

Diese Aufgabe ist von Keck und Göbel durch die Berechnung der Zahlentafeln (Nr. 57 und 58) erleichtert. Nachdem man den Ausschlag a des Druckmittelpunktes in einfacher Weise ermittelt hat, findet man in Zahlentafel Nr. 57 durch die Werte z die zugehörigen Lagen der Nullachse, und aus Zahlentafel Nr. 58 die größten Kantenpressungen aus den Werten $\frac{\sigma_m}{\sigma_0}$.

Nach G. Lang kann man σ_m berechnen nach

$$\sigma_m = \sigma'' + \sigma' \left(\frac{a - k}{c - k} \right)^2, \quad (75)$$

worin $c = \frac{R}{2} + \frac{r}{4}$ ist, und die Bedingung, daß die Fugen nicht weiter als bis zur Mitte klaffen, durch die Gleichung

$$a \leq c$$

gegeben ist.

Zahlentafel Nr. 57

nach Keck¹⁾ für die Werte $z:R$.

$a:R$	$r:R$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,25	2,00						
0,30	1,82						
0,35	1,66	1,89	1,98				
0,40	1,51	1,75	1,84	1,93			
0,45	1,37	1,61	1,71	1,81	1,90		
0,50	1,23	1,46	1,56	1,66	1,78	1,89	2,00
0,55	1,10	1,29	1,39	1,50	1,62	1,74	1,87
0,60	0,97	1,12	1,21	1,32	1,45	1,58	1,71
0,65	0,84	0,94	1,02	1,13	1,25	1,40	1,54
0,70	0,72	0,75	0,82	0,93	1,05	1,20	1,35
0,75	0,59	0,60	0,64	0,72	0,85	0,99	1,15
0,80	0,47	0,47	0,48	0,52	0,61	0,77	0,94
0,85	0,35	0,35	0,35	0,36	0,42	0,55	0,72
0,90	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,32	0,49
0,95	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,25

Zahlentafel Nr. 58

nach Göbel²⁾ für die Werte $\sigma_m:\sigma_0$.

$a:R$	$r:R$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,05	1,20	1,16	1,15	1,13	1,12	1,10	1,10
0,10	1,40	1,32	1,29	1,27	1,24	1,22	1,20
0,15	1,60	1,48	1,44	1,40	1,37	1,33	1,30
0,20	1,80	1,64	1,59	1,54	1,49	1,44	1,40
0,25	2,00	1,80	1,73	1,67	1,61	1,55	1,50
0,30	2,23	1,96	1,88	1,81	1,73	1,66	1,60
0,35	2,48	2,12	2,04	1,94	1,85	1,77	1,70
0,40	2,76	2,29	2,20	2,07	1,98	1,88	1,80
0,45	3,11	2,51	2,39	2,23	2,10	1,99	1,90
0,50	3,55	2,80	2,61	2,42	2,26	2,10	2,0
0,55	4,15	3,14	2,89	2,67	2,42	2,26	2,17
0,60	4,96	3,58	3,24	2,92	2,64	2,42	2,26
0,65	6,00	4,34	3,80	3,30	2,92	2,64	2,42
0,70	7,48	5,40	4,65	3,86	3,33	2,95	2,64
0,75	9,93	7,26	5,97	4,81	3,93	3,33	2,89
0,80	13,87	10,05	8,80	6,53	4,93	3,96	3,27
0,85	21,08	15,55	13,32	10,43	7,16	4,50	3,77
0,90	38,25	30,80	25,80	19,85	14,60	7,13	4,71
0,95	96,10	72,20	62,20	50,20	34,60	19,80	6,72
1,00	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

¹⁾ Zeitschr. d. hannoverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins 1882, S. 627.

²⁾ Z. Ver. deutsch. Ing. 1898, S. 180.

Nach vorstehenden Ausführungen wird nun die Berechnung der Kantenpressungen σ_m für verschiedene Querschnitte vorgenommen, wie später noch an einem Beispiel erläutert werden wird; von besonderer Wichtigkeit ist die Sohle des Schaftes und die Fundamentsohle; außerdem genügt es, die Sohlflächen der einzelnen Schaftrömmeln zu untersuchen.

Für die Fundamentsohle darf bei gutem Baugrunde $\sigma_m=3$ kg/qcm sein (ausnahmsweise ist $\sigma \leq 4$ kg/qcm zugelassen). Ein Abheben der Kante auf der Windseite darf nicht erfolgen, es muß also der Ausschlag „ a “ innerhalb des Kernes bleiben. Die Standsicherheit muß ohne Hinzurechnung der Erdlast erreicht sein.

