



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Verschiedene Konstruktionen**

**Scholtz, Adolf**

**Leipzig, 1900**

Zweites Kapitel. Feuerungsanlagen im allgemeinen.

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-96800](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-96800)

## Zweites Kapitel.

## Feuerungsanlagen im allgemeinen.

Während im vorhergehenden Kapitel die Erscheinungen, welche sich im Bereich unserer Feuerungsanlagen beobachten lassen, vom Standpunkte der Theorie aus erörtert wurden, mögen nunmehr die einzelnen Teile der im vorliegenden Bande zu behandelnden Feuerungen in ihren allgemeinen Umrissen besprochen werden. Wir knüpfen dabei an die in § 1 gegebenen Definitionen an, wonach sich bei jeder derartigen Konstruktion drei Hauptteile unterscheiden lassen, nämlich:

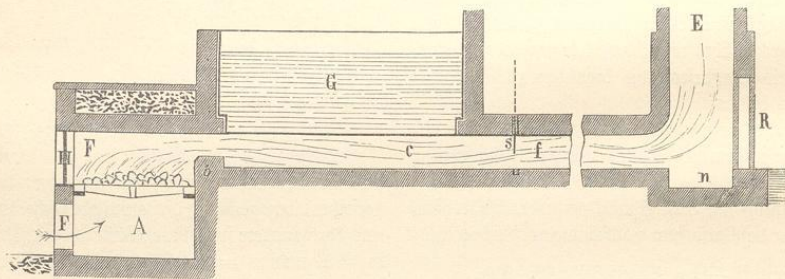
a) der Verbrennungsraum oder die Stätte der Wärmeerzeugung;

b) der Heizraum als Apparat der Wärmeüberführung;

c) der Schornstein als Zugerzeuger.

Zu diesem Zwecke ist in Figur 1 die Anordnung einer Feuerungsanlage dargestellt. Darin bezeichnet der Buchstabe F den Feuerraum oder Herd. Zur Einbringung des Brennstoffes dient die Heizthür. E stellt die Esse dar und der zwischen Esse und Feuerraum liegende, kanalartige Teil c, in welchem die Heizgase dicht unter dem Boden des Gefäßes hingeführt werden, bildet den Heizraum.

Fig. 1.



## § 6.

## Der Verbrennungsraum.

Dieser Raum soll den Brennstoff aufnehmen und den sich entwickelnden Heizgasen den Abzug nach dem Heizraum ermöglichen. Er ist deshalb auf der einen (unteren) Seite durch den Herd bzw. den Rost, die Unterlage des Brennmaterials, auf drei anderen Seiten durch feste Wände begrenzt, während auf der fünften und sechsten Seite die zur Einbringung des Brennstoffes dienende Heizthür (Schüröffnung) bzw. die das Entweichen der gasförmigen Verbrennungsprodukte gestattende Öffnung sich befinden.

Der Herd besteht in der Regel aus einem glatten Boden von Mauersteinen oder aus einer eisernen Platte, und wird die die Verbrennung unterhaltende Luft durch in der Heizthür befindliche spaltenförmige Öffnungen, die mittels eines Schiebers nach Bedürfnis größer oder kleiner gemacht werden können, zugeführt.

Wird ein Rost, d. i. eine durchbrochene Platte gewählt, so ist unter diesem stets ein Aschenraum, zugänglich durch das

Aschenloch (A, Fig. 1), anzuordnen, durch welches letztere die Luft unter den Rost tritt, um dessen Spalten passierend, den Brennstoff zu durchstreichen. Die Bedienung des Rostes ist hierbei so zu regeln, und die Dimensionen sind so zu bemessen, daß die Luftzuführung eine den jedesmaligen Umständen angemessene ist, und daß nur der Asche, nicht aber kleineren Brennstoffstückchen das Durchfallen ermöglicht wird. Ferner ist darauf Bedacht zu nehmen, daß der Rost den Brennstoff mit genügender Sicherheit stützen und den verheerenden Einwirkungen des Feuers eine gewisse Zeit lang widerstehen soll.

Die üblichsten Rostkonstruktionen lassen sich in folgende Kategorien bringen:

- 1) Planroste,
- 2) Treppenroste,
- 3) Stagenroste.

1) Der Planrost besteht bei kleineren Anlagen (Kochherden, Stubenöfen, kleineren Waschkesselfeuerungen) aus einer in einem Stücke gegossenen durchbrochenen eisernen

Platte, wird jedoch bei mittleren und größeren Anlagen aus einzelnen Stäben, den sogenannten Kofststäben (Tafel 1, Fig. 1 bis 3), zusammengesetzt. Diese erhalten Trapezquerschnitt, von oben nach unten um 4 bis 6 mm sich verjüngend, und werden an den Enden und, wenn länger als circa 0,60 m, auch in der Mitte derart verstärkt, daß bei dicht aneinandergelegten Stäben die Kofstspalten die gewünschte Weite erhalten. Die Stäbe werden auf gußeiserne Platten gelagert, und zwar in der Weise, daß eine Verschiebung auf der Lagerfläche möglich ist. Dies geschieht, damit die durch Temperaturerhöhung bedingte Ausdehnung, welche ungefähr  $\frac{1}{50}$  der Kofststablänge beträgt, nicht schädliche Spannungen erzeuge oder schließlich ein Sich-Krümmen der Stäbe veranlasse; doch hat die häufig anzutreffende Anordnung von Spielräumen den Nachteil, daß diese illusorisch werden, sobald sie durch Schlacken oder kleine Brennstoffteilchen verstopft sind. In neuerer Zeit findet man daher nicht selten an dem einen Ende eine schräge Gleitfläche (Tafel 1, Fig. 2), eine Konstruktion, die sich empfiehlt, sobald der Kofst nicht länger als zwei Kofststablängen ist. Dies letztere ist in der Regel der Fall. Besteht der Kofst aus zwei oder mehreren hintereinanderliegenden Kofsten (Tafel 1, Fig. 3), so wird der zwei Kofststabsystemen gemeinschaftliche Kofsträger zweckmäßig zu durchbrechen sein, damit die freie Kofstfläche möglichst wenig geschmälert werde.

Bezüglich der Lage des Planrostes ist es empfehlenswert, ihn stets horizontal anzuordnen, da es bei geneigtem Kofste ungleich schwieriger wird, die Brennstoffschicht konstant dick zu erhalten.

Das Bestreben, die Kofststäbe feuerfest herzustellen, hat zu sehr verschiedenen Konstruktionen, die nur wenig Eingang gefunden haben, geführt. So hat man hohle Stäbe konstruiert und in diesen kaltes Wasser zirkulieren lassen; man hat ferner anstatt des Gußeisens sich des Schmiedeeisens bedient; ja man hat sogar hohle thönerne Stäbe gebildet — alles ohne den gewünschten Erfolg, so daß man jetzt fast durchgängig mit beinahe alleiniger Ausnahme einiger hüttenmännischen Feuerungsanlagen (Buddel- und Schweißöfen), bei denen noch schmiedeeiserne Stäbe anzutreffen sind, dem Gußeisen den Vorzug giebt.

Zweckmäßige Dimensionen der Kofststäbe sind die folgenden:

Länge der Kofststäbe  $\geq 1$  m, so daß also bei Kofsten von mehr als 1 m Länge zwei Kofststablängen in Anwendung kommen.

Breite der Kofstspalten:

für Holz als Brennstoff . . .	7 bis 9 mm
„ Dorf „ „ . . .	13 „ 18 „
„ staubige Braunkohle . . .	4 „ 9 „

für stückige Braunkohle . . .	9 bis 13 mm
„ fette, backende Steinkohle	17 „ 20 „
„ nicht backende „ . . .	8 „ 10 „
„ Coaks . . . . .	10 „ 12 „

Höhe des Kofststabes in der Mitte (nach v. Reiche)

$$h = 25 \text{ mm} + 0,1 l,$$

wobei l die Länge des Stabes bedeutet.

Die Dicke des Kofststabes oben gemessen 20 mm,

Höhe des Stabes am Auflager 35 mm.

2) Der Treppenrost (Tafel 1, Fig. 4), welcher fast nur Anwendung findet, wenn der Brennstoff staubförmig ist, also vorzugsweise bei staubiger Braunkohle, besteht im wesentlichen aus zwei in der Regel unter  $30^\circ$  geneigten und im Abstände 0,4 m bis in maximo 0,6 voneinander angeordneten Wangen, an denen horizontale, sich teilweise überdeckende Stufen befestigt sind und die oben und unten auf je einen gußeisernen Balken sich lagern. Oberhalb B befindet sich ein Fülltrichter, durch welchen der Brennstoff möglichst häufig und in kleinen Portionen dem Kofste zugeführt wird. Das unverbrannt an der tiefsten Stelle des Kofstes anliegende Brennmaterial wird auf dem dort befindlichen Planrost P verbrannt und besteht dieser entweder aus einer durchbrochenen Platte oder aus einem Rahmen mit Kofststäben der vorhin erläuterten Konstruktion. Der Luftzutritt unter diesen Planrost wird dann bei sorgfältiger durchgeführten Konstruktionen durch teilweises Aufziehen des horizontalen plattenförmigen Schiebers S reguliert und dient dann letzterer gleichzeitig zur Aufnahme der durch den Planrost ausgestoßenen Asche. Auch die auf dem Kofste P sich ansammelnde Schlacke kann man sehr leicht entfernen, wenn man den zur Aufnahme der Kofststäbe dienenden Rahmen schieberartig einrichtet. Nach Ausziehen desselben fallen dann die Schlacken auf den Schieber S und nach Öffnen dieses in das Aschenloch A.

Die zweckmäßigste Verbindung der Stufen mit den Wangen wird jedenfalls die sein, welche das Auswechselln jeder einzelnen Stufe gestattet und zudem verhindert, daß die Deformation einer Stufe die Formänderung sämtlicher übrigen im Gefolge hat. Deshalb empfiehlt sich die in Tafel 1, Fig. 5 dargestellte Anordnung. Die Stufen ruhen auf an die Wangen angegossenen Leisten derart, daß einer Ausdehnung infolge der Erwärmung kein Hindernis sich entgegenstellt. Die oberste Stufe ist zur sogenannten Schürplatte verbreitert.

Nach v. Reiche erweisen sich folgende Abmessungen als zweckmäßig:<sup>1)</sup>

Breite der Wangen	100 mm bis 120 mm,
Stärke „ „	25 mm,

1) v. Reiche, a. a. O.

Gesamtlänge des Kofes höchstens 2 m,

Breite " " " " 1,3 m,

Diefe der Stufen 8 mm bis 12 mm,

Lichter Abstand der Stufen 19 mm bis 20 mm,

Breite der Kofstäbe 118 mm bis 120 mm.

Die gußeisernen Balken zur Unterftützung des unteren Endes des Kofes und des Schiebers S find 130 mm breit und 40 mm bis 50 mm ftark zu machen.

Dem Balken B zur Unterftützung des oberen Endes ift hingegen bei 6 cm Breite eine Höhe von 9 cm zu geben; auch ift derfelbe 15 cm tief in die Mauer einzulaffen.

Der Schieber S erhält bei circa 45 cm Länge 1,0 bis 1,2 cm Dicke und fpringt 8 cm in die Mauer ein.

Der Planroft wird — falls er aus einer durchbrochenen Platte befeht — 2,5 cm ftark gemacht; fonft erhält er 5 bis 7 cm Höhe.

Der Treppenroft hat den Vorzug leichter Bedienung und ift — wie bereits bemerkt worden — fehr empfehlenswert für ftaubförmigen Brennftoff. Er hat jedoch den Nachteil, die Afche nicht felbft auszuftoßen, und macht deshalb während des Betriebes eine häufige Reinigung der Spalten nötig; auch wird der Brennftoff mit einer verhältnismäßig großen Maffe Eifen in Berührung gebracht und dadurch merklich abgekühlt. Der Treppenroft ift unbrauchbar für finterende oder gar bafende Brennftoffe, da das bei diefen fo notwendige Aufbrechen nicht möglich ift.

3) Langens Etagenroft. Eine Kofkonftruktion, die bei ihrem erften Erfcheinen großes Aufsehen erregte, die Erwartungen vieler auf das Höchfte fpannte, jezt aber wenig mehr in Gebrauch ift, da die Brennmaterialfparnis keineswegs die gewünschte war, ift die von Langen erfundene und durch die Skizze Tafel I, Fig. 6 veranfchaulichte Kombination des Treppenrofes und Planrofes, bekannt unter dem Namen Langen'scher Etagenroft. Der Anordnung, auf deren Details wir nicht weiter eingehen wollen, liegt das Prinzip zu Grunde, mehrere übereinander gelegene Schürplatten zu gewinnen, und hiermit ift der große Vorteil verbunden, daß bei Befchiebung einer der unteren Schürplatten die aus dem frifch aufgeworfenen Brennftoffe fich entwickelnden, die Produkte einer fehr unvollkommenen Verbrennung enthaltenden Gafe die heißen Edukte der oberen Schürplatten durchftreichen müffen und durch diefe weiter verbrannt werden. Infolge diefes Arrangements, welches einen nicht unbeträchtlichen Abstand der einzelnen Etagen bedingt, ergibt fich aber eine zu hohe Brennftofffchicht, die der Luft nur fehr den Durchgang gefattet und deshalb eine Verftärkung des Zuges erheifcht, um die dem Luftzutritt entgegengefetzten Widerstände zu bewältigen. Diefer fehr fehr in die Wagfchale

fallende Umftand ift befonders gewichtig bei ftaubförmigem Brennftoff, während bei finterendem und bafendem Materiale aus Gründen des erfchwerten Aufbrechens die Wahl des Etagenrofes als eine keineswegs glückliche fich erweifen dürfte. Da nun auch die Stückfohle am beften auf einem Planroft verbrannt wird, fo ift die Auswahl des Brennftoffes für den Etagenroft eine fo geringe, daß es wohl erklärlich bleibt, warum die Konftruktion verlafsen wurde.

Zu der Skizze Tafel I, Fig. 6 werde noch bemerkt, daß an der tiefften Stelle des Langen'schen Kofes ein Planroft fich befindet, dem die zweifache Funktion der Verbrennung des herabgefallenen Brennftoffes und der Entfernung der Schlacken obliegt.

Auf eine Befchreibung noch weiterer Kofkonftruktionen müffen wir — dies Spezialwerken überlafsend — verzichten, und wenden uns den anderen Teilen des Feuerraumes zu.

