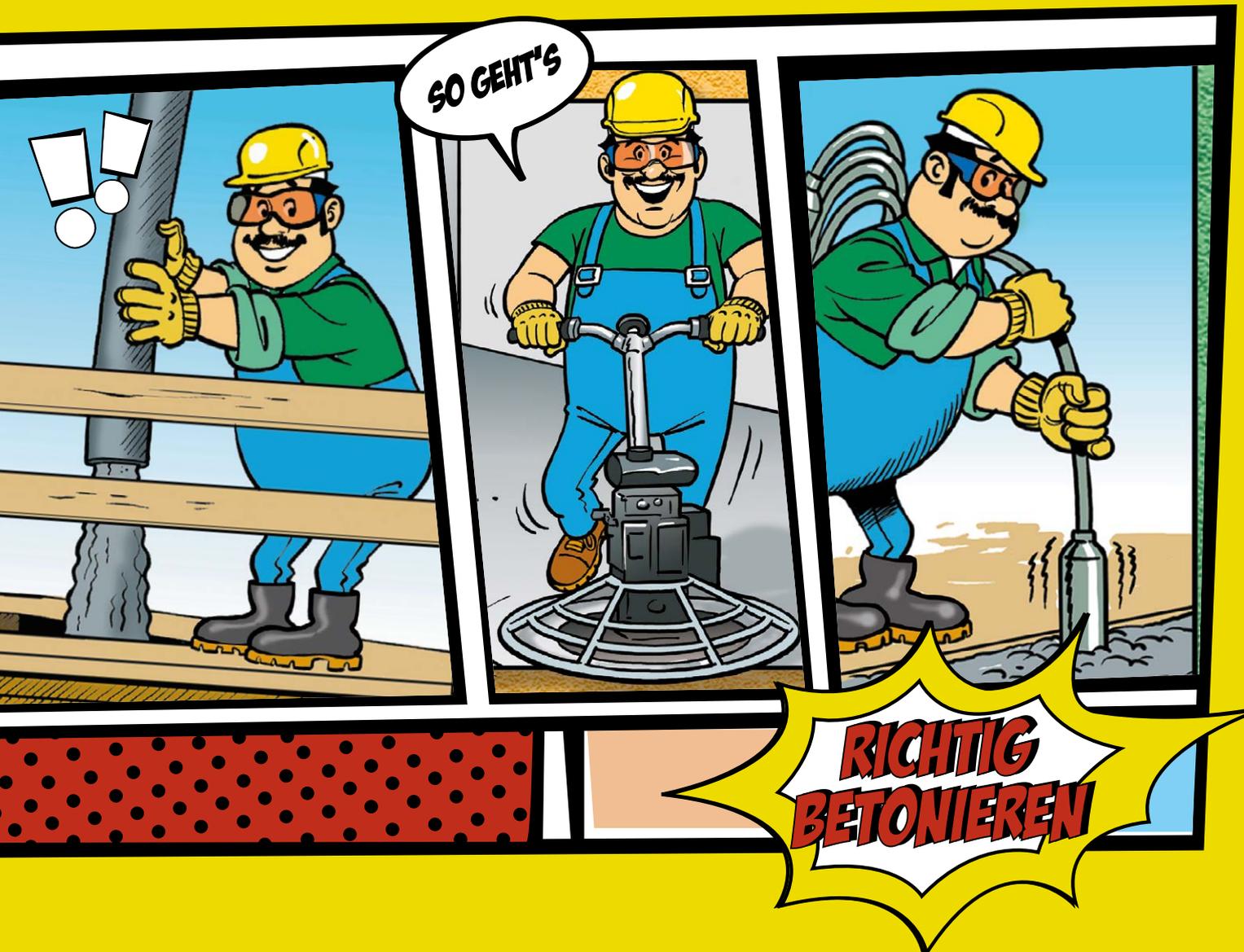


Beton Praxis



INHALT

VORWORT: BILDER SAGEN MEHR
ALS WORTE **3**

KAPITEL 1: VORBEREITEN
DES BETONIERENS **4**

KAPITEL 2: EINBRINGEN
DES BETONS **8**

KAPITEL 3: VERDICHTEN
DES BETONS **10**

KAPITEL 4: NACHBEHANDLUNG
DES BETONS **13**

KAPITEL 5: BILDUNG VON
RISSEN IM BETON **18**

KAPITEL 6: BETONIEREN
BEI KÜHLER WITTERUNG **20**

KAPITEL 7: BETONIEREN BEI
HOHEN TEMPERATUREN **24**

BILDER SAGEN MEHR ALS WORTE



**RICHTIG BETONIEREN:
WIR ZEIGEN, WIE ES
AM BESTEN GEHT.**

Wenn mit Beton gebaut wird, geschieht das in mehreren einzelnen, teilweise kleinen Arbeitsschritten. Und jeder davon hat seinen Anteil an der Qualität des Baustoffs und der entstehenden Bauwerke. Die vorliegende Broschüre lädt dazu ein, die zahlreichen Aufgabenstellungen rund ums Betonieren besser kennenzulernen.

Und weil Bilder oftmals mehr sagen als Worte, wurden die grundlegenden Regeln für die Vor- und Nacharbeiten sowie das Betonieren selbst in sieben Comicseiten aufbereitet und mit leicht verständlichen Texten unterlegt. Die Themen:

- **Vorbereiten des Betonierens**
- **Einbringen des Betons**
- **Verdichten des Betons**
- **Nachbehandlung des Betons**
- **Bildung von Rissen im Beton**
- **Betonieren bei kühler Witterung**
- **Betonieren bei hohen Temperaturen**

In dieser Broschüre finden Sie alle Themen-Comics auf einen Blick. Sie alle sind auch als Poster erhältlich (www.betonshop.de).

Worte und Videos zur weiteren Info

Da nicht immer die Bildinformationen alleine ausreichen, werden sie durch kurze Fachtexte ergänzt. Am Ende dieser Texte sind Links zur

weiterführenden Fachliteratur zu finden. Außerdem hat der Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e. V. (BTB) kurze Videos zu den behandelten Themen veröffentlicht. Diese können über die Links auf den Themenseiten aufgerufen werden. Die Inhalte der Broschüre stehen auch online unter <https://www.richtig-betonieren.de> zur Verfügung.



Der Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie (BTB) beteiligt sich mit den Postern und der Broschüre an einer über den Europäischen Transportverband ERMCO koordinierten Kampagne zur richtigen Verarbeitung von Frischbeton. Sie wendet sich an bauausführende Unternehmen sowie Planer und Architekten und hat das Ziel, für die Themen Sicherheit und Qualität bei allen Arbeitsschritten rund um das Betonieren zu sensibilisieren.

Ihren ersten Auftritt hatte die Kampagne übrigens in den Niederlanden. Mittlerweile liegen neben einer Fassung in englischer Sprache auch Übersetzungen für Belgien, Deutschland, Frankreich, Israel, Polen und die Slowakei vor.

Eine PDF-Datei mit den Miniaturen dieser Versionen und den Bezugsadressen kann unter <https://www.transportbeton.org/baustoff/richtig-betonieren/international> aufgerufen werden.



Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre!



VORBEREITEN DES BETONIERENS



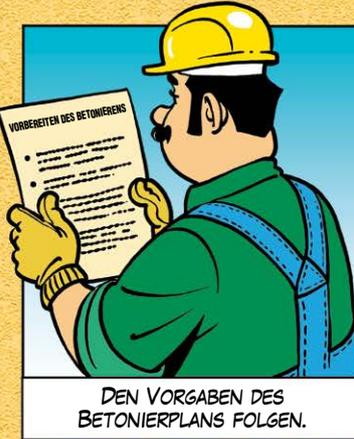
REINIGEN DER SCHALUNG VON METALLTEILEN.



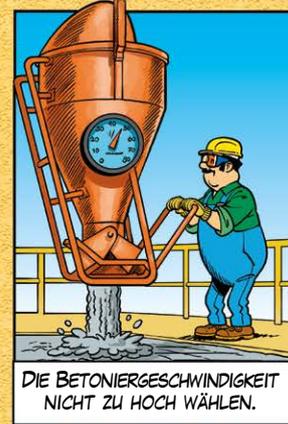
ENTFERNEN VON ABFÄLLEN AUS DER SCHALUNG.



SCHALÖL DÜNN UND GLEICHMÄßIG ANWENDEN.



DEN VORGABEN DES BETONIERPLANS FOLGEN.



DIE BETONIERGESCHWINDIGKEIT NICHT ZU HOCH WÄHLEN.



DIE WETTERBEDINGUNGEN BERÜCKSICHTIGEN.



BETON RECHTZEITIG BESTELLEN UND DIE LIEFERMENGE PRO STUNDE VEREINBAREN.



Die sorgfältige Planung - zum Beispiel mit Betonierkonzept oder Betonierplan - und Vorbereitung des Betonierens vermeidet Verzögerungen.

VORBEREITEN DES BETONIERENS

Sorgfältige Planung vermeidet Verzögerungen

Das Vorbereiten zum Betonieren umfasst alle Tätigkeiten und Planungen, die ein reibungsloses und erfolgreiches Ausführen der Betonarbeiten ermöglichen. Die vorbereitenden Arbeiten müssen vor Beginn des Betoneinbaus abgeschlossen sein. In Abhängigkeit der Überwachungsklasse müssen sie überwacht und dokumentiert werden. Zu diesen Tätigkeiten und Planungen gehören u. a.:

- das Erarbeiten von Betonierkonzept oder Betonierplan,
- das Vorbereiten und die Kontrolle der Schalung,
- das Bestellen, Liefern und
- Annehmen des Betons.

Die An- und Abfahrtswege müssen für die Baustellenfahrzeuge sicher und frei von Hindernissen sein. Dies gilt auch für mögliche Aufstellplätze für Betonpumpen (Standicherheit!).

Die Funktion aller Geräte und Hilfsmittel für den Einbau und das Verdichten des Betons sind so frühzeitig zu testen, dass bei Funktionsstörungen ggf. rechtzeitig Ersatz bereitgestellt werden kann.

Reinigen der Schalung

Aufgabe der Schalung ist es, dem Beton die geplante Form zu geben. Sie ist das „Negativ“ des fertigen Betonteils. Daher ist die Maßhaltigkeit und Sauberkeit der Schalung von hoher Bedeutung.

Um den Verlust von Feinstoffen zu begrenzen, müssen die Fugen zwischen den Schaltafeln ausreichend dicht

sein. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass eine Schalung, die zum Aufsaugen von größeren Mengen an Wasser neigt, entsprechend vorzubehandeln ist. Dies kann z. B. durch Auftragen und anschließendes Entfernen von Zementschlamm erfolgen. Saugende Schalungen müssen vor Gebrauch ca. 6 bis 12 Stunden gewässert werden, damit sie dem Frischbeton nicht zu viel Wasser entziehen können.

Die Schalung ist möglichst kurz vor dem Betonieren von Verunreinigungen aller Art zu befreien. Reste von Bindedraht können z. B. mit einem großen Magneten entfernt werden.

Wasseransammlungen nach Reinigungsvorgängen oder nach Regenfällen sind durch Absaugen oder Ausblasen mit ölfreier Druckluft zu entfernen.

Trennmittel (Schalöl) dünn und gleichmäßig auftragen

Vor dem Einbau der Bewehrung sind Trennmittel gemäß Angaben des Herstellers dünn und gleichmäßig auf die Schalung aufzutragen. Die Trennmittel ermöglichen das einwandfreie Lösen der Schalung von der Betonoberfläche und außerdem wird das Schalungsmaterial geschützt

und konserviert. Diese Mittel können daher Schäden beim Ausschalen vermeiden und die Qualität der Betonoberfläche verbessern.

Fleckenbildungen sowie unterschiedliche Grautönungen auf Sichtbetonflächen sind häufig auf ein unsachgemäßes Auftragen der Trennmittel zurückzuführen.

Steht die Schalung längere Zeit vor dem Betonieren, ist besonders darauf zu achten, dass die mit Trennmittel behandelten Flächen nicht verschmutzen.

