



Druckfestigkeit allein garantiert keine Dauerhaftigkeit. Der Beton muss auch dicht sein; denn je geringer die Porosität, also 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 zu erwartenden Eigenschaften auch tatsächlich erreicht. DIN 1045-3 [3] fordert in Abschnitt 8.7 die Nachbehandlung des Betons während der ersten Tage der Hydratation, „um das Frühschwinden gering zu halten, eine ausreichende Festigkeit und Dauerhaftigkeit der Betonrandzone sicherzustellen, das Gefrieren zu verhindern und schädliche Erschütterungen, Stoß oder Beschädigung zu vermeiden“. In diesem Merkblatt werden die erforderlichen Maßnahmen beschrieben.

1 Zweck der Nachbehandlung

Bis zur ausreichenden Erhärtung ist der frisch verarbeitete und junge Beton zu schützen gegen:

- vorzeitiges Austrocknen
- extreme Temperaturen und schroffe Temperaturänderungen
- mechanische Beanspruchungen
- chemische Angriffe
- schädliche Erschütterungen.

Zusätzlich muss der noch frische Beton nicht geschalter, freiliegenden Oberflächen gegen Regen geschützt werden. Schutz gegen vorzeitiges Austrocknen ist erforderlich, damit u.a. die Festigkeitsentwicklung des Betons nicht infolge Wasserentzugs gestört und seine Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigt wird. Die Maßnahmen gegen Wasserentzug dürfen nur bei regnerischem, feuchtem Wetter mit mindestens 85 % relativer Luftfeuchte bei gleichzeitigen Windgeschwindigkeiten bis zu 10 km/h (d. h. Wind im Gesicht spürbar, bewegt zeitweilig Blätter an Bäumen) unterbleiben. Die Folgen zu frühen Wasserverlustes sind: geringere Festigkeit an der Oberfläche, Neigung zum Absanden, größere Wasserdurchlässigkeit, verminderte Witterungsbeständigkeit, geringere Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe, Entstehung von Frühschwindrissen, erhöhte Gefahr späterer Schwindrissbildung.

Trocknet Beton aus, so verringert sich sein Volumen, er schwindet. Wird diese Verformung behindert, so entstehen Gefüge- und Eigenspannungen, die zu Rissen führen können. Schwindrisse beginnen an der Oberfläche des Betons und können sich nach innen fortsetzen. Es muss dafür gesorgt werden, dass der Beton nur langsam austrocknet. Das Austrocknen sollte erst dann beginnen, wenn der Beton eine Zugfestigkeit erreicht hat, bei der er die Schwindspannungen ohne Rissbildung aufnehmen kann.

So genannte Frühschwindrisse, auch heute noch fälschlich „Schrumpfrisse“ genannt, entstehen in erster Linie infolge einer Volumenverminderung des grünen und jun-

gen Betons an freiliegender Oberfläche durch scharfes Austrocknen. Dieser Vorgang wird als „plastisches Schwinden“ bezeichnet. Solange der Beton noch verformbar ist, können auftretende Frühschwindrisse durch Nachverdichten (z.B. mit einem Oberflächenrüttler) wieder geschlossen werden.

Beton trocknet um so schneller aus, je geringer die relative Luftfeuchte und je größer die Windgeschwindigkeiten sind.

Eine bedeutende Rolle spielt 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. Darauf ist besonders zu achten bei nicht geschalteten Oberflächen von flächenhaften Bauteilen, wie z.B. Decken oder Estrichflächen.

Eine Vorstellung von der Größenordnung der Wasserverdunstung je m^2 Betonoberfläche bei unterschiedlichen Bedingungen vermittelt das folgende Diagramm (Bild 1). Das Diagramm zeigt beispielsweise, dass bei Luft- und Betontemperaturen von 20 °C, relativer Luftfeuchte von 50 % und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 20 km/h aus 1 m^2 Betonoberfläche 0,6 kg Wasser je Stunde verdunsten kann. Bei sommerlichen Temperaturen, immer wenn die Betontemperatur höher ist als die der Luft und mit größer werdenden Temperaturdifferenzen erhöht sich die Verdunstungsrate.

