

Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 30-31 (1962-1963)
Heft: 18

Artikel: Über einige Grundlagen der Betonfestigkeit
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-153420>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

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

CEMENTBULLETIN

JUNI 1963

JAHRGANG 31

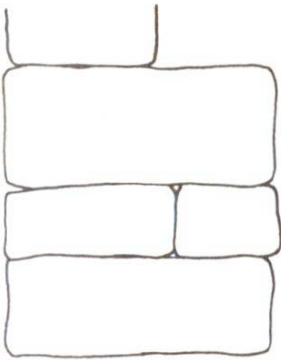
NUMMER 18

Über einige Grundlagen der Betonfestigkeit

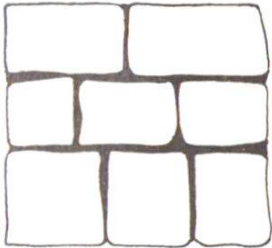
Die geschichtliche Entwicklung, der strukturelle Aufbau, die Haftflächen und die Bruchtheorie als grundsätzliche Gesichtspunkte bei Betrachtungen über die Betonfestigkeit und das Wesen des Betons.

Bei den im CB Nr. 16/1963 gezeigten Modellversuchen haben wir u. a. gesehen, wie sich die Zuschlagskörnung auf die Druckfestigkeit des Betons auswirkt. Der scheinbare Widerspruch jenes Ergebnisses zu entsprechenden Erfahrungen auf der Baustelle wurde bereits geklärt – aber die Erscheinung bedarf noch einiger näherer Erläuterungen. Damit treten wir aber mitten unter die grundsätzlichen Fragen der Betonfestigkeit, denen wir uns von vier verschiedenen Seiten nähern wollen.

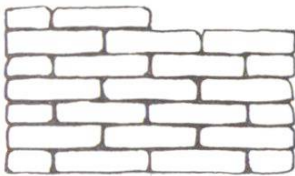
2



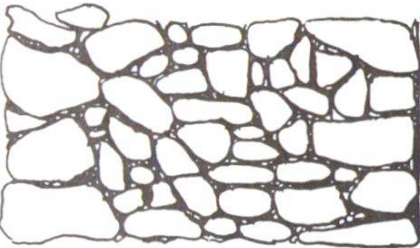
Quadersteine ohne Fugenmörtel



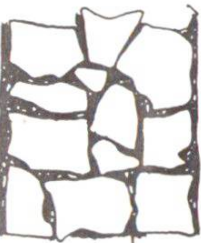
Quadersteine mit Kalkmörtel



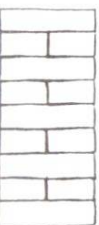
Ziegelsteine mit Kalkmörtel



Findlinge und Bollensteine mit Kalkmörtel



Bruchsteine mit hydraulischem Kalkmörtel



Ziegelsteine mit hydraulischem Kalkmörtel



Beton, Kieselsteine mit Zementmörtel

T.F.B.

Abb. 1 Entwicklung im Steinbau: Abhängigkeit der Grösse und Form der Bausteine von der Stärke des Fugenmörtels. Vergleich der erforderlichen Mauerdicken.

3 1. Geschichtliche Entwicklung (Abb. 1)

Die Entwicklung des Steinbaues zeigt deutlich eine direkte Beziehung zwischen der Form und Grösse des Bausteines und dem Bindemittel des angewandten Mörtels. Mit steigender Mörtelfestigkeit wurden die Bauelemente (Bausteine) kleiner und der Aufwand für ihre Formgebung geringer. Bei den alten, urtümlichen Steinbauten gab es keinen Fugenmörtel. Die genaue Bearbeitung und das Gewicht der grossformatigen Bausteine gewährleisteten die Stabilität des Bauwerkes. Der später aufkommende Kalkmörtel ermöglichte bereits die Anwendung von kleineren aber immer noch wohlbearbeiteten Quadersteinen. Wurde dannzumal mit runden Bollensteinen und mit rohen Findlingen gemauert, so mussten die Waddicken stark erweitert werden. Ferner ermöglichte der Ziegelstein in jener Zeit eine erste grosse Rationalisierung des Bauens. Die stärkeren Fugenmörtel, die dann mit Hilfe von Naturzementen oder hydraulischen Kalken erhalten wurden, gestatteten weiters ein Mauerwerk mit handlichen, kaum bearbeiteten Natursteinbrocken. Und schliesslich bildete die Krone dieser Entwicklung der Beton. Der Fugenmörtel ist zum Betonmörtel geworden, der Baustein zum kleinen, nicht bearbeiteten Steinfragment. Erst die mehrfache Festigkeit des Portlandzementes hat dies ermöglicht.

