Verschiedene Konstruktionen

Scholtz, Adolf

Leipzig, 1900

1) Bedingungen der Stabilität

urn:nbn:de:hbz:466:1-96800

dringenden Schornsteine mindestens 0,25 m über denselben hinaus; andere, seitlich vom Dachfirst mündende Schornsteine erhöhe man um 0,30 bis 0,60 m über First, und zwar nähere man sich dem letzten Werte desto mehr, je größer der Abstand des Schornsteines vom Dachfirst ist.

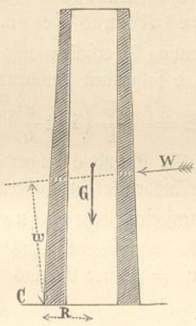
§ 11.

Stabilität freistehender Schornsteine.

1) Bedingungen der Stabilität.

Die Untersuchungen über die Stabilität hoher Schornsteine, die namentlich durch den Winddruck sehr gefährdet ist, werden in der Regel von ganz falschem Gesichtspunkte

Fig. 17.



aus durchgeführt. Es wird der Winddruck W sowie dessen Angriffspunkt ermittelt und das zur Sicherung der Stabilität erforderliche Gewicht G aus der auf den Drehpunkt C (Fig. 17) bezogenen Momentengleichung

$$GR = Ww$$

bestimmt, in welcher

R den Hebelarm von G
und w den Hebelarm von W

bedeutet.

Das theoretische

$$G = \frac{Ww}{R}$$

wird dann ebenfalls noch durch ein

$$G = c\frac{Ww}{R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (I)$$

ersetzt, wo c einen Sicherheitskoeffizienten, den man Stabilitätskoeffizienten zu nennen pflegt, darstellt.

Daß eine derartige Betrachtung sich nicht verteidigen läßt, leuchtet ein. Zunächst fehlt der geeignete Anhalt für die Beurteilung des Wertes c, da eine Ermittelung desselben aus Vergleichen mit der Praxis insofern wenig rationell ist, als ausgeführte Konstruktionen nicht immer gleichzeitig zweckmäßige sein müssen. Weiter bietet die Berechnung der Schornsteindimensionen nach Formel I keine Garantie gegen eine etwaige Überlastung des Materiales. Sie zieht nur die sogenannte Standsicherheit in Betracht, nicht aber die Festigkeit des Materiales und die Sicherheit gegen Gleiten auf der Lagerfuge.

Jeder mit den Lehren der Baumechanik Vertraute wird wissen, daß man in analoger Weise früher die Futtermauern zu berechnen pflegte, daß man aber in neuerer Zeit wesentlich andere Bedingungen für deren Stabilität aufstellt.

Der Verfasser hält sich deshalb um so mehr berechtigt, eine rationellere Berechnung in ausführlicherer Weise zur Darstellung zu bringen.

Die an jede Steinkonstruktion mit Fug und Recht zu stellende Forderung ist:

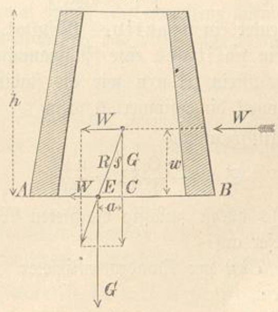
> daß in keinem Teile derselben eine übermäßige Zugspannung, vielmehr nur eine so geringe Zugspannung auftritt, daß eine Gefährdung der Konstruktion nicht zu gewärtigen ist.

Diese größte zulässige Zugspannung dürfte hierbei auf 1 kg pro Quadratcentimeter bemessen werden dürfen, doch wird es ratsam sein, selbst von dieser, eine Verringerung des Querschnittes gestattenden Annahme abzusehen, wenn es sich um die Berechnung von hohen Schornsteinen handelt, da das Mauerwerk nicht allein unter dem Einflusse der Witterung, sondern auch durch die Hitze leidet.

Der Gang der Untersuchung ist folgender:

Es sei Fig. 18 A B ein Querschnitt im Abstande h von der Mündung, G sei das Gewicht des Schornsteinsegmentes,

Fig. 18.



W der Winddruck auf dieses, nach Lage und Größe gegeben und horizontal wirkend vorausgesetzt. Weiter sei R die Resultante aus W und G, sie schneide A B in E und bilde mit der Normalen zu A B den Winkel φ.

Die Horizontalkomponente von R, welche gleich W ist, wird ein Gleiten auf der Lagerfuge erstreben und wird, wenn von der Festigkeit des Mörtels abgesehen wird, kleiner als der Reibungswiderstand sein müssen. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn

$$\varphi \leqq \varrho$$

ist, wo ϱ den Reibungswinkel bedeutet, welcher $= 33^0$ anzunehmen ist.

