

# Zementtemperatur

Einfluss auf Temperatur und Eigenschaften von Frischbeton

Holcim (Süddeutschland) GmbH



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Temperaturen der Ausgangsstoffe	4
3	Versuchsaufbau und Betonrezeptur	5
4	Versuche	6
4.1	Frischbetontemperatur	6
4.2	Frischbetoneigenschaften	8
5	Schlussfolgerungen	10
5.1	Zusammenfassung der Resultate	10
5.2	Maßnahmen zur Reduktion der Betontemperatur	11

## **Copyright**

Holcim (Süddeutschland) GmbH  
72359 Dotternhausen

## **Verfasser**

Holcim (Süddeutschland) GmbH  
Produktmanagement

## **1. Auflage 2013**

## **Verkaufspreis**

€ 15,-

## **Fotos**

Wenn nichts anderes vermerkt:  
Holcim (Süddeutschland) GmbH

# 1. Einleitung

Bei länger andauerndem, heißem Sommerwetter werden wir häufig von unseren Kunden hinsichtlich der Auswirkung von hohen Zementtemperaturen kontaktiert. Meist handelt es sich dabei um Schwierigkeiten mit der Konsistenz des Betons, seinem Ansteifverhalten bzw. der Konsistenzhaltung: Der Beton steift schnell an und kann nicht mehr verarbeitet werden, ohne dass der Fließmittelbedarf deutlich zunimmt.

Im Sommer ist nicht nur der Zement heiß, durch hohe Außentemperaturen erwärmt sich auch die Betonmischanlage. Fahrmischer und Beton heizen sich während des Transports oder bei Wartezeiten auf der Baustelle weiter auf.

Um die Auswirkung einer hohen Zementtemperatur auf die Frischbetoneigenschaften zu ermitteln, wurden Versuche mit unterschiedlichen Zementtemperaturen sowie unterschiedlichen Gesteinskörnungstemperaturen im Holcim-Labor in Dotternhausen durchgeführt. Untersucht wurden Betonmischungen mit 20 °C, 60 °C

und 90 °C warmem Zement sowie Betone mit 30 °C und 50 °C warmer Gesteinskörnung. Die Umgebungs- und Mischertemperaturen sowie die Wassertemperatur wurden dabei konstant bei 20 °C gehalten.

Eine Zementtemperatur von 20 °C liegt in der Regel nur dann vor, wenn der Zement im Silo beim Kunden längere Zeit gelagert wird, was im Normalfall kaum vorkommt. Die Zementtemperatur liegt bei der Auslieferung im Sommer bei mindestens 60 °C, weshalb die Prüfung bei 60 °C eher realistischen Bedingungen entspricht. Maximal kann die Zementtemperatur herstellungsbedingt 90 °C betragen; dieses Maximum wurde daher mit in die Versuchsreihe aufgenommen.

In der Praxis kann es gegenüber den im Labor durchgeführten Versuchen zu deutlich höheren Betontemperaturen kommen, da die Außenluft, die Betonanlage sowie der Fahrmischer weit über 20 °C liegende Temperaturen aufweisen. Dies kann einen erheblichen Einfluss auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften ausüben.



