



Solange der fertigmischte Beton verarbeitet und verdichtet werden kann, wird er als Frischbeton bezeichnet. Er muss so zusammengesetzt sein, dass er mit den in Aussicht genommenen Verfahren für Fördern, Einbringen und Verdichten verarbeitbar und vollständig verdichtbar ist. Maßgebend ist, dass der erhärtete Beton die geforderten Festbetoneigenschaften aufweist.

1 Bedeutung des Wasserzusatzes

Frischbeton wird hergestellt durch Mischen von Zement, grober und feiner Gesteinskörnung und Wasser. Durch den Einsatz von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen ist es heute möglich, die erforderlichen Frischbetoneigenschaften fast unabhängig von den geforderten Festbetoneigenschaften zu erfüllen.

Zement und Wasser bilden den Zementleim. Nach dessen Erhärtung (Hydratation) entsteht Zementstein. Bei der Hydratation können Zusatzstoffe beteiligt sein. Über den wirksamen Wassergehalt und damit den Wasserzementwert können die Verarbeitbarkeit, aber insbesondere die Festigkeit und Dichtigkeit des Zementsteins und damit die Festbetoneigenschaften maßgeblich beeinflusst werden.

Im Normalbeton muss der Zementleim die Gesteinskörner umhüllen und verbliebene Hohlräume ausfüllen. Sein Anteil in der Mischung erhöht sich bei feinkörnigen gegenüber grobkörnigen Gesteinskörnungen sowie bei sehr kantigen oder rauen Kornoberflächen bzw. plattigen oder splittrigen Kornformen.

Der wirksame Wassergehalt setzt sich zusammen aus der an der Gesteinskörnung haftenden Oberflächenfeuchte und dem Zugabewasser. Gesteinskörnungen mit porigem Gefüge saugen zusätzlich Wasser auf, die Kernfeuchte. Diese wirkt sich nicht auf die Konsistenz und den Wasserzementwert aus.

Oberflächenfeuchte	Zugabewasser	Kernfeuchte
Gesamtwassergehalt		
wirksamer Wassergehalt		

2 Anforderungen an das Zugabewasser

Als geeignet gilt Trinkwasser sowie im Allgemeinen in der Natur vorkommendes Wasser, soweit es nicht Bestandteile enthält, die das Erhärten oder andere Eigenschaften des Betons ungünstig beeinflussen oder den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigen. Im Zweifelsfall ist die Eignung des Wassers zur Betonherstellung zu untersuchen.

Als geeignet gilt auch Restwasser nach der „DAfStb-Richtlinie für Herstellung von Beton unter Verwendung von Restwasser, Restbeton und Restmörtel“.

3 Der Wasserzementwert

Das Massenverhältnis des wirksamen Wassergehaltes zum Zementgehalt im Frischbeton nennt man Wasserzementwert.

$$\text{Wasserzementwert } w/z = \frac{\text{Masse des Wassers } w}{\text{Masse des Zements } z}$$

165 l = 165 kg Wasser und 300 kg Zement in 1 m³ Frischbeton ergeben einen Wasserzementwert

$$w/z = \frac{165}{300} = 0,55$$

Enthält der Frischbeton bei gleicher Zementmenge 210 l statt 165 l Wasser, steigt der Wasserzementwert auf

$$w/z = \frac{210}{300} = 0,70$$

Werden auf den Zementgehalt anrechenbare Zusatzstoffe, z.B. Flugasche, verwendet, wird ein äquivalenter Wasserzementwert $(w/z)_{eq}$ ermittelt (siehe auch Zement-Merkblatt B16 „Hochfester Beton/Hochleistungsbeton“).

Der Zement bindet chemisch und physikalisch eine Wassermenge von rund 40 % seiner Masse $(w/z = 0,40)$.

