

# Vorausberechnung der Betondruckfestigkeit mit der Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 E (ISO-Prüfverfahren)

Von Gerd Wischers, Düsseldorf

## Übersicht

*Mittels eines entsprechenden Nomogramms kann man die Betondruckfestigkeit mit ausreichender Genauigkeit aus der Zement-Normendruckfestigkeit und dem Wasserzementwert vorausberechnen. Da diesem Nomogramm die nach DIN 1164 (Ausgabe 1942) ermittelte Zement-Normendruckfestigkeit zugrunde liegt, kann man es nicht ohne weiteres verwenden, wenn nur die nach DIN 1164 E (ISO-Prüfverfahren) ermittelte Zement-Normendruckfestigkeit bekannt ist. Sie muß zunächst mittels eines Diagramms auf die bisherige Normendruckfestigkeit transformiert werden. Wie eine Vergleichsrechnung zeigt, bleibt der Fehler in der Vorausberechnung allerdings auch in erträglichen Grenzen, wenn man die nach DIN 1164 E ermittelte Zement-Normendruckfestigkeit unmittelbar in das Nomogramm einsetzt, zugleich jedoch in der Vorausberechnung eine um 20 kp/cm<sup>2</sup> überhöhte Betondruckfestigkeit annimmt.*

## 1. Allgemeines

Wie seit langem bekannt ist, kann man die Druckfestigkeit von üblichem Beton aus dichtem Zuschlaggestein mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit schon allein aus der Zement-Normendruckfestigkeit und dem Wasserzementwert des Frischbetons vorausberechnen. Unter Betondruckfestigkeit wird dabei diejenige Festigkeit verstanden, die am 20-cm-Würfel nach vollständiger Verdichtung des Frischbetons und Lagerung nach DIN 1048 im Alter von 28 Tagen ermittelt wird.

## 2. Vorausberechnung der Betondruckfestigkeit

Für die Vorausberechnung der Betondruckfestigkeit aus der Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 und dem Wasserzementwert stehen seit vielen Jahren sowohl Formeln als auch auf umfangreichen Versuchsunterlagen beruhende Nomogramme zur Verfügung [1, 2, 3, 4]. Für die praktische Anwendung sind die Nomogramme einfach zu handhaben. In Bild 1, das [4] entnommen ist, ist über dem Wasserzementwert das Verhältnis von 28-Tage-Betondruckfestigkeit zur 28-Tage-Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 aufgetragen. Sind zwei der drei Größen

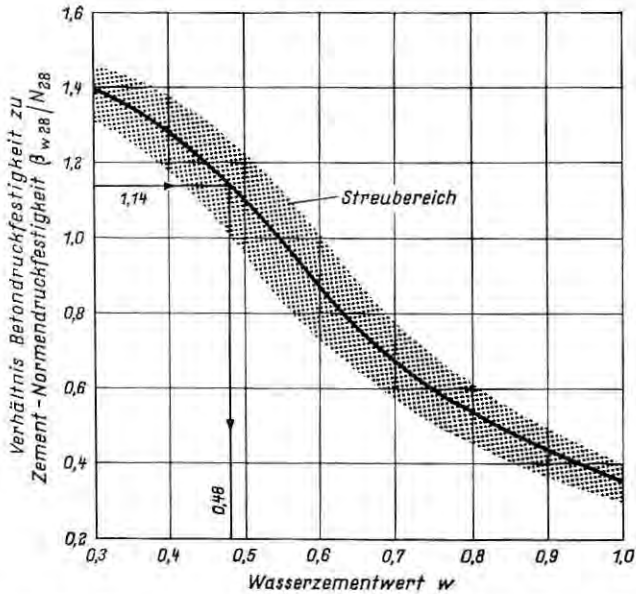


Bild 1 Beziehung zwischen Wasserzementwert  $w$ , Zement-Normdruckfestigkeit  $N_{28}$  und Betondruckfestigkeit  $\beta_{w28}$  [4]

bekannt oder gewählt, so kann die dritte mittels dieses Nomogramms ermittelt werden.