**Abb. 1.1**  
Fahrmischer und Beton erhitzen sich bei längeren Transport- und Wartezeiten

# 2. Temperaturen der Ausgangsstoffe

### Zement

Um Zement herzustellen, werden die Rohgesteine bis zum Sintern gebrannt. Die dazu notwendige Temperatur liegt bei 1450 °C. Das gebrannte Produkt, der Klinker, verlässt danach den Drehrohrföfen und wird sehr rasch im Klinkerkühler auf rund 130 °C abgekühlt. Danach kühlt er sich während der Lagerung im Klinkersilo weiter ab, bis er in der Zementmühle zu Zement gemahlen wird. Dort erhöht sich seine Temperatur durch die Reibung bis auf 90 °C und sinkt danach im Zementsilo wieder ab. Wenn im Sommer der Durchsatz hoch ist, kann die Zementtemperatur beim Verladen noch relativ hoch sein und zwischen 60 °C und 80 °C liegen. Das sind ganz normale und herstellerunabhängige, sommerliche Zementtemperaturen. Es gibt im Weiteren keine normativen Vorgaben oder Beschränkungen der Zementtemperatur. Nur die Empfehlung für Spritzbeton (DIN EN 14487-1) empfiehlt eine maximale Zementtemperatur von 80 °C. Zement weist aufgrund seiner Struktur eine wärmedämmende Eigenschaft auf, denn zwischen den einzelnen Zementkörnern bilden sich viele, mit Luft gefüllte Hohlräume. Dadurch kühlt der Zement sehr langsam ab. Deutlich erkennbar wird dies angesichts der Zementrohddichte von 3,1 t/m<sup>3</sup> und einer Schüttdichte von rund 1 t/m<sup>3</sup>: Im geschütteten Zement belegt die Luft über 2/3 des Volumens.

### Wasser

Das Zugabewasser wird in aller Regel den Trinkwasserleitungen entnommen. Seine Temperatur schwankt über die Jahreszeit nur in einer engen Bandbreite. Für die folgenden Untersuchungen wurde seine Temperatur konstant mit 20 °C angesetzt.

Wenn Restwasser verwendet wird, hat das einen deutlich größeren Einfluss auf die Frischbetoneigenschaften.

### Zusatzmittel

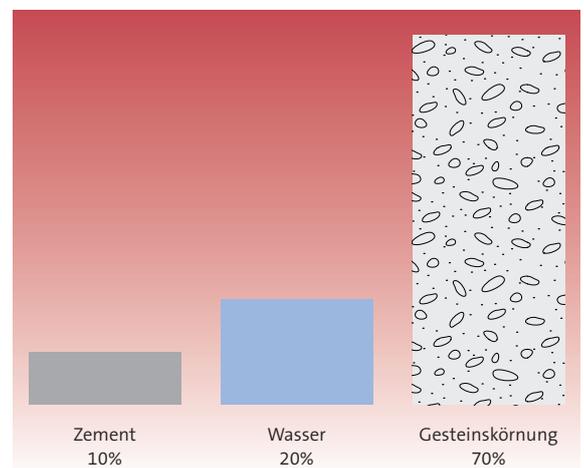
Bitte beachten, dass sich bei höheren Temperaturen der Wirkungsgrad der Zusatzmittel ändert. Somit kann bei Betonverflüssigern oder bei Fließmitteln eine höhere Dosierung erforderlich werden.

### Gesteinskörnung

Sonneneinstrahlung und hohe Umgebungstemperaturen heizen die Gesteinskörnung im Sommer stark auf. Sei es in der Sternanlage, wo die Sonne direkt auf die Korngruppen scheint, oder in den Silos des Frischbetonwerks oder während des Transports der Gesteinskörnung, die Wärmeaufnahme führt im Sommer zu hohen Temperaturen der Gesteinskörnung.

### Frischbetontemperatur

Der Einfluss der verschiedenen Komponenten auf die Frischbetontemperatur ist unterschiedlich und hängt von deren Anteil am Beton ab. In der Regel ergibt sich eine Verteilung von 10% für den Zement, 20% für das Zugabewasser und 70% für die Gesteinskörnung. Daraus wird bereits der große Einfluss ersichtlich, den die Temperatur der Gesteinskörnung auf die Frischbetontemperatur ausübt.



**Abb. 2.1**  
Einfluss der Ausgangsstoffe auf die Frischbetontemperatur

Der Einfluss der Zement- und/oder der Gesteinskörnungstemperatur auf das Ansteifverhalten des Frischbetons und die maximale Kerntemperatur im Bauteil sollen untersucht werden.

### 3. Versuchsaufbau und Betonrezeptur

#### Konsistenz und Ansteifverhalten

Die untersuchten Betone wurden im Zwangsmischer bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C mit den auf die jeweils gewünschte Temperatur gebrachten Ausgangsstoffen angemischt. Während des Mischens und der folgenden Stunde, in der die Konsistenzmessungen durchgeführt wurden, fand ein geringer Wärmeabfluss statt. Das Prüfen von Konsistenz und Ansteifverhalten erfolgte direkt nach dem Anmischen. Das Ausbreitmaß wurde nach 5, 15, 30, 45 und 60 Minuten gemessen. .

