

# Betonieren bei tiefen Temperaturen

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **66 (1998)**

Heft 1

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153833>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Betonieren bei tiefen Temperaturen



**Betonieren im Winter.**  
Fotos: K. Hermann, TFB

**Auch bei tiefen Temperaturen kann betoniert werden, wenn die notwendigen Vorkehrungen getroffen werden.**

«Unter Anwendung solcher Massnahmen (Verhütung von Wärmeverlusten, externe Wärmezufuhr und Einsatz von Zusatzmitteln, Anm. K.H.) lässt sich bei Frost bis zu  $-20\text{ °C}$  ohne Beeinträchtigung der Betonqualität betonieren. Eingehende Untersuchungen und praktische Ausführungen haben erwiesen, dass trotz der erforderlichen Vorsichtsmassregeln die Winterarbeit mit Zement wirtschaftlich ist. Sie gestattet, den saisonmässigen Charakter der Bauarbeit auszugleichen, und bietet

dem Unternehmer, dem Bauherrn und der Arbeiterschaft unbestreitbare Vorteile.» Dies ist die Schlussfolgerung des Verfassers des Artikels «Betonieren im Winter – Nützliche Ratschläge, um auch bei grosser Kälte eine gute Betonqualität zu erzielen», der im allerersten «Cementbulletin» im Jahr 1933, also vor genau 65 Jahren, erschienen ist [1]. Das meiste, was dort steht, gilt auch heute noch.

## **Erhärtung bei tiefen Temperaturen**

Unmittelbar nach dem Mischen der Betonkomponenten setzen verschiedene Reaktionen zwischen Wasser und Zementbestandteilen ein, die als Hydratation zusammengefasst werden. Diese chemischen Reaktionen, die teilweise Jahre dauern, setzen Wärme frei; der Beton wird durch die intern gebildete Wärme kontinuierlich erwärmt. Die Grösse der Erwärmung hängt unter anderem von der Art und der Menge des Zements,



Vorbereitung der Isolation einer frisch betonierten Bodenplatte.

von der Schnelligkeit der Wärmeentwicklung und dem Ausmass der Wärmeabgabe an die Umgebung ab. Die Geschwindigkeit von chemischen Reaktionen ist temperaturabhängig: je tiefer die Temperatur, desto langsamer ist eine Reaktion. Dies gilt auch für die Hydratation. Aus praktischen Gründen wird angenommen, dass diese ab etwa  $-5$  bis  $-10$  °C stoppt, da nur noch wenig Wasser ( $< 5$  %) nicht gefroren ist und für chemische Reaktionen zur Verfügung steht. Bei Temperaturerhöhung setzt die Hydratation wieder ein. Beton, in dem sich im frühen Stadium der Festigkeitsentwicklung einmal Eis gebildet hat, erreicht nur etwa die Hälfte der vorgesehenen Endfestigkeit. Zurückzuführen ist dies auf die Volumenzunahme um 9 % von gefrierendem Porenwasser. Dadurch entstehen Spannungen, die die Zugfestigkeit des jungen Betons übersteigen und ihn schädigen.

Beton mit einem W/Z-Wert  $\leq 0,60$  und mindestens 270 kg Zement/ $m^3$  darf erst dann durchfrieren, wenn seine Druckfestigkeit 5  $N/mm^2$  erreicht hat oder wenn die Betontemperatur bei der Verwendung eines rasch erhärtenden Zements (CEM I 52,5) während mindestens drei Tagen nicht unter 10 °C gefallen ist [3]. Der Verband Schweizerischer Transportbetonwerke (VSTB) geht von einer Druckfestigkeit von mindestens 10  $N/mm^2$  für gefrierbeständigen Beton aus [4]. Die Endfestigkeit eines bei tiefen Temperaturen eingebrachten, aber nicht gefrorenen Betons ist grösser als diejenige eines unter «normalen» Bedingungen verfestigten Betons [5].