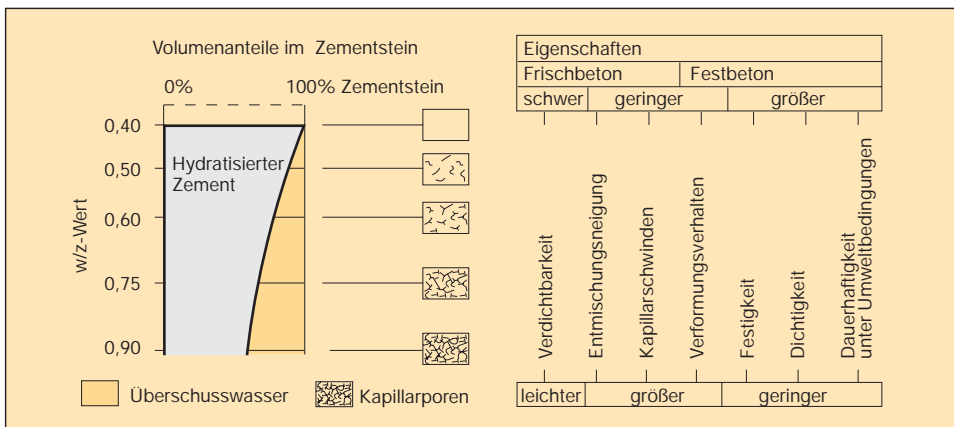


Bild 1: Frisch- und Festbetoneigenschaften in Abhängigkeit vom Wasserzementwert

Weist ein Zementleim einen höheren Wasserzementwert auf, so bezeichnet man das nicht gebundene Wasser als Überschusswasser. Es hinterlässt verstärkt in der Randzone verästelte, saugfähige (Kapillar-) Poren.

Für bestimmte Expositionsklassen, Umweltbedingungen und Betoneigenschaften ist der Wasserzementwert nach Tafel 1 zu begrenzen.

Tafel 1: Maximale Wasserzementwerte

Expositionsklassen, Umweltbedingungen, Betoneigenschaften	w/z-Wert
XC1, XC2	0,75
XC3	0,65
XC4, XF1, XA1	0,60
XD1, XS1, XF2 ¹⁾ , XF3 ¹⁾ , XM1, XM2 ²⁾	0,55
XD2, XS2, XF2, XF3, XF4, XA2	0,50
XD3, XS3, XA3, XM2, XM3	0,45
hoher Wassereindringwiderstand (Bauteildicke bis 40 cm) Unterwasserbeton	0,60

¹⁾ LP-Beton

²⁾ nur mit Oberflächenbehandlung

4 Festlegen des Wasserzementwertes

Bei der Prüfung des Wasserzementwertes für die Festlegungen nach Tafel 1 darf kein Einzelwert den Grenzwert um mehr als 0,02 überschreiten. Unter Berücksichtigung der Streuungen bei der Betonherstellung sollte ein Vorhaltemaß zum Grundwert von mindestens 0,03 eingehalten werden.

Für die gewünschte Betondruckfestigkeit kann der erforderliche Wasserzementwert über die Zementdruckfestigkeit abgeschätzt werden, siehe Bild 2, wobei diese Abhängigkeit nur für 3-Stoff-Systeme und nicht für 5-Stoff-Systeme (Zement, Wasser, Gesteinskörnung, Zusatzstoff, Zusatzmittel) gilt.

5 Konsistenz

Zu den wichtigsten Frischbetoneigenschaften gehört die Konsistenz. Der Begriff Konsistenz beschreibt in der Biontechnologie die Verarbeitbarkeit des Betons. Der Frischbeton kann über Prüfverfahren einer Konsistenzklasse zugeordnet werden (Tafel 2).

Beton der Konsistenzklassen $\geq F4$ ist mit Fließmitteln herzustellen.

Bei Ausbreitmaßen > 70 cm ist die DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ zu beachten.

Weitere mögliche Konsistenzklassen sind:

Setzmaßklassen S1 bis S5

Setzzeitklassen (Vébé) V0 bis V4

6 Bestimmen der Frischbetonkonsistenz

Ausbreitmaß (Bild 3)

Über das Ausbreitmaß kann der Frischbeton der Konsistenzklasse F1 - steif, F2 - plastisch, F3 - weich, F4 - sehr weich oder F5 - fließfähig zugeordnet werden.