B. Ausführung gemauerter Schornsteine.

Außer der Standfestigkeit, auf welche sich die behördliche Prüfung allein erstreckt, sind für den Schornsteinbau eine Reihe von Punkten zu beachten, welche weniger der Rechnung zugänglich sind, bei denen daher die Erfahrung des Erbauers eine Rolle spielt. Der Bau wird daher am besten durch Sonderfirmen ausgeführt.

Die Teile des Schornsteines sind: der Schaft, der Sockel und der Unterbau.

Der Sockel von 4eckigem oder 8eckigem Querschnitt und etwa $\frac{1}{6}$ der Schornsteinhöhe hat eigentlich keinen besonderen Zweck. Man führt auch bei neueren Bauten vielfach den Schaft bis auf den Unterbau herab und versieht ihn in Höhe von etwa 1 m mit einem Wulst. Das Aussehen wird durch diese einfachere Gestaltung nicht beeinträchtigt.

Der Schaft wird mit einem äußeren Anlauf von der Größe

$$\text{tg } \alpha = \frac{R_u - R_o}{h} = 0,015 \text{ bis } 0,025$$

ausgeführt. An der Mündung soll die lichte Weite nicht unter 0,6 m sein, damit der Schornstein ohne Gerüst von innen gemauert werden kann. Die Wandstärke, die an der Mündung 15, 20 und 25 cm bei einer lichten Weite $d_0 \leq 1,5$ m, $d_0 = 1,5$ bis 2 m und $d_0 \geq 2$ m beträgt, nimmt nach unten in Absätzen von 4 bis 7 m Höhe um je 5,0 cm zu.

Die Abstufungen werden Schüsse oder Schaftrömmeln genannt. Der innere Anlauf ist wegen der nach unten zunehmenden Wandstärke um 0,012 bis 0,007 geringer als der äußere.

Rauchgase von sehr hoher Temperatur rufen am Schaft Wärmespannungen hervor, welche ein Reißen des Mauerwerks verursachen können, saure Gase greifen das Mauerwerk an. Zum Schutz gegen diese Einwirkungen wird der Schaft im Innern mit einem feuerfesten Futter versehen, welches im ersteren Falle jedoch nicht bis zur vollen Höhe aufgeführt zu werden braucht. Bei Gasen bis zu 350° kann man jedoch unbedenklich ein Futter aus Radial- bzw. Hartbrandsteinen nehmen. Futter und Außenmantel müssen vollständig voneinander getrennt sein, damit sich das erstere frei ausdehnen und zusammenziehen kann. Der Spielraum beträgt etwa 2 cm, der Zwischenraum kann mit Sand oder Kieselgur ausgeführt sein oder bleibt leer; am besten, aber auch am teuersten ist die Ausfüllung mit gesinterten Kieselgurplatten.

Auch bei Rauchgasen von nicht zu hoher Temperatur wirkt das Futter wärmeisolierend und hat somit einen günstigen Einfluß auf die Zugstärke.

Der Schornsteinkopf wird mit einer leichten einfachen Bekrönung aus Sandstein oder Zement nach Fig. 353

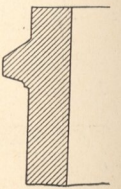


Fig. 353.

versehen, welche durch Ablenkung des Windes die Zugwirkung verstärkt. Eine eiserne Bekrönung sollte vermieden werden, da die Gefahr besteht, daß sie durchrostet und ev. herunterfällt. Der Schornstein ist mit einem Blitzableiter ausgerüstet und sollte ferner, damit er jederzeit untersucht werden kann, nicht nur innen, sondern auch außen mit \square -förmigen Steig- und Schutz-eisen versehen sein, und zwar derart, daß der Mann im Innern der Schutz-eisen hinaufsteigt. Die Eisen sind gut gegen Rost zu schützen, am besten zu verzinken.