#### Beton für tiefe Temperaturen

Das Hauptproblem beim Betonieren bei tiefen Temperaturen besteht also darin, das Gefrieren von Beton zu verhindern, bis dieser eine ausrei-

chende Festigkeit erreicht hat. Neben der Erwärmung des Frischbetons sowie dem Schutz des Frischbetons und des jungen Betons vor Wärmeverlusten sind weitere Massnahmen denkbar, beispielsweise:

- Erhöhung des Zementgehalts bei unverändertem Wassergehalt (und damit tieferem W/Z-Wert) bedeutet stärkere Wärme- und damit auch schnellere Festigkeitsentwicklung. Unter Umständen muss zudem Verflüssiger (BV) oder Hochleistungsverflüssiger (HBV) beigelegt werden, damit der Frischbeton noch verarbeitet werden kann.
- Beton mit CEM I 52,5 erhärtet in den ersten Tagen schneller als Beton mit CEM I 42,5.
- Erhärtungsbeschleuniger (BE) erhöhen die Hydratationsgeschwindigkeit des Zements; die Erstarrungszeit wird verkürzt und die Frühfestigkeitsentwicklung beschleunigt [6].

- Theoretisch hydratisiert Zement auch noch bei  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dies wird bei Frostschutzmitteln (FS) verwendet, die einerseits den Schmelzpunkt des Wassers senken und andererseits die Zementhydratation beschleunigen und dadurch den Beton erwärmen [6].

Auch die Kombination verschiedener Massnahmen ist möglich.

Selbstverständlich müssen beim Betonieren bei kalter Witterung die relevanten Vorgaben in der Norm SIA 162 [2] berücksichtigt werden. Die wichtigsten sind im Kasten «Was in den SIA-Normen steht» zusammengestellt.

In Fertigbetonwerken, die für den Winterbetrieb ausgerüstet sind, wird die Frischbetontemperatur beispielsweise durch die Verwendung von erwärmtem Zugabewasser oder Zuschlagstoffen erhöht; die Erwärmung des Zements lohnt sich nicht. Dies folgt aus den Faustregeln, die sich in der Praxis bewährt haben [7]:

- Erhöhung der Zementtemperatur um  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  → Frischbetontemperatur steigt um  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Erhöhung der Zugabewassertemperatur um  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  → Frischbetontemperatur steigt um  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Erhöhung der Zuschlagtemperatur um  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  → Frischbetontemperatur steigt um  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$

## Was in den SIA-Normen steht

Auf das Betonieren bei tiefen Temperaturen oder bei Frost wird in der Norm SIA 162 [2] in den Abschnitten 6 07 und 6 08 hingewiesen. Die Vorgaben sind allerdings häufig recht allgemeiner Natur. So heisst es in Ziffer 6 07 4: «Bei Frost oder hohen Lufttemperaturen ist das Betonieren nur dann gestattet, wenn besondere Schutzmassnahmen getroffen worden sind. Diese müssen vom Beginn der Betonherstellung bis zur Beendigung der Nachbehandlung vorgekehrt werden. Art und Umfang der erforderlichen Schutzmassnahmen sind abhängig von der Aussentemperatur, der Luftfeuchtigkeit, den Windverhältnissen, der Temperatur des Frischbetons, der zu erwartenden Wärmeentwicklung beim Abbinden, der Wärmeabfuhr sowie den Abmessungen des Bauteils.» Ohne besondere Massnahmen darf Beton weder beim Einbringen noch während der Verarbeitung kälter als  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  oder wärmer als  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$  sein.

Bei der Herstellung dürfen die Zuschlagstoffe kein Eis enthalten. Auf Bewehrungsstählen dürfen sich während des Betonierens keine Eisschichten bilden; wenn sie kälter als  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  sind, müssen sie deshalb erwärmt werden.

Gegen oder auf gefrorenen Beton bzw. Untergrund darf nicht betoniert werden, und frostgeschädigte Betonbereiche müssen vor dem Weiterbetonieren entfernt werden.

