



BETONVERARBEITUNG

Betonieren bei allen Wettern

Frischer und junger Beton reagiert empfindlich sowohl auf tiefe als auch auf hohe Temperaturen. Das Betonieren bei extremen Witterungsbedingungen erfordert deshalb besondere Maßnahmen – sowohl bei der Bestellung des Betons als auch bei dessen Verarbeitung und der Nachbehandlung. Nicht zuletzt sollten derartige Baustellen gut vorbereitet und geplant werden.

Beton ist äußeren Angriffen, beispielsweise durch Umwelteinflüsse und inneren Angriffen, durch Bestandteile im Beton, ausgesetzt – diesen muss er entgegenwirken können. Dass er das kann, beeinflusst zum einen der Betonhersteller, der die Eigenschaften des Betons im Werk so einstellen muss, dass die Bedingungen für ein dauerhaftes Bauwerk erfüllt werden. Der Hersteller garantiert dann für die Eigenschaften des Betons, die bei ihm bestellt wurden. Doch auch der Verwender auf der Baustelle beeinflusst die späteren Eigenschaften des Betonbauteils. Er ist dafür verantwortlich, den Beton richtig einzubauen und ausreichend nachzubehandeln. Bei dieser Betrachtungsweise wird von einem „Beton nach Eigenschaften“ gesprochen. Daran zeigt sich bereits die Bedeutung der Schnittstelle zwischen Betonhersteller und Verwender deutlich. Der Verwender muss seine Anforderungen an den Beton aus technischer Sicht beim Betonhersteller genau beschreiben können.

Um die gewünschten Eigenschaften dann zu erreichen, sind bestimmte Zusammensetzungen erforderlich, die beispielsweise in den Expositionsklassen hinterlegt sind. Beton hat sich von einem 3-Stoff-System zum 6-Stoff-System entwickelt. Zement, Wasser und Gesteinskörnung (Kies, Sand) können heute ergänzt werden durch Zusatzmittel, wie Fließmittel und Verzögerer, werden in kleinen Mengen dem Beton zugegeben und können die Frisch- und Festbetoneigenschaften beeinflussen. Auch Zusatzstoffe verändern die Frisch- und Festbetoneigenschaften, werden im Unterschied zu den Zusatzmitteln aber in großen Mengen zugegeben. Dazu gehören unter anderem Flugasche, Kalksteinmehl und Farbpigmente.

Viele Eigenschaften des Betons können über den Wasser-Zement-Wert (W/Z) abgeleitet werden. Der W/Z-Wert ist das Verhältnis zwischen Wasser und Zement in einem definierten Volumen. Zwischen Wasser und Zement findet eine chemische Reaktion statt:

die Hydratation. Aus dem Zementleim, dem Gemisch von Wasser und Zement, entsteht Zementstein, der die Gesteinskörnung einbettet. Dabei wird Wärme freigesetzt.

Bei einem W/Z-Wert von 0,4 geht man von einer vollständigen Hydratation aus. Bei niedrigen W/Z-Werten kann der Zement nicht vollständig hydratisieren und bei W/Z-Werten größer als 0,4 ist mehr Wasser enthalten, als für die Hydratation benötigt wird. Das überschüssige Wasser hinterlässt nach der Verdunstung Kapillarporen – der Beton ist porös. Folgende Eigenschaften werden durch steigende Porosität beeinflusst:

- Zunahme des Schwindens,
- Abnahme der Festigkeit,
- geringerer Frostwiderstand,
- hohe Wasserdurchlässigkeit,
- stärkeres Eindringen von aggressiven Medien sowie
- geringerer Korrosionsschutz der Bewehrung.

Besonders das Schwinden ist auch bei nicht sachgerechter Verarbeitung und



- 1 Soll bei winterlichen Bedingungen betoniert werden, müssen geeignete Vorkehrungen getroffen werden.
- 2 Frischer Beton darf vor dem Erhärten keinesfalls gefrieren und muss entsprechend geschützt werden.
- 3 Die Temperatur des Frischbetons spielt eine wesentliche Rolle – sie darf 30 °C nicht überschreiten.

Nachbehandlung als Erstes in Form von Schwindrissen festzustellen. Unkontrollierte Wasserzugabe zum Beton auf der Baustelle führt zur Erhöhung des W/Z-Wertes und ebenfalls zu den Veränderungen in den Eigenschaften des Betons.