Einbau der Bewehrung

Die Bewehrung ist entsprechend der Vorgaben aus den bautechnischen Unterlagen zu verlegen. Die Bewehrung muss so befestigt und gesichert sein, dass sich ihre endgültige Lage nur minimal ändert. Die erlaubten Toleranzen finden sich in der DIN 1045-3 [1.1]. Die Bewehrung muss so eingebaut werden, dass der Beton ordnungsgemäß eingebracht und verdichtet werden kann. Bei Bewehrungslagen mit einem geringen Abstand zwischen den Stäben sind Rüttellücken und Einfüllöffnungen vorzusehen. Die Rüttellücken und deren Abstände sind abhängig vom Durchmesser der Rüttelflasche (siehe Tafel 1.1).

Vor dem Betonieren ist unabhängig von der Überwachungsklasse noch einmal die Bewehrung zu überprüfen.

Tafel 1.1: Abstand und Breite von Rüttellücken

Durchmesser der Rüttelflasche	Breite der Rüttellücke	Abstand der Rüttellücken
55 mm	8 cm	50 cm
70 mm	10 cm	70 cm

Tafel 1.2: Beispiel für ein baustellenbezogenes Betonlieferverzeichnis (Sortenverzeichnis mit Nachbehandlungsangaben) (aus [1.2])

Pos.	Durch Betonzusammensetzung abgedeckte Expositions-kategorie	Festigkeits-kategorie	Festigkeitsentwicklung M – mittel S – schnell	Nachbehandlungsduer in Abhängigkeit der Lufttemperaturen					Bauteil (Beispiele)	
				8 – 10 °C	10 – 15 °C	15 – 25 °C	≥ 25 °C	< 5 °C		
				[Tage]	[Tage]	[Tage]	[Tage]	[Tage]		
1	X0	C12/16	–	–	–	–	–	–	Sauberkeitsschicht	
2	XC4, XF1, XA1, (WU)	C25/30	M	6	4	2	2	Die Nachbehandlungsduer ist um die Zeit zu verlängern, während die Temperatur unter 5 °C liegt.	Fundamente, Bodenplatten - mit WU-Anspruch - ohne WU-Anspruch	
3	XC4, XF1, XA1, (WU)	C25/30	M	6	4	2	2		C30/37 (CEM III/A 42,5)	
4	XC4, XF1, XA1	C30/37	M	6	4	2	2		Wände, Decken - Innenraum - Außenbereich - erdberührend	
5	XC4, XF1, XA1	C30/37	M	6	4	2	2		C30/37 (CEM I 32,5 R)	
6	XC4, XF1, XA1	C30/37	M	6	4	2	2		Wände, Decken - Innenraum - Außenbereich - erdberührend	
7	XC4, XF1, XA1	C30/37	M	6	4	2	2		C35/45	
8	XC4, XF1, XA1	C30/37	M	6	4	2	2		Wände - Innenraum - Außenbereich - erdberührend	
9	XC4, XF1, XA1	C30/37	M	6	4	2	2		C45/55	
10	XC4, XF1, XA1	C35/45	M	6	4	2	2		Decken - Stützen - Treppen	
11	XC4, XF1, XA1	C35/45	M	6	4	2	2			
12	XC4, XF1, XA1	C35/45	M	6	4	2	2			
13	XC4, XF1, XA1	C45/55	M	6	4	2	2			
14	XC4, XF1, XA1	C45/55	M	6	4	2	2			
15	XC4, XF1, XA1	C35/45	S	3	2	1	1			Stützen in Weißbeton

lung des Betons alle erforderlichen Daten angeben. Im Normalfall orientiert sich die Baustelle an dem baustellenbezogenen Betonlieferverzeichnis (Tafel 1.2) und teilt dem Herstellwerk die gewählte Betonbestellnummer (Beton-sorte) mit.

Außerdem sind mit dem Hersteller Lieferdatum, Uhrzeit, Menge und Abnahmegeschwindigkeit zu vereinbaren. Ggf. ist der Hersteller über Besonderheiten beim Transport auf der Baustelle, beim Einbauverfahren und über Beschränkungen bei den Lieferfahrzeugen – z. B. Art, Größe, Höhe oder Bruttogewicht – zu informieren.

Den Vorgaben des Betonierplans folgen

Generell ist es sinnvoll, einen Qualitätssicherungsplan bzw. ein Betonierkonzept oder einen Betonierplan zu erstellen.

Im Betonierkonzept werden grundsätzliche Aussagen über die Betonherstellung und den Betoneinbau festgelegt, wie z. B. die zu verwendenden Betonsorten, die Art der Einbaukonsistenz, die Abstimmung des Größtkorns mit dem Abstand der Bewehrungsstäbe, die Art der Betonförderung auf der Baustelle durch Pumpen oder Kübel. Außerdem wird in einem Betonierkonzept festgehalten, welche prüftechnischen Nachweise und Dokumentationen über den einzubauenden Beton geführt werden müssen. Des Weiteren werden für Rückfragen oder zur Klärung von Details auch alle verantwortlichen Personen mit Namen und Telefonnummern aufgeführt.

Ein Betonierplan hilft den Bauablauf besser zu gestalten und ist für komplizierte Bauteile sinnvoll und empfehlenswert. Der Umfang des Betonierplans sollte auf die beim Betonieren bevorstehenden Aufgaben abgestimmt sein. Dazu gehören z. B. Festlegungen von Zeitplänen, die Betoniergeschwindigkeit, die Notwendigkeit von Fördergeräten, Bestellmengen, einzusetzendem Personal, die Berücksichtigung von Witterungseinflüssen und daraus

resultierende Maßnahmen sowie die Oberflächenbehandlung des Betons nach dem Einbringen.

Die Betoniergeschwindigkeit nicht zu hoch wählen

Frischbeton übt einen hydraulischen Druck – den Frischbetondruck – auf die Schalung aus. Der Frischbetondruck ist u. a. abhängig von der Einbaugeschwindigkeit (Betoniergeschwindigkeit) und der Konsistenz. Schalungen werden unter Berücksichtigung der Betoniergeschwindigkeit so bemessen, dass sie den Frischbetondruck sicher aufnehmen können. Beim Betonieren ist deswegen die vorgesehene Betoniergeschwindigkeit einzuhalten.

Die Wetterbedingungen berücksichtigen

Die Verarbeitbarkeitszeit von Beton wird im Wesentlichen von der Witterung und der Betonzusammensetzung bestimmt. Transportbeton ist möglichst unmittelbar nach der Anlieferung zu verarbeiten. Grundsätzlich muss gewährleistet sein, dass der Beton verarbeitet ist, bevor das Erstarren einsetzt.

Beton rechtzeitig bestellen und die Liefermenge pro Stunde vereinbaren

Der Bauunternehmer muss dem Transportbetonwerk bei der Bestel-

Vor dem Entladen des Betons muss der Fahrer des Transportbetonfahrzeugs dem Bauunternehmer einen Lieferschein (Beispiel siehe Bild 1.1) für jede Betonladung übergeben, auf dem mindestens folgende Angaben gedruckt, gestempelt oder handschriftlich eingetragen sind:

- ✗ Name des Transportbetonwerks
- ✗ Lieferscheinnummer
- ✗ Datum und Zeit des Beladens, d. h. Zeitpunkt des ersten Kontakts zwischen Zement und Wasser
- ✗ Kennzeichen des Lkw oder Identifikation des Fahrzeugs
- ✗ Name des Käufers
- ✗ Bezeichnung und Lage der Baustelle
- ✗ Einzelheiten oder Verweise auf die Festlegung, z. B. Nummer im Listenverzeichnis, Betonbestellnummer (Sortennummer)
- ✗ Menge des Betons in Kubikmetern
- ✗ bauaufsichtliches Übereinstimmungszeichen unter Angabe von DIN EN 206-1 und DIN 1045-2
- ✗ Name oder Zeichen der Zertifizierungsstelle
- ✗ Zeitpunkt des Eintreffens des Betons auf der Baustelle
- ✗ Zeitpunkt des Entladebeginns
- ✗ Zeitpunkt des Entladeendes

Bei Zugabe von Fließmittel sind auf der Baustelle handschriftlich auf dem Lieferschein einzutragen:

- **Zeitpunkt der Zugabe**
- **Zugegebene Menge an Fließmittel**
- **Geschätzte Restmenge in der Mischertrommel vor der Zugabe**

Zusätzlich muss der Lieferschein (für Beton nach Eigenschaften) folgende Einzelheiten enthalten:

- ✗ **Druckfestigkeitsklasse (ggf. von 28 Tagen abweichender Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit mit weiteren Hinweisen)**
- ✗ **Expositionsclassen und Feuchtigkeitsklasse**
- ✗ **Art der Verwendung des Betons (unbewehrter Beton, Stahlbeton, Spannbeton) oder die Klasse des Chloridgehalts**
- ✗ **Konsistenzklasse oder Zielwert der Konsistenz**
- ✗ **Grenzwerte der Betonzusammensetzung (falls festgelegt)**
- ✗ **Art und Festigkeitsklasse des Zements**
- ✗ **Art der Zusatzmittel und Zusatzstoffe**
- ✗ **ggf. Art und Menge der Fasern**
- ✗ **besondere Eigenschaften (falls gefordert)**
- ✗ **Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung**
- ✗ **Rohdichteklasse oder Zielwert der Rohdichte bei Leichtbeton oder Schwerbeton**
- ✗ **Festigkeitsentwicklung des Betons**

Bild 1.1: Beispiel für einen Betonlieferschein

Mustermann GmbH & Co.KG Betonnummer überprüfen! Muster		Verkauf/Verwaltung/Auftragsannahme: Musterallee 12, 00600 Musterdorf Telefon: 0444/44440, Telefax: 0444/44441 Werk: Musterstraße 14, 00000 Musterdorf Telefon: 0444/44442							
Kunden-Nr.: Rechnungsamfänger:		Werk: Dortmund		Fremdbewacht und zertifiziert nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 durch Baustoffüberwachungs- und Zertifizierungsverband Nord (BÜV Nord) e.V., Hamburg					
Baustellen-Nr.: Baustellenanschrift:		Datum: 21.12.2020		Beton nach:					
Betonbau-Perfekt Justus Allee 15, 44287 Dortmund		Lieferschein-Nr.: 675 - 2020		<input checked="" type="checkbox"/> Eigenschaften <input type="checkbox"/> Zusammensetzung <input type="checkbox"/> ZTV-ING <input type="checkbox"/> ZTV-W					
Menge (m³)	Bestnummer	Expositions-Klasse	Feuchtigkeits-Klasse	Festigkeits-Klasse	Konsistenz-Klasse	Größtkorn	Rohdichteklasse bei Leichtbetonbeton	Festigkeitsentwicklung/ Nachbehandlung entsprechend DIN EN 13670 / DIN 1045-3	Verwendung/Eignung/ Klasse des Chloridgehaltes
8	471234	XC4, XF1	WF	C30/37	F3	D16		mittel	
Lieferfahrzeug	Beladung im Werk	Ankunft Baustelle	Beginn Entladung	Ende Entladung	Wartzeit Minuten	Stand der Lieferung (m³)			
DO-JJ 2005	7.45	8.15	8.20	8.40	5	Soll 120 Ist: 80 Rest: 40			
Zement: CEM III/A 42,5 N	Zusatzstoff: -----	Zusatzmittel: BV	Sonderleistungen:						
Raum für zusätzliche Eintragungen: z.B. hochfester Beton, Grenzwerte der Zusammensetzung nach DIN 1045-2, Tabelle F.2.1 und F.2.2, zusätzliche besondere Eigenschaften			Bei Beton nach ZTV-ING für die Expositionsclassen XF2, XF3, XD2/A2 und XF4/XD3 bitte folgenden Hinweis auf die Lieferscheine drucken: „Dieser Beton entspricht ZTV-ING. Er weicht daher von DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ab.“			Nachträgliche VZ-Zugabe (nach DAFSB-Richtlinie) Zugabeort: _____ VZ-Bezeichnung: _____ Zugabemenge: _____ Zugabezeitpunkt: _____ Verzugzeit: _____ Std. Name des überwachenden Fachmannes: _____ Nachträgliche FM-Zugabe oder Nachbestellung von FM Zugabemenge: _____ Konsistenzbereich vor/nach FM Zugabe (Augschein): _____ Planmäßige nachträgliche Wasserzugabe Gesamtwassermenge: _____ Nach zugabebarer Wasserzugabe			
Bitte beachten bei der Schutzhinweise „Sicherer Umgang mit Transportbeton“ Informationsblatt anfordern			Die Erfüllung Ihres Auftrages erfolgt ausschließlich auf Grund unserer Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Der bestellte Beton wurde ordnungsgemäß geladert, Anker- und Abfahrtschalen sind richtig eingetragene und können für die Werkvermittlung verwendet werden.			Selbstschutzhinweise: H18 Verursacht schwere Augenreizung. Schmelzschmelze: P201 P202 P273 BEI BERÜHRUNG MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen. Selbst reizend: P201 P202 P273 BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen. Bei Hautkontakt: Articulon Mit entzündeter/irritierter Haut waschen. P202 Kontaktieren Kleidung aussuchen und vor Entladen tragen waschen. Für Betonfestigkeitsklassen bis C50/60 bzw. L55/60 gilt: UFI: P201-P202-P273-0000-1907 Für Betonfestigkeitsklassen ab C50/60 bzw. L55/60 gilt: UFI: T052-P201-P273-0001-18097 Für zementgebundene Baustoffe gilt: UFI: T052-P201-P273-0001-18097			
Werkbeauftragter: K. Meier		Fahrer: Müller		Abnehmer: Schulze		Lieferung ordnungsgemäß erhalten			

Nur die rechtzeitige Kontrolle des Lieferscheins vor dem Entladen stellt sicher, dass der gelieferte Beton tatsächlich der bestellte Beton ist. Ein sehr sicheres Kriterium dafür ist die Überprüfung der Betonbestellnummer.

