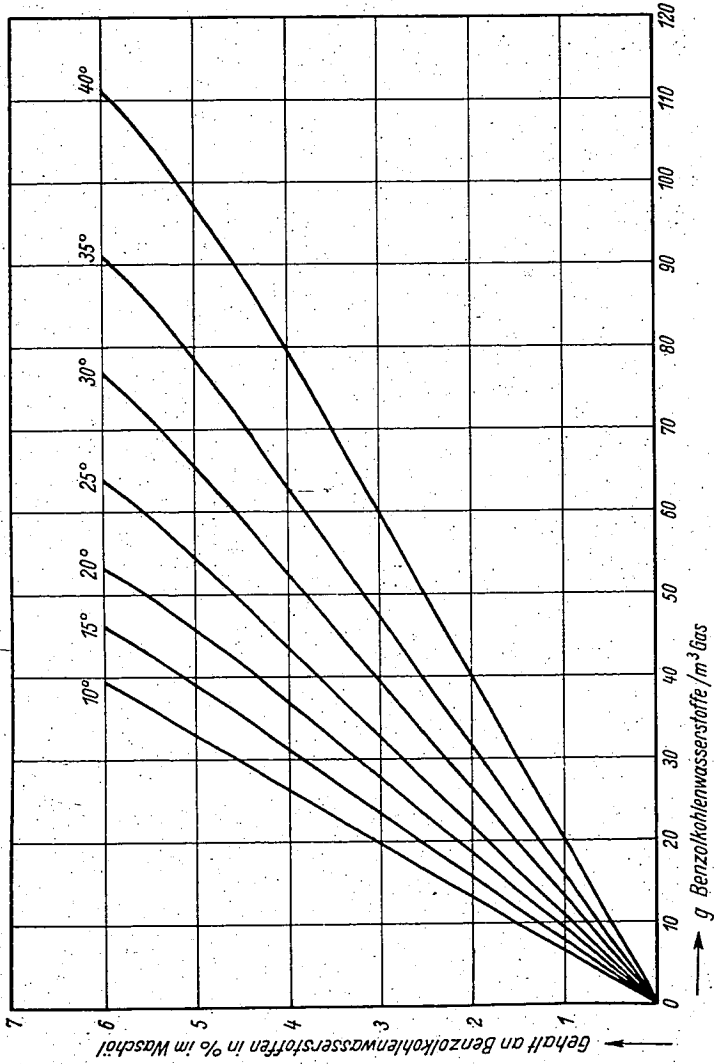


Abb. 2.

h) Löslichkeit von Naphthalin in verschiedenen Lösungsmitteln.
(g Naphthalin in 100 g Lösung.)

Temp. °C	Benzöl	Toluol	Xylol	Äthylbenzol	Diäthylbenzol	Methylnaphthalin	Äthyl-naphthalin	Tetra- lin	Dekalin
-10	—	14,7	10,4	15,5	15,0	7,4	9,3	—	—
0	23,1	18,1	15,9	20,8	18,8	13,0	12,0	12,0	2,9
10	28,4	24,7	22,1	27,3	24,8	20,3	17,5	16,2	10,3
20	36,2	32,0	29,2	35,1	31,9	28,0	24,1	23,2	20,3
30	45,2	40,5	37,5	44,9	39,4	36,3	31,1	31,0	30,4
40	1)	1)	46,4	56,0	47,6	45,9	38,6	—	42,1

1) In jedem Verhältnis löslich.

	Hexan	Solvent-naphthalin ¹⁾	Naphthalin-waschöl	Methanol	Butylalkohol	Chloroform	Nitrobenzol	Anilin	Chlorbenzol
-10	3	9,8	16,7	—	—	—	13,8	—	18,4
0	5,5	13,5	20,0	3,8	—	19,5	15,7	9,5	24,6
10	9,0	18,6	24,5	5,4	6,5	25,5	20,0	13,0	31,4
20	14,1	24,6	30,0	7,9	9,1	31,8	26,6	18,4	40,2
30	21,0	32,0	36,6	10,9	12,7	40,1	34,5	26,4	49,3
40	30,8	40,7	44,2	14,9	17,9	49,5	45,0	37,5	58,5

1) Entspricht Handelsbenzol V bis VI.

i) Lösungswärme von Ammoniak.

Prozentgehalt der Ammoniaklösung	Lösungswärme in kcal von 1 kg NH ₃ gasf., 15°, 1 at	Prozentgehalt der Ammoniaklösung	Lösungswärme in kcal von 1 kg NH ₃ gasf., 15°, 1 at
0	493	30	413
5	483	35	397
10	471	40	379
15	458	45	359
20	444	50	339
25	429	55	319

7. Diffusion von Gasen.

a) Begriff.

