

**Zeitschrift:** Cementbulletin  
**Herausgeber:** Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)  
**Band:** 42-43 (1974-1975)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Voraussage der Betonfestigkeit  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-153554>

#### 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:** 13.01.2026

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

# 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 wässerigen 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 (verfügbarer 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

$Z_V$  ( $\text{cm}^3/\text{l}$ ;  $\text{l}/\text{m}^3$ ) = absolutes Volumen des Zementes in der Mischung

$Z_g$  ( $\text{g}/\text{l}$ ;  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) = Zementanteil der Mischung

$W$  ( $\text{g}/\text{l}$ ;  $\text{l}/\text{m}^3$ ) = 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:

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

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  $\beta$ . 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  $200 \text{ kg/cm}^2$ . 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)

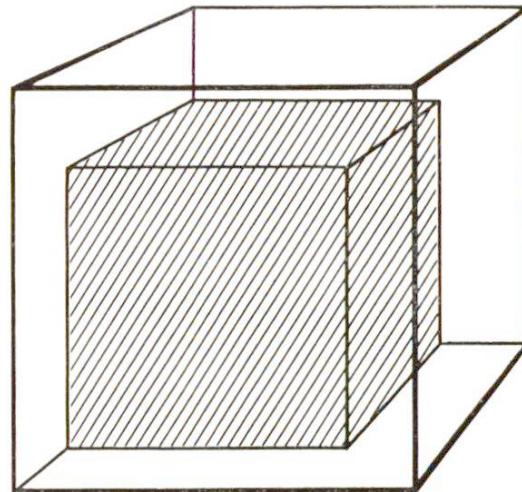
## 5

**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  
 Punktierter Würfelteil: Raum des Gels

**A: Vor dem Eintreten der Hydratation**

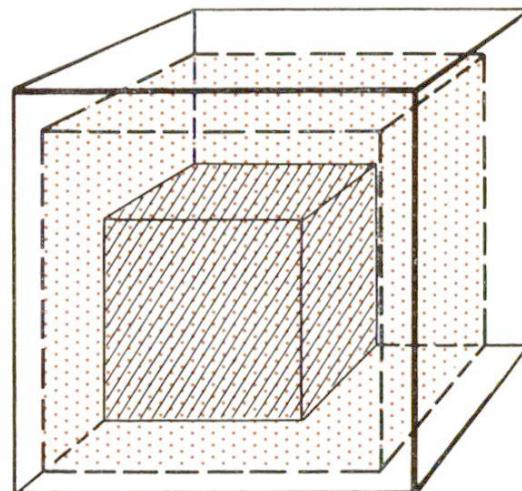
$$\frac{\text{Gelvolumen}}{\text{verfügbarer Raum}} = 0$$



**A**

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

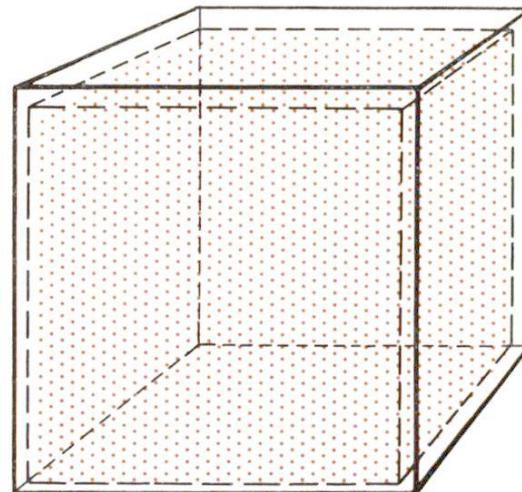
$$\begin{aligned} \frac{\text{Gelvolumen}}{\text{verfügbarer Raum}} &= \\ (\text{punktierter Würfel}) - (\text{schraffierter Würfel}) & \\ (\text{durchsichtiger Würfel}) - (\text{schraffierter Würfel}) & \\ &= 0,58 \end{aligned}$$



**B**

**C: Sämtlicher Zement ist hydratisiert**

$$\begin{aligned} \frac{\text{Gelvolumen}}{\text{verfügbarer Raum}} &= 0,81 \\ (\text{Beispiel mit Wasserzementwert} &= 0,5) \end{aligned}$$



**C**

T.F.B.