Im Bautagebuch ist unter Angabe der Lieferscheinnummern festzuhalten, für welches Bauteil der Beton verwendet wurde.

LITERATUR

- [1.1] DIN 1045-3 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670
- [1.2] Zement-Merkblatt B 21 – Betonieren bei extremen Temperaturen, InformationsZentrum Beton, Düsseldorf
- [1.3] Zement-Merkblatt B 5 – Überwachen von Beton auf Baustellen, InformationsZentrum Beton, Düsseldorf
- [1.4] Zement-Merkblatt B 4 – Frischbeton – Eigenschaften und Prüfungen, InformationsZentrum Beton, Düsseldorf
- [1.5] Beton – Prüfung nach Norm, InformationsZentrum Beton, Düsseldorf

Link zum Video

„Richtig betonieren 3 – Vorbereiten des Betonierens“

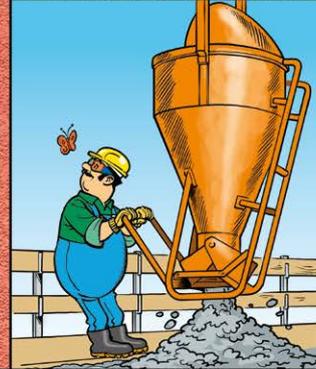
https://youtu.be/aPzJ_qwAKe0



EINBRINGEN DES BETONS



ENTMISCHUNGEN VERMEIDEN. DEN BETON NICHT MIT EINER ZU GROßEN FALLHÖHE EINBAUEN.



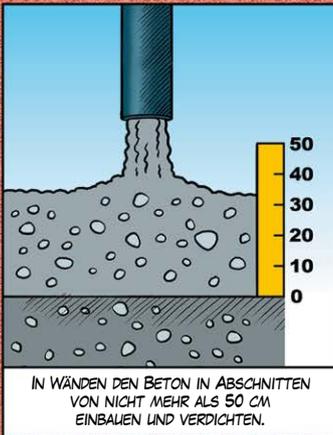
EINBAU DES BETONS AN DER VORGEGEHEHENEN STELLE VERMEIDET UNNÖTIGES NACHTRÄGLICHES VERTEILEN DES BETONS.



BETRÄGT DIE FALLHÖHE MEHR ALS 1,5 M, SIND FALLROHRE ODER SCHLÄUCHE ZU VERWENDEN.



FALLS ES NOTWENDIG IST, DEN BETON ZU VERTEILEN, SIND SCHAUFEL ODER HARKEN ZU BENÜTZEN UND NICHT DIE VERDICHUNGSGERÄTE WIE Z. B. RÜTTELFLASCHEN.



IN WÄNDEN DEN BETON IN ABSCHNITTEN VON NICHT MEHR ALS 50 CM EINBAUEN UND VERDICHEN.



SICHERSTELLEN, DASS EINE STABILE ARBEITSPLATTFORM ZUR VERFÜGUNG STEHT UND DAS PERSONAL DIE PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG TRÄGT.



BESTE ERGEBNISSE WERDEN ERZIELT, WENN DIE REGELN BEFOLGT WERDEN.



Beste Ergebnisse werden erzielt, wenn die Regeln befolgt werden.

EINBRINGEN DES BETONS

Entmischungen vermeiden. Den Beton nicht mit einer zu großen Fallhöhe einbauen

Der Beton darf sich beim Einbringen nicht entmischen. Auch muss er so in die Schalung eingebracht werden, dass er sich anschließend gut verdichten lässt. Dafür sind die wichtigsten Regeln: den Beton schichtweise einbringen und große Fallhöhen vermeiden!

Fällt der Beton aus großer Höhe in die Schalung, besteht die Gefahr, dass er entmischt. Gerade bei Betonen mit weicher Konsistenz kann bei großer Fallhöhe die grobe Gesteinskörnung nach unten „durchschlagen“.

Auch wird Luft in den Beton eingetragen, was zusätzlichen Aufwand beim Verdichten bedeutet. In Bauteilen mit viel waagerechter Bewehrung, z. B. Stützen oder Wände, wirkt die Bewehrung bei hoher Fallhöhe wie ein Schneebesen, der noch mehr Luft in den Beton einträgt.

Zementleim, der weit oberhalb der Betonierfront an der Bewehrung haften bleibt, vertrocknet dort, er „verbrennt“. Das geschieht besonders schnell bei warmer Witterung. Es bildet sich eine Kruste mit niedriger Festigkeit, die später einen guten Verbund zwischen Beton und Bewehrung verhindert.

Nicht nur der Beton selbst kann bei zu hoher Fallhöhe Schaden nehmen. Trifft der Beton mit großer Wucht auf Schalung oder Einbauteile, können diese verrutschen oder beschädigt werden.

Beträgt die Fallhöhe mehr als 1,5 m, sind Fallrohre oder Schläuche zu verwenden.

Beton darf daher nicht mehr als 1,5 m frei in die Schalung fallen. Bei Sichtbeton sind es nur 50 cm. Für hohe Bauteile müssen dann Betonierrohre (Fallrohre) oder Betonierschläuche verwendet werden. Damit wird der Beton bis kurz über die Einbaustelle geführt.

Einbau des Betons an der vorgesehenen Stelle vermeidet unnötiges nachträgliches Verteilen des Betons

Durch möglichst kurze Abstände der Einfüllstellen des Betons lässt sich die Bildung von Schüttkegeln vermeiden. In horizontalen Bauteilen, wie Bodenplatten oder Geschossdecken, spart das unnötige Arbeit für ein nachträgliches Verteilen.

Falls es notwendig ist, den Beton zu verteilen, sind Schaufel oder Harken zu benutzen und nicht die Verdichtungsgeräte wie z. B. Rüttelflaschen

Falls der Beton doch verteilt werden muss, geschieht das am besten mit Schaufeln oder Harken, auf keinen Fall aber mit der Rüttelflasche, da dabei der Beton entmischen kann.

Eine Ausnahme ist die Unterfüllung von Einbauten. Als Alternative können für solche Fälle leicht verarbeitbare Betone (Konsistenz F5, F6) oder selbstverdichtender Beton zum Einsatz kommen.

In Wänden kann im Bereich von Schüttkegeln hoher Frischbeton-

druck entstehen. Dieser Druck kann so hoch sein, dass es zu starken Verformungen der Schalung kommt. Die Schalung wölbt zwischen den Spannstellen nach außen und Schalungsstöße öffnen sich. Das Ergebnis sind unebene Wände mit Versätzen und Kiesnestern. Im schlimmsten Fall reißen die Schalungsanker und die komplette Schalung versagt.

In Wänden den Beton in Abschnitten von nicht mehr als 50 cm Höhe einbauen und verdichten

Verdichten lässt sich der Beton am besten, wenn er – besonders in Wänden – in Schichten von nicht mehr als 50 cm Höhe eingebaut wird. Bei zu hohen Schichten hat die im Beton eingeschlossene Luft einen sehr weiten Weg zurücklegen, um aus dem Beton entweichen zu können. Beim Verdichten wird die Luft dann entweder nicht vollständig ausgetrieben oder der Beton entmischt, weil zu lange verdichtet wird.

Außerdem lässt sich bei höheren Betonschichten eine Vernadelung der einzelnen Schichten durch das Rütten nicht sicher erreichen.

Beim Verdichten soll die Rüttelflasche ca. 10 bis 15 cm in die untere Schicht eintauchen. Farbmarkierungen an den Rüttelflaschen helfen, die Eintauchtiefe der Innenrüttler abzuschätzen.

Sicherstellen, dass eine stabile Arbeitsplattform zur Verfügung steht und das Personal die persönliche Schutzausrüstung trägt

Auch beim Betonieren ist Sicherheit oberstes Gebot. Eine stabile Arbeitsplattform und das Tragen der persönlichen Schutzausrüstung sorgen für sicheres Arbeiten.

LITERATUR

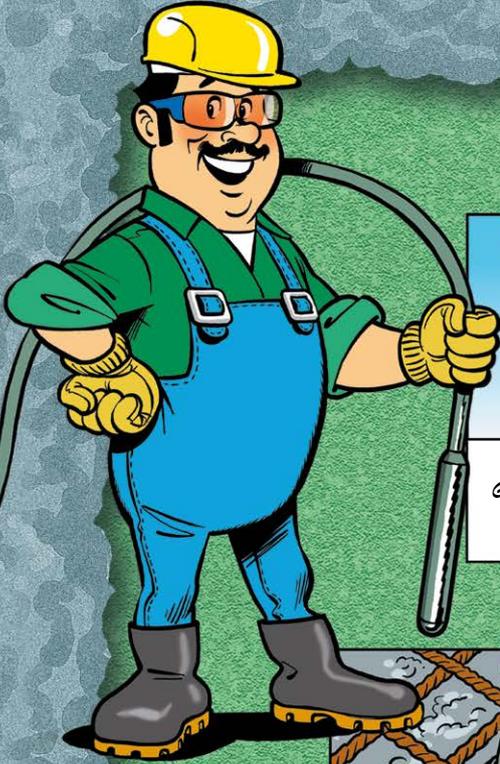
[2.1] Zement-Merkblatt B 7: Bereiten und Verarbeiten des Betons, InformationsZentrum Beton, Düsseldorf

Link zum Video

„Richtig betonieren 1 – Einbringen des Betons“
<https://youtu.be/C3iFh14w1Yc>



VERDICHTEN DES BETONS



EINEN RÜTTLER MIT GEEIGNETER FREQUENZ UND DURCHMESSER VERWENDEN.



BEREITHALTEN EINES ERSATZRÜTTLERS.



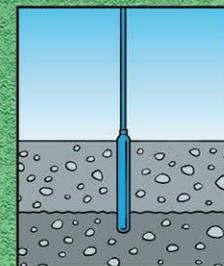
DIE RÜTTELZEIT SOLL NICHT ZU KURZ UND AUF KEINEN FALL ZU LANG SEIN.



DER KONTAKT DES INNENRÜTTLERS MIT DER BEWEHRUNG ODER DER SCHALUNG IST ZU VERMEIDEN.



SICHERSTELLEN, DASS EINE STABILE ARBEITSPLATTFORM ZUR VERFÜGUNG STEHT UND DAS PERSONAL DIE PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG TRÄGT.



BEIM VERDICHTEN EINER NEUEN BETONSCHICHT MUSS DER RÜTTLER NOCH IN DIE UNTERE, BEREITS VERDICHTETE SCHICHT EINDRINGEN, UM EINEN GUTE DURCHMISCHUNG ZU ERREICHEN.