Durch die Einmündung des Fuchses in den Schornstein entsteht eine Unterbrechung des Mauerwerkes, die eventuell durch Einziehen von Trägern oder Mauerverstärkungen auszugleichen ist. Auf jeden Fall soll

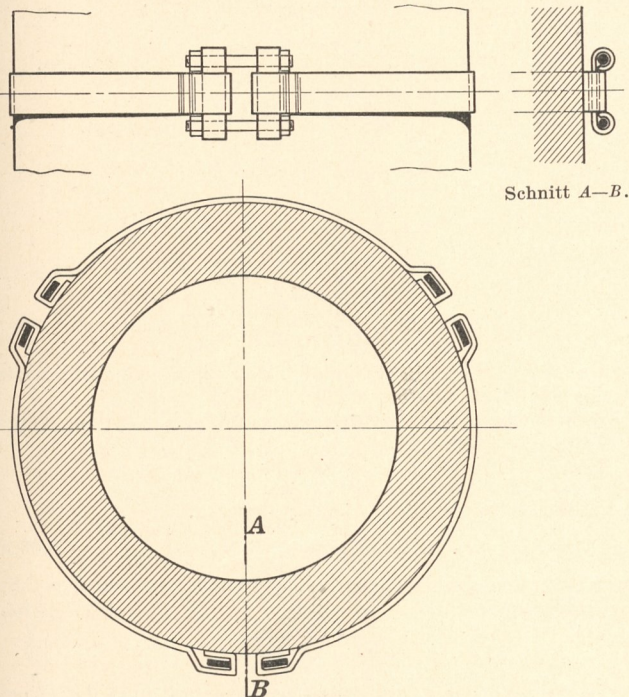


Fig. 354. Eisenband mit Spannschlössern.
Ausführung: Friedrich von Hadeln, Hannover.

jedoch auf der gegenüberliegenden Seite, auch wenn dort eine Einsteigeöffnung nicht notwendig ist, eine später zu vermauernde Unterbrechung von gleicher Größe angebracht werden, damit das Mauerwerk beim Bau sich gleichmäßig setzt.

Wenn heißgehende oder feuchte Gase vorkommen, also bei Braunkohlen, oder wenn die Brennstoffe zu verpuffender Verbrennung neigen, versieht man den Schornstein gern mit eisernen Querbändern, d. h. man „bindet ihn ein“, um ein Reißen zu verhindern. Fig. 354 stellt ein Eisenband mit Spannschlössern dar, welche den Vorteil einer bequemen und sicheren Montage bieten. Es ist zu beachten, daß alle Eisenbänder leitend mit dem Blitzableiter verbunden werden müssen.

Beispiel 22. In Fig. 355 ist ein Schornstein von 40 m Höhe und 1,5 m oberer lichter Weite dargestellt. Es sollen nach vorstehender Entwicklung die Kantenpressungen in der Lagerfuge I-I und der Grundplatte berechnet werden.

Form und Abmessungen des Schornsteines gehen aus der Figur hervor, die Querschnittsformen von Schaft und Grundplatte sind rund.

Folgende Abmessungen seien hervorgehoben:

Schafthöhe	$h = 39$	m
oberer äußerer Halbmesser	$R_o = 1,0$	„
oberer innerer „	$r_o = 0,75$	„
unterer äußerer „	$R_u = 1,67$	„
unterer innerer „	$r_u = 1,07$	„
äußerer Anlauf	$tg \alpha = 0,016$	
Wandstärke der obersten Trommel	$= 0,25$	m