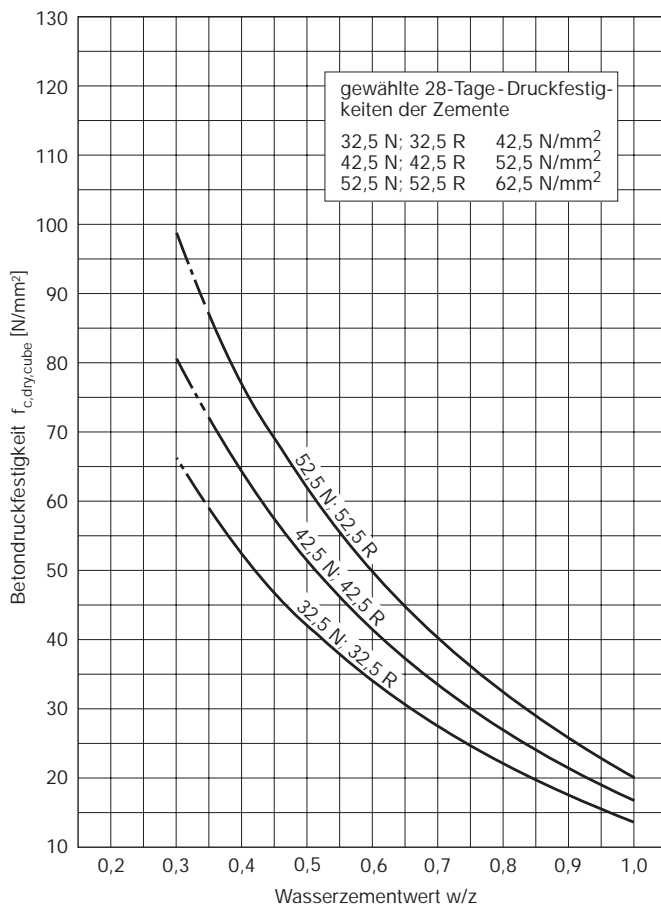
Für Ausbreitmaße < 34 cm und > 60 cm ist die Messung des Ausbreitmaßes mit dem üblichen Verfahren ungeeignet.

Bei der Prüfung kann es zu falschen Ergebnissen kommen:

- Nachschwingen (sog. „Springen“) des Ausbreittisches meist durch unrichtige Lagerung oder ungeeigneten Untergrund
- Erschütterungen durch hartes Anschlagen an der oberen Hebebegrenzung (manueller Prüffehler)

In beiden Fällen werden zu hohe Ausbreitmaße gemessen.

Dies sollte vor allem in Fällen, bei denen eine obere Grenze des Ausbreitmaßes als „hartes“ Abnahmekriterium vereinbart wurde, beachtet werden.



Erläuterungen zum Diagramm:

$f_{c,dry,cube}$: mittlere 28-Tage-Betondruckfestigkeit von 150-mm-Probewürfeln; Lagerung nach DIN EN 12390-2, Nationaler Anhang (1 Tag in Form, 6 Tage in Wasser, 21 Tage an der Luft)

Bild 2: Zusammenhang zwischen Betondruckfestigkeit, Zementdruckfestigkeit und Wasserzementwert

(in Anlehnung an Zement-Taschenbuch 2002, S. 276)

