Resultate für den Maschinenbau

[Hauptband]

Redtenbacher, Ferdinand

Heidelberg, 1869

Achter Abschnitt. Die Wärme und deren Benutzung

urn:nbn:de:bsz:31-289815

ACHTER ABSCHNITT.

Die Wärme und deren Benutzung.

228.

Reduction der Thermometergrade nach den verschiedenen Scalen.

Nennt man die einer bestimmten Temperatur entsprechenden Grade nach der Scale von Reaumur R, nach jener von Celsius C und nach der von Fahrenheit F, so hat man:

$$F = 32 + \frac{9}{5}\,C = 32 + \frac{9}{4}\,R$$

$$C = \frac{5}{9}\,(F - 32) = \frac{5}{4}\,R$$

$$R = \frac{4}{9}\,(F - 32) = \frac{4}{5}\,C$$

Die folgende Tabelle enthält die Werthe von C, R und F, welche verschiedenen Temperaturen entsprechen.

C	R	F	C	R	F	C	R	F	C	R	F
100	80	212	75	60	167	50	40	122	25	20	77
99	79·2	210·2	74	59·2	165·2	49	39·2	120·2	24	19·2	75·2
98	78·4	208·4	73	58·4	163·4	48	38·4	118·4	23	18·4	73·4
97	77·6	206·6	72	57·6	161·6	47	37·6	116·6	22	17·6	71·6
96	76·8	204·8	71	56·8	159·8	46	36·8	114·8	21	16·8	69·8
95	76	203	70	56	158	45	36	113	20	16	68
94	75·2	201·2	69	55·2	156·2	44	35·2	111·2	19	15·2	66·2
93	74·4	199·4	68	54·4	154·4	43	34·4	109·4	18	14·4	64·4
92	73·6	197·6	67	53·6	152·6	42	33·6	107·6	17	13·6	62·6
91	72·8	195·8	66	52·8	150·8	41	32·8	105·8	16	12·8	60·8
90	72	194	65	52	149	40	32	104	15	12	59
89	71·2	192·2	64	51·2	147·2	39	31·2	102·2	14	11·2	57·2
88	70·4	190·4	63	50·4	145·4	38	30·4	100·4	13	10·4	55·4
87	69·6	188·6	62	49·6	143·6	37	29·6	98·6	12	9·6	53·6
86	68·8	186·8	61	48·8	141·8	36	28·8	96·8	11	8·8	51·8
85	68	185	60	48	140	35	28	95	10	8	50
84	67·2	183·2	59	47·2	138·2	34	27·2	93·2	9	7·2	48·2
83	66·4	181·4	58	46·4	136·4	33	26·4	91·4	8	6·4	46·4
82	65·6	179·6	57	45·6	134·6	32	25·6	89·6	7	5·6	44·6
81	64·8	177·8	56	44·8	132·8	31	24·8	87·8	6	4·8	42·8
80	64	176	55	44	131	30	24	86	5	4	41
79	63·2	174·2	54	43·2	129·2	29	23·2	84·2	4	3·2	39·2
78	62·4	172·4	53	42·4	127·4	28	22·4	82·4	3	2·4	37·4
77	61·6	170·6	52	41·6	125·6	27	21·6	80·6	2	1·6	35·6
76	60·8	168·8	51	40·8	123·8	26	20·8	78·8	1	0·8	33·8

Alle Temperaturen werden in der Folge nach der Scale von Celsius angegeben.

229.

Ausdehnung fester Körper durch die Wärme).*

Die Ausdehnung der Körper ist der Temperaturveränderung proportional, so lange die Temperatur derjenigen nicht zu nahe kommt, bei welcher eine Aenderung des Aggregatzustandes eintritt.

Nennt man:

L, F, K die Länge eines Stabes, den Flächeninhalt einer Platte und den Kubikinhalt eines Körpers bei 0° Temperatur,

*) Die in Nr. 229, 230 und 232 bis 237 angegebenen physikalischen Constanten sind dem heutigen Stande der betreffenden Kenntniss gemäss revidirt worden unter Benutzung namentlich der von Professor Dr. Wiedemann für die logarithmischen Tafeln von Prof. Dr. Schlömilch (1866) gelieferten Zusammenstellung physikalischer Constanten. G.

α die Längenausdehnung, welche ein Stab von 1m Länge bei einer Temperaturänderung von 1° erleidet,

so ist:

die Länge des Stabes bei t^0 Temperatur $L\,(1+\alpha t)$
der Flächeninhalt der Platte bei t^0 „ $F\,(1+2\alpha t)$
der Kubikinhalt des Körpers bei t^0 „ $K\,(1+3\alpha t)$

Die Ausdehnungscoeffizienten für verschiedene Substanzen sind in folgender Tabelle enthalten, und zwar für eine Erwärmung von 0° bis 100° Celsius.

Benennung der Substanzen.	Ausdehnung bei einer Erwärmung von 0° bis 100° Celsius.	
Blei	0·002848	$\frac{1}{351}$
Bronze	0·001816	$\frac{1}{551}$
Eisen	0·001170	$\frac{1}{855}$
Glas	0·000920	$\frac{1}{1087}$
Gold	0·001401	$\frac{1}{714}$
Kupfer, geschlagen .	0·001784	$\frac{1}{561}$
Messing, gegossen .	0·001866	$\frac{1}{536}$
Silber	0·00200	$\frac{1}{500}$
Stahl, gehärtet . . .	0·001375	$\frac{1}{727}$
Stahl, ungehärtet . .	0·001132	$\frac{1}{883}$
Zink, gegossen . . .	0·002941	$\frac{1}{340}$
Zinn, feines	0·002283	$\frac{1}{438}$

230.

Ausdehnung der Flüssigkeiten und Gase durch die Wärme.

Die Volumenänderung der tropfbaren Flüssigkeiten bei der Erwärmung befolgt ein eigenthümliches, nur für einige Flüssigkeiten empirisch bekanntes Gesetz. Sie beträgt, bezogen auf das Volumen bei 0^0 als Einheit, bei der Erwärmung von 0^0 bis t^0

für Alkohol ($t = -33^0$ bis $+78^0$):

$$\frac{104863}{10^8}\,t + \frac{1751}{10^9}\,t^2 + \frac{134}{10^{11}}\,t^3$$

für Wasser:

$$t = 0 \text{ bis } 25^0\colon\ -\frac{61045}{10^9}\,t + \frac{77183}{10^{10}}\,t^2 - \frac{3734}{10^{11}}\,t^3$$

$$t = 25 \text{ bis } 50^0\colon\ -\frac{65415}{10^9}\,t + \frac{77587}{10^{10}}\,t^2 - \frac{3541}{10^{11}}\,t^3$$

$$t = 50 \text{ bis } 75^0\colon\ \frac{59160}{10^9}\,t + \frac{31849}{10^{10}}\,t^2 - \frac{728}{10^{11}}\,t^3$$

$$t = 75 \text{ bis } 100^0\colon\ \frac{86450}{10^9}\,t + \frac{31892}{10^{10}}\,t^2 + \frac{245}{10^{11}}\,t^3$$

für Quecksilber:

$$\frac{179}{10^6}\,t + \frac{25}{10^9}\,t^2$$

Der Ausdehnungscoeffizient für Gase ist das Verhältniss zwischen der durch eine Temperaturerhöhung um 1 Grad bei constantem Druck entstehenden Volumenänderung zum ganzen Gasvolumen bei 0^0 und demselben Druck.

Die folgende Tabelle enthält die Werthe der von *Regnault* aufgefundenen Ausdehnungscoeffizienten mehrerer Gase.

Benennung des Gases.	Ausdehnungscoeffizient.
Atmosphärische Luft . .	0·003670
Wasserstoffgas	0·003661
Stickstoffgas	0·003670
Kohlenoxydgas	0·003669
Kohlensäure	0·003710

231.

Schwindmaass,

d. h. die lineare Zusammenziehung der Metalle bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand.

Gusseisen	$\frac{1}{98}$	bis $\frac{1}{95}$	im	Mittel	$\frac{1}{96}$
Messing	$\frac{1}{79}$	„ $\frac{1}{49}$	„	„	$\frac{1}{65}$
Glockenmetall (100 Kupfer, 18 Zinn)	$\frac{1}{79}$	„ $\frac{1}{49}$	„	„	$\frac{1}{65}$
Kanonenmetall (100 Kupfer, 12½ Zinn)	$\frac{1}{139}$	„ $\frac{1}{130}$	„	„	$\frac{1}{134}$
Zink	$\frac{1}{65}$	„ $\frac{1}{57}$	„	„	$\frac{1}{62}$
Blei	$\frac{1}{104}$	„ $\frac{1}{86}$	„	„	$\frac{1}{92}$
Zinn, ohne Bleizusatz	$\frac{1}{137}$	„ $\frac{1}{120}$	„	„	$\frac{1}{128}$

232.

Schmelzpunkt verschiedener Substanzen.

Substanz.	Grad Celsius.	Substanz.	Grad Celsius.
Gehämmertes englisches Eisen	1600	Legirung: 3 Zinn 1 Wismuth	200
Weiches franz. Eisen	1500	2 „ 1 „	167·7
Strengflüssigster Stahl	1400	1 „ 1 „	141·2
Leichtflüssigster Stahl	1300	1 Blei 4 Zinn 5 Wismuth	118·9
Graues Gusseisen, zweite Schmelzung	1200	2 „ 3 „ 5 „	100
		5 „ 3 „ 5 „	94
Leichtflüssiges, weisses Gusseisen	1050	1 „ 1 „ 2 „	94
		Natrium	90
Gold	1250	Kalium	55
Silber	1000	Phosphor	44
Bronze*)	900	Schwefel	111
Antimonium	440	Stearinsäure	64
Zink	450	Weisses Wachs	68
Blei	335	Gelbes Wachs	61
Wismuth	265	Wallrath	48
Zinn	235	Paraffin	46
Legirung:		Essigsäure	45
6 Th. Zinn 1 Th. Blei	194	Seife	33·33
4 „ „ 1 „ „	189	Eis	0·0
3 „ „ 1 „ „	186	Terpentinöl	—10
1 „ „ 1 „ „	189	Quecksilber	—39·5
1 „ „ 3 „ „	289		

*) Die bis hierher aufgeführten Schmelzpunkte sind bei der Ungenauigkeit der Mittel zur Messung hoher Temperaturen nicht ganz zuverlässig. G.

233.

Siedepunkte.

Kohlensäure	— 78°	Salpetersäure	86°
Schweflige Säure . . .	— 10°	Meerwasser	104°
Salzsäure conc.	20°	Phosphor	290°
Schwefeläther	35°	Leinöl	387°
Wasserfreie Schwefelsäure	46°	Schwefelsäurehydrat . .	326°
Schwefelkohlenstoff . .	48°	Quecksilber	350°
Alkohol	78°	Schwefel	400°

234.

Wärmeeinheit.

Zur Messung der mannigfaltigen Wirkungen, welche die Wärme hervorbringt, ist man übereingekommen, diejenige Wärmegrösse (Wärmemenge) als Einheit anzunehmen, welche erforderlich ist, um die Temperatur von einem Kilg. Wasser um 1° des hunderttheiligen Thermometers zu erhöhen. Einer Wärmeeinheit entspricht ein mechanisches Aequivalent von 424 Kilogramm-Meter.

235.

Spezifische Wärme der Substanzen.

Man nennt spezifische Wärme einer Substanz die Wärmemenge (Anzahl der Wärmeeinheiten), welche nothwendig ist, um die Temperatur von 1 Kilg. der Substanz um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers zu erhöhen.

Die folgende Tabelle gibt die spezifische Wärme verschiedener Substanzen.

Spezifische Wärme einiger Substanzen.

Benennung der Substanz.	Spezifische Wärme.	Benennung der Substanz.	Spezifische Wärme bei constantem Druck.
Wasser	1·000	Atmosphärische Luft	0·2375
Aluminium	0·214	Wasserstoffgas	3·4046
Antimon	0·051	Kohlensaures Gas	0·2164
Blei	0·031	Sauerstoffgas	0·2182
Eisen	0·114	Stickstoffgas	0·2440
Gold	0·032	Stickstoffoxydgas	0·2315
Kupfer, geglüht	0·095	Sumpfgas	0·5925
Kupfer, gehämmert	0·093	Oelbildendes Gas	0·3694
Platin	0·032	Kohlenoxydgas	0·2479
Quecksilber	0·033	Wasserdampf	0·4805
Stahl	0·107	Alkoholdampf	0·4513
Silber	0·057	Aetherdampf	0·4797
Wismuth	0·031	Chlor	0·1214
Zinn	0·056	Ammoniak	0·5080
Zink	0·096	Chloroform	0·1568
Gebrannter Thon	0·208	Chlorwasserstoff	0·1845
Diamant	0·147	Schwefelwasserstoff	0·2423
Graphit	0·200		
Holzkohle	0·240		
Glas	0·177		
Holz	0·500 0·650		
Steinsalz	0·219		
Kalkspath	0·206		
Gyps	0·259		
Eis	0·502		

Das Verhältniss $\gamma = \frac{\text{spezifische Wärme bei constantem Druck}}{\text{spezifische Wärme bei constantem Volumen}}$

hat für verschiedene Gase nachstehende Werthe:

Benennung der Gase.	γ
Atmosphärische Luft .	1·410
Wasserstoff	1·407
Sauerstoff	1·415
Kohlenoxyd	1·427
Stickstoffoxyd . . .	1·343
Kohlensäure	1·338
Oelbildendes Gas . .	1·240

236.

Wärmeausstrahlungs- und Absorptionsvermögen verschiedener Körper.

Lampenruss	100	Graphit	75
Papier	98	Rauhes Blei	45
Siegellack	95	Quecksilber	20
Crownglas	90	Blankes Blei	19
Tusche	88	Polirtes Eisen	15
Eis	85	Zinnplatte	12
Mennige, Glimmer . . .	80	Gold, Silber, Kupfer .	12

237.

Wärmeleitungsvermögen der Metalle.

Silber, weich	1000	Eisen	119
Kupfer, weich	736	Blei	85
Gold, hart	532	Platin	84
Zink	281	Neusilber	63
Zinn	150		

238.

Chemische Zusammensetzung verschiedener Stoffe.

