

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87/88 (1926)
Heft: 2

Artikel: Bestimmung der Druckfestigkeit von Mörtel und Beton
Autor: Bolomey, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-40918>

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: 03.04.2025

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

INHALT: Bestimmung der Druckfestigkeit von Mörtel und Beton. — Die Bedeutung des Turbinen-Wirkungsgrades bei Niederdruck-Anlagen. — Robert Gnehm (mit Portrait-Tafel). — Ideenwettbewerb für die Ausgestaltung der Seeufer im Gebiet der Stadt Zürich und ihrer Vororte. — Internationale Ausstellung für Binnenschifffahrt und Wasserkraftausnutzung in Basel 1926. — Miscellanea: Die Basler Schifflande vor

80 Jahren. Eidgenössische Technische Hochschule. Ein Wasserkraftwerk am Dnjepr. Der höchste Eisenbetonschornstein Amerikas. Die Eröffnung der Furka-Oberalpbahn. — Konkurrenzen: Wohnungen für kinderreiche Familien. Evangelische Stadtkirche Frauenfeld. Gewerbeschule und Kunstgewerbemuseum in Zürich. Schulhaus mit Turnhalle in Aesch. — Literatur. — S. T. S.

Band 88.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 2

Bestimmung der Druckfestigkeit von Mörtel und Beton.

Von J. BOLOMEY,

bauleitender Ingenieur der Wasserkraftwerke Barberine und Vernayaz der S. B. B.¹⁾

Die mehr und mehr verallgemeinerte Verwendung des Beton für die verschiedensten Baukonstruktionen bedingt, dass die Qualitäten wie Festigkeit, Dichtigkeit, Verarbeitungsmöglichkeit, die bei gegebenen Materialien und Umständen erreicht werden können, vor Beginn der Arbeiten bekannt seien. Ebenso notwendig ist zu wissen, welche Veränderungen mit diesen Materialien vorgenommen werden müssen, um einen Beton zu erhalten, der den erforderlichen Eigenschaften entspricht.

Viele Spezialisten haben zu diesem Zweck sowohl auf dem Bauplatz, als auch im Laboratorium weitestgehende Versuche ausgeführt. So haben die bemerkenswerten Arbeiten von Feret, Fuller, Taylor & Thompson, Young, Abrams, Graf usw.²⁾ den entscheidenden Einfluss der Anmachwassermenge, sowie der granulometrischen Zusammensetzung und der Natur von Kies und Sand auf die Festigkeit und Dichtigkeit des Beton beleuchtet.

Trotz einer sehr umfassenden Dokumentierung, die sich Tag für Tag ausdehnt, sind indessen die massgebenden Eigenschaften des Beton auf einer grossen Anzahl von Bauplätzen noch nicht genügend bekannt und ausgenützt. Es ergeben sich hieraus oft Fehler oder übertriebene Ausgaben, die vermieden werden könnten, wenn die Techniker einfache Formeln zu ihrer Verfügung hätten, die ihnen erlauben würden, rasch die wahrscheinlichen Eigenschaften eines Mörtels oder Beton zu ermitteln, ohne vorher eine Reihe kostspieliger und zeitraubender Versuche ausführen zu müssen.

Die nachstehende Studie fasst die von den oben erwähnten Autoren gefundenen Ergebnisse und die von der Bauleitung der Kraftwerke Barberine und Vernayaz während der letzten Jahre im Laboratorium und auf den Bauplätzen gemachten Forschungen zusammen.

Einfluss des Anmachwassers auf die Druckfestigkeit.

Feret hat schon 1892 als erster gezeigt, dass die Menge des Anmachwassers die Qualität des Mörtel mehr beeinflusst, als die Dosierung oder die Natur des Sandes; die Druckfestigkeit setzt er proportional dem Faktor

$$\frac{Z}{W+V}$$

worin Z das absolute Zementvolumen, W das Volumen des Anmachwassers und V das Porenvolumen im Mörtel bedeuten.

Im Jahre 1920 hat Abrams aus tausenden von Versuchen für die Druckfestigkeit folgende Formel abgeleitet:

$$K = \frac{A}{7^x}$$

Darin bedeutet A einen mit der Zementqualität, der Erhärtungszeit und der Form der Probekörper veränderlichen Faktor, der z. B. für einen Betonzylinder von 15 cm Durchmesser und 30 cm Höhe in 28 Tagen einen Wert von

985 erreicht, x das Verhältnis „Volumen des Anmachwassers zu scheinbarem Zementvolumen“, wobei das scheinbare spezifische Gewicht des Zementes zu 1,5 angenommen ist.