Zunächst ift hervorzuheben, daß die Seitenwände normal zur Koffläche gerichtet fein müffen, um den Luftftrom zu zwingen, in diefer Richtung die Brennftofffchicht zu durchftreichen. Diefe Bedingung veranlafst auf der den Heizgafen den Abfluß gefattenden Seite die Anordnung der fogenannten Feuerbrücke b, Fig. 1, Seite 6, deren erfter Zweck es alfo nicht ift — wie vielfach behauptet wird —, den Querschnitt des Feuerraumes auf den kleiner ausfallenden der Flüge zu rebuzieren, fondern welche hauptsächlich deshalb bis zu mindestens 0,3 m Höhe aufgeföhrt werden muß, um den Luftzutritt in einer die Verbrennung begünstigenden Weife zu beeinflussen. Nebenzweck der Feuerbrücke ift allerdings auch die Abgrenzung des Feuerraumes und — namentlich bei fehr liegenden Kofen — die Bildung eines Widerlagers für die Brennftofffchicht; fie hindert auch das Mitreißen der Flugafche durch die Feuergafe. Es geht hieraus hervor, daß es zweckmäßig fein wird, die Feuerbrücke nicht zu krümmen, fondern nur an der Oberkante leicht abzurunden.

Die Höhe des Feuerraumes richtet fich zuvörderft nach der Befchaffenheit des Brennftoffes; fie muß fo groß fein, daß die Flamme fich völlig entwickeln kann und die Heizgafe noch vor Eintritt in den Heizraum möglichft vollständig verbrennen. Weiter wird die Befchaffenheit des die Decke bildenden Materiales maßgebend fein. Bei größeren Anlagen, in deren Feuerstätten hohe Temperaturen entftehen, wird der Verbrennungsraum einer Vorfeuerung ftets mittels feuerfeftter Steine umfchloffen. Ferner wird über dem die Decke bildenden Gewölbe — durch eine Isolierfchicht getrennt — ein zweites angeordnet, und diefes mit fehlerchten Wärmeleitern bedeckt, um Wärmeverlufte vorzubugen. Dann wird es fich empfehlen, den Feuerraum möglichft niedrig<sup>1)</sup> zu machen, damit das Gewölbe fehnell glühend

1) Bei Vorfeuerung, wie folche Fig. 1, Seite 6, darftellt, macht man den Verbrennungsraum nicht höher als die Heizthür,

wird und den aus dem frisch aufgeschütteten Brennstoffe sich bildenden Rauch entzündet. Die Minimalhöhe ist gleich der durch die Ermöglichung einer bequemen Bedienung des Kofes normierten Minimalhöhe der Heizthür. Die Dimensionen dieser sind folgende:

- 1) wenn einflügelig:  
Breite: 30 bis 35 cm  
Höhe: 25 " 30 "
- 2) wenn zweiflügelig:  
Breite: 45 bis 53 cm  
Höhe: 30 " 35 "

Teils zur Verhinderung von Wärmeverlusten, teils auch um die Heizthür gegen die verheerenden Wirkungen des Feuers zu schützen, empfiehlt es sich, an der Innenseite der Thür Rippen anzubringen und zwischen diese dann eine Schicht feuerfesten Thon zu lagern. Zu gleichem Zwecke wird sehr häufig im Abstände von circa 10 cm von der Feuerthür eine mit dieser durch Stehholzen verbundene schmiedeeiserne Schutzplatte angebracht, behufs deren Abkühlung in der Thür kleine, durch einen Schieber ganz oder teilweise verschließbare Öffnungen sich befinden. Außerdem ist es bei größeren Anlagen durchaus ratsam, zwischen der Vorderkante des Kofes und der Feuerthür circa 30 bis 40 cm Abstand zu lassen; eine Anordnung, die sich übrigens schon des bequemeren Schützens wegen empfiehlt.

Der Aschenraum A in Fig. 1, auch das Aschenloch genannt, erhält mit dem Kofe mindestens gleiche Breite und Länge; geringere Dimensionen sind unter keinen Umständen zuzulassen. Die Höhe des Aschenraumes ist gleichgiltig; sie übt auf den Luftzutritt keinen Einfluß; man wählt sie in der Regel so, daß die das Aschenloch schließende Thür nicht stark erhitzt wird. Diese Thür wird, um eine Regulierung des Luftzutrittes zu ermöglichen, zweckmäßig durch einen in gußeisernem Rahmen laufenden Schieber ersezt. Auf den Boden des Aschenraumes stellt man zuweilen ein Gefäß mit Wasser, das bestimmt ist, die nach unten strahlende Wärme aufzunehmen und die Unterseite des Kofes zu kühlen, die Kofstäbe also zu konservieren. Auch tragen die sich entwickelnden Wasserdämpfe dazu bei, die Verbrennung lebhafter zu gestalten. Diese an und für sich rationelle Anordnung wird jedoch, namentlich bei größeren Anlagen, für die Dauer etwas unbequem und ist dies wohl der Grund, warum man ihr so selten begegnet.

bei Unterfeuerung (Fig. 4) und Innenfeuerung ist die Höhe nicht zu gering zu wählen; als Minimum ist die Höhe = 0,60 m anzusehen. — Grasshof empfiehlt für Unterfeuerung und badende Steinkohle die Höhe  $h$  des Feuerraumes =  $0,8 + 0,35 = 0,43$  m und für staubförmige Steinkohle  $h = 0,12 + 0,35 = 0,47$  m; für Coaks ist  $h = 0,55$  m zu wählen.

Breymann, Bautechniklehre. IV. Vierte Auflage.

## § 7.

### Die Rauchverzehrung.

Nachdem wir das allgemeine Bild eines Verbrennungsraumes fixiert haben, liegt uns die Erörterung einer Frage ob, die seit Dezennien den Geist der Ingenieure beschäftigt und zur Erfindung einer geradezu unübersehbaren Menge von Konstruktionen drängte, nämlich die Frage der Rauchverzehrung.

Nicht nur, daß es Gründe der Ökonomie sind, welche die Beseitigung des der Esse entströmenden Rauches, dieses Kennzeichens einer unvollkommenen Verbrennung und einer unrationellen Verwertung des immer kostbarer werdenden Brennstoffes wünschenswert erscheinen lassen; es sind auch sanitätspolizeiliche Rücksichten, welche der Erzielung möglichst rauchloser Verbrennung das Wort reden; sie haben in beinahe allen Staaten Veranlassung gegeben, in die Vorschriften, betreffend die Erteilung der Genehmigung zur Erbauung einer größeren Feuerungsanlage einen Passus aufzunehmen, der fast übereinstimmend sich dahin ausspricht, daß die benachbarten Grundbesitzer durch Rauch und Ruß keine erheblichen Belästigungen und Beschädigungen erleiden dürfen und daß, falls solche Übelstände sich nach Eröffnung des Betriebes bemerkbar machen, der Unternehmer zur nachträglichen Beseitigung derselben durch Erhöhung des Schornsteines, Benutzung eines anderen Brennmaterials, Anwendung rauchverzehrender Vorrichtungen oder auf andere Weise verpflichtet sei.

Trotz alledem und ungeachtet der Anstrengungen einer großen Anzahl tüchtiger Ingenieure ist die Frage nach einem allen Anforderungen entsprechenden Rauchverzehrungsapparate noch weit von ihrer Lösung entfernt, und ist es namentlich die Bedingung der größtmöglichen Ökonomie, deren Erfüllung sich nicht unbedeutende Schwierigkeiten entgegenstellen. Eine große Zahl der vorhandenen Konstruktionen, ja sogar solche, deren Grundprinzipien zu hohen Erwartungen berechtigten, zählen demnach heute nur noch zu den historischen.

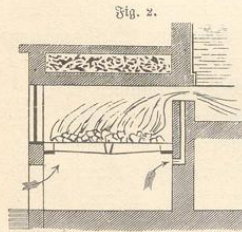
So sehr sich nun auch die Ansicht Bahn zu brechen scheint, daß ein geschickt bedienter Planrost — oder (bei staubförmigem Brennstoff) ein sorgsam abgewarteter Treppenrost — dieselbe Wirkung zu erzielen im Stande sei, als die Mehrzahl der zu Tage geförderten und häufig mit großer Reklame eingeführten Rauchverzehrungen, und daß er dabei hinsichtlich der Anlagekosten weit unter jene zu stehen komme, so sind die Prinzipien vieler dieser Anlagen doch so richtig, daß ein Aufgeben der Lösung der Frage keineswegs gerechtfertigt wäre, um so weniger, als Mangel an verständnisvoller Dimensionierung und das unzulängliche Sich-Anschmiegen an die Verhältnisse der gesamten Anlage nicht unwesentlich dazu beigetragen haben mögen,

viele der Rauchverzehrungeu zu diskreditieren. Auch befinden sich einige Konstruktionen darunter, die als recht rationell von kompetenter Seite empfohlen sind.

Deshalb sollen im folgenden diese Prinzipien besprochen und die Wege angedeutet werden, auf denen man die Lösung der Aufgabe zu finden bestrebt war und noch zu finden bestrebt ist.

1) Das am häufigsten in Anwendung gebrachte Mittel war die Zuführung von Luft durch besondere Kanäle, und zwar von erwärmter Luft, weil sonst die Aufhebung des Luftmangels durch Erhöhung der Abkühlung leicht aufgewogen werden kann. Zu Gunsten dieser Lösung der Frage spricht der Umstand, daß gerade dann, wenn infolge Beschickung des Kofstes mit frischem Brennstoffe die Produkte einer unvollkommenen Destillation entweichen, der Luftzutritt infolge der größeren Dicke der Brennstoffschicht ein unzulänglicher ist und erst später bei abnehmender Dicke sich lebhafter gestaltet.

Man hat ferner hohle Kofstübe konstruiert, welche die Luft, sich darin erwärmend, passieren muß, um hinter der Feuerbrücke mit den Heizgasen sich zu mischen. Man hat auch in den Seitenwänden oder in der Feuerbrücke Kanäle angelegt, welche mit der atmosphärischen Luft kommunizieren (Fig. 2). Die angewärmte Luft entströmt denselben in der Nähe der Feuerbrücke und gefeßt sich zu den Verbrennungsprodukten. Indes ist bei derartigen Anlagen darauf zu achten, daß — falls nicht etwa heiße Luft zur Verfügung steht — die Erwärmung der Luft dem Herdfeuer selbst obliegt, welcher



Umstand einen Wärmeverlust im Gefolge hat und leicht Veranlassung geben kann, daß bei nicht zweckmäßiger Regulierung dieses sekundären Luftzutrittes, der genau nur so lange währen kann, als die bei Neubeschickung entstehende Trockendestillation dauert, zwar eine teilweise Rauchverzeherung, aber auch Verlust an Wärme, also eine Verringerung des Wirkungsgrades der Feuerungsanlage zu gewärtigen ist.

2) Ein zweites sehr wirksames Mittel, eine vollkommene Verbrennung zu erzielen, ist:

„die Heizgase mit glühenden, möglichst porösen Körpern in Berührung zu bringen und an diesen sich entzünden zu lassen.“

Es wird dies bei der Vorfeuerung, wie schon erörtert, dadurch erreicht, daß die Höhe des Feuerraumes auf ein Minimum beschränkt bleibt, und daß man außerdem Decke

und Seitenwände dick, aus feuerfestem Stein und unter Anwendung von Isolierschichten auführt. Auch die Feuerbrücke gehörig zu verbreitern, ist empfehlenswert, da dieselbe bei größerer Oberfläche in erhöhtem Maße fähig ist, von den Feuergasen der letzten Beschickung Wärme aufzunehmen, um sie an die Destillationsprodukte der neuen Beschickung wieder abzugeben. Bei Unterfeuerungen bleibt die Funktion der Rauchverzeherung den Seitenwänden und der Feuerbrücke allein überlassen, bei der Innenfeuerung sogar lediglich dieser letzteren, so daß erklärlich ist, warum unter sonst gleichen Umständen der kalorimetrische und in noch höherem Grade der pyrometrische Effekt der Vorfeuerung größer ist als bei der Unterfeuerung oder bei der Innenfeuerung.

3) Sehr rationell ist die Anordnung von zwei nebeneinander- oder übereinanderliegenden Kofsten, welche abwechselnd beschickt werden. Der Vorzug der Anlage ist nicht allein der anfänglich bezweckte, nämlich eine Mischung der auf dem lezt beschickten Kofste sich bildenden Destillationsprodukte mit den heißen Gasen der anderen Feuerstätte, sondern auch eine bessere Regulierung des Luftzutrittes, da Luftmangel über dem neu aufgeschütteten und Luftüberschuß über dem früher aufgebrauchten Brennstoffe sich annähernd ausgleichen.

Zwei derartige Anlagen sind auf Tafel 2 dargestellt. Die eine von Fairbairn herrührende Anordnung zweier übereinanderliegenden geneigten Planroste (Fig. 4) bedarf einer weiteren Erläuterung nicht. Die zweite, Fig. 1 u. 2, v. Reiche<sup>1)</sup> als sehr vorzüglich empfohlen, besteht aus zwei nebeneinanderliegenden horizontalen Planrosten. Das Feuergewölbe a ist aus einzelnen Bögen gebildet, die zwischen sich die Spalten s lassen, durch welche die Gase in den beiden Feuerstätten gemeinschaftlichen, feuerfest überwölbten, mit Isolierschichten versehenen Raum K strömen und in diesem vor Eintritt in den Heizraum H sich mischen. Der Vorzug der Konstruktion ist nicht allein in der jedenfalls in hohem Maße stattfindenden Rauchverbrennung zu suchen, welche namentlich dadurch sehr gefördert wird, daß der Rauch an den glühenden Bögen a sich entzündet, sondern auch darin, daß die den Feuerraum nach hinten völlig abschließende vertikale Wand die zuströmende Luft zwingt, die Brennstoffschicht normal zur Ebene des Kofstes zu durchstreichen, eine Bedingung, welcher durch Anordnung einer Feuerbrücke immerhin nur unvollkommen Genüge geleistet wird.

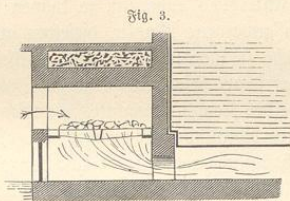
4) Man hat die periodische Beschickung des Kofstes durch eine kontinuierliche zu ersetzen versucht, und ist als eine der dahin zielenden Vorrichtungen, und zwar als die noch am häufigsten im Gebrauch sich befindende, der schon bei

1) v. Reiche, a. a. D.

Besprechung des Treppenrostes erwähnte Fülltrichter anzusehen. Daß an eine kontinuierliche Beschickung des Rostes im vollen Sinne des Wortes nicht zu denken ist, dürfte selbstverständlich sein; alle dahin zielenden Versuche scheiterten an der unregelmäßigen Beschaffenheit und der allzusehr variierenden Stückgröße der Brennstoffe.