Während des Einbaus durchläuft der Beton drei Phasen: Aus dem Frischbeton wird junger Beton und schließlich Festbeton (siehe Abbildung 1, Seite 40). Mit dem Frischbeton werden die wesentlichen Voraussetzungen für die Eigenschaften des Festbetons geschaffen, die in der Phase des jungen Betons dann entwickelt werden. Treten dabei Störungen auf, wirkt sich dies auf die Festbetoneigenschaften aus. Deshalb müssen vor allem in dieser Phase Schutzmaßnahmen durchgeführt werden.

Für den Landschaftsgärtner spielen alle drei Phasen eine wichtige Rolle. Das beginnt bei der richtigen Betonbestellung. Der Beton muss nicht nach dem W/Z-Wert bestellt werden, sondern über Eigenschaften, in denen auch der W/Z-Wert hinterlegt ist. Die wichtigsten Eigenschaften sind in der folgenden Übersicht mit einem Beispiel angegeben:

- Expositionsklasse XC0,
- Druckfestigkeitsklasse C12/15,
- Konsistenzklasse C1 und
- Größtkorn 8 mm.

Die Expositionsklasse X0 steht für Bauteile ohne Bewehrung und ohne Frostangriff. C12/15 weist eine charakteristische Druckfestigkeit (früher: Nennfestigkeit) am Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm von 15 N/mm² nach 28 Tagen auf. Die „12 N/mm²“ stehen für eine Prüfung am Zylinder, der die Abmessungen von 300 mm in der Höhe und einen Durchmesser von 150 mm aufweist. Die Konsistenzklasse C1 drückt aus, dass der Beton eine steife Konsistenz aufweist und mit dem Verdichtungsmaß gemessen wurde. Zusätzliche Informationen können für den Betonhersteller noch bei kleinen Bauvorhaben sein:

- die Festigkeitsentwicklung des Betons (schnell, mittel, langsam) sowie
- das verzögerte Ansteifen, beispielsweise eine Verzögerungszeit von 3 Stunden.

Diese bisherigen Ausführungen beziehen sich auf Transportbeton, der in einem Werk hergestellt wird und auf die Baustelle trans-

portiert wird. Der Beton kann in Fahrmittern oder mit Fahrzeugen ohne Mischer oder Rührgerät auf die Baustelle transportiert werden. Letzteres ist meist anzutreffen, wenn der Beton vom Verwender im Betonwerk abgeholt wird. Bei Fahrzeugen ohne Rührwerk hat 45 Minuten nach Wasserzugabe zum Zement der Beton auf der Baustelle entladen und verarbeitet zu sein. Die Angabe des Zeitpunkts der Wasserzugabe ist auf dem Lieferschein ausgedruckt und kann nachvollzogen werden. Der Einfluss der Witterungsverhältnisse ist bei diesem Transport besonders zu beachten.

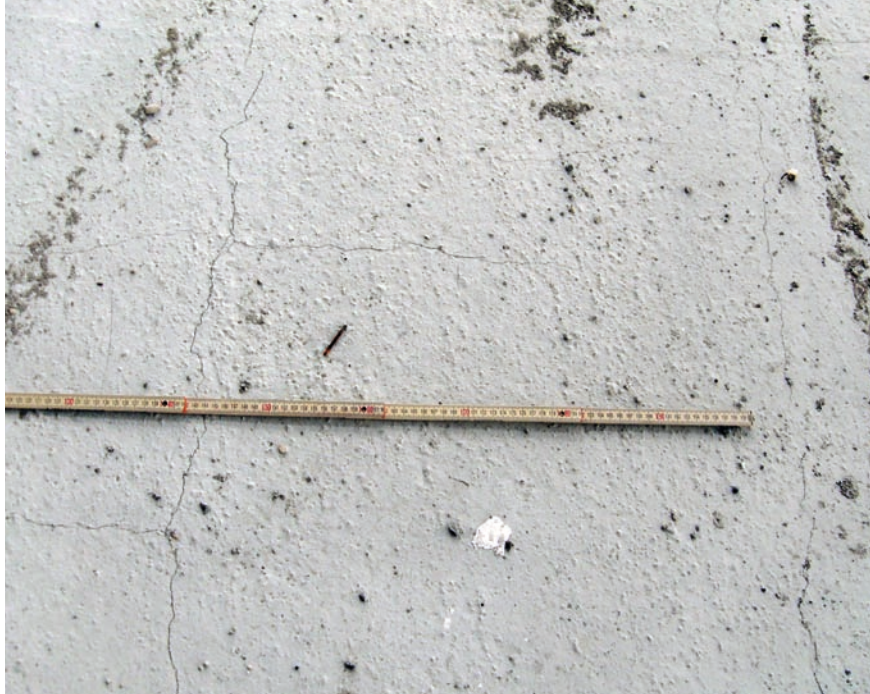
Auf der Baustelle kommen häufig auch Fertigprodukte zum Einsatz, in den Regelwerken werden sie als Trockenbeton bezeichnet. Auch bei diesen Produkten ist von einem „Beton nach Eigenschaften“ auszugehen. Sie werden auf der Baustelle mit Wasser aufgemischt. Wichtig ist dabei, die Festlegungen hinsichtlich der Wasserzugabe auf den Verpackungen oder technischen Merkblättern der Hersteller einzuhalten. Nur so können die angegebenen Eigenschaften am Bauteil erreicht werden.