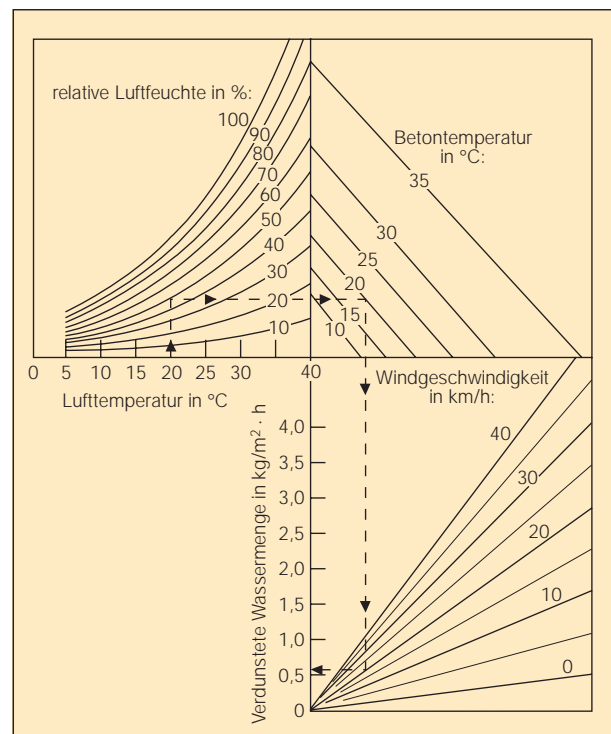


Bild 1: Das Austrocknungsverhalten von Beton in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und Temperatureinfluss [4]

Ein Beispiel verdeutlicht die Bedeutung dieser Zahlen für die Praxis: Ein Frischbeton mit 180 l Wasser je m³ enthält je m² in einer 1 cm dicken Schicht 1,8 kg Wasser. Die Verdunstungsrate von 0,6 kg/m² und Stunde bedeutet rechnerisch, dass dem Beton innerhalb von drei Stunden bereits eine Wassermenge entzogen wird, die dem Gesamtwassergehalt einer 1 cm dicken Betonschicht entspricht. Die negativen Auswirkungen auf Festigkeit, Verschleißwiderstand und Dichtigkeit der oberflächennahen Bereiche sind dann erheblich.

Extreme Temperatureinflüsse, (z.B. starke Sonneneinstrahlung), scharfe Temperaturänderung (z.B. Abkühlung durch Schlagregen) und die durch die Hydratation des Zementes entstehende Wärme führen zu Temperaturunterschieden zwischen Oberfläche und Kern eines Bauteils. Die Folge sind Spannungen, da sich die unterschiedlichen temperaturbedingten Verformungen im Bauteil gegenseitig behindern. Diese Spannungen führen bei jungem Beton, dessen Zugfestigkeit noch gering ist, häufig zu Rissen. Gegen diese äußeren Einwirkungen ist deshalb ein Witterungsschutz erforderlich. Die Temperaturunterschiede zwischen Betonoberfläche und Kern infolge der abfließenden Hydratationswärme sind zu begrenzen (i. d. R. < 20 K, bei sehr dicken Bauteilen u. U. < 12 K).

Die Temperatur übt auch einen Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung des Betons aus: diese wird bei niedrigen Temperaturen verzögert und verläuft bei Temperaturen unter +5 °C sehr langsam. Um Schäden durch Gefrieren von frischem oder jungem Beton zu vermeiden, ist der Beton wärmedämmend abzudecken, nötigenfalls ist Wärme zuzuführen. Hat ein gegen Fremdwasser (Regen, Schnee) geschützter Beton eine Druckfestigkeit von 5 N/mm² erreicht oder seine Temperatur vorher wenigstens 3 Tage 10 °C nicht unterschritten, dann ist er „gefrierbeständig“, d.h. widerstandsfähig gegen einmaliges Durchfrieren. Ein mehrmaliges Gefrieren und Auftauen übersteht ein junger Beton jedoch meist nicht ohne Schäden.

Mechanische Beanspruchungen wie heftige Schwingungen und starke Erschütterungen während des Erstarrens und in der ersten Zeit des Erhärtens (z.B. bei Arbeiten an benachbarten Bauteilen oder an Verkehrsbauwerken unter rollendem Verkehr) können ein Betonbauwerk schädigen, wenn hierdurch das Betongefüge oder der Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl gelockert wird. Der Arbeitsverlauf sollte so geplant werden, dass bis etwa 36 Stunden nach Einbringen bzw. Erhärtungsbeginn des Betons keine derartigen Beanspruchungen auftreten. Beschädigungen durch nachfolgende Arbeiten sind durch möglichst spätes Ausschalen und nach dem Ausschalen durch Kantenschutz und Schutzabdeckungen zu verhindern. Bleibende Schäden am frischen oder jungen Beton durch Regentropfen und abfließendes Regenwasser können durch eine vollflächige Folien- oder Mattenabdeckung bzw. durch Schutz vor Überströmen und schadlohe Ableitung von der Betonoberfläche verhindert werden.

