

# 15. Qualitätskontrolle

Ir. L. HUIBREGTSE

Die technische Qualität einer Stahlbetonkonstruktion wird bestimmt durch ihre mechanischen Eigenschaften und durch ihre Dauerhaftigkeit. Dauerhaftigkeit lässt sich definieren als das Nicht-Verändern der ursprünglichen Eigenschaften während der Lebensdauer der Konstruktion.

Vorausgesetzt, dass der Entwurf gut ist, werden die mechanischen Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit der Konstruktion bestimmt durch die Qualität des Baustoffes Stahlbeton. Weil die Eigenschaften des Bewehrungsstahls zwischen engen Grenzen bekannt sind, ist es die Qualität des Betons, die während des Baues erreicht wird, die bestimmend ist für die technische Qualität der Konstruktion.

Die mechanischen Eigenschaften des Betons – Festigkeit, Steifigkeit usw. – werden bestimmt durch die Frischbeton Zusammensetzung – Zementgehalt, Wasser-Zementwert, Sieblinie des Zuschlages, Konsistenz, Zusatzmittel – und durch die Ausführung – Transport, Betonieren, Verdichtung, Nachbehandlung. In allgemeinen kann man sagen, dass durch einen niedrigen Wasser-Zementwert und eine gute Verdichtung Beton mit einer hohen Festigkeit und mit niedriger Porosität erreicht wird. Der grosse Einfluss des Wasser-Zementwertes auf die Festigkeit zeigt sich in Bild 15.1.

Eine hohe Festigkeit geht im allgemeinen parallel mit einer niedrigen Porosität. Eine niedrige Porosität des Betons ist neben der Zementart einer der wichtigsten Faktoren für die Dauerhaftigkeit. Auf Grund dieser Eigenschaft kann man im allgemeinen sagen: „Beton mit einer hohen Festigkeit ist ein dauerhafter Baustoff“. Jedoch im Falle möglich zu erwartender starken Beanspruchungen des Betons sind nach der Art dieser Beanspruchungen ergänzende Massnahmen notwendig. Zum Beispiel der Zusatz eines LP-Mittels für die Frostbeständigkeit des Betons.

Mittels Qualitätskontrolle während des Bauens ist die Qualität des Betons und damit auch der Konstruktion zu sichern. Die Qualitätskontrolle umfasst die Überwachung der:

- a. Eigenschaften der Baustoffe: Zement, Wasser, Zuschlagstoff, Zusatzmittel, Stahl.
- b. Eigenschaften des Frischbetons: Mischungsverhältnis, Luftporengehalt, Konsistenz usw.
- c. Ausführung: Schalung, Bewehrung, Frischbetontransport, Verdichtung, Nachbehandlung.

Die Überwachung endet mit dem Akzeptieren oder Zurückweisen der Konstruktion. Das Kriterium dazu ist meistens die Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen. Nach 28 Tagen jedoch ist der Beton in der Konstruktion bereits erhärtet. Das kann bedeuten, dass die Konstruktion schon vollendet ist, ohne dass die Würtefestigkeit

nach 28 Tagen den Anforderungen jedenfalls entspricht. Dieser Nachteil des Kriteriums kann nur vermieden werden indem die Festigkeit im Alter von 28 Tagen mit Hilfe des Wasser-Zementwertes oder mit Hilfe beschleunigt erhärteter Würfel vorausgesagt wird.