Die zahlreichen vergleichenden Versuche, die im Laboratorium der Bauleitung Barberine, zur Kontrolle der obigen Formeln und zur Bestimmung des Proportionalitätsfaktors für einen gut definierten Zement ausgeführt worden sind, haben uns bewogen, der Verwendung der leicht modifizierten Formel von Feret gegenüber jener von Abrams den Vorzug zu geben. Die Formel von Feret kann vereinfacht werden, wenn man beachtet, dass für die üblichen dichten Mörtel und Beton, die hier allein in Betracht kommen, das Porenvolumen V praktisch gleich Null ist oder mindestens konstant bleibt und somit vernachlässigt werden darf.

Indem alle Druckfestigkeiten auf die Funktion „Gewicht des Zementes zu Gewicht des Wassers“ bezogen wurden, erhielt man eine durch den Nullpunkt eines Koordinatensystems gehende sinusartige Kurve³⁾, die in der Zone der auf den Bauplätzen gebräuchlichen Mörtel und Beton durch eine Gerade mit folgender Gleichung ersetzt werden kann:

$$K = \left(\frac{Z}{W} - 0,50\right) A \dots \dots (1)$$

worin K die Druckfestigkeit in kg/cm^2 , Z das Gewicht des Zementes in kg , W das Volumen des Anmachwassers (in Litern) und A einen Koeffizienten, veränderlich mit der Zementqualität, der Art und Weise, der Dauer und der Temperatur der Erhärtung, bedeuten.

Für einen Zement von 420 kg/cm^3 Druckfestigkeit beim Normalversuch in 28 Tagen, bei Erhärtung in Wasser oder feuchtem Sand von $+15^\circ$, ergaben sich für Z/W zwischen 0,7 und 2,0 folgende Werte für A :

$A = 105 \text{ kg/cm}^2$ für 7 Tage $A = 200 \text{ kg/cm}^2$ für 90 Tage
 $A = 150 \text{ kg/cm}^2$ für 28 Tage $A = 270 \text{ kg/cm}^2$ für 180 Tage

Neuere Untersuchungen haben ergeben, dass annähernd gesetzt werden kann:

$$A = \frac{K_n}{2,2} \text{ bis } \frac{K_n}{3,5}, \text{ im Mittel } \frac{K_n}{2,7}$$

wobei K_n die Druckfestigkeit des Zementes beim Normalversuch 1 : 3 bedeutet.

Es ist wesentlich, dass der Mörtel einen genügenden Feuchtigkeitsgrad behält, damit die Erhärtung normal sei. Es kommt hauptsächlich bei den Hochbauten häufig vor, dass der Mörtel oder Beton nach einigen Wochen seine ganze Feuchtigkeitsgrad verliert, wodurch die Erhärtung gänzlich aufgehalten wird.

Unsere Formel (1), die für das Gedächtnis viel leichter und für die Anwendung viel einfacher ist, ergibt für die Druckfestigkeit nach 28 Tagen merklich die gleichen Resultate wie jene von Abrams.

Die Abb. 1 bis 3 (S. 43) zeigen die Druckfestigkeit, den Flüssigkeitsgrad und die Menge des Anmachwassers

³⁾ Der sinusartige Verlauf der allgemeinen Festigkeitskurve des selben Mörtels, bei dem die Menge des Anmachwassers verändert wird, ist leicht zu erklären. Die Festigkeit wächst mit dem Anmachwasser, so lange dieses nicht genügt, um einen dicht gestampften Mörtel zu erzielen. Vom Moment an, wo die vollständige Dichte des Mörtels erreicht ist, nimmt die Festigkeit gleichmässig mit der Zunahme der Menge des Anmachwassers ab, bis zum Augenblick, wo der Flüssigkeitsgrad so gross wird, dass sich eine immer grössere Menge des Anmachwassers vor dem Erhärtungsbeginn vom Mörtel ausscheidet und so auf die Festigkeit, die immer langsamer abnimmt, ohne Einfluss wird. Uebrigens ist es klar, dass die Festigkeitskurve durch den Nullpunkt gehen muss.

¹⁾ Ins Deutsche übersetzt durch Ing. H. Reifler.