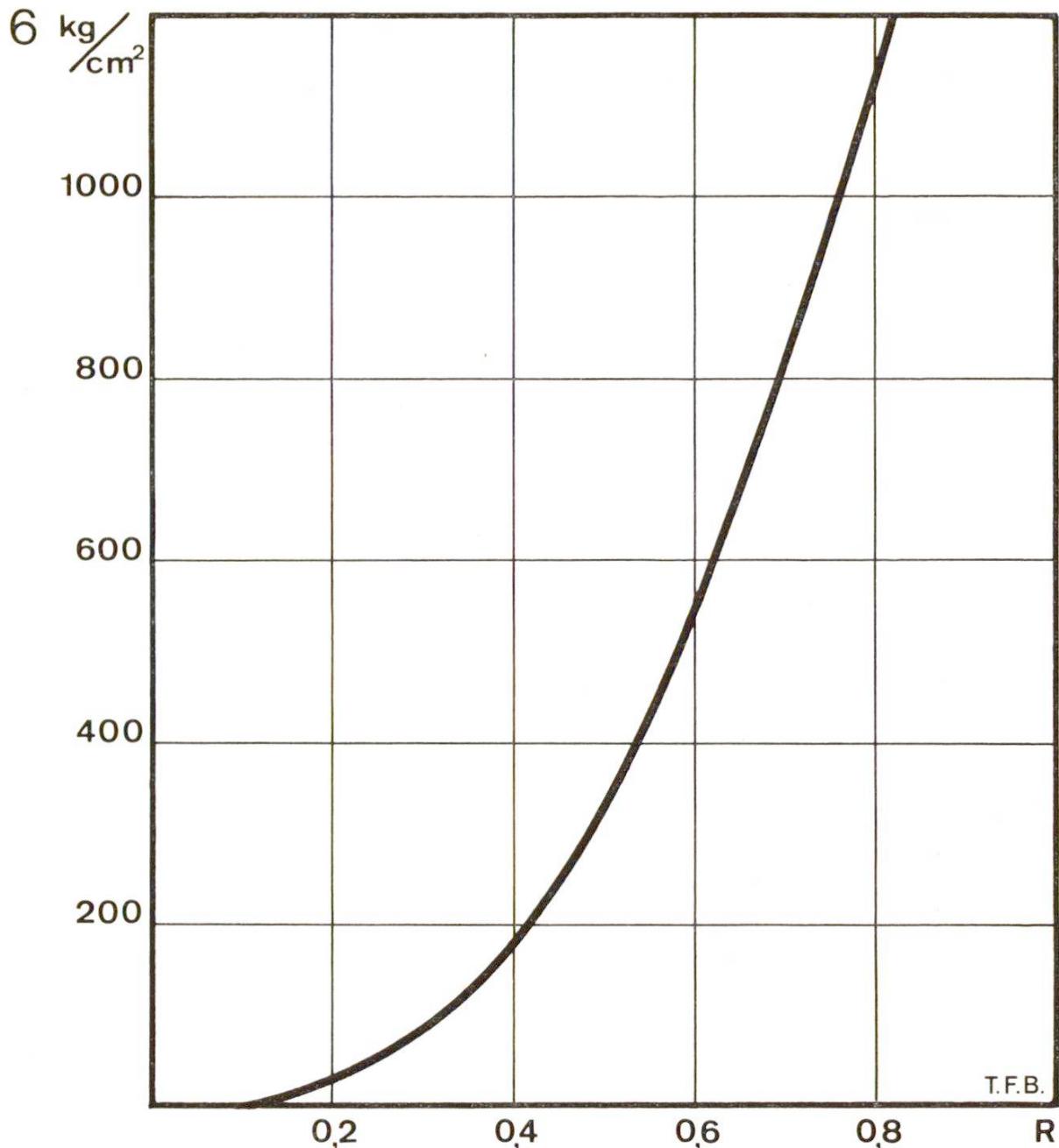


Abb. 2 Beziehung zwischen Druckfestigkeit von Zementmörtel und dem Verhältnis

Gelvolumen  
verfügbarer 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