

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 15/16 (1890)
Heft: 21

Artikel: Untersuchungen über die Zugfestigkeit von Beton
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-16411>

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: 20.02.2026

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

INHALT: Untersuchungen über die Zugfestigkeit von Beton. — Neueres über Druckluft-Anlagen. — Rede bei der Trauerfeierlichkeit für Prof. Dr. Heinrich Schneebeli. — Preisausschreiben: Der Verein deutscher Eisenbahn-Verwaltungen. — Miscellanea: Electricitätswerk in Cöln. Versuche über den Bewegungswiderstand der Dampfstrassenwalzen.

Gefahr der electrischen Leitungen. Beobachtungen über die Erschütterungen der Gebäude durch Dampfmaschinen. — Concurrenzen: Edifice de Rumine. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studirender der eidgen. polytechnischen Schule in Zürich. Stellenvermittlung.

Untersuchungen über die Zugfestigkeit von Beton

sind im Winter 1888/89 zu Ymuiden (Holland) in grosser Zahl und mit bedeutender Sorgfalt ausgeführt worden, und deren Ergebnisse dürften wichtig genug sein, um hier im Anschluss an einen Auszug, den die Wochenschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins vom 4. April der holländischen Zeitschrift „De Ingenieur“ entnimmt kurz angeführt zu werden. Denn wenn man ja auch nach unserer Ansicht bei Betonbauten, wie bei Mauerwerk im Allgemeinen, nicht auf Zugfestigkeit rechnen, die Dimensionirung vielmehr wo immer möglich so vornehmen soll, dass keine Zugspannungen auftreten können, so ist es doch sehr oft von grossem Werth zu wissen, bis zu welchem Betrag ein Bauwerk eintretenden Falls Zugspannungen aufzunehmen im Stande ist oder war; überdies giebt es Bauformen, bei welchen sich Zugspannungen überhaupt nicht vermeiden lassen, wie ringförmige Gasometerbassin, wie solche schon mehrfach in Beton ausgeführt wurden, ja es treten auch bei rechteckigen oder polygonal geformten Wassersammlern Zugspannungen auf, nämlich in den Kanten zusammenstossender Wände, falls nicht die Vorsicht beobachtet wird, an diesen Stellen Strebepeile aufzuführen.

Die Versuche waren keine directen Zerreissversuche; es wurden vielmehr Blöcke von 1 m Länge, 0,2 m Breite und 0,2 m Höhe, welche erst 5 Tage an der freien Luft und darnach 120 Tage im Düdensand gelegen hatten, an ihren beiden Enden frei aufgelagert und durch Belasten in der Mitte zum Bruch gebracht. Die Spannung bestimmt sich im Allgemeinen bei den auf Biegen beanspruchten Körpern bekanntlich aus $\sigma = \frac{M_e}{J}$, wo M das Moment der äussern Kräfte, e den Abstand der äussersten Faser von der Schwerpunktsachse und J das Trägheitsmoment der Querschnittsfäche bedeutet. Doch war diese Formel hier nicht mehr direct anwendbar, weil die Bruchfestigkeit bei Beton für Zug und Druck verschieden ist. Mit Berücksichtigung einer theoretischen Entwicklung in Weisbach's Mechanik wurde in erster Linie aus Zug- und Biegungsversuchen mit 672 Balken von 68 verschiedenen Zusammensetzungen eine Erfahrungszahl bestimmt, welche die Benutzung obiger einfachen Formel wieder ermöglicht. Diese Erfahrungszahl fand sich im Mittel zu 2,5368, und es berechnet sich mit dieser die Zugspannung in der untersten Faser beim Bruch für einen rechteckigen Querschnitt von der Breite b und der Höhe h , wenn die Stützweite mit l , die Entfernung des Bruchpunktes vom nächstgelegenen Auflager mit x , das Moment der äussern Kraft für diesen Punkt mit M_x bezeichnet wird, zu

$$\sigma_b = 2,5368 \cdot \frac{M_x}{b h^2} \text{ und}$$

ebenso die gleichzeitig auftretende Zugspannung der äussersten Faser in der Brückenmitte zu

$$\sigma_m = 2,5368 \cdot \frac{M}{b h^2}.$$

Der Werth von M ist im ersten Fall bekanntlich, wenn mit P kg die Einzellast in der Mitte und mit q kg/cm² das Eigengewicht bezeichnet wird, $= \frac{1}{2} P x + \frac{1}{2} q x (l-x)$ und im zweiten Fall $= \frac{1}{4} P l + \frac{1}{8} q l^2$; die Möglichkeit war also gegeben, aus den Biegeversuchen die Bruchspannung der gezogenen untern Faser zu ermitteln.