#### Betonrezeptur

Die Betonrezeptur für sämtliche folgende Versuche setzte sich wie folgt zusammen:

- Beton C30/37
- Zement: 340 kg/m<sup>3</sup> Optimo 4
- Gesteinskörnung 0–16 mm
- Fließmittel: 0,9%
- Wasserzementwert w/z = 0,55

Bei den Versuchen, bei denen die Fließmittelzugabe leicht erhöht wurde, ist dies entsprechend vermerkt.

#### Temperaturmessung am Frischbeton

Für den Versuch wurde ein Styroporwürfel mit dem lichten Innenmaß 200 x 200x 200 mm mit Beton gefüllt. Diesen Würfel stellte man in eine Kiste, die mit einer 100 mm dicken Styroporverkleidung versehen war. Zwischen dieser Verkleidung und dem inneren Würfel verblieb zudem ein Luftspalt von 20 mm, sodass sich eine gesamte Dämmstärke von 170 mm ergab. Dieser Versuchsaufbau simuliert die Verhältnisse eines massigen Bauteils.

Die Probenahme und die Würfelherstellung erfolgten sofort nach dem Anmischen.



Abb. 3.1 Durchführung der Temperaturmessungen an gut gedämmten Probewürfeln

## 4. Versuche

### 4.1 Frischbetontemperatur

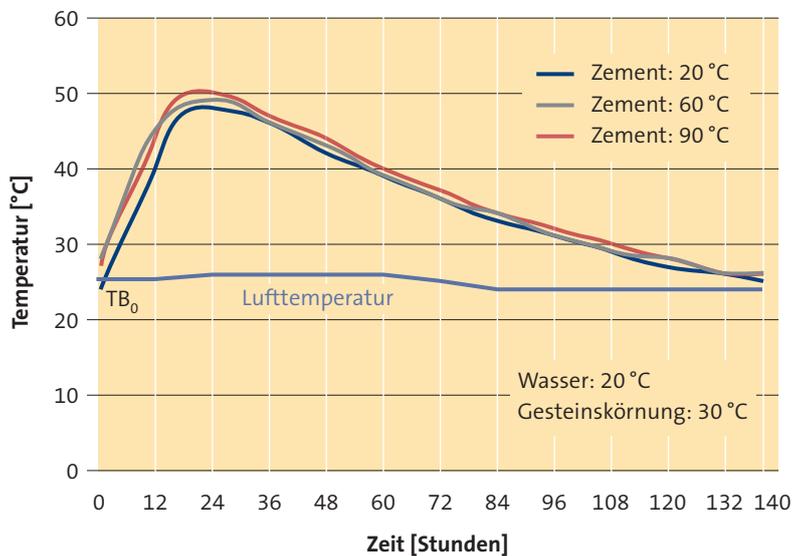
#### 4.1.1 Einfluss der Zementtemperatur

Bei diesen Versuchen wurde die Zementtemperatur variiert, um deren Einfluss auf die Frischbetontemperatur zu untersuchen. Die Zementtemperaturen betragen 20 °C, 60 °C und 90 °C, während die Temperatur der Gesteinskörnung bei allen Mischungen unverändert bei 30 °C und die Wassertemperatur bei 20 °C lag.

Die Frischbetontemperaturen wurden umgehend nach dem Anmischen gemessen; sie betragen:

- Zement 20 °C: Frischbeton 24,2 °C
- Zement 60 °C: Frischbeton 27,0 °C
- Zement 90 °C: Frischbeton 28,1 °C

Danach wurde die Wärmeentwicklung des Betons für alle drei Mischungen gemessen (vgl. Abb. 4.1). Dabei zeigte sich, dass die Hydratationswärmeentwicklung im Beton sich trotz unterschiedlicher Zementtemperaturen nahezu identisch verhält. Die unterschiedlichen Zementtemperaturen führen beim Beton zu Temperaturunterschieden von maximal 2 °C. Auch der Temperaturanstieg erfolgt bei hohen Zementtemperaturen nur minimal schneller.