PRÜFEN DER SCHALUNG UND DER FUGEN.



DEM BETON GENÜGENDE ZEIT FÜR EINE VOLLSTÄNDIGE VERDICHUNG GEBEN.

DAS ENTLÜFTEN SOLL AUSSEHEN WIE "KOCHENDES WASSER".

WENN DIE OBERFLÄCHE SICH GLÄTTET, IST AUSREICHEND VERDICHET WORDEN.



GUT VERDICHETER BETON IST EIN ZEICHEN FÜR GUTE AUSFÜHRUNGSQUALITÄT.



Selbstverdichtender Beton (SVB) wird während des Einbaus nicht verdichtet, er entlüftet selbst.

VERDICHTEN DES BETONS

Gut verdichteter Beton ist ein Zeichen für gute Ausführungsqualität

Beim Verdichten soll die beim Einfüllen des Betons noch vorhandene Luft aus dem Beton entweichen, damit er keine Lunker enthält und dicht an Schalung und Bewehrung anschließt. Verdichtet werden kann entweder durch Stochern, Stampfen oder Rütteln – je nach Konsistenz des Betons (Bild 3.1).

Durch Stochern werden nur weiche oder fließfähige Betone verdichtet – derart, bis die eingeschlossene Luft entwichen ist. Steife Betone können mit Stampfgeräten verdichtet werden, wobei dafür die einzelnen Betonierlagen nicht höher als 15 cm sein sollen. Innenrüttler sind für alle Konsistenzklassen geeignet, jedoch muss bei Betonen mit Mikroluftporen (LP-Betone, z. B. für Beton mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand) darauf geachtet werden, dass nicht zu stark verdichtet wird, um die Luftporen nicht auszutreiben.

Einen Rüttler mit geeigneter Frequenz und Durchmesser verwenden.

Die Wahl des Rüttlers mit der richtigen Frequenz und dem richtigen Durchmesser ist für das vollständige Verdichten wichtig. Der Durchmesser des Rüttlers muss ggf. auch unter Beachtung des Abstands der Bewehrung gewählt werden, damit die Stäbe und Matten beim Verdichten möglichst nicht berührt werden. Bereits der Tragwerksplaner plant hierfür bei der Bewehrungsanordnung Öffnungen für das Betonieren und Verdichten ein. Diese Öffnungen (Betonieröffnungen, Rüttellücken, Rüttelgassen) hat der Tragwerksplaner auf den Bewehrungsplänen angegeben. Der Abstand für das Eintauchen des

Innenrüttlers kann abgeschätzt werden. Er sollte ungefähr dem 8- bis 10-fachen Durchmesser des Rüttlers entsprechen, siehe auch Tafel 1.1.

Bereithalten eines Ersatzrüttlers

Auf der Baustelle sollte stets ein funktionstüchtiger Ersatzrüttler vorhanden sein, damit keine Unterbrechungen des Verdichtungsvorgangs entstehen. Andernfalls könnte der Beton während der Unterbrechung so stark ansteifen, dass ein Austreiben der Luftporen und Vermischen der Betonierlagen untereinander nicht mehr möglich ist.

Die Rüttelzeit soll nicht zu kurz und auf keinen Fall zu lang sein.

Das Verdichten muss maßvoll und mit Erfahrung ausgeführt werden. Wird der Verdichtungsprozess zu früh beendet, werden die Hohlräume nicht vollständig verfüllt und es entstehen Kiesnester und Lunker (Luft einschließen an der Betonoberfläche). Wird zu lange gerüttelt, entmischt der Beton und die vorgesehenen Eigenschaften werden nicht erreicht.

Der Kontakt des Innenrüttlers mit der Bewehrung oder der Schalung ist zu vermeiden

Der Kontakt des Innenrüttlers mit der Bewehrung ist zu vermeiden, ansonsten können die in den Bewehrungsstahl eingebrachten Vibrationen zu Verbundstörungen zwischen Bewehrungsstahl und Beton führen. Weiterhin kann sich die Bewehrungslage an der Oberfläche von Sichtbetonbauteilen abzeichnen.

Auch das Berühren der Schalung mit dem Innenrüttler sollte vermieden werden. Es könnte zur Beschädigung der Schalungshaut führen,

die sich dann in Sichtbetonoberflächen abzeichnen.

Sicherstellen, dass eine stabile Arbeitsplattform zur Verfügung steht und das Personal die persönliche Schutzausrüstung trägt.

Wie bei allen Arbeiten auf der Baustelle ist darauf zu achten, dass die Arbeitssicherheit gewährleistet ist. Deshalb ist entsprechende Schutzausrüstung zu tragen. Insbesondere bei der Betonage von Wänden muss eine stabile Arbeitsplattform mit Absturzsicherung vorhanden sein.

Beim Verdichten einer neuen Betonschicht muss der Rüttler noch in die untere, bereits verdichtete Schicht eindringen, um eine gute Durchmischung zu erreichen.

Bei Wänden oder massigen Bauteilen wird der Frischbeton lagenweise eingebracht und verdichtet. Die Höhe einer Lage sollte nicht mehr als 50 cm betragen. Beim Betonieren mehrerer Lagen darauf achten, dass die zuletzt eingebaute Lage noch nicht erstarrt ist.

Rüttelflaschen sind schnell bis in die darunter befindliche Betonierlage einzutauchen („Vernadeln“) und langsam herauszuziehen, um eine optimale Verdichtungswirkung zu erreichen.

Die Betonierlagen sind gleichmäßig hoch einzubringen, da sonst ungleichmäßig gefärbte Betonoberflächen entstehen können.

Bei Sichtbeton ist ein zu langes Verweilen des Rüttlers in Schalungsnähe zu vermeiden, da sonst eine Wolkenbildung auftreten kann.

Prüfung der Schalung und der Fugen

Vor der Betonage ist die Schalung zu überprüfen. Sie muss unverrückbar sein und auch stabil genug, damit sie dem Frischbetondruck standhalten kann. Um ein Auslaufen von Zementleim und Wasser zu verhindern, müssen die Fugen der Schalung möglichst dicht sein.

- Dem Beton genügend Zeit für eine vollständige Verdichtung geben
- Das Entlüften soll aussehen wie „kochendes Wasser“.
- Wenn die Oberfläche sich glättet, ist ausreichend verdichtet worden.

Praktisch vollständig verdichteter Beton ist dann erreicht,

- ✗ wenn sich der Beton nicht mehr setzt,
- ✗ die Betonoberfläche mit Feinmörtel geschlossen ist und
- ✗ keine größeren Luftblasen mehr aufsteigen.

Der Luftgehalt im Beton beträgt dann noch etwa 1 bis 2 Vol.-% und lässt sich unter Baustellenbedingungen nicht mehr weiter reduzieren.

Schließt sich die Oberfläche des Betons nach Herausziehen des Rüttlers nicht mehr:

- ✗ war entweder die Rütteldauer nicht ausreichend,
- ✗ ist die Konsistenz für den verwendeten Rüttler zu steif oder
- ✗ das Erstarren des Betons hat bereits begonnen.

Bild 3.1: Verdichtungsaufwand in Abhängigkeit von der Konsistenz

F1	F2	F3	F4	F5	F6	SVB
Stampfen	starkes Verdichten	normales Verdichten	wenig Verdichten	leichtes Verdichten (Stochern, Klopfen)	leichtes Verdichten (Schwabbeln)	kein Verdichten
						
						

Das Nachverdichten des Betons ist eine zusätzliche Maßnahme zur Steigerung oder Sicherung der geplanten Qualitätseigenschaften. Je nach Erstarrungsbeginn kann es nach einer Stunde und später erfolgen. Das Nachverdichten ist aber auf jeden Fall innerhalb eines Zeitraums durchzuführen, in dem der Beton noch verformbar ist. Dies ist z. B. am bereits genannten Zusammenfließen (Schließen der Oberfläche) des Betons beim Herausziehen des Rüttlers erkennbar.

Durch Nachrütteln werden Hohlräume, die sich unter waagerechten Bewehrungsstäben oder Aussparungen

gebildet haben, geschlossen. Wasser- oder Lufteinschlüsse unter groben Gesteinskörnern, im Grenzbereich zwischen Frischbeton und Schalung oder in Unterschnidungsbereichen der Schalung, werden mobilisiert und ausgetrieben. So wird eine weitere Verdichtung des Betongefüges erreicht und die Bildung von Fehlstellen sowie die Rissneigung werden verringert.

Vor allem schlanke, hohe und schnell betonerte Bauteile (z. B. Stützen und Wände) sollten im oberen Bereich nachverdichtet werden. Die Verwendung dünnerer Rüttelflaschen bei engeren Abständen kann ebenfalls sinnvoll sein.

LITERATUR

[3.1] Zement-Merkblatt B 7: Bereiten und Verarbeiten des Betons, InformationsZentrum Beton, Düsseldorf

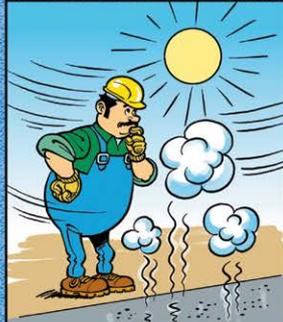
Link zum Video

„Richtig betonieren 4 – Verdichten“

<https://youtu.be/aNxekjKaTIE>



NACHBEHANDLUNG DES BETONS



BEREITS IM VORFELD FESTLEGEN, WANN, WIE UND WIE LANGE DER BETON NACHBEHANDELT WERDEN MUSS.



EINE ZU LANGE NACHBEHANDLUNG IST BESSER ALS EINE ZU KURZE.



DIE BESTE NACHBEHANDLUNGSMETHODE IST DAS BELASSEN DES BETONS IN DER SCHALUNG.



BEIM AUFBRINGEN VON MATTEN ODER FOLIEN IST AUF AUSREICHENDE ÜBERLAPPUNG ZU ACHTEN. DIE ABDECKUNG DER RÄNDER IST SICHERZUSTELLEN. AN DEN KANTEN UND STÖßEN SIND DIE ABDECKUNGEN GEGEN DURCHZUG ZU SICHERN.



FALLS NACHBEHANDLUNGSMITTEL ANGEWENDET WERDEN, SIND DIESE GLEICHMÄßIG AUFZUBRINGEN. DIE ANWENDUNG IST ERFORDERLICHENFALLS ZU WIEDERHOLEN.

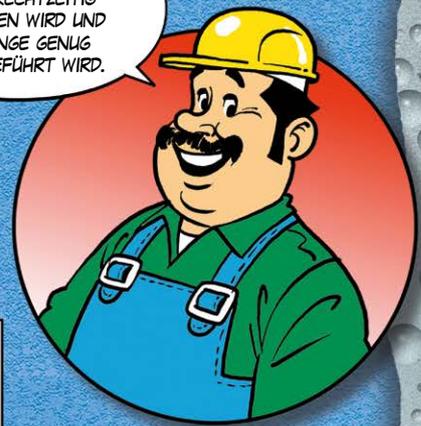


SOLLEN DIE OBERFLÄCHEN BESCHICHTET WERDEN, IST EIN SPEZIELL DARAUF ABGESTIMMTES NACHBEHANDLUNGSMITTEL ZU VERWENDEN.



WIRD DER BETON DURCH AUFRECHTERHALTEN EINES SICHTBAREN WASSERFILMS AUF DER OBERFLÄCHE NACHBEHANDELT, IST DAMIT ERST ZU BEGINNEN, WENN DIE BETONOBERFLÄCHE AUSREICHEND FEST IST. DER WASSERFILM IST DANN ÜBER DIE GESAMTE NACHBEHANDLUNGSDAUER AUFRECHT ZU ERHALTEN.

DIE NACHBEHANDLUNG IST NUR ERFOLGREICH, WENN RECHTZEITIG BEGONNEN WIRD UND SIE LANGE GENUG DURCHFÜHRT WIRD.



Die Nachbehandlung ist nur erfolgreich, wenn rechtzeitig begonnen wird und sie lange genug durchgeführt wird.