Benennung des Stoffes.	1 Kilogr. der Verbindung besteht aus: Kilogr.
Atmosphärische Luft . . .	0·23 O 0·77 N
Wasser	0·89 O 0·11 H
Kohlenoxydgas	0·57 O 0·43 C
Kohlensäure	0·73 O 0·27 C

Benennung des Stoffes.	1 Kilogr. der Verbindung besteht aus:
	Kilogr.
Sumpfgas	0·75 C 0·25 H
Oelbildendes Gas	0·86 C 0·14 H
Ammoniak	0·82 N 0·18 H
Schwefelwasserstoffgas . . .	0·94 S 0·06 H
Aether	0·22 O 0·65 C 0·13 H
Alkohol	0·35 O 0·52 C 0·13 H
Terpentinöl	0·88 C 0·12 H

Dabei bedeutet:

O Sauerstoff
H Wasserstoff
N Stickstoff
C Kohlenstoff
S Schwefel

239.

Heizkraft der Brennstoffe.

Die Heizkraft eines Brennstoffes ist die Wärmemenge, welche beim vollkommenen Verbrennen von einem Kilogramm des Stoffes in atmosphärischer Luft entwickelt wird.

Nennt man: $\mathfrak{K}$, $\mathfrak{H}$, $\mathfrak{O}$, $\mathfrak{W}$ die Mengen in Kilg. von Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser, welche in einem Kilg. eines Brennstoffes enthalten sind, und W die Heizkraft des Brennstoffes, so ist allgemein:

$$W = 7050\,\mathfrak{K} + 34500\left(\mathfrak{H} - \frac{1}{8}\,\mathfrak{O}\right) - 650\,\mathfrak{W}$$

Die folgende Tabelle gibt die Heizkraft verschiedener Brennstoffe*).

*) Ist 7050 der erfahrungsmässige Heizwerth wasserfreier Holzkohle oder Coaks von 6% Aschengehalt, so ist der Heizwerth des Kohlenstoffs

$$= \frac{100}{94} \cdot 7050 = 7500$$

und somit der Heizwerth irgend eines anderen Brennstoffs zu setzen:

$$W = 7500\,\mathfrak{K} + 34500\left(\mathfrak{H} - \frac{1}{8}\mathfrak{O}\right) - 650\,\mathfrak{W}$$

Benennung des Brennstoffs.	Heizkraft. Wärmeeinheiten.	Bemerkungen.
Trockene Holzkohle	7050	für jede Holzart.
Gewöhnliche Holzkohle . .	6000	0·2 Wasser enthalt.
Reine Coaks	7050	
Steinkohlen erster Qualität .	7050	0·02 Asche enthalt.
„ zweiter „ .	6345	0·10 „ „
„ dritter „ .	5932	0·20 „ „
Volkommen trockenes Holz .	3666	für jede Holzart.
Lufttrockenes Holz	2945	0·2 Wasser enthalt.
Torf erster Qualität . . .	3000	
Ordinärer Torf	1500	
Wasserstoffgas	34500	
Kohlenoxydgas	2400	
Sumpfgas	13000	
Oelbildendes Gas	12000	
Baumöl	11200	
Rüböl	9300	
Weingeist	7200	
Talg	8000	
Schwefel	2200	
Terpentinöl	11000	

240.

*Luftmenge, welche zum vollkommenen Verbrennen von **1** Kilogr. Brennstoff nothwendig ist.*

Nennt man wiederum: $\mathfrak{K}, \mathfrak{H}, \mathfrak{O}$ die Mengen in Kilg. Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, welche in einem Kilg. Brennstoff ent-

---

Hiernach findet man z. B. auf Grund der in Nr. 242 angeführten chemischen Zusammensetzung verschiedener Brennstoffe die folgenden Heizwerthe derselben:

Brennstoff.	Heizwerth.
Holz, wasserleer	3900
Holz, lufttrocken	3008
Torf, wasserleer	4547
Torf, lufttrocken	3507
Steinkohlen	7536
Holzkohlen	6310
Coaks	6343

G.

halten sind, und L die Luftmenge in Kilg., welche zum vollkommenen Verbrennen von 1 Kilg. des Brennstoffes erforderlich ist, so hat man:

$$L = 11{\cdot}59\ \mathfrak{K} + 34{\cdot}78\left(\mathfrak{H} - \frac{1}{8}\,\mathfrak{O}\right)$$

Für vollkommen trockenes Holz ist L = 5·89 Kilg.
„ lufttrockenes Holz ist . . . L = 4·73 „
„ vollkommen trockenen Torf ist L = 6·76 „
„ lufttrockenen Torf ist . . . L = 5·41 „
„ Steinkohlen ist . . . . . . L = 10·84 „
„ Holzkohlen und Coaks ist . . L = 9·85 „ *)

241.

Luftmenge, welche bei gewöhnlichen Kesselfeuerungen zum Verbrennen von 1 Kilg. Brennstoff consumirt wird.

Bei den gewöhnlichen Kesselfeuerungen ist der Erfahrung zufolge die Luftmenge, welche das Verbrennen unterhält, etwa zwei-

*) Hierbei sind die in Nr. 242 angegebenen mittleren chemischen Zusammensetzungen in Rechnung gebracht.

Bezeichnet man mit $\mathfrak{W}$ und $\mathfrak{A}$ die in 1 Kilg. des Brennstoffs enthaltenen Gewichtsmengen Wasser und Asche, so findet man die bei der Verbrennung resultirenden Gewichtsmengen Kohlensäure (CO_2), Wasser (H_2O) und Stickstoff (N) durch folgende Formeln:

$$CO_2 = 3{\cdot}67\,\mathfrak{K}$$
$$H_2O = 9\,\mathfrak{H} + \mathfrak{W}$$
$$N = 1 + L - \mathfrak{A} - CO_2 - H_2O.$$

Hiernach ergibt sich auf Grund der in Nr. 242 angegebenen chemischen Zusammensetzungen:

Brennstoff.	CO_2	H_2O	N
Vollk. trockenes Holz .	1·78	0·56	4·54
Lufttrockenes Holz . .	1·43	0·65	3·64
Vollk. trockener Torf .	1·98	0·50	5·20
Lufttrockener Torf . .	1·59	0·60	4·16
Steinkohlen	2·94	0·52	8·34
Holzkohlen	3·12	0·10	7·58
Coaks	3·12	0·05	7·58

G.

mal so gross als die obigen kleinsten Quantitäten, welche das vollkommene Verbrennen zu bewirken vermögen. Für gewöhnliche Kesselfeuerungen ist daher zu rechnen:

für	1	Kilg.	vollkommen trockenes Holz	L = 11·8 Kilg.
„	1	„	lufttrockenes Holz	L = 9·5 „
„	1	„	vollkommen trockenen Torf .	L = 13·5 „
„	1	„	lufttrockenen Torf . . .	L = 10·8 „
„	1	„	Holzkohlen und Coaks . .	L = 19·7 „
„	1	„	Steinkohlen	L = 21·7 „

242.

Temperatur der Verbrennungsgase.

Nennt man:

W die totale Wärmemenge, die durch die Verbrennung von einem Kilg. Brennstoff entwickelt wird,

A_1, A_2, A_3 . . . . die Stoffmengen in Kilg., welche vor dem Verbrennungsakt gegenwärtig sind,

c_1, c_2, c_3 . . . die spezifischen Wärmen dieser Stoffe,

t_1, t_2, t_3 . . . die Temperaturen dieser Stoffe vor der Verbrennung,

A_1^1, A_2^1 . . . die Stoffmengen in Kilg., welche nach dem Verbrennungsakt gegenwärtig sind,

c_1^1, c_2^1 . . . die spezifischen Wärmen dieser Stoffe,

T die Temperatur der Verbrennungsgase,

so hat man allgemein

$$T = \frac{W + \Sigma A c t}{\Sigma A^1 c^1}$$

Geschieht die Verbrennung von 1 Kilg. Brennstoff mit L Kilg. atmosphärischer Luft von t^0 Temperatur, so hat man auch annähernd

$$T = t + \frac{W}{0{\cdot}238\,(L+1)}$$

Nachfolgende Tabelle gibt die Temperatur der Verbrennungsgase verschiedener Brennstoffe, und zwar: a) wenn die Luftmenge L die kleinste ist, bei welcher ein vollständiges Verbrennen stattfinden kann; b) wenn die Luftmenge L zweimal so gross ist, als die kleinste.

Brennstoff.	Chemische Zusammensetzung.					Temperatur der Verbrennungsgase.	
	𝔎	𝔋	𝔒	𝔚	𝔄	Fall a	Fall b
Holz, wasserleer	0·486	0·062	0·437	0·000	0·015	2378	1282
Holz, lufttrocken	0·389	0·050	0·349	0·200	0·012	2206	1208
Torf, wasserleer	0·540	0·055	0·325	0·000	0·080	2462	1316
Torf, lufttrocken	0·432	0·044	0·260	0·200	0·064	2299	1246
Steinkohlen	0·800	0·054	0·071	0·030	0·045	2674	1396
Holzkohlen	0·850	0·000	0·000	0·100	0·050	2444	1281
Coaks	0·850	0·000	0·000	0·050	0·100	2456	1287

𝔎 = Kohlenstoff
𝔋 = Wasserstoff
𝔒 = Sauerstoff
𝔚 = Wasser
𝔄 = Asche

in einem Kilg. Brennstoff*).

Der Wasserdampf**).

243.

Zusammenhang zwischen Temperatur, Spannkraft und Dichte bei Dämpfen, welche nur so viel Wärme enthalten, als zu ihrem Bestehen erforderlich ist.

Nennt man für solchen Dampf (gesättigten Dampf):

p die Spannkraft, d. h. den Druck in Kilg. auf einen Quadratmeter,

*) Obige Zahlen, die chemische Zusammensetzung betreffend, sind aus den Angaben in der vorigen Auflage durch Reduction auf den Summenwerth:

$$\mathfrak{K} + \mathfrak{H} + \mathfrak{O} + \mathfrak{W} + \mathfrak{A} = 1$$

und mit Berücksichtigung mittlerer Wassergehalte bei Steinkohlen, Holzkohlen und Coaks erhalten worden.

Bei der Berechnung der Verbrennungstemperaturen wurde die obige Näherungsformel benutzt und t = 0 gesetzt, während die Werthe von W aus Nr. 239, Anmerkung, und die Werthe von L aus Nr. 240 genommen wurden. In Wirklichkeit sind diese Temperaturen kleiner, weil die Verbrennung nicht ganz vollkommen ist und ein Theil der erzeugten Wärme durch Strahlung an die Umgebung des Verbrennungsraums abgegeben wird. G.

**) Die genaueren, dem heutigen Stande der mechanischen Wärmetheorie entsprechenden Resultate, das Verhalten des Wasserdampfes betreffend, enthält der Anhang. G.

t die Temperatur,
Δ die Dichte, d. h. das Gewicht von einem Kubikmeter Dampf,

	für Dämpfe von 1 bis 2 Atm. Spannkraft:	für Dämpfe von 2 bis 5 Atm. Spannkraft:
$\alpha =$	0·06295	0·1427
$\beta =$	0·000051	0·0000473
$\frac{\alpha}{\beta} =$	1234	3017

so lassen sich die Beziehungen zwischen p, t, Δ annähernd auf folgende Weise ausdrücken:

$$p = 10330\,(0{\cdot}2847 + 0{\cdot}0071531\ t)^5$$

$$\Delta = \alpha + \beta p\ ^{*)}$$

244.

Wärmemenge zur Verwandlung von 1 Kilg. Wasser in Dampf.

Die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 Kilg. Wasser von 0° Temperatur in Dampf von der Temperatur t° zu verwandeln, ist:

a) nach *Watt*, *Pambour*, *Parkes* unabhängig von der Spannkraft und Temperatur des aus dem Wasser entstandenen Dampfes und zwar gleich 650 Wärmeeinheiten;

---

*) Eine Tabelle zusammengehöriger Werthe von t, p und Δ, auf Grund der Regnault'schen Versuche und der Resultate der mechanischen Wärmetheorie entworfen, enthält der Anhang.

Wenn man nach dieser Tabelle die Coeffizienten α und β der Näherungsformel

$$\Delta = \alpha + \beta p$$

berechnet, so findet man folgende Werthe:

	α	β_1	β
p=1 bis 2 Atm.	0·0487	0·5572	0·0000539
2 „ 3 „	0·0845	0·5393	0·0000522
3 „ 4 „	0·1187	0·5279	0·0000511
4 „ 5 „	0·1515	0·5197	0·0000503
5 „ 6 „	0·1840	0·5132	0·0000497
6 „ 7 „	0·2158	0·5079	0·0000492
7 „ 8 „	0·2473	0·5034	0·0000487
8 „ 9 „	0·2777	0·4996	0·0000483
9 „ 10 „	0·3074	0·4963	0·0000480

Dabei beziehen sich die Werthe unter β_1 auf den Fall, dass p in Atmosphären ausgedrückt ist. G.

b) nach Versuchen von *Clement* gleich

$$550 + t$$

c) nach sehr genauen Versuchen von *Regnault*

$$606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\ t$$

Für technische Zwecke ist die einfachere *Watt*'sche Regel hinreichend genau *).

Die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 Kilg. Wasser von T^0 Temperatur auf $T + 1$ Grad zu bringen, ist nach *Regnault*'s Versuchen:

$$1 + 0{\cdot}00004\ T + 0{\cdot}0000009\ T^2$$

nimmt also mit der Temperatur nur äusserst wenig zu, und kann desshalb für technische Rechnungen constant und gleich einer Wärmeeinheit genommen werden.

Unter dieser Voraussetzung, und wenn man die obige *Watt*'sche Regel gelten lässt, sind zur Bildung von einem Kilg. Dampf von irgend einer Temperatur T aus Wasser von derselben Temperatur

$$650 - T$$

Wärmeeinheiten nothwendig.

245.

Verdichtung oder Condensation des Dampfes.

Um 1 Kilg. Dampf, welcher sich in einem geschlossenen Gefäss befindet, durch Einspritzen von Wasser, das eine Temperatur t hat, so weit zu condensiren, dass die Temperatur des Gemenges T Grad wird, braucht man annähernd

$$\frac{650 - T}{T - t} \text{ Kilg. Wasser.}$$

*) Nach den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie ist die fragliche Wärmemenge verschieden je nach den Umständen, unter welchen die Verdampfung stattfindet, und es bezieht sich insbesondere die Regnault'sche Formel auf den Fall, dass, wie in einem Dampfkessel, der Druck bei der Verdampfung beständig = der Spannkraft des zu erzeugenden Dampfes ist.

G.

246.

Ausströmung des Dampfes aus einem Gefäss.