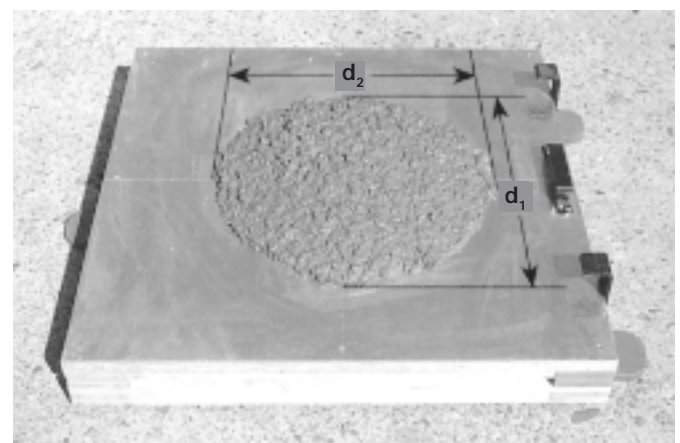


Bild 3: Bestimmen des Ausbreitmaßes

Tafel 2: Abgrenzung der Konsistenzklassen

Konsistenzklasse	(C0)	(F1) C1	F2 C2	F3 C3	F4	F5	(F6)
Ausbreitmaß [cm]	-	≤ 34	35...41	42...48	49...55	56...62	≥ 63
Verdichtungsmaß c [-]	≥ 1,46	1,45...1,26	1,25...1,11	1,10...1,04	-	-	-
Konsistenzbeschreibung	sehr steif	steif	plastisch	weich	sehr weich	fließfähig	sehr fließfähig
Eigenschaften des Feinmörtels	erdfeucht	erdfeucht und etwas nasser	weich	flüssig	sehr flüssig		
Eigenschaften des Frischbetons beim Schütten	lose	lose/schollig	schollig bis zusammenhängend	schwach fließend	fließend		
Verdichtungsart	kräftig wirkende Rüttler und/oder kräftiges Stampfen bei dünner Schüttlage		Rütteln	Stochern oder leichtes Rütteln	„Entlüften“ durch Stochern leichtes Rütteln		

- ☐ Abbremsen des Falls beim langsamen Öffnen der Finger
In diesem Fall wird ein zu niedriges Ausbreitmaß gemessen.

Durchführung:

- ☐ Ausbreittisch auf ebene, horizontale, feste und rückprallfreie Oberfläche stellen (Sandbett)
- ☐ Funktionsfähigkeit überprüfen
- ☐ Tisch und Form reinigen und anfeuchten – jedoch frei von überschüssiger Feuchte
- ☐ Form mittig auf Tischplatte stellen und ausrichten
- ☐ Form mit Schaufel in zwei gleichen Betonschichten füllen
- ☐ Jede Schicht durch 10 leichte Stöße mit Stößel ausgleichen
- ☐ Überstand ohne Verdichtungseinwirkung bündig abstreichen
- ☐ Freie Tischplatte von Beton säubern
- ☐ Form an den Handgriffen langsam vertikal anheben
- ☐ Laborant steht auf den Trittlechen des Aufstellrahmens
- ☐ Tischplatte am Handgriff 15 mal ruckfrei bis zum Anschlag anheben und frei fallen lassen. Jeder Einzelschritt $\geq 2s$ und $\leq 5s$
- ☐ Höchstaubreitmaß d_1 und d_2 des Betons parallel zu den Tischkanten auf 1 cm gerundet messen
- ☐ Ausbreitmaß ermitteln:
($d_1 + d_2$) : 2 auf 1 cm angeben

Beispiel:

gemessen $d_1 = 46$ cm und $d_2 = 48$ cm

Mittelwert $(46 + 48) : 2 = 47$

Konsistenzklasse: F3 - weich

Verdichtungsmaß (Bild 4)

Über das Verdichtungsmaß c kann der Frischbeton der Konsistenzklasse C1 - steif, C2 - plastisch oder C3 - weich zugeordnet

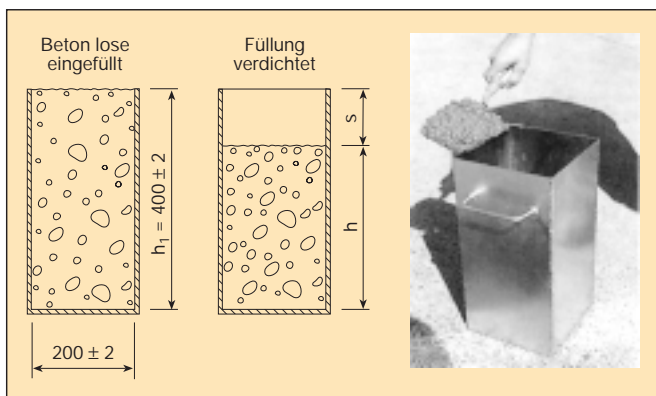


Bild 4: Bestimmen des Verdichtungsmaßes

werden. Verdichtungsmaße $< 1,04$ oder $> 1,45$ stellen keine gültigen Messungen dar.

Durchführung:

- ☐ Behälter säubern, Innenflächen feucht auswischen
- ☐ Frischbeton einfüllen, ohne zu verdichten, indem die Kelle nacheinander von allen 4 Oberkanten des Behälters seitwärts entleert wird
- ☐ Überstehenden Beton mit Abstreichlineal in Sägebewegung ohne Verdichtungswirkung über die Oberkanten entfernen
- ☐ Beton auf Rütteltisch oder mit Innenrüttler verdichten bis sein Volumen nicht mehr abnimmt
- ☐ Gegebenenfalls gewölbte oder ungleiche Oberfläche durch leichtes Stampfen ebnen
- ☐ An jeder Seitenmitte des Behälters Abstand zwischen Betonoberfläche und Oberkante Behälter messen
- ☐ Aus 4 Messungen den Mittelwert s in mm bestimmen
- ☐ Verdichtungsmaß c ermitteln:

$$c = \frac{h_1}{h_1 - s}$$

Ergebnis auf 2 Dezimalstellen angeben.