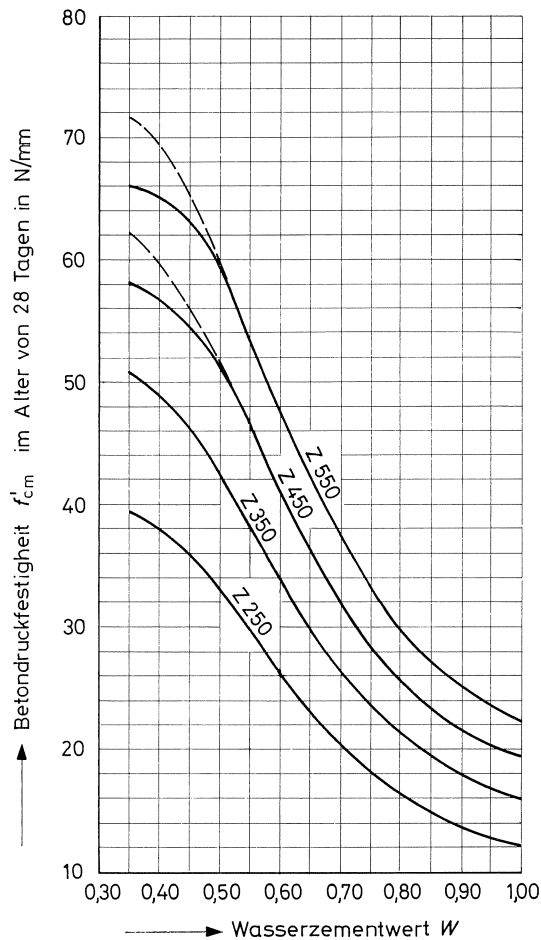


Bild 15.1. Abhängigkeit der Würfelfestigkeit  $f'_{cm}$  des Betons vom W/Z-Wert und von der Festigkeitsklasse des Zements nach DIN 1164, Ausgabe Juni 1970 (nach [15.1]).

Aus dem Vorangehenden geht klar hervor, dass die Überwachung des Wasser-Zementwertes des Frischbetons sehr wichtig ist für die schliesslich zu erreichende Qualität des Betons und damit der Konstruktion. Der Wasser-Zementwert ist nur durch eine Frischbetonanalyse zu ermitteln.

Die Literatur gibt mehrere Analysemethoden, wie die Methode von Dunagan [15.2], Thaulow [15.3], EMPA-Canard [15.4], IBBC [15.5], Laing [15.6], Kelly [15.7], Carlsen und Gukild [15.8], Lepper und Rodgers [15.9] und Forrester [15.10].

Diese Analysemethoden sind jedoch heutzutage meistens nicht für die Baustelle

geeignet oder sie sind nicht vollständig. Beim Thaulow-Verfahren zum Beispiel muss man den Zuschlag-Zementwert ( $K$ ) kennen für die Ableitung des Wasser-Zementwertes.

In Zusammenarbeit mit der CUR-Kommission B 14 ist deshalb eine Analyse-methode [15.11] entwickelt worden, mit der es durch Wiegen über und unter Wasser und durch Nasssieben auf einfache Weise möglich ist, Frischbeton auf der Baustelle innerhalb von 40 bis 50 Minuten zu analysieren.

Das Prinzip dieser Analyse-methode ist im Bild 15.2 gegeben.

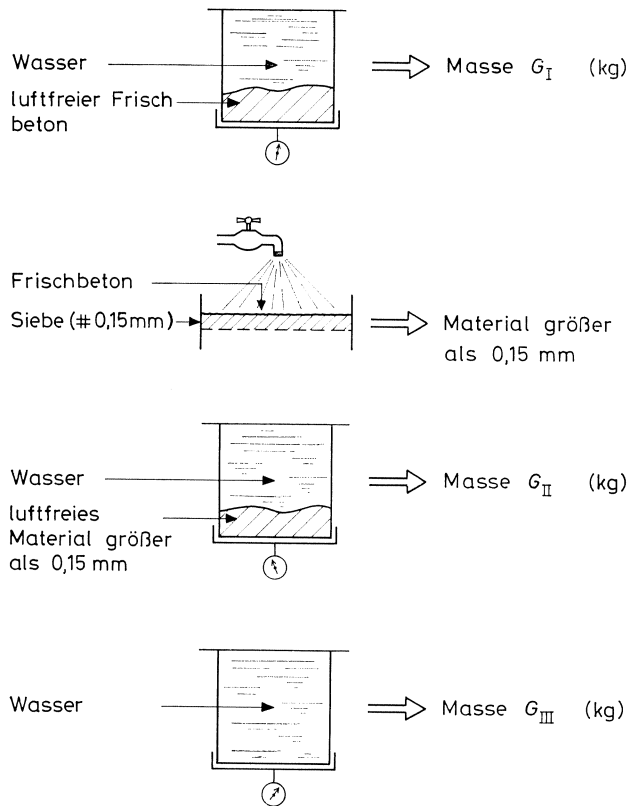


Bild 15.2. Analyse einer Frischbetonprobe, Masse  $G$  kg.

