© man_kukuku – Fotolia.com

Betonieren – so funktioniert es unter widrigen Bedingungen

Betont sorgfältig

Die Bautätigkeit kennt keinen Kalender, der etwas über Sommer oder Winter aussagt: Wenn ein Bauwerk fertiggestellt werden muss, dann wird oft die Jahreszeit vergessen – doch die Natur setzt der Bautätigkeit Grenzen. Mit vorausschauender Vorbereitung, passender Betonauswahl und den richtigen Nachbehandlungsmethoden lassen sich – selbst bei extremen Temperaturen im Winter – Schäden von vornherein vermeiden.

In alten Baubüchern findet man Aussagen, dass beispielsweise der letzte Betoneinbau bei Straßen mindestens drei Monate vor dem ersten Frost erfolgen sollte. Inzwischen hat sich in puncto Einbautechnik einiges getan. Die „Graue Masse Beton“ ist jedoch nach wie vor ein hochsensibles System, das nur dauerhaft sein kann, wenn sorgfältig mit diesem Material umgegangen wird – und das bei allen Wettern.

Eigenschaften von Beton

Beton (lat.: opus caementitium) haben bereits die alten Römer hergestellt, und damals verwendeten sie dafür gebrannten Kalk, Steine und Wasser. Diese drei Bestandteile stellen auch heute das Grundgerüst für den Beton dar und werden fachmännisch als Zement, Gesteinskörnung und Zugabewasser bezeichnet. Diese Hauptbestandteile können durch Zusätze ergänzt werden. Dies sind zum einen die Zusatzstoffe, wie Flugasche, Kalksteinmehl und Farbpigmente, und zum anderen die Zusatzmittel, z. B. Fließmittel, Verzögerer und Erstarrungsbeschleuniger. Je nachdem, welcher Zusatz verwendet wird, werden die Frisch- und Festbetoneigenschaften mehr oder weniger beeinflusst. So werden im Sommer z. B. Verzögerer zum Einsatz gebracht, um den Erstarrungsbeginn (das „Ansteifen“) des Betons hinauszuzögern.

Das Gemisch aus Wasser und Zement, welches als Zementleim bezeichnet wird, wird durch den Abbindevorgang zu Zementstein, der die Gesteinskörnungen umschließt. Für die Reaktion zwischen Wasser und Zement, der Hydratation, ist eine ausreichende Temperatur des Betons erforderlich, die über dem Gefrierpunkt liegen muss. Bei der Hydratation entsteht Wärme im Beton, und diese Wärmeentwicklung wird auch durch die Außentemperaturen bestimmt. Das Verhältnis von Wasser und Zement wird als Wasser-Zement-Wert (W/Z-Wert) bezeichnet, und über diesen Wert werden u. a. auch die Eigenschaften des Betons reguliert.

Phasen des Betons

Der Beton wird nach dem Erstarren in die Phasen Frischbeton, grüner Beton, junger Beton und Festbeton eingeteilt. Die Phase des grünen Betons spielt besonders für den Fertigteilbereich eine wesentliche Rolle, da in dieser Phase die Elemente z. B. abgehoben werden können. Meist interessieren nur die Frischbeton- und Festbetoneigenschaften, jedoch ist die Phase des jungen Betons entscheidend für die späteren Festbetoneigenschaften. Treten also in dieser Phase Störungen wie etwa durch Temperatureinwirkungen auf, so zeigt sich dies in den Festbetoneigenschaften bzw. an Schadensbildern. Deshalb muss vor allem während dieser Zeit – beim Erstarren des Betons – für dessen Schutz gesorgt werden. Bei der Ausführung von Betonarbeiten werden alle genannten Phasen durchlaufen.

Temperaturen und Festlegungen

Gebaut wird das ganze Jahr über. In vielen Bauablaufplanungen wird aber vergessen, dass aufgrund von extremen Temperaturen über lange Zeiträume teilweise Unterbrechungen der Arbeiten erforderlich sind. In Tabelle 1 sind die Anforderungen für die Frischbeton- und Lufttemperaturen nach dem Regelwerk der DIN EN 13670/DIN 1045-3 (NA), die beim Betoneinbau zu beachten sind, zusammengestellt. Diese Werte definieren Grenzen, die jedoch bei Anwendung von besonderen Maßnahmen überschritten werden können. Spezielle Regelwerke legen engere Temperaturbereiche fest, wie z. B. bei Wasser- und Tunnelbauwerken sowie im Betonstraßenbau, um Schäden zu vermeiden und die Dauerhaftigkeit dieser Bauwerke zu erhöhen. Bei kleinen Bauvorhaben greifen diese Regelwerke nur selten. Für ein qualitätsgerechtes Bauwerk sollten jedoch auch hier bestimmte Rahmenbedingungen im Bauablauf berücksichtigt und bei Extremtemperaturen bereits vorher Maßnahmen getroffen werden, damit keine Gefahr für das Bauwerk besteht.