Chemische Angriffe durch Stoffe in Grundwasser, Boden oder Luft können bei zu früher Einwirkung selbst gut zusammengesetzten und verarbeiteten Beton schädigen oder sogar für den vorgesehenen Verwendungszweck unbrauchbar machen.

2 Arten der Nachbehandlung

Schutzmaßnahmen gegen vorzeitiges Austrocknen sind:

- Belassen der Schalung
- Abdecken mit Folien
- Aufbringen wasserspeichernder Abdeckungen
- Aufbringen flüssiger Nachbehandlungsmittel
- kontinuierliches Besprühen mit Wasser, Unterwasserlagerung und
- eine Kombination dieser Verfahren.

Gegen vorzeitiges *Austrocknen* ist sorgfältiges Abdecken mit dicken (≥ 0,2 mm) dampfdichten *Kunststoff-Folien* die gebräuchlichste Maßnahme. Die Folien müssen auf den noch feuchten Beton überlappend aufgelegt und an ihren Stößen befestigt werden (z.B. durch Beschweren mit Brettern, durch Klebebänder).

Die Verwendung von Kunststoff-Folien ist besonders für Sichtbeton zu empfehlen. Auf diese Weise können unerwünschte Ausblühungen – verursacht durch nasse Nachbehandlung oder Niederschlagwasser – vermieden werden. Die Folie darf in diesem Fall nicht direkt anliegen, damit kein Kondenswasser an die Betonoberfläche gelangt, das seinerseits zu Ausblühungen führen kann. Zugluft zwischen Betonoberfläche und Abdeckung ist zu verhindern.

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

Nachbehandlungsfilme (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 freiliegenden Betonflächen sobald der sichtbare Wasserfilm verschwindet (Betonoberfläche mattfeucht), bei geschalteten Flächen sofort nach dem Entschalen. Wichtig ist, dass stets ein geschlossener Sprühfilm entsteht und die in der Arbeitsanwei-

Tafel 1: Nachbehandlungsverfahren für Beton in Abhängigkeit von der Oberflächen- / Lufttemperatur

Zeile	Art	Maßnahmen	Oberflächen-/Lufttemperatur in °C					
			unter -3	-3 bis +5	+5 bis +10	+10 bis +15	+15 bis +25	über 25
1	mit wasserdampfdichter Folie abdecken/ Film aus Curingmittel aufsprühen + Wärmedämmung	+ mit Wasser benetzen Abdecken oder Film aufsprühen <i>und</i> benetzen zusätzlich: <input type="checkbox"/> Holzschalung nassen <input type="checkbox"/> Stahlschalung vor Sonne schützen <input type="checkbox"/> freie Betonoberflächen in der Schalung abdecken und benetzen					(X) ²⁾	X
2		Abdecken oder Film aufsprühen ggf. zusätzliche Maßnahmen wie Zeile 1			X	X	X	
3		Abdecken oder Film aufsprühen <i>und</i> Wärmedämmung auflegen Verwendung wärmedämmender Schalung (z.B. Holz) sinnvoll, Stahlschalung mit Dämmmatte abhängen		X ¹⁾				
4		Abdecken <i>und</i> Wärmedämmung auflegen ¹⁾ ; Umschließung des Arbeitsplatzes (Zelt), ggf. Beheizung (z.B. Heizstrahler) zusätzlich: Betontemperatur mindestens 3 Tage ≥ +10 °C halten	X					
5	mit Wasser benetzen/fluten	ständig sichtbarer Wasserfilm auf der Betonoberfläche vorhalten			(X)	X	X	

¹⁾ nicht benetzen; Tau-/Regenwasser fernhalten

²⁾ bei ungünstigen Bedingungen (z.B. starker Wind) und Expositionsklassen XM, XD, XF, XS sinnvoll

sung geforderte Menge in g/m^2 aufgebracht wird, z.B. 150 g/m^2 . Bei senkrechten Flächen kann ein mehrfacher Auftrag erforderlich sein. Diesen Mitteln ist meist ein heller Farbstoff beige-mischt, sodass leicht zu erkennen ist, ob und wie gleichmäßig eine Fläche besprüht wurde. Bei hohen Temperaturen, starker Sonneneinstrahlung, starker Windeinwirkung oder extrem niedrigen Temperaturen sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