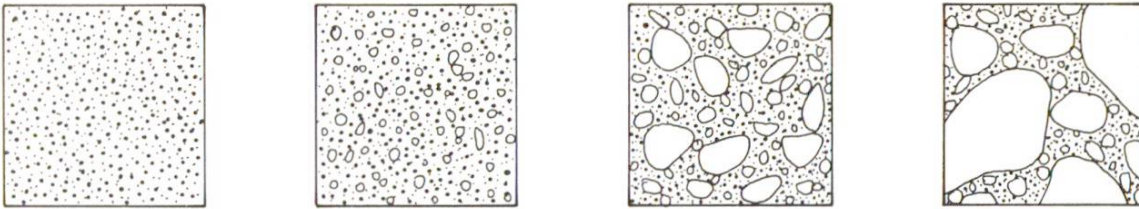
Heute scheint sich der Kreis zu schliessen, indem aus Beton, allerdings mit sehr viel weniger Arbeitsaufwand, wiederum grossformatige Bauelemente hergestellt werden wie zu den Urzeiten des Steinbaues.

Es wurde oft schon die Auffassung vertreten, der Betonzuschlag sei im Grunde genommen nichts anderes als ein unbeteiligter, das Ganze verbilligender Füllstoff. Dies trifft nicht zu. Das soeben aus der technischen Entwicklung aufgezeigte Wesen des Betons, wie auch andere Beobachtungen, beweisen es.

2. Struktureller Aufbau (Abb. 2)

Die Frage, ob ein Material homogen oder heterogen sei, spielt bei Festigkeitsbetrachtungen eine grosse Rolle. Diese Ausdrücke bedeuten hier, dass etwas gleichartig bzw. verschiedenartig im stofflichen strukturellen Aufbau sei.

Genauer gesagt beurteilt man den Homogenitätsgrad, denn im Kleinen gesehen, unter dem Mikroskop, erweisen sich die meisten Stoffe als heterogen, d.h. aus verschiedenen Teilchen zusammengesetzt. Der Homogenitätsgrad spannt sich von der vollkommenen Gleichmässigkeit z.B. der Kristalle über die feinen Kristallite der



T.F.B.

Abb. 2 Probekörper aus Materialien mit verschiedenen Homogenitätsgraden.

Metalle, die Körnungen der Gesteine und Mörtel bis zum grobschlächtig zusammengesetzten Massengestein.

Der Homogenitätsgrad bedarf aber noch eines räumlichen Massstabes. Es ist nicht gleichgültig, ob ein Material schon im grossen oder erst im kleinen, von ferne oder erst von nahe betrachtet, heterogen erscheint. Namentlich zeigt sich dies, wenn ein bestimmter Querschnitt des Materials mit einer bestimmten Last beansprucht wird. Prüft man z.B. die Druckfestigkeit eines körnigen Granites, so erscheint der Stein bei Verwendung eines Probewürfels von 20 cm Seitenlänge verhältnismässig homogen, bei einem 2-cm-Würfel jedoch recht heterogen. Wegen des starken Grössenunterschiedes der beiden Probekörper sind verschiedene Resultate der Festigkeitsprüfung zu erwarten. Sie liegen beim grösseren zumeist höher als beim kleineren mit dem geringeren Homogenitätsgrad. Auch die Streuung der Ergebnisse ist bei kleineren Probekörpern naturgemäss grösser, d.h. dass die Genauigkeit der Aussage einer Festigkeitsbestimmung bei höherem Homogenitätsgrad besser ist.

Liegt, wie beim Beton, ein relativ grobkörniges, stark heterogenes Material vor, so wäre es demnach angezeigt, um den Homogenitätsgrad zu erhöhen, mit möglichst grossen Probekörpern zu arbeiten. Bei diesem Bestreben wird aber die gleichmässige Kraftübertragung von der Prüfpresse in den Probekörper mehr und mehr problematisch. Mit der Regel, dass der kleinste Durchmesser eines Probekörpers mindestens das 4fache der Dicke des Grösstkorns betragen soll, trägt man so weit wie möglich dem Einfluss des Homogenitätsgrades in der Praxis Rechnung.