$T_{B_0}$  Frischbetontemperatur zum Zeitpunkt der Würfelherstellung (vgl. auch Abb. 4.2)

**Abb. 4.1**  
Einfluss unterschiedlicher Zementtemperaturen auf die Frischbetontemperatur. Die Temperatur der Gesteinskörnung betrug 30 °C

#### 4.1.2 Einfluss der Gesteinskörnungstemperatur

Auch bei dieser Versuchsreihe wurden drei verschiedene Zementtemperaturen untersucht; sie betragen wiederum 20 °C, 60 °C und 90 °C. Die Temperatur der Gesteinskörnung wurde jedoch von 30 °C auf 50 °C erhöht, um ihren Einfluss auf die Frischbetontemperatur zu untersuchen. Die Wassertemperatur betrug unverändert 20 °C. Die unmittelbar nach dem Anmischen gemessenen Frischbetontemperaturen betragen:

- Zement 20 °C: Frischbeton 29,8 °C
- Zement 60 °C: Frischbeton 33,0 °C
- Zement 90 °C: Frischbeton 34,5 °C

Den weiteren Verlauf der Frischbetontemperaturen gibt Abb. 4.2 wieder.

Die Hydratationswärmeentwicklung im Beton verläuft auch hier trotz unterschiedlicher Zementtemperaturen ähnlich. Die Maximaltemperatur der Betone differiert um höchstens 4 °C. Der Temperaturanstieg ist bei hohen Zementtemperaturen etwas schneller. Die auf 50 °C erhöhte Temperatur der Gesteinskörnung führt im Vergleich zur Gesteinskörnungstemperatur von 30 °C nur zu einer um rund 4 °C höheren maximalen Temperatur im Frischbeton.

#### 4.1.3 Erkenntnisse

Erhöhte Temperaturen sowohl des Zements als auch der Gesteinskörnung wirken sich nur geringfügig auf die maximale Betontemperatur und auf die Hydratationswärmeentwicklung im Bauteil, jedoch stark auf die Frischbetontemperatur aus. In der Zeit, in der der Beton transportiert und verarbeitet wird, zeigen sich deutliche Unterschiede, die Ausgangskonsistenz und Ansteifverhalten sehr stark beeinflussen.

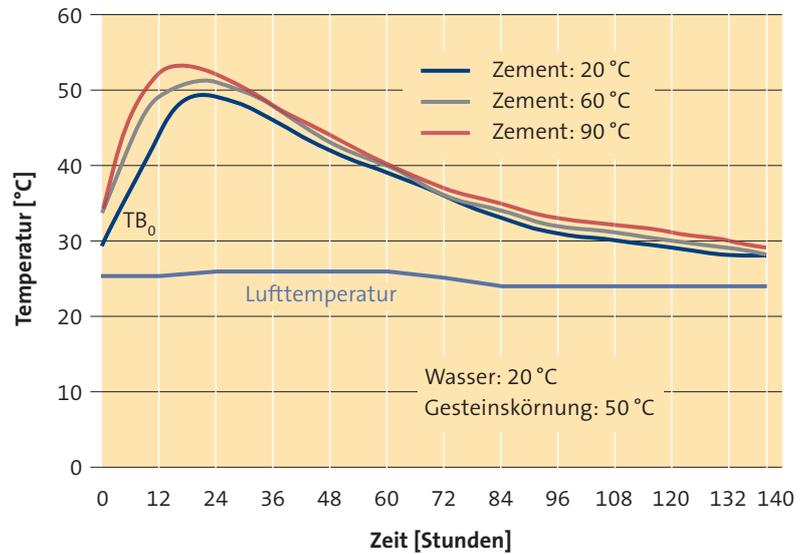


Abb. 4.2 Einfluss unterschiedlicher Zementtemperaturen auf die maximale Betontemperatur bei erhöhter Gesteinskörnungstemperatur von 50 °C. Bei den Zementtemperaturen von 60 °C und 90 °C wurde die Fließmittelzugabe um 0,1% erhöht



