

Voraussage der Betonfestigkeit

Autor(en): **[s.n.]**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **42-43 (1974-1975)**

Heft 7

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153554>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

CEMENTBULLETIN

JULI 1974

JAHRGANG 42

NUMMER 7

Voraussage der Betonfestigkeit

Zusammenhang zwischen Betonfestigkeit und «Gel-Raum-Verhältnis». Ableitung von Formeln zur Bestimmung der Festigkeit. Berücksichtigung der wichtigsten Einflussgrößen.

Beim Erhärten des Portlandzementes entsteht eine Gelmasse, die den verfügbaren Raum zunehmend ausfüllt. Das Gel besteht aus den Verbindungen zwischen Zementbestandteilen und Wasser (den Hydraten), und der verfügbare Raum umfasst den hydratisierten Zement und das frei bewegliche Anmachwasser. Das Gel wächst in die wassergefüllten Zwischenräume hinein. Es nimmt den zweifachen Raum des Zementes ein, aus dem es entstanden ist (genau den 2,06fachen). In Abb. 1 sind diese Raumverhältnisse schematisch dargestellt.

Die Entwicklung der Gelmassen und die damit verbundene Ausfüllung der Zwischenräume in der wässrigen Suspension der Zementkörnchen ist die einleuchtende Ursache der Festigkeitsentwicklung. Es bestehen direkte Zusammenhänge, die im folgenden näher betrachtet werden. Man ist gewohnt, die Festigkeit des Zementsteins oder des Betons mit dem Wasserzementwert in Beziehung zu setzen, doch lässt sich diese Gesetzmässigkeit nicht unmittelbar ableiten. Der Ansatz für eine rechnerische Bestimmung der Betonfestigkeit muss in anderer Weise gesucht werden.

2 Der amerikanische Zementforscher T. C. Powers hat als Bezugsgrösse der Festigkeit das Verhältnis des Gelvolumens zum verfügbaren Raum vorgeschlagen (s. Literaturangabe). Abb. 2 zeigt diese Beziehung. Das Gel-Raum-Verhältnis bewegt sich zwischen den Werten 0 (noch keine Gelentwicklung) und 1 (verfügbare Raum ist vollständig vom Gel ausgefüllt). Im letzten Zustand wird ein theoretischer Maximalwert der Festigkeit erreicht.

Auf dieser Grundlage sind verschiedene Formeln abgeleitet worden. Nachstehend folgen wir einem Vorschlag von J. Karni (siehe Literaturangabe).

F (%) = relative Festigkeit des Zementsteins oder des Betons

Z_V (cm^3/l ; l/m^3) = absolutes Volumen des Zementes in der Mischung

Z_G (g/l ; kg/m^3) = Zementanteil der Mischung

W (g/l ; l/m^3) = Wasseranteil der Mischung

w ($=W/Z_G$) = Wasserzementwert

s ($= 3,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) = spezifisches Gewicht des Portlandzementes

H (%) = Anteil des Zementes, der bereits hydratisiert ist

Wenn die Festigkeit proportional zum Gel-Raum-Verhältnis ist, kann für eine relative Festigkeit gesetzt werden:

$$F (\%) = \frac{\text{Gelvolumen}}{\text{verfügbaren Raum}} \cdot 100$$

Dieser Wert bezieht sich auf die erwähnte theoretische Maximalfestigkeit. Er wächst mit zunehmender Hydratation.

Das «Gelvolumen» entspricht $2 \cdot \frac{H}{100} \cdot Z_V$. Diese Formel sagt einfach, dass das Gelvolumen zweimal so gross ist wie das Volumen des Zementes, aus dem es entstanden ist.

