

# Wasserzementwert-Tafeln für Eignungsprüfungen nach DIN 1045

Von Wilhelm Manns, Düsseldorf

## Übersicht

*Für jede Eignungsprüfung ist als Vorarbeit ein Mischungsentwurf der Betonzusammensetzung festzulegen. Hierzu muß der Wasserzementwert nach dem sogenannten Wasserzementwertgesetz unter Beachtung der in DIN 1045 angegebenen Grenzwasserzementwerte für Stahlbeton und Beton mit besonderen Eigenschaften ermittelt werden. Als Zementnormfestigkeit kann man dabei mit ausreichender Genauigkeit den Mittelwert des Festigkeitsbereiches der jeweiligen Zementfestigkeitsklasse in Ansatz bringen.*

*Unter Berücksichtigung der für Beton B I (Bn 50, Bn 100, Bn 150, Bn 250) vorgeschriebenen und für Beton B II (Bn 350, Bn 450, Bn 550) zu empfehlenden Vorhaltemaße sind die jeweils erforderlichen Wasserzementwerte errechnet und in Tafeln zusammengestellt worden. Aus diesen Tafeln kann beim Mischungsentwurf zu einer Eignungsprüfung für jede Betonfestigkeitsklasse und für die verschiedenen Verwendungsgebiete einfach und schnell derjenige Wasserzementwert entnommen werden, der für die verwendete Zementfestigkeitsklasse ein ausreichend hohes Vorhaltemaß erwarten läßt und gegebenenfalls Gewähr dafür bietet, daß bei einer Nachprüfung des Wasserzementwertes am Frischbeton der jeweils zulässige Grenzwasserzementwert nicht überschritten wird.*

## 1. Allgemeines

Beton muß als Frischbeton ausreichend verarbeitbar sein und als erhärteter Beton die geforderten Eigenschaften erreichen. Bei der Bestimmung der erforderlichen Betonzusammensetzung stellt sich daher die Aufgabe, diejenige Mischung aus Zement, Zuschlag und Wasser und gegebenenfalls Betonzusätzen herauszufinden, mit der diese Anforderungen sicher und wirtschaftlich erfüllt werden. Zwischen den Eigenschaften des Betons einerseits und denen seiner Ausgangsstoffe und dem Mischungsverhältnis sowie dem Alter und den Umweltbedingungen des Betons andererseits bestehen Zusammenhänge, die die Vorausbestimmung der erforderlichen Betonzusammensetzung ermöglichen. Da sich dabei jedoch eine Vielzahl von Einflußgrößen auswirkt, kann die Betonzusammensetzung mit einer solchen Vorausbestimmung nur näherungsweise festgelegt werden.

Nach den Festlegungen in DIN 1045 [1] sind zur Herstellung eines Betons mit bestimmten Eigenschaften im Grundsatz zwei Verfahren möglich. Auf einfachen Baustellen mit geringer Überwachung wird die geforderte Eigenschaft (Druckfestigkeit, Wasserundurch-

lässigkeit, Widerstand gegen Frost oder chemischen Angriff) am zuverlässigsten durch ein vorgegebenes, auf der sicheren Seite liegendes Betonrezept mit festem Mindestzementgehalt erreicht. Nach DIN 1045 ist dieses Verfahren zulässig für die Betonfestigkeitsklassen Bn 50, Bn 100, Bn 150 und Bn 250 (Beton B I).

Betonwerke und Baustellen, die personell und einrichtungsmäßig den Anforderungen der DIN 1045 entsprechen, können ihre Betonzusammensetzung aufgrund einer Eignungsprüfung festlegen. Nach dieser Norm ist eine Eignungsprüfung für Betone der Festigkeitsklassen Bn 350, Bn 450 und Bn 550 und im Regelfall für Betone mit besonderen Eigenschaften vorgeschrieben (Beton B II).