Wachshaltige Nachbehandlungsfilme vermindern bei Anstrichen, Beschichtungen und Belägen die Haftung auf der Betonfläche. In diesen Fällen sind deshalb Nachbehandlungsfilme oder Reste davon zu entfernen, wenn nicht nachgewiesen wird, dass nachteilige Auswirkungen auf nachfolgende Arbeiten ausgeschlossen sind. Es stehen auch Kombinationsprodukte zur Verfügung, die auf der Basis von PVC-Mischpolymerisaten, Epoxidharzlösungen mit feuchtigkeitsunempfindlichen Lösungsmitteln u.ä. gleichzeitig die Nachbehandlung und einen Betonschutz bzw. die farbliche Gestaltung bieten.

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 Düsen oder perforierte Schläuche, wie sie zum Rasensprengen benutzt werden, geeignet. Zur Nachbehandlung können horizontale Flächen auch unter Wasser gesetzt werden.

Bei Frost ist eine feuchte Nachbehandlung nicht erlaubt. Da bei niedrigen Außentemperaturen unter $0 \text{ }^\circ\text{C}$ eine Folie zwar den Wasserverlust, nicht aber die Auskühlung an der Betonoberfläche verhindert, ist als zusätzliche Schutzmaßnahme in der Regel eine *Wärmedämmung* vorzusehen.

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

Die vorgenannten Arten der Nachbehandlung sind in Abhängigkeit von der Außentemperatur in der Tafel 1 zusammengefasst.

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

Chemisch angreifendes Grundwasser soll möglichst lange vom jungen Beton ferngehalten werden, z.B. durch eine Wasserhaltung (s. Abschn.3).

3 Dauer der Nachbehandlung

Die Mindestdauer der Nachbehandlung richtet sich nach der Expositions-klasse gemäß DIN 1045-2 [2], der Oberflächentemperatur und der Festigkeitsentwicklung des Betons. Festigkeitsentwicklung und Nachbehandlungsdauer müssen so gewählt werden, dass auch die oberflächennahen Zonen die Festigkeit und Dichtheit des Betongefüges erreichen, die für die Dauerhaftigkeit der Betonoberfläche und damit auch für die Betondeckung und den Schutz der Bewehrung notwendig sind. Die Festigkeitsentwicklung wiederum hängt eng mit der Betonzusammensetzung, der Frischbetontemperatur, der Lufttemperatur und den Bauteilabmessungen zusammen. Sie wird definiert durch das Verhältnis der Mittelwerte der Druckfestigkeit nach 2 und nach 28 Tagen, ermittelt an im Labor gesondert hergestellten Probekörpern [5] bei der Erstprüfung oder an einem vergleichbaren Beton (gleicher Zement, gleicher Wasserzementwert).

Tafel 2: Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen nach DIN 1045-3 [3] für alle Expositions-klassen außer XO, XC1 und XM

	Oberflächen-temperatur ϑ in $^\circ\text{C}^{2)}$	Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen			
		Festigkeitsentwicklung des Betons			
		$r = f_{\text{cm2}}/f_{\text{cm28}}^{1)}$			
		$r \geq 0,50$	$r \geq 0,30$	$r \geq 0,15$	$r < 0,15$
1	$\vartheta \geq 25$	1	2	2	3
2	$25 > \vartheta \geq 15$	1	2	4	5
3	$15 > \vartheta \geq 10$	2	4	7	10
4	$10 > \vartheta \geq 5$	3	6	10	15

¹⁾Zwischenwerte dürfen eingeschaltet werden

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

Bei Umweltbedingungen, die den Expositions-klassen außer XO, XC1 und XM entsprechen, muss der Beton bis zum Erreichen von 50 % seiner charakteristischen Festigkeit im oberflächennahen Bereich nachbehandelt werden. Diese Forderung ist in Tafel 2 in Abhängigkeit von Festigkeitsentwicklung und Oberflächentemperatur des Betons in eine Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen umgesetzt. Wenn die Mindestdauer der Tafel 2 nicht eingehalten wird, ist ein spezieller Nachweis der tatsächlichen Festigkeitsentwicklung im Bauteil (z.B. nach der Saul'schen Reifeformel) erforderlich.