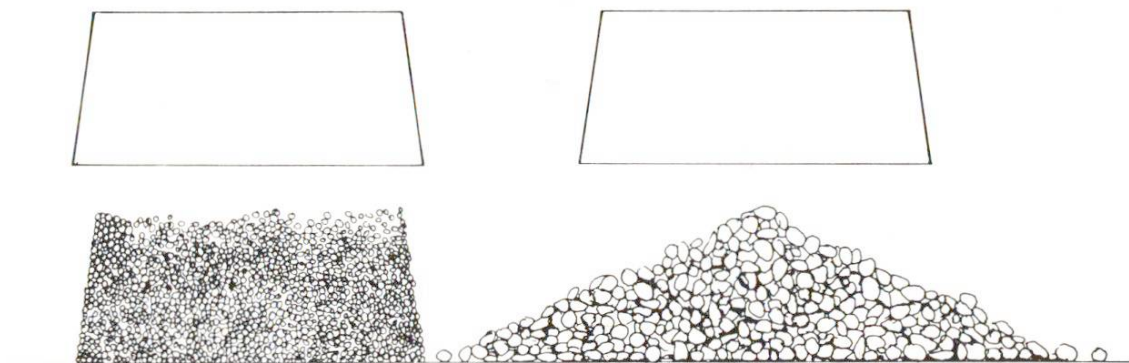
3. Haftflächen (Abb. 3 und 4)

Die schwächsten Stellen im Betongefüge sind zweifellos die Haftflächen zwischen dem gröberen Zuschlagsgestein und dem

5 Zementmörtel (s. CB Nr. 22/1959). Beim Belastungsversuch treten meistens zuerst Lockerungen und Verschiebungen entlang dieser Haftflächen auf.

Die gesamte Oberfläche einer gegebenen Zuschlagsmenge erweist sich bekanntlich als um so grösser, je kleiner die durchschnittliche Korngrösse ist. In einem feineren Zuschlagsgemisch steht somit mehr Oberfläche für die Verbindung zwischen Steinmaterial und Zementmörtel zur Verfügung und die, einer äusseren Belastung entgegenwirkende gesamte Verbundkraft wird dementsprechend grösser ($\text{Verbundkraft} = \text{Haftfestigkeit} \times \text{Haftfläche}$).

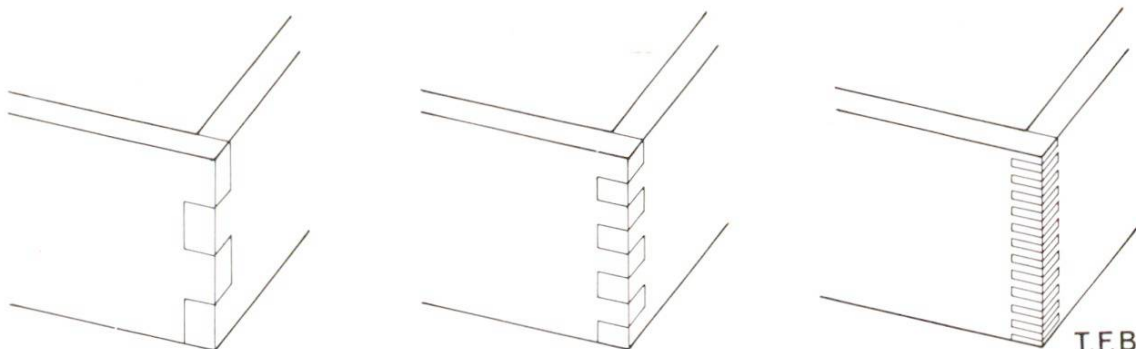
Bei einem Versuch werden zwei Mischungen geprüft: Zunächst ein Mörtel (z. B. P 400, 0–5 mm Korn) und dann ein Beton, der aus diesem Mörtel einfach durch Zugabe von z. B. 50% Grobkorn 8–30 mm erhalten wird. Resultat: Der Mörtel zeigt höhere Druckfestigkeit als der Beton. Man könnte nun versucht sein, diesen Effekt einfach der höheren Zementdosierung des Mörtels zuzuschreiben. Dies mag



T.F.B.

Abb. 3 Auch ein Oberflächeneffekt: Feuchter Sand hält zusammen, feuchter Kies nicht.

Abb. 4 Verzahnungseffekt.



T.F.B.

Wenig Zähne:
schwache Verbindung

Viele Zähne:
gute Verbindung

Zu viele Zähne:
Material geschwächt

6 zum Teil richtig sein. Zur Hauptsache aber ist das Resultat auf die im gesamten grössere Verbundkraft zwischen Zuschlag und Zementleim, die bei der feineren Körnung vorhanden ist, zuzuschreiben.