## **2. Zementfestigkeit und Betonfestigkeit für den Mischungsentwurf zur Eignungsprüfung**

Grundlage jeder Eignungsprüfung ist eine Mischungsberechnung, in der vor Beginn der Prüfung u. a. der Wasserzementwert unter Beachtung der von DIN 1045 gezogenen Grenzen nach dem Wasserzementwertgesetz festgelegt wird. Das sogenannte Wasserzementwertgesetz stellt die Abhängigkeit der Betondruckfestigkeit von der Zementnormfestigkeit und vom Wasserzementwert dar. Mit der Änderung der Zementfestigkeitsklassen und des Prüfverfahrens für die Druckfestigkeit des Zements durch DIN 1164 [2] wurde es notwendig, auch das Wasserzementwertgesetz den neuen Gegebenheiten anzupassen [3].

Die Zementnorm DIN 1164 sieht bei den einzelnen Festigkeitsklassen nicht nur wie die früheren Ausgaben dieser Norm eine untere Begrenzung, sondern auch eine obere Begrenzung der 28-Tage-Festigkeit vor; die Maßspanne zwischen unterer und oberer Festigkeitsgrenze für die Festigkeitsklassen Z 250, Z 350 und Z 450 beträgt  $200 \text{ kp/cm}^2$ . Für die Festigkeitsklasse Z 550 ist eine obere Festigkeitsbegrenzung nicht eingeführt worden, da die Technologie der Zementherstellung hier z. Z. von sich aus obere Grenzen setzt [4].

Die Begrenzung der 28-Tage-Festigkeit bei den Festigkeitsklassen Z 250, Z 350 und Z 450 wurde mit  $200 \text{ kp/cm}^2$  so groß gewählt, daß eine Standardabweichung von rd.  $30 \text{ kp/cm}^2$  als Summe aus Qualitäts- und Prüfstreuung nicht zu Über- bzw. Unterschreitungen der Grenzfestigkeit führt. Da bei der Prüfung und Überwachung kein Einzelwert außerhalb der Festigkeitsgrenzen liegen darf, muß als Zielwert für die Zementherstellung die Mitte des Festigkeitsbereiches gewählt werden. Man kann daher davon ausgehen, daß die Durchschnittsfestigkeit jedes Zements etwa in der Mitte des Festigkeitsbereiches seiner jeweiligen Klasse liegt.

Da bei der Zementprüfung in Vergleichsversuchen die Prüfstreuung als Standardabweichung  $25 \text{ kp/cm}^2$  nicht nennenswert unterschreitet [5], ist es für den Entwurf einer Betonmischung stets zweckmäßig, als Zementnormfestigkeit den Mittelwert der jeweiligen Festigkeitsklasse in Rechnung zu stellen. Dieses Vorgehen führt sogar zu verlässlicheren Ergebnissen, als sie sich gemäß einem gesondert bestimmten, einzelnen Prüfwert für die Zementnormfestigkeit ergeben würden, da die Aussagekraft eines einzelnen

Prüfwerts infolge der unvermeidlichen Prüfstreuungen stark eingeschränkt ist.

DIN 1045 legt für die Betonfestigkeitsklassen als Nennfestigkeit die 5 %-Fraktile der Grundgesamtheit zugrunde. Bei einer Eignungsprüfung muß unter anderem nachgewiesen werden, daß mit den in Aussicht genommenen Ausgangsstoffen die geforderten Festigkeitseigenschaften sicher erreicht werden. Für Beton B I muß nach DIN 1045 hierbei für Bn 50 ein Vorhaltemaß zur Nennfestigkeit von 60 kp/cm<sup>2</sup> und für Bn 100, Bn 150 und Bn 250 ein solches von 100 kp/cm<sup>2</sup> erreicht werden. Diese Vorhaltemaße entsprechen bei der Betonfestigkeitsklasse Bn 50 einer Standardabweichung von rd. 40 kp/cm<sup>2</sup> und bei den Betonfestigkeitsklassen Bn 100, Bn 150 und Bn 250 einer Standardabweichung von rd. 60 kp/cm<sup>2</sup>. Bei üblichen Betonfertigungen ist es zweckmäßig, auch für die Festigkeitsklassen Bn 350, Bn 450 und Bn 550 zunächst eine Standardabweichung von rd. 60 kp/cm<sup>2</sup> bzw. ein Vorhaltemaß zur Nennfestigkeit von 100 kp/cm<sup>2</sup> in Rechnung zu stellen [6].