NACHBEHANDLUNG DES BETONS

Druckfestigkeit allein garantiert keine Dauerhaftigkeit. Je dichter der Zementstein, desto höher ist auch der Widerstand gegen äußere Einflüsse. Deshalb ist eine früh einsetzende, ununterbrochene und ausreichend lange Nachbehandlung des Betons unerlässlich, damit er gerade in den oberflächennahen Bereichen die aufgrund seiner Zusammensetzung gewünschten Eigenschaften auch tatsächlich erreicht.

Bis zur ausreichenden Erhärtung muss der frisch verarbeitete und junge Beton nachbehandelt und geschützt werden, um:

- ✗ das Fröhschwinden gering zu halten,
- ✗ eine ausreichende Festigkeit in der Betonrandzone sicherzustellen,
- ✗ eine ausreichende Dauerhaftigkeit der Betonrandzone sicherzustellen,
- ✗ den Beton vor schädlichen Witterungsbedingungen zu schützen,
- ✗ das Gefrieren zu verhindern und
- ✗ schädliche Erschütterungen, Stöße oder Beschädigungen zu vermeiden.

Zusätzlich muss der noch frische Beton nicht geschalter, frei liegender Oberflächen gegen Regen geschützt werden.

Sogenannte Fröhschwindrisse entstehen in erster Linie infolge einer Volumenverminderung des grünen und jungen Betons an frei liegender Oberfläche durch scharfes Austrocknen. Dieser Vorgang kann durch eine frühzeitig einsetzende Nachbehandlung verhindert werden.

Beton trocknet umso schneller aus, je geringer die relative Luftfeuchte und je größer die Windgeschwindigkeit

sind. Weitere Einflussfaktoren sind auch die Temperatur, insbesondere der Unterschied zwischen der Temperatur des erhärtenden Betons und seiner direkten Umgebung. Ist die Betonoberfläche wärmer als die sie umgebende Luft, wird das Austrocknen der Betonoberfläche beschleunigt.

Bereits im Vorfeld festlegen, wann, wie und wie lange der Beton nachbehandelt werden muss.

Die im Folgenden genannten Schutzmaßnahmen zur Nachbehandlung des Betons dürfen nur bei regnerischem, feuchtem Wetter mit mindestens 85 % relativer Luftfeuchte während der ersten Tage der Erhärtung unterbleiben. Für die Luftfeuchte darf vereinfacht das Tagesmittel angesetzt werden. Da das Wetter in unserer Klimazone relativ unbeständig ist und zuverlässige Vorhersagen nur bis zu drei Tagen möglich sind, sollte der Gebrauch der 85-Prozent-Regelung sorgfältig geprüft werden und die Ausnahme sein.

Einzelne Regelwerke (WU-Richtlinie des DAFStb oder ZTV-ING) setzen die 85-Prozent-Regelung außer Kraft und fordern die Nachbehandlung über die nachfolgend genannten konventionellen Schutzmaßnahmen.

Schutzmaßnahmen gegen vorzeitiges Austrocknen sind:

- ✗ Belassen in der Schalung,
- ✗ Abdecken mit Folien,
- ✗ Auflegen Wasser speichernder Abdeckungen,
- ✗ kontinuierliches Besprühen mit Wasser, Unterwasserlagerung (Fluten),
- ✗ Aufbringen flüssiger Nachbehandlungsmittel
- ✗ eine Kombination dieser Verfahren.

Die beste Nachbehandlungs-methode ist das Belassen des Betons in der Schalung.

Beim *Belassen in der Schalung* ist saugende Holzschalung feucht zu halten und Stahlschalung gegen Aufheizung durch Sonneneinstrahlung bzw. bei niedrigen Temperaturen vor zu schneller und starker Abkühlung zu schützen.

Beim Aufbringen von Matten oder Folien ist auf ausreichende Überlappung zu achten. Die Abdeckung der Ränder ist sicherzustellen. An den Kanten und Stößen sind die Abdeckungen gegen Durchzug zu sichern.

Die gebräuchlichste Maßnahme gegen vorzeitiges Austrocknen ist ein sorgfältiges *Abdecken mit dampfdichter Kunststoff-Folie*, die aus Gründen der Reißfestigkeit und Wiederbenutzbarkeit mindestens 0,2 mm dick sein sollte. Die Folien müssen auf den noch mattfeuchten Beton überlappend aufgelegt und an ihren Stößen befestigt werden (z. B. durch Beschweren mit Brettern).

Beim Umschließen von Betonoberflächen mit *wasserspeichernden Materialien*, wie Jutegewebe, Strohmatten, Sandschichten, ist die Abdeckung ständig feucht zu halten und ggf. zusätzlich durch eine Folie vor schneller Feuchtigkeitsabgabe zu schützen.

Gegen ein vorzeitiges Austrocknen ist auch das *Besprühen der Betonoberflächen mit Wasser* eine gebräuchliche Maßnahme. Die Betonoberfläche muss ständig feucht bleiben, da wechselweises Anfeuchten und Austrocknen zu Spannungen und damit zu Rissen im jungen Beton führen können. Ein direktes Bespritzen des Betons mit starkem Wasserstrahl ist zu vermeiden, da infolge der schroffen Abkühlung der Betonoberfläche, insbesondere bei massigen Bauteilen, ebenfalls Risse entstehen können. Als Hilfsmittel sind perforierte Schläuche oder Düsen, wie sie zum Rasensprengen benutzt werden, geeignet.

Vor schädigenden *Temperatureinflüssen* kann Beton bei starker Sonneneinstrahlung und hoher Temperatur durch Sonnenschutz bzw. durch feuchte Abdeckungen geschützt werden.

Wird der Beton durch Aufrechterhalten eines sichtbaren Wasserfilms auf der Oberfläche nachbehandelt, ist damit erst zu beginnen, wenn die Betonoberfläche ausreichend fest ist. Der Wasserfilm ist dann über die gesamte Nachbehandlungsdauer aufrecht zu erhalten.

Zur Nachbehandlung können horizontale Flächen auch unter Wasser gesetzt werden.

Falls Nachbehandlungsmittel angewendet werden, sind diese gleichmäßig aufzubringen. Die Anwendung ist erforderlichenfalls zu wiederholen.

Flüssige Nachbehandlungsmittel (Curingmittel) können auf die Betonoberflächen mit handelsüblichen Geräten (z. B. Obstbaumspritzen mit geeigneter Sprühdüse) aufgesprüht werden. Das Aufbringen muss vollflächig und so früh wie möglich erfolgen: bei frei liegenden Betonflächen sobald der sichtbare Wasserfilm verschwindet (Betonoberfläche mattheucht), bei geschalteten Flächen sofort nach dem Entschalen. Wichtig ist, dass stets ein geschlossener Sprühfilm entsteht und die in der Arbeitsanweisung geforderte Menge je Quadratmeter aufgebracht wird.

Sollen die Oberflächen beschichtet werden, ist ein speziell darauf abgestimmtes Nachbehandlungsmittel zu verwenden.

Wachshaltige Nachbehandlungsmittel vermindern bei Anstrichen, Beschichtungen und Belägen die Haftung auf der Betonfläche. In diesen Fällen sind deshalb Nachbehandlungsmittel oder Reste davon zu entfernen, wenn nicht

Tafel 4.1: Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen nach DIN EN 13670/DIN 1045-3 [2] für alle Expositionsklassen außer X0, XC1 und XM

Oberflächentemperatur ϑ [°C] ²⁾	Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen			
	Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm2} / f_{cm28}^{1)}$			
	schnell $r \geq 0,5$	mittel $r \geq 0,30$	langsam $r \geq 0,15$	sehr langsam ³⁾ $r < 0,15$
$\vartheta \geq 25$	1	2	2	3
$25 > \vartheta \geq 15$	1	2	4	5
$15 > \vartheta \geq 10$	2	4	7	10
$10 > \vartheta \geq 5$	3	6	10	15

¹⁾ Zwischenwerte dürfen eingeschaltet werden.

²⁾ Anstelle der Oberflächentemperatur des Betons darf die morgendliche Lufttemperatur angesetzt werden.

³⁾ Betone mit sehr langsamer Festigkeitsentwicklung sind in Deutschland nicht üblich.

nachgewiesen wird, dass nachteilige Auswirkungen auf nachfolgende Arbeiten ausgeschlossen sind.

Eine zu lange Nachbehandlung ist besser als eine zu kurze.

Grundsätzlich gilt: So früh wie möglich und so lange wie nötig nachbehandeln. Durch die rechtzeitige Nachbehandlung wird auch dem Frühschwinden und damit den frühzeitigen Rissbildungen entgegengewirkt. Die Mindestdauer der Nachbehandlung richtet sich nach der Expositionsklasse, der Oberflächentemperatur und der Festigkeitsentwicklung des Betons. Diese wiederum hängt von der Betonzusammensetzung ab. Die Festigkeitsentwicklung (Wert r) kann für Beton nach Eigenschaften dem Lieferchein des Transportbetons entnommen werden. Die Art und Dauer der Nachbehandlung ist für alle Überwachungsklassen im Bautagebuch zu dokumentieren.

Bei allen Expositionsklassen – außer X0, XC1 und XM – muss der Beton bis zum Erreichen von 50 % seiner charakteristischen Festigkeit im oberflächennahen Bereich nachbehandelt werden. Ohne Bestimmung dieser Festigkeit ist diese Forderung praxistauglich in Tafel 4.1 in eine Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen umgesetzt (in Abhängigkeit von Festigkeitsentwicklung und Oberflächentemperatur des Betons).

Anstelle der Werte nach Tafel 4.1 kann alternativ für die Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1 die Ermittlung der Nachbehandlungsdauer über die Messung der *Frischbetontemperatur* ϑ_{fb} zum Einbaupunkt und über die Festigkeitsentwicklung des Betons r erfolgen. Die hiernach erforderliche Nachbehandlungsdauer ist in Tafel 4.2 festgelegt. Bei Verwendung von Stahlschalung oder an ungeschalteten Oberflächen darf Tafel 4.2 nur angewendet werden, wenn ein übermäßiges Auskühlen des Betons im An-

Tafel 4.2: Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen nach DIN EN 13670/DIN 1045-3 [2] für die Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1 – Alternativverfahren in Abhängigkeit der Frischbetontemperatur

Frischbetontemperatur ϑ_{fb} zum Einbaupunkt [°C]	Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm2} / f_{cm28}^{1)}$		
	schnell $r \geq 0,5$	mittel $r \geq 0,30$	langsam $r \geq 0,15$
$\vartheta \geq 15$	1	2	4
$15 > \vartheta \geq 10$	2	4	7
$10 > \vartheta \geq 5$	4	8	14

¹⁾ Zwischenwerte dürfen ermittelt werden.