Die Diffusion von Gasen, d. h. deren Wanderung im Raum unter Ausgleich von Konzentrationsunterschieden, beruht auf der thermischen Bewegung der Gasmoleküle. Diese Bewegung erfolgt infolge gegenseitiger Behinderung jedoch nur für kurze Strecken geradlinig (mittlere freie Weglänge der Moleküle). Die Maßzahl für die Diffusion bildet der Diffusionskoeffizient δ . Dieser ist von der mittleren Geschwindigkeit c der Gasmoleküle (cm/s bei 0°) und der mittleren freien Weglänge L (cm bei 0° und 760 Torr) wie folgt abhängig:

$$\delta = c \cdot \frac{L}{3}$$

b) Diffusionskoeffizient von Gasen und Dämpfen.

Gas bzw. Dampf	$\frac{c}{\text{cm}^2 \text{ s}}$	L 10 ⁴	Gas bzw. Dampf	$\frac{c}{\text{cm}^2 \text{ s}}$	L 10 ⁴
Äthylalkohol	35440	215	Methylalkohol	42490	327
Äthylen	45420	345	Quecksilber	17000	217
Ammoniak	58270	441	Sauerstoff	42510	647
Argon	38080	635	Schwefeldioxyd	30040	290
Benzol	27220	138	Schwefelkohlenstoff	27560	201
Helium	120400	1798	Schwefelwasserstoff	41190	375
Kohlendioxyd	36250	397	Stickstoff	45430	599
Kohlenoxyd	45450	584	Wasserdampf	56650	404
Luft	44690	608	Wasserstoff	169200	1123
Methan	60060	493			

8. Zähigkeit von Gasen und Dämpfen.

a) Begriff.

Die absolute Zähigkeit, innere Reibung oder Viskosität η eines Gases oder einer Flüssigkeit bedeutet die Eigenschaft, der gegenseitigen Verschiebung der Moleküle einen Widerstand entgegenzusetzen. Die Zähigkeitszahl (Reibungskoeffizient) η stellt die Kraft dar, die der Bewegung einer Gas- oder Flüssigkeitsschicht von der Flächeneinheit (cm^2) dadurch entgegenwirkt, daß diese Schicht sich mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit 1 (cm/s) im Abstand 1 (cm) vor einer gleich großen ruhenden Schicht vorbeibewegt. Die Einheit der absoluten Zähigkeitszahl η ist daher $1 \text{ Dyn} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{ Poise (p)}$. Der hundertste Teil der letzteren wird als 1 Zentipoise (cp) bezeichnet. Wasser bei 20°C besitzt eine Zähigkeitszahl 1,005 cp oder angenähert 1 cp. Bei Flüssigkeiten fällt die Zähigkeit mit steigender Temperatur ab, bei Gasen nimmt sie dagegen zu.

Bei Gasen kann die Zähigkeitszahl η aus der kinetischen Gastheorie zu der Gleichung

$$\eta = k \cdot N \cdot c \cdot l \cdot m$$

abgeleitet werden. Darin bedeuten k einen Faktor $k = 0,3503$, N die Molekülzahl je Raumeinheit, c die mittlere Molekülgeschwindigkeit, l die mittlere freie Weglänge und m die Masse der Moleküle.

Bei strömungstechnischen Betrachtungen kommt nicht die absolute sondern die kinematische Zähigkeit ν in Betracht, die als Quotient von absoluter Zähigkeit η und Dichte d (g/cm^3), $\nu = \frac{\eta}{d}$ erhalten wird. Im einzelnen ergeben sich folgende Dimensionen:

	C-G-S-System	Technisches Maßsystem
Absolute Zähigkeit . . . η	$\text{g cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$	$\text{kg m}^{-2} \text{ s}$
Kinematische Zähigkeit ν	$\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
Dichte d	g/cm^3	$\text{kg m}^{-3} \text{ s}^2$

und gegenseitigen Beziehungen:

$$\eta_{\text{techn}} = \frac{\eta_{\text{abs}}}{98,1} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}$$

$$\nu_{\text{techn}} = \frac{\eta_{\text{abs}}}{10 d}$$

Für die rechnerische Erfassung der Temperaturabhängigkeit der absoluten Zähigkeit der Gase hat sich die Formel von Sutherland auch für größere Temperaturbereiche gut bewährt. Diese lautet:

$$\eta_t = \eta_0 \sqrt{\frac{T}{273}} \frac{\left(1 + \frac{C}{273}\right)}{\left(1 + \frac{C}{T}\right)},$$

in der C die Sutherlandsche Konstante darstellt.