Ein Betoneinbau bei Extremtemperaturen muss noch sorgfältiger geplant werden als Betonagen unter Normalbedingungen. Wenn zum Zeitpunkt des Betoneinbaus oder während der Nachbehandlungsdauer niedrige Umgebungstemperaturen herrschen oder zu erwarten sind, müssen Vorsichtsmaß-

Vorbereitung der Betonarbeiten bei niedrigen Temperaturen

Eine gute Vorbereitung des Betoneinbaus bei niedrigen Temperaturen spart Zeit und Kosten und verhindert nicht zuletzt auch spätere Schäden.

- Auswahl des Betoniertages
Bewusst sollte der Betoniertag ausgewählt werden, dazu können die Wetterprognosen genutzt werden. Die Wahl sollte auf den Termin fallen, an dem die höchsten Tages- und Nachttemperaturen erwartet werden.

- Nicht auf gefrorenen Boden
Eine Betonage auf gefrorenem Boden ist stets auszuschließen. Ansonsten kann sich z. B. die Schalung, die bei gefrorenem Boden gestellt wurde, verschieben und sich diese im Extremfall während der Betonage lösen. Heute gibt es technische Möglichkeiten, Böden aufzutauen, um dann weiterarbeiten zu können – etwa über Heizschläuche oder über beheizte Zelte.

- Betonwahl
Der richtige Beton sollte entsprechend der späteren Nutzung und Witterungsbedingungen ausgewählt werden. Hier ist am besten auf die Erfahrungen der Betonhersteller zurückzugreifen.

- Nachbehandlung
Wirksame Maßnahmen müssen entsprechend den Temperaturen für die Nachbehandlung vorbereitet werden. Diese muss nach dem Betoneinbau sofort beginnen.

Lufttemperatur	Frischbetontemperatur
Mindestens -3 °C	5 °C allgemein
	10 °C bei Zementgehalt < 240 kg/m^3, bei LH-Zement (Zement mit niedriger Hydratationswärme)
Unter -3 °C	10 °C mindestens
Über 30 °C	≤ 30 °C

Tabelle 1: Frischbetontemperatur in Abhängigkeit von der Lufttemperatur nach DIN EN 13670/DIN 1045-3 (NA)

© ibh Helm

2 Ein Fahrmischer wurde in den Wintermonaten zum Schutz eingepackt.

© Wacker Neuson

3 Gefrorener Boden wird über Heizschläuche erhitzt und mit Isoliermatten abgedeckt, um eine hohe Wärmeeffizienz zu erreichen.

nahmen zum Schutz des Betons vor Frost getroffen werden.

Schroffe Temperaturänderungen, z. B. warme Tagestemperaturen und niedrige Nachttemperaturen, stellen einen weiteren Extremfall dar, der von den Bauausführenden oft unterschätzt wird. In diesem Fall ist der Einsatz von wärmedämmenden Folien zu empfehlen.

Maßnahmen bei Lufttemperaturen 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 diese Schäden zu verhindern.

Zunächst sollte geprüft werden, ob der Betoneinbau verschiebbar ist. Wenn dies nicht möglich ist, dann sollten die in Tabelle 1 angegebenen Frischbetontemperaturen eingehalten werden. Während des Transports und des Einbaus des Betons treten Temperaturverluste ein, deshalb ist darauf zu achten, dass die Frischbetontemperatur ausreichend ist, um das Gefrieren des Betons in dieser Phase zu verhindern. Werden z. B. steife Betone mit einem offenen Fahrzeug vom Betonwerk abgeholt, so ist der Beton durch Auflegen einer Wärmedämmfolie vor Temperaturverlusten zu schützen. Diese Folie muss so befestigt werden, dass sie auch während des Transports nicht verloren geht. Wird bei Lufttemperaturen unter -3 °C gearbeitet, so hat die Frischbetontemperatur beim Einbringen mindestens 10 °C aufzuweisen. Mit einer einfachen Temperaturmessung auf der Baustelle kann dies bestimmt werden. Diese Temperatur sollte anschließend wenigstens drei Tage gehalten oder das Bauteil so lange geschützt werden, bis eine ausreichende Festigkeit erreicht ist. Bei einer Druckfestigkeit im Mittel von 5 N/mm^2 ist dies der Fall. Werden Schalungen verwendet, so sind diese vor eindringendem Wasser zu schützen, um Eisanlagerungen zu verhindern und, wenn erforderlich, vorzuheizen. Hin und wieder werden Zelte über das Objekt gebaut und dieser Bereich beheizt, um ständig Außentemperaturen über dem Gefrierpunkt zu erreichen.

