

Frischbetontemperatur

Die Frischbetontemperatur beeinflusst das Ansteifen und Erstarren und damit die Verarbeitbarkeit des Frischbetons und ist bei kühler Witterung von besonderer Bedeutung. Die Frischbetontemperatur kann mit Hilfe einer vereinfachten Formel berechnet werden:

$$T_{b,fr} = 0.1 \cdot T_z + 0.7 \cdot T_g + 0.2 \cdot T_w$$

$T_{b,fr}$ Temperatur des Frischbetons [°C]
 T_z Temperatur des Zements [°C]
 T_g Temperatur der Gesteinskörnung [°C]
 T_w Temperatur des Wassers [°C]

Beispiel:

Zementtemperatur $T_z = 50\text{ °C}$
 Temperatur der Gesteinskörnung $T_g = 8\text{ °C}$
 Wassertemperatur $T_w = 10\text{ °C}$

Frischbetontemperatur

$$T_{b,fr} = 0.1 \cdot 50 + 0.7 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 = 12.6\text{ °C}$$



Nachbehandlungsdauer für Betone mit Anforderungen an die Festigkeit

Nachbehandlungsklassen (NBK) und Nachbehandlungsdauer bei bekannter Festigkeitsentwicklung des Betons (SIA 262, Tab. 22)

Anforderung	Umwelteinwirkungen	Entspr. Expositions-kategorie	NBK ¹⁾	Anteil der charakt. Festigkeit nach 28 d
keine	–	–	1	– ²⁾
normal	keine Anforderungen an die Dichtigkeit	z. B. XC2	2	35% ³⁾
erhöht	bewitterte Bauteile oder erhöhte Anforderungen an die Rissbildung	z. B. XC4	3	50% ³⁾
hoch	stark belastete Bauteile mit langer Nutzungsdauer oder Verschleissbeanspruchung oder hohe Anforderungen an die Rissbildung	z. B. XD3, XF4	4	70% ³⁾

Richtwerte für die Mindestnachbehandlungsdauer von Betonbauteilen ohne Kenntnis der Festigkeitsentwicklung des Betons (SIA 262, Tab. 23)

Festigkeitsentwicklung bei 20 °C gemäss Norm SN EN 206	Mindestnachbehandlungsdauer [Tage] ⁴⁾						
	schnell $r \geq 0.50$			mittel $0.50 > r \geq 0.30$			
NBK ¹⁾	2	3	4	2	3	4	
Oberflächentemperatur des Betons ⁶⁾ [°C]	$15 > T \geq 10$	1.5	2.5	7	4	7	13
	$10 > T \geq 5$ ⁵⁾	2	3.5	9	5	9	18

- Nachbehandlungsklassen werden nur für die Nachbehandlung von Betonen mit Anforderungen an die Festigkeit festgelegt.
- Für die Nachbehandlungsklasse 1 muss die Nachbehandlungsdauer mindestens 12 h betragen. Dieser Wert gilt sofern das Abbinden des Betons nicht länger als 5 h dauert und die Betonoberfläche mindestens 5 °C beträgt.
- Falls die Festigkeitsentwicklung nicht bekannt ist, gilt Tabelle 23.
- Bei mehr als 5 h Verarbeitungszeit, ist die Nachbehandlungsdauer angemessen zu verlängern.
- Bei Temperaturen < 5 °C, ist die Nachbehandlungsdauer um die Zeitspanne zu verlängern, während der die Temperatur unter 5 °C lag.
- Alternative: Lufttemperatur um 7.00 Uhr morgens gemessen im Schatten.

Nachbehandlungsdauer für Betone mit Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

Richtwerte für die Mindestnachbehandlungsdauer bei erhöhten oder hohen Anforderungen an die Nachbehandlung (SIA 262, Tab. 23a)

Festigkeitsentwicklung bei 20 °C gemäss Norm SN EN 206	Mindestnachbehandlungsdauer [Tage] ¹⁾	
	erhöht	hoch
Anforderungen	B und C	B und C, D bis G
Betonsorten	5	7
Oberflächentemperatur des Betons ³⁾ [°C]	$15 > T \geq 10$	7
	$10 > T \geq 5$ ²⁾	9

- Bei mehr als 5 h Verarbeitungszeit, ist die Nachbehandlungsdauer angemessen zu verlängern.
- Bei Temperaturen < 5 °C, ist die Nachbehandlungsdauer um die Zeitspanne zu verlängern, während der die Temperatur unter 5 °C lag.
- Alternative: Lufttemperatur um 7.00 Uhr morgens gemessen im Schatten.