**free
worker**

www.freeworker.de

Fachhandel für Baumpflege
und Seilklettertechnik





Solche Schwindrisse können entstehen, wenn der Beton nur unzureichend nachbehandelt wird und dadurch zu schnell austrocknet.

Abbildung 1: Phasen des Betons

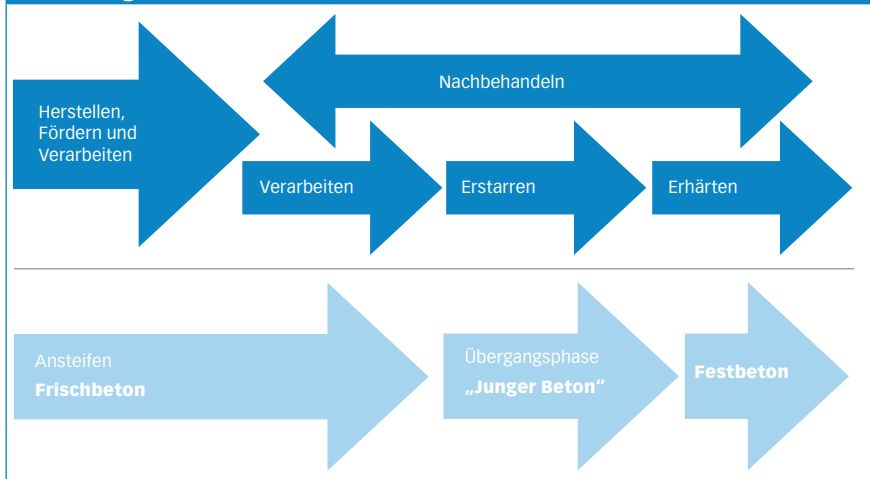


Tabelle 1: Frischbetontemperatur in Abhängigkeit von der Lufttemperatur nach DIN 1045-3

Lufttemperatur	Frischbetontemperatur
Mindestens –3°C	+5°C allgemein +10°C bei Zementgehalt < 240 kg/m³, bei LH-Zement
Unter –3°C	+10°C mindestens
Über +30°C	≤ 30°C

Tabelle 2: Minstdauer der Nachbehandlung von Beton*

Nr.	1	2	3	4
Frischbetontemperatur ϑ_{fb} zum Zeitpunkt des Betoneinbaus		Minstdauer der Nachbehandlung in Tagen		
		Festigkeitsentwicklung des Beton		
		$r = f_{cm2} / f_{cm28}$		
		schnell	mittel	langsam
1	$\vartheta_{fb} \geq 15^\circ\text{C}$	1	2	4
2	$10^\circ\text{C} \leq \vartheta_{fb} < 15^\circ\text{C}$	2	4	7
3	$5^\circ\text{C} \leq \vartheta_{fb} < 10^\circ\text{C}$	4	8	14

* bei den Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1 in Abhängigkeit der Frischbetontemperatur nach DIN1045-3

Gebaut wird sommers wie winters, also bei Temperaturen im Minusbereich oder wesentlich über 30 °C. In vielen Bauablaufplanungen wird jedoch vergessen, dass dadurch teilweise Unterbrechungen erforderlich sind. Die Tabelle 1 zeigt die Abhängigkeiten von Frischbeton- und Lufttemperaturen, die beim Betoneinbau zu beachten sind. Damit werden Grenzen angegeben, in denen eine Verarbeitung möglich ist. Die Betonhersteller halten Sommer- und Winterrezepturen vor, um auf die unterschiedlichen Temperaturen reagieren zu können – dabei variiert die Zusammensetzung des Betons. Diese Betone müssen nicht bestellt werden, sondern werden seitens des Herstellers je nach den Witterungsbedingungen eingesetzt.