Festigkeitsentwicklung

Aus der Frischbetontemperatur und der Festigkeitsentwicklung des Betons lässt sich die Dauer der Nachbehandlung ableiten.

Die Festigkeitsentwicklung wird für jeden Beton auf dem Lieferschein des Betonherstellers angegeben. Unterschieden wird bei der Festigkeitsentwicklung zwischen schneller, mittlerer, langsamer und sehr langsamer Festigkeitsentwicklung.

Die Festigkeitsentwicklung ist abhängig von Zementart, Bauteilart, den verwendeten Zusatzmitteln, Wasser-Zement-Wert, Frischbetontemperatur, Bauteildicke sowie den Witterungsbedingungen.

In Bild 4 ist die Festigkeitsentwicklung eines Betons mit der gleichen Zusammensetzung einmal im Januar und einmal im September ermittelt. Gut sichtbar ist, dass die Druckfestigkeit von 5 N/mm^2 bei kühlen Temperaturen erst wesentlich später erreicht wird. In den Wintermonaten werden üblicherweise Betone mit einer schnellen Festigkeitsentwicklung zum Einsatz gebracht.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung hat bei jedem Beton unabhängig von den Witterungsbedingungen und dem Bauteil zu erfolgen. Der Start für den Schutz des jungen Betons hat unmittelbar nach Abschluss der Betonierarbeiten zu erfolgen.

Ziel der Nachbehandlung ist, dass dieser Schutz bis zu einer ausreichenden Erhärtung des Frischbetons durchgeführt wird. Zusätzlich wird damit erreicht, dass der junge Beton vor frühzeitigem Austrocknen, Schwinden, extremen und schroffen Temperaturänderungen, mechanischer Beanspruchung, chemischen Angriffen, Frost, schädlichen Erschütterungen, Stößen oder Beschädigungen geschützt wird.

Folgende Nachbehandlungsmethoden werden nach DIN EN 13670/DIN 1045-2 angegeben:

- Belassen in der Schalung
- Abdecken mit Folien
- Aufbringen wasserspeichernder Abdeckungen
- Aufbringen flüssiger Nachbehandlungsmittel
- Aufrechterhalten eines sichtbaren Wasserfilms auf der Betonoberfläche (z. B. durch Besprühen, Fluten)
- Wärmebehandlung
- Kombination der Verfahren

Nicht alle angegebenen Methoden sind für eine Nachbehandlung im Winter möglich. Empfohlen werden wärmedämmende Folien (Bild 5), wobei die Abdeckung so erfolgen muss, dass keine Angriffsfläche für Wind und Frost gegeben ist.

Es muss so lange nachbehandelt werden, bis mindestens 50 % der Endfestigkeit des Betons erreicht sind.

Nach DIN EN 13670/DIN 1045-3 wird für Betone mit den Expositionsklassen X0 und XC1 (z. B. Bauteile ohne Bewehrung, Sauberkeitsschicht) 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, während der die Temperatur unter 5 °C lag. Gerade Betone für „untergeordnete" Zwecke – die statisch nicht relevant sind, wie etwa Randsteinbefestigungen – sind Betone dieser Expositionsklassen und meist noch dazu mit einer steifen Konsistenz.

Häufig werden Temperaturmessungen am Bauteil durchgeführt, um Sicherheit zu erhalten, wann die extremen Temperaturunterschiede zwischen Betonkern und Oberflächentemperatur minimiert sind. Zusätzlich werden Festigkeitsprognosen erstellt. Wird keine Temperaturaufzeichnung vorgenommen, so wie es bei kleinen Bauvorhaben üblich ist, sind zur Sicherheit mindestens drei Tage für die Nachbehandlung anzusetzen.