Eine Frischbetonprobe mit der Masse  $G$  (ungefähr  $5\text{ kg}$ ) wird in ein Gefäß geschüttet. Die Probe wird, wie beim Thaulow-Verfahren, luftfrei gemacht. Das Gefäß, zum Beispiel das Gefäß des Luftpyknometers, wird mit Wasser gefüllt und geschlossen. Das angefüllte Gefäß wird gewogen (Masse  $G_I$ ).

$$G_I = C + T + G_f + \left( V - \frac{C}{\rho_{sc}} - \frac{T}{\rho_{srt}} \right) \rho_{sw} \quad (15.1)$$

wobei:

$$\begin{aligned}
 C &= \text{Zementmasse} && [\text{kg}] \\
 T &= \text{Zuschlagmasse} && [\text{kg}] \\
 G_f &= \text{Masse des Gefässes} && [\text{kg}] \\
 V &= \text{Volumen des Gefässes} && [\text{l}] \\
 \varrho_{sc} &= \text{Dichte des Zements} && [\text{kg/l}] \\
 \varrho_{srt} &= \text{Rohdichte des Zuschlags} && [\text{kg/l}] \\
 \varrho_{sw} &= \text{Dichte des Wassers} && [\text{kg/l}]
 \end{aligned}$$

Danach wird die Probe nass gesiebt (Sieb  $\#0,15$  mm). Auf dem Sieb bleiben das Zuschlagmaterial grösser als 0,15 mm ( $= (1-q)T$ ) und ein Teil des Zements ( $= pC$ ) zurück. Darauf wird das Gefäss mit dem Material grösser als 0,15 mm gefüllt, und die Masse  $G_{II}$  wird bestimmt.

$$G_{II} = pC + (1-q)T + G_f + \left( V - \frac{pC}{\varrho_{sc}} - \frac{(1-q)T}{\varrho_{srt}} \right) \varrho_{sw} \quad (15.2)$$

Schliesslich wird auch die Masse  $G_{III}$  vom Gefäss, gefüllt mit Wasser, bestimmt.

$$G_{III} = G_f + V \cdot \varrho_{sw} \quad (15.3)$$

Mit Hilfe der Gleichungen 15.1, 15.2 und 15.3 können die Gleichungen 15.4 und 15.5 abgeleitet werden.

$$C = \frac{(1-q)\varrho_{sc}}{(1-p-q)(\varrho_{sc}-1)}(G_I - G_{II}) - \frac{q}{(1-p-q)} \frac{\varrho_{sc}}{(\varrho_{sc}-1)}(G_{II} - G_{III}) \quad (15.4)$$

$$T = \frac{(1-p)}{(1-p-q)} \frac{\varrho_{srt}}{(\varrho_{srt}-1)}(G_{II} - G_{III}) - \frac{p}{(1-p-q)} \frac{\varrho_{srt}}{(\varrho_{srt}-1)}(G_I - G_{II}) \quad (15.5)$$

$$W = G - C - T \quad (15.6)$$

Aus Laborversuchen folgte, dass für  $p$  und  $q$  die Werte  $p = 0,03$  und  $q = 0,007$  genommen werden können. Die Gleichungen 15.4, 15.5 und 15.6 können selbstverständlich abgestimmt werden für Frischbeton mit bekannter Zusammensetzung; es gibt jedoch auch die Möglichkeit, ein System vereinfachter Gleichungen zu machen, die gültig für Frischbeton mit unbekannter Zusammensetzung sind.

Aus orientierenden Versuchen folgte, dass für Frischbeton mit kieselartigem Zuschlag (wovon nicht mehr als 1% kleiner ist als 0,15 mm) die Gleichungen 15.4 und 15.5 zu vereinfachen sind.