Die Stabilität gegen Gleiten erfordert daher, daß

$$W \leqq G \operatorname{tg} 33^0,$$

d. i.

$$W \leqq 0{,}65\, G$$

ist.[1])

Die Vertikalkomponente von R, d. i. die in E angreifende Kraft G, beansprucht den Querschnitt AB auf excentrischen Druck.

Nennt man

a den Abstand des Punktes E von dem Schwerpunkte C des Querschnittes,

so entsteht das Biegungsmoment

$$M = G a,$$

welchem in den Fasern B und A die Spannungen

$$\mathfrak{S}_1 = \pm \frac{G a}{\mathfrak{W}}$$

entsprechen, unter

$\mathfrak{W}$ das Widerstandsmoment (den Querschnittsmodul) des Schornsteinquerschnittes verstanden.

Dem Drucke G entspricht die Normalspannung

$$\mathfrak{S}_2 = - \frac{G}{F}$$

wo F der Inhalt des Querschnittes ist.

Die Gesamtspannung wird

$$\mathfrak{S} = - \frac{G}{F}\left[1 \pm \frac{a F}{\mathfrak{W}}\right]$$

und zwar bedeutet ein negatives Resultat eine Druckspannung, ein positives eine Zugspannung.

Den Schornstein erklären wir als stabil und gleichzeitig als rationell dimensioniert,[2]) wenn

1) die Druckspannung

$$\mathfrak{S} = - \frac{G}{F}\left(1 + \frac{a F}{\mathfrak{W}}\right)$$

gerade den als höchst zulässig erachteten Wert annimmt und dürfte dieser auf

7 kg pro Quadratcentimeter

zu bemessen sein,

2) wenn die Zugspannung gleich oder kleiner als Null ist.

Der aus Bedingung 2 sich ergebende Grenzwert a folgt aus der Gleichung

$$1 = \frac{a F}{\mathfrak{W}}$$

und möge mit e bezeichnet werden. Es ist dann

$$e = \frac{\mathfrak{W}}{F}.$$

Den geometrischen Ort der Punkte, welche im Abstande e von C liegen, nennen wir die Kernfläche, den von dieser und den Endquerschnitten des Schornsteines eingeschlossenen Raum den Kern; weiter bezeichnen wir den geometrischen Ort der Punkte C mit dem Namen Stützlinie und sprechen nun die Bedingungen 2 wie folgt aus:

Soll in der Schornsteinwandung keine Zugspannung auftreten, so müssen sämtliche Punkte der Stützlinie innerhalb des Kernes liegen.

Für die Spannung $\mathfrak{S}$ erhalten wir unter Berücksichtigung des Wertes e folgenden Ausdruck:

$$\mathfrak{S} = - \frac{G}{F}\left(1 \pm \frac{a}{e}\right)$$

und zwar sind für $\mathfrak{W}$, F und e folgende aus der Festigkeitslehre bekannte Ausdrücke einzuführen:

a) für den Schornstein mit Kreisquerschnitt, Fig. 19:

R = großer Radius
r = kleiner Radius

Fig. 19.

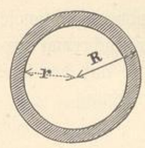
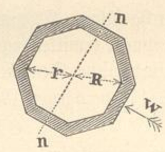


Fig. 20.



$$\mathfrak{W} = \frac{\pi}{4 R}(R^4 - r^4) = \frac{0{,}785\,(R^4 - r^4)}{R}$$

$$F = \pi (R^2 - r^2) = 3{,}142\,(R^2 - r^2)$$

$$e = \frac{R^2 + r^2}{4 R};$$

b) für den Schornstein mit Achteckquerschnitt, Fig. 20:

$\left.\begin{matrix} R \\ r \end{matrix}\right\}$ die Radien der bezüglichen umschriebenen Kreise:

$$\mathfrak{W} = \frac{0{,}690}{R}(R^4 - r^4)$$

$$F = 2{,}828\,(R^2 - r^2)$$

$$e = \frac{R^2 + r^2}{4{,}10\, R} = \frac{0{,}244}{R}(R^2 + r^2);$$

(in Fig. 20 deutet der Pfeil an, daß der Winddruck normal zu einer Seite anzunehmen ist);

c) für den Schornstein mit Sechseckquerschnitt, Fig. 22:

---

1) Diese Bedingung ist stets erfüllt; man hat deshalb nicht nötig, die bezügliche Gleichung zu untersuchen.

2) Wir fassen hierbei selbstverständlich nur die Festigkeit ins Auge, sehen also von den an die Esse als guten Zugerzeuger zu stellenden Forderungen ab.

Fig. 21.