Bei großen Bauvorhaben oder speziellen Bauten wie Wasserbau- oder Tunnelbauwerken sind für den Frischbeton Temperaturbegrenzungen vorgeschrieben und in Regelwerken hinterlegt. Bei kleinen Bauvorhaben spielt dies kaum eine Rolle. Um ein qualitätsgerechtes Bauwerk abzuliefern, sollten dennoch bestimmte Randbedingungen im Bauablauf berücksichtigt werden.

WENN DIE TEMPERATUREN ÜBER 30 °C KLETTERN

Die Frischbetontemperatur sollte 30 °C nicht überschreiten. Sollte dies dennoch der Fall sein, müssen auf der Baustelle sofort geeignete Maßnahmen eingeleitet werden. Der Beton muss dann noch intensiver gegen das Austrocknen geschützt werden, als bei Temperaturen unterhalb von 30 °C. Um einer Schädigung der freien Betonflächen frischer und junger Bauteile durch Rissbildung und Feuchtigkeitsverlust zu begegnen, muss der Beton sofort nach der Herstellung beziehungsweise nach dem Ausschalen in geeigneter Form nachbehandelt werden. Der kritische Zeitbereich für die Entstehung von Fröhschwindrissen beginnt oft bereits eine Stunde nach dem Herstellen und kann weitere 4 bis 16 Stunden andauern.

Der Betonhersteller hat die Möglichkeit, die Frischbetontemperatur unterhalb von 30 °C zu senken. Der Verwender muss dann jedoch die erhöhten Kosten des Betonkühlens tragen. Diese Festlegungen sind in den AGBs der Betonhersteller zu finden. Die Senkung der Frischbetontemperatur erfolgt unter anderem durch Kühlung der Gesteinskörnung, durch die Verwendung von Scherbeneis als Zugabewasser oder durch Küh-

lung des Frischbetons mit flüssigem Stickstoff. Diese Methoden werden vor allem dann angewendet, wenn große Betonagen erforderlich sind und keine Verschiebung der Betonarbeiten möglich ist, um die Temperaturgrenzen einzuhalten.

Seitens der Bauausführenden kann dies beispielsweise umgangen werden, indem der Betoneinbau auf die späten Abendstunden verlegt wird – die Abkühlung der Lufttemperatur kommt dann dem beginnenden Erhärtungsprozess des Betons zugute. Darüber hinaus sollten lange Transportwege vermieden werden. Um den Beton auch nach 45 beziehungsweise 90 Minuten noch verarbeiten zu können, besteht die Möglichkeit, einen verzögerten Beton zu verwenden. Eine dreistündige Verzögerung ist ohne erweiterte Erstprüfung am Beton möglich. Das heißt, der Beton aus dem Beispiel kann dann nach Wasserzugabe zum Zement innerhalb 3,75 h verarbeitet werden. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Konsistenz, die für die Verarbeitbarkeit steht, zu diesem Zeitpunkt so noch vorhanden ist, wie bei Anlieferung oder bei Abholung aus dem Betonwerk. Mit der Verzögerung des Betons wird erreicht, dass die Erstarrung des Betons nicht beginnt und erst nach der Verzögerungszeit einsetzt (siehe Bild 4). Die Wirkung der Verzögerer ist vom Beton und von den Temperaturen abhängig, sodass die Verarbeitbarkeit auch kürzer ausfallen kann. Deshalb sollten bei der Verarbeitung nicht die Extremzeiten genutzt werden.

Bis zum Einbau sollte der Beton geschützt werden, beispielsweise durch Abdecken mit Folien. Eine Wasserzugabe ist zu vermeiden, da zwar die Verarbeitbarkeit des Betons verbessert wird, aber durch Änderung des W/Z-Wertes die Festbetoneigenschaften verschlechtert werden. Die Nachbehandlung muss stets durchgeführt werden.