Neben der mittleren Beziehung ist in Bild 1 auch noch der übliche Streubereich eingetragen, der verhältnismäßig groß ist. Dieser Streubereich ist zum einen durch weitere unberücksichtigte Einflußgrößen bedingt, wie z. B. das unterschiedliche Haften des Zementsteins an verschiedenen Zuschlagkörnern infolge glatter oder rauher Kornoberfläche. Zum anderen kommt dieser Streubereich auch durch die Prüfstreuungen zustande, die selbst bei sorgfältigem Befolgen der Prüfvorschriften sowohl bei der Bestimmung der Betondruckfestigkeit als auch der der Zement-Normdruckfestigkeit unvermeidbar sind. Wegen des großen Streubereichs ist es auch nicht sinnvoll, den weiteren Rechnungsgang mit einer überzogenen Genauigkeit durchzuführen, sondern man sollte den für die anschließende Eignungsprüfung errechneten Zementgehalt auf wenigstens 5 oder 10  $\text{kg/m}^3$  runden.

### 3. Bestimmung der Zement-Normdruckfestigkeit

Dem Nomogramm in Bild 1 liegt die Zement-Normdruckfestigkeit zugrunde, wie sie seit Juli 1942 nach DIN 1164<sup>1</sup> bestimmt

<sup>1)</sup> Im folgenden als DIN 1164 (alt) bezeichnet.

wird. Diese Prüfung schreibt einen weichen Prüfmörtel aus genormtem Prüfsand (Ausfallkörnung zweier eng begrenzter Korngruppen) mit einem Mischungsverhältnis von Zement : Sand wie 1 : 3 nach Gewicht und mit einem Wasserzementwert von 0,60 vor; der Mörtel ist durch Stampfen von Hand zu verdichten.

Die vorgesehene Neufassung der DIN 1164 (Entwurf Juli 1967)<sup>2)</sup> sieht demgegenüber aus mehreren Gründen [5] einen etwas steiferen Prüfmörtel vor, dessen Mischungsverhältnis zwar ebenfalls 1 : 3 beträgt, dessen Prüfsand jedoch einen stetigen Kornaufbau aufweist und dessen Wasserzementwert nur 0,50 beträgt. Diese Zusammensetzung entspricht dem von der ISO (Internationale Normen-Organisation) vorgeschlagenen Prüfverfahren. Für das Verdichten des Prüfmörtels ist in DIN 1164 E ein Vibrationsloch vorgeschrieben<sup>3)</sup>.

Für einen Zement, der also im Beton einen bestimmten Festigkeitsbeitrag liefert, erhält man daher mit dem in DIN 1164 E vorgesehenen Prüfverfahren grundsätzlich eine andere Zement-Normendruckfestigkeit als bisher mit DIN 1164 (alt). Die Unterschiede, wie sie sich aus einer mehrfachen Prüfung sämtlicher Zemente der Bundesrepublik Deutschland nach beiden Verfahren ergeben haben, sind in Bild 2 dargestellt [5]. Auf der Abszisse ist die 28-Tage-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 (alt) aufgetragen, auf der Ordinate die 28-Tage-Normendruckfestigkeit, wie sie nach DIN 1164 E ermittelt wurde. Wären die Normendruckfestigkeiten nach DIN 1164 (alt) und DIN 1164 E gleich, so müßten sie auf der unter 45° eingetragenen Geraden in Bild 2 liegen. Bei der Mehrzahl der Zemente entstand entsprechend dem kleineren Wasserzementwert bei der Prüfung nach DIN 1164 E eine etwas höhere Normendruckfestigkeit, die im allgemeinen 5% nicht wesentlich überschritt (Punkte oberhalb der 45°-Linie). Viele Zemente lieferten bei der Prüfung nach DIN 1164 (alt) und DIN 1164 E etwa gleiche Normendruckfestigkeiten, besonders jene im unteren Festigkeitsbereich. Einige Zemente erreichten mit dem neuen Verfahren (DIN 1164 E) sogar eine niedrigere Festigkeit als mit dem bisherigen Prüfverfahren.

---

<sup>2)</sup> Im folgenden als DIN 1164 E bezeichnet.

<sup>3)</sup> Bei der abschließenden Beratung von DIN 1164 E hat der Fachnormenausschuß „Zement“ hinsichtlich Einfüllen und Verdichten des Prüfmörtels die nachfolgenden Änderungen gegenüber dem veröffentlichten Entwurf (Gelbdruck) beschlossen:

Die Schwingbreite des Vibrationstisches muß  $0,75 \pm 0,10$  mm betragen. Die Form ist auf den Vibrationstisch fest aufzuspannen. Nach Einschalten des Vibrators werden die Fächer der Form in zwei Lagen innerhalb von höchstens 45 s mit dem Mörtel wie folgt gefüllt: Mit der ersten Lage Mörtel (etwa 320 g je Fach) werden unter Verwendung eines Löffels die Fächer der Form von rechts beginnend innerhalb 15 s bis ungefähr zur Hälfte gefüllt; nach einer Einfüllpause von 15 s wird innerhalb der nächsten 15 s die zweite Lage wiederum von rechts beginnend eingebracht und die Form etwas über den Rand gefüllt. Nach insgesamt 120 s wird der Vibrator abgeschaltet.