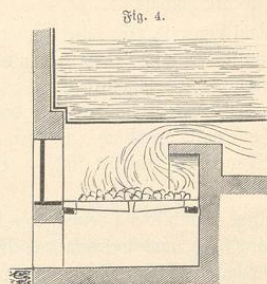
5) Sehr empfehlenswert ist weiter das Bestreben, das neu aufzubringende Brennmaterial zwischen den Rost und die auf diesem befindliche Brennstoffsicht zu lagern. Dasselbe hat die Konstruktion des Langen'schen Stagenrostes veranlaßt, der sich aber der vorhin gerügten Fehler wegen ein großes Feld praktischer Anwendung nicht zu erobern im stande war.

6) Die weitere Verfolgung des sub 5 ausgesprochenen Gedankens führte zur Umkehrung des Zuges (veranschaulicht durch die Skizze in Fig. 3). Feuerbrücke und



Heizkanal befinden sich unterhalb des Rostes. Das Asehenloch ist geschlossen, die Heizthür geöffnet, und sind somit die Heizgase gezwungen, ihren Weg durch die Brennstoffsicht zu nehmen. Die Edukte einer Neubeschickung werden beim Passieren der glühenden Brennstoffsicht jedenfalls in einer sehr rationellen Weise verwertet; doch sind mit der Anlage nicht zu unterschätzende Nachteile verbunden, welche dieselbe nur sehr bedingungsweise als empfehlenswert charakterisieren. Es ist dies zunächst eine außerordentlich starke Abnutzung der Roststäbe, welche, der größten Glühhitze preisgegeben, durch keinen Luftzug gekühlt werden und demzufolge eine in einzelnen Fällen nicht unerhebliche Steigerung der Unterhaltungskosten veranlassen. Sodann ist aber durch das den heißen Gasen eigene Bestreben, nach oben zu steigen, eine stärkere Zugwirkung erforderlich, als unter denselben Verhältnissen bei einer Feuerung mit gewöhnlichem Zuge, und dürfte dieser Punkt wesentlich die Anlagelkosten beeinflussen. Trotz alledem ist die Anordnung der Zugumkehrung dort empfehlenswert, wo es sich um größtmögliche Ausnutzung des pyrometrischen Effektes handelt, namentlich also bei Anlagen, wo es sich weniger um vollständige Verwertung der nutzbar gemachten Wärme, als vielmehr um Erzielung einer sehr hohen Temperatur handelt, bei denen also die Heizgase mit noch beträchtlicher Temperatur in die Esse entweichen und deshalb selbst bei milder hohen Schornsteinen einen kräftigen Zug erzeugen.

7) Ein dem sub 6 erläuterten analoges Prinzip ist es, die Stichflamme zu zwingen, vor Passieren der Feuerbrücke rückwärts zu schlagen (Fig. 4), um die Destillationsprodukte der auf der vorderen Partie des Rostes lagernden



frischen Beschickung zu verbrennen. Es wird dies erzielt durch ein vor der Feuerbrücke angebrachtes glattes Gewölbe.

8) Eine fernere Kategorie rauchverzehrender Anlagen leitet einen Strom von Wasserdämpfen in den Feuerraum und bezweckt hierdurch nicht allein eine lebhaftere Verbrennung, sondern soll ein Glühendwerden des Rostes verhindern, hierdurch also wesentlich zur Konservierung der Roststäbe beitragen. Perkin's brachte überhitzten Dampf in Anwendung und will hierdurch eine sehr beschleunigte Verbrennung erzielt haben.

9) Zum Schluß sind noch zu nennen die Gasfeuerungen, aus zwei Verbrennungsräumen bestehend, in deren erstem, dem Generator, absichtlich eine unvollkommene Verbrennung, nämlich Verwandlung des Kohlenstoffes in Kohlenoxydgas angebahnt wird, während in dem zweiten Verbrennungsraume die Generatorgase aufgenommen werden und deren vollständige Verbrennung erzielt wird.

§ 8.

**Der Heizraum.**

Der Heizraum ist der zwischen dem Verbrennungsraume und der Esse gelegene Apparat zur Wärmeüberführung; er ist bestimmt, die nutzbar gemachte Wärme möglichst vollständig zu verwerten, und wird zu diesem Zwecke aus einem System von Kanälen, den sogenannten Feuerzügen, zusammengefaßt. In den Kanälen werden die Heizgase um den zu erwärmenden Körper herumgeführt, auf diese Weise gezwungen, ihre Wärme an jenen abzugeben, und schließlich mit einer auf ein bestimmtes Maß gebrachten Temperatur in die Esse geleitet, um den für die Verbrennung notwendigen Zug zu erzeugen.

Zunächst drängt sich uns hierbei die Frage nach der zweckmäßigsten Anordnung der Kanäle auf und ist vor allem die Entscheidung zu treffen, ob engen oder weiten Kanälen

der Vorzug einzuräumen sei. Nun ist durch Untersuchungen dargelegt, daß die an den Kanälen auftretenden Reibungswiderstände zu ihrer Überwindung eine nicht unbedeutende Druckhöhe erfordern. Dieser Umstand spricht zu Gunsten der Anordnung weiter Kanäle.

Für die Wahl enger Kanäle lassen sich aber ebenfalls triftige Gründe aufstellen, und gehört hierzu namentlich die größere Wärmetransmissionsfähigkeit, d. i. die größere nützliche Abkühlung der Heizgase und — falls die Kanäle nur auf der einen Seite durch Heizfläche, auf der anderen aber vielleicht durch Mauerwerk begrenzt sind — eine geringere schädliche Abkühlung.

Eine endgiltige Entscheidung vermag die Theorie nicht zu treffen, da das Gesetz, nach welchem das Wärmeabgabevermögen der Heizgase mit ihrer Entfernung von der Heizfläche abnimmt, nicht bekannt ist und nur dieses eine rationale Grundlage wissenschaftlicher Untersuchung der in Rede stehenden Frage bilden dürfte.

Es ist daher geboten, sich auf die Erfahrung des Praktikers zu stützen, welche insofern nicht völlig maßgebend ist, als sie wohl zeigt, wie eine Anlage gestaltet werden müsse, um ein gutes und die gestellten Erwartungen befriedigendes Resultat zu erzielen, die aber nicht leicht imstande ist, uns auf diejenige Konstruktion zu führen, welche das beste aller überhaupt möglichen Ergebnisse liefert. Dies zu erreichen, müßten noch sehr viele Variationen durchprobiert werden.

Ein bloßer Vernunftschluß könnte vielleicht einen Anhaltspunkt bieten und dieser ist folgender:

Enge Kanäle besitzen ein großes Wärmetransmissionsvermögen, ermöglichen also eine bessere Ausnutzung der produzierten Wärme; sie erfordern einen geringeren Brennstoffverbrauch und infolgedessen ein kleineres Betriebskapital. Diesem steht jedoch eine höhere Esse und, durch diese bedingt, ein größeres Anlagekapital gegenüber. Dagegen tritt im Gefolge weiter Kanäle ein größerer Konsum an Brennstoff, also ein größeres Betriebskapital, aber auch der kleineren Reibungswiderstände wegen eine geringere Schornsteinhöhe und ein kleineres Anlagekapital auf.

Was nun die Praxis anbetrifft, so spricht sich dieselbe mit großer Entschiedenheit für die Anordnung enger Kanäle aus, und führt beispielsweise v. Reiche in seinem die Anlage und den Betrieb von Dampfkesseln betreffenden Werke an, man solle die Heizkanäle der Dampfkesselfeuerungen für den Fall, daß sie nur einseitig von Heizfläche, im übrigen aber von Kesselmauerwerk begrenzt sind, nicht enger als 10 cm und nicht weiter als 15 cm machen, wobei die angeführten Maße diejenigen normal zur Heizfläche sind, für den Fall jedoch, daß die gesamte Begrenzung des Kanales Heizfläche ist, diesen so eng als möglich anordnen.

Wir machen noch auf einen Umstand aufmerksam, dessen Unterschätzung alle die etwa angestellten subtilen Untersuchungen illusorisch machen dürfte und der Veranlassung geben kann, daß das bestkonstruierte Kanalsystem den gewünschten Erfolg nicht zu liefern vermag.

Es ist dies ein Hinweis auf die Notwendigkeit der häufigen Reinigung der Züge und führen wir als ein jedenfalls eklatantes Beispiel die von Möggerath beobachtete Erscheinung an, daß durch berußte Metallflächen selbst Heizgase von bis 400° Temperatur kaum nennenswerte Wärmemengen zu transmittieren imstande sind. Es ist hiernach bei Anordnung der Kanalsysteme vornehmlich darauf Bedacht zu nehmen, eine leicht vorzunehmende, den Betrieb nur wenig störende Reinigung sämtlicher Züge zu ermöglichen.

Was nun die Bestimmung der Größe des Kanalquerschnittes anbetrifft, so können wir die beinahe stereotyp gewordene Manier, dieselben gleich der der freien Koflfläche zu machen, keineswegs gutheißen.

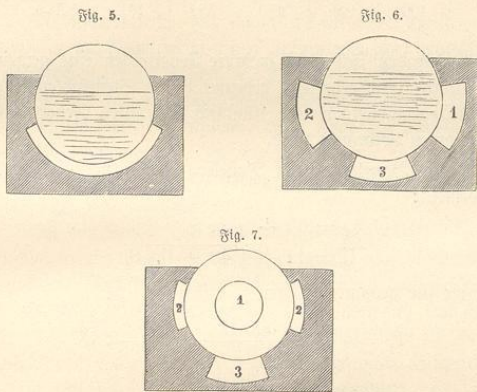
Es bedarf keines besonderen Beweises, um einzusehen, daß die Größe des Kanalquerschnittes nicht sowohl von der Größe der freien Koflfläche, als vielmehr von der den Kanal passierenden Gasmenge abhängig ist, und daß auf demselben Koflfläche, je nach der Dicke der Brennstoffschicht, in derselben Zeit ein sehr variables Volumen von Heizgasen sich entwickeln wird. Es werden ferner die Richtungsänderungen der Kanäle, sowie deren Länge und die Zugwirkung des Schornsteines in Betracht zu ziehen sein. Dies thut nun die Praxis nicht, sie empfiehlt ein für allemal die oben angeführte Regel und hält nur an der Feuerbrücke (resp. an denjenigen Stellen des Feuerbrückenkanales u. s. w., wo der Kanal absichtlich verengt werden soll) eine Verminderung des Querschnittes für erlaubt. Trotzdem halten wir es für geraten, nur im Falle eines mittleren stündlichen Brennstoffverbrauches, der bei

Steinkohlenfeuerung auf	50 k	pro	qm	Koflfläche
Braunkohlenfeuerung "	100 k	"	"	"
Holzfeuerung	" 150 k	"	"	"
Torffeuerung				
Coaksfeuerung	50 k	"	"	"

zu normieren sein dürfte, sich an diese Regel zu halten, im Falle größeren oder kleineren Brennstoffverbrauches jedoch den Kanalquerschnitt etwas größer oder kleiner zu machen.

Noch ist uns die Erörterung einer Frage vorbehalten, welche von der Praxis sehr verschieden beantwortet wird. Es betrifft dies die hinsichtlich der günstigen Anzahl der Kanäle zu treffende Entscheidung. Zu diesem Zwecke nehmen wir an, es werde behufs Erwärmung des in Fig. 5 skizzierten Gefäßes nur ein — vielleicht am Boden des Gefäßes fortlaufender — Heizkanal angeordnet, und es möge mit dieser

Anordnung die in Fig. 6 dargestellte verglichen werden, welche bei gleichem Brennmaterialkonsum eine gleich große Heizfläche bietet und so getroffen ist, daß die Heizgase im Kanal 1 von vorn nach hinten, im Kanal 2 von hinten nach vorn und im Kanal 3 wieder von vorn nach hinten geführt werden. Dann ist leicht ersichtlich, daß die Anordnung Fig. 5 die rationellere ist, da sie bei gleicher Wirkung geringere Reibungswiderstände bietet, und da sie ferner die nur durch Strahlung ihrer Wärme abgebenden Glasteilchen näher der Heizfläche vorüberführt. Der häufig gezogene Schluß, das System Fig. 6 sei besser, basiert auf der Thatsache, daß die Verbrennungsprodukte bei gleicher Geschwindigkeit längere Zeit mit der Heizfläche in Berührung bleiben, übersieht aber den Umstand, daß die in der Zeiteinheit berührte Heizfläche kleiner ist.



Wenn trotzdem in der Praxis die Anordnung Fig. 6 häufig vorgezogen wird, so ist dies auf verschiedene andere Vorteile, z. B. Herstellung von Kanälen bestimmter Weite, Gewinnung von Stützpunkten für das zu erwärmende Gefäß u. s. w. zurückzuführen, manchmal allerdings auch auf Mangel an Verständnis. Jedenfalls ist klar, daß eine ins Extrem getriebene Verlängerung der Züge insofern bedenklich wirken kann, als sie bei Nichterhöhung des Wirkungsgrades eine erheblich stärkere Zugwirkung verlangt.

Daß die Widerstände in der Anlage ebenfalls erhöht werden, wenn statt eines Zuges deren zwei angeordnet werden, ist evident. Fig. 7 zeigt eine solche Anordnung. Die Gase passieren den Kanal 1 von vorn nach hinten, gleichzeitig die Kanäle 2 von hinten nach vorn, füglich Kanal 3 von vorn nach hinten.

Auf weitere Besprechung dieser Anordnungen, auf Abwägung ihrer Vorzüge, auf die Entscheidung der Frage, ob es vielleicht zweckmäßig wäre, die Reihenfolge der Kanäle in Fig. 7 anders zu wählen u. s. w., können wir hier nicht

näher eingehen und beschränken unsere diesbezüglichen Mitteilungen vorläufig darauf, hervorzuheben: daß für den Fall der Teilung eines Kanales die einzelnen Teilstübe bei gleichem Querschnitte gleich lang werden müssen, unter Voraussetzung ungleicher Längen aber in ihren Querschnitten derart anzuordnen sind, daß die Summe der Widerstände in beiden gleich groß ist, da sonst erfahrungsmäßig die Heizgase denjenigen Weg wählen, auf dem die kleinsten Widerstände sich ihnen entgegenstellen.

§ 9.

Der Schornstein.

Nachdem die Heizgase die Feuerzüge verlassen haben, gelangen sie in den häufig mehreren Apparaten gemeinsamen Fuchsf (vergl. Fig. 1, S. 6), d. i. den den Heizraum mit dem Schornsteine verbindenden Kanal, dessen Querschnitt durch einen vom Heizstande regelbaren Schieber s nach Erfordern verengt werden kann.