MASSNAHMEN BEI TEMPERATUREN UNTER –3 °C

Gefriert frischer Beton vor dem Einsetzen der Erhärtung, so kann dies unter Umständen zu Schäden führen. Der Beton muss geschützt werden, um Schäden zu verhindern. Wenn die Betonage nicht verschiebbar ist, dann sollten einige Dinge beachtet werden. Wichtig ist, die in der Tabelle 1 angegebenen Frischbetontemperaturen einzuhalten. Während des Transports, des Einbaus und der Förderung des Betons treten Temperaturverluste ein, deshalb ist darauf zu

achten, dass die Frischbetontemperatur ausreichend ist, um das Gefrieren des Betons schon in dieser Phase zu verhindern. Wird bei Lufttemperaturen unter –3 °C gearbeitet, so hat die Frischbetontemperatur beim Einbringen mindestens 10 °C aufzuweisen. Diese Betontemperatur sollte anschließend wenigstens drei Tage gehalten oder das Bauteil so lange geschützt werden, bis eine ausreichende Festigkeit erreicht ist. Von einer ausreichenden Festigkeit spricht man im Mittel bei 5 N/mm². Werden Schalungen verwendet, so sind diese beispielsweise vor eindringendem Wasser zu schützen und wenn erforderlich vorzuheizen. Die Nachbehandlung hat wesentlich länger und intensiver zu erfolgen. Empfohlen werden wärmedämmende Folien.

BESONDERS WICHTIG: DIE RICHTIGE NACHBEHANDLUNG

Die Nachbehandlung hat bei jedem Beton zu erfolgen, unabhängig von den Witterungsbedingungen und dem Bauteil. Der Start der Nachbehandlung des Betons hat unmittelbar nach Abschluss der Betonierarbeiten zu erfolgen. Die Aufgabe der Nachbehandlung ist es, den frisch verarbeiteten und jungen Beton bis zur ausreichenden Erhärtung zu schützen gegen:

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

In den Ausführungen wurden die extremen Ausführungsbedingungen beschrieben, jedoch stellen gerade die schroffen Temperaturänderungen, wie warme Tagestemperaturen und niedrige Nachttemperaturen, einen weiteren Extremfall dar, der oft von den Bauausführenden unterschätzt wird. Der Einsatz von wärmedämmenden Folien ist dabei empfehlenswert.

Als Nachbehandlungsmethoden eignen sich die folgenden Möglichkeiten:

- Abdecken mit Folien,
- kontinuierliches Besprühen mit Wasser,
- Aufbringen flüssiger Nachbehandlungsmittel,
- Aufbringen von wasserspeichernden Abdeckungen,
- Belassen in der Schalung sowie
- die Kombinationen dieser Verfahren.

Bei kleineren Baustellen werden meist die ersten drei genannten Verfahren ange-

wendet. Beim Auflegen der Folie ist darauf zu achten, dass diese so befestigt wird, dass auch bei Wind und den nachfolgenden Arbeiten die Folie auf dem Bauteil verbleibt. Wie lange die Nachbehandlung zu erfolgen hat, ist aus den Frischbetontemperaturen und der Festigkeitsentwicklung des Betons abzuleiten. In Tabelle 2 ist dies für die Betone mit den Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1 aufgeführt.

Nach DIN 1045-3 wird für Betone mit den Expositionsklassen X0 und XC1 (beispielsweise für Bauteile ohne Bewehrung) empfohlen, dass der Beton mindestens einen halben Tag nachbehandelt werden muss – auch bei Lufttemperaturen über 30 °C. Bei Temperaturen der Betonoberfläche unter 5 °C ist die Nachbehandlungsdauer um die Zeit zu verlängern, in der die Temperatur unter 5 °C lag. Wird keine Temperaturaufzeichnung vorgenommen, so sind die drei Tage zur Sicherheit für die Nachbehandlung anzusetzen. Wichtig ist also, die Nachbehandlung nicht „wie immer“ auszuführen, sondern den äußeren Bedingungen anzupassen.

TEXT: Dr. Monika Helm, Wandlitz

BILDER: Holcim (2), Hellberg (1), Helm (1)

WWW. **DEGA-GALABAU.DE**

Zum Thema „Betonieren im Winter“ gibt es unterschiedliche Merkblätter, Fachbeiträge sowie ein Seminar am 22. November in Berlin. Die PDFs der Beiträge und das Seminarprogramm können Sie sich auf www.dega-galabau.de herunterladen. Geben Sie einfach den Webcode **dega2248** in das Suchfenster oben links ein und tippen auf „ok“.

DER AUTOR



Dr. Monika Helm

ist Inhaberin des ibh Ingenieurbüros Helm für baustoffliche Aufgabenstellungen &

Qualitätsmanagementsysteme. Sie ist Mitglied in mehreren Ausschüssen des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton und des Bundesverbands Transportbeton. Kontakt: info@betonbuero.de