Geregelt sind die Verantwortlichkeiten: Die Fachleute für die Bauleitung «überprüfen die Zweckmässigkeit der Schutzmassnahmen gegen Frost sowie die Massnahmen für die Nachbehandlung» ([2], Ziffer 7 41 4). Und die Fachleute für die Bauausführung müssen unter anderem Massnahmen bei Frostgefahr und für die Nachbehandlung vorsehen sowie die Eignung der Nachbehandlungsmethoden und der Verfahren zur Beschleunigung nachweisen ([2], Ziffer 7 51 1).

Die VSS-Norm 640 461 a für Betonbeläge [11] enthält keine weitergehenden Vorschriften für das Betonieren bei tiefen Temperaturen.

Im allgemeinen wird es ausreichen, das Zugabewasser zu erwärmen. Dieses darf auch über  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  warm sein, wenn es nicht direkt mit dem Zement in Berührung kommt, d.h. dass das Zuschlagmaterial und das Zugabewasser vor der Zementzugabe gemischt werden [3].

Wie stark der Frischbeton auch erwärmt wird, er verliert während den folgenden Verarbeitungsschritten an Wärme. Für die Abkühlung während des Transports sind beispielsweise etwa  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  einzurechnen. Zu hohe Frischbetontemperaturen sind allerdings ebenfalls nicht sinnvoll, denn je grösser die Wärmedifferenz zur Umgebung, desto grösser ist die Wärmeabgabe.

## Vorbereitungen auf der Baustelle

Die an einem Bau beteiligten Fachleute müssen über die Besonderheiten des Betonierens im Winter informiert sein. Wichtig ist zudem ein genauer Terminplan für die Betonierarbeiten. Die ständig verbesserten Wettervoraussagen helfen, die günstigste Tageszeit für das Betonieren im voraus festzulegen; in der Regel wird dies der Nachmittag sein, vor allem wenn sich der Untergrund sowie die Bewehrung und die Schalung durch Sonneneinstrahlung erwärmen können.

Beton darf nicht auf eine gefrorene Unterlage eingebracht werden [1]. Diese muss vielmehr entweder durch entsprechende Massnahmen vor

dem Gefrieren geschützt oder gegebenenfalls aufgetaut werden. Im Idealfall haben Untergrund und Frischbeton beim Einbringen die gleiche Temperatur. Selbstverständlich müssen die Schalung und die Bewehrung schnee- und eisfrei sein, indem sie beispielsweise mit Infrarotstrahlern erwärmt werden.

Schubkarren und andere Fördergeräte sollten vor der Witterung geschützt werden, wenn sie nicht gebraucht werden. Um grössere Wärmeverluste zu vermeiden, sollten für das Einbringen des Betons keine Rutschen oder Förderbänder verwendet werden, und für den Transport von Pumpbeton sollten isolierte Leitungen bereitstehen.

## Einbringen und Nachbehandeln

In der DIN-Norm 1045 werden die folgenden Betontemperaturen beim Einbringen spezifiziert [3]:

Temperatur	
Luft	Beton
+5 °C bis –3 °C	≥ +5 °C
< –3 °C	≥ +10 °C

Es versteht sich von selbst, dass der Beton schnell eingebracht, verdichtet und vor weiteren Wärmeverlusten geschützt werden muss. Vorausschauende Unternehmer stellen deshalb beispielsweise Reservevibratoren bereit; vielleicht müssen auch mehr Mitarbeiter als üblich eingesetzt werden. Mit Rundstahl freigehaltene Einstechlöcher ermöglichen die laufende Messung der Betontemperatur [4].

Unmittelbar nach dem Verdichten muss der Beton möglichst weitgehend vor Abkühlung geschützt werden, bis er frostbeständig ist. Dies kann – je nach Umgebungsbedingungen – mit und ohne externe Wärmezufuhr erfolgen.

*Nachbehandlung ohne Erwärmung*  
Wenn die Aussentemperatur nicht zu stark fällt (nur leichter Frost während der Nacht), kann auf eine externe Erwärmung verzichtet werden.