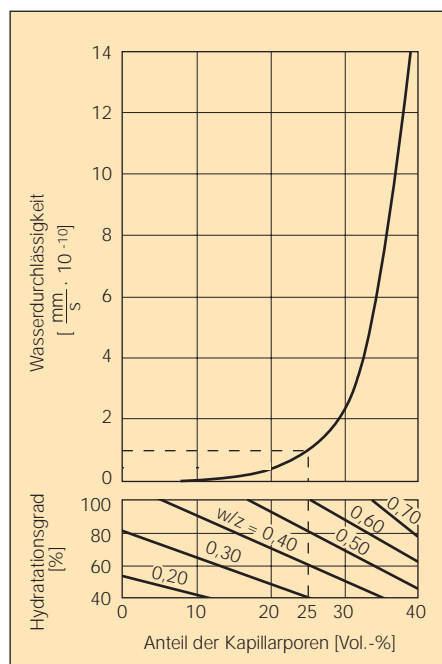


Bild 2: Wasser-durchlässigkeit von Zementstein in Abhängigkeit von der Kapillarporosität und vom Wasserzementwert (nach T.C. Powers) aus [4]

Weiter gilt folgende Mindestdauer der Nachbehandlung:

- für die Expositions-klassen XO und XC1 (unbewehrte Bauteile, Innenbauteile): 0,5 Tage
- für Beton mit einer Verarbeitbarkeitszeit ≥ 5 h: angemessene Verlängerung (mind. um die Verzögerungszeit)
- bei Temperatur der Betonoberfläche $< 5 \text{ }^\circ\text{C}$: Verlängerung um die Zeitspanne mit Temperaturen unter $5 \text{ }^\circ\text{C}$
- für die Expositions-klassen XM (Verschleiß): bis zur Erreichung von 70 % seiner charakteristischen Festigkeit; ohne speziellen Nachweis sind die Werte nach Tafel 2 zu verdoppeln.

Es wird empfohlen, bei allen Bauteilen, an deren Oberflächen besondere Anforderungen gestellt werden, z. B. hoher Wider-

stand gegen Frost und Tausalzeinwirkung, gegen chemischen Angriff oder gegen das Eindringen von Flüssigkeiten und Gasen (z. B. Betonbauwerke im Wasserbau und in Abwasseranlagen, Auffangtassen, Behälter), die in Tafel 2 angegebene Nachbehandlungsdauer zu verdoppeln.

Wie wesentlich die Nachbehandlung für die Dichtigkeit des Betons bzw. Zementsteins ist, lässt sich aus Bild 2 ablesen. In dem Diagramm ist die Wasserdurchlässigkeit von Zementstein in Abhängigkeit vom Anteil der Kapillarporen im Zementstein aufgetragen und darunter der Zusammenhang zwischen Anteil der Kapillarporen, Wasserzementwert und Hydratationsgrad (der mit dem erreichten „Festigkeitsgrad“ einhergeht) dargestellt. Daraus ist einerseits abzulesen, dass bei vollständiger Hydratation Beton mit einem Wasserzementwert von 0,70 weit aus wasserdurchlässiger (und damit auch diffusionsoffener) ist, als mit einem von 0,50. Es geht weiter auch daraus hervor, dass Betone mit w/z-Werten von 0,40, 0,50 und 0,60 etwa die gleiche Durchlässigkeit aufweisen, wenn der Zement nur zu 60 %, 80 % bzw. 100 % hydratisiert ist. Da die Hydratation bzw. Festigkeitsentwicklung und Zunahme der Dichtigkeit der Betonoberflä-

che aber direkt von der Dauer des ausreichenden Wasserangebots an den Zement abhängt, wird deutlich, wie ausschlaggebend die Nachbehandlung für die Qualität und Dauerhaftigkeit von Betonoberflächen ist.

Literatur

- [1] DIN EN 206-1: Beton-Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- [2] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton-Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- [3] DIN 1045-3: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 3: Bauausführung
- [4] Zement Taschenbuch. 50. Ausgabe 2002, Verein Deutscher Zementwerke (Hrsg.), Verlag Bau+Technik, Düsseldorf
- [5] DIN 1048-5: Prüfverfahren für Beton, Teil 5: Gesondert hergestellte Probekörper

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.

Nr. B 8 · BB Wiesbaden · Prof. Dr.-Ing. Edwin Bayer · 11.02/20

Beton

Es kommt drauf an, was man draus macht.