Nennt man:

P den Druck des Dampfes im Gefäss auf 1 Quadratmeter,

p die Spannung, welche in dem Raum herrscht, nach welchem der Dampf entweicht, gemessen durch den Druck per 1 Quadratmeter,

$\left.\begin{array}{l}\alpha+\beta P\\ \alpha+\beta p\end{array}\right\}$ Gewicht von einem Kubikmeter Dampf, dessen Spannkraft P und p ist (siehe Nr. 243),

Ω den Querdurchschnitt der Ausströmungsöffnung in Quadratmeter,

k den Contraktions-Coeffizienten für die Ausströmungsöffnung,

Q die Quantität Dampf in Kilogrammen, welche per 1″ ausströmt,

U die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf entweicht,

so ist:

$$U = \sqrt{\frac{2g}{\beta} \log \text{nat} \frac{\alpha+\beta P}{\alpha+\beta p}}$$

$$Q = k\,\Omega\,(\alpha+\beta p)\,U$$

Die folgende Tabelle enthält für verschiedene Werthe von $\frac{\alpha+\beta P}{\alpha+\beta p}$ die entsprechenden Werthe von U *).

$\frac{\alpha+\beta P}{\alpha+\beta p}$	U Meter.	$\frac{\alpha+\beta P}{\alpha+\beta p}$	U Meter.
1·1	193	2	522
1·2	267	3	657
1·3	321	4	738
1·4	363	5	795
1·5	399	6	838
1·6	429	7	874
1·7	456	8	903
1·8	480	9	929
1·9	502	10	951

*) Bei der Berechnung dieser Tabelle ist

$$\frac{2g}{\beta} = \frac{2 \times 9{\cdot}81}{0{\cdot}00005}$$

gesetzt worden. G.

247.

Kamine. Taf. XXXVI.

Die Dimensionen der Kamine können mit einer für die Praxis genügenden Genauigkeit durch folgende Regeln bestimmt werden.

Nennt man:

$\mathfrak{S}$ die Steinkohlenmenge in Kilogrammen, welche per 1 Stunde auf einem Feuerherd verbrannt wird,

$\mathfrak{H}$ die Holzmenge in Kilogrammen, welche stündlich auf einem Herd verbrannt wird,

$\mathfrak{L}$ die Luftmenge in Kilogr., welche stündlich durch das Kamin aufsteigt,

N für Dampfmaschinen-Kesselheizungen die Pferdekraft der Maschine oder des Kessels,

$$\left.\begin{array}{l} H \text{ die Höhe des Kamins}\\ \Omega \text{ den unteren Querschnitt des Kamins}\\ \left.\begin{array}{l} d \text{ die untere}\\ d_1 \text{ die obere}\end{array}\right\} \text{ Weite des Kamins}\\ \left.\begin{array}{l} e \text{ die untere}\\ e_1 \text{ die obere}\end{array}\right\} \text{ Mauerdicke des Kamins}\end{array}\right\} \text{ in Metern;}$$

so hat man zur Bestimmung einer der 4 Grössen N, $\mathfrak{S}$, $\mathfrak{H}$, $\mathfrak{L}$, wenn die drei andern bekannt sind, folgende Beziehungen:

$$N = \frac{\mathfrak{S}}{3} = \frac{\mathfrak{H}}{6} = \frac{\mathfrak{L}}{66}$$

$$\mathfrak{S} = 3\,N = \frac{\mathfrak{H}}{2} = \frac{\mathfrak{L}}{22}$$

$$\mathfrak{H} = 6\,N = 2\,\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{L}}{11}$$

$$\mathfrak{L} = 66\,N = 22\,\mathfrak{S} = 11\,\mathfrak{H}$$

Sodann findet man die Hauptdimensionen eines Kamins, dessen Höhe durch Lokal- oder andere Verhältnisse bekannt ist, durch folgende Ausdrücke:

$$\Omega = \frac{N}{14\sqrt{H}} = \frac{\mathfrak{S}}{42\sqrt{H}} = \frac{\mathfrak{H}}{84\sqrt{H}} = \frac{\mathfrak{L}}{924\sqrt{H}}$$

$$d_1 = d - 0{\cdot}013\ H$$

$$e_1 = 0{\cdot}18 \text{ Meter}$$

$$e = 0{\cdot}18 + 0{\cdot}015\ H$$

Für freistehende Kamine ist es zweckmässig, die Höhe 25 mal so gross zu machen, als den unteren Durchmesser. Die Dimensionen dieser Kamine sind:

$$H = 5{\cdot}03\ (N)^{\frac{2}{5}} = 3{\cdot}24\ (\mathfrak{S})^{\frac{2}{5}} = 2{\cdot}46\ (\mathfrak{H})^{\frac{2}{5}} = 0{\cdot}94\ (\mathfrak{L})^{\frac{2}{5}}\ ^{*)}$$

$$d = \frac{H}{25};\ d_1 = d - 0{\cdot}013\ H$$

$$e_1 = 0{\cdot}18;\ e = 0{\cdot}18 + 0{\cdot}015\ H$$

Hiernach ergeben sich die in der folgenden Tabelle enthaltenen zusammengehörigen Werthe **).

---

*) Hierbei ist ein kreisförmiger Querschnitt des Kamins vorausgesetzt. Bei Voraussetzung eines quadratischen Querschnitts würden der Annahme: $H = 25\,d$ die Formeln entsprechen:

$$H = 4{\cdot}57\ (N)^{\frac{2}{5}} = 2{\cdot}94\ (\mathfrak{S})^{\frac{2}{5}} = 2{\cdot}23\ (\mathfrak{H})^{\frac{2}{5}} = 0{\cdot}86\ (\mathfrak{L})^{\frac{2}{5}}$$

oder auch es würde den oben im Text angegebenen Formeln die Annahme: $H = 22{\cdot}15\,d$ zu Grunde liegen. G.

**) Die Zugwirkung eines Kamins ist ausser von seiner Höhe wesentlich abhängig von der Temperatur $= t$, mit welcher die Heizgase in dasselbe abziehen. Diese Temperatur t muss um so grösser sein, je kleiner H genommen wird; sie muss bei Kaminen von Eisenblech wegen der bedeutenderen Abkühlung der darin aufsteigenden Gase grösser sein, als bei gemauerten Kaminen; endlich ist ihr nöthiger Werth von den Dimensionen des ganzen Kanalsystems, von der Beschaffenheit und der Schichthöhe des Brennstoffes auf dem Roste abhängig. Unter Voraussetzung mittlerer Verhältnisse in diesen Beziehungen haben sich aus speziell durchgeführten Rechnungen für Steinkohlenfeuerung mit möglichster Berücksichtigung aller Umstände die folgenden Resultate ergeben, wobei t_1 die Temperatur und v_1 die Geschwindigkeit in Mtr. per 1'' bedeutet, womit die Gase aus der oberen Mündung $= \Omega_1$ Quadratmtr. des Kamins entweichen.

1) Quadratische gemauerte Kamine.

$\mathfrak{S}$	Ω_1	H	t^0C.	t_1^0C.	v_1
50	0·2	19·9	299	213	2·1
100	0·3	21·9	246	200	2·7
200	0·5	25·1	202	177	3·1
400	0.9	30·0	162	148	3·2
800	1·7	37·1	129	121	3·2

2) Runde Kamine von Eisenblech.

$\mathfrak{S}$	Ω_1	H	t^0 C.	t_1^0 C.	v_1
50	0·2	19·9	398	158	1·8
100	0·3	21·9	300	164	2·5
200	0·5	25·1	233	152	2·9
400	0·9	30·0	181	131	3·1

Hierbei bedeutet für den Fall, dass mehrere Feuerungen mit einem gemeinschaftlichen Kamine versehen werden sollen, $\mathfrak{S}$ die Steinkohlenmenge in Kilogr., welche stündlich auf allen Feuerherden zusammen verbrannt wird; Ω_1 ist nach der empirischen Formel:

$$\Omega_1 = 0{\cdot}1 + 0{\cdot}002\ \mathfrak{S}$$

und H (von der Horizontalebene der Roste bis zur Mündung des Kamins gerechnet) nach der Formel:

$$H = 11 + \sqrt{40 + 0{\cdot}8\ \mathfrak{S}}$$

berechnet worden. Die Werthe von t lassen sich mit grosser Annäherung durch folgende empirische Formeln ausdrücken:

1) Gemauerte Kamine:

$$t = \frac{300\ H}{\left(0{\cdot}971 - \frac{0{\cdot}3}{\sqrt{\mathfrak{S}}}\right) H - 8} - 273$$

2) Blechkamine:

$$t = \frac{300\ H}{\left(0{\cdot}975 - \frac{0{\cdot}9}{\sqrt{\mathfrak{S}}}\right) H - 8} - 273$$

Diese Formeln für t entsprechen der Forderung eines ausreichenden Zuges, um 75 Kilogr. Kohlen pro Stunde und pro 1 Quadratmeter Rostfläche vortheilhaft zu verbrennen; sie können zur Beurtheilung der nöthigen Temperatur t auch dann benutzt werden, wenn die Höhe H den örtlichen Umständen gemäss etwas anders, als nach der hier vorausgesetzten empirischen Formel bestimmt wird.

Je kleiner die Ausflussgeschwindigkeit v_1 ist, desto leichter können schräg abwärts gerichtete Windströmungen einen störenden Einfluss auf die Zugwirkung des Kamins ausüben. Zur Vergrösserung von v_1 kann man desshalb Veranlassung haben, die Mündung Ω_1 des Kamins nachträglich etwas kleiner zu machen, ohne im Uebrigen an den Dimensionen etwas zu ändern. G.

Abmessungen freistehender Kamine.

H Höhe des Kamins.	d untere Weite im Lichten.	d_1 obere Weite im Lichten.	e_1 obere Mauer-dicke.	e untere Mauer-dicke.	N Pferde-kraft.	𝔖 Stein-kohlen per 1 Stunde.	𝔥 Holz per 1 Stunde.
12	0·48	0·32	0·18	0·36	8·8	26·4	52·8
13	0·52	0·35	0·18	0·38	10·7	32·1	64·2
14	0·56	0·38	0·18	0·39	12·9	38·7	77·4
15	0·60	0·41	0·18	0·41	15·3	45·9	91·8
16	0·64	0·43	0·18	0·42	18·0	54·0	108·0
17	0·68	0·46	0·18	0·44	21·0	63·0	126·0
18	0·72	0·49	0·18	0·45	24·2	72·6	145·2
19	0·76	0·51	0·18	0·47	27·7	83·1	166·2
20	0·80	0·54	0·18	0·48	31·5	94·5	189·0
21	0·84	0·57	0·18	0·50	35·6	106·8	213·6
22	0·88	0·59	0·18	0·51	39·9	119·7	239·4
23	0·92	0·62	0·18	0·53	44·6	133·8	267·6
24	0·96	0·65	0·18	0·54	49·6	148·8	297·6
25	1·00	0·68	0·18	0·56	55·0	165·0	330·0
26	1·04	0·70	0·18	0·57	60·6	181·8	363·6
27	1·08	0·73	0·18	0·59	66·6	199·8	399·6
28	1·12	0·76	0·18	0·60	73·0	219·0	438·0
29	1·16	0·78	0·18	0·62	79·7	239·1	478·2
30	1·20	0·81	0·18	0·63	86·7	260·1	520·2
31	1·24	0·84	0·18	0·65	94·1	282·3	564·6
32	1·28	0·86	0·18	0·66	102	306	612
33	1·32	0·89	0·18	0·68	110	330	660

Die Abmessungen der Fundamente können nach folgenden Regeln bestimmt werden.

Fig. 11, Taf. XXXVI. g h i k Betonmasse. a b c f Quadermasse.

Höhe des ganzen Fundamentes mit Einschluss der Betonmasse 3·5 d.

Neigungswinkel des Fundamentkörpers 60°.

Breite der Quadermasse 5 d.

Höhe der Quadersteine ungefähr gleich e.

Dampfkessel.

248.

Das Güteverhältniss und die Heizfläche eines Dampfkessels.

Das Güteverhältniss eines Dampfkessels ist das Verhältniss aus der in den Kessel eindringenden und der durch die Verbrennung des Brennstoffs entwickelten Wärmemenge.

Nennt man:

B die Brennstoffmenge in Kilg., welche in jeder Stunde auf dem Rost verbrannt wird,

$\mathfrak{H}$ die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung von 1 Kilg. Brennstoff entwickelt wird,

Q die Gasmenge in Kilg., welche durch die Verbrennung von B Kilg. Brennstoff entsteht incl. der überschüssigen Luft,

$s = 0{\cdot}24$ die Wärmekapacität dieses Gasgemenges,

$k = 23$ die Wärmemenge, welche in jeder Stunde durch einen Quadratmeter der Heizfläche eindringen würde, wenn die Temperatur der Verbrennungsgase nur um einen Grad höher wäre als jene des Wassers im Kessel,

F die Heizfläche des Kessels, d. h. derjenige Theil der Oberfläche des Kessels, welcher einerseits mit der Flamme und mit den Verbrennungsgasen, anderseits mit dem im Kessel befindlichen Wasser in Berührung steht,

t_0 die Temperatur des Wassers, mit welchem der Kessel gespeist wird,

t_1 die Temperatur des Wassers im Kessel,

T_0 die Temperatur der in den Feuerherd einströmenden atmosphärischen Luft,

$e = 2{\cdot}718$ die Basis der natürlichen Logarithmen,

$\mathfrak{p}$ das oben erklärte Güteverhältniss des Kessels,

S die Dampfmenge in Kilg., welche durch die B Kilg. Brennstoff in jeder Stunde gebildet wird;

so hat man folgende Beziehungen*):

*) Diese Beziehungen beruhen auf der Voraussetzung, dass die ganze Heizfläche eine sogen. indirecte Heizfläche sei, d. h. dass sie die Wärme nur durch ihre Berührung mit den Heizgasen empfange. Ist aber ein Theil der Heizfläche eine sogen. directe Heizfläche, d. h. der Wärmestrahlung des glühenden Brennstoffs ausgesetzt, so empfängt sie ausser durch Berührung mit den Heizgasen zugleich eine nicht unbeträchtliche Wärmemenge direct durch Strahlung, und es sei dann mit σ das Verhältniss dieser ausgestrahlten zu der gleichzeitig auf dem Roste entwickelten Wärmemenge bezeichnet. Die Letztere ist nur ein

$$\mathfrak{p} = \left[1 - (t_1 - T_0)\,\frac{s}{\mathfrak{H}}\,\frac{Q}{B}\right]\left(1 - e^{-\frac{k}{s}\,\frac{F}{Q}}\right)$$

Theil des Heizwerthes des aufgewendeten Brennstoffs; ihr Verhältniss zu diesem Heizwerthe ist das Güteverhältniss der Feuerung und sei mit $\mathfrak{q}$ bezeichnet; $\eta = \mathfrak{p}\,\mathfrak{q}$ ist das resultirende Güteverhältniss der ganzen Kesselanlage.