Beispiel:

gemessen

Betonoberfläche/Oberkante Behälter: 51
[mm] 50 54
53

Mittelwert: $s = (51 + 50 + 53 + 54) \text{ mm} : 4 = 52 \text{ mm}$

Höhe verdichteter Beton: $h_1 - s = 400 \text{ mm} - 52 \text{ mm} = 348 \text{ mm}$

Verdichtungsmaß: $c = \frac{400 \text{ mm}}{348 \text{ mm}} = 1,15$

Konsistenzklasse: C2 - plastisch

7 Bestimmen der Frischbetonrohichte

Die Betonarten Leichtbeton, (Normal-) Beton und Schwerbeton werden nach der Rohdichte unterschieden. Die Frischbetonrohichte gibt Hinweise auf die Vollständigkeit der Verdichtung bei bekannter Soll-Rohdichte. Außerdem kann auf die Gleichmäßigkeit der Betonzusammensetzung und der Betonherstellung geschlossen werden.

Die Bestimmung erfolgt z.B. im 8 l-Topf des Druckmessgerätes (LP-Topf), siehe Abschnitt 8, oder beim Herstellen von Probekörpern, z.B. Würfel siehe Abschnitt 9.

Maßgebend ist die Messung in einem wasserdichten und ausreichend biegesteifen Behälter aus Metall mit glatten Innenflächen und glattgeschliffenem Rand.

Die Verwendung eines Aufsatzes zum leichteren Einfüllen ist freigestellt. Es kann mit Innenrüttler, Rütteltisch, Stab oder Stampfer verdichtet werden.

Frischbetonrohddichte D ermitteln:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

D Frischbetonrohddichte [kg/dm³]

m_1 Masse des Behälters [kg]

m_2 Masse des Behälters mit Masse Betonprobe [kg]

V Volumen des Behälters [dm³]

Das Ergebnis ist auf 0,01 kg/dm³ anzugeben

Beispiel:

Masse LP-Topf mit Betonprobe	23,52 kg
Masse LP-Topf leer	4,72 kg
Masse Betonprobe	18,80 kg
Volumen LP-Topf	8,00 dm ³
Frischbetonrohddichte	2,35 kg/dm ³

8 Bestimmen des Luftgehalts

Auch gut zusammengesetzter Beton enthält nach sorgfältiger Verdichtung noch Verdichtungs-poren. Bei einem Beton mit 32 mm Größtkorn sind dies etwa 1 bis 2 Vol.-%. Mit kleiner werdendem Größtkorn nimmt das Volumen der Verdichtungs-poren im Allgemeinen zu. Die Bestimmung des Luftgehalts gibt Hinweise auf die Verdichtbarkeit der Mischungszusammensetzung und die daraus zu erwartenden Festbetoneigenschaften (Dichtigkeit, Dauerhaftigkeit).

Beton bei Beanspruchung durch Frost, Frost- und Taumittel kann (XF2, XF3) bzw. muss (XF4) mit Luftporenbildnern (LP) hergestellt werden. Die durch das Zusatzmittel erzeugten Luftporen sind sehr klein und kugelig. Als Nebeneffekt wird das Zusammenhaltevermögen und die Verarbeitbarkeit des Frischbetons verbessert, verbunden mit einem geringen Festigkeitsabfall.

Der Luftgehalt (Verdichtungs-poren, Luftporen) lässt sich mit dem Druckausgleichsverfahren bestimmen. Gleichzeitig wird meist die Frischbetonrohddichte festgestellt, siehe Abschnitt 7.