²⁾ M. Feret: „Sur la compacité des mortiers hydrauliques“ (1892); Martens: „Mitteilungen aus den königlichen technischen Versuchsanstalten“, Berlin (1897); F. W. Taylor und S. E. Thompson: „A treatise on concrete plain and reinforced“; W. B. Fuller und S. E. Thompson: „The laws of proportioning concrete“ (1907); R. B. Young: „Mixing of concrete by surface areas on actual work“ (1920); Abrams: „Design of concrete mixtures“ (1920); G. M. Williams: „Proportioning concrete from study of the aggregate“ (1921); Graf: „Der Aufbau des Mörtels im Beton“ (1923); G. Bethke: „Das Wesen des Gussbeton“ (1924).

von vier Mörtelserien aus Sand von verschiedener Herkunft und granulometrischer Zusammensetzung und veränderlicher Zementdosierung von 200 bis 500 kg/m³ fertigem Beton.

Die Prüfung der Abbildung 1 erlaubt festzustellen, dass die Abweichungen gegenüber dem Einfluss des Faktors Z/W vernachlässigbar sind, obwohl die Druckfestigkeitskurven der verschiedenen Mörtel nicht durchaus gleich sind. Dies gestattet, dass, nachdem dieses Verhältnis Z/W einmal bekannt ist, man sofort die wahrscheinliche Druckfestigkeit erhält, welches auch die Dosierung, der Flüssigkeitsgrad, die Natur des Materials oder seine granulometrische Zusammensetzung sei. Es genügt, dass der verwendete Zement merklich die gleichen Eigenschaften habe wie jener der Versuche von Abbildung 1, und dass sich die Erhärtung unter normalen Temperatur- und Feuchtigkeits-Verhältnissen vollziehe. Unter Umständen werden die neuen Koeffizienten A den gegebenen Verhältnissen entsprechend durch Versuche bestimmt.

Die tatsächliche Druckfestigkeit wird selten mehr als 20 % von der durch Formel (1) gegebenen abweichen, was in den meisten Fällen genügend genau ist und mit den von den Unregelmässigkeiten der Mischung und der Einbringung herrührenden Schwankungen übereinstimmt; solche Abweichungen sind auch bei möglichst gleichmässig hergestellten Betonwürfeln oft wahrnehmbar.

Die Abweichungen sind grösser für gestampften und zugleich wenig plastischen, sowie auch für sehr flüssigen Mörtel oder Beton als für halbflüssige Mischungen. Mit der Zeit vermindern sich diese Abweichungen.

Für $Z/W < 0,7$ oder $> 2,0$ sind die Druckfestigkeiten infolge des sinusartigen Verlaufes der allgemeinen Kurve, die mit der Geraden $(Z/W - 0,50)A$ nicht mehr genau übereinstimmt, grösser als die durch die Formel (1) gegebenen ¹⁾.

Bestimmung der wahrscheinlichen Druckfestigkeit.

Diese Berechnung lässt sich unmittelbar auf dem Bauplatz mit Hilfe der Formel (1) ausführen. Nachdem man den Zement mit dem vorher getrockneten Sand und Kies gemischt hat, ist nur die Menge des Anmachwassers genau zu messen, um den Beton mit dem gewollten Flüssigkeitsgrad zu erhalten ²⁾. Man kennt alsdann Z/W und in der Folge die wahrscheinliche Druckfestigkeit.

1. Beispiel. Ein Beton zu 200 kg Portlandzement braucht 160 l Anmachwasser. Welches ist seine wahrscheinliche Druckfestigkeit? Es ist $Z/W = 200/160 = 1,25$;
 $K = (1,25 - 0,50)A = 79 \text{ kg/cm}^2$ in 7 Tagen

112	"	"	28	"
150	"	"	90	"
202	"	"	180	"

2. Beispiel. Ein Beton zu 350 kg Portlandzement soll eine Druckfestigkeit von 250 kg/cm² in 28 Tagen erreichen. Welches ist die zulässige Menge Anmachwasser?

Aus $(Z/W - 0,50) \cdot 150 = K = 250 \text{ kg/cm}^2$ ergibt sich $Z/W = 2,17 = 350/W$ woraus $W = 161 \text{ l}$. Wenn man statt diesen 161 l 170 l Wasser verwenden würde, so fiel die Druckfestigkeit von 250 auf $(350/170 - 0,50) \cdot 150$, d. h. auf 234 kg/cm², sodass jeder Liter des überschüssigen Wassers die Druckfestigkeit um 2 kg/cm² vermindert oder den Einfluss von 2 kg Zement vernichtet.