Abb. 4.3 Ungeschützt in der Sonne liegende Gesteinskörnung erwärmt sich stark

## Versuche

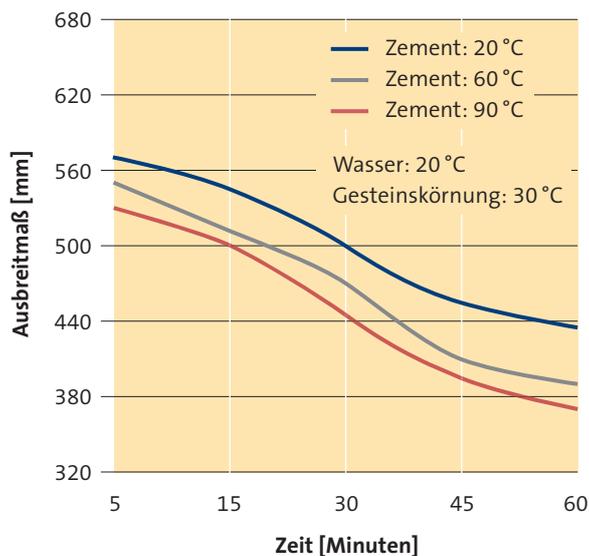


Abb. 4.4 Einfluss unterschiedlicher Zementtemperaturen auf die Frischbetoneigenschaften, Temperatur der Gesteinskörnung = 30 °C

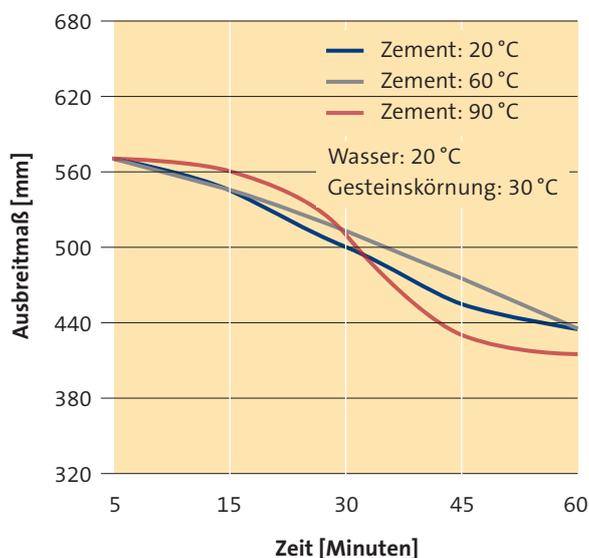


Abb. 4.5 Analoge Versuche wie in Abb. 4.4, aber mit 0,1% mehr Fließmittelzugabe bei den Zementtemperaturen von 60 °C und 90 °C

## 4.2 Frischbetoneigenschaften

Neben dem Einfluss auf die Frischbetontemperaturen wurde der Einfluss der Temperaturunterschiede der Ausgangsstoffe auf die Konsistenz und das Ansteifverhalten des Betons untersucht. Dabei wurden wiederum die drei Zementtemperaturen von 20 °C, 60 °C und 90 °C sowie die beiden Gesteinskörnungstemperaturen von 30 °C und 50 °C untersucht; die Wassertemperatur blieb unverändert bei 20 °C.

### 4.2.1 Einfluss der Zementtemperatur

Abb. 4.4 zeigt den Einfluss, den eine unterschiedliche Zementtemperatur auf das Ausbreitmaß und das Ansteifverhalten des Betons hat.

In einem ergänzenden Versuch wurde die Fließmittelzugabe der Mischungen mit den Zementtemperaturen von 60 °C und 90 °C um 0,1% erhöht. Wie Abb. 4.5 zeigt, ließ sich mit dieser geringfügigen Erhöhung bereits die Zielkonsistenz des Betons zuverlässig einstellen. Auch zeigt sich damit, dass die Erhöhung der Zementtemperatur von 60 °C auf 90 °C keinen höheren Fließmittelbedarf nach sich zieht. Das Ansteifverhalten verhielt sich nach der höheren Fließmittelzugabe bei allen Zementtemperaturen nahezu identisch. Die Ergebnisse beziehen sich auf die geprüfte Betonrezeptur und die verwendeten Zusatzmittel.