Diesen Fuchs legt man, besonders wenn der Schornstein in einiger Entfernung von dem Heizraume liegt, möglichst tief, um einen Aufbau über dem Erdboden zu vermeiden; doch darf man, falls es sich als unthunlich herausstellt, den Ausgang des Kanalsystems in der gewünschten Tiefe anzulegen, sich durchaus nicht verleiten lassen, dem Fuchse Fall nach dem Schornsteine zu geben. Dies könnte, namentlich wenn der Fuchs die Heizgase verschiedener Apparate sammelt, insofern zu Verminderung des Zuges Veranlassung geben, als die kälteren Gase an der tiefsten Stelle sich ansammeln und den Schornsteinquerschnitt verengen würden. Man lasse daher den Fuchs — wenn angängig — nach dem Schornsteine hin ansteigen und vermittele überdies den Übergang aus dem Fuchse in den Schornstein durch eine stark ansteigende Kurve.

Den Abschluß der Esse nach unten pflegt man durch eine zur Ansammlung der Flugasche dienende Grube n (Fig. 1, S. 6) zu vermitteln, bringt sogar häufig derartige Nischenfänge an mehreren Stellen des Kanalsystemes an.

Münden verschiedene Fuchse in ein und denselben Schornstein, so teilt man diesen unten durch Zungen, welche so hoch aufzuführen sind, daß die Gase gezwungen werden, in vertikalem Sinne sich zu bewegen.

Jeder freistehende Schornstein ruht auf einem Sockel mit in der Regel quadratischem Grundrisse. In diesem Sockel befinden sich dann die das Befahren des Fuchses und des Schornsteines ermöglichenden Öffnungen, welche zweckmäßig so groß angelegt werden, daß ein erwachsener Mensch dieselben aufrecht zu passieren vermag.

Die Höhe der Öffnungen dürste hiernach auf mindestens 1,75 m, die Breite auf ca. 0,75 m zu bemessen sein. Der Verschluß der Reinigungsöffnung wird durch zwei 0,13 m

starke Wände (R in Fig. 1), die aus Backstein in Lehm aufgemauert werden und sich nach Erfordernis schnell abbrechen und wieder erneuern lassen, bewirkt. Die beiden Wände schließen überdies eine die Abkühlung der Heizgase vermindernde Luftschicht ein. Es dürfte sich überhaupt empfehlen, zum mindesten den unteren Teil des Schornsteines mit Isolierschicht zu mauern.

Was die Querschnittsform des Schornsteines betrifft, so ist derjenigen der Vorzug einzuräumen, welcher die geringsten Reibungswiderstände entspricht. Der günstigste Querschnitt ist dann der Kreis, darauf folgt das reguläre Achteck, während der Quadratquerschnitt in dieser Beziehung am wenigsten zu empfehlen ist. Andere Querschnittsformen sind nicht üblich.

Weiter wird man aber bei Wahl des Querschnittes auch die Schwierigkeiten, welche sich der Ausführung entgegenstellen, sowie die Herstellungskosten in Betracht zu ziehen haben, und gilt nach dieser Richtung der Quadratquerschnitt als der geeignetste, da er es möglich macht, den Schornstein auch mit gewöhnlichen Backsteinen aufzuführen. Der Achteckquerschnitt bedingt stets die Beschaffung von Formsteinen zur Herstellung der Ecken, während ein runder Schornstein so viele verschiedene Fagonssteine erfordert, als verschiedene Wandstärken zur Anwendung gelangen. Vergl. § 10, „Ausführung der Schornsteine“.

Die theoretischen Untersuchungen von Schönflies<sup>1)</sup> lehren allerdings überzeugend, daß es so sehr viel auf die Querschnittsform nicht ankommt, da die durch die Widerstände in der Anlage bedingte Schornsteinhöhe den bei weitem größten Teil der Gesamthöhe ausmacht. Die Ermittlung theoretischer Resultate mittels der Formeln von Schönflies ist umständlich. Wir geben daher nachstehend die von Grashof unter Voraussetzung mittlerer Verhältnisse erhaltenen Resultate. Es bedeutet hierbei:

- S den Steinkohlenkonsum pro Stunde,
- $T_1$  die Temperatur, mit der die Gase in den Schornstein eintreten,
- $T_2$  die Temperatur, mit der die Gase aus dem Schornsteine entweichen,
- V die Ausflußgeschwindigkeit der Gase per Meter und Sekunde,
- Q den Mündungsquerschnitt der Esse,
- H die Höhe der Schornsteinnündung über der Horizontalebene des Kofes.

1) Berechnung der Dampfeselanlagen. Eberfeld 1874.

### 1) Quadratische gemauerte Schornsteine.

S	Q	H	$T_1$	$T_2$	V
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 Blechschornsteine.

S	Q	H	$T_1$	$T_2$	V
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

Für den Fall, daß mehrere Feuerungen eine gemeinschaftliche Esse erhalten, bedeutet S die Steinkohlenmenge in Kilogrammen, welche stündlich auf allen Feuerherden zusammen verbrannt wird.

Die Berechnung der Tabelle geschah nach folgenden Formeln:

$$Q = 0,1 + 0,002 S$$

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

ferner für gemauerte Esfen

$$T_1 = \frac{300 H}{\left(0,971 - \frac{0,3}{\sqrt{S}}\right) H - 8} - 273,$$

für Blechsamme

$$T_1 = \frac{300 H}{\left(0,975 - \frac{0,9}{\sqrt{S}}\right) H - 8} - 273.$$

Hinsichtlich der Form des Längenprofils fragt es sich, ob der prismatische, der nach oben verjüngte oder nach oben sich erweiternde Schornstein die beste Lösung des Zugerzeugungproblems bietet. Daß die letztgenannte Anordnung zu verwerfen ist, nicht allein der größeren Reibungswiderstände wegen, sondern namentlich, weil dem Einfallen kalter Luft und dem Eintreten von Windstrahlen sehr Vorschub gethan wird, liegt auf der Hand; aus gleichen Gründen leuchtet ein, daß der Pyramidenstumpf mit kleinerer oberer Grundfläche die zweckmäßigste Form ist.

Auf Tafel 3 sind in den Figuren 1, 2, 4, 5 einige ausgeführte Schornsteine dargestellt. In Fig. 2 nimmt der Querschnitt nach oben hin ab; in Fig. 5 ist der Querschnitt konstant. Die verschiedenen Wandstärken verursachen in Fig. 2 nach der Innenseite gelegene Abfälle, während

die Außenseite glatt bleibt. Den schädlichen Einfluß derartigen Abfälle theoretisch zu untersuchen, dürfte sehr schwer sein. In dem Werke von Weiß „Allgemeine Theorie der Feuerungsanlagen“ (welchem die gemauerten Schornsteine, Fig. 1 und 2, und der eiserne Schornstein, Fig. 3, entnommen sind) finden sich diesbezügliche Erörterungen, welche das Ergebnis liefern, daß bei geringem Brennmaterialkonsum die Abfälle von ganz unmerklichem Nachteile sind, daß dieser schädliche Einfluß aber bedeutend wächst, sobald der Brennstoffverbrauch sich steigert. Die Praxis hat diesen Ausspruch jedoch nicht verifiziert, sie hat schon verschiedentlich bei großen Anlagen Schornsteine mit den besprochenen Abfällen ausgeführt und wesentliche Nachteile nicht entdeckt. Daß ein Schornstein unter übrigens gleichen Umständen besser ziehen wird, wenn er innen glatt ist, dürfte evident sein.

Die Schornsteine mit quadratischem Querschnitte erhalten in der Regel oben einen Aufsatz mit stark geneigten Seitenflächen, Tafel 3, Fig. 5. Es ist bei Herstellung derselben darauf zu sehen, daß die behauenen Seiten der Backsteine weder nach der Außen-, noch nach der Innenseite der Schornsteinwandung zu liegen kommen, da sie sonst schnell verwittern würden. Einen häufig angewandten Verband zeigt Tafel 3, Fig. 6.

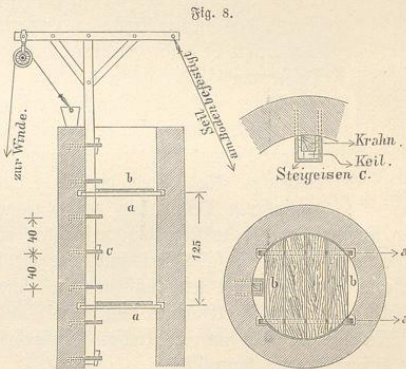
Um den Schornstein architektonisch auszubilden, wird derselbe in der Regel als Säule aufgefaßt und demgemäß gegliedert. Der Kopf wird dann mit einem ausladenden Gesims (Schornsteinkranz) geziert. Ist schon an und für sich diese Dekoration wenig gerechtfertigt, da sie dem Zwecke des Schornsteines nicht im geringsten entspricht, so erscheint sie um so weniger nachahmenswert, als sie nicht zu unterschätzende Nachteile im Gefolge hat. Der den Schornstein treffende Wind fließt nämlich teils nach unten, teils nach oben ab, verhält sich gleichsam wie ein auf eine ruhende Fläche treffender Wasserstrahl. Dies hat zur Folge, daß die nach oben gehenden Windstrahlen über der Mündung ein Vakuum zu erzeugen suchen und auf diese Weise den Zug erhöhen. Durch einen Schornsteinkranz wird aber diese den Zug der Esse begünstigende Wirkung des Windes nicht nur unmöglich gemacht, sondern es bilden sich über der Mündung Wirbel, welche das Eindringen des Windes in den Schornstein unausbleiblich machen. In richtiger Erkenntnis dieses Uebelstandes hat man über dem Kopfgesims den Schornstein noch circa 0,6 m prismatisch glatt weitergeführt, und ist es dadurch zwar gelungen, die schädliche Wirkung des Kranzes aufzuheben, jedoch nur unter Verzichtleistung auf die günstige Wirkung der Windstrahlen. Daß der Schornstein durch einen derartigen Aufbau außerdem entstellt wird und dem glatt hochgeführten ästhetisch nachsteht, bedarf kaum einer Erwähnung. Es erscheint deshalb dringend

geboten, jenen ungerechtfertigten und schädlichen Schmuck fortzulassen, oder aber auf andere Weise die in seinem Gefolge auftretenden Uebelstände aufzuheben. Es geschieht dies in der Regel durch Anbringen eines Schornsteinaufsatzes, welche Anordnung sich auch für Schornsteine ohne Kopfgesims empfiehlt, da sie sehr geeignet ist den Unempfindlichkeitsgrad gegen meteorologische Einflüsse zu steigern.<sup>1)</sup>

§ 10.

**Ausführung der Schornsteine.**

Die Ausführung der Schornsteine kann entweder mit Hilfe eines Gerüstes oder aber „von innen“ erfolgen. Hinsichtlich des Baues der Gerüste verweisen wir auf Band II dieses Werkes „Die Konstruktionen in Holz“ und bemerken, daß man dem Gerüst mit Rechteckgrundriß in der Regel den Vorzug giebt vor dem quadratischen Grundriß. Das Gerüst wird dicht um den Schornstein erbaut, die Materialien werden außerhalb des Gerüstes hoch gewunden, eine Maßnahme, die mit Rücksicht auf die ungünstige Beanspruchung hoher Gerüste wenig empfehlenswert ist. Bei rechteckiger Grundrißdisposition kann das



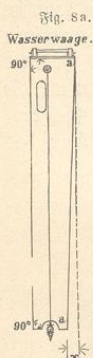
Material im Innern des Gerüstes hochgezogen werden; vergl. Tafel 4. Das hier dargestellte Gerüst fand Anwendung beim Bau der Invalidensäule in Berlin. Über dem Raume A befand sich der Windebock und gestattete, die hoch gewundenen Bauteile bequem an den Ort ihrer Bestimmung zu schaffen, eine Einrichtung, die bei Gerüsten für Fabrikshornsteine nicht nötig ist.

Wegen der bedeutenden Kosten, welche die Herstellung eines Gerüstes verursacht, werden in der Neuzeit hohe Fabrikshornsteine „von innen“ gemauert, wenn die Lichtweite derselben mindestens 75 cm beträgt. Gewöhnlich

1) Vergl. siebentes Kapitel „Apparate zur Benutzung der Saug- und Druckkraft des Windes“.

wird dann als Querschnittsform der Kreis zu Grunde gelegt, der ja die geringste Abkühlungsfläche bietet, die geringste Masse erfordert, nach allen Seiten gleiche Stabilität besitzt und dem Winde die geringste Angriffsfläche darbietet.

Damit der Maurer im Innern des Schornsteines einen regelrechten Stand erhält, werden in Abständen von circa 1,25 m Eisen, *aa* Fig. 8, eingelegt, die wieder herausgenommen werden können und diese mit passenden Bohlen *bb* belegt. Außerdem werden in Entfernungen von 40 zu 40 cm Steigeeisen *c* eingemauert, die dauernd bleiben und sowohl zum Festhalten des Krahnes, als zum Besteigen des Schornsteines dienen, auch den Vorteil bieten, daß der Krahne — dem Fortschritt des Baues entsprechend — sicher nach oben geschoben werden kann. Seine Befestigung in den Steigeeisen geschieht durch Holzkeile.



Die eigentliche Ausführung geschieht dann in der Weise, daß der Maurer den kreisförmigen Grundriß des Schornsteines über der Postamentgleiche genau aufträgt, in acht Teile teilt und im Verlaufe der Arbeit die Teilpunkte aufrecht lotet, wozu er das sogenannte Dossierscheit (Fig. 8<sup>a</sup>) benützt, das an der Kante *aa* entsprechend abgeschrägt ist. In der Regel beträgt die Dossierung  $\frac{1}{50}$  der Höhe, d. h. pro steigendes Meter = 2 cm. Das Dossierscheit ist mit einer Lotschnur oder besser mit Wasserwaage versehen, um vom Luftzuge unabhängig zu sein. Steht die Waage auch in den oberen Teilpunkten genau wagerecht auf dem Dossierscheit, so werden die verjüngten oberen Schornsteinquerschnitte ebenfalls kreisrund und die Achse des Schornsteines lotrecht sein müssen. Um sicher zu gehen, sollte man aber in Abständen von 8 bis 9 m durch ein im Mittelpunkte des inneren Kreises herabgelassenes Lot die äußere Lotung kontrollieren.

Die obere Wandstärke beträgt bei den neueren Fabrik-Schornsteinen nicht unter 15 cm und bei einem lichten Durchmesser von 1,5 m nicht unter 20 cm.

Die Wandungen werden nach unten in Absätzen verstärkt, und zwar durchschnittlich auf 4 bis 5 m Höhe um 6 cm oder in 8 bis 10 m Höhe um 12 bis 13 cm (Fig. 9).