Für von der gewöhnlichen nur wenig abweichende Temperaturen (— 10 bis + 40°) besteht bei der absoluten Zähigkeit η eine direkte geradlinige Temperaturabhängigkeit gemäß der Gleichung:

$$\eta_t = \eta_0 (1 + \beta t).$$

Durch Gleichsetzen der beiden letzten Gleichungen läßt sich β bei 30° C aus der Sutherlandschen Konstante C wie folgt errechnen:

$$\beta = \frac{\sqrt{\frac{303}{273}} \cdot \frac{\left(1 + \frac{C}{273}\right)}{\left(1 - \frac{C}{303}\right)} - 1}{30}$$

Für die Temperaturabhängigkeit der kinematischen Zähigkeit zwischen — 10 und 40° gilt mit genügender Genauigkeit:

$$\nu_t = \nu_0 (1 + \vartheta t),$$

worin

$$\vartheta = \beta + \frac{1}{273} + \frac{30\beta}{273} + 1,1099\beta + \frac{1}{273}.$$

Bei Gasmischen¹⁾ läßt sich die absolute Zähigkeit im allgemeinen nicht nach der Mischungsregel errechnen, sondern nur die Gemische N₂—O₂, O₂—CO und O₂—CO₂ zeigen eine lineare Abhängigkeit. Für die sonstigen Gemische sind Formeln aufgestellt worden, die jedoch bereits bei Gemischen von nur zwei Gasen sehr umfangreiche Ausdrücke darstellen.

¹⁾ Einzelheiten siehe Zipperer und Müller; GWF 75, 623, 641, 660 (1932).

Für die Berechnung der kinematischen Zähigkeit ν von Gasgemischen haben Zipperer und Müller (s. o.) folgende Näherungsformel aufgestellt:

$$10^6 \cdot \nu = \frac{100 \nu_m}{(\text{O}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + \text{N}_2) + 2(\text{CO}_2 + \text{C}_m\text{H}_n) + 1/7 \text{H}_2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1},$$

in der ν_m den mittleren Wert der kinematischen Zähigkeit der Gase Stickstoff, Methan, Kohlenoxyd und Sauerstoff bei 20°, $\nu_m = 15,28 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, und die Formeln für die Einzelgase deren Gehalt im Gemisch in Prozent darstellen.

Annäherungsweise kann die kinematische Zähigkeit ν von Gasgemischen mit einem Grenzgehalt der Einzelgase $\text{CO}_2 = 3,3$ bis $60,3\%$, $\text{O}_2 = 0,0$ bis $2,0\%$, $\text{CO} = 4,6$ bis $50,3\%$, $\text{H}_2 = 5,1$ bis $87,7\%$, $\text{CH}_4 = 2,2$ bis $20,9$ nach Richter¹⁾ auch aus dem spezifischen Gewicht des Gases γ (Luft = 1) wie folgt berechnet werden:

$$10^6 \cdot \nu = 0,755 + \frac{13,82}{\gamma} - \frac{0,775}{\gamma^2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ (20°, 760 Torr).}$$

b) Absolute und kinematische Zähigkeit reiner Gase bei Atmosphärendruck²⁾:

Gas bezw. Dampf	Abs. Zähigkeit ν_0 $g \text{ cm}^{-1} \text{ s}^{-1} \cdot 10^7$	Sutherland- landsche Konstante C	$\beta \cdot 10^3$	Abs. Zähigkeit ν_0 $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1} \cdot 10^7$	Kinematische Zähigkeit ν_0 $\text{m}^2 \text{ s}^{-1} \cdot 10^6$	$\nu \cdot 10^2$
Azetylen	943	198	—	9,61	8,05	—
Athan	855	287	—	8,72	6,30	—
Athylen	933	257	356	9,51	7,46	761
Ammoniak	926	370	—	9,44	12,00	—
Argon	2103	164	283	21,37	11,79	682
Benzoldampf	699	380	447	7,13	2,01	862
Butan	841	349	—	8,57	3,11	—
Cyan	940	330	—	9,58	4,02	—
Cyanwasserstoff	700	901	—	7,14	5,72	—
Helium	1880	78,2	232	19,16	105,3	625
Kohlendioxyd	1405	266	359	14,30	7,16	765
Kohlenoxyd	1656	104	277	16,88	13,26	673
Luft	1728	116	285	17,62	13,36	682
Methan	1036	190	318	10,56	14,49	719
Propan	752	324	—	7,67	3,72	—
Propylen	765	322	—	7,80	3,99	—
Sauerstoff	1927	131	295	19,65	13,49	693
Schwefeldioxyd	1183	416	—	12,06	4,04	—
Schwefelwasser- stoff	1175	331	—	11,98	7,63	—
Stickstoff	1673	112	282	17,05	13,31	679
Wasserdampf ³⁾	904	673	—	9,22	11,24	—
Wasserstoff	848	90	260	8,65	94,27	655

¹⁾ GWF 75, 989 (1932).