Der «verfügbare Raum» besteht aus dem Volumen der Zementpaste, vermindert durch das Volumen des noch nicht hydratisierten Zementes und entspricht demnach $(Z_V + W) - \frac{100 - H}{100} \cdot Z_V$

3 Der Ansatz für die gesuchte Formel lautet somit:

$$F (\%) = \frac{2 \cdot \frac{H}{100} \cdot Z_V}{(Z_V + W) - \frac{100 - H}{100} \cdot Z_V} \cdot 100$$

Daraus ergibt sich nach verschiedenen Umformungen:

$$F (\%) = \frac{H}{\frac{W}{2 Z_V} + \frac{H}{200}}$$

Wenn man nun für Z_V die effektive Zementdosierung Z_g einsetzt

mit $Z_V = \frac{Z_g}{s}$, ($s = 3,1 \text{ g/cm}^3$), so erhält man weiter

$$F (\%) = \frac{H}{1,55 \frac{W}{Z_g} + \frac{H}{200}} = \frac{H}{1,55 w + \frac{H}{200}} \quad (1)$$

Damit ist der Wasserzementwert in die Formel eingetreten. Seine universelle Gültigkeit wird einmal mehr bestätigt.

Mit dieser Formel allein ist der Praxis noch nicht geholfen, denn im Wert H sind viele Einflüsse auf die Festigkeitsentwicklung enthalten. Es sind bekanntlich vor allem die Zeit, die Temperatur und die Mahlfeinheit des Zementes, welche sich auf den Fortgang der Hydratation und damit auf H auswirken. Folgende Tabelle gibt die Größenordnungen für H an:

Tabelle 1

H-Werte (% Zement, der bereits hydratisiert ist)

Alter Tage	Temperatur							
	Normaler PC				Hochwertiger PC			
	10°	15°	20°	25°	10°	15°	20°	25°
7	30–32	34–36	37–39	39–41	38–40	45–47	48–50	54–56
14	40–42	45–48	46–49	48–50	48–50	54–56	56–58	61–63
28	52–54	56–59	58–61	61–64	56–59	62–65	66–69	70–73
90	68–72	75–79	80–84	84–88	75–80	81–85	83–88	86–90

4 Ein weiterer Schritt Richtung Praxis wäre der Übergang von der relativen Festigkeit F zur absoluten Grösse β . Hierfür gibt Karni eine einfache empirische Formel an, welche den nahezu linearen Verlauf der ursprünglichen Beziehung im praktischen Festigkeitsbereich Rechnung trägt (Abb. 2). Die Formel gilt für Beton mit üblicher Zusammensetzung bei Festigkeiten über 200 kg/cm^2 . Sie lautet:

$$\beta = 11,25 (F - 20) \text{ kg/cm}^2 \quad (2)$$

Mit Hilfe der Formeln (1) und (2) und der Tabelle 1 können Betonfestigkeiten zum voraus berechnet oder abgeschätzt werden. Die Genauigkeit ist allerdings nicht sehr gross. Sie wird besser, wenn das System einen oder mehrere Fixpunkte in der Form von gemessenen Festigkeiten erhält.

Zum Schluss sei angegeben, wie die wichtigsten Einflüsse auf die Betonfestigkeiten in dieser Berechnung Eingang finden.

Im Wert H sind enthalten die Einflüsse der:
Zeit, Temperatur, Mahlfeinheit und eventuell der Zusatzmittel.

Im Wert w sind enthalten die Einflüsse der:
Betonzusammensetzung in Verbindung mit Grösstkorn und Betonkonsistenz. Ferner der feinen Luftporen, deren Volumen als Wassergehalt gerechnet wird (entsprechende Erhöhung von w).

Auf die Konstanten der Formel (2) wirken ein:
grundsätzliche Änderungen des Charakters des Betons, z.B. Magerbeton, andersartiger Zuschlag, grosse Hohlräume.

Tr.