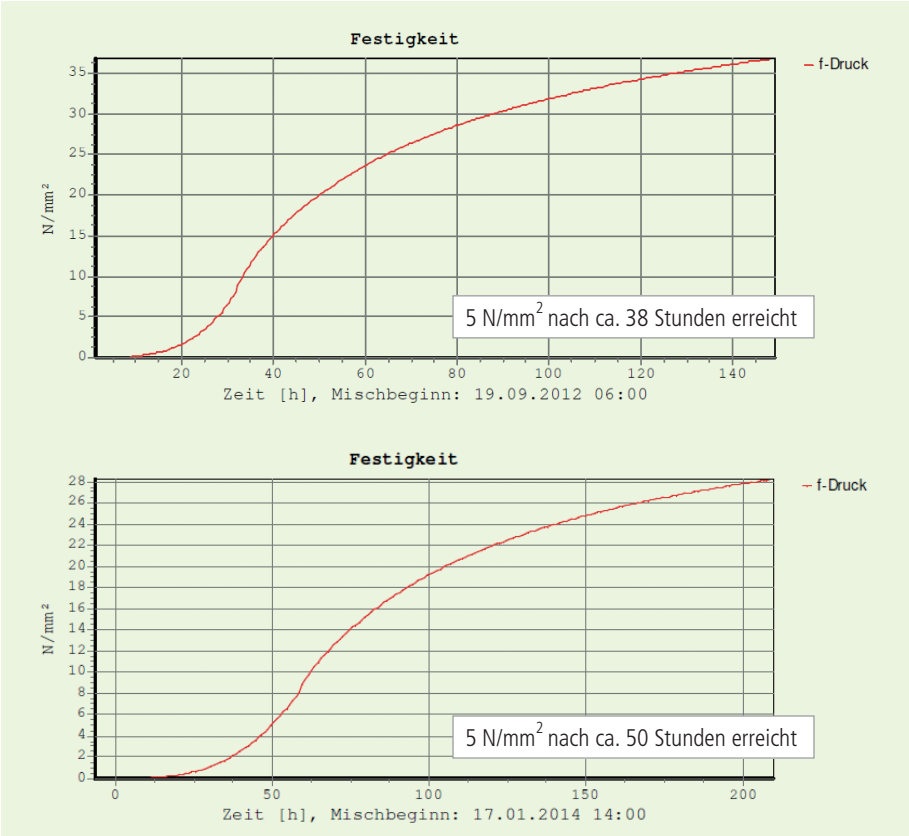
Diese sollte gerade in den Wintermonaten täglich kontrolliert werden.

Zusammenfassung

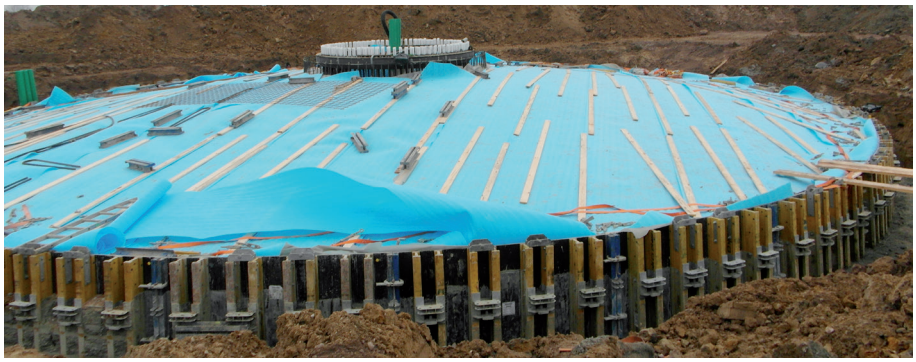
Betoneinbau unter extremen Temperaturbedingungen ist möglich, erfordert jedoch stets eine gute Planung. Der richtige Beton – möglichst mit einer schnellen Festigkeitsentwicklung – ist auszuwählen. Hinsichtlich der Frischbetontemperatur sind Mindesttemperaturen von 5 °C bzw. 10 °C einzuhalten.

Der Beton muss nach dem Einbau ausreichend durch geeignete Nachbehandlungsmethoden, wie z. B. Isolierfolien bzw. Wärmedämmfolien geschützt werden.

An erster Stelle sollte jedoch geklärt werden, ob eine Verschiebung der Betonage möglich ist.



4 Festigkeitsentwicklung eines Betons im Januar (Frischbetontemperatur 10 °C, Grafik unten) und im September (Frischbetontemperatur 4 °C, Grafik oben)



© ibh Helm

5 Wärmedämmende Folien gewährleisten eine erfolgreiche Nachbehandlung bei Temperaturen um den Nullpunkt.

© ibh Helm

Autorin

Dr.-Ing. Monika Helm

Seit 2003 selbstständig im ibh Ingenieurbüro Helm für baustoffliche Aufgabenstellungen und Qualitätsmanagementsysteme – das Betonbüro

Seit 2013 öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige

Mitglied mehrerer Ausschüsse beim DAfStB und BTB – Bundesverband der Transportbetonindustrie

Kontakt: www.betonbuero.de