Bei Steinkohlenfeuerung kann, wenn nur die Decke des Feuerraums als directe Heizfläche wirkt, $\sigma = 0{\cdot}2$,

wenn dagegen auch die Seitenwände durch directe Heizflächen gebildet werden, $\sigma = 0{\cdot}3$ gesetzt werden.

Der Vortheil einer directen Heizfläche wird zum Theil, unter Umständen vollständig dadurch aufgewogen, dass $\mathfrak{q}$ um so kleiner ist, je grösser σ.

Um sicher zu gehen, ist im Allgemeinen zu setzen:

$$\mathfrak{q} = 0{\cdot}8 \text{ für } \sigma = 0$$
$$\mathfrak{q} = 0{\cdot}75 \text{ „ } \sigma = 0{\cdot}2$$
$$\mathfrak{q} = 0{\cdot}72 \text{ „ } \sigma = 0{\cdot}3$$

Ist nun:

T_1 die Temperatur der Heizgase im Feuerraum,

T_2 die Temperatur, mit welcher die Heizgase in das Kamin abziehen,

W die Wärmemenge, welche stündlich in den Kessel eindringt,

$w\,W$ die Wärmemenge, welche die Heizgase stündlich durch die schädlichen Abkühlungsflächen der Heizkanäle (durch das Ofengemäuer) verlieren,

so ist der vollständige Ausdruck des Güteverhältnisses $\mathfrak{p}$:

$$\mathfrak{p} = \frac{1-\sigma}{1+w}\,\frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} + s$$

Dabei ist:

$$T_1 = T_0 + \frac{(1-\sigma)\,\mathfrak{q}\,H}{\frac{Q}{B}\,s}$$

unter H den Heizwerth des Brennstoffs verstanden, während die Buchstaben T_0, Q, B, s die oben im Text angegebenen Bedeutungen haben. Hiernach lassen sich T_1 und $\mathfrak{p}$ für einen gegebenen Fall berechnen, wenn für T_2 ein passender Werth mit Rücksicht auf die genügende Zugwirkung des Kamins angenommen wird, also nach Nr. 247, Anmerkung:

für gemauerte Kamine wenigstens $T_2 = 150$ bis 300
„ eiserne „ „ $T_2 = 200$ „ 400

um so grösser, je kleiner B, S oder W gegeben ist. Ist nun $W_1 = \frac{W}{F}$ die Wärmemenge, welche pro Stunde und pro Quadratmeter Heizfläche in den Kessel eindringt, so ist

$$W_1 = k\,\frac{\mathfrak{p}}{\mathfrak{p}-\sigma}\,\frac{T_1 - T_2}{\text{lognat}\,\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1}}$$

worin k und t_1 die oben im Text angegebenen Bedeutungen haben. Ist W ge-

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{B}\,\frac{s}{k}\,\frac{650 - t_0}{\mathfrak{H}}\,\frac{1}{\mathfrak{p}}\,\text{lognat}\left\{\frac{1 - (t_1 - T_0)\,\frac{s}{\mathfrak{H}}\,\frac{Q}{B}}{1 - \mathfrak{p} - (t_1 - T_0)\,\frac{s}{\mathfrak{H}}\,\frac{Q}{B}}\right\}$$

---

geben, so findet man hiernach schliesslich die erforderliche Grösse der Heizfläche:

$$F = \frac{W}{W_1}$$

Ist aber unmittelbar nicht W, sondern S gegeben, so ist:

$$W = (606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\ t_1 - t_0)\ S$$

Die stündlich aufzuwendende Brennstoffmenge ist: $B = \frac{W}{\eta\,H}$.

Setzt man:

$$T_0 = 0 \text{ und } w = 0$$

so wird einfacher:

$$T_1 = \frac{(1-\sigma)\,q\,H}{\frac{Q}{B}\,s}\,;\ \mathfrak{p} = 1 - (1-\sigma)\,\frac{T_2}{T_1}$$

$$W_1 = k\,\frac{\frac{T_1}{1-\sigma} - T_2}{\text{lognat}\,\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1}}$$

Hiernach findet man mit den Annahmen:

$$H = 6600;\ \frac{Q}{B} = 22;\ s = 0{\cdot}24$$

$$\begin{array}{llll} \text{für } \sigma = 0, & q = 0{\cdot}8 & : T_1 = & 1000 \\ \text{,,}\ \ \sigma = 0{\cdot}2, & q = 0{\cdot}75 & : T_1 = & 750 \\ \text{,,}\ \ \sigma = 0{\cdot}3, & q = 0{\cdot}72 & : T_1 = & 630 \end{array}$$

und für verschiedene Werthe von T_2 die folgenden

Werthe von $\mathfrak{p}$:

	$T_2 = 400$	$T_2 = 350$	$T_2 = 300$	$T_2 = 250$	$T_2 = 200$	$T_2 = 150$
$\sigma = 0$	0·60	0·65	0·70	0·75	0·80	0·85
$\sigma = 0{\cdot}2$	0·573	0·627	0·680	0·733	0·787	0·840
$\sigma = 0{\cdot}3$	0·556	0·611	0·667	0·722	0·778	0·833

Werthe von $\eta = \mathfrak{p}\,q$:

	$T_2 = 400$	$T_2 = 350$	$T_2 = 300$	$T_2 = 250$	$T_2 = 200$	$T_2 = 150$
$\sigma = 0$	0·48	0·52	0·56	0·60	0·64	0·68
$\sigma = 0{\cdot}2$	0·43	0·47	0·51	0·55	0·59	0·63
$\sigma = 0{\cdot}3$	0·40	0·44	0·48	0·52	0·56	0·60

$$\frac{S}{B} = \frac{\mathfrak{p}\,\mathfrak{H}}{650 - t_0}$$

---

ferner mit $k = 22$ die folgenden

Werthe von $W_1 = \frac{W}{F}$ für $t_1 = 120^0$ (ca. 2 Atm. Druck):

	$T_2 = 400$	$T_2 = 350$	$T_2 = 300$	$T_2 = 250$	$T_2 = 200$	$T_2 = 150$
$\sigma = 0$	11527	10657	9704	8628	7340	5535
$\sigma = 0{\cdot}2$	14583	12828	11196	9584	7862	5691
$\sigma = 0{\cdot}3$	18346	15195	12675	10461	8314	5824

Werthe von $W_1 = \frac{W}{F}$ für $t_1 = 160^0$ (ca. 6 Atm. Druck):

	$T_2 = 400$	$T_2 = 350$	$T_2 = 300$	$T_2 = 250$	$T_2 = 200$
$\sigma = 0$	10536	9621	8595	7387	5781
$\sigma = 0{\cdot}2$	13146	11407	9750	8044	6029
$\sigma = 0{\cdot}3$	16367	13360	10889	8651	6251

Mit $t_0 = 25^0$, also

$$W = 618\ S \text{ für } t_1 = 120^0$$
$$W = 630\ S \text{ für } t_1 = 160^0$$

findet man endlich die folgenden

Werthe von $\frac{S}{F}$ für $t_1 = 120^0$:

	$T_2 = 400$	$T_2 = 350$	$T_2 = 300$	$T_2 = 250$	$T_2 = 200$	$T_2 = 150$
$\sigma = 0$	18·7	17·2	15·7	14·0	11·9	9·0
$\sigma = 0{\cdot}2$	23·6	20·8	18·1	15·5	12·7	9·2
$\sigma = 0{\cdot}3$	29·7	24·6	20·5	16·9	13·5	9·4

Werthe von $\frac{S}{F}$ für $t_1 = 160^0$:

	$T_2 = 400$	$T_2 = 350$	$T_2 = 300$	$T_2 = 250$	$T_2 = 200$
$\sigma = 0$	16·7	15·3	13·6	11·7	9·2
$\sigma = 0{\cdot}2$	20·9	18·1	15·5	12·8	9·6
$\sigma = 0{\cdot}3$	26·0	21·2	17·3	13·7	9·9

Ist der Kessel mit einem Vorwärmer versehen, welcher als ein Gegenstromapparat (siehe Nr. 263) angeordnet ist und in welchem das an einem Ende mit der Temperatur t_0 eintretende Speisewasser bis zur Temperatur $t \gtrless t_1$ vor-

$$\frac{F}{B} = \frac{Q}{B}\,\frac{s}{k}\;\text{lognat}\left\{\frac{1-(t_1-T_0)\;\frac{s}{\mathfrak{H}}\;\frac{Q}{B}}{1-\mathfrak{p}-(t_1-T_0)\;\frac{s}{\mathfrak{H}}\;\frac{Q}{B}}\right\}$$

Für Dampfkesselheizungen mit Steinkohlen darf man setzen:

$$\frac{Q}{B} = 22 \quad \mathfrak{H} = 5400 \quad t_1 - T_0 = 100 \quad t_0 = 50^0$$

$$s = 0{\cdot}24 \quad k = 23$$

---

gewärmt werden soll, so dass es mit dieser Temperatur t in den Hauptkessel eintritt, so sind die

Heizfläche = F' des Hauptkessels und

Heizfläche = F'' des Vorwärmers

folgendermassen zu berechnen. Es sei:

W' die in den Hauptkessel,

W'' „ „ „ Vorwärmer stündlich eindringende Wärmemenge,

$W = W' + W'' = (606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\ t_1 - t_0)\ S = D\,S$

die gegebene Wärmemenge, welche stündlich in den ganzen Kessel eindringt, so ist:

$$W'' = \frac{t - t_0}{D}\,W; \quad W' = W - W'';$$

ferner die Temperatur, mit welcher die Heizgase vom Hauptkessel zum Vorwärmer gelangen:

$$T = T_2 + \frac{t - t_0}{D}\,(T_1 - T_2)$$

$$W_1' = k'\,\frac{\frac{T_1}{1-\sigma} - T}{\text{lognat}\,\frac{T_1 - t_1}{T - t_1}}; \quad F' = \frac{W'}{W_1'}$$

$$W_1'' = k''\,\frac{(T-t)-(T_2-t_0)}{\text{lognat}\,\frac{T-t}{T_2-t_0}}; \quad F'' = \frac{W''}{W_1''}$$

$$B = \frac{W}{\eta\,H};\ \eta = \mathfrak{p}\,\mathfrak{q}.$$

Dabei sind T_1, $\mathfrak{p}$ und $\mathfrak{q}$ wie früher für einen Kessel ohne Vorwärmer zu bestimmen, während für T_2 mit Rücksicht auf die Zugwirkung des Kamins ein passender Werth zu wählen ist.

Gewöhnlich kann gesetzt werden:

$$k' = 22;\ k'' = 18;\ t = t_1;\ H = 6600$$

und für den hier üblichen Fall einer äusseren Feuerung mit directer Heizfläche (des Hauptkessels):

$$\sigma = 0{\cdot}2;\ \mathfrak{q} = 0{\cdot}75;\ T_1 = 750$$

$$\mathfrak{p} = 1 - 0{\cdot}8\,\frac{T_2}{750}$$

G.

und dann findet man:

$$\mathfrak{p} = 0{\cdot}902 \left(1 - e^{-4{\cdot}36 \frac{F}{B}}\right)$$

$$\frac{F}{S} = \frac{0{\cdot}0255}{\mathfrak{p}} \text{ lognat} \left(\frac{0{\cdot}902}{0{\cdot}902 - \mathfrak{p}}\right)$$

$$\frac{S}{B} = 9\,\mathfrak{p}$$

$$\frac{F}{B} = 0{\cdot}23 \text{ lognat} \left(\frac{0{\cdot}902}{0{\cdot}902 - \mathfrak{p}}\right)$$

Vermittelst dieser Formeln findet man:

für $\mathfrak{p}$ =	0·4	0·5	0·6	0·7	0·8
$\frac{S}{B}$ =	3·6	4·5	5·4	6·3	7·2
$\frac{F}{S}$ =	0·0374	0·0412	0·0465	0·0545	0·0695
$\frac{F}{B}$ =	0·135	0·186	0·252	0·344	0·501

249.

Gewöhnliche empirische Regeln zur Bestimmung der Heizfläche.

Gewöhnlich wird die Heizfläche der Dampfkessel durch folgende Zahlenverhältnisse bestimmt.

Man rechnet für jede Pferdekraft einer Landmaschine 1·5 Quadratmeter, für jede Pferdekraft einer Schiffsmaschine 1 Quadratmeter Heizfläche.

1 Quadratmeter Heizfläche liefert:

in 1 Sekunde . . .	0·0067	Kilg. Dampf
in 1 Minute . . .	0·4	„ „
in 1 Stunde	24	„ „

Zur Produktion von 1 Kilg. Dampf in einer Sekunde sind erforderlich 150 Quadratmeter Heizfläche.

Zur Produktion von 1 Kilg. Dampf in einer Minute sind erforderlich 2·5 Quadratmeter Heizfläche.

Zur Produktion von 1 Kilg. Dampf in einer Stunde sind erforderlich 0·041 Quadratmeter Heizfläche.

Diese Regeln sind mangelhaft, weil der Dampfverbrauch einer Maschine pro Pferdekraft und die Verdampfungsfähigkeit eines Kessels pro Quadratmeter Heizfläche unter verschiedenen Umständen sehr verschieden sind.

250.

Cylindrische Kessel mit oder ohne Siedröhren.

Nennt man:
F die Heizfläche, welche der Kessel erhalten soll,
D den Durchmesser des Hauptkessels,
L die ganze Länge des Hauptkessels,
d den Durchmesser einer Siedröhre oder Wärmeröhre,
l die Länge einer Siedröhre oder Wärmeröhre,
m, m_1 die Zahlen, welche ausdrücken, wie oftmal die Oberflächen des Hauptkessels und eines Siedrohres grösser sind, als die Heizflächen derselben,
i die Anzahl der Siedröhren,
so ist:

$$D = \sqrt{\left\{\frac{F}{\pi \frac{L}{D}\left[\frac{1}{m} + \frac{i}{m_1}\left(\frac{d}{D}\right)\left(\frac{l}{L}\right)\right]}\right\}}$$

Für Kessel ohne Siedröhren ist: $i = o$, $m = 1{\cdot}757$, und dann wird:

$$D = 0{\cdot}75 \sqrt{\frac{D}{L} F}$$

Für $\frac{L}{D} =$ 5 6 7 8
wird $D = 0{\cdot}335 \sqrt{F}$ $0{\cdot}306 \sqrt{F}$ $0{\cdot}283 \sqrt{F}$ $0{\cdot}265 \sqrt{F}$

251.

Roste für Dampfkessel.

Nennt man: $\mathfrak{S}$ die Steinkohlenmenge in Kilg. und $\mathfrak{H}$ die Holzmenge in Kilgr., welche stündlich auf einem Rost verbrannt werden sollen, so ist die Rostfläche R zu nehmen wie folgt:

$$R = \frac{\mathfrak{S}}{50} = \frac{\mathfrak{H}}{100}$$

Die Spalten zwischen den Roststäben sollen $\frac{1}{4}$ der ganzen Rostfläche betragen.