Man würde gleichfalls im ersten Beispiel mit 200 kg Dosierung erkennen, dass jeder Liter überschüssigen Wassers die wahrscheinliche Druckfestigkeit um 1 kg/cm² vermindert oder den Einfluss von 1 kg Zement vernichtet.

Die Nachteile eines gleichgrossen Wasserüberschusses werden somit umso ausgesprochener, je stärker die Dosie-

¹⁾ Es sei noch hervorgehoben, dass für fast alle gebräuchlichen Mörtel und Beton Z/W sich zwischen 0,7 und 2,0 bewegt.

²⁾ Es ist durchaus nötig, den Versuch mit getrocknetem Sand auszuführen. Der Sand kann je nach seinem Feinheitsgrad bis zu 200 l Wasser zurückhalten, während der Wassergehalt des Kieses selten 20 bis 30 l/m³ überschreitet. Die mit feuchtem Material ausgeführten Messungen haben nur dann Wert, wenn die von diesem zurückgehaltene Wassermenge vorausgehend bestimmt worden ist. (Unterschied zwischen dem Gewicht eines gegebenen feuchten Sand- oder Kiesvolumens und diesem in getrocknetem Zustande.)

rung ist. Dieser unangenehme Einfluss von zu grosser Feuchtigkeit des Beton ist, obgleich nicht so genau, so doch schon seit langer Zeit bekannt. Darum haben eine grosse Zahl von Pflichtenheften erdfeuchten Beton verlangt, der für das Einbringen ein energisches Stampfen erheischt, was wohl im Laboratorium, nicht aber auf dem Bauplatz erreicht werden kann. Daher kommt auch die Abneigung vieler Ingenieure gegen die Verwendung des Gussbeton, die nicht eher aufhören wird, als bis die Vorteile dieser Einbringungsmethode besser bekannt sein werden.

Es kommen hier zwei einander entgegengesetzte Einflüsse zur Auswirkung. Wenn es auch wichtig ist, jeden Ueberschuss von Anmachwasser zu vermeiden, so ist es dennoch nötig, dass dieses in genügender Menge vorhanden sei, damit der frische Beton durchaus kompakt wird. Diese letzte Eigenschaft wird mit Beton von erdfeuchter Konsistenz auf den Bauplätzen, ausgenommen in ganz seltenen Fällen, schwer erreicht. Der halbflüssige Zustand (Flüssigkeitsgrad 1,6 bis 1,9, Abb. 2) wird sich im allgemeinen am besten eignen, um einen kompakten, homogenen, dichten und widerstandsfähigen Beton zu erreichen.

Einfluss der granulometrischen Zusammensetzung.

Eine vergleichende Betrachtung der Abbildungen 1 und 2 zeigt, dass für den gleichen Flüssigkeitsgrad die Druckfestigkeit die selbe ist für: a) den Mörtel aus graduiertem Flussand mit der Dosierung 1 : 5 (340 kg Portlandzement pro m³) und denjenigen aus Normalsand 1 : 3 (450 kg Portlandzement pro m³) oder für: b) den Mörtel aus graduiertem Flussand mit der Dosierung 1 : 9 (210 kg Portlandzement pro m³) und denjenigen aus unsortiertem Brechsand 1 : 5 (310 kg Portlandzement pro m³).

Ebenso ergibt sich bei gleichbleibender Dosierung und einem $Z/W = 1,1$ (somit auch bei gleichbleibender Druckfestigkeit) aus unsortiertem Brechsand einen stark zu stampfenden, erdfeuchten Mörtel, während man aus graduiertem Flussand einen solchen im äussersten zulässigen Flüssigkeitsgrad erhält.