Durchführung:

- Leeren Topf des Druckmessgerätes anfeuchten und wiegen
- Beton in 3 etwa gleich hohen Schichten einfüllen

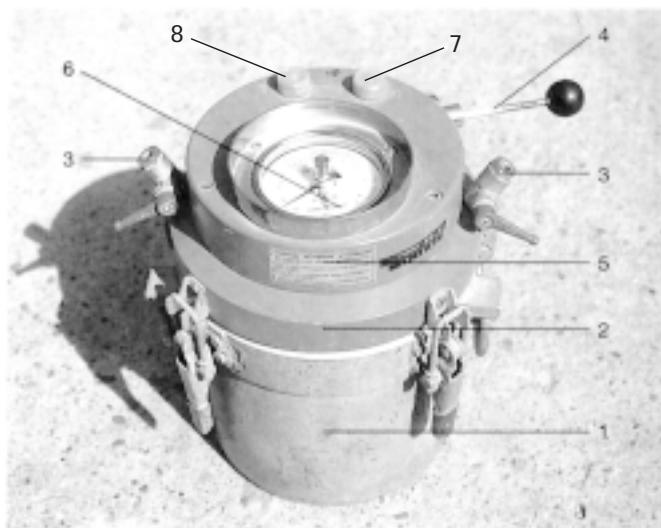


Bild 5: Druckausgleichsverfahren (LP-Topf)

- Jede Schicht vollständig verdichten mit Innenrüttler, Rütteltisch, Stab oder Stampfer
- Letzte Schicht möglichst so bemessen, dass kein überschüssiger Beton entfernt werden muss. Kleine Mengen dürfen zugefügt und verdichtet werden
- Gefäßrand sorgfältig säubern
- Druckmessgerät mit Betonprobe wiegen
- Oberteil des Prüfgerätes (2) aufsetzen und befestigen
- Mit Gummispritze/Spritzflasche Wasser durch eines der beiden Ventile (3) einfüllen, bis es beim anderen austritt
- Mit Schlägel leicht gegen das Gerät klopfen, noch enthaltene Luft austreiben, beide Ventile (3) schließen
- Pumpe (4) lösen, Luft in Luftkammer (5) pumpen bis Zeiger der Druckmessers (6) hinter der Eichmarke steht.
- Feinregulierung (7) vornehmen bis sich Zeiger mit der Eichmarkierung deckt
- Druckknopfventil (8) betätigen und gleichzeitig an die Behälterwand klopfen bis Zeiger des Druckmessers (6) zur Ruhe kommt
- Luftgehalt des Frischbetons am Druckmesser ablesen

0 bis 3 Vol.-%	auf 0,1 %
3 bis 6 Vol.-%	auf 0,2 %
6 bis 10 Vol.-%	auf 0,5 %

9 Herstellen und Lagern von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung

Die Druckfestigkeit von Festbeton wird bevorzugt an Würfeln mit 150 mm Kantenlänge (alternativ Zylinder, 150 mm, Länge 300 mm) geprüft. Mit der Herstellung der Probekörper ist auch die Frischbetonrohddichte festzustellen, siehe Abschnitt 7. Die Verwendung eines Aufsatzrahmens ist freigestellt.

Durchführung:

- Form wiegen
- Vor dem Füllen der Form Probe mischen
- Frischbeton in mindestens 2 Schichten einbringen, wobei keine Schicht dicker als 10 cm sein sollte
- Jede Schicht vollständig verdichten mit Innenrüttler, Rütteltisch, Stab oder Stampfer
- Überstehenden Beton sorgfältig am oberen Rand der Form bündig abstreichen
- Form und Betonprobe wiegen
- Probekörper deutlich und dauerhaft ohne Beschädigung kennzeichnen
- Aufzeichnungen, die eine Identifizierung des Probekörpers von der Probenahme bis zur Prüfung sicherstellen, sind aufzubewahren.
- Probekörper für (24 ± 2) h in Form bei Lufttemperatur von 15°C bis 22°C im geschlossenen Raum lagern; anzustreben sind $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$
- Vor Zugluft und Austrocknen schützen
- Während des Erstarrens vor Erschütterungen bewahren z.B. beim Transport
- Probekörper entformen, 6 Tage auf Rost im Wasserbad mit Leitungswasser bei $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ lagern
- Im Alter von 7 Tagen bis zur Prüfung im geschlossenen Raum, vor direkter Zugluft geschützt – bei 15°C bis 22°C – auf Lattenrost lagern; anzustreben sind $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ bei einer relativen Luftfeuchte von $(65 \pm 5) \%$

10 Temperatur

Bei extremen Außentemperaturen ist die Frischbetontemperatur während des Betonierens mit einem Thermometer zu überwachen. Die Einbautemperatur des Frischbetons soll $+5^\circ\text{C}$ nicht

unter- und 30 °C nicht überschreiten. Die Temperatur des eingebauten Betons muss mindestens für 3 Tage 10 °C betragen, wenn die Lufttemperatur unter -3 °C liegt.