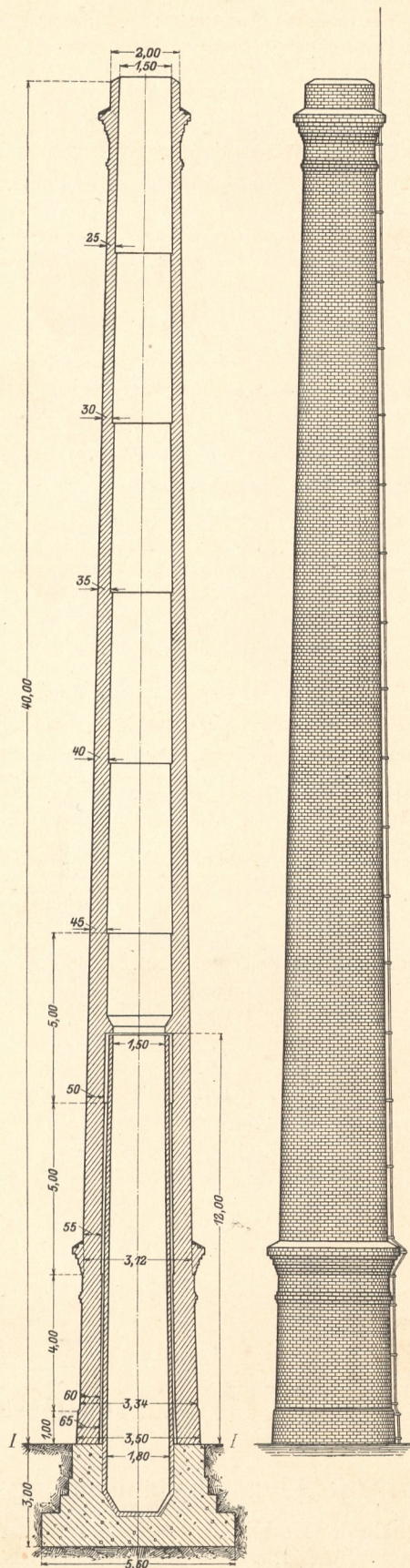


Fig. 355. Schornstein von 40 m Höhe und 1,5 m oberer lichter Weite.
Ausführung: Friedrich von Hadeln, Hannover.

Zunahme der Wandstärke für die folgenden Trommeln 50 mm.
Das Mauerwerk von Schaft und Sockel besteht aus Radialsteinen in Kalk-Zementmörtel (1 R.-T. Zement, 2 R.-T. Kalk, 6 R.-T. Sand), spez. Gew. $\gamma = 1700$ kg/cbm.
Das Grundbaumauerwerk besteht aus Zementbeton 1:7 mit $\gamma = 2000$ kg/cbm.

Gewicht des Schaftes $G = 199\,784$ kg.
 Querschnitt der Schaftsohle $f = 51\,648$ qcm.
 Druckspannung durch das Eigengewicht

$$\sigma_0 = \frac{G}{f} = \frac{199\,784}{51\,648} = 3,87 \text{ kg/qcm.}$$

Angriffsfläche des Winddruckes

$$F = (R_u + R_o) h = 2,67 \cdot 39 = 104,13 \text{ qm.}$$

Schwerpunktshöhe

$$s = \frac{h}{3} \frac{R_u + 2 R_o}{R_u + R_o} = \frac{39}{3} \cdot \frac{1,67 + 2}{1,67 + 1} = 17,87 \text{ m.}$$

Winddruck:

$$\text{(bei } \mathfrak{B} = 125 \text{ kg/qm)} \quad P = 0,67 \cdot 125 \cdot 104,13 = 8\,721 \text{ kg,}$$

$$\text{(bei } \mathfrak{B} = 150 \text{ kg/qm)} \quad P' = 0,67 \cdot 150 \cdot 104,13 = 10\,465 \text{ kg.}$$

Moment des Winddruckes:

$$\text{(bei } \mathfrak{B} = 125 \text{ kg/qm)} \quad M = P \cdot s = 8\,721 \cdot 17,87 = 155\,844 \text{ m/kg,}$$

$$\text{(bei } \mathfrak{B} = 150 \text{ kg/qm)} \quad M' = P' \cdot s = 10\,465 \cdot 17,87 = 187\,010 \text{ m/kg.}$$

Widerstandsmoment des Querschnittes

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{167^4 - 107^4}{167} = 3\,020\,000 \text{ cm}^3.$$

Daraus ergibt sich für M' die Biegungsbeanspruchung

$$\sigma = \frac{M'}{W} = \frac{18\,701\,000}{3\,020\,000} = 6,2 \text{ kg/qcm}$$

und die Gesamtspannungen:

$$\sigma' = \sigma_0 - \sigma = -2,33 \text{ kg/qcm (Zug),}$$

$$\sigma'' = \sigma_0 + \sigma = +10,07 \quad \text{,, (Druck).}$$

Diese treten jedoch nicht auf, wenn die Fugen klaffen; für diesen Fall sei die große Kantenpressung σ_m berechnet.

a) Mit Hilfe der Zahlentafeln Nr. 57 und 58.

Es beträgt der Ausschlag des Druckmittelpunktes:

$$\text{(für } \mathfrak{B} = 125 \text{ kg/qm)} \quad a = \frac{M}{G} = \frac{155\,844}{199\,784} = 0,78 \text{ m,}$$

$$\text{(für } \mathfrak{B} = 150 \text{ kg/qm)} \quad a' = \frac{M'}{G} = \frac{187\,010}{199\,784} = 0,936 \text{ m.}$$

Man findet nun aus Zahlentafel Nr. 57 für

$$\frac{a'}{R_u} = \frac{0,936}{1,67} = 0,56$$

und für

$$\frac{r_u}{R_u} = \frac{1,07}{1,67} = 0,64$$

durch Interpolation den Wert

$$\frac{z}{R} = 1,398,$$

woraus

$$z = 2,36 \text{ m,}$$

d. h. die Nullachse liegt um 0,69 m links von der Mitte, da dies hiermit für $\mathfrak{B} = 150$ kg/qm nachgewiesen ist, so ist die Bedingung, daß bei 125 kg Winddruck die Fugen nicht weiter als bis zur Mitte klaffen dürfen, reichlich erfüllt.