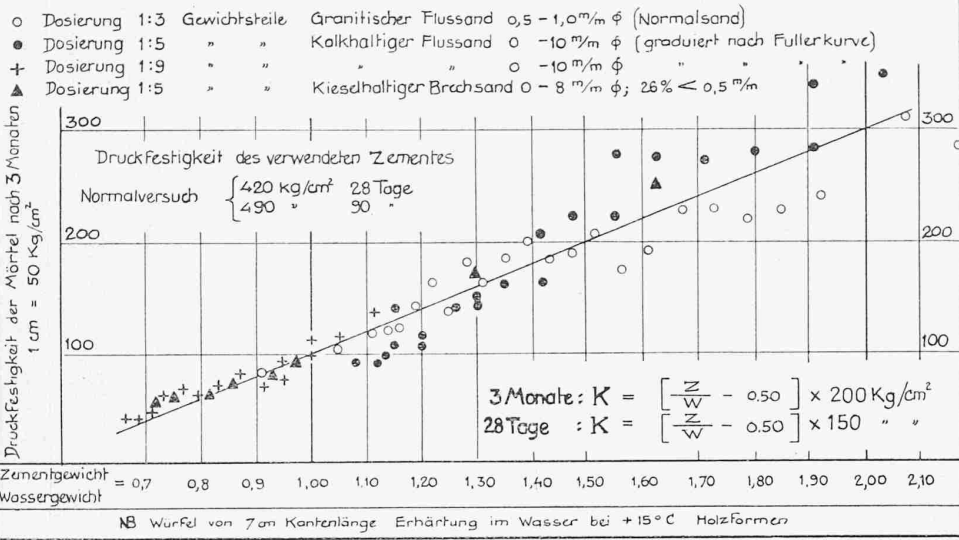
Der Gussbeton kann somit oft an Stelle des Stampfbeton oder halbflüssigen Beton verwendet werden unter der Bedingung, dass die granulometrische Zusammensetzung und die Art der Materialien rationell gewählt und gleichmässig beibehalten werden. Es ist nachteilig, wenn mehr Wasser beigemischt wird, als für ein vollkommenes Einbringen des Beton unumgänglich nötig ist.

Der Normalsand ergibt bei einer Dosierung von 1 : 3 die gleiche Druckfestigkeit wie ein passend graduierter Flussand bei einer Dosierung von 1 : 5 (Verminderung um 110 kg Zement pro m³ Beton). Hieraus folgt, dass der erste, wie übrigens jeder Sand von gleichmässigem Korn, für Bauwerke nicht geeignet ist. Es ist deshalb fehlerhaft, dass er in mehreren Laboratorien verwendet wird, um daraus über zu untersuchende Materialien zu urteilen. In der Tat vergleicht man oft die erreichten Druckfestigkeiten von zwei maschinengestampften Mörteln mit der Dosierung 1 : 3, wovon der eine mit Normalsand und der andere mit dem zu untersuchenden Sand hergestellt ist.

Auf diese Weise wird man keinen für den Bauplatz verwendbaren Aufschluss erhalten, weil mancher Sand, der gestampft bei einer Dosierung von 1 : 3 ausgezeichnete Resultate ergibt, sich bei einer schwächeren Dosierung und bei grösserem Flüssigkeitsgrad als minderwertig zeigen kann. Dies ist insbesondere beim Normalsand zu erkennen, bei dem bei Dosierung unterhalb 1 : 3 die Druckfestigkeiten infolge von ungenügender Dichtigkeit unzureichend werden. Hingegen kann manch anderer, besser graduierter Sand bei der Dosierung von 1 : 3 zweifelhaft sein und dennoch bei schwachen Dosierungen und einem hohen Flüssigkeitsgrad sich als ausgezeichnet erweisen, weil sich ein durchaus kompakter Mörtel erreichen lässt ¹⁾.

¹⁾ Bei Verminderung der Dosierung von 1 : 3 auf 1 : 5 fällt die Druckfestigkeit des Mörtels mit Normalsand von 1,0 auf 0,3. Für die gleiche Verminderung der Dosierung fällt die Druckfestigkeit bei einem gut graduierten Mörtel nur von 1,0 auf 0,8.

① Einfluss der Anmachwassermenge auf die Druckfestigkeit



2. Beim selben Mörtel kann der Flüssigkeitsgrad verändern: a) die Druckfestigkeit vom Einfachen auf das Dreifache, b) die Menge des Anmachwassers vom Einfachen auf das Doppelte, c) das Gewicht von Sand und Zement pro m³ Mörtel von 15 bis 20 %.

3. Ein schlecht graduierter Sand kann für die gleiche Dosierung und den gleichen Flüssigkeitsgrad bis zu 35 % mehr Wasser verlangen, als ein anderer, granulometrisch gut zusammengesetzter Sand.

4. Das Sandgewicht pro m³ Mörtel kann von 1250 bis zu 2050 kg ändern je nach Dosierung, Flüssigkeitsgrad und granulometrischer Zusammensetzung. Der Einfluss der letzten ist umso wichtiger, je schwächer die Dosierung ist¹⁾.

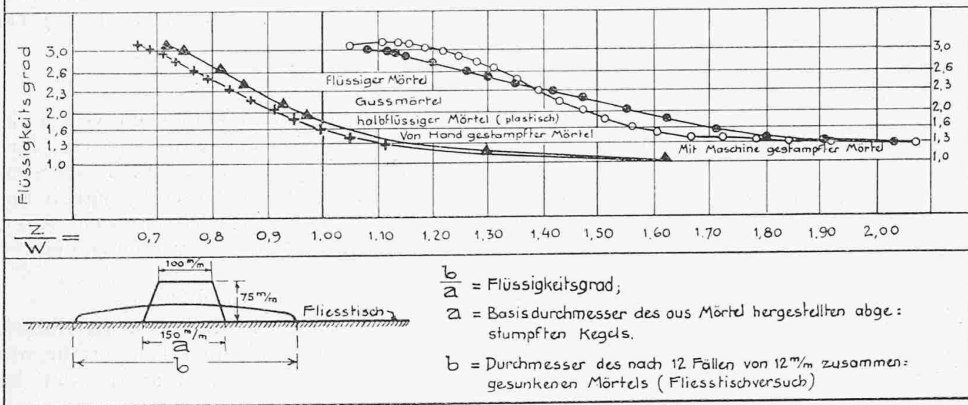
Dosierung.

Die Dosierungen werden gewöhnlich in Gewichten des Zementes (hie und da in Volumen) pro m³ Sand, Kies oder pro m³ Sand-Kies-Mischung angegeben. Diese Methode zieht sehr oft Fehler in der Wertbestimmung der genauen Dosierung nach sich, und zwar nicht nur infolge des Flüssigkeitsgrades (siehe oben Absatz 2 c), sondern auch weil das von der gleichen Menge Sand eingenommene Volumen je nach seinem Feuchtigkeitsgehalt und seiner mehr oder weniger ausgesprochenen Setzung bis zu 30 % variieren kann. Beim Bau der Staumauer Barberine betrug das Aufquellen des feuchten Sandes im Mittel 12 %.

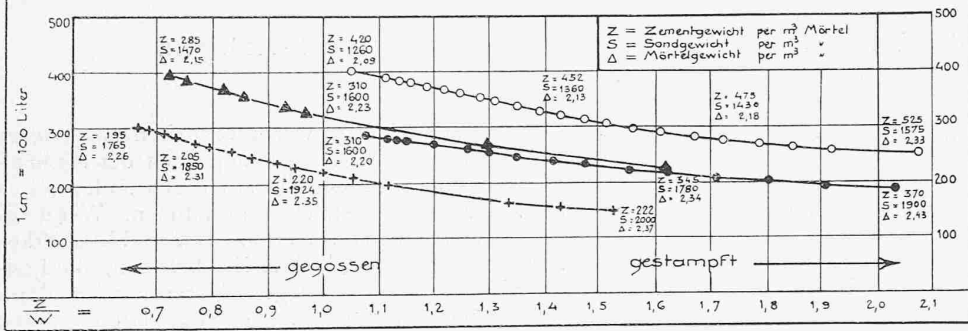
Eine genauere Methode besteht darin, das Zementgewicht pro m³ fertig eingebrachten Mörtels oder Beton festzulegen. Man vermeidet dadurch den Einfluss der Setzung oder der Quellung des Sandes und des Flüssigkeitsgrades des Gemisches, wobei eine Veränderung der Verhältnisse oder der Art von Sand und Kies zulässig ist. Die Kontrolle ist leicht mittels einiger Ergiebigkeits-Versuche vorzunehmen.

Es ist vorzuziehen, nicht nur die Dosierung, sondern auch die Druckfestigkeit, die Dichte usw. vorzuschreiben, die erreicht werden müssen. So wurde für die Fertigstellung der Staumauer Barberine die Dosierung pro m³ eingebrachten Beton festgesetzt. Die Unternehmung hat die freie Wahl der Materialien, der Zusammensetzung von Kies und Sand und des Flüssigkeitsgrades; hingegen soll der

② Veränderung des Flüssigkeitsgrades der Mörtel



③ Anmachwasser pro m³ Mörtel



Die Durchführung der rationellen Untersuchung des Sandes ist durch Vergleich der erhaltenen Druckfestigkeiten zweier Mörtel zu machen, die mit der für die projektierte Baukonstruktion vorgesehenen Dosierung und Flüssigkeitsgrad zubereitet sind; der eine der Mörtel ist mit einem richtig graduieren, der andere mit dem zu untersuchenden Sande herzustellen.