Die Vermauerung der keilförmigen Formziegel erfolgt in sogenannten Kopfverbande; die Länge der Steine beträgt bei 16 cm Breite 15, 20, 25, 30 cm. Die Dicke der Formsteine, welche sonst  $6\frac{1}{2}$  cm nicht zu übersteigen pflegt, wird jetzt meistens bis auf 9 cm gesteigert. Falls dieselben — wie in Fig. 10 bis 12 — senkrecht zur Lagerfläche mit Hohlräumen versehen sind, liegen Schwierigkeiten für die Fabrication in tadelloser Weise nicht vor, das Gefüge

wird dicht und die in den Hohlräumen eingeschlossene Luft schützt die Schornsteinwände vor Abkühlung. Derartige Formsteine für den Bau freistehender runder Schornsteine liefern:

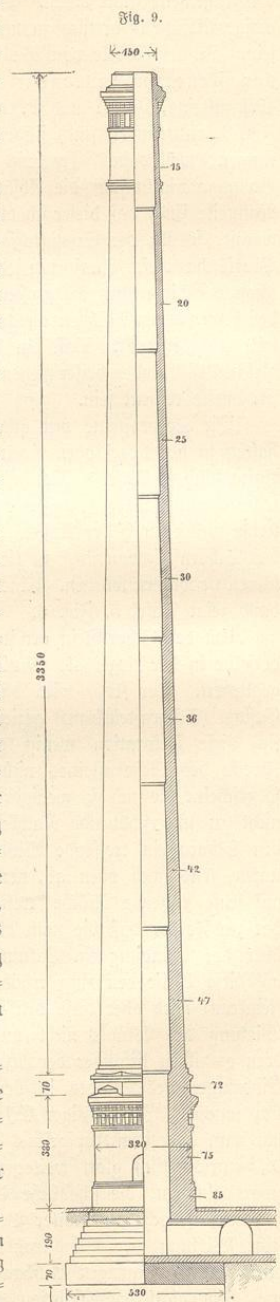
Kunheim & Co. in Berlin, H. N. Heinicke in Chemnitz u. a. Die erstgenannte Firma fertigt zwölf verschiedene Sorten Formsteine für nachstehende Mündungsdurchmesser: 0,75 m, 1,00 m, 1,25 m und 1,50 m.

Ingenieur Heinicke liefert seine Steine angeblich für acht verschiedene Durchmesser.<sup>1)</sup>

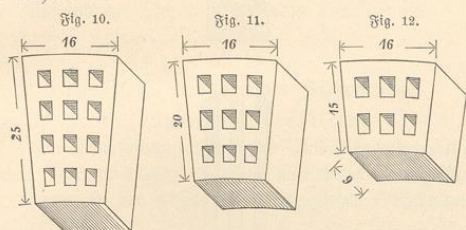
Die sogenannten Mantelkamine, deren kreisförmiger Querschnitt mit einem in 25 bis 30 cm Abstand vorgelegten konzentrischen Mantel aus demselben Material umgeben ist, derart, daß Schornstein und Mantel durch vertikale Zungen (Sporen) in Verband gebracht sind, werden ihrer umständlichen Ausführung halber kaum mehr zur Ausführung gebracht, da sie mehr Arbeitslohn erfordern, auch den vollwandigen, aus Holzziegeln bester Gattung hergestellten Kaminen gegenüber kaum einen technischen Vorzug bieten.

Die Fundierung freistehender hoher Schornsteine muß mit großer Vorsicht erfolgen, um einseitige Senkungen zu verhüten; der

1) Bezüglich des Mauerverbandes der Schornsteinetagen sei auf die ausführliche Darstellung in Band I dieses Werkes „Ausführung runder Fabrik-Schornsteine“ verwiesen.



Baugrund sollte höchstens mit 1½ kg pro Quadratcentimeter belastet werden. Als Baugrundsohle ist eine durchgehende Betonschicht von 0,75 bis 1,25 m Stärke und darüber zu wählen.



Vorstehenden, die Fabrikschornsteine betreffenden Ausführungen schließen wir nachfolgende kurze Besprechung an.

**Über Schornsteine in Gebäuden.** Diese haben die Verbrennungsprodukte aus Kaminen und Öfen aller Art, Kochherden, Waschkesselfeuerungen und dergleichen aufzunehmen und abzuführen. Sie werden kurzweg Rauchröhren genannt und ihre Abmessungen sind gewöhnlich durch baupolizeiliche Vorschriften festgestellt. — Erfolgt ihre Reinigung durch Befahren, so nennt man sie „befahrbar“ oder „besteigbar“ Schornsteine; Röhren, welche von oben her mittels mechanischer Vorrichtungen gereinigt werden, heißen enge oder russische Röhren.

1) Besteigbare Schornsteine müssen einen rechteckigen Querschnitt und bestimmte, baupolizeilich vorgeschriebene Abmessungen erhalten. So verlangt:

die Baupolizeiordnung für den Stadtkreis Berlin einen Querschnitt von mindestens . . .	0,42 zu 0,47 m
im Großherzogtum Baden sind vorgeschrieben . . .	0,42 „ 0,48 „
in Württemberg sind vorgeschrieben nach der Wiener Bauordnung	0,45 „ 0,50 „
	0,48 „ 0,48 „

2) Enge, russische Röhren sollen einen gleichbleibenden rechteckigen oder kreisrunden Querschnitt erhalten, dessen lichte Abmessungen festgesetzt sind:

nach der Berliner Baupolizeiordnung für 3 Zimmeröfen auf	250 qem
„ 4 „ „ „	330 „
im Großherzogtum Baden soll die Lichtweite betragen für eine Feuerstätte . . .	0,18 zu 0,18 m
für mehrere Feuerstätten . . .	0,25 „ 0,25 „
in Württemberg für mehrere Öfen . . .	0,12 „ 0,25 „
im Wiener Polizeibezirk für 2 Feuer . . .	0,16 „ 0,16 „

Breymann, Baupolizeiordnungslehre. IV. Dritte Auflage.

Zu betreff des Mauerverbandes befahrbarer und russischer Schornsteine wird auf Band I dieses Werkes, Tafel 6, beziehungsweise § 11 verwiesen.<sup>1)</sup>

Gemauerte Schornsteine müssen nach Polizeivorschrift mindestens 12 cm starke Wangen erhalten, die an den Nachbargrenzen auf 25 cm zu verstärken sind. Für Centralheizungen und andere große Feuerungsanlagen können stärkere Wangen vorgeschrieben werden. Für nebeneinanderliegende Schornsteine genügt eine gemeinsame Wange von 12 cm Stärke.

Jedes Rauchrohr muß von Grund auf fundamendiert oder durch unverbrennliche Tragkonstruktionen unterstützt werden.

Von Balkenlagen und sonstigem Holzwerke müssen die Außenseiten der Schornsteine, falls die Wangenstärke unter 0,25 m beträgt, überall mindestens 0,065 m entfernt gehalten und durch doppelte, in Verband gelegte Dachsteinschichten getrennt werden. Im Dachverbande muß die Entfernung freiliegender Hölzer von 12 cm starken Schornsteinwangen mindestens 10 cm betragen.

Eiserne Schornsteine in Gebäuden sind unter Freihaltung eines Luftraumes von 10 cm feuersicher zu ummanteln.

Alle Schornsteine müssen ordnungsmäßig gereinigt werden können. Bei besteigbaren Schornsteinen ist die untere Mündung mit einer gefalzten eisernen Einsteigetür zu versehen.

Unbesteigbare Schornsteine müssen unten und oben, außerdem auch bei Richtungsveränderungen, wenn die Neigung gegen die Wagerechte weniger als 60° beträgt, hinlänglich große Reinigungsöffnungen erhalten. Obere Reinigungsöffnungen sind entbehrlich, wenn die Reinigung bequem vom Dache aus erfolgen kann. Alle seitlichen Reinigungsöffnungen sind mit gefalzten eisernen Türen dicht zu verschließen. Die Anwendung von Schiebern ist nicht gestattet.

In Küchen, einschließlic der Waschküchen mit geschlossener Feuerung, ist ein besonderes Rohr zum Abzuge der Wasserdämpfe einzurichten, welches für eine oder zwei Küchen einen Querschnitt von 250 qem, für jede hinzutretende Küche eine Vergrößerung von 50 qem erhalten muß.

Die Schornsteine sind so anzulegen und zu benutzen, daß die Gebäude und deren Umgebung durch Funken, Rauch und Ruß nicht gefährdet werden, sie sind daher mindestens bis 0,30 m über die Dachfläche zu führen.

Auffänge sind auf Schornsteinen nur zulässig, soweit sie die ordnungsmäßige Reinigung nicht behindern.

1) Vergl. auch: Scholz, die „Fachschule des Maurers“ (S. 48 u. f.). Leipzig, F. W. Gebhardt's Verlag.

Die Frage, ob den besteigbaren oder den russischen Röhren der Vorzug gebührt, ist durch die heutige Baupraxis wohl ohne Zweifel zu Gunsten der letzteren entschieden. Im allgemeinen ziehen enge Röhren besser als weite, doch haben erstere sich für offene Herdfeuer als untauglich erwiesen. — Die Ansicht, daß es unstatthaft sei, mehrere übereinander gelegene Öfen in ein und dasselbe enge Rohr zu leiten, ist auch durch die Praxis widerlegt. Andererseits muß man die in einer Etage einmündenden Öfenrohre in verschiedenen Höhen des Schornsteines ausmünden lassen, um das Rauchen der minder gut ziehenden Feuerungen zu vermeiden.

Da jede Küchenfeuerung ihr besonderes russisches Rohr erhalten muß, ergeben sich häufig in mehrstöckigen Miets- häusern, in denen zwei Küchen in jeder Etage nebeneinanderliegen, bei knapp zubemessenem Raume recht schwerfällige Rohrkasten. Fig. 13 stellt einen solchen doppelten Schornsteinkasten, enthaltend zehn Rauchröhren und zwei Dunstströme für fünf übereinanderliegende Etagen von beiläufig 1,74 m Länge und 0,66 m Breite dar. In Fig. 14



Fig. 13.

Fig. 14.

sind die Küchenfeuerungen dagegen in ein befahrbares Rohr eingeleitet. Die beiden russischen Rohre sind = 15/21 cm dimensioniert und dienen lediglich zur vorschriftsmäßigen Abführung des Wrasens (Dunstes). Wo der Raum nicht beschränkt ist, verdient die Anordnung in Fig. 13 den Vorzug.

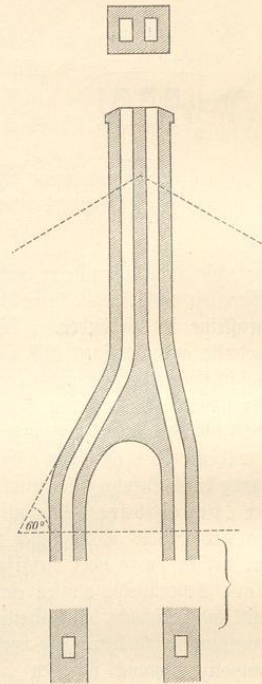
In der Dach-Etage pflegt man zwei oder mehrere nahe aneinander gelegene Schornsteine zu einem einzigen zu vereinigen, um den Dachverband und die Dachdeckung möglichst wenig zu stören. Es geschieht dies durch das sogenannte Ziehen und Schleifen der Schornsteine.

Fig. 15 zeigt das Aneinanderschleifen zweier Schornsteine, welche beide, vertikal aufgeführt, im First aus dem Dache treten. Das Gewölbe erhält hierbei die Form eines steigenden Bogens. Werden zwei Schornsteinkästen in dieser Weise aneinandergeschleift und enthält der eine ein Rohr weniger als der andere, so muß ein sogenanntes blindes Rauchrohr eingeschaltet werden.

In der Regel sucht man es zu vermeiden, Schornsteine in größerem Abstände vom First durch das Dach zu führen, da dies bekanntlich die Konstruktion einer „Kehle“ zwischen Schornstein und First nötig macht. Soll ein einzelner Schornstein nach dem First hin geschleift werden, so muß derselbe vertikal durch Mauerwerk unterstützt werden (Fig. 16).

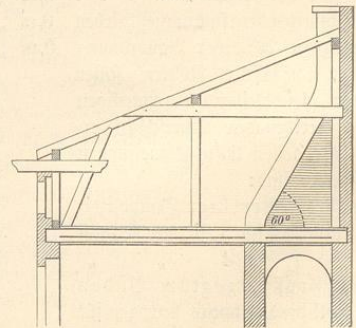
Das Aneinanderschleifen der Schornsteine, d. h. das Weglassen der Zungen nach vollzogenem Ziehen, ist auf

Fig. 15.



keinen Fall zulässig, da das Rauchen in den Zimmern sonst unvermeidlich ist.

Fig. 16.



Wie hoch der Schornstein über das Dach hinauszuführen sei, richtet sich nach der Höhe der umgebenden Gebäude. Wenn möglich, soll derselbe von den nachbarlichen Gebäuden nicht überragt werden. — Bei völlig freistehenden Häusern führt man die das Dach am First durch-

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.

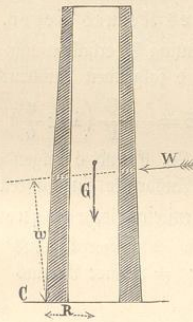
§ 11.

**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

$$G = c \frac{Ww}{R} \dots \dots \dots (1)$$

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 Ermittlung 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 Zug und Recht zu stellende Forderung ist:

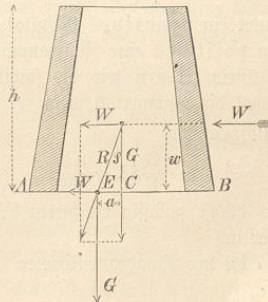
daß in keinem Teile derselben eine übermäßige Zugspannung, vielmehr nur eine so geringe Zugspannung auftritt, daß eine Gefährdung der Konstruktion nicht zu gewärtigen ist.

Diese größte zulässige Zugspannung dürfte hierbei auf 1 kg pro Quadratcentimeter bemessen werden dürfen, doch wird es rathsam sein, selbst von dieser, eine Verringerung des Querschnittes gestattenden Annahme abzuweichen, 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 AB ein Querschnitt im Abstände 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 AB in E und bilde mit der Normalen zu AB den Winkel phi.

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

$$\varphi \leq \varrho$$

ist, wo  $\varrho$  den Reibungswinkel bedeutet, welcher =  $33^\circ$  anzunehmen ist.

Die Stabilität gegen Gleiten erfordert daher, daß

$$W \geq G \operatorname{tg} 33^\circ,$$

d. i.

$$W \geq 0,65 G$$

ist. 1)

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

Nennt man

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

so entsteht das Biegemoment

$$M = G a,$$

welchem in den Fasern B und A die Spannungen

$$\mathcal{E}_1 = \pm \frac{G a}{W}$$

entsprechen, unter

W das Widerstandsmoment (den Querschnittsmodul) des Schornsteinquerschnittes verstanden.

Dem Drucke G entspricht die Normalspannung

$$\mathcal{E}_2 = - \frac{G}{F}$$

wo F der Inhalt des Querschnittes ist.