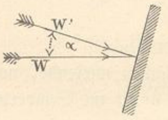
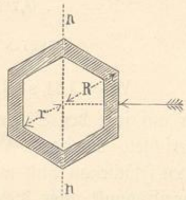


Fig. 22.



$$\mathfrak{W} = \frac{0{,}625}{R}(R^4 - r^4)$$

$$F = 2{,}598\,(R^2 - r^2)$$

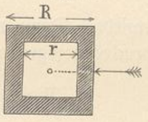
$$e = \frac{R^2 + r^2}{4{,}16\,R} = \frac{0{,}240}{R}(R^2 + r^2);$$

d) für den Schornstein mit Quadratquerschnitt:

R = äußere Quadratseite

r = innere Quadratseite

Fig. 23.



$$\mathfrak{W} = \frac{1}{6\,R}(R^4 - r^4)$$

$$F = R^2 - r^2$$

$$e = \frac{R^2 + r^2}{6\,R}.$$

Die Strecke a findet man, wenn der Abstand w des Winddruckes von C gegeben ist, aus der Proportion:

$$a : w = W : G,$$

woraus

$$a = \frac{W\,w}{G},$$

so daß die Spannung:

$$\mathfrak{S} = -\frac{G}{F}\left[1 \pm \frac{W\,w}{G\,e}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (x)$$

wird. Mit Hilfe dieser Formel läßt sich die Aufgabe lösen, sobald der Winddruck $\mathfrak{W}$ und dessen Hebelarm w in Bezug auf den Querschnitt A B gegeben ist.

2) Bestimmung des Winddruckes.

Wie die Aerodynamik lehrt, ist der Druck, welchen der Wind auf eine ruhende, zu seiner Bewegungsrichtung normale Fläche ausübt:

$$W' = c\gamma\frac{F v^2}{2g},$$

unter:

- F den Inhalt der Fläche in Quadratmetern,
- γ das Gewicht pro Kubikmeter Luft (= 1,292 kg bei 13° C. und 1 Atmosphäre Spannung),
- g die Beschleunigung der Schwere (= 9,81),
- c einen Erfahrungskoeffizienten, der bei kleinen Flächen 1,86 ist,
- v die Geschwindigkeit des Windes in Metern pro Sekunde

verstanden. Der Ausdruck geht nach Einführung der für γ, g und c angegebenen Werte über in

$$W' = 0{,}12\,F v^2,$$

wonach für verschiedene beobachtete Geschwindigkeiten sich folgende Drucke pro Quadratmeter ergeben.

	v	W' pro qm
		kg
Lebhafter Wind	5	3
Sehr lebhafter Wind	10	12
Starker „	15	27
Sehr starker „	20	48
Leichter Sturm	25	75
Starker „	30	108
Orkan	40	192
Stärkster bekannter Orkan	48	278

Welcher dieser Werte der Berechnung der Schornsteinabmessungen zu Grunde zu legen ist, hängt von der Örtlichkeit ab. Geraten dürfte es sein, den Druck pro Quadratmeter auf mindestens 200 kg festzusetzen, ihn jedoch bei sehr dem Winde preisgegebenen Anlagen auf 300 zu erhöhen. In die folgenden Untersuchungen möge der erstgenannte Wert eingeführt und demnach

$$W' = 200\,F$$

geschrieben werden. Der zweiten Annahme entsprechende Resultate erhält man, indem man die nachstehend für Ww entwickelten und in Formel (x) einzusetzenden Ausdrücke mit 1,5 multipliziert.

Aus der Aerodynamik ist ferner bekannt, daß der auf eine ruhende Fläche, deren Normale mit der Windrichtung den Winkel α (Fig. 21) einschließt, sich äußernde, in der Richtung normal zur Fläche gemessene Winddruck — und zwar unter Einführung des oben angegebenen spezifischen Druckes —

$$W' = 200\,F\cos^2\alpha$$

ist (da die Geschwindigkeit normal zur Fläche = v cos α), woraus sich der horizontal wirkende Winddruck

$$W = 200\,F\cos^3\alpha$$

ergiebt.

Mit Hilfe dieser Angaben läßt sich nun das Produkt Ww leicht bestimmen. Wir betrachten zunächst:

a) den Schornstein mit Achteckquerschnitt.

Der Mantel des Schornsteines ist in Fig. 24 im Grundriß und Aufriß dargestellt. Der Neigungswinkel der Seitenfläche gegen den Horizont sei β; dann ist der Winkel α zwischen der Windrichtung und der Normalen auf die Fläche I gleich 90°—β, und der horizontale Winddruck auf Fläche I:

$$W_I = 200\,F\cos^3(90° - \beta)$$
$$= 200\,F\sin^3\beta.$$