Die Abbildungen 1 bis 3 erlauben noch folgende Schlüsse:

1. Die Dosierung beeinflusst die Druckfestigkeit nur weil sie den Faktor Z/W ändert, der allein bestimmend ist.

¹⁾ In gewissen Fällen könnte Lehm usw. dem Sand beigefügt werden, wenn dieses Mittel erlaubt, einen aus grobem Sand und mit schwacher Dosierung hergestellten Mörtel dicht zu erhalten. Immerhin ist die Beimischung von sauberem, sehr feinem Sand oder von Steinmehl statt dessen vorzuziehen.

Beton die im Vertrag vorgeschriebenen Eigenschaften bezüglich Druckfestigkeit, Dichte (Wasserdichtigkeit) und spezifischem Gewicht aufweisen. Dieses Vorgehen, das recht gute Ergebnisse gezeitigt hat, wird oft für armierte Betonkonstruktionen, für Brücken usw. angewendet, kann aber noch nicht für alle Bauplätze verallgemeinert werden.

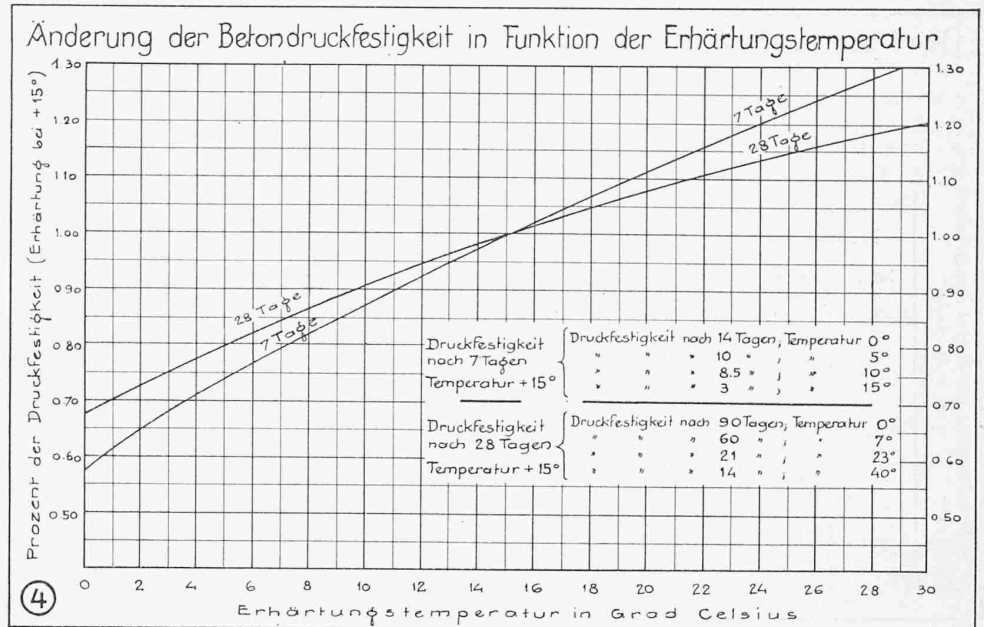
Einfluss der Art von Sand und Kies.

Die Herkunft von Sand und Kies, ihre Art und ihre granulometrische Zusammensetzung beeinflussen die Druckfestigkeit des Beton nur insoweit, als sie den Faktor Z/W zu verändern vermögen. Selbstverständlich ist vorausgesetzt, dass der Sand oder Kies keine Substanzen enthält, die einen chemischen Einfluss auf den Zement bewirken könnten und dass die Druckfestigkeit des Felsens, von dem die erstgenannten stammen, grösser ist als die des Bindemittels.

Im allgemeinen haben Sand und Kies einen umso günstigeren Einfluss auf den Faktor Z/W , je mehr deren Körper sich der Kugelform nähern und je gleichmässiger ihre Oberfläche ist. In dieser Hinsicht geben Flussand und Flusskies bei gleicher granulometrischer Zusammensetzung bessere Resultate in Bezug auf Druckfestigkeit als die gebrochenen Materialien. Diese hingegen erlauben leichter, eine regelmässige Granulierung zu erhalten, die mit der maximalen Druckfestigkeit übereinstimmt. Dazu hat das Steinmehl, das von hartem, besonders gewähltem Felsen herrührt, oft mehr oder weniger ausgesprochene Eigenschaften des Puzzolan.