Die Gesamtspannung wird

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

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

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

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) 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.

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

und möge mit e bezeichnet werden. Es ist dann

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

Den geometrischen Ort der Punkte, welche im Abstände 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  $\mathcal{E}$  erhalten wir unter Berücksichtigung des Wertes e folgenden Ausdruck:

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

und zwar sind für W, F und e folgende aus der Festigkeitslehre bekannte Ausdrücke einzuführen:

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

$$R = \text{großer Radius}$$

$$r = \text{kleiner Radius}$$

Fig. 19.

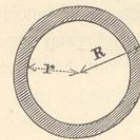
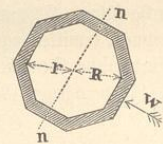


Fig. 20.



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

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

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

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

R) die Radien der bezüglichen umschriebenen

r) Kreise:

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

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

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

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

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

Fig. 21.

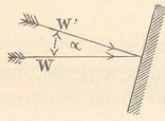
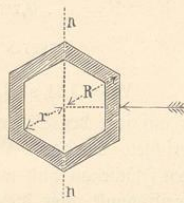


Fig. 22.



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

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

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

d) für den Schornstein mit Quadratquerschnitt:

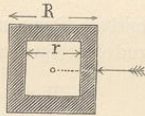
R = äußere Quadratseite  
r = innere Quadratseite

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

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

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

Fig. 23.



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:

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

wird. Mit Hilfe dieser Formel läßt sich die Aufgabe lösen, sobald der Winddruck W und dessen Hebelarm w in Bezug auf den Querschnitt AB 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,
- $\gamma$  das Gewicht pro Kubikmeter Luft (= 1,292 kg bei 13° C. und 1 Atmosphäre Spannung),
- g die Beschleunigung der Schwere (= 9,81),
- c einen Erfahrungscoeffizienten, der bei kleinen Flächen 1,86 ist,
- v die Geschwindigkeit des Windes in Metern pro Sekunde

verstanden. Der Ausdruck geht nach Einführung der für  $\gamma$ , 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 befannter 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  $\alpha$  (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 =  $v \cos \alpha$ ), 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:

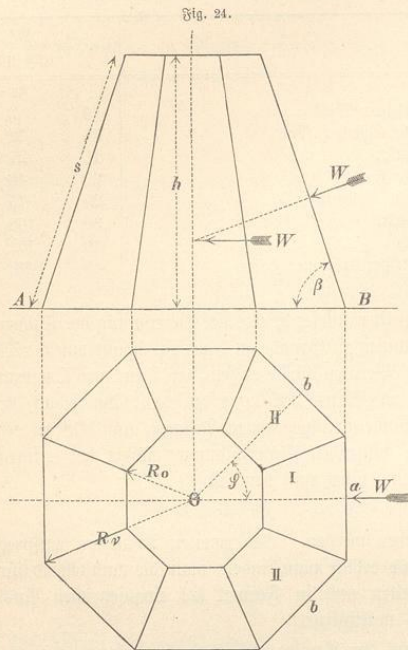
a) den Schornstein mit Achteckquerschnitt.

Der Mantel des Schornsteines ist in Fig. 24 im Grundriß und Aufsriß dargestellt. Der Neigungswinkel der Seitenfläche gegen den Horizont sei  $\beta$ ; dann ist der Winkel  $\alpha$  zwischen der Windrichtung und der Normalen auf die Fläche I gleich  $90^\circ - \beta$ , und der horizontale Winddruck auf Fläche I:

$$W_I = 200 F \cos^3 (90^\circ - \beta)$$

$$= 200 F \sin^3 \beta.$$

Die Normale zur Fläche II bildet mit der Windrichtung einen Winkel  $\gamma$ , der sich durch den Winkel  $\beta$  und den Winkel  $\varphi$ , welchen die im Grundriß vom Mittelpunkte o



auf die Kanten a und b gefällten Lote miteinander einschließen, ausdrücken läßt, und zwar lautet die bezügliche Relation:

$$\cos \gamma = \sin \beta \cos \varphi.$$

Es wird hiernach der Winddruck auf Fläche II

$$W_{II} = 200 F \sin^3 \beta \cos^3 \varphi$$

und wegen

$$\varphi = 45^\circ; \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$W_{II} = 71 F \sin^3 \beta.$$

Der gesamte auf den Pyramidenstumpf-Mantel sich äußernde horizontale Winddruck ist also:

$$W = 200 F \sin^3 \beta + 2 \cdot 71 F \sin^3 \beta$$

$$W = 342 F \sin^3 \beta.$$

Ist nun

$R_o$  der umschriebene Radius des oberen Achtecks,

$R_u$  " " " " unteren "

so sind die entsprechenden Achteckseiten

$$0,7654 R_o \text{ resp. } 0,7654 R_u.$$

Wird dann weiter mit

s die Höhe des Trapezes I bzw. II

bezeichnet, dann ergibt sich

$$F = \frac{s}{2} \cdot 0,7654 (R_o + R_u) \\ = 0,3827 s (R_o + R_u),$$

weshalb

$$W = 131 s (R_o + R_u) \sin^3 \beta.$$

Der auf jede der Seitenflächen wirkende, normal zu diesen gerichtete Winddruck  $W'$  greift im Schwerpunkt der bezüglichen Fläche an und wird hiernach der gemeinschaftliche Angriffspunkt aller dieser Kräfte  $W'$  als der Schnittpunkt der nun nach Lage bestimmten  $W'$  mit der Achse der Pyramide gefunden. Dieser Angriffspunkt kann aber als mit dem Schwerpunkte eines durch die Achse gelegten Längenprofils zusammenzufallen angenommen werden, so daß sich für seinen Abstand  $w$  von der Grundfläche der Ausdruck

$$w = \frac{h}{3} \frac{2 R_o + R_u}{R_o + R_u}$$

ergibt. Dann wird das gesuchte Moment des Winddruckes bezogen auf den Schwerpunkt der Grundfläche

$$W w = \frac{131}{3} s h (2 R_o + R_u) \sin^3 \beta$$

und wenn

$$\sin \beta = \frac{h}{s}$$

gesetzt wird,

$$W w = \frac{131 h^4 (2 R_o + R_u)}{3 s^2}.$$

Nun kann man sich leicht durch Rechnung die Überzeugung verschaffen, daß bei den für Schornsteine üblichen Verjüngungsverhältnissen

$$s = h$$

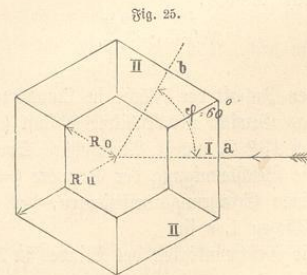
gesetzt werden kann, so daß obiger Ausdruck durch

$$W w = 44 h^2 (2 R_o + R_u)$$

ersetzt werden darf.

b) Der Schornstein mit Sechseckquerschnitt.

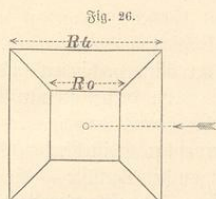
Wir führen hier sofort die vereinfachende Annahme ein, bei Ermittlung des Wertes  $W$  die Pyramide durch



ein Prisma zu ersetzen, dessen Querschnitt der umschriebene Radius

entspricht.

$$R_1 = \frac{R_o + R_u}{2}$$



Der Winddruck auf die Seitenfläche I ist  
 $W_I = 200 F$ ,  
 der auf Seitenfläche II:

$$W_{II} = 200 F \cos^3 60^\circ = 200 F \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

$$W_{II} = 25 F$$

mithin der gesamte horizontale Winddruck:  
 $W = 250 F$ ,

worin

$$F = R_1 h = \frac{h}{2} (R_o + R_u).$$

Da ferner

$$w = \frac{h}{3} \frac{2 R_o + R_u}{R_o + R_u}$$

so folgt:

$$W w = 42 h^2 (2 R_o + R_u).$$

c) Der Schornstein mit Quadratquerschnitt

$$W = 200 F = 200 R_1 h$$

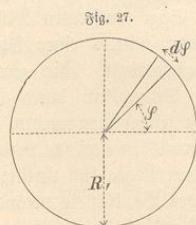
$$w = \frac{h}{3} \frac{2 R_o + R_u}{2 R_1}$$

$$W w = 33 h^2 (2 R_o + R_u).$$

d) Der Schornstein mit Kreisquerschnitt.

Für das dem Winkel  $\varphi$  (Grundriß Fig. 27) entsprechende Element ist:

$$d W = 200 \cos^3 \varphi d F,$$



worin

$$d F = h R_1 d \varphi.$$

Demnach wird

$$W = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} d W = 400 h R_1 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3 \varphi d \varphi$$

$$= 400 h R_1 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \sin^2 \alpha) d(\sin \alpha)$$

$$= 400 h R_1 \left[ \sin \alpha - \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_0^{\frac{\pi}{2}}$$

$$= 400 h R_1 \cdot \frac{2}{3}.$$

Ferner ist:

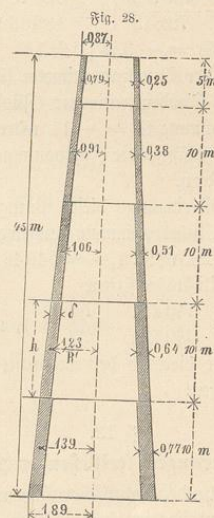
$$w = \frac{h}{3} \frac{2 R_o + R_1}{2 R_1}$$

mithin:

$$W w = 400 h^2 (2 R_o + R_1) \frac{1}{9}$$

$$W w = 45 h^2 (2 R_o + R_1).$$

Es erübrigt noch, den Gang der Rechnung durch ein Beispiel zu erläutern, und wählen wir hierzu die Untersuchung der Stabilität des in Fig. 28 dargestellten Schornsteines, der einen kreisförmigen Querschnitt habe.



Die Gewichte der einzelnen in der Wandung gleichstarken Abfälle berechnen wir nach dem für Rotationskörper geltenden Gesetze.

Nennen wir

$h$  die Höhe des Segmentes,

$F = \delta h$  den Inhalt der rotierenden Fläche,

$R'$  den Abstand des Schwerpunktes dieser Fläche

von der Achse des Schornsteines, so ist

$$G = \gamma \cdot 2 \pi R' \cdot \delta h,$$

wo  $\gamma$  das Gewicht pro Kubikeinheit des Mauerwerkes.

Wird  $\gamma = 1600$  kg pro Kubikmeter angenommen, so ist

$$G = 1600 \cdot 2 \cdot \pi R' \delta h = 10060 \delta h R'.$$

Hiernach ergeben sich folgende Gewichte:

$$G_I = 10060 \cdot 0,25 \cdot 5,0 \cdot 0,79 = 9934$$

$$G_{II} = 10060 \cdot 0,38 \cdot 10,0 \cdot 0,91 = 34787$$

$$G_{III} = 10060 \cdot 0,51 \cdot 10,0 \cdot 1,06 = 54384$$

$$G_{IV} = 10060 \cdot 0,64 \cdot 10,0 \cdot 1,23 = 79192$$

$$G_V = 10060 \cdot 0,77 \cdot 10,0 \cdot 1,39 = 107672$$

$$\Sigma G = 285969 \text{ kg}$$

Dem untersten Querschnitte entspricht der Kernabstand

$$e = \frac{1,89^2 + 1,12^2}{4 \cdot 1,89} = 0,64.$$

Das Produkt  $Ww$  (bezogen auf den gesamten Schornstein) ist

$$Ww = 45 \cdot 45^2 (2 \cdot 0,87 + 1,89) = 330783,75 \text{ kgm}$$

während das Produkt  $Ge$  sich nur

$$Ge = 285969 \cdot 0,64 = 183020,16 \text{ kgm},$$

herausstellt.

Die Spannungen im untersten Querschnitte sind wegen

$$F = \pi (189^2 - 112^2) = 72813 \text{ qcm}$$

$$S = -\frac{285969}{72813} \left[ 1 \pm \frac{330784}{183020} \right] =$$

$$S = -3,93 [1 \pm 1,8]$$

$$S = -11 \text{ kg pro Quadratcentimeter (Druckspannung)} \\ + 3 \text{ kg pro Quadratcentimeter (Zugspannung).}$$

Die Druckspannung  $S = -11$  wäre bei gutem Materiale allenfalls zulässig, die Zugspannung  $3$  aber unter keinen Umständen.

Hätte man die eingangs dieses Paragraphen getadelte Methode der Stabilitätsbestimmung angewendet, so hätte, da

$$GR = 285969 \cdot 1,89 = 540481 \text{ kgm}$$

ist, sich ein Stabilitätskoeffizient

$$c = \frac{540481}{330784} = \frac{54}{33} = 1,64$$

ergeben und hätte hiernach der Schornstein für stabil erklärt werden müssen.

## § 12.

### Formveränderungen freistehender Schornsteine.

1) Bei freistehenden Fabricschornsteinen, die einer starken Beanspruchung unterworfen sind, werden nicht selten nach einer gewissen Nutzungsdauer Deformationen des Schornsteingemäuers resp. Lageveränderungen an dem Baukörper wahrgenommen. Am häufigsten tritt der Fall ein, daß das Schornsteinmauerwerk infolge Einwirkung der Feuer gasen berstet und sich in dem geschlossenen Baukörper Risse bilden, welche mehr oder weniger vertikal verlaufen, auch wohl der Richtung der Fugentreppung folgen. Diese Sprünge beginnen in der Regel über dem Postamentmauerwerk und ziehen sich in die oberen Schornstein-Etagen hinauf, ohne jedoch einen fortlaufenden Riß zu bilden.

Um den Fortschritt dieser, die Stabilität des Bauwerkes beeinträchtigenden Deformationen zu hindern, muß

der Schornstein bis zu derjenigen Höhe, in welcher Risse wahrnehmbar sind, äußerlich berüstet werden. Es werden sodann in vertikalen Abständen von 1 bis 1,25 m 6 bis 8 cm hohe Bänder von Flachsteinen umgelegt und deren Enden durch Schrauben kräftig zusammengezogen. Hierdurch wird die Erweiterung der Risse verhindert und der deformierte Schornstein kann, wenn dessen Konstruktion keine fehlerhafte ist, noch Jahre hinaus benutzt werden.