Empfehlung für die Kombination der Anforderungen an die Nachbehandlungsdauer nach Tabelle 23 und 23a

Anwendbar, wenn keine zusätzlichen Anforderungen an die Festigkeitsentwicklung gem. SIA 262, Abs. 3.1.1.2.2. gestellt werden (z. B. Vorspannfestigkeit, Ausschalfestigkeit).

Betonsorte	Mindestnachbehandlungsdauer [Tage] ¹⁾			
	A	B und C	B und C, D bis G	
Anforderung an die Nachbehandlung ⁴⁾	normal	erhöht	hoch	
Festigkeitsentwicklung bei 20 °C gemäss Norm SN EN 206	schnell $r \geq 0.50$	mittel $0.50 > r \geq 0.30$	schnell und mittel $r \geq 0.50$ und $0.50 > r \geq 0.30$	
	Oberflächentemperatur des Betons ³⁾ [°C]	$15 > T \geq 10$	$10 > T \geq 5$ ²⁾	
	1.5	4	5	7
	2	5	7	9

- 2) 3) Fussnoten siehe Tab. 23a.
- Die Anforderungen an die Nachbehandlung – normal, erhöht oder hoch – müssen vom Planer festgelegt werden.

Nachbehandlungs- und Schutzmassnahmen bei verschiedenen Aussentemperaturen

Art	Massnahmen	Lufttemperatur [°C]			
		unter –3	–3 bis +5	+5 bis +10	+10 bis +15
mit wasserdampfdichter Folie abdecken / Nachbehandlungsmittel (NB-Mittel) aufsprühen	Abdecken oder NB-Mittel aufsprühen, ggf. zusätzliche Massnahmen wie: • Holzschalung nässen • Stahlschalung vor Sonne schützen • freie Betonoberflächen in der Schalung abdecken und benetzen			X	X
	• Abdecken oder NB-Mittel aufsprühen und Wärmedämmung auflegen ¹⁾ • Verwenden wärmedämmender Schalung (z. B. Holz) sinnvoll, Stahlschalung mit Dämmplatten abhängen		X		
mit Wasser benetzen	• Abdecken und Wärmedämmung auflegen ¹⁾ • Umschliessen des Arbeitsplatzes (Zelt), ggf. Beheizung (z. B. Heizstrahler). Zusätzlich: Betonoberfläche mindestens 3 Tage $\geq +10\text{ °C}$ halten	X			
	ständig sichtbarer Wasserfilm auf der Betonoberfläche vorhalten			(X)	X

1) Nicht benetzen; Tau-/Regenwasser fernhalten.

Betonieren bei kalter Witterung

Holcim (Schweiz) AG
 Hagenholzstrasse 83
 8050 Zürich
 Schweiz
 Telefon +41 58 850 68 68
 Telefax +41 58 850 68 69
 marketing-ch@lafargeholcim.com
 www.holcim.ch

Einleitung

Tiefe Temperaturen haben einen Einfluss auf den jungen Beton und können zu Schäden führen:

- Mit abnehmender Temperatur wird das Erstarren verzögert und die Festigkeitsentwicklung verlangsamt. Unter dem Gefrierpunkt kommt sie sogar zum Stillstand.
- Das Gefrieren des ungebundenen Wassers im jungen Beton schädigt dessen Gefüge.
- Grosse Temperaturdifferenzen zwischen Kern- und Randbeton können bei grossen Bauteildicken zu einer Rissbildung in der Betonrandzone führen.

Ziel beim Betonieren bei tiefen Temperaturen ist ein schnelles Erreichen der Gefrierbeständigkeit:

- Junger Beton ist gefrierbeständig, wenn er eine Druckfestigkeit von mindestens 5 N/mm² an der Betonoberfläche erreicht hat.

Wenn bei kalter Witterung betoniert werden muss, wird ein Vorgehen nach den folgenden drei Phasen empfohlen:

- Planen einer Winterrezeptur
- Einbringen und Verdichten
- Nachbehandlung

1 Planen einer Winterrezeptur

Bei kalter Witterung kann betoniert werden, wenn der Beton mit einer oder mehreren der folgenden, betontechnologischen Massnahmen optimiert wird (Winterrezeptur):

- Anheben der Frischbetontemperatur durch gezieltes Erwärmen des Zugabewassers und/oder Erwärmen der Gesteinskörnung.
- Wählen einer Frischbetontemperatur mit hinreichendem Vorhaltemass, um auch Temperaturabsenkungen beim Transport und allfällige Wartezeiten auf der Baustelle berücksichtigen zu können.
- Verwenden von Zement mit einer höheren Hydratationswärmeentwicklung (z. B. Normo 5R).
- Erhöhen des Zementgehaltes ($Z > 300 \text{ kg/m}^3$).
- Herabsetzen des w/z-Wertes durch Einsatz eines beschleunigenden Fließmittels (FM-SBE).
- Verwenden eines Frostschutzmittels (FS) zur Verbesserung der Gefrierbeständigkeit.
- Kein Zementersatz durch Flugasche und Verzicht auf einen Verzögerer (VZ) oder auf verzögernde Fließmittel.
- Beschleunigen der Festigkeitsentwicklung durch den Einsatz eines Erhärtungsbeschleunigers (HBE) nur in Ausnahmefällen.