11 Literatur

DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. 07/2001

Teil 1: Bemessung und Konstruktion

Teil 2: Deutsche Anwendungsregeln zu DIN 206-1

Teil 3: Bauausführung

Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und Konformität von Fertigteilen

DIN EN 206-1: Beton - Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, 07/2001

DIN-Fachbericht 100: Beton. Zusammenstellung von DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, 1. Auflage 2001

DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton. Teile 1 bis 7

DIN EN 12390: Prüfung von Festbeton. Teile 1 bis 8

DAfStb-Richtlinie für Herstellung von Beton unter Verwendung von Restwasser, Restbeton und Restmörtel, 08/1995

Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)

Zement-Merkblätter; Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Verlag Bau+Technik VBT, Düsseldorf

Zement-Taschenbuch ,50. Ausgabe, Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg.), Düsseldorf 2002

Bezug DIN-Normen:

bei Beuth-Verlag, Postfach, 10772 Berlin, Tel. 030/26012260, Fax 030/26011231, Fax-Server: 030/26011254,

Internet: www.din.de/beuth

Bauberatung Zement



Wir beraten Sie in allen Fragen der Betonanwendung

Bauberatung Zement Bayern	Rosenheimer Str. 145 g	81671 München	Tel. 089/45098490	Fax: 45098498	eMail:BB_Muenchen@BDZement.de
Bauberatung Zement Bayern	Rotterdammer Straße 7	90451 Nürnberg	Tel. 0911/93387-0	Fax: 9338733	eMail:BB_Nuernberg@BDZement.de
Bauberatung Zement Beckum	Annastraße 3	59269 Beckum	Tel. 02521/ 873020	Fax: 873029	eMail:BB_Beckum@BDZement.de
Bauberatung Zement Düsseldorf	Schadowstraße 44	40212 Düsseldorf	Tel. 0211/353001	Fax: 353002	eMail:BB_Duesseldorf@BDZement.de
Bauberatung Zement Hamburg	Immenhof 2	22087 Hamburg	Tel. 040/2276878	Fax: 224621	eMail:BB_Hamburg@BDZement.de
Bauberatung Zement Hannover	Hannoversche Str. 21	31319 Sehnde-Höver	Tel. 05132/6015	Fax: 6075	eMail:BB_Hannover@BDZement.de
Bauberatung Zement Ost	Luisenstraße 44	10117 Berlin-Mitte	Tel. 030/28002-400	Fax: 28002450	eMail:BB_Berlin@BDZement.de
Bauberatung Zement Ost	Dohnanystr. 28-30	04103 Leipzig	Tel. 0341/6010201	Fax: 6010290	eMail:BB_Leipzig@BDZement.de
Bauberatung Zement Stuttgart	Leonberger Straße 45	71229 Leonberg	Tel. 07152/71081-82	Fax: 9792960	eMail:BB_Stuttgart@BDZement.de
Bauberatung Zement Wiesbaden	Friedrich-Bergius-Str. 7	65203 Wiesbaden	Tel. 0611/1821170	Fax: 182117-16	eMail:BB_Wiesbaden@BDZement.de

08.02

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. · Postfach 510566 · 50941 Köln · <http://www.BDZement.de> · eMail:Bauberatung@BDZement.de

Unsere Beratung erfolgt unentgeltlich. Auskünfte, Ratschläge und Hinweise geben wir nach bestem Wissen. Wir haften hierfür – auch für eine pflichtwidrige Unterlassung – nur bei grobem Verschulden, es sei denn, eine Beratung wird im Einzelfall vom Empfänger unter Hinweis auf besondere Bedeutung schriftlich erbeten und erteilt.

B 4 BB Nürnberg Dipl.-Ing. Wolfgang Knopp 12.02/20

Beton
Es kommt drauf an, was man draus macht.