Die Versuche beschränkten sich aber durchaus nicht auf die Bestimmung der Bruchbeanspruchung und deren Abhängigkeit von den verschiedenen Zusammensetzungen, sowohl hinsichtlich des Bindemittels als des Zuschlages, es wurden vielmehr auch die specifischen Gewichte und

die Herstellungskosten pro Cubikmeter ermittelt, erstmals namentlich, um die für Hafenbauten günstigsten d. h. schwersten Sorten herauszufinden. Es ist nicht möglich, hier die ausführlichen Tabellen mitzutheilen; wir beschränken uns deshalb auf die Wiedergabe von Mittelwerthen.

Eigengewicht.

Dieses zeigt sich naturgemäss abhängig sowohl von der verwendeten Steinart als von der Grösse der einzelnen Stücke. Die folgende kleine Zusammenstellung gibt Aufschluss über diese Verhältnisse:

Grösse der Steinstücke in cm	Granit	Klinker	Kieselsteine
4	2,235	1,988	2,250
2	2,203	2,025	2,228
1	2,176	1,991	2,224
1—4	2,224	2,002	2,261

Zugfestigkeit und Preis in Abhängigkeit von den Mischungsverhältnissen. Die Preise beziehen sich natürlich auf den Herstellungsort und haben daher für andere Gegenden in erster Linie nur den Werth von Relativzahlen für die Kostenvergleichung der aus verschiedenen Materialien und in verschiedenen Mengenverhältnissen gemischten Betonarten. Mit Berücksichtigung der folgenden Material- und Arbeitspreise wird dagegen auch eine absolute Vergleichung einigermassen möglich. Diese stellen sich für Ymuiden wie folgt:

Portlandcement	Fr. 46,80 für 1000 kg	frei Ymuiden	
Flusssand	.. 2,33 .. 1 m ³		
zerschlag. Klinker	.. 8,50 .. 1 m ³		
„ Granitsteine	.. 12,75 .. 1 m ³		
Kieselsteine	.. 4,70 .. 1 m ³	einschl. Ausl.	
Arbeitslohn	.. 5,10 ..		

Die Kosten für den gemischten Beton sind die Selbstkosten und unter der Voraussetzung berechnet, dass 13 m³ trockenes Material 9 m³ Beton liefern. Die folgende Tabelle enthält die Zusammenstellung der Mittelwerthe:

Masstheile		Kosten für 1 m ³ Beton			Zugfestigkeit in kg auf 1 cm ²		
Mörtel	Stein	Granit	Klinker	Kieselsteine	Granit	Klinker	Kieselsteine
Cement	Sand		Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
2	3	5	34,45	31,50	28,60	12,30	10,90
1½	3½	5	29,80	26,80	23,90	7,66	8,20
1¼	3¾	5	27,00	24,20	21,60	7,04	6,75

Die Kosten steigen natürlich mit der Zunahme des Cementes im Beton, gleichzeitig wächst aber auch die Zugkraft und zwar, wenn man von 1½ Theilen Cement auf 2 Theile übergeht,

- um 75% bei Granitbeton,
- um 63% bei Klinkerbeton und
- um 20% bei Kieselbeton,

in andern Worten ausgedrückt: Es kostet die Zunahme der Zugkraft um 1 kg bei

Granitbeton	Fr. 1,25.
Klinkerbeton	„ 1,64.
Kieselsteinbeton	„ 3,25.

Es folgt hierauf zweierlei, nämlich erstens, dass man für einen zugkräftigen Beton in erster Linie harte natürliche Steine mit rauher Oberfläche wählen muss, wie Granit, dass aber in dieser Hinsicht auch Klinkerbeton noch solchem aus Kieselsteinen vorzuziehen ist; zweitens aber, dass, wenn es weniger auf die Zugfestigkeit als auf den Preis ankommt, nur durch Verwendung von Kieselsteinbeton namhafte Preisreduktionen zu erzielen sind.

Einfluss der Grösse der Steinstücke auf die Zugfestigkeit des Betons. Beim Granitbeton lässt sich keine andere Abhängigkeit erkennen, als dass solcher aus ungleich grossen

Stücken mehr Zugfestigkeit besitzt als solcher aus gleich grossen Stücken.

Beim Klinkerbeton nimmt die Stärke desselben etwas weniges zu, wenn die Stücke kleiner genommen werden; immer aber ist umgekehrt wie beim Granitbeton die Zugfestigkeit bei ungleich grossen Stücken bedeutend geringer als bei gleich grossen.