#### Damit ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Ein Erhöhen der Zementtemperatur von 60 °C auf 90 °C hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Frischbetoneigenschaften und erfordert keine Fließmittelerhöhung (die Zementtemperaturen liegen im Sommer bei der Auslieferung in der Regel bei 60 °C bis 70 °C)
- Bei gleichem Fließmittelgehalt verringert sich die Ausgangskonsistenz von Beton um je rund 20 mm, wenn die Zementtemperatur von 20 °C auf 60 °C oder von 60 °C auf 90 °C erhöht wird.
- Die untersuchte Zementtemperatur von 20 °C muss im Sommer allerdings als unrealistisch gelten.

#### 4.2.2 Einfluss der Gesteinskörnungstemperatur

Um den Einfluss der Gesteinskörnungstemperatur auf die Frischbetoneigenschaften zu untersuchen, wurden Betone mit einer Gesteinskörnungstemperatur von 30 °C und 50 °C einander gegenübergestellt. Die Zementtemperatur betrug jeweils 20 °C, 60 °C und 90 °C, die Wassertemperatur blieb auch hier unverändert bei 20 °C. Bei den Mischungen mit einer Zementtemperatur von 60 °C bzw. von 90 °C wurde die Fließmittelzugabe um 0,1% erhöht. Die Abb. 4.6 bis 4.8 zeigen die Resultate.

#### Damit ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Ein Erhöhen der Gesteinskörnungstemperatur von 30 °C auf 50 °C hat einen wesentlichen Einfluss auf die Frischbetoneigenschaften. Die Ausgangskonsistenz nimmt zwar nur leicht ab, die Betone zeigen aber ein deutlich stärkeres Ansteifverhalten.
- Der Einfluss der Gesteinskörnungstemperatur auf die Frischbetoneigenschaften ist um ein Vielfaches größer als der Einfluss der Zementtemperatur.
- Die geringfügige Fließmittelerhöhung um 0,1% bleibt wirkungslos. Der Bedarf an Fließmittel zur Konsistenzhaltung wäre erheblich.

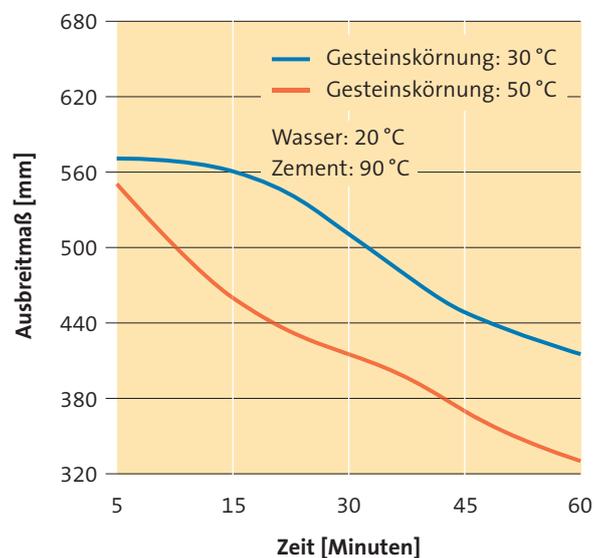
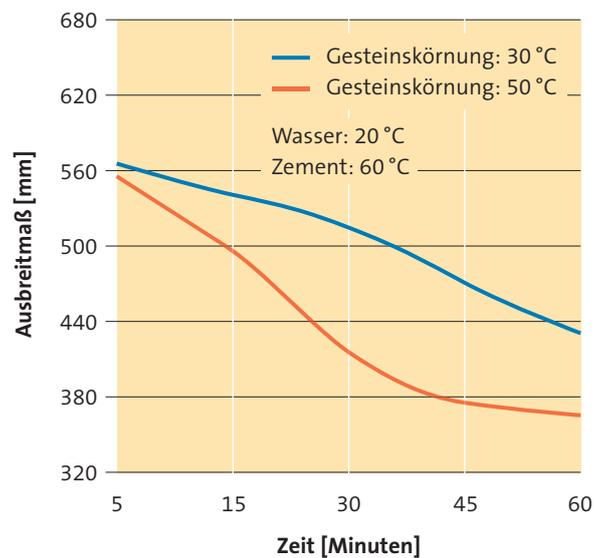
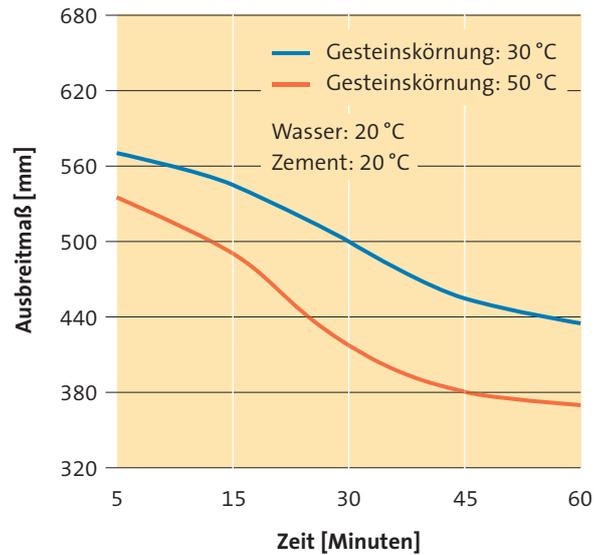