2) Bei neuerbauten freistehenden Schornsteinen — namentlich solchen an der Seeküste — die dauernd starkem Winddruck ausgesetzt sind, ist die Beobachtung gemacht worden, daß die noch nicht erhärteten Lagerfugen der oberen Schornstein-Etagen — namentlich wenn Kalkmörtel verwendet wurde — unter dem Einfluß heftiger Stürme zusammengepreßt wurden. Dieser obere Teil des Schornsteines bildet dann auf der dem Winde zugewendeten Seite eine konvexe, auf der entgegengesetzten Seite eine konkave Linie. Der Fugenmörtel an der konkaven Seite ist komprimiert, an der konvexen Seite dagegen haben sich die Fugen geöffnet. Abhilfe geschieht in diesem Fall wie folgt: der Schornstein ist in ganzer Höhe äußerlich zu berüsten, sodann werden nach Bedarf an der konvexen Seite in vertikalen Abständen mittels einer Schrottsäge mehrere Mörtelbänder etwa bis zur Schornsteinachse hin eingefügt. Hierauf bringt man unterhalb des Schornsteinkopfes vertikale Versteifungsschienen, die durch starke Eisenbänder gegürtet werden, an und befestigt die zum Geraderichten erforderlichen Tauen an den hierzu angebrachten, starken eisernen Haken. Zu dem Ende sind in angemessener Entfernung vom Schornsteinpostament Windvorrichtungen aufgestellt und mit dem Erdboden fest verbunden: mittels dieser wird der Schornstein leicht in die ursprüngliche, normale Lage zurückgezogen. Die Kontrolle erfolgt durch ein im Innern des Schornsteines aufgehängtes Lot, welches an einem über der Schornsteinmündung angebrachten Fadenzentrum befestigt ist. Als Ersatz für den durch die Säge entfernten Mörtel wird dünnflüssiger Cementmörtel mittels einer Spritze in die betreffenden Fugen eingebracht. Bis zur Erhärtung des Letzteren muß der Schornstein durch die angespannten Tauen in seiner Lage festgehalten werden. Man darf aber zu dieser Arbeit niemals neue Tauen verwenden, weil dieselben bei eintretendem Regen sich verkürzen und somit die normale Richtung des Baukörpers verändern würden.

3) Seltener ist endlich der Fall, daß sich die Fundamentsohle des Schornsteines — etwa infolge ungeeigneten Baugrundes — gesenkt hat, die Mauererschichten demzufolge nicht horizontale, sondern geneigte Ebenen bilden und die Schornsteinachse eine Abweichung von der Vertikalen erleidet, welche bei hohen Schornsteinen 1,0 m und darüber betragen kann.

Solche bedeutende Lageveränderungen hatte im Laufe von 20 Jahren ein zu Frankfurt a. D. errichteter, 43,82 m hoher Schornstein angenommen! Die Abweichung der Mittellinie desselben vom Lot betrug 1,10 m! Verfasser wurde (im Jahre 1891) damit betraut, festzustellen:

„Ob die Standfestigkeit des fraglichen Schornsteines noch ausreichend sei, um jede Gefährdung benachbarter Baulichkeiten und des darin beschäftigten Personales auszuschließen.“

Mit Hilfe einer älteren Bauzeichnung und — gestützt auf die an Ort und Stelle vorgenommenen genauen Messungen — sind die Grundrisse und ein Profil des Schornsteines aufgetragen und auf Tafel 4<sup>a</sup> zur Darstellung gebracht.

Nachstehend geben wir die zu diesem Zweck angestellten Stabilitätsuntersuchungen.

A. Gewichte der einzelnen Schornsteinabsätze. Dieselben werden in Tonnen ausgedrückt und das Kubikmeter Mauerwerk mit 1,6 t in Ansatz gebracht.

$$\pi \frac{2,32 + 1,62}{2} \cdot 0,15 \cdot 5,84 \cdot 1,6 \text{ t} = 8,67 \text{ t}$$

$$\pi \frac{2,64 + 1,82}{2} \cdot 0,25 \cdot 4,72 \cdot 1,6 \text{ t} = 13,23 \text{ t}$$

$$\left. \begin{aligned} \pi \frac{3,17 + 2,14}{2} \cdot 0,25 \cdot 7,84 \cdot 1,6 \text{ t} &= 30,10 \\ \pi \cdot 2,01 \cdot 0,15 \cdot 7,84 \cdot 1,6 \text{ t} &= 11,88 \end{aligned} \right\} = 41,98 \text{ t}$$

$$\left. \begin{aligned} \pi \frac{4,15 + 2,67}{2} \cdot 0,25 \cdot 15,70 \cdot 1,6 \text{ t} &= 67,27 \\ \pi \cdot 2,11 \cdot 0,25 \cdot 15,70 \cdot 1,6 \text{ t} &= 41,63 \end{aligned} \right\} = 108,90 \text{ t}$$

$$\left. \begin{aligned} \pi \cdot 3,95 \cdot 0,30 \cdot 0,48 \cdot 1,6 \text{ t} &= 2,86 \\ \pi \cdot 2,11 \cdot 0,25 \cdot 0,48 \cdot 1,6 \text{ t} &= 1,27 \end{aligned} \right\} = 4,13 \text{ t}$$

$$[4,4^2 - \frac{\pi}{4} (2,96^2 - 2,36^2 + 1,86^2)] \cdot 7,50 \cdot 1,6 \text{ t} = 169,63 \text{ t}$$

$$[4,55^2 - \frac{\pi}{4} (2,96^2 - 2,36^2 + 1,86^2)] \cdot 1,74 \cdot 1,6 \text{ t} = 43,00 \text{ t}$$

$$[4,86^2 - \frac{\pi}{4} (2,96^2 - 2,36^2 + 1,86^2)] \cdot 1,0 \cdot 1,6 \text{ t} = 29,43 \text{ t}$$

$$5,50^2 \cdot 3,0 \cdot 1,6 \text{ t} = 145,20 \text{ t}$$

Breymann, Baukonstruktionslehre. IV. Vierte Auflage.

Hieraus Summenbelastungen:

$$\begin{aligned} \Sigma G^I &= 8,67 \text{ t} & \Sigma G^V &= 346,54 \text{ t} \\ \Sigma G^{II} &= 21,90 \text{ „} & \Sigma G^{VI} &= 389,63 \text{ „} \\ \Sigma G^{III} &= 63,88 \text{ „} & \Sigma G^{VII} &= 419,06 \text{ „} \\ \Sigma G^{IV} &= 172,78 \text{ „} & \Sigma G^{VIII} &= 564,26 \text{ „} \\ \Sigma G^{IV^a} &= 176,91 \text{ „} & & \end{aligned}$$

In dieser Gewichtsermittlung sind zu Gunsten der Standfestigkeit vernachlässigt die Gewichte der horizontalen und radialen Bindeglieder.

B. Um die Wirkung der Ausweichung aus dem Lot beurteilen zu können, ist die Bestimmung der Schwerpunkte der Massen erforderlich.

In I berechnet sich

$$\frac{2,17 + 2\sqrt{2,17 \cdot 1,77 + 3 \cdot 1,77}}{4(2,17 + \sqrt{2,17 \cdot 1,77 + 1,77})} \cdot 5,84 = \frac{11,40}{23,60} \cdot 5,84 = 2,87 \text{ m}$$

in II

$$\frac{2,30 + 2\sqrt{2,39 \cdot 2,07 + 3 \cdot 2,07}}{4(2,39 + \sqrt{2,39 \cdot 2,07 + 2,07})} \cdot 4,72 = \frac{13,948}{23,796} \cdot 4,72 = 2,304 \text{ m}$$

in III

$$\frac{2,92 + 2\sqrt{2,92 \cdot 2,39 + 3 \cdot 2,39}}{4(2,92 + \sqrt{2,92 \cdot 2,39 + 2,39})} \cdot 7,84 = \frac{15,374}{31,808} \cdot 7,84 = 3,79 \text{ m}$$

in IV

$$\frac{3,90 + 2\sqrt{3,90 \cdot 2,92 + 3 \cdot 2,92}}{4(3,90 + \sqrt{3,90 \cdot 2,92 + 2,92})} \cdot 15,70 = \frac{19,41}{40,78} \cdot 15,70 = 7,473 \text{ m}$$

Hieraus findet man die Schwerpunkthöhe über:

$$\begin{aligned} a^I \text{ für } \Sigma G^I &= 2,87 \text{ m} \\ a^{II} \text{ für } \Sigma G^{II} &= \frac{(4,72 + 2,87) 8,67 + 2,304 \cdot 13,23}{21,90} = 4,279 \text{ m} \\ a^{III} \text{ für } \Sigma G^{III} &= \frac{(7,84 + 4,279) 21,90 + 3,79 \cdot 30,10 + 30,92 \cdot 11,88}{63,88} = 6,67 \text{ m} \\ a^{IV} \text{ für } \Sigma G^{IV} &= \frac{(15,7 + 6,67) 63,88 + 7,473 \cdot 67,27 + 7,85 \cdot 41,63}{172,78} = 13,072 \text{ m} \\ a^V \text{ für } \Sigma G^V &= \frac{(7,98 + 13,072) 172,78 + 7,74 \cdot 4,13 + 3,75 \cdot 169,63}{346,54} = 12,424 \text{ m} \\ a^{VI} \text{ für } \Sigma G^{VI} &= \frac{(1,74 + 12,424) 346,54 + 0,87 \cdot 43,02}{389,63} = 12,694 \text{ m} \\ a^{VII} \text{ für } \Sigma G^{VII} &= \frac{(1,00 + 12,694) 389,63 + 0,50 \cdot 29,43}{419,06} = 12,767 \text{ m} \\ a^{VIII} \text{ für } \Sigma G^{VIII} &= \frac{(3,00 + 12,767) 419,06 + 1,50 \cdot 145,20}{564,26} = 12,105 \text{ m} \end{aligned}$$

Hiernach ergeben sich, da eine Ausweichung von 1,10 m auf 47,83 m entfällt, folgende Momente aus der excentrischen Belastung:

$$\begin{aligned} \text{in } a^I: & 8,67 \cdot 1,10 \cdot \frac{2,87}{47,82} = 0,57 \text{ tm} \\ \text{„ } a^{II}: & 21,90 \cdot 1,10 \cdot \frac{4,279}{47,82} = 2,16 \text{ „} \\ \text{„ } a^{III}: & 63,88 \cdot 1,10 \cdot \frac{6,67}{47,82} = 9,80 \text{ „} \\ \text{„ } a^{IV}: & 172,78 \cdot 1,10 \cdot \frac{13,072}{47,82} = 51,95 \text{ „} \\ \text{„ } a^V: & 346,54 \cdot 1,10 \cdot \frac{12,424}{47,82} = 99,04 \text{ „} \\ \text{„ } a^{VI}: & 389,63 \cdot 1,10 \cdot \frac{12,694}{47,82} = 113,77 \text{ „} \\ \text{„ } a^{VII}: & 419,06 \cdot 1,10 \cdot \frac{12,767}{47,82} = 123,07 \text{ „} \\ \text{„ } a^{VIII}: & 564,26 \cdot 1,10 \cdot \frac{12,105}{47,82} = 157,12 \text{ „} \end{aligned}$$

Die Wirkung dieser Momente ist vermöge der Widerstandsmomente in denselben zu beurteilen.

Die Widerstandsmomente sind:

$$\begin{aligned} \text{in } a^I \quad W^I &= \frac{\pi (2,32^4 - 2,02^4)}{32 \cdot 3,32} = 0,521 \\ \text{„ } a^{II} \quad W^{II} &= \frac{\pi (2,64^4 - 2,14^4)}{32 \cdot 2,64} = 1,022 \\ \text{„ } a^{III} \quad W^{III} &= \frac{\pi (3,17^4 - 2,67^4 + 2,16^4 - 1,86^4)}{32 \cdot 3,17} = 1,857 \\ \text{„ } a^{IV} \quad W^{IV} &= \frac{\pi (4,15^4 - 3,65^4 + 2,36^4 - 1,86^4)}{32 \cdot 4,15} = 3,269 \\ \text{„ } a^V \quad W^V &= \frac{4,40^3}{6} \cdot \frac{\pi (2,96^4 - 2,36^4 + 1,86^4)}{32 \cdot 4,46} = 13,960 \\ \text{„ } a^{VI} \quad W^{VI} &= \frac{4,55^3}{6} \cdot \frac{\pi (2,96^4 - 2,36^4 + 1,86^4)}{32 \cdot 4,55} = 14,458 \\ \text{„ } a^{VII} \quad W^{VII} &= \frac{4,86^3}{6} \cdot \frac{\pi (2,96^4 - 2,36^4 + 1,86^4)}{32 \cdot 4,86} = 17,970 \\ \text{„ } a^{VIII} \quad W^{VIII} &= \frac{5,5^3}{6} = 27,729 \end{aligned}$$

Die Druckfläche der Fugen beträgt:

$$\begin{aligned} \text{in } a^I \quad F^I &= \frac{\pi}{4} (2,32^2 - 2,02^2) = 1,023 \text{ qm} \\ \text{„ } a^{II} \quad F^{II} &= \frac{\pi}{4} (2,64^2 - 2,14^2) = 1,877 \text{ „} \\ \text{„ } a^{III} \quad F^{III} &= \frac{\pi}{4} (3,17^2 - 2,67^2 + 2,16^2 - 1,86^2) = 3,241 \text{ „} \\ \text{„ } a^{IV} \quad F^{IV} &= \frac{\pi}{4} (4,15^2 - 3,65^2 + 2,36^2 - 1,86^2) = 4,720 \text{ „} \\ \text{„ } a^V \quad F^V &= 4,4^2 - \frac{\pi}{4} (2,96^2 - 2,36^2 + 1,86^2) = 14,136 \text{ „} \end{aligned}$$

$$\text{in } a^{VI} \quad F^{VI} = 4,55^2 - \frac{\pi}{4} (2,96^2 - 2,36^2 + 1,86^2) = 15,478 \text{ qm}$$

$$\text{„ } a^{VII} \quad F^{VII} = 4,86^2 - \frac{\pi}{4} (2,96^2 - 2,36^2 - 1,86^2) = 18,395 \text{ „}$$

$$\text{„ } a^{VIII} \quad F^{VIII} = 5,50 = 30,250 \text{ „}$$

Hieraus ergibt sich ohne Zutritt von Winddruck eine Fugenpressung

$$\text{in } a^I: \frac{8,67}{1,023} \pm \frac{0,57}{0,521} = 8,475 \pm 1,094 = \begin{cases} 9,569 \text{ t/q} \\ 7,381 \text{ „} \end{cases}$$

$$\text{„ } a^{II}: \frac{21,90}{1,877} \pm \frac{2,16}{1,022} = 11,668 \pm 2,113 = \begin{cases} 13,781 \text{ „} \\ 9,555 \text{ „} \end{cases}$$

$$\text{„ } a^{III}: \frac{63,88}{3,241} \pm \frac{9,80}{1,857} = 19,710 \pm 5,277 = \begin{cases} 24,987 \text{ „} \\ 14,433 \text{ „} \end{cases}$$

$$\text{„ } a^{IV}: \frac{172,78}{4,720} \pm \frac{51,95}{3,269} = 36,606 \pm 15,892 = \begin{cases} 52,498 \text{ „} \\ 20,714 \text{ „} \end{cases}$$

$$\text{„ } a^V: \frac{346,54}{14,136} \pm \frac{99,04}{13,690} = 24,689 \pm 7,234 = \begin{cases} 31,923 \text{ „} \\ 17,455 \text{ „} \end{cases}$$

$$\text{„ } a^{VI}: \frac{389,63}{15,478} \pm \frac{113,77}{14,458} = 25,173 \pm 7,869 = \begin{cases} 33,042 \text{ „} \\ 17,304 \text{ „} \end{cases}$$

$$\text{„ } a^{VII}: \frac{419,06}{18,395} \pm \frac{123,07}{17,970} = 22,781 \pm 6,849 = \begin{cases} 29,630 \text{ „} \\ 15,932 \text{ „} \end{cases}$$

$$\text{„ } a^{VIII}: \frac{564,26}{30,25} \pm \frac{157,12}{27,729} = 18,653 \pm 5,666 = \begin{cases} 24,319 \text{ „} \\ 12,987 \text{ „} \end{cases}$$

In diesen Resultaten beziehen sich die Werte des größeren Druckes (bis zu 52,5 t/qm = 5,25 kg/qcm) auf diejenige Kante, gegen welche der Schornstein geneigt ist, diejenigen des kleineren Druckes auf die entgegengesetzte Kante.

C. Der „Winddruck“ auf einen Cylinder ist gleich dem geraden Druck auf den Vertikalschnitt durch den Cylindermittelpunkt, multipliziert mit einem Faktor, dessen theoretische Größe sich aus dem Integral ergibt

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3 \varphi \, d\varphi = \frac{2}{3}$$

wobei von der geringen Neigung durch Doffierung abgesehen wird.

Beträge der Winddruck auf ein Quadratmeter senkrecht getroffener Fläche 1 t, so ist der Druck auf eine Trapezfläche, die oben eine Breite a, unten solche von A und eine Höhe h hat:

$$W = a h + (A - a) \frac{h}{2}$$

und das Moment, bezogen auf die untere Fuge, ist

$$\begin{aligned} MW &= a h \frac{h}{2} + (A - a) \frac{h}{2} \cdot \frac{h}{3} \\ &= \frac{h^2}{6} (A - 2a). \end{aligned}$$

Daraus würden sich, immer bei 1 t Winddruck pro Quadratmeter, die folgenden Momente ergeben:

in a<sup>I</sup>:  $\frac{2}{3} \cdot \frac{5,84^2}{6} (2,32 + 2 \cdot 1,93) = 23,39 \text{ tm}$

in a<sup>II</sup>:  $\frac{2}{3} \cdot \frac{10,56^2}{6} (2,64 + 2 \cdot 1,93) = 80,54 \text{ „}$

„ a<sup>III</sup>:  $\frac{2}{3} \cdot \frac{18,40^2}{6} (3,17 + 2 \cdot 1,93) = 264,45 \text{ „}$

„ a<sup>IV</sup>:  $\frac{2}{3} \cdot \frac{34,10^2}{6} (4,15 + 2 \cdot 1,93) = 1034,90 \text{ „}$

Ferner erhält man, da der Winddruck auf den Körper  $\Sigma G^{IV}$  betragen würde

$$\frac{2}{3} \cdot 34,10 \cdot \frac{4,15 \cdot 1,93}{2} = 69,11 \text{ t}$$

auf  $G^{IVa}$   $\frac{2}{3} \cdot 0,48 \cdot \frac{4,35}{70,50} = \frac{1,39}{70,50} \text{ „}$

das Moment

in a<sup>IVa</sup>:  $1034,90 + 0,48 (69,11 + \frac{1,39}{2}) = 1068,41 \text{ tm}$

„ a<sup>V</sup>:  $1068,71 + 7,50 (70,50 + \frac{1}{2} \cdot 4,40 \cdot 7,50)$   
 $= 1068,41 + 7,50 (70,50 + \frac{1}{2} \cdot 33) = 1720,91 \text{ tm}$

bei einem Gesamtwinddruck von

$$70,50 + 30 = 103,50 \text{ t}$$

in a<sup>VI</sup>:  $1720,91 + 1,74 (103,50 + \frac{1}{2} \cdot 1,74 \cdot 4,55)$

$$= 1720,91 + 1,74 (103,50 + \frac{1}{2} \cdot 7,92) = 1907,89 \text{ tm}$$

bei einem Gesamtwinddruck von

$$103,50 + 7,92 = 111,42 \text{ t}$$

in a<sup>VII</sup>:  $1907,89 + 1,0 \cdot 111,42 = 2019,31 \text{ tm}$

„ a<sup>VIII</sup>:  $2019,31 + 3,0 \cdot 111,42 = 2353,57 \text{ „}$

Beträgt aber der Winddruck auf das Quadratmeter senkrecht getroffener Fläche nicht 1 t, sondern den Bruchteil c dieser Einheit, so resultiert nach dem Vorstehenden aus dem Winddruck eine Zugenbeanspruchung

in a<sup>I</sup>:  $\frac{23,39 \text{ c}}{0,521} = \pm 44,894 \text{ c t/qm}$

„ a<sup>II</sup>:  $\frac{80,54 \text{ c}}{1,022} = \pm 78,806 \text{ c „}$

„ a<sup>III</sup>:  $\frac{264,45 \text{ c}}{1,857} = \pm 142,407 \text{ c „}$

„ a<sup>IV</sup>:  $\frac{1034,90 \text{ c}}{3,269} = \pm 316,580 \text{ c „}$

„ a<sup>V</sup>:  $\frac{1720,91 \text{ c}}{13,690} = \pm 127,706 \text{ c „}$

„ a<sup>VI</sup>:  $\frac{1907,89 \text{ c}}{14,458} = \pm 131,968 \text{ c „}$

„ a<sup>VII</sup>:  $\frac{2019,31 \text{ c}}{17,970} = \pm 112,371 \text{ c „}$

„ a<sup>VIII</sup>:  $\frac{2353,57 \text{ c}}{27,729} = \pm 84,877 \text{ c „}$

also die Gesamtbeanspruchung

in a<sup>I</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} 9,569 \pm 44,898 \text{ c tqm} \\ 7,381 \end{array} \right.$

„ a<sup>II</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} 13,781 \pm 78,806 \text{ c „} \\ 9,555 \end{array} \right.$

„ a<sup>III</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} 24,987 \pm 142,407 \text{ c „} \\ 14,433 \end{array} \right.$

„ a<sup>IV</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} 52,498 \pm 316,580 \text{ c „} \\ 20,714 \end{array} \right.$

„ a<sup>V</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} 31,923 \pm 127,706 \text{ c „} \\ 17,455 \end{array} \right.$

„ a<sup>VI</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} 33,042 \pm 131,968 \text{ c „} \\ 17,304 \end{array} \right.$

„ a<sup>VII</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} 29,630 \pm 112,371 \text{ c „} \\ 15,932 \end{array} \right.$

„ a<sup>VIII</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} 24,319 \pm 84,877 \text{ c „} \\ 12,987 \end{array} \right.$

Soll die Forderung gestellt werden, daß niemals Zugspannung in den Zugen entstehe, so ergibt sich als Grenzwert für die Windstärke c

in Fuge a<sup>I</sup>  $c = \frac{7,381}{44,894} = 0,164 (= 164 \text{ kg/qm})$

in a<sup>II</sup>  $c = \frac{9,555}{78,806} = 0,121 (= 121 \text{ „})$

„ a<sup>III</sup>  $c = \frac{14,433}{142,407} = 0,101 (= 101 \text{ „})$

„ a<sup>IV</sup>  $c = \frac{20,714}{316,580} = 0,065 (= 65 \text{ „})$

„ a<sup>V</sup>  $c = \frac{17,455}{127,706} = 0,137 (= 137 \text{ „})$

„ a<sup>VI</sup>  $c = \frac{17,304}{131,968} = 0,131 (= 131 \text{ „})$

„ a<sup>VII</sup>  $c = \frac{15,932}{112,371} = 0,142 (= 142 \text{ „})$

„ a<sup>VIII</sup>  $c = \frac{12,987}{84,877} = 0,153 (= 153 \text{ „})$

Diese strengste aller Forderungen erfüllt also der Schornstein in seiner gegenwärtigen Verfassung bis zu einem Winddruck von 65 kg pro Quadratmeter in allen Zugen.

Solcher Winddruck entspricht einer Windgeschwindigkeit von

$$\sqrt{\frac{65}{0,12248}} = 23,1 \text{ m/Sekunde,}$$

d. i. ungefähr die 1 1/2 fache Kourierzug-Geschwindigkeit, wie sie auch einem starken Orkan entspricht.

Wird dagegen eine Zugspannung bis zu 10 t/qm = 1 kg/qcm als zulässig angesehen, so ergibt sich in der Bruchfuge (a<sup>IV</sup>):

Stabilität bis zum Winddruck von

$$c = \frac{20,714 + 10}{316,580} = 0,097 (= 97 \text{ kg/qm})$$

Dies entspricht der Windgeschwindigkeit von

$$v = \sqrt{\frac{97}{0,12248}} = 28,1 \text{ m pro Sekunde,}$$

also einer Geschwindigkeit, wie sie nur in sehr seltenen Fällen beobachtet wird.

In Berlin wird von den Organen der Baupolizei gerechnet mit einem größten Winddruck von 125 kg/qm, also mit  $c = \frac{1}{8}$ .

In der Fuge a<sup>IV</sup> giebt dies eine Beanspruchung mit:

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} 52,498 \\ 20,714 \end{array} \right. \pm \frac{316,580}{8}, \\ & = \left\{ \begin{array}{l} 52,498 \\ 20,714 \end{array} \right. \pm 39,573 = \left\{ \begin{array}{l} + 90,071 \text{ t/qm} \\ - 18,859 \text{ "} \end{array} \right. \end{aligned}$$

demnach eine größte Pressung mit

$$9 \text{ kg/qcm}$$

an der Druckseite

und eine größte Zugbeanspruchung mit

$$1,89 \text{ kg/qm}$$

an der entgegengesetzten Seite.

Wenn diese Beanspruchungen bei einem neu zu erbauenden Schornsteine nicht ganz unbedenklich wären, so verschwinden die Bedenken doch sogleich bei dem Alter des Schornsteines, und um so mehr, als eine Katastrophe, wie sie dem Winddruck von 125 kg/qm entspricht — wenn überhaupt innerhalb der Grenzen der Wahrscheinlichkeit liegend — doch immer nur einen sehr kleinen Zeitraum umfassen würde, währenddessen die Zerstörung des Schornsteines nicht zu erwarten ist, da dies eine innere Arbeit erfordert, die einer ungleich längeren Zeit zu ihrer Vollendung bedarf.

Es kann hiernach nicht als wahrscheinlich erachtet werden, daß den Schornstein, seiner schiefen Stellung ungeachtet, eine ernste Gefahr bedrohe.

Lediglich um ein höheres Maß von Zuversicht dieser etwaigen Gefahr wegen zu gewähren, wird noch kurz darauf hingewiesen, daß man sich — selbst bei Behörden — gewöhnlich mit einem viel einfacheren Stabilitätsnachweis begnügt, nämlich mit dem Nachweis, daß das Angriffsmoment aus dem Winddruck und (im vorliegenden Falle) der schiefen Stellung mindestens hinter dem Stabilitätsmoment zurückbleiben, wobei allerdings — behufs Korrektur dieser unzulänglichen Prüfung — ein viel bedeutenderer Winddruck, als er thatsächlich zu erwarten ist, der Prüfung unterstellt wird.

Wird das Stabilitätsmoment andererseits um die aus der Excentricität sich ergebende Beanspruchung gekürzt, so bleibt ein Widerstandsmoment von — und zwar in der Bruchfuge —

$$M = \frac{4,15}{2} \cdot 172,78 - 51,95 = 306,57 \text{ tm.}$$

Das Moment des Windes in derselben Fuge ist dagegen:

$$M = 1034,90 \text{ c tm.}$$

Soll nun das erstere Moment stets das zweite übertreffen, so muß sein

$$c \leq \frac{306,57}{1034,9} = 0,296$$

also ein Winddruck bis zu 296 kg/qm erfüllt diese Bedingung in der Bruchfuge und in allen übrigen Fugen würde nach derselben Anschauung sich ein noch viel größerer Winddruck als zulässig ergeben.

Es ist nunmehr der Druck auf den Baugrund zu prüfen.

$$\text{Für } c = \frac{1}{8} \text{ (125 kg Winddruck pro Quadratmeter)}$$

resultiert nach dem Vorstehenden ein Druck auf den Baugrund von

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} 24,319 \\ 12,967 \end{array} \right. \pm \frac{84,877}{8} = \left\{ \begin{array}{l} 24,319 \\ 12,967 \end{array} \right. \pm 10,610 = \\ & = \left\{ \begin{array}{l} + 34,919 \text{ t/qm.} \\ + 2,377 \text{ "} \end{array} \right. \end{aligned}$$

Nach baupolizeilicher Vorschrift gilt hierorts ein Druck von 2,5 kg/qcm = 25 t/qm als zulässig und es darf auch wohl nicht mit Unrecht angenommen werden, daß bei Anlage der Fundamente des aus dem Lot gewichenen Schornsteines der Druck auf den Baugrund nicht gebührend berücksichtigt und die Fundamente demgemäß nicht entsprechend verbreitert worden sind. Vielleicht liegt darin die Hauptursache der eingetretenen schiefen Stellung.<sup>1)</sup> Wenn nun aber schon seit langer Zeit eine Vergrößerung der Neigung nicht wahrgenommen werden konnte, so ist die Annahme berechtigt, daß der Baugrund sich im Laufe der Zeit derart festgesetzt hat, daß — trotz der starken Belastung — ein weiteres Ausweichen nicht mehr zu befürchten ist und dies um so mehr, da Bedacht genommen worden ist, daß der Boden nicht unterwachsen werden kann.

Die Stabilität des Schornsteines läßt sich hiernach nicht bezweifeln, auch ist die für die Berechnung gewählte Windrichtung (von Norden nach Süden) die denkbar ungünstigste. In Wirklichkeit wird sich der Winddruck darum geringer herausstellen, weil der Wind meistens in einer gegen den Horizont geneigten Richtung, d. h. „schräg“ einfällt.

1) Neuerdings ist der Schornstein abgetragen worden; das Fundament wurde ganz intakt vorgefunden. Dasselbe ruhte auf einer 1,0 m hohen Sandschüttung und unter dieser befand sich erdige Braunkohle. Die Sandschüttung hat aber die Fundamentsohle nur um ein geringes Maß überragt und demzufolge war die Druckverteilung auf die darunter gelagerte Braunkohle eine ungleichförmige.