### 3. Tafeln für Wasserzementwerte

Im Regelfall kann also für den Mischungsentwurf von Festwerten für die Normfestigkeit der verwendeten Zementfestigkeitsklasse und die anzustrebende Betondruckfestigkeit ausgegangen werden. Für verschiedene Anwendungsgebiete des Betons können daher die Wasserzementwerte für den Mischungsentwurf zu Eignungsprüfungen in Tafeln zusammengestellt werden, die neben dem Wasserzementwertgesetz und den unterschiedlichen Grenzwasserzementwerten auch Besonderheiten, wie z. B. den Einfluß künstlich eingeführter Luftporen, berücksichtigen. Wasserzementwerte für den Mischungsentwurf zu Eignungsprüfungen in Abhängigkeit von der Zement- und Betonfestigkeitsklasse enthalten die nachstehenden Tafeln, und zwar:

Tafel 1 für unbewehrten Beton,

Tafel 2 für bewehrten Beton (Stahlbeton),

Tafel 3 für wasserundurchlässigen Beton (Bauteildicke  $\geq 40$  cm),

Tafel 4 für wasserundurchlässigen Beton (Bauteildicke bis 40 cm), Beton mit hohem Frostwiderstand und Beton mit hohem Widerstand gegen schwachen chemischen Angriff,

Tafel 5 für Beton mit hohem Widerstand gegen starken und sehr starken chemischen Angriff,

Tafel 6 für Beton mit hohem Widerstand gegen Frost-Tausalz-Angriff bei Verwendung eines LP-Mittels unter Berücksichtigung der Festigkeitsklassen der TV Beton 72 [7].

Bei der Aufstellung der Tafeln wurden gegenüber der Nennfestigkeit des Betons ein Vorhaltemaß von 60 kp/cm<sup>2</sup> für Bn 50 und ein Vorhaltemaß von 100 kp/cm<sup>2</sup> für Bn 100 bis Bn 550 eingerechnet.

Für die Zementfestigkeitsklassen Z 250, Z 350 und Z 450 wurde eine die Mindestfestigkeit um 100 kp/cm<sup>2</sup> übersteigende Festigkeit berücksichtigt, was bei diesen Festigkeitsklassen der Mitte des Festigkeitsbereiches nach DIN 1164 entspricht. Für die Ze-

Tafel 1 Wasserzementwerte für unbewehrten Beton

Festigkeits- klasse	Z 250	Z 350	Z 450	Z 550
Bn 50	1,00	1,20	—	—
Bn 100	0,72	0,83	0,97	—
Bn 150	0,62	0,73	0,82	0,92
Bn 250	0,47	0,58	0,67	0,73
Bn 350	—	0,47	0,57	0,63
Bn 450	—	—	0,45	0,54
Bn 550	—	—	0,38	0,43

Tafel 2 Wasserzementwerte für bewehrten Beton <sup>1) 2)</sup>

Festigkeits- klasse	Z 250	Z 350	Z 450	Z 550
Bn 150	0,60	0,70	0,70 <sup>3)</sup>	0,70 <sup>3)</sup>
Bn 250	0,47	0,58	0,67	0,70 <sup>3)</sup>
Bn 350	—	0,47	0,57	0,63
Bn 450	—	—	0,45	0,54
Bn 550	—	—	0,38	0,43