Vereinfachung der Beton-Untersuchungen.

Wir haben gesehen, dass die Art des Kieses die Druckfestigkeit des Beton, die allein von der des bindenden Mörtels abhängt, nur indirekt beeinflusst. Die Untersuchung eines Beton auf Druck lässt sich also oft auf die eines Mörtels beschränken. Hieraus ergeben sich bedeutende Ersparnisse an Zeit, Einrichtungen, Transporten, usw.



Statt dass im Laufe der Arbeiten Würfel vom Beton entnommen werden, für die schwere Formen von mindestens 16 bis 20 cm Kantenlänge verwendet werden müssen, genügt es, den Mörtel vom Beton auszuscheiden, was ohne Nachteil die Verwendung von Formen bis 7 cm Kantenlänge gestattet.

Einfluss der Temperatur.

Die Abbildung 4 gibt nach den Versuchen von T. F. Richardson (veröffentlicht in „A treatise on concrete plain and reinforced“ von F. W. Taylor und S. E. Thompson) den Einfluss der Temperatur auf die Geschwindigkeit der Erhärtung. Dieser Einfluss verringert sich mit dem Alter, um am Ende eines Jahres fast völlig zu verschwinden.

Einfluss der Dauer der Erhärtung.

Wenn die Druckfestigkeit nach 28 Tagen als Einheit angenommen wird, so haben wir bei einer Temperatur von +15° für den Fall der Erhärtung im Wasser oder im feuchten Sand gefunden:

Druckfestigkeit in 7 Tagen	0,70,	in 3 Monaten	1,34
„ „ 28 „	1,00,	„ 6 „	1,80
(Schluss folgt.)		„ 12 „	2,00

Die Bedeutung des Turbinen-Wirkungsgrades bei Niederdruck-Anlagen.

Von Ober-Ingenieur ROBERT DUBS, Zürich.

Der Bau von Wasserkraftanlagen für die Ausnützung von Niedergefällen ($H < 20$ m) hat besonders in den letzten zwei Jahrzehnten einen ganz bedeutenden Umfang angenommen. Diese Erscheinung findet ihre Begründung einerseits in den niedrigen Gestehungskosten der Kilowattstunde bei Niederdruckanlagen, andererseits in dem reichen Vorhandensein von wirtschaftlich ausnützbaren Niedergefällen. Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass infolge der meist stark schwankenden Wasserführung der Flüsse der Ausbau eines Werkes nur für eine gewisse mittlere Wassermenge vorgenommen werden kann und ein wesentlicher Teil des Wassers während eines Teiles des Jahres unbenutzt über das Wehr fliesst. Das nämliche tritt auch ein, wenn infolge schwächerer Netzbelastung die Turbinen-Regler die Leitapparate teilweise schliessen, wobei dann die überschüssige Wassermenge neben dem Kraftwerk vorbei geleitet werden muss. Trotz dieser ja allgemein bekannten Erscheinungen wurde vor Jahren und z. T. auch heute noch, grosser Wert auf sehr hohe Wirkungsgrade der Turbinen bei Teilbelastung auch dann gelegt, wenn

das Wasserkraftwerk mit sehr vielen Einheiten ausgerüstet war, die eine wirtschaftliche Ausnützung auch der Minimal-Wassermenge des betreffenden Flusses durch stufenweises Abschalten von Maschineneinheiten gestatteten. Wenn indessen bei genügender Wasserführung eines Flusswerkes ohne Akkumulierung infolge kleiner Netzbelastung die Leit-Apparate der Turbinen teilweise geschlossen werden, dann ist es ja vollständig gleichgültig, ob das infolge guten Wirkungsgrades bei Teilbelastung von den Turbinen weniger geschluckte Wasser über das Wehr abfliesst, oder aber, bei weniger günstigem Wirkungsgrad, durch die Turbinen. Für den Besitzer des Wasserkraftwerkes ist es viel wichtiger, bei den bei Niederdruckanlagen oft stark schwankenden Gefällen eine *möglichst konstante Leistung* zu erzielen, d. h. bei den kleinsten Gefällen, also bei Hochwasser, möglichst viel aus seinen Turbinen herausholen zu können. Von grosser Bedeutung ist es für ihn auch, die Möglichkeit zu besitzen, seine Turbinen durch Mehröffnung des Leitapparates *überlasten* zu können, ohne dass dabei der Wirkungsgrad zu stark abfällt. Aus dieser Er-