2 Einbringen und Verdichten

Bei kalter Witterung kann betoniert werden, wenn notwendige Vorkehrungen auf der Baustelle getroffen werden:

- Es darf weder auf gefrorenem Baugrund betoniert werden noch auf gefrorenen Bauteilen, ggf. ist eine „Opferschicht“ vorzusehen.
- Schalung und Bewehrung frei von Schnee und Eis halten, jedoch nie mit Wasser, sondern durch Warmluft.
- Der vorgewärmte Beton muss zügig in die von Schnee und Eis befreite Schalung eingebaut und sofort verdichtet werden.
- Den jungen Beton vor Wärmeentzug während des Förderns schützen. Nach Möglichkeit keine Förderbänder verwenden. Längere Pumpleitungen ggf. wärmedämmen.
- Beim Einbringen und während des Verdichtens darf der Frischbeton ohne besondere Schutzmassnahmen nicht kälter als +5 °C sein. Bei Betonoberflächen mit erhöhten Anforderungen wird empfohlen, die Frischbetontemperatur auf +10 °C zu erhöhen.
- Die Frischbetontemperatur des eingebauten Betons sollte laufend gemessen werden und ggf. Massnahmen für eine weitere Wärmezufuhr getroffen werden.

3 Nachbehandlung

Dem Schutz des Betons ist bei tiefen Temperaturen besondere Aufmerksamkeit zu schenken:

- Verwenden von Materialien mit erhöhten Wärmedämmeigenschaften für die Schalung (z. B. Holz) und für die Nachbehandlung (z. B. Thermomatten).
- Bei kalten Temperaturen muss der Beton unmittelbar nach dem Einbringen vor Wärmeentzug durch Abdecken mit Thermomatten geschützt werden.
- Kann die Thermomatte nicht direkt auf die Betonoberfläche gelegt werden, ist der Beton vor Zugluft zu schützen (Einhausung).
- Während der Erhärtungszeit muss der Beton nicht nur vor Wärme-, sondern auch vor Feuchtigkeitsverlust geschützt werden, weil bei kalter Witterung die Luft sehr trocken sein kann.
- Die Art der Nachbehandlung hängt von den Witterungsbedingungen, der Luft- und Betontemperatur, der Festigkeitsentwicklung des Betons, der Schalung sowie der Geometrie der Bauteile ab.
- Die Dauer der Nachbehandlung für Betone mit Anforderungen an die Festigkeit ist in SIA 262, Tabellen 22 oder 23 festgelegt. Werden Anforderungen an die Dauerhaftigkeit gestellt, gilt SIA 262, Tabelle 23a.
- Sinkt die Betontemperatur während des Erhärtens zeitweise unter den Gefrierpunkt, sind die Ausschallfristen mindestens um die Anzahl der Frosttage zu verlängern.
- Bei Sichtbeton ist eine Verschiebung der Betonage zu prüfen, um Hell-Dunkel-Unterschiede (Leopardenmuster) zu verhindern.

Technische Informationen

Gefrierbeständigkeit von Beton

Erforderliche Erhärtungszeit zum Erreichen einer Gefrierbeständigkeit von 5 N/mm² von unterschiedlichen Betonsorten in Abhängigkeit der Festigkeitsentwicklung des Betons und der Betontemperatur (Anhaltswerte).

Festigkeitsentwicklung des Betons bei 20 °C gemäss Norm SN EN 206	Erforderliche Betonerhärtungszeit in Tagen bis zum Erreichen der Gefrierbeständigkeit		
	Betontemperatur beim Betonieren		
	5 °C	10 °C	15 °C
schnell	1.5–2.0	1.0–1.5	0.5–1.0
mittel	2.0–2.5	1.5–2.0	1.0–1.5

Unter winterlichen Bedingungen sollte auf den Einsatz von langsam erhärtenden Betonen verzichtet werden, da sehr lange Erhärtungszeiten resultieren.

Entdecken Sie praktische Baustellen-Tools, Fachinformationen, Expertenwissen und vieles mehr auf dem [Holcim Partner.net](http://www.holcimpartner.net).
→ www.holcimpartner.net