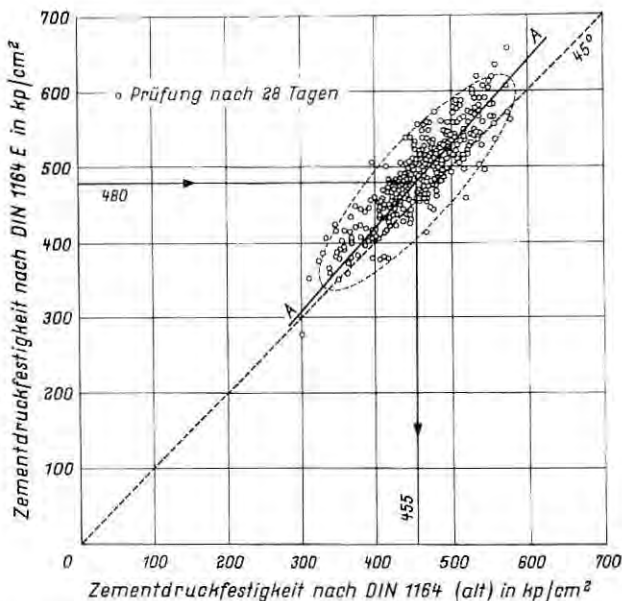


Bild 2 Druckfestigkeit sämtlicher deutscher Zemente im Alter von 28 Tagen bei der Prüfung nach DIN 1164 (alt) und nach DIN 1164 E

#### 4. Vorausberechnung der Betondruckfestigkeit aus der nach DIN 1164 E bestimmten Zement-Normendruckfestigkeit

Da zum Sammeln weitergehender Erfahrungen der Zement an vielen Stellen der Bundesrepublik Deutschland schon jetzt zusätzlich oder ausschließlich nach DIN 1164 E geprüft wird, ergibt sich die Frage, wie mit diesen Festigkeitswerten die Betondruckfestigkeit vorausberechnet werden kann, da entsprechende Nomogramme — wie nach Bild 1 für DIN 1164 (alt) — noch nicht veröffentlicht worden sind <sup>4)</sup>.

Man kann zunächst aus Bild 2 mit der Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 E die wahrscheinliche Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 (alt) ermitteln. Hierzu trägt man auf der Ordinate in Bild 2 den Wert nach DIN 1164 E ab, verlängert waagrecht bis zum Schnittpunkt der Achse A—A des eingetragenen elliptischen Punkthaufens, geht dann senkrecht bis zur Abszisse hinab und liest dort den Wert nach DIN 1164 (alt) ab. Dann führt man die Vorausberechnung in gewohnter Form mit Hilfe von Bild 1 durch; zur Erläuterung diene das nachfolgend durchgerechnete Beispiel.

<sup>4)</sup> Entsprechende Nomogramme, gegebenenfalls auch Tafeln, werden an dieser Stelle von K. Walz demnächst veröffentlicht. Mehrere hundert Versuche mit Zuschlägen aus verschiedenen Teilen Deutschlands werden hierzu derzeit ausgewertet.

### Beispiel

Gesucht ist der erforderliche Zementgehalt für einen Beton der Festigkeitsklasse B 450. Für die Eignungsprüfung wird zur Sicherheit eine um 15 % höhere Betondruckfestigkeit angestrebt, also die Zusammensetzung eines Betons mit einer Würfeldruckfestigkeit von  $\beta_{w28} = 1,15 \cdot 450 = 518 \text{ kp/cm}^2$ . Der Wasseranspruch des Zuschlaggemisches für die gewählte Konsistenz möge  $160 \text{ l/m}^3$  betragen. Zur Verfügung steht ein Zement, dessen 23-Tage-Normendruckfestigkeit  $N_{28}$  nach DIN 1164 E bestimmt wurde und rd.  $480 \text{ kp/cm}^2$  beträgt. Wie das in Bild 2 eingetragene Beispiel zeigt, entspricht dem eine Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 (alt) von rd.  $455 \text{ kp/cm}^2$  (also rd. 5 % weniger). Mit einer Zement-Normendruckfestigkeit von  $455 \text{ kp/cm}^2$  wird  $\beta_{w28} : N_{28} = 518 : 455 = 1,14$ . Bild 1 liefert hierzu einen mittleren Wasserzementwert von  $w = 0,48$  (siehe eingetragenes Beispiel). Daraus errechnet sich der erforderliche Zementgehalt  $Z = \text{Wassergehalt} : \text{Wasserzementwert} = 160 : 0,48 = 335 \text{ kg/m}^3$ .