Tafel 4.3: Arbeitsanweisung/Ausführungskontrolle zur Nachbehandlung von Beton

Zement-Merkblatt Betontechnik B 8 4.2014					Nachbehandlung von Beton Arbeitsanweisung/Ausführungskontrolle		Blatt Nr. ...
Niederlassung/Werk ¹⁾					Bauwerk		
Baustelle ¹⁾					Bauteil		
					Bauleiter		
Anweisung ²⁾							Kontrolle ²⁾
<input type="checkbox"/> Nachbehandlungsdauer: Tage Lufttemperatur: °C, Frischbetontemperatur: °C beim Betoneinbau							<input type="checkbox"/>
über 25°	10° bis 25°	5° bis 10°	-3° bis 5°	unter -3°	Lufttemperatur °C		Art der Nachbehandlung
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
					Benetzen (ohne Unterbrechung feuchthalten)		<input type="checkbox"/>
					Abdecken		<input type="checkbox"/>
					Nachbehandlungsfilm aufsprühen		<input type="checkbox"/>
					Abdecken bzw. Nachbehandlungsfilm aufsprühen <i>und</i> benetzen		<input type="checkbox"/>
					Abdecken bzw. Nachbehandlungsfilm aufsprühen <i>und</i> Wärmedämmung		<input type="checkbox"/>
					Abdecken <i>und</i> Wärmedämmung		<input type="checkbox"/>
					Beheizen ¹⁾ /Arbeitsplatz umschließen ¹⁾		<input type="checkbox"/>
über 25°			unter 5°	unter -3°	Lufttemperatur °C		Zusätzliche Maßnahmen
<input type="checkbox"/>							
					Stahlschalung vor Sonneneinstrahlung schützen ¹⁾ / Holzschalung nässen ¹⁾		<input type="checkbox"/>
					Beton mindestens sieben Tage lang vor Niederschlägen schützen		<input type="checkbox"/>
					Ausschalfristen um Anzahl der Tage unter 5 °C verlängern		<input type="checkbox"/>
					Betontemperatur wenigstens drei Tage lang auf 10 °C halten		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Schutzmaßnahmen gegen starke Niederschläge am frischen und jungen Betonvorhalten							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Benetzen: Rasensprenger ¹⁾ /perforierter Schlauch ¹⁾ /.....							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Abdeckmaterial: Kunststoffolie ¹⁾ /Wärmedämmplatten ¹⁾ /Dämmmatten ¹⁾							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Zwischenraum zwischen Folie und abgedeckter Flächecm Zugluft im Zwischenraum (Windkanal) durch Abdichten vermeiden							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Kontrollieren, ob die Nachbehandlungsmittel den technischen Lieferbedingungen entsprechen (Typenmerkblatt)							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Aufsprühen auf mattfuchte Fläche ¹⁾ /direkt nach dem Ausschalen ¹⁾							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Kontrollieren, ob überall ein geschlossener Film entstanden ist							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bei zusätzlichen Fragen bitte Rücksprache mit							<input type="checkbox"/>
¹⁾ Nichtzutreffendes streichen ²⁾ Zutreffendes ankreuzen (Ort) (Tag) (Unterschrift)							

fangsstadium der Erhärtung durch entsprechende Schutzmaßnahmen ausgeschlossen wird.

Ferner gilt für die Ermittlung der Mindestdauer der Nachbehandlung:

- ✗ für Beton mit einer Verarbeitbarkeitszeit > 5 h: angemessene Verlängerung (mind. um die Verzögerungszeit),
- ✗ bei Temperatur der Betonoberfläche < 5 °C: Verlängerung um die Zeitspanne mit Temperaturen unter 5 °C,
- ✗ für die Expositionsklassen XM: bis zum Erreichen von 70 % seiner charakteristischen Festigkeit; ohne Festigkeitsnachweis sind die Werte nach Tafel 4.1 zu verdoppeln.
- ✗ für die Expositionsklassen X0 und XC1: 12 Stunden.

Für Wasserbauten, Betonflächen bei Beaufschlagung mit wassergefährdenden Stoffen und landwirtschaftliche Behälter gelten verlängerte Nachbehandlungszeiten.

In Tafel 4.3 ist eine baustellengerechte Checkliste zur Arbeitsanweisung und Ausführungskontrolle der Nachbehandlung abgedruckt. Sie kann ausgefüllt als Dokumentation dienen und z. B. dem Bautagebuch beigelegt werden.

Ausführliche Informationen zur Nachbehandlung enthält [4.2]

LITERATUR

[4.1] DIN EN 13670: Ausführung von Tragwerken aus Beton; in Verbindung mit DIN 1045-3: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670

[4.2] Zement-Merkblatt B 8: Nachbehandlung und Schutz des jungen Betons, InformationsZentrum Beton, Düsseldorf

Link zum Video

„Richtig betonieren 6 – Nachbehandlung des Betons“

<https://youtu.be/XeofWoRJUaM>



BILDUNG VON RISSEN IM BETON



ES GIBT DREI TYPEN VON RISSEN IN JUNGEM BETON.

Risse durch Fröhschwinden (plastisches Schwinden).

URSACHE:

PLASTISCHES SCHWINDEN WIRD DURCH ZU SCHNELLES AUSTROCKNEN DER BETON-OBERFLÄCHE VERURSACHT.



VERMEIDUNG:



VERMEIDUNG DURCH ANWENDUNG EINES NACHBEHANDLUNGSMITTELS, AUFRECHTERHALTEN EINES WASSERFILMS ODER ABDECKEN DURCH MATTEN UND FOLIEN.

Risse durch Temperatureinwirkung.

URSACHE:

TEMPERATURBEDINGTE RISSE KÖNNEN AUFTRETEN, WENN DIE BETONTEMPERATUR HÖHER IST ALS DIE UMGEBUNGSTEMPERATUR.



VERMEIDUNG:



BEGRENZUNG DER TEMPERATURDIFFERENZ DURCH SCHÜTZEN DES BETONS.

BELASSEN DES BETONS IN DER SCHALLUNG SO LANGE WIE MÖGLICH.

SCHNEIDEN VON FUGEN SO FRÜHZEITIG WIE MÖGLICH.

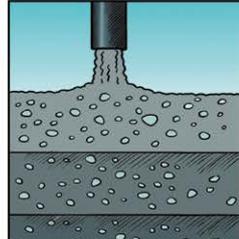
Risse durch Setzen des Betons.

URSACHE:

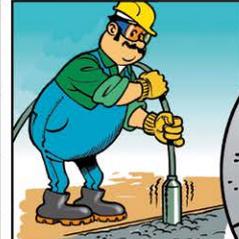
TRITT AUF DURCH SETZEN DES BETONS IN HOHEN WÄNDEN ODER SÄULEN. IN EINER DECKE WIRD DANN DAS VERLEGEMUSTER DER BEWEHRUNG SICHTBAR.



VERMEIDUNG:



BEIM BETONIEREN HOHER BAUTEILE IST LAGENWEISE EINZUBAUEN.



VERDICHTEN DES BETONS INNERHALB EINER STUNDE NACH DEM EINBAU.

DIE VERDICHUNG SOLLTE GLEICHMÄßIG ERFOLGEN.

WENN SETZRISSE AUFTRETEN, DIE OBERFLÄCHE GLÄTTEN, UM SO DIE RISSE ZU SCHLIEßEN. DIE NACHBEHANDLUNG FORTSETZEN.



Risse im Beton sind nicht gänzlich zu vermeiden. Sie müssen und können aber in Menge und Breite begrenzt werden.

BILDUNG VON RISSEN IM BETON

Es gibt drei Typen von Rissen im jungen Beton.

Risse gehören zum Grundprinzip des Stahlbetons, in vielen Fällen sind sie jedoch unerwünscht und können zu späteren Schäden führen. Sie sind deshalb möglichst in Menge und Breite zu begrenzen. Gänzlich zu vermeiden sind sie nicht.

Risse entstehen, wenn der junge Beton die auftretenden Zugkräfte noch nicht aufnehmen kann. Die drei Hauptgründe sind:

- ✗ **Frühschwinden (plastisches Schwinden)**
- ✗ **Temperatureinwirkungen**
- ✗ **Setzen des Frischbetons im Bauteil.**

LITERATUR

[5.1] Zement-Merkblatt B 18: Risse im Beton. InformationsZentrum Beton, Düsseldorf

Link zum Video

„Richtig betonieren 7 – Bildung von Rissen“

<https://youtu.be/V-vq6XFNai0>



Risse durch Frühschwinden (Plastisches Schwinden)

Ursache: Frühschwinden (Plastisches Schwinden) wird durch zu schnelles Austrocknen der Betonoberfläche verursacht.

Vermeidung: Vermeidung durch rechtzeitige Anwendung eines Nachbehandlungsmittels, Aufrechterhalten eines Wasserfilms oder Abdecken durch Matten und Folien.

Frühschwindrisse entstehen meist an frei liegenden Betonflächen durch zu schnelles Austrocknen (siehe auch Abschnitt 4). Das Austrocknen bewirkt Spannungen, die zum Zusammenziehen des Betons und zu den Rissen führen. Die Risse sind meist ungerichtet und von geringer Tiefe. Vereinzelt können sie aber auch sehr tief in den Beton reichen. Sie lassen sich vermeiden, wenn die vorgeschriebene Nachbehandlung durch das Baustellenpersonal frühzeitig erfolgt.

Risse durch äußere Temperatureinwirkung

Ursache: Temperaturbedingte Risse können auftreten, wenn die Betontemperatur höher ist als die Umgebungstemperatur.

Vermeidung: Begrenzung der Temperaturdifferenzen durch Schützen des Betons. Belassen des Betons in der Schaltung so lange wie möglich.

Schneiden von Fugen so frühzeitig wie möglich.

Risse aus Temperatureinwirkungen entstehen überwiegend aus Temperaturveränderungen infolge von Wärmedehnung bzw. -kontraktion beim Abbindeprozess des Betons (Abfließen der Hydratationswärme). Risse infolge dieser Wärmedehnung bzw. -kontraktion können auch im erhärteten Beton dann auftreten, wenn z. B. die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht zu groß werden. Um zu große Temperaturunterschiede zu vermeiden, ist der junge Beton ggf. durch Wärmedämmung zu schützen. Bei unbewehrten Betonbauteilen (z. B. Industriebodenplatte) wird die ungewollte, wilde Rissbildung durch Schneiden von Fugen verhindert.

Risse durch Setzen des Betons

Ursache: Tritt auf durch Setzen des Betons in hohen Wänden oder Säulen. Auf der Oberseite von Wänden (Wandkrone) oder bei dickeren Betonplatten wird dann manchmal das Verlegemuster der Bewehrung sichtbar.

Vermeidung: Beim Betonieren oder Bauteile ist lagenweise einzubauen.

Verdichten des Betons innerhalb einer Stunde nach dem Einbau.

Bei manchen Bauteilen kann sich der frische Beton nach Einbau und Verdichten noch etwas setzen. Dabei entstehen auf der Oberseite, genau über der Bewehrung, Risse. Diese Rissbildung kann umgekehrt auch durch intensives Herumlaufen auf der Bewehrung entstehen. Um diese Rissbildung zu verhindern, kann der frische, noch verformbare Beton nach dem Ende des Betonierens noch einmal verdichtet werden (Nachverdichten).

BETONIEREN BEI KÜHLER WITTERUNG

WETTERBEDINGUNGEN	DURCHSCHNITTLICHE TEMPERATUR ÜBER 24 STUNDEN	EMPFEHLUNG
1	Luft: +5°C oder höher Beton: +5°C oder höher	KEIN PROBLEM: WEITER ARBEITEN.
2	Luft: Zwischen +5°C und -3°C Beton: mindestens +5°C	ABDECKEN UND SCHUTZ DES BETONS MIT WÄRMEDÄMMUNG.
3	Luft: Zwischen +5°C und -3°C Beton: mindestens +5°C	VERWENDUNG VON "WARMBETON"; ODER BETON MIT REDUZIERTEM W/Z-WERT VERWENDEN.
4	Luft: Zwischen +5°C und -3°C Beton: mindestens +5°C	SICHERSTELLEN, DASS DIE FRISCHBETONTEMPERATUR NICHT UNTER +5°C LIEGT. BETON MIT SCHNELLER FESTIGKEITSENTWICKLUNG VERWENDEN.
5	Luft: Weniger als -3°C Beton: 3 Tage mindestens +10°C	VERWENDUNG VON DAMPF ODER WÄRMER LUFT ODER INFRAROTHEIZUNG ZUR SICHERSTELLUNG EINER BETONTEMPERATUR VON MINDESTENS +10° C.
6	Luft: Weniger als -3°C Beton: 3 Tage mindestens +10°C	EINBAU DES BETONS NUR UNTER VOLLSTÄNDIGER EINHAULUNG DER ARBEITSFLÄCHE, SO DASS DIE WÄRME NICHT ENTWEICHEN KANN UND DIE BETONTEMPERATUR ÜBER +10°C GEHALTEN WIRD.
<p>VERFOLGEN DES WETTERBERICHTES - TELEFON, FAX, INTERNET. REDUZIERTE STUNDENLEISTUNG BEI "WARMBETON" BEACHTEN.</p>		<p>KEIN EINBAU DES BETONS AUF OBERFLÄCHEN MIT EINER TEMPERATUR KLEINER ALS -1°C. EIS UND SCHNEE ENTFERNEN. </p>

MABNAHMEN 2, 3, 4: ANWENDUNG EINZELN ODER KOMBINIERT.

MABNAHMEN 5, 6: ANWENDUNG EINZELN ODER KOMBINIERT.