Literaturangaben:

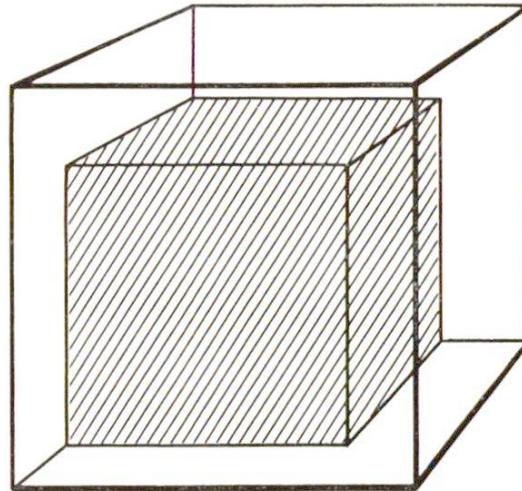
- T. C. Powers, T. L. Brownyard**, J. Am. Concr. Inst., Proc. **43** (1946/47)
A. M. Neville, Properties of Concrete (Leeds, 1970)
J. Karni, Matériaux et Constructions (RILEM) **7**, No. 39 (Paris 1974)

5 Abb.1 Schematische Darstellung der räumlichen Entwicklung des Zementgels bei der Hydratation (Erhärtung) und des bedeutsamen Verhältnisses zwischen Gelvolumen und verfügbarem Raum.

Schraffierter Würfel: Raum des unhydratisierten Zementes
 Durchsichtiger Würfelteil: Raum des freibeweglichen Wassers
 Punktiertierter Würfelteil: Raum des Gels

A: Vor dem Eintreten der Hydratation

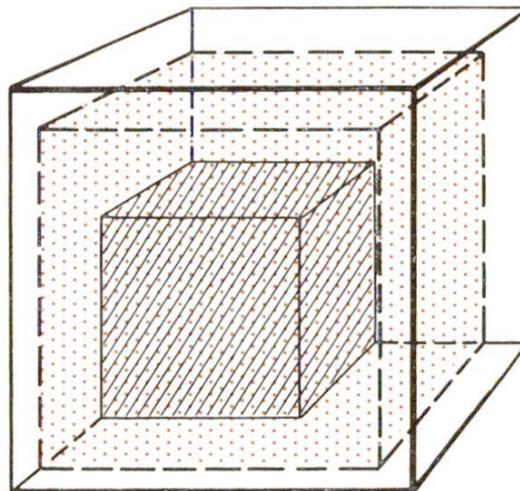
$$\frac{\text{Gelvolumen}}{\text{verfügbaren Raum}} = 0$$



A

B: Nach etwa 4 Wochen sind 60% des Zementes hydratisiert

$$\frac{\text{Gelvolumen}}{\text{verfügbaren Raum}} = \frac{(\text{punktiertierter Würfel}) - (\text{schraffierter Würfel})}{(\text{durchsichtiger Würfel}) - (\text{schraffierter Würfel})} = 0,58$$

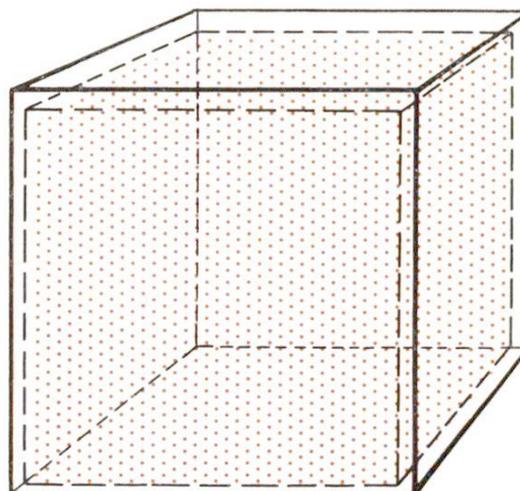


B

C: Sämtlicher Zement ist hydratisiert

$$\frac{\text{Gelvolumen}}{\text{verfügbaren Raum}} = 0,81$$

(Beispiel mit Wasserzementwert = 0,5)