²⁾ Zähigkeit des Wasserdampfes bis 30 at s. W. Schiller, Forschung a. d. Gebiet d. Ingenieurwesens 5, 71 (1934).

³⁾ Zahlenwerte nach Landolt-Börnstein, sowie nach Zipperer und Müller.

c) Absolute und kinematische Zähigkeit verschiedener technischer Gase. (Nach Herning und Zipperer, GWF 79, 49, 1936).

Gas	Raumgewicht γ_{20} kg/m ³	Abs. Zähigkeit η_{20} g cm ⁻¹ s ⁻¹ · 10 ⁶	Kin. Zähigkeit ν_{20} m ² s ⁻¹ · 10 ⁶	Gaszusammensetzung in Vol.-%						
				CO ₂	C _n H _m	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
Kokereigas 1	0,4468	1262	28,25	1,7	2,1	0,9	6,0	57,5	24,0	7,8
» 2	0,4987	1304	26,15	2,1	2,3	0,9	5,7	53,0	24,3	11,7
» 3	0,4802	1310	27,28	2,0	2,0	1,4	4,6	54,9	23,5	11,6
Stadtgas 1	0,4919	1332	27,08	3,3	1,4	0,6	3,8	51,3	29,6	10,0
» 2	0,4656	1306	28,05	2,2	1,3	0,6	4,1	53,1	29,5	9,2
» 3	0,4729	1307	27,64	2,2	1,2	1,0	4,0	52,3	29,9	9,4
Mischgas	0,5278	1355	25,67	2,5	1,6	0,8	14,9	53,0	18,1	9,1
Generatorgas 1	1,0023	1714	17,10	4,8	0,5	0,3	26,4	17,2	2,6	48,2
» 2	1,0184	1712	16,81	3,5	0,8	0,3	27,3	14,4	3,7	50,0
» 3	0,9779	1715	17,54	3,1	0,9	0,5	28,6	17,7	4,2	45,0
Gichtgas	1,2052	1749	14,51	8,7	—	—	32,8	1,5	0,2	56,8
Abgas 1	1,2256	1756	14,33	8,6	—	2,3	—	—	—	89,1
» 2	1,2597	1749	13,88	13,3	—	3,9	—	—	—	82,8
» 3	1,2238	1793	14,65	6,2	—	10,7	—	—	—	83,1

d) Absolute Zähigkeit η des Quecksilbers (cm⁻¹ gs⁻¹).

Temp. °C	η	Temp. °C	η	Temp. °C	η
0	0,0168	40	0,0148	80	0,0130
20	0,0159	60	0,0137	100	0,0123

e) Absolute Zähigkeit η des Wassers (cm⁻¹ gs⁻¹).

Temp. °C	η	Temp. °C	η	Temp. °C	η
0	0,0178	40	0,0067	80	0,0036
20	0,0101	60	0,0047	100	0,0030

f) Absolute Zähigkeit η verschiedener Flüssigkeiten (cm⁻¹ gs⁻¹).

Flüssigkeit	°C	η	Flüssigkeit	°C	η
Äthylalkohol	0	0,0177	Methanol	25	0,0055
»	25	0,0108	»	50	0,0040
»	50	0,0070	Nitrobenzol	25	0,0183
Äthylbenzol	0	0,0087	Oktan	20	0,0054
Äthylsulfid	0	0,0056	Paraffinöl	20	1,02
Ammoniak	— 33,5	0,0025	Pentan	20	0,0024
Anilin	25	0,0374	Phenol	25	0,0850
Benzin	20	0,0052	Schwefelkohlenstoff	0	0,0044
Benzol	20	0,0065	Terpentinöl	0	0,0225
»	50	0,0042	Tetrachlorkohlenstoff	0	0,0135
Cyclohexan	20	0,0097	Thiophen	0	0,0087
Diäthyläther	0	0,0029	Toluol	0	0,0077
»	25	0,0023	»	20	0,0059
Glycerin	20	10,69	Trichloräthylen	25	0,0055
Hexan	20	0,0033	<i>o</i> -Xylol	0	0,0110
Kohlensäure (flüssig)	20	0,0007	»	20	0,0081
Kresol	45	0,04	<i>m</i> -Xylol	0	0,0081
Merkaptan	25	0,0021	»	20	0,0062
Methanol	0	0,0082	<i>p</i> -Xylol	20	0,0065