! Verfolgen des Wetterberichtes – Telefon, Fax, Internet. Reduzierte Stundenleistung bei „Warmbeton“ beachten.

BETONIEREN BEI KÜHLER WITTERUNG

Die Grundlage zur Einschätzung, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, bildet zunächst die Durchschnittstemperatur der letzten 24 Stunden. Eine gute Möglichkeit die Wetterverhältnisse vor und nach dem Betonieren einzuschätzen, bieten entsprechende Wetter-Apps auf den Smartphones oder Informationen von Dienstleistern, die sich auf diese Fragestellungen spezialisiert haben. Frühzeitiges Kommunizieren mit dem Transportbetonhersteller sichert eine entsprechende Qualität des zu verarbeitenden Baustoffs.

In der Regel stellt das Betonieren bei Lufttemperaturen über +5 °C kein Problem dar. Sowohl Transportbetonhersteller als auch Verarbeiter können zielgerecht den Frischbeton mit den erforderlichen Eigenschaften Mischen, Liefern und Einbauen.

Arbeiten bei kühler Witterung oder gegebenenfalls auch bei Frost stellen besondere Anforderungen an die Baustelle. Tafel 6.1 zeigt die formalen Grundsätze, welche Frischbetontemperaturen bei Anlieferung eingehalten werden müssen.

Aufgaben bei der Betonbestellung

Grundsätzlich ist es bei kalter Witterung erforderlich, einen vorgewärmten Beton zu bestellen. Dies muss dem Transportbetonhersteller rechtzeitig angekündigt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei langen Transportzeiten der vorgewärmte Beton Wärme verliert, im Allgemeinen je 15 Minuten etwa 0,5 bis 3 Kelvin. Daher könnte bei ungünstigen Verhältnissen bei einer Anfahrtszeit von 60 Minuten der Frischbeton bis zu 12 K Temperatur verlieren. Ist z. B. eine Frischbetontemperatur

Tafel 6.1: Mindesttemperaturen des Frischbetons in Abhängigkeit der Lufttemperatur nach DIN 1045-3: 2012-03

Lufttemperaturen	Eigenschaften des Frischbetons und notwendige Maßnahmen	Frischbetontemperatur
+ 5 °C bis -3 °C		≥ 5 °C
+ 5 °C bis -3 °C	Festigkeitsentwicklung langsam, Zementgehalt ≤ 240 kg/m ³	≥ 10 °C
unter -3 °C	3 Tage Betontemperatur auf 10 °C halten	≥ 10 °C

von 10 °C erforderlich (siehe Tafel 6.1, z. B. bei langsam erhärtendem Beton), muss dieser im Werk bei einer Fahrzeit von 60 min mindestens eine Frischbetontemperatur von 22 °C aufweisen. Dies ist nicht immer erreichbar. Dann

sollte im Winter in Absprache mit dem Tragwerksplaner ein Beton mit einer schnelleren Festigkeitsentwicklung bestellt werden. Die Festigkeitsentwicklung wird auf dem Lieferschein angegeben.

Checkliste vor dem Betonieren

Vor allem bei Frost sind folgende Punkte zu beachten:

- **Es darf kein Schnee in der Schalung liegen oder auf der zu betonierenden Oberfläche.**
- **Wird gegen den Baugrund betoniert, darf dieser nicht gefroren sein, da sonst Setzungen zu erwarten sind und Erhärtungsstörungen durch Wärmeentzug auftreten können.**
- **Die Schalung und die Bewehrung müssen frei von Eis sein.**
- **Bevorzugt sind Holz- oder Kunststoffschalungen zu verwenden, da diese den Frischbeton länger vor Wärmeverlusten schützen können als vergleichbare Stahlschalungen, sofern diese nicht gedämmt werden.**
- **Bei starkem Wind und niedrigen Temperaturen erfolgt ein höherer Wärmeverlust, die Erhärtungsgeschwindigkeit wird dadurch reduziert, im Einzelfall kann die Erhärtung des Frischbetons zum Stillstand kommen.**
- **Es ist zu beachten, dass kleinformatige Bauteile auch mit vorgewärmtem Beton schnell Wärme abgeben, wenn die Kontaktflächen entsprechend kühl und groß sind.**
- **Ggf. ist ein Beton mit einer schnelleren Festigkeitsentwicklung zu bestellen.**



Bei starkem Frost sind auch Pumpleitungen ausreichend zu dämmen.

Wird ohne zusätzliche Einhausung betoniert, ist sicherzustellen, dass bei Lufttemperaturen unter -3 °C , die Betontemperatur mindestens für den Zeitraum von 3 Tagen 10 °C beträgt. Ist geplant, große flächige Bauteile wie Industrieböden zu betonieren, müssen zusätzliche Maßnahmen vor der Betonage vorbereitet werden. Die Lagerkapazität für vorgewärmte Ausgangsstoffe in einem Transportbetonwerk ist begrenzt. Übersteigt die Abnahmemenge diese Kapazität, muss aus mehreren Werken unter Sicherstellung der erforderlichen Frischbetontemperatur und vertretbarer Anfahrwege geliefert werden.

Nachbehandlungsdauer

Für Tage mit einer Lufttemperatur unter 5 °C ist die Nachbehandlung gemäß Tafel 6.2 um die Tage zu verlängern, an denen diese Temperatur unterschritten ist.

Ausschalfrieten

Im Grundsatz ist die Festigkeitsentwicklung des Betons bei niedrigen Außentemperaturen deutlich langsamer. Dies muss vor allem berücksichtigt werden, wenn z. B. Decken oder lastabtragende Bauteile, die auch im Einzelfall nur sich selbst tragen müssen, ausgeschalt werden. Tafel 6.3 gibt grobe Anhaltswerte für Ausschalfrieten für einen Lastausnutzungsfaktor von 0,70. Zu beachten ist allerdings, dass auch hier Tage mit einer Lufttemperatur unter

Aufgaben bei der Anlieferung des Betons

Zunächst ist der Lieferschein dahingehend zu prüfen, ob alle notwendigen Angaben enthalten sind. Dazu zählt neben der Festigkeitsentwicklung auch die Frischbetontemperatur, wenn diese vertraglich vereinbart ist. Im Weiteren ist die Frischbetontemperatur mit einem Frischbetonthermometer zu messen. Dies ist besonders von Bedeutung, wenn die Lufttemperatur in einem Bereich zwischen $+5\text{ °C}$ und -3 °C oder darunter liegt. Der Beton muss dann mindestens eine Frischbetontemperatur von $+5\text{ °C}$ aufweisen, sofern es sich nicht um einen Beton mit langsamer Festigkeitsentwicklung handelt. Das Infrarotthermometer eignet sich für die Messung nur bedingt, weil es nur die Oberflächentemperatur misst.

Aufgaben beim Betoneinbau

Bei niedrigen Temperaturen verläuft das Ansteifen des Frischbetons im Vergleich zu höheren Temperaturen, z. B. 20 °C , langsamer. Diese Verzögerung hat unmittelbaren Einfluss auf den Frischbetondruck auf lotrechte Schalungen. Dies muss bei niedrigen Temperaturen bei der Auswahl der Schalung entsprechend berücksichtigt werden.

Wird der Beton nicht über eine Betonpumpe gefördert, ist mitunter mit deutlich höheren Wärmeverlusten beim Fördern des Frischbetons zu rechnen. Dies ist bei der Bestellung

des Transportbetons unter Angabe der erforderlichen Frischbetontemperatur einzukalkulieren.

Aufgaben nach dem Einbau des Betons (Nachbehandlung)

Wichtig ist die ausreichend lange Nachbehandlung des Betons (siehe Abschnitt 4). Bei niedrigen Temperaturen dient sie auch dem Ziel, den Wärmeverlust des Betons zu reduzieren. Daher eignen sich vor allem Abdeckungen, die sowohl einen Verdunstungsschutz als auch eine Wärmedämmung bieten.

Flüssige Nachbehandlungsmittel, sogenannte Curingmittel, sollten nur in besonderen Fällen zur Anwendung kommen, z. B. beim Betonieren unter einer Einhausung mit Warmluftgebläsen. Auf keinen Fall dürfen Abgase in den eingehausten Bereich gelangen. Dies könnte zu einer frühzeitigen Carbonatisierung der Betonrandzone führen und die Dauerhaftigkeit erheblich nachteilig beeinflussen.

Tafel 6.2: Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen nach DIN EN 13670 /DIN 1043-3 für alle Expositionsklassen außer X0, XC1 und XM für Temperaturen zwischen 5 °C und 10 °C .

Oberflächentemperatur ϑ in $^{\circ}\text{C}$	Mindestdauer Nachbehandlung [Tage]		
	Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm2}/f_{cm28}$		
	schnell	mittel	langsam
	$r \geq 0,50$	$r \geq 0,30$	$r \geq 0,15$
$10 > \vartheta \geq 5$	3	6	10

Tafel 6.3: Anhaltswerte für Ausschallfristen für Lastausnutzungsfaktor $\alpha_0 = 0,70$ [6.2]

Bauteil- temperatur ϑ in °C	Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm2} / f_{cm28}$		
	schnell	mittel	langsam
$\vartheta \geq 15$	$r \geq 0,50$ 4	$r \geq 0,30$ 8	$r \geq 0,15$ 14
$15 > \vartheta \geq 5$	6	12	20

5 °C nicht angesetzt werden dürfen. Anstatt der Lufttemperatur darf auch das Tagesmittel aus der höchsten und niedrigsten Lufttemperatur in Bauwerksnähe angesetzt werden.

Schalungen stellen einen Schutz dar und bieten optimale Bedingungen zur Nachbehandlung. Dem Beton in der Schalung ausreichend Zeit zum Erhärten zu geben, vermeidet ungewollte Rissbildung und trägt zur gewünschten Dauerhaftigkeit des Festbetons bei.

Eine häufige Frage beim Betonieren im Winter ist, ob ein Beton durch Frostschutzmittel „gefrierbeständig“ wird. Hierzu ist anzumerken, dass der Beton vom Hersteller in der Regel so zusammengesetzt und geliefert wird, dass er unter Beachtung der Vorschriften und der eingangs formulierten Randbedingungen ohne Zusätze erhärtet. Eine bauseitige Zugabe von Frostschutzmitteln ist nicht nur unnötig, sondern gefährdet die

Erhärtung und führt zum Verlust des Gewährleistungsanspruchs gegenüber dem Lieferanten. Ein schadloses einmaliges Durchfrieren von jungem Beton ist möglich, wenn der Beton beim Einbau und für mindestens drei weitere Tage eine Temperatur von +10 °C nicht unterschreitet (siehe Tafel 6.1) oder in einer Erhärtungsprüfung eine Druckfestigkeit von mindestens 5 N/mm² nachgewiesen wurde.

LITERATUR

[6.1] Zement-Merkblatt B 21: Betonieren bei extremen Temperaturen. InformationsZentrum Beton, Düsseldorf

[6.2] DBV-Merkblatt Betonschalung und Ausschallfristen. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein, Berlin

Link zum Video

„Richtig betonieren 2 – Betonieren bei kühler Witterung“

<https://youtu.be/R10Q-yNd-Oc>



BETONIEREN BEI HOHEN TEMPERATUREN



AUSREICHENDES VORNÄSSEN DER OBERFLÄCHE, WENN BETON AUF EINER SAUGENDEN OBERFLÄCHE EINGEBAUT WERDEN SOLL.



ENTFERNEN VON STAUB AUF BEREITS VORHANDENEN BETON-OBERFLÄCHEN UND FUGEN.

AUCH WEITERHIN DIE PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG TRAGEN.



AN DAS SCHNELLERE ANSTEIFEN DES FRISCHBETONS BEI HÖHEREN TEMPERATUREN DENKEN.



RECHTZEITIG MIT MÖGLICHERWEISE ANSCHLIEßENDER OBERFLÄCHENBEHANDLUNG BEGINNEN.



GEBEBENENFALLS MAßNAHMEN ZUR KÜHLUNG DES BETONS VORNEHMEN.



SCHÜTZEN DES BETONS VOR DIREKTER SONNENEINSTRALUNG UND STARKEM WIND.