Wenn man eine Vorausberechnung durchführt ohne Berücksichtigung, daß das Prüfverfahren nach DIN 1164 E im großen Durchschnitt eine etwas höhere Zement-Normendruckfestigkeit liefert, also die Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 E unmittelbar in Bild 1 einsetzt, dann erhält man einen zu großen Wasserzementwert und damit — da der Wassergehalt des Betons festliegt — einen etwas zu geringen Zementgehalt. Für das zuvor durchgerechnete Beispiel würde man bei unmittelbarem Einsetzen der Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 E von rd.  $480 \text{ kp/cm}^2$  in Bild 1 einen Wasserzementwert von 0,51 erhalten und damit einen Zementgehalt von nur  $315 \text{ kg/m}^3$  errechnen, der also  $20 \text{ kg/m}^3$  unter dem erforderlichen Zementgehalt liegen würde. Bei einer Eignungsprüfung mit  $315 \text{ kg/m}^3$  Zement wären statt der angestrebten  $518 \text{ kp/cm}^2$  Betondruckfestigkeit nur rd.  $490 \text{ kp/cm}^2$  zu erwarten. Ähnliche Berechnungen für die Betonfestigkeitsklassen B 225 und B 300 lieferten Zementgehalte, die um rd.  $10 \text{ kg/m}^3$  unter der erforderlichen Menge lagen, wenn man unmittelbar die Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 E in Bild 1 einsetzte. Die bei diesen etwas zu geringen Zementgehalten zu erwartende Betondruckfestigkeit lag jedoch höchstens um  $20 \text{ kp/cm}^2$  unter der angestrebten Festigkeit.

### 5. Zusammenfassung

Steht für eine Mischungsberechnung nur die nach DIN 1164 E (neues Prüfverfahren) ermittelte Zement-Normendruckfestigkeit zur Verfügung, dann kann man mit Bild 2 diese Festigkeit auf die Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 (alt, Ausgabe 1958) transformieren und die Betonzusammensetzung wie üblich unter Benutzung von Bild 1 berechnen.

Würde man die Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 E unmittelbar in Bild 1 zur Mischungsberechnung einsetzen, so würde man eine um  $10$  bis  $20 \text{ kg/m}^3$  zu niedrige Zementmenge bzw. eine um  $15$  bis  $30 \text{ kp/cm}^2$  zu niedrige Betondruckfestigkeit erhalten, weil das Nomogramm (Bild 1) für die Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 (alt) gilt. Man könnte auch diesen Weg wählen, wenn man für  $\beta_{w28}$  (Ordinate von Bild 1) eine um rd.  $20 \text{ kp/cm}^2$  höhere Betondruckfestigkeit einsetzt.

Nomogramme, denen die Zement-Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 E (ISO-Verfahren) zugrunde liegt, werden demnächst an dieser Stelle veröffentlicht.

#### SCHRIFTTUM

- [1] Graf, O.: Der Aufbau des Mörtels und des Betons. Verlag Julius Springer, Berlin 1930.
- [2] Hummel, A.: Das Beton-ABC. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1935 (12. Auflage 1959).
- [3] Walz, K.: Anleitung für die Zusammensetzung und Herstellung von Beton mit bestimmten Eigenschaften. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1958 (2. Auflage 1963).
- [4] Walz, K.: Wie werden betontechnische Erkenntnisse für das Bauen nutzbar gemacht? beton 10 (1960) H. 10, S. 483/490; ebenso Betontechnische Berichte 1960, Beton-Verlag, Düsseldorf 1961, S. 107/125.
- [5] Walz, K., und G. Wischers: Zum Entwurf der Neufassung der Zementnorm DIN 1164. beton 18 (1968) H. 1, S. 10/14; ebenso Betontechnische Berichte 1968, Beton-Verlag, Düsseldorf 1969, S. 21/32.