Aus Zahlentafel Nr. 58 findet man ebenfalls für $\frac{a'}{R_u} = 0,56$ und

$$\frac{r_u}{R_u} = 0,64$$

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_0} = 2,98$$

und

$$\sigma_m = 2,98 \cdot 3,87 = 11,5 \text{ kg/qcm;}$$

zulässig sind 12 bis 15 kg/qcm.

b) Berechnung nach Gl. (73) und (74).

Es ist die Größe des Kernhalbmessers für den Kreisring:

$$k = \frac{1}{4} 1,67 \left(1 + \frac{1,07^2}{1,67^2} \right) = 0,59 \text{ m,}$$

$$\sigma' = \sigma_0 \left(1 - \frac{a}{k} \right) = 3,87 \left(1 - \frac{0,936}{0,59} \right) = -2,28 \text{ kg/qcm,}$$

$$\sigma'' = \sigma_0 \left(1 + \frac{a}{k} \right) = 3,87 \left(1 + \frac{0,936}{0,59} \right) = 10 \text{ kg/qcm,}$$

$$\sigma_m = \sigma'' + \sigma' \left(\frac{a - k}{c - k} \right)^2,$$

worin

$$c = \frac{R}{2} + \frac{r}{4} = \frac{1,67}{2} + \frac{1,07}{4} = 1,102 \text{ m,}$$

$$\sigma_m = 10 + 2,28 \left(\frac{0,936 - 0,59}{1,102 - 0,59} \right)^2 = 11,2 \text{ kg/qcm.}$$

Durch $c > a$ ist die Bedingung, daß die Fugen nicht weiter als bis zur Mitte klaffen, erfüllt.

In derselben Weise werden die Lagerfugen an den übrigen Abstufungen untersucht.

Für die Fundamentsohle beträgt:

das Gesamtgewicht $G_2 = 310\,771$ kg,

das Winddruckmoment $M_2 = 195\,000$ m/kg,

der Ausschlag des Druckmittelpunktes $a_2 = \frac{195\,000}{310\,771} = 0,63$ m,

der Kernhalbmesser der kreisförmigen Grundplatte von $R_2 = 2,8$ m Halbmesser

$$k_2 = \frac{R_2}{4} = 0,7 \text{ m.}$$

Da kein Abheben vom Boden erfolgen darf, muß der Druckmittelpunkt innerhalb des Kernes bleiben, was durch $a_2 < k_2$ erfüllt ist.

Die Druckspannung durch Eigengewicht ist

$$\sigma_0 = \frac{G_2}{\pi R_2^2} = \frac{310\,771}{246\,301} = 1,26 \text{ kg/qcm.}$$

Die größte Kantenpressung am Rande der Grundplatte

$$\sigma' = \sigma_0 \left(1 + \frac{a_2}{k_2} \right) = 1,26 \left(1 + \frac{0,63}{0,7} \right) = 2,4 \text{ kg/qcm.}$$

XIV. Beseitigung der Flugasche.

1. Die Flugaschenablagerung

wird innerhalb der Kesselanlage besonders dort recht unangenehm empfunden, wo die Ablagerungen die Kesselheizflächen verdecken und so die Wärmeübertragung an den Kesselinhalt teilweise verhindern. Beobachtet man beispielsweise einen Flammrohrkessel nach stattgefundener Reinigung, so findet man oft schon nach 2- bis 3wöchiger Betriebszeit die Flammrohre stellenweise bis zur Hälfte mit Flugasche verlegt (Fig. 356).

Vorgenommene Messungen hinter den Flammrohren

haben ergeben, daß bei verlegten Feuerrohren die Temperatur der Heizgase allmählich um etwa 50° C gegenüber reinen Heizflächen zunimmt, was dadurch erklärlich wird, daß nach und nach etwa 20 v. H. der Flammrohrheizfläche mit Flugasche belegt bzw. fast unwirksam gemacht werden. Die Folge davon sind erhöhte Beanspruchung der übrigen reinen Heizfläche und dadurch vermehrte Verluste durch Strahlung und Abgase im Schornstein, da die Heizgase nunmehr mit höherer Temperatur die Außenzüge bestreichen, die nur auf einer Seite von nutzbringender Heizfläche gebildet werden.