So ergibt sich für Frischbeton mit Portlandzement:

$$C_p = 1,495(G_I - G_{II}) - 0,010(G_{II} - G_{III}) \quad (15.7)$$

$$T = 1,625(G_{II} - G_{III}) - 0,050(G_I - G_{II}) \quad (15.8)$$

$$W = G - C - T \quad (15.6)$$

Die Gleichungen 15.6, 15.7 und 15.8 können auch graphisch dargestellt werden (siehe Bild 15.3). So ist es möglich, dem Zementgehalt (C) und den Wasser-Zementwert (W/Z-Wert) schnell abzulesen.

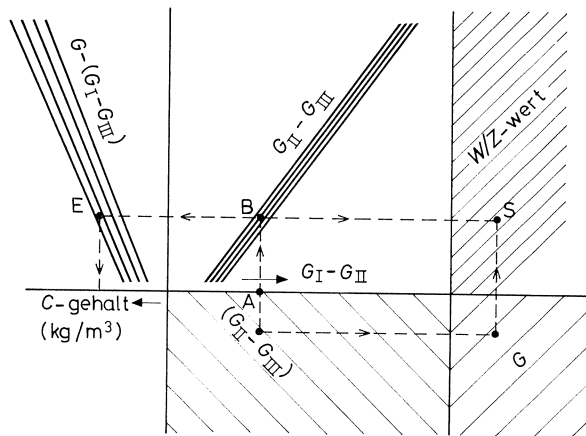


Bild 15.3. Schema einer graphischen Darstellung der Gleichungen. Ein Beispiel ist mit den gestrichelten Linien gegeben.

Sind die Massen  $G$ ,  $G_I$ ,  $G_{II}$  und  $G_{III}$  bekannt, dann ist im Bild 15.3 (gestrichelte Linien) zu sehen, wie man ausgehend von der Masse  $(G_I - G_{II})$  (Punkt A) den Zementgehalt C und den W/Z-Wert ablesen kann.

Aus den schon erwähnten Versuchen folgen schliesslich in bezug auf die Genauigkeit der Methode bei Anwendung der vereinfachten Gleichungen die in Tabelle 15.1 gegebenen Werte.

Tabelle 15.1. Genauigkeiten des analysierten Zementgehaltes und des Wasser-Zementwertes von Frischbeton ohne Zusatzmittel, die mit 90% Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden

	Zementgehalt	Wasser-Zementgehalt
1 Analyse	10%	0,04
mittlerer Wert von 3 Analysen	7%	0,03

## Literatur

- 15.1 WALZ, K.: Herstellung von Beton nach DIN 1045. Düsseldorf, 1971.
- 15.2 DUNAGAN, W. M.: A method of determining the constituents of fresh concrete. Proceedings ACI, vol. 26, 1930.
- 15.3 MOMBER, K.: W/Z-Wert Kontrolle nach Thaulow. Beton 7-69.
- 15.4 ESENWEIN, P. und REHMANN, E.: Frischbeton Schnellanalyse "EMPA-Vanard". Zementbulletin Nr. 10 und 11, 1970.
- 15.5 WIEBENGA, J. G.: Onderzoek naar de mogelijkheid met controleproeven, o.a. in de concept VB 1972 voorgeschreven, de betonkwaliteit na 28 dagen te voorspellen. TNO-IBBC rapport nr. BI-72-9.

- 15.6 BACKLER, A. P.: Rapid analyses of fresh concrete. Construction Research and Development Journal.
- 15.7 KELLY, R. T. und VAIL, J. W.: Rapid analyses of fresh concrete. Concrete, April and May 1968.
- 15.8 CARLSEN, R. und GUKILD, E.: Eine direkte Methode zur Bestimmung des W/Z Verhältnisse in Frischbeton. Zement-Kalk-Gips Nr. 6, 1971.
- 15.9 LEPPER, H. A. und RODGERS, R. B.: Nuclear methods for determining the water content and unit weight of fresh concrete. Journal of Materials 6 (4), 1970.
- 15.10 FORRESTER, J. A.: An apparatus for the rapid analysis of fresh concrete to determine its cement content. Technical report UDC 666.97.015.7, Cement and Concrete Association, April 1974.
- 15.11 HUIBREGTSE, L.: Analyse van verse betonspecie. TNO-IBBC rapport nr. BI-73-43.