Beim Kieselsteinbeton nimmt die Zugfestigkeit wieder zu mit abnehmender Grösse der Gesteinsbrocken, zugleich aber auch mit ungleicher Grösse derselben, ähnlich wie beim Granitbeton.

Klinkermauerwerk. Nächträchtig wurden auch mit in Cementmörtel verl. Klinkermauerwerk einige Versuche vorgenommen. Es wurden sechs Blöcke hergestellt, ein Stein breit und 4 Schichten hoch; je zweie wurden mit der nämlichen Mörtelmischung aufgebaut. Die mittleren Gewichte und Zugfestigkeiten der 110 Tage alten Blöcke betragen:

Nr. des Blockes	Zusammen-setzung des Mörtels,	Gewicht	Zugfestig-keit kg/cm ²
	Cement Sand		
1 u. 2	2 3	1,975	6,95
3 u. 4	1 1/2 3 1/2	1,936	6,2
5 u. 6	1 1/4 3 3/4	1,955	5,85

Die Zugfestigkeit der Klinker betrug nicht mehr als 7 kg/cm², folglich konnte auch diejenige des Mauerwerkes nicht grösser werden; ja bei den Blöcken 1 und 2 liefen die Risse grösstentheils durch die Steine, so dass also die Mörtelmischungen mit weniger Cement genügen.

Zuverlässigkeit der Versuchsergebnisse. Die Versuche sind nicht als Laboratoriums-Versuche aufzufassen; die Betonblöcke waren nicht mit grösser Sorgfalt bereitet worden; Löcher von 2 bis 3 mm Durchmesser kamen oft vor und es schwankten die Festigkeitszahlen zwischen zwei gleich zusammengesetzten Blöcken oft ziemlich bedeutend, in einem Fall bis zu 30%. Wenn hiernach den gefundenen Mittelwerthen für den einzelnen Fall keine sehr grosse Zuverlässigkeit und Genauigkeit zukommt, so ist es um so eher zulässig, dieselben für die Beurtheilung der Zugsfestigkeit von unter gewöhnlichen Verhältnissen hergestellten Betonbauten zu Rathe zu ziehen. Natürlich ist dabei immer noch grosse Vorsicht geboten und es muss vor Allem aus die Gewissheit vorhanden sein, dass das betreffende Baustück durchaus ohne Risse ist; unter diesen Bedingungen aber können die obigen Versuchszahlen gegebenen Falls sehr werthvolle Anhaltspunkte liefern, sowohl bei der Beurtheilung bestehender Bauwerke, als auch wenn es sich um die Neuherstellung solcher handelt und man hiebei einen billigeren Beton von geringerer oder aber gegentheils einen solchen von grösserer Zugfestigkeit zu verwenden wünscht.

Zum Schluss wollen wir noch darauf aufmerksam machen, dass die für die Berechnung der Bruchspannung gegebene Formel direct verwendet werden kann, um die Tragfähigkeit von Betonplatten rechteckigen Querschnittes zu ermitteln, falls man in die Lage käme, solche zu Abdækungen irgend welcher Art verwenden zu müssen.

Neueres über Druckluft-Anlagen.

Wie wir früher schon erwähnt haben, hat sich unter der Firma: „Internationale Druckluft- und Electricitäts-Gesellschaft“ in Berlin eine Gesellschaft mit einem Grundkapital von 37½ Millionen Franken gebildet. Dieselbe will sich vornehmlich mit der Nutzbarmachung von Druckluft und Electricität nach den von Ingenieur V. Popp erworbenen und noch zu erwerbenden Patenten befassen.

Inzwischen dauert in den Fachzeitschriften der Streit für und wider die Druckluft als Kraftübertragerin und ihre Vor- und Nachtheile gegenüber der Electricität fort. Gegen die freilich manchmal etwas eigenthümlichen Vorwürfe der Electrotechniker verwahrt sich der Oberingenieur obgenannter Gesellschaft, Arth. Ehrenfest, in einer Zuschrift an die Redaction von Glasers Annalen, welche in ihrer Nr. 7 vom 1. April d. J. die Kraftübertragung mittels Druckluft sehr ungünstig kritisirt hatten, indem die Leistungsfähigkeit

einer im „American Institute of Mining Engineers“ zu Buffalo besprochenen Kraftübertragung mittels Druckluft dazu benutzt und als Beispiel herangezogen wurde. Es ist diese der Chapin- und Ludington-Grube zu Iron-Mountain in Michigan gehörige Anlage vielleicht die grösste in ihrer Art. An einem Wasserfall des Menominee-Flusses sind vier Turbinen in Thätigkeit, welche zusammen etwa 3700 HP. leisten und von denen jede zwei Compressoren treibt. Diese verdichten die Luft auf vier Atmosphären. In einer schmiedeisenernen Röhrenleitung von ungefähr 5 km Länge und 0,61 m Weite gelangt die Druckluft zu den Arbeitsmaschinen. Es sind dies Corlissmaschinen, welche die Wasserhebe- und Förderapparate u. s. w. antreiben. Die einzelnen Rohrstücke der Leitung sind 6,7 m lang; nach je zehn solchen Stücken ist eine Dilatationsvorrichtung angebracht. Die Kosten der Anlage betragen 2½ Millionen Franken, wovon 300 000 Franken auf die Leitung kommen. Nach einem angestellten Versuche ergab die indirekte Leistung der Compressoren 1430 HP., diejenige der Arbeitsmaschinen nur 390 HP., es wurden daher von der auf die Luft übertragenen Arbeit nur 27 oder mit Zurechnung der Reibungsverluste in den Maschinen höchstens 25% von derselben wieder abgegeben, mit andern Worten, der Arbeitsverlust beträgt 75%. Dabei liefern die Compressoren in der Secunde 33,3 m³ Luft, die Arbeitsmaschinen verbrauchen deren 24,4 m³, es gehen also secundlich in der Leitung 6,7 m³ Luft verloren bei einer Spannungsabnahme von nur 0,13 Atmosphären von einem Ende derselben zum andern. Die Luft wird in Folge der Compression auf 167° Cels. erhitzt und es zeigen die abgenommenen Indicatorcurven einen unvermeidlichen Verlust von 20%; in den Arbeitsmaschinen kühlst sich die Luft bei der Ausströmung bis zu Eisbildung ab und die Expansionscurve zeigt einen Effectiverlust von 12% gegenüber der isothermischen Curve.

Aus diesen Resultaten wird der Schluss gezogen, dass eine electrische Kraftübertragung vortheilhafter gewesen wäre. Dies kann in diesem besondern Falle sehr richtig sein; aber hieraus weiter folgern zu wollen, dass die Kraftübertragung mittels Druckluft überhaupt nichts tauge, wäre jedenfalls etwas voreilig, denn das Beispiel ist so schlecht wie möglich gewählt um diese Art der Kraftübertragung nach dessen Ergebnissen zu beurtheilen. Der Anlage haften nämlich alle diejenigen Fehler an, welche man früher oft nicht zu vermeiden wusste, während bei den Pariser Anlagen nach System Popp dieselben nicht nur unschädlich gemacht, sondern auch zum Theil in Vortheile umgewandelt worden sind. Es wird nämlich erstens die Luft bei der Compression nicht genügend gekühlt, sie wird zweitens vor der Expansion nicht erwärmt und es wird drittens eine undichte Rohrleitung geduldet.

Nach dem erwähnten Schreiben des Herrn Ing. Ehrenfest ist man heute im Stande, die Temperaturerhöhung der Luft selbst bei einer Compression auf acht Atm. auf 10—15° Celsius zu beschränken, wobei der unvermeidliche Arbeitsverlust auf etwa 10% heruntersinkt, gegenüber den eben gefundenen 20%. Aehnlich verhält es sich bei den Arbeitsmaschinen. Wenn man die Luft entsprechend vorgewärmt und gefeuert denselben zuführt, kann ein sehr hoher Wirkungsgrad erreicht werden. Mit einem einzigen kg Cokes kann man unter Annahme eines leicht zu erreichenden Nutzeffektes von 70% im Vorwärmofen rund 5000 Calorien an die Luft abgeben. Das genügt zur Temperaturerhöhung von etwa 60 kg Luft um rund 300° Cels. Hiebei hat man die Arbeitsfähigkeit dieser Luft mehr als verdoppelt, da bei einer mittleren Temperatur der zuströmenden Luft von 10° Cels. schon 283° Cels. hiezu genügen.

Da nun dieses Luftquantum für etwa 6 HP. durch eine Stunde ausreicht, so ergeben sich hieraus die verschwindend kleinen Kosten gegenüber den erstaunlichen Resultaten, die man durch entsprechende Vorwärmung der Luft erreichen kann. Herr Ehrenfest sagt u. A.:

„Um in bestimmten Zahlen die bisher erreichten Resultate dieses Verfahrens mitzutheilen, brauche ich blos anzugeben, dass man im Stande ist, mit den grossen Dampfcompressoren