Die Dimensionen der Roststäbe sind nach den in Fig. 6, Taf. XXXVI angegebenen Verhältnissen zu nehmen.

252.

Allgemeine Regeln für Roste.

Nennt man:

B die Brennstoffmenge in Kilg., welche stündlich auf dem Rost verbrannt werden soll,

R die Oberfläche des Rostes,

$\mathfrak{V}$ das Volumen des auf dem Rost befindlichen Brennstoffes,

Δ die mittlere Dicke der Brennstoffschichte,

v die Anfachungsgeschwindigkeit oder die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft durch die Rostspalten strömt, in Metern,

m das Verhältniss der Summe der Querschnitte sämmtlicher Rostspalten und der Fläche des Rostes,

so hat man für jede Feuerungsanlage:

$$\mathfrak{V} = \frac{1}{1895}\frac{B}{m}, \quad R = \frac{1}{1895}\frac{B}{m\,\Delta}, \quad v = 7\,\Delta$$

In diesen Formeln ist zu setzen:

	m	Δ	$\frac{R}{B}$
für Dampfkesselfeuerungen mit Steinkohlen .	0·25	0·1	$\frac{1}{48}$
„ Lokomotivfeuerungen mit Coaks	0·50	0·4	$\frac{1}{379}$
„ Holzfeuerungen	0·30	0·2	$\frac{1}{114}$
„ Holzkohlenfeuerungen	0·25	0·18	$\frac{1}{85}$

253.

Einmauerung der Kessel.

Auf Tafel XXXVI findet man die Verhältnisse der Hauptdimensionen der Kessel und jene der Einmauerung zum Durchmesser des Kessels angegeben.

Fig. 1, 2, 3, 4, Kessel ohne Siedröhre, die Länge 6 mal so gross als der Durchmesser.

Fig. 7, 8, 9, 10, Kessel mit 2 Siedröhren; der Kessel 5 mal so lang als der Durchmesser.

254.

Wanddicke cylindrischer und kugelförmiger Theile der Dampfkessel.

Nennt man:

D den inneren Durchmesser eines cylindrischen oder kugelförmigen Theiles eines Dampfkessels in Centimetern,

δ die Metalldicke der cylindrischen oder kugelförmigen Wand in Centimetern,

n die Anzahl der Atmosphären, welche der Dampfspannung entspricht,

so hat man:

a) für cylindrische Kessel:

$$\delta = \frac{1{\cdot}315 + 0{\cdot}495\,n}{363 - n}\,D$$

Diese Formel*) gibt:

für $n =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{\delta}{D} =$	0·0050	0·0064	0·0078	0·0092	0·0106	0·0120	0·0134	0·0149

b) Für kugelförmige Kesseltheile kann dieselbe Regel wie für cylindrische Kessel mit noch etwas grösserer Sicherheit angewendet werden.

255.

Vernietung der Bleche. Taf. XXXVI, Fig. 5.

Durchmesser eines Nietbolzens	$2\,\delta$
Durchmesser des halbkugelförmigen Kopfes	$3\,\delta$
Durchmesser des konischen Kopfes	$4\,\delta$
Ganze Höhe einer Niete mit Einschluss der Köpfe	$5\,\delta$
Entfernung zweier auf einander folgenden Nieten von Mittel auf Mittel	$5\,\delta$
Entfernung der Mittelpunkte der Nieten vom Rand des Bleches	$3\,\delta$

*) Dieselbe ist im Resultat kaum verschieden von der einfacheren Formel

$$\frac{\delta}{D} = 0{\cdot}0014\,(n - 1) + 0{\cdot}005$$

G.

256.

Sicherheitsventile.

Nennt man:

F die Heizfläche des Kessels in Quadratmetern,

N die Pferdekraft des Kessels,

S die Dampfmenge in Kilg., welche in jeder Sekunde in dem Kessel produzirt werden soll,

Ω den Querschnitt der Ventilöffnung in Quadratmetern,

P die Belastung des Ventils in Kilogrammen,

p denjenigen Druck des Dampfes auf einen Quadratmeter in Kilg., bei welchem die Hebung des Ventils beginnen soll,

$\alpha + \beta p$ das Gewicht von einem Kubikmeter Dampf, der auf einen Quadratmeter einen Druck p ausübt, in Kilogrammen,

$\mathfrak{A}$ den Druck der Atmosphäre auf einen Quadratmeter in Kilogrammen,

so hat man zur Berechnung von Ω und P folgende Ausdrücke:

$$\Omega = 0{\cdot}04 \frac{S}{\alpha + \beta p} = \frac{0{\cdot}04}{150} \frac{F}{\alpha + \beta p} = \frac{0{\cdot}04}{100} \frac{N}{\alpha + \beta p}$$

$$P = \Omega (p - \mathfrak{A})$$

$$P = 0{\cdot}04\, S \frac{p - \mathfrak{A}}{\alpha + \beta p} = \frac{0{\cdot}04}{150} F \frac{p - \mathfrak{A}}{\alpha + \beta p} = \frac{0{\cdot}04}{100} N \frac{p - \mathfrak{A}}{\alpha + \beta p}$$

Vermittelst dieser Formeln ist nachstehende Tabelle berechnet*):

Spannung des Dampfes im Kessel in Atmosph.	$\frac{\Omega}{S}$	$\frac{\Omega}{F}$	$\frac{\Omega}{N}$	$\frac{P}{S}$	$\frac{P}{F}$	$\frac{P}{N}$
2	0·03571	0·000238	0·000357	369	2·46	3·69
3	0·02486	0·000166	0·000249	514	3·43	5·14
4	0·01907	0·000127	0·000191	591	3·94	5·91
5	0·01547	0·000103	0·000155	639	4·26	6·39
6	0·01301	0·000087	0·000130	672	4·48	6·72

*) Dabei ist nach Nr. 243 gesetzt worden:

$$\alpha = 0{\cdot}1427; \quad \beta = 0{\cdot}0000473$$

Heizung zur Erwärmung der Lokalitäten.

257.

Bestimmung der Wärmemenge, welche die Beheizung eines Raumes erfordert.

Nennt man:

M die Mauerfläche, Deckfläche und Bodenfläche, welche den zu erwärmenden Raum einschliessen, die Fensterflächen nicht mitgerechnet,

F die Summe der Fensterflächen, welche in der Einschliessungsfläche des zu erwärmenden Raums vorkommen,

e die Mauerdicke,

$\varDelta_0$ die niedrigste Temperatur der äusseren Luft im Winter,

$\varDelta$ die Temperatur, welche in dem Raum hervorgebracht werden soll, wenn die äussere Temperatur $\varDelta_0$ ist,

m, n zwei Zahlen, welche von der Natur des Baumaterials abhängen,

p die Wärmemenge, welche stündlich durch 1 Quadratmeter Fensterfläche bei einer Temperaturdifferenz von 1° verloren geht,

f ein Coeffizient, welcher von dem Umstand abhängt, ob die Heizung continuirlich fortgeht oder mit Unterbrechungen,

so ist die Wärmemenge, welche stündlich die Beheizung des Raums erfordert, wenn derselbe nicht künstlich ventilirt wird:

$$W = f\left(\frac{m\,n}{m\,e + n}\,M + p\,F\right)(\varDelta - \varDelta_0)$$

Die folgende Tabelle gibt für verschiedene Materialien die Werthe von m, n und p*):

Die Formeln und Tabellenwerthe für

$$\frac{\Omega}{F};\ \frac{\Omega}{N};\ \frac{P}{F};\ \frac{P}{N}$$

beruhen ausserdem auf den in Nr. 249 als mangelhaft bezeichneten Regeln und sind deshalb nur mit derselben Einschränkung und Vorsicht wie diese zu benutzen.

G.

*) Obige Formel und Werthe von m, n und p sind älteren Angaben von Péclet entnommen, wobei zu bemerken ist, dass n = 0·8 sich auf den in Paris gewöhnlich benutzten Baustein bezieht. —

Im Allgemeinen kann es der Fall sein, dass die Wand, welche den zu heizenden Raum einschliesst, aus Theilen = F von verschiedener Art besteht und dass jenseits derselben verschiedene Temperaturen herrschen. Ist dann

	m	n	p
Bruchsteinmauer .	9	0·80	—
Backsteinmauer .	9	0·68	—
Tannenholz . . .	8	0·17	—
Eichenholz . . .	8	0·32	—
Einfaches Glasfenster	—	—	3·66
Doppelfenster . .	—	—	2·00

---

k der Wärmeüberführungs-Coeffizient eines solchen Wandtheils, d. h. die Wärmemenge, welche stündlich durch 1 Quadratmeter dieses Wandtheils für $\delta = 1$ verloren geht, unter

δ den Ueberschuss der Temperatur Δ über die jenseits dieses Wandtheils herrschende Temperatur verstanden, so ist allgemein:

$$W = f \,.\, \Sigma\,(k\ F\ \delta).$$

Grenzt der betreffende Wandtheil an die freie Luft oder an einen ungeheizten offenen Raum, so ist $\delta = \Delta - \Delta_0$; grenzt er an einen ungeheizten geschlossenen Raum, so kann im Allgemeinen $\delta = \frac{1}{2}(\Delta - \Delta_0)$ gesetzt werden, dagegen $\delta = 0$ für den Fall des Angrenzens an einen selbst geheizten geschlossenen Raum.

Nach Nr. 259 hat man mit $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ für eine einfache Wand:

$$k = \frac{1}{\frac{2}{\gamma} + \frac{e}{\lambda}}$$

Dabei ist nach späteren Angaben von Péclet zu setzen:

	λ		λ
Eisen und Zink	28	Eichenholz	0·21 — 0·25
Coaks	5	Tannenholz, parallel zu den Fasern	0·17
Marmor	3·1	„ normal	0·09
Kalkstein	1·1 bis 1·8	Gestossene Ziegel	0·15
Glas	0·8	Kork	0·14
Gebrannte Erde	0·6	Holzasche	0·06

Die Werthe von γ sind mehr schwankend und unsicher gefunden worden, auch abhängig nicht nur vom Material und der Oberflächenbeschaffenheit, sondern ausserdem von Form und Grösse der Wand (wegen der dadurch beeinflussten Luftströmung längs derselben) sowie von der Temperaturdifferenz zwischen der Luft und der angrenzenden Wandschicht. Ist Letztere von so mässiger Grösse wie bei zu heizenden bewohnbaren Räumen, so kann im Durchschnitt gesetzt werden:

Für ununterbrochene Heizung ist . . . . $f = 1{\cdot}0$

Wenn nur bei Tage geheizt wird, Nachts aber nicht $f = 1{\cdot}2$

In den gewöhnlichen Fällen ist anzunehmen: a) Mauern aus Bruchsteinen. b) Mauerdicke 0·6ᵐ. c) Einfache Fenster. d) Heizung

---

für Glaswände und nicht polirte Metallwände . . . . . . $\gamma = 6$

„ Holzwände . . . . $\gamma = 8$

„ Mauern (mit Rücksicht auf die Fugen zwischen den Steinen reichlich gegriffen) . . . . $\gamma = 10$

Folgende Tabelle enthält die Werthe von k für Mauern, welche mit $\gamma = 10$ berechnet und schliesslich noch zu grösserer Sicherheit beim Gebrauch sowie mit Rücksicht auf die nicht besonders in Rechnung zu stellenden Thüren um 10 % vergrössert wurden.

e	Backstein-Mauer.	Bruchstein-Mauer.		
Meter.	$\lambda = 0{\cdot}6$	$\lambda = 0{\cdot}8$	$\lambda = 1{\cdot}2$	$\lambda = 1{\cdot}6$
0·3	1·57	1·91	2·44	2·84
0·4	1·27	1·57	2·06	2·44
0·5	1·07	1·33	1·78	2·15
0·6	0·91	1·15	1·57	1·91
0·7	0·80	1·02	1·40	1·73
0·8	0·72	0·91	1·27	1·57
0·9	0·65	0·82	1·16	1·26

Fussböden und Decken sind in der Regel als doppelte Holzwände mit einer eingeschlossenen Luftschicht zu betrachten; somit hat man nach Nr. 260, Anmerkung, unter e die Dicke der einzelnen Holzwand verstanden, mit

$$n = 2; \quad \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma; \quad \gamma'_1 = \gamma'_2 = \frac{1}{2}\gamma$$

für eine Decke (Durchgang der Wärme von Unten nach Oben):

$$k = \frac{1}{2} \frac{1}{\frac{2}{\gamma} + \frac{e}{\lambda}}$$

und für einen Fussboden (Durchgang der Wärme von Oben nach Unten):

$$k = \frac{1}{2} \frac{1}{\frac{3}{\gamma} + \frac{e}{\lambda}}$$

insbesondere mit $e = 0{\cdot}05$, $\gamma = 8$, $\lambda = 0{\cdot}1$:

für Decken: $k = 0{\cdot}67$

„ Fussböden: $k = 0{\cdot}57$.

G.

mit Unterbrechung. e) Grösste Temperaturdifferenz 30° und dann wird:

$$W = 42\ M + 132\ F$$

258.

Heizung mit Lufterneuerung für Lokalitäten, in welchen sich eine grössere Anzahl Menschen aufhalten.

Ein Mensch bedarf stündlich 6 Kubikm. oder $6 \times 1{\cdot}3 = 7{\cdot}8$ oder nahe 8 Kilogramm atmosphärische Luft. Die Wärmemenge, welche ein Mensch in 1 Stunde entwickelt, beträgt ungefähr 73 Einheiten; von diesen werden aber $25 = 0{\cdot}038 \times 650$ Einheiten zur Dampfbildung verwendet, es bleiben also noch $73 - 25 = 48$ Einheiten übrig, welche erwärmend wirken. Nennt man nun:

q die Luftmenge in Kilg., welche stündlich durch Ventilation dem zu erwärmenden Raume in reinem, aber kaltem Zustande zugeleitet und in unreinem Zustande aus dem Raume abgeleitet werden soll,

$\mathfrak{N}$ die Anzahl der Menschen, welche sich in dem Raume aufhalten,

W die Wärmemenge, welche stündlich durch den Heizapparat entwickelt werden muss, um in dem Raum eine Temperatur $\varDelta$ zu erhalten,

so ist:

$$W = f \left(\frac{m\ n}{m\ e + n}\ M + p\ F\right)(\varDelta - \varDelta_0) + 0{\cdot}237\ q\ (\varDelta - \varDelta_0) - 48\ \mathfrak{N}$$

Gewöhnlich ist zu nehmen: $q = 8\ \mathfrak{N}$, und f, n, m, p, e, $\varDelta$, $\varDelta_0$ wie in vorhergehender Nummer; dann wird:

$$W = 42\ M + 132\ F + 9\ \mathfrak{N}$$

259.