- <sup>1)</sup> Höchstzulässiger Wasserzementwert (Einzelwert)  
 $w = 0,65$  bei Verwendung von Z 250,  
 $w = 0,75$  bei Verwendung aller übrigen Zementfestigkeitsklassen
- <sup>2)</sup> Mindestzementgehalt wegen des Korrosionsschutzes  
 $280 \text{ kg/m}^3$  Beton bei Verwendung von Z 250,  
 $240 \text{ kg/m}^3$  Beton bei Verwendung aller übrigen Zementfestigkeitsklassen
- <sup>3)</sup> Wasserzementwerte im stark umrandeten Bereich ergeben in der Regel höhere Festigkeiten als erforderlich

Tafel 3 Wasserzementwerte für wasserundurchlässigen Beton (Bauteildicke  $\geq 40 \text{ cm}$ ) <sup>1)</sup>

Festigkeits- klasse	Z 250	Z 350	Z 450	Z 550
Bn 250	0,47	0,58	0,65 <sup>2)</sup>	0,65 <sup>2)</sup>
Bn 350	—	0,47	0,57	0,63
Bn 450	—	—	0,45	0,54
Bn 550	—	—	0,38	0,43

- <sup>1)</sup> Höchstzulässiger Wasserzementwert (Einzelwert)  $w = 0,70$
- <sup>2)</sup> Wasserzementwerte im stark umrandeten Bereich ergeben in der Regel höhere Festigkeiten als erforderlich

Tafel 4 Wasserzementwerte für wasserundurchlässigen Beton (Bauteildicke bis 40 cm), Beton mit hohem Frostwiderstand und Beton mit hohem Widerstand gegen schwachen chemischen Angriff <sup>1)</sup>

Festigkeitsklasse	Z 250	Z 350	Z 450	Z 550
Bn 250	0,47	0,55	0,55 <sup>2)</sup>	0,55 <sup>2)</sup>
Bn 350	—	0,47	0,55	0,55 <sup>2)</sup>
Bn 450	—	—	0,45	0,54
Bn 550	—	—	0,38	0,43

<sup>1)</sup> Höchstzulässiger Wasserzementwert (Einzelwert)  $w = 0,60$

<sup>2)</sup> Wasserzementwerte im stark umrandeten Bereich ergeben in der Regel höhere Festigkeiten als erforderlich

Tafel 5 Wasserzementwerte für Beton mit hohem Widerstand gegen starken und sehr starken chemischen Angriff <sup>1)</sup>

Festigkeitsklasse	Z 250	Z 350	Z 450	Z 550
Bn 250	0,45	0,45 <sup>2)</sup>	0,45 <sup>2)</sup>	0,45 <sup>2)</sup>
Bn 350	—	0,45	0,45 <sup>2)</sup>	0,45 <sup>2)</sup>
Bn 450	—	—	0,45	0,45 <sup>2)</sup>
Bn 550	—	—	0,38	0,43

<sup>1)</sup> Höchstzulässiger Wasserzementwert (Einzelwert)  $w = 0,50$

<sup>2)</sup> Wasserzementwerte im stark umrandeten Bereich ergeben in der Regel höhere Festigkeiten als erforderlich

Tafel 6 Wasserzementwerte für Beton mit hohem Widerstand gegen Frost-Tausalz-Angriff bei Verwendung eines LP-Mittels unter Berücksichtigung der Festigkeitsklassen der TV Beton <sup>72</sup> <sup>1)</sup> <sup>2)</sup>

Festigkeitsklasse	Z 350	Z 450	Z 550
Bn 250	0,51	0,55 <sup>3)</sup>	0,55 <sup>3)</sup>
Bn 350	0,41	0,51	0,55
Bn 450	—	0,40	0,49
Bn 550	—	—	0,38
250 (TV Beton 72)	0,51	0,55 <sup>3)</sup>	0,55 <sup>3)</sup>
300 (TV Beton 72)	0,47	0,55	0,55 <sup>3)</sup>
350 (TV Beton 72)	0,41	0,51	0,55

<sup>1)</sup> Die Wasserzementwerte berücksichtigen einen Luftporengehalt von 3,5 Vol.-%

<sup>2)</sup> Höchstzulässiger Wasserzementwert (Einzelwert)  $w = 0,60$ ; höchstzulässiger Wasserzementwert (Einzelwert) für Beton mit hohem Frostwiderstand für massige Bauteile  $w = 0,70$

<sup>3)</sup> Wasserzementwerte im stark umrandeten Bereich ergeben in der Regel höhere Festigkeiten als erforderlich

mentfestigkeitsklasse Z 550 wurde eine Zementnormfestigkeit von  $635 \text{ kp/cm}^2$  eingesetzt.