## Literatur

- [1] «Betonieren im Winter», Cementbulletin 1 [1], 2–4 (1933).
- [2] Norm SIA 162 (Teilrevision 1993): «Betonbauten».
- [3] DIN 1045 (1988): «Beton und Stahlbeton».
- [4] «Betonieren bei kaltem Wetter», herausgegeben vom Verband Schweizerischer Transportbetonwerke (VSTB).
- [5] Scanlon, J.M., «Controlling concrete during hot and cold weather», Concrete International 19 [6], 52–58 (1997).
- [6] Hermann, K., «Zusatzmittel: BE», Cementbulletin 63 [1], 3–7 (1995).
- [7] «Winter beton», Betoniek 10 [30], 1–7 (1997).
- [8] Kosmatka, S.H., and Panarese, W.C., «Design and control of concrete mixtures», 13th edition (1988), herausgegeben von der Portland Cement Association, Skokie, Illinois.
- [9] Krell, J., Dahlhoff, U., und Vissmann, H.-W., «Temperaturabhängigkeit von Betoneigenschaften», Beton 44 [11], 668–670 (1994).
- [10] Beton-Kalender 1997, Teil 1, Seiten 68–69, Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1997).
- [11] Norm SN 640 461 a: «Betonbeläge» (Mai 1994).



Vor Kälte und Luftzug geschützte frisch betonierte Bodenplatte.

Exponierte Betonbereiche werden mit Dämmmatten isoliert. Holzschalungen haben im Gegensatz zu Stahlschalungen relativ niedrige Wärmeübergangskoeffizienten  $k$ ; sie müssen deshalb nicht immer isoliert werden. Eine Feuchtigkeitszufuhr ist bei Umgebungstemperaturen unter  $15\text{ °C}$  nicht notwendig, wenn der Beton eingeschalt oder mit isolierendem Material bedeckt ist [8] und zudem sichergestellt ist, dass die Betonoberflächen nicht Luftzug ausgesetzt sind.

Während der Nachbehandlung sollte die Betontemperatur laufend kontrolliert werden. Dies zum Beispiel deshalb, weil die Betontemperatur bei guter Isolation aber nicht zu kaltem Wetter unter Umständen zu stark ansteigen kann. Wenn die Betontemperatur auf über  $25\text{ °C}$  steigt, muss ein Teil der Isolation entfernt werden [8].

#### *Nachbehandlung mit Erwärmung*

Viele Probleme können umgangen werden, wenn der ganze Baubereich mit einem Wetterschutz versehen wird, der notfalls auch erwärmt werden kann. Beim Heizen mit Infrarotlampen oder mit trockener Luft muss der Beton vor dem Austrocknen geschützt werden. Bei der Verwendung von heissem Dampf ist dies nicht notwendig.

Wenn Heizungen auf Verbrennungsbasis zum Einsatz kommen, muss darauf geachtet werden, dass das freigesetzte Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) nicht mit dem Beton in Kontakt kommt, da dieser sonst stark karbonatisieren kann. Dies hat zur Folge, dass sich an der Oberfläche kreideartiger, weicher Kalkstein (oft als «Kalk» bezeichnet) bildet.

#### *Ausschalen*

Ganz allgemein gilt: Schalung möglichst lange stehen lassen, denn wegen der langsameren Erhärtung des Betons müssen die Bauteile

ohnehin länger eingeschalt bleiben. Die Kontrolle, ob die für das Ausschalen erforderlichen Druckfestigkeiten erreicht sind, kann mit dem Rückprallhammer nach Schmidt zerstörungsfrei erfolgen. Eine Alternative besteht darin, die Druckfestigkeit an Betonwürfeln zu prüfen, die bei der gleichen Temperatur wie das Bauteil gelagert wurden [9]. Die erforderliche Nachbehandlungsdauer lässt sich mit Hilfe von sogenannten Reifegradfunktionen recht gut abschätzen (siehe [10]). Dies ist vor allem nützlich, wenn möglichst schnell ausgeschalt werden muss. Allerdings muss die Betontemperatur für die Abschätzung laufend gemessen werden.

Wichtig ist auch, darauf zu achten, dass der Beton nach dem Ausschalen bei tiefer Temperatur keinen Temperaturschock erleidet. Indem die ausgeschalteten Teile erneut mit isolierendem Material bedeckt werden, lässt sich dies verhindern.

*Kurt Hermann, TFB*