BESONDERES AUGENMERK AUF DIE NACHBEHANDLUNG LEGEN.



Gegebenenfalls sind Maßnahmen zur Kühlung des Betons vorzunehmen. Der Beton ist vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen.

BETONIEREN BEI HOHEN TEMPERATUREN

Das Betonieren bei hohen Lufttemperaturen führt in der Regel auch zu hohen Frischbetontemperaturen. Daraus folgt, dass die Hydratationstemperatur – die bei der Reaktion zwischen Wasser und Zement entsteht – ebenfalls höher ist. Übersteigen die daraus resultierenden Temperaturen im jungen Beton bestimmte Grenzen oder ist der Anstieg der Temperatur zu schnell, kann dies Schäden am Bauteil verursachen.

Ausreichendes Vornässen der Oberfläche, wenn Beton auf einer saugenden Oberfläche eingebaut werden soll.

Bei hohen Temperaturen stark ausgetrocknete, saugende Oberflächen, auf die betoniert werden soll, müssen vor dem Betonieren ausreichend vorge-nässt werden, damit sie dem Frischbeton nicht zu viel Wasser entziehen können.

Auch weiterhin die persönliche Schutzausrüstung tragen.

Zum Schutz der Gesundheit vor schädlichen UV-Strahlen und zum Schutz vor Verletzungen ist auch unter sommerlichen Bedingungen die persönliche Schutzausrüstung zu tragen.

An das schnellere Ansteifen des Frischbetons bei höheren Temperaturen denken.

Der Betoneinbau sollte zügig ablaufen, da der Beton bei höheren Temperaturen schneller ansteift. Daher ist für ausreichend Personal bei Einbau, Verdichtung, Nachbehandlung zu sorgen.

Hohe Frischbetontemperaturen wirken sich auch auf die Reaktion der Zusatzmittel aus. So ist beispielsweise der Luftporengehalt bei LP-Beton bei gleicher Dosierung des Luftporenbildners bei niedrigerer Frischbetontemperatur

größer. Dies ist im Transportbetonwerk unter Beachtung des Förderwegs zu berücksichtigen.

So schnell wie möglich mit der Nachbehandlung beginnen. Der Beton muss noch mattfeucht sein. Für die Oberflächenbearbeitung (z.B. Besenstrich) den richtigen Zeitpunkt nicht verpassen.

Da der Beton bei höheren Temperaturen schneller ansteift, ist darauf zu achten, die anschließende Oberflächenbearbeitung rechtzeitig zu beginnen.

Gegebenenfalls Maßnahmen zur Kühlung des Betons vornehmen.

Sowohl die Frischbetontemperatur als auch die Bauteiltemperatur werden im technischen Regelwerk begrenzt, um mögliche Schäden am Bauteil zu vermeiden. Bei Betonen im Hochbau ist im Allgemeinen die maximale Frischbetontemperatur auf 30° C begrenzt [DIN 1045-3]. Die Temperatur in Bauteilen mit nasser bzw. wechselnd nasser Umgebung darf 70 °C nicht überschreiten [DIN EN 13670]. Bei hohen Außentemperaturen sollte daher die Frischbetontemperatur unabhängig von der Überwachungskategorie auf der Baustelle gemessen werden. Die oben genannten Grenzwerte haben sich für normaldicke Betonbauteile mit moderaten Mindestdruckfestigkeiten und einer normgemäßen Nachbehandlung langjährig bewährt.

Droht eine Überschreitung der vorgenannten Temperaturen, sind Kühlmaßnahmen erforder-

lich. Es ist empfehlenswert, sich hierzu im Vorfeld mit dem Betonlieferanten abzustimmen.

Unter folgenden beispielhaften Randbedingungen kann es bei hohen Außentemperaturen sinnvoll oder erforderlich sein, die Frischbetontemperatur auf Werte unter 30 °C zu begrenzen:

- ✗ hohe Druckfestigkeitsklasse des Betons
- ✗ geringer Wasserzementwert
- ✗ wasserundurchlässige Bauwerke („Weiße Wannen“)
- ✗ massige Bauteile mit kleinster Bauteilabmessung $\geq 0,80$ m
- ✗ bei Bauwerken, die stark gezwängt sind
- ✗ Betone mit schneller Festigkeitsentwicklung

Bei einer Kombination von zwei oder mehreren der vorgenannten Randbedingungen, erhöht sich das Risiko von unplanmäßigen Rissen erheblich.

Die Begrenzung der Frischbetontemperatur auf Werte unter den Grenzwerten im technischen Regelwerke ist zunächst Planeraufgabe. Die Einstellung der gewünschten Frischbetontemperatur an der Übergabestelle ist Aufgabe des Betonherstellers. Dazu kann die folgende Gleichung als Faustformel zur Einstellung der Frischbetontemperatur genutzt werden:

Faustformel zur Einstellung der Frischbetontemperatur im Mischwerk

$$\text{Frischbetontemperatur} = 0,1 T_{\text{Zement}} + 0,7 T_{\text{Gesteinskörnung}} + 0,2 T_{\text{Wasser}}$$

Tafel 7.1: Erstarrungsende von Beton

Frischbetontemperatur	Erstarrungsende		
	schnell	mittel	langsam
30 °C	2 h	2½ h	3½ h
20 °C	3½ h	4 h	5½ h

Die Frischbetontemperatur kann durch Herabsetzung der Temperatur der Ausgangsstoffe gesenkt werden. Dabei ist es verfahrenstechnisch am sinnvollsten, zunächst die Temperatur des Zugabewassers zu reduzieren. Durch das Abkühlen des Zugabewassers um 10 °C fällt die Frischbetontemperatur um etwa 2 °C. Effektiver, aber auch wesentlich aufwendiger, ist das Kühlen der Gesteinskörnung. Sinnvoll ist auch eine Verschattung der Gesteinskörnungslager.

Zur Abschätzung der Temperaturentwicklung helfen die Informationen im Zement-Merkblatt B 11 „Massige Bauteile aus Beton“ [7.1] weiter.

Wann die höchste Hydratationstemperatur erreicht wird, kann überschlägig für Bauteildicken bis 3,50 m errechnet werden mit folgender Gleichung:

Faustformel zur Abschätzung des Eintrittes der maximalen Bauteiltemperatur

Maximale Bauteiltemperatur in Tagen
 $\approx 0,8 \times \text{Bauteildicke in m} + 1 \text{ Tag}$

Der Bauausführende sollte stets zunächst den Bauvertrag darauf prüfen, ob es neben den normativen Vorgaben für die Frischbetontemperatur noch weitere Vorgaben gibt. Dies ist nicht selten der Fall, wenn der Tragwerksplaner – um Bewehrung (= Kosten) einzusparen – die Betonzugfestigkeit in seiner Berechnung begrenzt und einen besonderen Zement (z. B. LH-Zement) oder eine bestimmte Festigkeitsentwicklung im Bauvertrag vorgibt. Ist dies der Fall, sind die Angaben mit dem Transportbetonhersteller zu besprechen. Dies sollte im Vorfeld der Bestellung erfolgen.

In der Praxis enthält der Bauvertrag keine zusätzlichen Vorgaben für die Frischbetontemperatur. Dann muss die Bauleitung entscheiden, ob betontechnologische Zusatzmaßnahmen erforderlich sind oder es wirtschaftlicher ist, die Betonage in einen kühleren Zeitraum zu verschieben.

Nachfolgend werden praktische Maßnahmen aufgezählt, die – einzeln oder kombiniert – zur Lösung des Temperaturproblems führen können, falls zwingend zu einem bestimmten Termin betoniert werden muss:

- ✗ **kurze Transportwege zwischen Transportbetonwerk und Baustelle**
- ✗ **Einsatz eines Verzögerers (VZ)**
- ✗ **bei normaldicken Bauteilen den Betonierbeginn auf den späten Nachmittag legen**
- ✗ **bei massigen Bauteilen Betonierbeginn so wählen, dass der Bauteilkern zum kältesten Zeitpunkt – also in der Nacht – betoniert wird**
- ✗ **Fahrmischer und Pumpenleitungen kühlen**
- ✗ **Fahrmischer nicht in der Sonne auf den Einbau warten lassen**
- ✗ **Frischbeton kühlen mit Stickstoff oder Scherbeneis**

Die vorgenannten Methoden führen zu einem Mehraufwand und damit zwangsläufig zu höheren Kosten.

Schützen des Betons vor direkter Sonneneinstrahlung und starkem Wind.

Direkte Sonneneinstrahlung und starker Wind in Kombination mit hohen Temperaturen sorgt für eine hohe Verdunstungsrate von Wasser in der

Betonrandzone. Dieses Wasser fehlt dann dem Beton zum Abbinden. Solche Flächen neigen zu Rissen und zum Absanden. Vor schädigenden *Temperatureinflüssen* kann Beton bei starker Sonneneinstrahlung und hoher Temperatur durch Sonnenschutz bzw. durch feuchte Abdeckungen geschützt werden.

Besonderes Augenmerk auf die Nachbehandlung legen.

Mit der nachfolgenden Aufzählung werden praktische Maßnahmen vorgeschlagen, die – einzeln oder kombiniert – zur Lösung des Temperaturproblems führen können, falls zwingend zum Termin betoniert werden muss:

- ✗ **zügige Nachbehandlung zur Vermeidung von Rissen aus Fröhschwinden**
- ✗ **wärmedämmende Nachbehandlung zur allmählichen Abkühlung möglichst ab der maximalen Bauteiltemperatur (siehe Faustformel)**
- ✗ **Verwenden heller Nachbehandlungsfolien**

Die Nachbehandlung mit kaltem Wasser aus einem Hydranten sollte bei hohen Außentemperaturen nicht gewählt werden.

Auch beim Ausschalen und Beenden der der Nachbehandlung sollte die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Bauteil gering gehalten werden, um Risse zu vermeiden.

LITERATUR

[7.1] Zement-Merkblatt B 11: Massige Bauteile aus Beton. InformationsZentrum Beton, Düsseldorf

[7.2] Zement-Merkblatt B 21: Betonieren bei extremen Temperaturen. InformationsZentrum Beton, Düsseldorf

Link zum Video

„Richtig betonieren 5 – Betonieren bei hohen Temperaturen“
<https://youtu.be/qoQ--f-K0tE>



HINWEIS

Die genannten Zement-Merkblätter des InformationsZentrum Beton können unter www.beton.org/service/zement-merkblätter heruntergeladen werden.



IMPRESSUM

Herausgeber:

InformationsZentrum Beton GmbH
Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf
www.beton.org

In Zusammenarbeit mit

Bundesverband der Deutschen
Transportbetonindustrie e.V.
Kochstraße 6-7
10969 Berlin
www.transportbeton.org
www.beton.org

und

ERMCO
Europäischer Transportbetonverband
Boulevard du Souverain, 68
1170 Brüssel
Belgien
www.ermco.eu

Mitarbeit an den Texten:

Dr. Aßbrock, Olaf
Biscopping, Michaela
Bose, Thomas
Dr. Bosold, Diethelm
Brunner, Markus
Grünewald, Alexander
Oesterheld, René
Pickhardt, Roland
Dr. Richter, Thomas
Weisner, André
Dr. Wöhnl, Ulrich

Zeichnungen:

Richard van de Pol

Gesamtproduktion:

Verlag Bau+Technik GmbH, Erkrath

Stand: Januar 2021

InformationsZentrum Beton GmbH

Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf
Telefon 0211 28048-1
izb@beton.org
www.beton.org

In Zusammenarbeit mit

Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V.

Kochstraße 6-7
10969 Berlin
Telefon 030 2 59 22 92-0
info@transportbeton.org
www.transportbeton.org

Kontakt und Beratung vor Ort

Büro Berlin

Kochstraße 6-7
10969 Berlin
Telefon 030 3087778-0
berlin@beton.org

Büro Hannover

Hannoversche Straße 21
31319 Sehnde
Telefon 05132 502099-0
hannover@beton.org

Büro Beckum

Neustraße 1
59269 Beckum
Telefon 02521 8730-0
beckum@beton.org

Büro Ostfildern

Gerhard-Koch-Straße 2 + 4
73760 Ostfildern
Telefon 0711 32732-200
ostfildern@beton.org