Durchgang der Wärme durch eine ebene Wand, die von zwei Flüssigkeiten berührt wird, deren Temperaturen unveränderlich sind.

Es seien:

$\varDelta$ die Temperaturdifferenz der beiden durch die Wand getrennten Flüssigkeiten,

e die Wanddicke in Metern,

F die Oberfläche einer Wandseite in Quadratmetern,

W die Wärmemenge, welche stündlich durch die Wand geht,

γ_1, γ_2 die Wärmeübergangs-Coeffizienten, welche den beiden Begränzungsflächen der Wand entsprechen. Der Wärmeübergangs-Coeffizient ist die Wärmemenge, welche in einer Stunde durch einen Quadratmeter der Begränzungsfläche eines Körpers geht, wenn die Differenz der Temperaturen, welche im Körper unmittelbar innerhalb seiner Oberfläche und in der Flüssigkeit unmittelbar ausserhalb des Körpers vorhanden sind, einen Grad beträgt.

λ der Wärmeleitungs-Coeffizient des Materials, aus welchem die Wand besteht. Dieser Coeffizient ist die Wärmemenge, welche in einer Stunde durch jeden Querschnitt eines Stabes geht, dessen Querschnitt 1 Quadratmeter beträgt, wenn die Temperaturen im Stab auf jeden Meter Länge um einen Grad verschieden sind.

Dies vorausgesetzt, hat man:

$$W = \frac{F \Delta}{\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} + \frac{e}{\lambda}}$$

260.

Wärmemenge, welche stündlich durch einen Quadratmeter einer ebenen Wand geht, die aus mehreren sich berührenden Materialschichten zusammengesetzt ist.

Nennt man:

Δ die Temperaturdifferenz der beiden durch die Wand getrennten Flüssigkeiten,

$e_1, e_2, e_3 \ldots$ die Dicken der Materialschichten, aus welchen die Wand besteht,

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \ldots$ die Wärmeübergangs-Coeffizienten durch die Begränzungsebenen der Schichten,

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \ldots$ die Wärmeleitungs-Coeffizienten, welche den Materialien entsprechen, aus welchen die Schichten bestehen,

F die Oberfläche einer Wandseite in Quadratmetern,

W die Wärmemenge, welche stündlich durch die Wand geht,

so ist:

$$W = \frac{F \Delta}{\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} + \frac{1}{\gamma_3} + \ldots + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \ldots} \quad ^{*)}$$

*) Wenn die zusammengesetzte Wand aus n festen Wänden mit den Dicken

261.

Wärmemenge, welche stündlich durch die Wände eines cylindrischen Gefässes geht, das innen und aussen mit Flüssigkeiten in Berührung steht.

Nennt man:

Δ die Temperaturdifferenz der beiden Flüssigkeiten,

---

e_1, e_2 ... und Leitungs-Coeffizienten λ_1, λ_2 ... besteht, welche durch $(n-1)$ Luftschichten getrennt sind, so darf man setzen:

1) falls die Luft in den Zwischenschichten derart in Bewegung befindlich vorausgesetzt wird, dass ausser der Strahlung von einer zur anderen der festen Theilwände noch die Lufttheilchen selbst die Wärme von einer zur anderen übertragen:

$$W = k F \Delta; \quad \frac{1}{k} = \sum_1^{2n} \frac{1}{\gamma} + \sum_1^{n} \frac{e}{\lambda}$$

2) falls die Luft in den Zwischenschichten ruht, so dass wegen der sehr kleinen Wärmeleitungsfähigkeit ruhender Luft sich die festen Theilwände nur durch Strahlung die Wärme zusenden:

$$W = k F \Delta; \quad \frac{1}{k} = \frac{1}{\gamma_1} + \sum_2^{2n-1} \frac{1}{\gamma'} + \frac{1}{\gamma_{2n}} + \sum_1^{n} \frac{e}{\lambda}$$

wobei γ_1 den Wärmeeintritts-Coeffizienten für die erste, γ_{2n} den Wärmeaustritts-Coeffizienten für die letzte der festen Theilwände und γ' denjenigen Theil irgend eines der übrigen $(2n-2)$ Wärmeübergangs-Coeffizienten bedeutet, welcher durch die Wärmestrahlung allein bedingt wird.

Sind alle n festen Theilwände von gleicher Art und ist für jede der Coeffizient

des Wärmeeintritts $= \gamma_1$, der Wärmeeinstrahlung $= \gamma'_1 < \gamma_1$

des Wärmeaustritts $= \gamma_2$, der Wärmeausstrahlung $= \gamma'_2 < \gamma_2$

so wird im ersten Falle:

$$\frac{1}{k} = n\left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} + \frac{\frac{1}{n}\Sigma e}{\lambda}\right)$$

und im zweiten Falle:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\gamma_1} + (n-1)\left(\frac{1}{\gamma'_1} + \frac{1}{\gamma'_2}\right) + \frac{1}{\gamma_2} + \frac{\Sigma e}{\lambda}$$

Im ersten Falle ist W gerade $\frac{1}{n}$, im zweiten Falle aber weniger als $\frac{1}{n}$ so gross wie für eine einzelne feste Wand von der Dicke $\frac{1}{n}\Sigma e$.

Ist die Wand horizontal geschichtet, so entspricht die Voraussetzung des ersten Falles dem Durchgang der Wärme in der Richtung von Unten nach Oben (z. B. Decke eines geheizten Zimmers), die Voraussetzung des zweiten Falles dem Durchgang der Wärme in der Richtung von Oben nach Unten (z. B. Fussboden eines geheizten Zimmers). Bei einer vertikal geschichteten Wand (z. B. Doppelfenster) wird die Wahrheit zwischen jenen beiden äussersten Fällen liegen.

G.

$\left.\begin{array}{l} r_1 \text{ den inneren} \\ r_2 \text{ den äusseren} \end{array}\right\}$ Halbmesser des Cylinders in Metern,

l die Länge des Cylinders in Metern,

γ_1 und γ_2 die Wärmeübergangs-Coeffizienten, welche der inneren und äusseren Begränzungsfläche des Cylinders entsprechen,

λ den Wärmeleitungs-Coeffizienten des Materials, ans welchem die Wand besteht,

W die Wärmemenge, welche stündlich von aussen nach innen eindringt, wenn die äussere Temperatur höher ist als die innere, oder von innen nach aussen entweicht, wenn die innere Temperatur höher ist als die äussere,

so hat man:

$$W = \frac{2 \pi l \Delta}{\frac{1}{\gamma_1 r_1} + \frac{1}{\gamma_2 r_2} + \frac{1}{\lambda} \operatorname{lognat} \frac{r_2}{r_1}} \text{ *)}$$

262.

Wärmemenge, welche durch die Wand eines sphärischen Gefässes geht, welches innen und aussen mit Flüssigkeiten in Berührung steht.

Nennt man:

Δ die Temperaturdifferenz der beiden Flüssigkeiten,

$\left.\begin{array}{l} r_1 \text{ den inneren} \\ r_2 \text{ den äusseren} \end{array}\right\}$ Halbmesser der Wand in Metern,

γ_1, γ_2 die Wärmeübergangs-Coeffizienten, welche der inneren und äusseren Begränzungsfläche der Wand entsprechen,

λ den Wärmeleitungs-Coeffizienten für das Material, aus welchem die Wand besteht,

W die Wärmemenge, welche stündlich in die Kugel eindringt, wenn die äussere Flüssigkeit wärmer ist als die innere, oder aus der Kugel entweicht, wenn die innere Flüssigkeit wärmer ist als die äussere,

---

*) Für eine quadratische Röhre (z. B. gemauertes Kamin mit quadratischem Querschnitt) hat man, wenn

s_1 die Seitenlänge des inneren Quadrats,

s_2 „ „ „ äusseren „

ist, während übrigens die Buchstaben die oben angegebenen Bedeutungen haben:

$$W = \frac{4 l \Delta}{\frac{1}{\gamma_1 s_1} + \frac{1}{\gamma_2 s_2} + \frac{1}{2 \lambda} \operatorname{lognat} \frac{s_2}{s_1}} \qquad \text{G.}$$

so ist:

$$W = \frac{4 \pi \Delta}{\frac{1}{\gamma_1 r_1^2} + \frac{1}{\gamma_2 r_2^2} + \frac{1}{\lambda}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)}$$

263.

Erwärmung einer Flüssigkeit durch einen heissen flüssigen Strom.

Die Erwärmung einer kalten Flüssigkeit durch eine heisse Flüssigkeit geschieht gewöhnlich, indem man die heisse Flüssigkeit durch einen Kanal strömen lässt, dessen Wände aus einem die Wärme gut leitenden Material bestehen, und die zu erwärmende Flüssigkeit mit diesen Wänden in Berührung bringt.

Wir nennen einen solchen Erwärmungsapparat:

1) Kesselapparat, wenn die zu erwärmende Flüssigkeit an allen Punkten der Wand die gleiche Temperatur hat,
2) Parallelstromapparat, wenn die zu erwärmende Flüssigkeit längs der Wandung nach einer Richtung fortgeleitet wird, die mit jener des heissen Stromes übereinstimmt,
3) Gegenstromapparat, wenn die zu erwärmende Flüssigkeit längs der Wandung nach einer Richtung fortgeleitet wird, die jener des heissen Stromes entgegengesetzt ist.

Die Wandflächen (Erwärmungsflächen, Heizflächen), welche diese Apparate erhalten müssen, damit der heisse Strom stündlich eine gewisse Wärmemenge an die zu erwärmende Flüssigkeit abgibt, können auf folgende Art bestimmt werden.

Es sei:

W die Wärmemenge, welche der heisse Strom stündlich an die zu erwärmende Flüssigkeit abgeben soll,

T_0 die Temperatur, mit welcher der heisse Strom in den Erwärmungskanal eintritt,

T_1 die Temperatur, mit welcher der heisse Strom den Erwärmungskanal verlässt,

k der Wärmedurchgangs-Coeffizient, d. h. die Wärmemenge, welche stündlich durch einen Quadratmeter der Erwärmungsfläche gehen würde, wenn die Temperatur der heissen Flüssigkeit an allen Stellen nur um einen Grad höher wäre als die Temperatur der zu erwärmenden Flüssigkeit;

ferner:

a) für einen Kesselapparat:

F_k die Erwärmungsfläche dieses Apparates,

t die Temperatur der die Erwärmungsfläche umgebenden Flüssigkeit,

b) für einen Parallelstromapparat:

F_p die Erwärmungsfläche des Apparates,

t_0 die Temperatur, mit welcher die zu erwärmende Flüssigkeit in den Apparat eintritt,

t_1 die Temperatur, mit welcher die erwärmte Flüssigkeit den Apparat verlässt,

c) für einen Gegenstromapparat:

F_g die Erwärmungsfläche des Apparates,

t_0 die Temperatur, mit welcher die zu erwärmende Flüssigkeit in den Apparat eintritt,

t_1 die Temperatur, mit welcher die erwärmte Flüssigkeit den Apparat verlässt.

Dieses vorausgesetzt, hat man*):

$$F_k = \frac{W}{k} \frac{\text{lognat} \frac{T_0 - t}{T_1 - t}}{T_0 - T_1}$$

$$F_p = \frac{W}{k} \frac{\text{lognat} \frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1}}{T_0 - T_1 + (t_1 - t_0)}$$

$$F_g = \frac{W}{k} \frac{\text{lognat} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{T_0 - T_1 - (t_1 - t_0)}$$

Die Werthe von k für verschiedene Flüssigkeiten und Wandungen sind noch nicht ganz zuverlässig durch Versuche ausgemittelt. Die wahrscheinlichen Werthe von k sind für den Uebergang der Wärme:

a) aus Luft durch eine Wand aus gebrannter Erde von 1 Centimeter Dicke in Luft . . . . $k = 5$

b) aus Luft durch eine Wand aus Gusseisen von 1 bis 1·5 Centimeter Dicke in Luft . . . . $k = 14$

---

*) Es gibt noch einen vierten Fall, in welchem die heisse Flüssigkeit, welche die Wärme abgibt, an allen Stellen der Heizfläche dieselbe Temperatur $= T$ besitzt, während die zu erwärmende Flüssigkeit, an der Heizfläche entlang strömend, von der Temperatur t_0 zur Temperatur t_1 übergeht. In diesem Falle ist die Grösse der Heizfläche:

$$F = \frac{W}{k} \frac{\text{lognat} \frac{T - t_0}{T - t_1}}{t_1 - t_0}$$

G.

c) aus Luft durch eine Wand aus Eisenblech in Luft $k = 7$
d) aus Luft durch eine Wand von Eisenblech in Wasser oder aus Wasser in Luft . . . . $k = 23$
e) aus Dampf durch eine Wand von Gusseisen in Luft $k = 12$

264.

Ofenheizung.

Nennt man:

W die nach Nr. 257 berechnete Wärmemenge, welche die Erwärmung des Raumes erfordert,

F die Oberfläche des Ofens,

so hat man:

a) für Oefen aus gebrannter Erde*) $F = \frac{W}{1600}$

b) für Oefen aus Gusseisen*) . . $F = \frac{W}{4000}$

c) für Oefen aus Eisenblech . . . $F = \frac{W}{1500}$

265.

Calorifer aus gusseisernen Röhren.

Nennt man:

W die Wärmemenge, welche stündlich an die zu erwärmende Luft abgegeben werden soll,

T_0 die Temperatur der Verbrennungsgase unmittelbar über dem Rost,

T_1 die Temperatur, mit welcher die Verbrennungsgase den Heizapparat verlassen,

t_0 die Temperatur, mit welcher die zu erwärmende Luft in den Heizapparat eintritt,

t_1 die Temperatur, bis zu welcher die Luft erwärmt werden soll,

k $= 14$ die Wärmemenge, welche stündlich durch einen Quadratmeter einer Gusseisenwand von 1 bis 1·5 Centimeter Dicke geht, wenn die Temperaturdifferenz 1^0 beträgt,

F die Heizfläche des Apparates,

---

*) Wenn ein Ofen aus gebrannter Erde oder aus Gusseisen mit einem Rauchrohr aus Eisenblech versehen und die Oberfläche desselben $= F_1$ ist, so genügt es, für den Ofen selbst zu setzen:

$$F = \frac{W - 1500\,F_1}{1600} \text{ resp. } F = \frac{W - 1500\,F_1}{4000}$$ G.

so ist, wenn der Apparat als ein Gegenstromapparat angesehen werden kann:

$$F = \frac{W}{k} \frac{\text{lognat} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{T_0 - T_1 - (t_1 - t_0)} \text{*)}$$

266.

Niederdruck-Wasserheizung,

bestehend aus einem Kessel, von welchem aus Röhren durch die zu erwärmenden Räume ziehen und zuletzt wiederum in den Kessel zurückkehren.

Nennt man:

W die Wärmemenge, welche stündlich zur Erwärmung der von den Röhren durchzogenen Räume nothwendig ist,

T_0 die Temperatur der Verbrennungsgase unmittelbar über dem Rost,

*) Von der nach Nr. 257 zu berechnenden Wärmemenge W, welche die Erwärmung des Raumes stündlich erfordert, ist hier die Wärmemenge W_1 zu unterscheiden, welche von dem Heizapparat an die zu erhitzende Luft stündlich abgegeben werden muss; denn indem Letztere mit der Temperatur t_1 in den zu erwärmenden (auf constanter Temperatur $\varDelta$ bei der äusseren Lufttemperatur t_0 zu erhaltenden) Raum eintritt, verdrängt sie aus diesem Raum eine ebenso grosse Luftmenge $= L$ Kilgr. per Stunde mit der Temperatur $\varDelta$. Mit Rücksicht darauf ist:

$$\frac{W}{W_1} = \frac{t_1 - \varDelta}{t_1 - t_0}; \; L = \frac{W}{0{\cdot}24\,(t_1 - \varDelta)}$$

$$F = \frac{W}{k} \frac{t_1 - t_0}{t_1 - \varDelta} \frac{\text{lognat} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{T_0 - T_1 - (t_1 - t_0)}$$

Je kleiner t_1 angenommen wird, desto grösser wird L, d. h. desto kräftiger die Ventilationswirkung einer solchen Luftheizung, aber desto grösser auch F und desto kleiner das Verhältniss $\frac{W}{W_1}$, welches angibt, in welchem Grade die durch den Calorifer der Luft zugeführte Wärme zur Heizung des zu erwärmenden Raumes verwerthet wird.

Insbesondere mit $T_0 = 1000$; $T_1 = 300$; $t_0 = -10$; $\varDelta = 20$ findet man

für $t_1 =$	40^0	50^0	60^0	70^0	
$L =$	$\frac{W}{4{\cdot}8}$	$\frac{W}{7{\cdot}2}$	$\frac{W}{9{\cdot}6}$	$\frac{W}{12}$	Kilgr.
$F =$	$\frac{W}{3220}$	$\frac{W}{4000}$	$\frac{W}{4543}$	$\frac{W}{4938}$	Quadratm.
$\frac{W}{W_1} =$	0·4	0·5	0·571	0·625.	

G.

T_1 die Temperatur, mit welcher die Verbrennungsgase den Kessel verlassen,
t_0 die Temperatur, mit welcher das in den Wärmeröhren befindliche Wasser in den Kessel eintritt,
t_1 die Temperatur, mit welcher das erwärmte Wasser aus dem Kessel in die Wärmeröhren übertritt,
Δ die mittlere Temperatur, welche in den von den Wärmeröhren durchzogenen Räumen eintreten soll,
F die Heizfläche des Kessels,
f die Oberfläche der erwärmenden Röhren,
k $= 23$ die Wärmemenge, welche stündlich durch 1 Quadratmeter der Röhren- oder Kesselwand ginge, wenn die Temperaturdifferenz 1^0 betrüge,
so ist:

$$F = \frac{W}{k} \frac{\operatorname{lognat} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_1}}{T_0 - T_1}$$

$$f = \frac{W}{k} \frac{\operatorname{lognat} \frac{t_1 - \Delta}{t_0 - \Delta}}{t_1 - t_0}$$

In der Regel darf man setzen:

$$T_0 = 1000^0; \ T_1 = 300^0; \ t_0 = 40^0; \ t_1 = 80^0; \ \Delta = 14^0$$

und dann findet man:

$$F = \frac{W}{11250} \quad f = \frac{W}{990} \ ^{*)}$$

267.

Hochdruck-Wasserheizung nach Perkins.

Nennt man:
W die Wärmemenge, welche stündlich zur Beheizung der von den Röhren durchzogenen Räume nothwendig ist,
T_0 die Temperatur der Verbrennungsgase unmittelbar über dem Rost,

---

*) Für $\Delta = 20^0$ und übrigens unter denselben Voraussetzungen findet man:

$$f = \frac{W}{840}$$ G.

T_1 die Temperatur, mit welcher die Verbrennungsgase den Ofen verlassen,
t_0 die Temperatur, mit welcher das Wasser in die im Ofen befindliche Spirale eintritt,
t_1 die Temperatur, mit welcher das Wasser die Spirale verlässt und in die Wärmeröhren eintritt,
$\varDelta$ die mittlere Temperatur, welche in den zu erwärmenden Räumen eintreten soll,
F die innere Fläche der Spirale,
f die innere Fläche der Wärmeröhren,
k = 23 den Wärmedurchgangs-Coeffizienten,

so ist, sofern die Spirale im Ofen als Gegenstromapparat angeordnet wird:

$$F = \frac{W}{k} \frac{\text{lognat}\,\frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{T_0 - T_1 - (t_1 - t_0)}$$

$$f = \frac{W}{k} \frac{\text{lognat}\,\frac{t_1 - \varDelta}{t_0 - \varDelta}}{t_1 - t_0}$$

In der Regel darf man für diese Heizung setzen:

$$T_0 = 1000;\ T_1 = 300;\ t_0 = 50;\ t_1 = 150;\ \varDelta = 14$$

und dann wird:

$$F = \frac{W}{11280} \qquad f = \frac{W}{1730}$$

Der innere Durchmesser der Röhren dieser Heizung beträgt 0·0125, der äussere 0·025 Meter. Nennt man L und l die Röhrenlängen, welche den Flächen F und f entsprechen, so ist:

$$F = 0{\cdot}0125 \times 3{\cdot}14 \times L \qquad f = 0{\cdot}0125 \times 3{\cdot}14 \times l$$

und dann findet man:

$$L = \frac{W}{440} \quad l = \frac{W}{68}\ ^{*)}$$

---

*) Setzt man:

$$T_0 = 1000;\ T_1 = 400;\ t_1 = 160;\ \varDelta = 20$$

268.

Dampfheizung.

Nennt man:

W die Wärmemenge, welche stündlich zur Beheizung der von den Dampfröhren durchzogenen Räume nothwendig ist,

F die Heizfläche des Kessels,

f die Oberfläche der Dampfröhren,

t die Temperatur des Wassers und Dampfes im Kessel,

$\varDelta$ die mittlere Temperatur, welche in den zu erwärmenden Räumen eintreten soll,

T_0 die Temperatur der Verbrennungsgase unmittelbar über dem Rost,

T_1 die Temperatur, mit welcher die Verbrennungsgase den Kessel verlassen,

so hat man:

$$F = \frac{W}{23} \frac{\operatorname{lognat} \frac{T_0 - t}{T_1 - t}}{T_0 - T_1}$$

$$f = \frac{W}{12\,(t - \varDelta)}$$

---

und den hier auf die innere Fläche der Röhren bezogenen Coefficienten $k = 30$, so findet man:

für $t_0 =$	40	50	60	
$f =$	$\frac{W}{1850}$	$\frac{W}{2142}$	$\frac{W}{2395}$	Quadratm.
$l =$	$\frac{W}{72{\cdot}6}$	$\frac{W}{84{\cdot}1}$	$\frac{W}{94{\cdot}1}$	Meter.
$F =$	$\frac{W}{16995}$	$\frac{W}{16791}$	$\frac{W}{16584}$	Quadratm.
$L =$	$\frac{W}{667}$	$\frac{W}{659}$	$\frac{W}{651}$	Meter.
$=$	$\frac{1}{9{\cdot}2}$	$\frac{1}{7{\cdot}8}$	$\frac{1}{6{\cdot}9}$	

Je grösser t_0 angenommen wird, desto kleiner wird zwar l, aber desto grösser bei einem bestimmten Werth von t_1 auch die Geschwindigkeit des Wassers in den Röhren, somit der Widerstand und die zu seiner Bewältigung nöthige Pressung; es ist deshalb angemessen, t_0 nicht grösser als 60^0 oder $t_1 - t_0$ nicht kleiner als 100^0 anzunehmen. G.

In der Regel ist für eine Dampfheizung zu setzen:

$$T_0 = 1000 \quad T_1 = 300 \quad t = 110 \quad \varDelta = 14$$

und dann wird:

$$F = \frac{W}{10430} \quad f = \frac{W}{1152}$$

Gasbeleuchtung.

Beleuchtung mit Steinkohlengas.

269.

Lichtstärke der Kerzen, Lampen und Gasbrenner.

a) Eine Talgkerze von 1/6 Pfund Gewicht brennt durch 9·5 Stunden und gibt so viel Licht wie ein Gasbrenner, welcher per 1 Stunde 14 Liter Steinkohlengas verbrennt.

b) Eine gemeine Lampe mit plattem Docht verbrennt per 1 Stunde 13 Gramm Oel, gibt eine Lichtstärke von 1·13 Talgkerzen und wird durch einen Gasbrenner ersetzt, welcher per 1 Stunde 16 Liter Gas verbrennt.

c) Eine Wachskerze (5 auf 1 Pfund) gibt eine Lichtstärke von 1·1 Talgkerzen und wird durch einen Gasbrenner ersetzt, welcher per 1 Stunde 15 Liter Gas verbrennt.

d) Eine Argand'sche Lampe, welche per 1 Stunde 30 Gramm Oel verbrennt, gibt eine Lichtstärke von 4 Talgkerzen und wird durch einen Gasbrenner ersetzt, welcher per 1 Stunde 56 Liter Gas verbrennt.

e) Eine Sinombra-Lampe, welche per 1 Stunde 50 Gramm Oel verbrennt, gibt eine Lichtstärke von 7·6 Talgkerzen und wird durch einen Gasbrenner ersetzt, welcher per 1 Stunde 106 Liter Gas verbrennt.

f) Eine Carcellampe, welche per 1 Stunde 42 Gramm Oel verbrennt, gibt eine Lichtstärke von 7·71 Talgkerzen und wird durch einen Gasbrenner ersetzt, welcher stündlich 108 Liter Gas verbrennt.

270.

Tabelle zur Vergleichung des Brennstoffverbrauches.

(Die Zahlen einer Horizontalkolumne geben die Brennstoffmengen, welche gleiche Lichtmengen entwickeln.)

Kerzenbeleuchtung.		*Oellampenbeleuchtung.*			*Steinkohlengas.*		*Oelgas* in Litern.
Talg. Kilg.	Wachs. Kilg.	Carcel.	Sinombra.	Platte Dochte.	Gas in Litern.	Steinkohlen in Kilogr.	
1·00	0·92	0·59	0·71	1·26	1530	7·30	566
1·09	1·00	0·65	0·78	1·37	1670	7·94	619
1·67	1·54	1·00	1·19	2·11	2570	12·20	951
1·40	1·29	0·84	1·00	1·76	2140	10·00	793
0·80	0·73	0·47	0·57	1·00	1210	5·75	448
0·65	0·60	0·39	0·47	0·83	1000	4·76	370
0·14	0·13	0·08	0·10	0·17	210	1·00	78
0·76	1·61	1·05	1·26	2·23	2700	13·00	1000

271.

Tabelle über die Brennstunden in den einzelnen Monaten, Quartalen und im Jahre.

Anfang und Ende der Brennzeit.	Erstes Quartal.			Zweites Quartal.			Drittes Quartal.			Viertes Quartal.			Erstes Quartal.	Zweites Quartal.	Drittes Quartal.	Viertes Quartal.	Im Jahr.
	April.	Mai.	Juni.	Juli.	August	September.	October.	November.	Dezember.	Januar.	Februar.	März.					
Von der Dämmerung bis 6 Uhr . . .	—	—	—	—	—	2	31	62	80	65	33	4	—	2	173	102	277
„ 7 „ . . .	4	—	—	—	14	22	62	92	111	96	61	31	4	36	265	188	493
„ 8 „ . . .	28	4	—	—	40	52	93	122	142	127	89	62	32	92	357	278	759
„ 9 „ . . .	58	29	8	13	71	82	124	152	173	158	117	93	95	166	449	368	1078
„ 10 „ . . .	88	60	38	44	102	112	155	182	204	189	145	124	186	258	541	458	1443
„ 11 „ . . .	118	91	68	75	133	142	186	212	235	220	173	155	277	350	633	548	1808
„ 12 „ . . .	148	122	98	106	164	172	217	242	266	251	201	186	368	442	725	638	2173
Die ganze Nacht . .	295	242	195	217	307	345	421	473	527	512	411	382	732	869	1421	1305	4327
Morgens von 4 Uhr .	28	2	—	—	16	48	80	110	137	137	98	71	30	64	327	306	727
„ „ 5 „ .	3	—	—	—	—	18	49	80	106	106	70	40	3	18	235	216	472
„ „ 6 „ .	—	—	—	—	—	—	18	50	75	75	42	9	—	—	143	126	269
„ „ 7 „ .	—	—	—	—	—	—	—	20	44	44	14	—	—	—	64	58	122

Nach diesen Angaben und Tabellen kann sehr leicht die Gasmenge und der Aufwand an Kohlen berechnet werden, die für irgend eine Beleuchtung mit Gas nothwendig sind.

272.

Retorten und Oefen.

Die Destillation von 1 Kilg. Steinkohlen erfordert 0·25 Kilg. Coaks.

Mit 1 Kilg. Steinkohlen gewinnt man durchschnittlich folgende Produkte:

Coaks	Theer	Ammoniakwasser	Steinkohlengas
Kilg.	Kilg.	Kilg.	Liter
0·66	0·064	0·1	256

Ladung der Retorten für jeden Quadratmeter der inneren Fläche	23 Kilg.
Gasproduktion in 24 Stunden durch 1 Quadratmeter der inneren Retortenflächen	30 Kubikmeter
Gewöhnliche Abmessungen der Retorten:	
Länge	2·5 Meter
Weite	0·4 „
Höhe	0·3 „
Innere Fläche	3·25 Quadratmeter
Wanddicke { Gusseisenretorten	0·03 Meter
Wanddicke { Thonretorten	0·08 „
Summe der inneren Flächen aller Retorten des Gaswerkes	$F = \frac{B\,q\,T}{30}$ Quadratmeter

In dieser Formel bezeichnet:

B die Anzahl der Brenner,

q den Gasverbrauch in Kubikmetern eines Brenners in einer Stunde, gewöhnlich = 0·1 bis 0·12 Kubikmeter = 3·5 bis 4·2 Kubikfuss englisch,

T die Beleuchtungszeit in Stunden am kürzesten Tage, für Städtebeleuchtungen in der Regel = 12 Stunden zu setzen.

Ist ferner für einen Ofen:

R die Grösse der Rostfläche in Quadratmeter,

n die Anzahl der Retorten,
f die innere Fläche einer Retorte in Quadratmeter,
so kann man setzen:

$$R = (0{\cdot}045 - 0{\cdot}005\ n)\ n\ f.$$

273.

Vorlage.

Querschnitt der Vorlage . . . . $= \frac{F}{600}$

Darin bedeutet F die Summe der inneren Flächen aller Retorten für die in einer Reihe liegenden, mit der gemeinschaftlichen Vorlage versehenen Oefen. Die Länge der Vorlage ist gleich der Länge dieser Ofenreihe.

274.

Condensator.

Oberfläche aller Röhren des Condensators $= 0{\cdot}3$ F
Querschnitt jeder Röhre des Condensators $= \frac{F}{3000}$
Höhe einer Röhre . . . . $=$ 3 bis 4 Meter.

275.

Waschapparat und Kalkreiniger.

Horizontalquerschnitt des Waschapparates $= 0{\cdot}01$ F
Volumen aller Kalkreiniger . . . . $= 0{\cdot}1$ F bis $0{\cdot}2$ F Kubikmeter
Hordenfläche aller Kalkreiniger . . . $= 0{\cdot}5$ F bis F

276.

Gasuhr.

Querschnitt der Trommel . . . . $= \frac{F}{177}$

Länge der Trommel gleich ihrem Durchmesser.

277.

Gasbehälter.

Nennt man:
𝔅 das Volumen des Gasbehälters,
D den Durchmesser desselben,
H die Höhe desselben,

Q den stündlichen Gasverbrauch aller Brenner in Kubikmeter,
T die Beleuchtungszeit am kürzesten Tag in Stunden,
so ist im Minimum:

$$\mathfrak{V} = (24 - T) \frac{T}{24} Q$$

Für $T =$	5	6	7	8	9	10	11	12
wird $\frac{\mathfrak{V}}{Q} =$	4	4·5	5	5·3	5·6	5·8	6	6

Hat man das Volumen $\mathfrak{V}$ berechnet, so findet man D und H nach den Formeln:

$$\mathfrak{V} = \frac{\pi}{4} D^2 H; \quad H = 3{\cdot}5 + 0{\cdot}15\, D$$

oder vermittelst der folgenden, nach diesen Formeln berechneten Tabelle.

D	H	$\mathfrak{V}$	D	H	$\mathfrak{V}$	D	H	$\mathfrak{V}$	D	H	$\mathfrak{V}$
10	5·00	393	15	5·75	1016	20	6·50	2042	25	7·25	3559
11	5·15	489	16	5·90	1186	21	6·65	2303	26	7·40	3929
12	5·30	599	17	6·05	1373	22	6·80	2585	27	7·55	4323
13	5·45	723	18	6·20	1578	23	6·95	2888	28	7·70	4741
14	5·60	862	19	6·35	1800	24	7·10	3212	29	7·85	5185

278.

Gasleitung.

Nennt man:

Q die Gasmenge in Kubikmetern, welche per Stunde durch eine Röhre geleitet werden soll,
D den Durchmesser der Röhre in Millimetern,
V die Geschwindigkeit des Gases in der Röhre in Metern per Sekunde,

so ist zu nehmen:

$$V = 0{\cdot}3\left(1 + \frac{1}{10} Q\right) \text{ wenn } Q < 100 \text{ Kubikmeter}$$

$$V = 3^{m} \qquad \text{wenn } Q \geqq 100 \text{ Kubikmeter}$$

$$D = 33 \sqrt{\frac{Q}{1 + 0{\cdot}1\,Q}} \quad \text{wenn } Q < 100 \quad „$$

$$D = 10 \sqrt{Q} \quad \text{wenn } Q \overline{\gtrless} 100 \quad „$$

Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Formeln*).

*) In seinem späteren Werke: „der Maschinenbau" empfahl der Verfasser diese Formeln nur für die Zweigleitungen, d. h. für Leitungen in kleineren Seitenstrassen, in Höfen und Gebäuden.

Man kann dabei auch von anderen Gesichtspunkten ausgehen auf Grund der Fundamentalformel:

$$d^5 = 0{\cdot}1\ \lambda\ \varrho\ \frac{l\,V^2}{h}$$

in welcher bedeutet:

l die Länge, d den Durchmesser einer Rohrstrecke in Metern,
V das per Sekunde hindurchströmende Gasvolumen in Kubikmetern,
h den Druckverlust des Gases in dieser Rohrstrecke, gemessen in Millimetern Wassersäule,
ϱ die Dichtigkeit des Gases bezogen auf atm. Luft als Einheit,
λ den in der Anmerkung zu Nr. 157 erklärten Coeffizienten.

Den Letzteren bestimmte Blochmann durch Versuche über die Bewegung des Leuchtgases in gezogenen schmiedeisernen Röhren:

$$\lambda = 0{\cdot}009 + \frac{0{\cdot}0638}{\sqrt{u}} = 0{\cdot}009 + 0{\cdot}0565\ \frac{d}{\sqrt{V}}$$

unter u die Geschwindigkeit des Gases in Metern per Sekunde verstanden. Hiernach erhält man für eine Leitung, welche aus mehreren Strecken besteht, für welche l und V verschieden sind, die Geschwindigkeit u aber und somit auch $\frac{d}{\sqrt{V}}$ constant sein soll, die folgende Gleichung zur Berechnung dieses constanten Werthes $\frac{d}{\sqrt{V}}$ und damit auch der Weiten d der einzelnen Rohrstrecken:

$$\left(\frac{d}{\sqrt{V}}\right)^5 = \left(0{\cdot}009 + 0{\cdot}0565\ \frac{d}{\sqrt{V}}\right) \frac{0{\cdot}1\ \varrho}{H}\ \Sigma \frac{l}{\sqrt{V}}$$

Darin bedeutet H den gegebenen Druckverlust in der ganzen Leitung.

Wird $\varrho = 0{\cdot}42$ und der stündliche Verbrauch einer Flamme $= 0{\cdot}12$ Kubikmeter angenommen, wird ferner d in Millimetern ausgedrückt und mit n die Anzahl der von der Gasmenge V zu speisenden Flammen bezeichnet, so nimmt jene Gleichung die Form an:

$$\left(\frac{d}{\sqrt{n}}\right)^5 = \left(420 + 457\ \frac{d}{\sqrt{n}}\right) \frac{1}{H}\ \Sigma \frac{l}{\sqrt{n}}$$

Wenn z. B. für eine Hausleitung von constanter Rohrweite H = 2 Millim. gesetzt wird, so ist hiernach

$\frac{l}{\sqrt{n}} =$	2·3	3·4	4·9	6·9	9·3	12·4	16·1	20·7	26·1
für $\frac{d}{\sqrt{n}} =$	5	5·5	6	6·5	7	7·5	8	8·5	9

Bei der Berechnung der Zahl der Brenner wurden 100 Liter Gas per Stunde auf 1 Brenner gerechnet.

Gasmenge, welche stündlich durch die Röhre zu leiten ist.	Anzahl der Gasbrenner, welchen das Gas zugeleitet wird.	Geschwindigkeit des Gases in der Röhre in Metern und per 1″.	Durchmesser der Röhre in Millimet.
Liter.		Meter.	
100	1	0·303	10·4
500	5	0·315	22·8
1000	10	0·33	31·5
2000	20	0·36	42·6
3000	30	0·39	50·1
4000	40	0·42	55·8
5000	50	0·45	60·2
6000	60	0·48	63·9
7000	70	0·51	67·0
8000	80	0·54	69·6
9000	90	0·57	71·8
10000	100	0·60	73·8
20000	200	0·90	85·2
30000	300	1·20	90·4
40000	400	1·50	93·3
50000	500	1·80	95·3
60000	600	2·10	96·6
70000	700	2·40	97·6
80000	800	2·70	98·4
90000	900	3·00	99·0
100000	1000	3·00	100·0

Sind l und n gegeben, so findet man hieraus zu dem Werthe von $\frac{l}{\sqrt{n}}$ den entsprechenden Werth von $\frac{d}{\sqrt{n}}$, somit von d.

Bei allen diesen Formeln ist eine horizontale Gasleitung vorausgesetzt. Steigt die Leitung an, so nimmt dadurch pro 1 Meter Erhebung der Ueberdruck des Gases über den äusseren Luftdruck in gleicher Höhe um etwa 0·7 Millim. Wassersäule zu. In den oberen Stockwerken von Gebäuden dürfen desshalb die Gasröhren entsprechend enger gemacht werden, als es nach der Formel zulässig wäre. G.

279.

Die Brenner.

Einfache Brenner.

Die vortheilhafteste Höhe der Flamme ist:

für Steinkohlengas . . . . . . $= 0{\cdot}12^m$

„ Oelgas . . . . $= 0{\cdot}10^m$

Nennt man d den Durchmesser der Ausströmungsöffnung in Millimetern, q die Gasmenge in Litern, welche in 1 Stunde ausströmen soll, so ist:

$$d = 0{\cdot}13 \sqrt{q} \ ^{*)}$$

Lichtstärke der Flamme nach Talgkerzen	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gasmenge in Liter per 1 Stunde (Steinkohlengas)	28	42	56	70	84	98	112	126	140
Durchmesser der Ausströmungsöffnung in Millimetern . .	0·69	0·84	0·97	1·09	1·19	1·29	1·38	1·46	1·54

280.

Verbesserte Regeln zur Berechnung der Gasleitungsröhren.

Die im Vorhergehenden aufgestellten Regeln sind den Anforderungen, welche man in der Praxis an eine Gasleitung stellen muss, nicht ganz entsprechend, indem bei denselben die totale Ausdehnung der Gasleitung nicht berücksichtigt wurde. Die folgenden Regeln sind von diesem Fehler befreit.

Der Erfahrung gemäss soll eine Gasleitung (die Hauptleitung) folgenden Bedingungen entsprechen:

1) die Leitung soll die erforderliche Gasmenge liefern, wenn die Pressung im Gasbehälter eine Wassersäule von 4 Centimetern zu tragen vermag;
2) die Pressung in der vom Gasometer entferntesten Röhre soll wenigstens eine Wassersäule von 2 Centimetern zu tragen im Stande sein;

---

*) Diese Formel entspricht der Voraussetzung, dass die auf atmosphärische Luft als Einheit bezogene Dichtigkeit des Gases = 0·42, die den Ueberdruck des Gases vor der Mündung messende Wassersäule = 12 Millimeter und der Ausflusscoeffizient fast = 1 ist. G.

3) die Pressung soll vom Gasometer an bis zur entferntesten Röhre gleichmässig abnehmen, und es sollen überhaupt im ganzen Röhrensystem gleich lange Röhrenstücke gleich grosse Differenzen in den Pressungen verursachen.

Auf diesen Grundsätzen beruhen die folgenden Regeln.

Nennt man:

L die Länge der Hauptleitung von dem Gasbehälter bis an den entferntesten Brenner in Metern,

H die Höhendifferenz der Wassersäulen in Centimetern, durch welche die an den Enden von L stattfindenden Pressungen gemessen werden und welche in der Regel nicht mehr als 2·6 Centimeter betragen soll,

l die Länge irgend eines Röhrenstückes der Leitung in Metern,

d den Durchmesser dieses Röhrenstückes in Centimetern,

B die Anzahl der Brenner, welche der Gasmenge entspricht, die in das Röhrenstück eintritt,

b die Anzahl der Brenner, welche direkt von dem Röhrenstück l aus mit Gas versehen werden,

$m = \frac{B}{b}$ das Verhältniss dieser beiden Brennerzahlen,

q den stündlichen Gasverbrauch eines Brenners in Kubikmetern, gewöhnlich = 0·1 Kubikmeter oder nahe 4 Kubikfuss engl.,

so kann man setzen*):

$$d^5 = 0{\cdot}208 \, \frac{L}{H} \, B^2 \, q^2 \left(1 - \frac{3\,m - 1}{3\,m^2}\right)$$

Ist b = 0, d. h. sind längs des Röhrenstückes l keine Brenner aufgestellt, so wird:

$$d^5 = 0{\cdot}208 \, \frac{L}{H} \, B^2 \, q^2$$

Zur numerischen Berechnung dienen folgende Tabellen:

---

*) Diese Formel beruht auf der Voraussetzung, dass $\lambda\,\varrho = 0{\cdot}027$ gesetzt wird (etwa $\lambda = 0{\cdot}06$ und $\varrho = 0{\cdot}45$), falls λ und ϱ die in der Anmerkung zu Nr. 278 erklärten Bedeutungen haben. Auch setzt die Formel eine horizontale Leitung voraus. Ist Letztere geneigt, so behält die Formel ihre Giltigkeit, wenn unter H diejenige Druckhöhendifferenz verstanden wird, welche nur den Leitungswiderständen entspricht. Die wirkliche Druckhöhendifferenz ist dann bei einer ansteigenden Leitung für jeden Meter Erhebung um 0·07 Centim. Wassersäule kleiner, bei einer fallenden Leitung für jeden Meter Senkung um ebenso viel grösser als dieses H. G.

d	d^5	d	d^5	d	d^5
1	1	13	371 293	25	9 765 625
2	32	14	537 824	26	11 881 376
3	243	15	759 375	27	14 348 907
4	1 024	16	1 048 576	28	17 210 368
5	3 125	17	1 419 857	29	20 511 149
6	7 776	18	1 889 568	30	24 300 000
7	16 807	19	2 476 099	31	28 629 151
8	32 768	20	3 200 000	32	33 554 432
9	59 049	21	4 084 101	33	39 135 393
10	100 000	22	5 153 632	34	45 435 424
11	161 051	23	6 436 343	35	52 521 875
12	248 832	24	7 962 624	36	60 466 176

m	$1-\frac{3m-1}{3m^2}$	m	$1-\frac{3m-1}{3m^2}$	m	$1-\frac{3m-1}{3m^2}$
1·0	0·333	1·9	0·566	5	0·813
1·1	0·366	2·0	0·583	6	0·843
1·2	0·398	2·2	0·614	8	0·880
1·3	0·428	2·4	0·641	10	0·903
1·4	0·456	2·6	0·665	15	0·935
1·5	0·481	2·8	0·685	20	0·951
1·6	0·505	3·0	0·704	30	0·967
1·7	0·527	3·5	0·741	50	0·980
1·8	0·547	4·0	0·771	100	0·990