Der Einfluss der relativen Grösse des Zuschlagskornes auf die Festigkeit kann auch noch mit einem anderen gedanklichen Experiment erhellt werden: Wird ein Betonprobekörper z.B. auf Zug beansprucht, so entstehen an den Haftflächen zwischen Zuschlag und Zementstein Zug und/oder Scherspannungen. Bei gegebener durchschnittlicher Haftfestigkeit an diesen Stellen muss die zu messende Zugfestigkeit um so grösser ausfallen, je grösser die gesamte, beim Versuch durchbrochene Haftfläche ist. Die Zugfestigkeit bezieht sich, wie auch die Druckfestigkeit, auf die konstant bleibende ebene Querschnittsfläche. Im Vergleich dazu fällt aber die tatsächlich durchbrochene Haftfläche grösser aus, und zwar um so mehr, je feiner das Zuschlagsmaterial ist (Verzahnungseffekt).

4. Bruchtheorie

Wenn die Fragen der Betonfestigkeit allgemein diskutiert werden, so sind auch die Methoden der Festigkeitsmessung, insbesondere die Druckfestigkeitsprüfung mit Probekörpern näher zu betrachten. Die Druckfestigkeit nimmt als Bezugsgrösse eine wichtige zentrale Stellung ein. In ihr münden einerseits die Bestrebungen der Betontechnologen, und auf sie stützen sich andererseits die Berechnungen der Konstrukteure. Es ist deshalb erforderlich zu wissen, wie die Resultate der Druckfestigkeit zustande kommen, und ob sie überhaupt sich auf die Verhältnisse in der Praxis übertragen lassen. Die Probleme entstehen hier vor allem, weil der Beton eben ein stark heterogenes Material darstellt.

Betrachten wir den Spannungsverlauf in einem, zwischen zwei Druckplatten eingespannten Probekörper aus einem homogenen Material. Im Idealfall ist in jedem Punkte dieses Körpers die Richtung und Stärke der Spannung regelmässig und gleichartig. Auch der Spannungsverlauf ist homogen. Besteht das Material demgegenüber aus einem feinkörnigen Gestein, so werden die Kraftlinien bereits in feine Zickzack-Struktur aufgelöst und beim heterogenen Beton erst bilden sie ein wirres Durcheinander und liegen scheinbar kreuz und quer. Die Ursachen hierfür sind die von Punkt zu Punkt wechselnden Materialeigenschaften. Hartes Gesteinskorn wechselt mit kleinen Hohlräumen und nachgiebigem Zementleim, mehr oder weniger gut bindende Haftflächen stehen in allen

7 möglichen Richtungen zum Spannungsfeld und verschieden geformte Steinstücke bilden Keile, Brücken oder Zapfen. Die angesetzte Spannung kann in bestimmten Punkten aufgehoben, in anderen um ein Mehrfaches erhöht sein.

Es ist verständlich, dass es unter diesen unübersichtlichen Verhältnissen schwer fällt, eine umfassende Bruchtheorie für den Beton zu erhalten, auf die eine Festigkeitslehre abgestellt werden könnte. Zwar weisen die Ausbildung von typischen Bruchflächen auf gewisse Regelmässigkeiten hin, aber diese lassen sich erklären, gleichgültig, ob nun die Bruchtheorie z. B. auf quergerichtete Zugspannungen, auf innerer Reibung oder auf anderen grundsätzlichen Annahmen basiert.

Die Betonprobekörper sehen sich äusserlich gleich, jeder einzelne stellt aber ein Individuum mit besonderen Eigenschaften dar. Es ergibt sich ein ähnliches Bild wie z. B. bei einer Gruppe gleichaltriger Soldaten oder einer Anzahl der nämlichen Pflanze. Man kann hier nicht mit einfachen Formeln rechnen und von einem Fall auf die Gesamtheit schliessen, sondern man muss nach statistischen Gesichtspunkten beurteilen (s. CB Nr. 22/1957 und 15/1961).

Schlussbemerkung

Diese Ausführungen zeigen, dass die Dinge um den so vielfach zitierten und angewandten Begriff der Betonfestigkeit gar nicht so einfach liegen und z. T. äusserst unvollständig erfasst und beherrscht werden können. Die Probleme sind hier bei weitem nicht erschöpfend behandelt, das Gesagte kann nur andeuten und zum Nachdenken anregen. Man vermag dadurch vielleicht das eigentliche Wesen des Betons besser zu verstehen, der einem manchmal launisch und schwer erfassbar vorkommt, dann aber wieder als der einfache, bewährte und geduldige erscheint.

Tr.