C

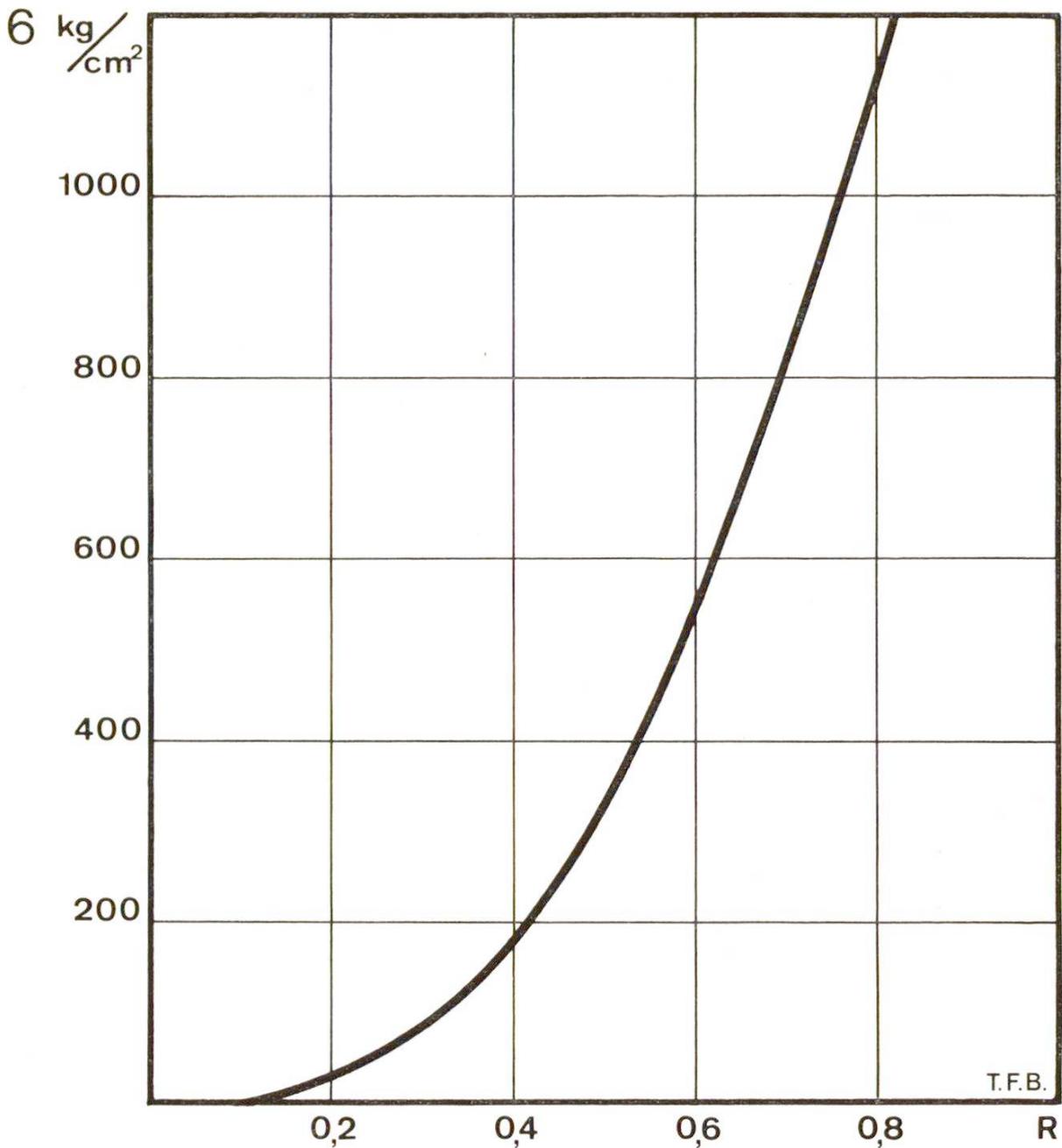


Abb. 2 Beziehung zwischen Druckfestigkeit von Zementmörtel und dem Verhältnis

$\frac{\text{Gelvolumen}}{\text{verfügbaren Raum}}$ (nach Powers).

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE
 5103 Wildegg Postfach Telephon (064) 53 17 71