Außerdem wurden die höchstzulässigen Wasserzementwerte der DIN 1045 für bewehrten Beton und für Beton mit besonderen Eigenschaften beachtet. Da während der Bauausführung bei Beton mit besonderen Eigenschaften und wegen des Korrosionsschutzes der Bewehrung die festgelegten, höchstzulässigen Wasserzementwerte auch von einzelnen Mischungen nicht überschritten werden dürfen, wurden in die Tafeln die um 0,05 abgeminderten höchstzulässigen Wasserzementwerte aufgenommen.

Der Bereich der Wasserzementwerte in den Tafeln reicht von etwa 0,40 bis 1,20, da einerseits Wasserzementwerte wesentlich unterhalb 0,40 meist einen unter üblichen Verhältnissen nicht mehr verarbeitbaren Beton ergeben und andererseits Wasserzementwerte oberhalb 1,20 kein homogenes Betongefüge mehr erwarten lassen.

Bereiche, in denen der Wasserzementwert nach DIN 1045 zu begrenzen war und in denen sich nach dem Wasserzementwertgesetz ein höherer Wasserzementwert ergeben würde, wurden in den Tafeln stark umrandet. Betone, hergestellt mit Wasserzementwerten aus dem stark umrandeten Bereich, weisen in der Regel eine höhere Festigkeit auf, als es den oben angegebenen Vorhaltemaßen entspricht, jedoch ist dann der niedrigere Wasserzementwert aus anderen Gründen als zur Festigkeit erforderlich.

Bei Stahlbeton muß mit Rücksicht auf den Korrosionsschutz der Stahleinlagen unabhängig vom Wasserzementwert bei Verwendung von Zement der Festigkeitsklasse Z 250 der Zementgehalt mindestens  $280 \text{ kg/m}^3$  verdichteten Betons und bei Verwendung aller übrigen Festigkeitsklassen mindestens  $240 \text{ kg/m}^3$  verdichteten Betons betragen.

#### **4. Schlußbemerkung**

Die vorstehenden Tafeln ermöglichen ein sicheres und einfaches Festlegen des Wasserzementwertes für den Mischungsentwurf zu einer Eignungsprüfung für Beton einer bestimmten Festigkeitsklasse. Die angegebenen Wasserzementwerte berücksichtigen den Vorschriften bzw. den praktischen Gegebenheiten entsprechende Vorhaltemaße für die Betondruckfestigkeit und für die Einhaltung eines ggf. festgelegten Grenzwasserzementwertes.

## SCHRIFTTUM

- [1] DIN 1045 — Beton- und Stahlbetonbau; Bemessung und Ausführung (Ausgabe Januar 1972).
- [2] DIN 1164 — Portland-, Eisenportland-, Hochofen- und Traßzement (Ausgabe Juni 1970).
- [3] Walz, K.: Herstellung von Beton nach DIN 1045. Beton-Verlag, Düsseldorf 1971.
- [4] Wischers, G.: Zur Normung von Zement. Beton-Verlag, Düsseldorf 1971.
- [5] Verein Deutscher Zementwerke / Forschungsinstitut der Zementindustrie: Tätigkeitsbericht 1969—71. Beton-Verlag, Düsseldorf 1972, S. 94/98.
- [6] Bonzel, J., und W. Manns: Beurteilung der Druckfestigkeit mit Hilfe von Annahmekennlinien. Beton-Verlag, Düsseldorf 1969.
- [7] TV Beton 72 — Technische Vorschriften und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton (Ausgabe 1972). Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln.