

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 107/108 (1936)
Heft: 3

Artikel: Der Winddruck auf Schornsteine mit Kreisquerschnitt
Autor: Ackeret, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-48331>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Der Winddruck auf Schornsteine mit Kreisquerschnitt. — Steuermanns *n*-freie Methode zur Berechnung von Eisenbetonkonstruktionen. — Berechnung geschweisster Verbindungen. — Bauverweigerung und Baubewilligung. — Mitteilungen: Deichbauten am Huang-Ho. Der Verbrennungsvorgang in Oelfeuerungen. Der Schweizerische Kulturingenieur-Verein. Bund Schweizer Architekten. Kohle-Druckmessdose zum Messen von Umfangskräften. Das Einfahren von Lokomotiven in Gleis-

bogen. Generalversammlung des S. E. V. und des V. S. E. Eidg. Technische Hochschule. Die Staustufe Vrané an der Moldau. Arbeitsbeschaffung für Techniker in Persien. Architektur und Stadtbau in Algerien. Preisausschreiben über Leimverwendung. — Wettbewerbe: Kathol. Kirche Schönenwerd. Krankenhaus-Erweiterungsbau in Baden. — Nekrologe: Paul Simons. Carl Spinnler. Gerald Fitz-Gibbon. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

Band 108

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 3

Der Winddruck auf Schornsteine mit Kreisquerschnitt.

Von Prof. Dr. J. ACKERET, Institut für Aerodynamik, E. T. H., Zürich.

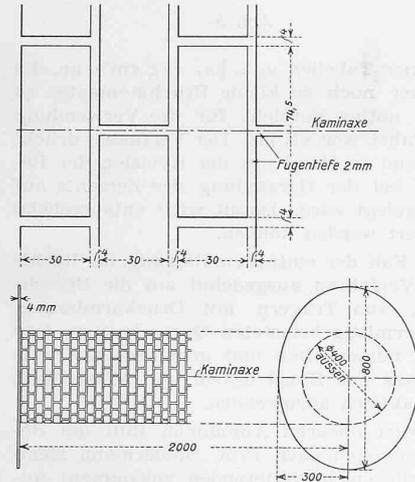


Abb. 1. Kaminmodell mit Randscheiben.

ren so der Abschirmung und sind den stärkern Windströmungen in einigem Abstand vom Boden ausgesetzt, reichen also aus der stark gebremsten Boden-Windschicht heraus.

Wie immer trennt sich die Aufgabe in zwei Teile, erstens in die Ermittlung der tatsächlich vorkommenden Windgeschwindigkeiten, zweitens in die Bestimmung der bei gegebener Windstärke am Gegenstand angreifenden Kräfte. Mit der ersten Frage hat sich die Meteorologie zu befassen, mit der zweiten Frage die Aerodynamik.

Seit man die Windkräfte in Windkanälen genau messen kann, liegt es nahe, die dort gewonnenen Zahlen für die Bauvorschriften zu verwenden. Geht man etwa aus von den bekannten Ergebnissen an glatten Zylindern¹⁾, so ergeben sich bei Beachtung des Aehnlichkeitsgesetzes, also für gleiche Reynolds'sche Zahlen $Re = \frac{v d}{\nu}$ (v = Windgeschwindigkeit in m/sec, d = Durchmesser des betrachteten Stückes in m, ν = kinematische Zähigkeit der Luft in m²/sec), sehr kleine Luftkräfte. Für $v = 40$ m/sec entsprechend einem Staudruck $q = \frac{\gamma}{2g} v^2$ von rd. 100 kg/m² würde pro m² Projektionsfläche (F_p) ein Summenwinddruck von nur 30 kg vorhanden sein.

Es ist verständlich, wenn die für die Bauvorschriften Verantwortlichen nicht ohne weiteres geneigt sind, so tief herunterzugehen, und in der Tat ergibt eine genauere Prüfung, dass die Berücksichtigung weiterer Umstände wieder zu höheren Werten führt.

Die schon erwähnten Windkanalmessungen sind an Zylindern mit sehr glatter Oberfläche vorgenommen worden. Bei kleinen Reynolds'schen Zahlen ist zwar der Widerstandsbeiwert

$$c_w = \frac{W}{q F_p}$$

ziemlich hoch, sinkt aber über einem (in der Praxis aber fast immer überschrittenen) Wert von $Re = 300\,000$ stark ab auf die genannten niedrigen Werte ($c_w = 0,3$). Wären die praktisch vorhandenen Schornsteine ebenso glatt wie die Versuchszylinder, so könnte diese Zahl verwendet werden, tatsächlich ist aber der Rauheitsgrad des Schornsteins durchaus nicht vernachlässigbar.

Nun liegen über den Einfluss der Rauigkeit bei Zylindern zwar einige Ergebnisse vor²⁾, doch liegen die untersuchten Re -Zahlen zu tief (unter 300 000). Durch die verständnisvolle Mitwirkung der Zürcher Baupolizei und einer hiesigen Schornstein-Firma war es möglich, in unserem Institut Versuche in genügend

¹⁾ Siehe z. B. Ergebnisse der Aerod. Versuchsanstalt zu Göttingen. II. Lieferung, Seite 23 u. f. München 1923.

²⁾ Siehe z. B. Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 4, II. Teil, S. 319 (Leipzig 1932).

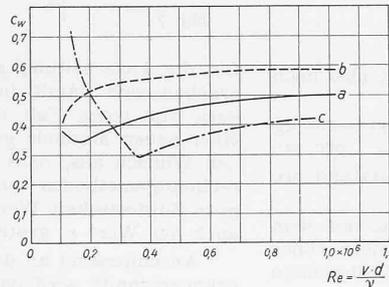


Abb. 3. Ergebnisse der Untersuchung. Widerstandsbeiwerte in Abhängigkeit von der Reynolds'schen Zahl.

Zu den durch Winddruck besonders gefährdeten Bauwerken gehören die Fabrik-schornsteine. Sie überragen die umliegenden Bauten, entbeh-

ren so der Abschirmung und sind den stärkern Windströmungen in einigem Abstand vom Boden ausgesetzt, reichen also aus der stark gebremsten Boden-Windschicht heraus. Wie immer trennt sich die Aufgabe in zwei Teile, erstens in die Ermittlung der tatsächlich vorkommenden Windgeschwindigkeiten, zweitens in die Bestimmung der bei gegebener Windstärke am Gegenstand angreifenden Kräfte. Mit der ersten Frage hat sich die Meteorologie zu befassen, mit der zweiten Frage die Aerodynamik. Seit man die Windkräfte in Windkanälen genau messen kann, liegt es nahe, die dort gewonnenen Zahlen für die Bauvorschriften zu verwenden. Geht man etwa aus von den bekannten Ergebnissen an glatten Zylindern¹⁾, so ergeben sich bei Beachtung des Aehnlichkeitsgesetzes, also für gleiche Reynolds'sche Zahlen $Re = \frac{v d}{\nu}$ (v = Windgeschwindigkeit in m/sec, d = Durchmesser des betrachteten Stückes in m, ν = kinematische Zähigkeit der Luft in m²/sec), sehr kleine Luftkräfte. Für $v = 40$ m/sec entsprechend einem Staudruck $q = \frac{\gamma}{2g} v^2$ von rd. 100 kg/m² würde pro m² Projektionsfläche (F_p) ein Summenwinddruck von nur 30 kg vorhanden sein. Es ist verständlich, wenn die für die Bauvorschriften Verantwortlichen nicht ohne weiteres geneigt sind, so tief herunterzugehen, und in der Tat ergibt eine genauere Prüfung, dass die Berücksichtigung weiterer Umstände wieder zu höheren Werten führt. Die schon erwähnten Windkanalmessungen sind an Zylindern mit sehr glatter Oberfläche vorgenommen worden. Bei kleinen Reynolds'schen Zahlen ist zwar der Widerstandsbeiwert

ziemlich hoch, sinkt aber über einem (in der Praxis aber fast immer überschrittenen) Wert von $Re = 300\,000$ stark ab auf die genannten niedrigen Werte ($c_w = 0,3$). Wären die praktisch vorhandenen Schornsteine ebenso glatt wie die Versuchszylinder, so könnte diese Zahl verwendet werden, tatsächlich ist aber der Rauheitsgrad des Schornsteins durchaus nicht vernachlässigbar. Nun liegen über den Einfluss der Rauigkeit bei Zylindern zwar einige Ergebnisse vor²⁾, doch liegen die untersuchten Re -Zahlen zu tief (unter 300 000). Durch die verständnisvolle Mitwirkung der Zürcher Baupolizei und einer hiesigen Schornstein-Firma war es möglich, in unserem Institut Versuche in genügend

1. Die Oberflächenbeschaffenheit ist von bedeutendem Einfluss.
2. Die Rauigkeit bewirkt ein Vorverlegen der kritischen Reynolds'schen Zahl, dort ist der Widerstand ein Minimum und steigt mit wachsendem Re an, um sich einem festen Wert zu nähern.

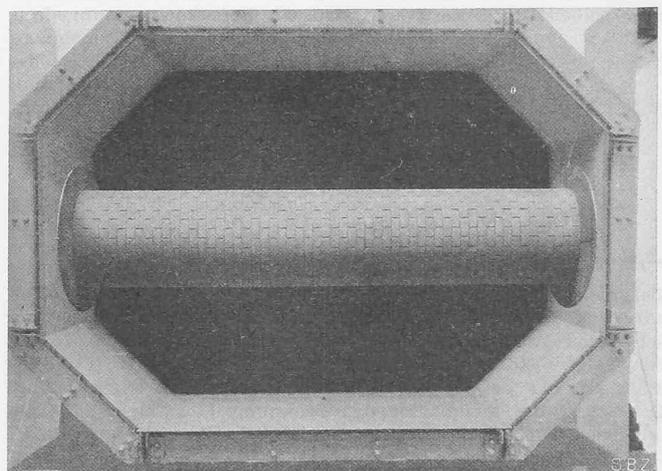


Abb. 2. Aufhängung des Modells im Windkanal der E. T. H.

grossen Masstab und mit sehr genau ähnlichen Modellen auszuführen. Abb. 1 gibt die Abmessungen des untersuchten Zylinderstückes (Holzmodell), das entsprechend der üblichen Bauart die einzelnen Steine reproduziert und auch die Fugen nach Tiefe und Breite wiedergibt. Gemessen wurde der Gesamtwiderstand bei normaler Anblasung mit verschiedenen Geschwindigkeiten.

Besondere Aufmerksamkeit musste dem Einfluss der freien Enden geschenkt werden, die dadurch widerstandsvermindernd wirken, dass dort Luft in den Unterdruckraum der Leeseite und der Aequatorgegend strömt. Beim glatten Zylinder wurde im Bereich geringer Re -Zahlen bei einem Zylinder mit dem Dicken-Längenverhältnis 1 : 5 (wie in unserem Fall) eine Reduktion des Widerstandswertes um rd. 25 % gegenüber dem unendlich langen Zylinder gefunden. Im überkritischen Bereich $Re > 400\,000$ ist der Unterschied sehr klein, was eben damit zusammenhängt, dass der Sog dort sehr viel geringer ist. Um aber die Verhältnisse der Wirklichkeit möglichst anzupassen, wurde der Modellzylinder mit elliptischen Endscheiben (in Abb. 1 gezeichnet) versehen, die einen unmittelbaren Druckausgleich weitgehend verhindern. Die Scheiben überranden an den Stellen den Zylinder am stärksten, wo der tiefste Unterdruck zu erwarten ist. Der geringe Eigenwiderstand der Scheiben wurde, wie der Widerstand der Aufhängedrähte, gesondert gemessen und abgezogen. Abb. 2 zeigt eine Aufnahme des Zylinders in der offenen Messtrecke vom Luftquerschnitt $3 \times 2,1$ m.

Untersucht wurden die Oberflächenbeschaffenheiten: a) Zylinder mit Fugen 4 mm breit, 2 mm tief in der gezeichneten Anordnung (Abb. 1), Steinoberfläche glatt. b) Desgleichen, aber Steine mit Sandkörnern von 1 + 2 mm Durchmesser in grossen Abständen etwas rau gemacht, entsprechend etwa einem wenig sorgfältigen Verputz, oder einer starken Verschmutzung. c) Fugen mit Gips aufgefüllt, sorgfältig verstrichen, Oberfläche nach Möglichkeit geglättet und lackiert. Der so erreichte Oberflächenzustand lässt sich aber noch nicht mit einem sorgfältig abgedrehten Rohr vergleichen, der Querschnitt war nicht mit der gleichen Genauigkeit kreisförmig. In Abb. 3 sind nun die Widerstandswerte c_w in Abhängigkeit von der Reynolds'schen Zahl aufgetragen. Es zeigt sich Folgendes:

1. Die Oberflächenbeschaffenheit ist von bedeutendem Einfluss.
2. Die Rauigkeit bewirkt ein Vorverlegen der kritischen Reynolds'schen Zahl, dort ist der Widerstand ein Minimum und steigt mit wachsendem Re an, um sich einem festen Wert zu nähern.

3. Diese c_w -Grenzwerte dürften bei $Re = 10^6$ praktisch erreicht sein und betragen

- für den Zustand a: $c_w = 0,50$
- für den Zustand b: $c_w = 0,59$
- für den Zustand c: $c_w = 0,42$,

welche Werte vor allem für die Praxis in Betracht kommen. c_w hängt dann nicht mehr von v ab, es herrscht also ein genau quadratisches Widerstandsgesetz.

Nehmen wir als Beispiel folgenden Fall:

$d = 1,5$ m, $v = 50$ m/sec (180 km/h),
 $\gamma = 1,2$ kg/m³, $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ m²/sec.

Dann ist zunächst: $Re = \frac{50 \cdot 1,5}{15} \cdot 10^6 = 5 \cdot 10^6$, also hoch

überkritisch. Der Staudruck $\frac{\gamma}{2g} \cdot v^2$ ist $\frac{1,2}{2 \cdot 9,81} \cdot 2500 = 153$ kg pro m².

Zustand a) angenommen ist $c_w = 0,50$, also Widerstand pro m² Projektionsfläche: $153 \cdot 0,5 = 76,5$ kg/m².

Für die praktische Verwendung wird man nicht mit dem tiefsten Wert (0,42) rechnen dürfen. Eher wird man noch höher als 0,50 gehen, um Verschmutzung, Verwitterung, Ausbröckeln zu berücksichtigen. Erleichternd wirkt die Belüftung am oberen Ende, erschwerend vielleicht der Winddruck auf das oberste Innenstück des Schornsteins. Genauere Untersuchung vorbehalten, wird man diese Einflüsse als ungefähr sich aufhebend betrachten können und für das ganze Bauwerk mit einer festen Widerstandszahl rechnen. Stets ist zu bemerken, dass die Beanspruchung durch den Wind auch bei ganz gleichförmigem Blasen infolge der wechselnden Wirbelablösung auf der Leeseite pulsierend ist. Die mitgeteilten Zahlen sind die zeitlichen Mittelwerte.

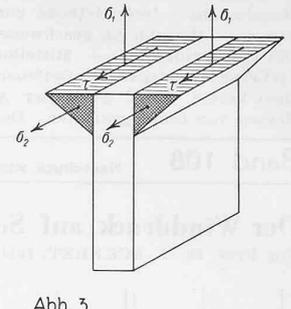
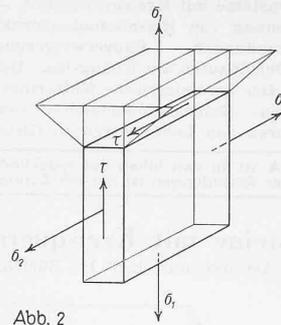
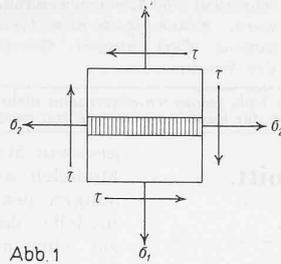
Steuermanns n-freie Methode zur Berechnung von Eisenbetonkonstruktionen.

In den letzten Jahren gewinnt die Auffassung immer mehr an Boden, dass die Berechnung von Eisenbetonquerschnitten nach der üblichen Methode (mit fester Zahl n) den tatsächlichen Verhältnissen nicht entspricht. Die oft umständlichen Berechnungen (insbesondere bei Biegung mit Normalkraft) können, wegen der zu starken Abweichungen von den Versuchsergebnissen, nicht gerechtfertigt werden. Prof. M. Steuermann (Moskau) macht einen konkreten Vorschlag für eine neue und einfache Berechnungsart¹⁾ mit dem Ziel, einem einheitlichen Sicherheitsgrad gegenüber dem Bruchzustand und einer besseren Ausnutzungsmöglichkeit der Materialien (Beton und Eisen gleichzeitig) näherzukommen.

Ist der Sicherheitsgrad gewählt, so braucht nur der Bruchzustand untersucht zu werden. Die Kenntnis der Spannungen unter der zulässigen Last ist nicht von Bedeutung. Das Hooke'sche Gesetz ist natürlich im Bruchzustand nicht mehr gültig. Die Plastizität der Materialien spielt eine Rolle, so dass vor der Zerstörung die Streckgrenze des Eisens und die Quetschgrenze des Betons erreicht werden. Die Kenntnis dieser Werte ist erforderlich; dafür scheidet aber die Zahl n gänzlich aus der Rechnung aus.

Die dreieckförmige Verteilung der Betondruckspannungen wird beibehalten. Ausserdem wird ein Betonzugspannungsdreieck zwischen der Nulllinie und der Eiseneinlage eingeführt. Es ist bekannt, dass die Versuchsbruchlasten für Balken bedeutend grösser sind, als die berechneten Bruchlasten mit nur dreieckförmiger Betondruckspannung und Belastung des Eisens bis zur Fließgrenze. Die Begleitumstände dieser Erscheinung sind heute noch Gegenstand genauer Forschungen. Der Ansatz des Zugspannungsdreiecks von Prof. Steuermann soll nicht ein Bild des tatsächlichen Spannungsverlaufes zeigen, sondern nur die entsprechende Vergrößerung des gerechneten Moments erbringen. Dadurch wird eine überschüssige Tragkraft rechnerisch erfasst, die bei schwacher Armierung sehr gross ist und bei starker Armierung viel kleiner ausfällt. Der Sicherheitsfaktor wird gleichmässiger als bei den Berechnungen ohne Betonzugspannung. Die Grösse der anzunehmenden Spannung σ_s ist nicht identisch mit der Bruchspannung eines Zugkörpers. Steuermann nimmt

1) «Neue Methode zur Berechnung von Eisenbetonkonstruktionen». Von Prof. M. Steuermann. 3. Ausgabe, 159 Seiten (russisch). Moskau 1935, Verlag Pischtschepromisdat. Preis geb. 3,50 Rubel.



für die Ausarbeitung seiner Tabellen $\sigma_s = \sqrt{\sigma_d}$ (kg cm²) an. Es ergeben sich damit immer noch zu kleine Bruchmomente, so dass auf jeden Fall die nötige Vorsicht für die Verwendung einer neuen Methode gewahrt worden ist. Der Verfasser drückt den Wunsch aus, dass Hand in Hand mit der Revision der Berechnungsmethoden auch bei der Herstellung des Zementes auf gute Zugfestigkeit Wert gelegt wird. Damit wird entsprechend auch der Wert σ_s gesteigert werden können.

Anschliessend an den Fall der einfachen Biegung im Rechteckquerschnitt wird das Verfahren ausgedehnt auf die Berechnung von Plattenbalken, von Trägern mit Druckarmierung, von Säulen und von aussermittig belasteten Querschnitten. Das Buch ist mit zahlreichen numerischen und graphischen Tabellen vervollständigt, so dass der Konstrukteur die Möglichkeit hat, die neue Methode praktisch anzuwenden.

Trotz der vereinfachten linearen Annahmen fällt die Resultierende der Betonspannungen nach Prof. Steuermann ziemlich genau mit der wirklichen Resultierenden zusammen: anhand vieler Beispiele wird die Uebereinstimmung der Rechnung mit Versuchsergebnissen nachgewiesen. — Die Frage des wirklichen Sicherheitsgrades der verschiedenen Konstruktionsteile wird immer sorgfältig analysiert. Dabei enthält das Buch, abgesehen vom zahlenmässigen Berechnungsgang, eine Anzahl Anregungen, die für jeden Praktiker sehr interessant sind.

Der ganze Text zeichnet sich durch Einfachheit und Klarheit der Ableitungen aus. Besondere Aufmerksamkeit schenkt der Autor der Frage der wirtschaftlichen Bemessung. Die «Neue Methode» lässt dem entwerfenden Ingenieur viel mehr Freiheit als die bisherige Methode mit festem n, und erlaubt deshalb eine «wirtschaftliche Lösung» unter gleichzeitiger Ausnutzung der Materialsparungen. — In deutscher Sprache sind in «Beton & Eisen» folgende Artikel erschienen, die die «Neue Methode» behandeln: S. Steuermann, «Das Widerstandsmoment», 1933, Heft 4 u. 5, sowie Diskussion, 1934, Heft 2; M. Steuermann, «Zur Frage der Bemessung», 1934, Heft 17; M. Steuermann, «Wirtschaftliche Bemessung»... , 1935, Heft 3. Ferner ist im «Bauingenieur» 1935, Heft 5 u. 6, erschienen: M. Steuermann, «Bemessung der aussenmittig belasteten Eisenbetonquerschnitte». Dipl. Ing. A. Moser, Bern.

Berechnung geschweisster Verbindungen.

Von Dipl. Ing. ANTON EICHINGER, Wiss. Mitarbeiter der EMPA, Zürich.

Die Eidgenössische Stahlbau-Verordnung vom 14. Mai 1935 gibt in Art. 62 die zulässigen Spannungen nur für eine Hauptbeanspruchungsrichtung an und lässt das Berechnungsverfahren im Falle eines allgemeinen Spannungszustandes frei. Gestützt auf eigene statische und Ermüdungsversuche schlug die Eidg. Materialprüfungsanstalt Zürich in ihrem Bericht Nr. 86 vom März 1935 (s. auch «Schweizer Archiv», 1935, Nr. 3 u. 5; 1936, Nr. 5) eine Ergänzung vor, die hier an einem Beispiel erläutert werden soll.

Zulässige Spannungen. Die Verhältniszahlen α der zulässigen Spannung für die Schweissverbindung zu jener für die Nietung betragen:

	Zug		Druck		Schub α
	zur Naht α_1	zur Naht α_2	zur Naht α_1	zur Naht α_2	
Stumpfnahat ungeglüht (Abb. 1)	0,7	0,85	1	1	1
Kehlnahat-Einbrandzone (Abb. 2)	0,6	0,85	0,9	1	0,93
Kehlnahat-Bindefläche (Abb. 3)	0,35	0,85	0,5	1	0,71