Abb. 4.6 (oben)  
Einfluss unterschiedlicher Gesteinskörnungstemperaturen auf die Frischbetoneigenschaften, Zementtemperatur = 20 °C

Abb. 4.7 (Mitte)  
Einfluss unterschiedlicher Gesteinskörnungstemperaturen auf die Frischbetoneigenschaften, Zementtemperatur = 60 °C, Zudosierung von zusätzlichen 0,1% Fließmittel

Abb. 4.8 (unten)  
Einfluss unterschiedlicher Gesteinskörnungstemperaturen auf die Frischbetoneigenschaften, Zementtemperatur = 90 °C, Zudosierung von zusätzlichen 0,1% Fließmittel

# 5. Schlussfolgerungen

## 5.1 Zusammenfassung der Resultate

Eine Erhöhung der Zementtemperatur von 20 °C auf 60 °C bewirkt:

- Nahezu keine Änderung der Hydratationswärmeentwicklung
- Konsistenzverlust von 20 mm bei gleicher Fließmitteldosierung oder
- Erhöhung der Fließmitteldosierung um 0,1%.

Eine Erhöhung der Zementtemperatur von 60 °C auf 90 °C bewirkt:

- Nahezu keine Änderung der Hydratationswärmeentwicklung
- Minimalen Konsistenzverlust und damit keine Notwendigkeit einer erhöhten Fließmittelzugabe.

Eine Erhöhung der Gesteinskörnungstemperatur von 30 °C auf 50 °C bewirkt:

- Keine wesentliche Änderung der Hydratationswärmeentwicklung
- Deutlichen Konsistenzverlust
- Steifere Ausgangskonsistenz
- Starkes Ansteifverhalten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Einfluss der Zementtemperatur auf die Frischbetoneigenschaften minimal ist. Der Einfluss der Gesteinskörnungstemperatur auf die Konsistenz ist dagegen sehr groß. Sie bildet die Hauptursache für eine niedrige Anfangskonsistenz und ein zu starkes Ansteifen des Frischbetons.

	Zement von 20 °C auf 60 °C	Zement von 60 °C auf 90 °C	Gesteinskörnung von 30 °C auf 50 °C
Hydratationswärme	hellblau	hellblau	hellblau
Konsistenzverlust	orange	orange	rot
Fließmittelbedarf	orange	hellblau	rot
Ansteifverhalten	hellblau	hellblau	rot

Abb. 5.1

Resultatsübersicht: hellblau kein Einfluss  
orange leichter Einfluss  
rot starker Einfluss



Abb. 5.2

Ein stark angesteifter Beton lässt sich nicht mehr verarbeiten

## 5.2 Maßnahmen zur Reduktion der Betontemperatur

Angesichts der Versuchsergebnisse steht bei der Verbesserung von Konsistenz und Ansteifverhalten die Kühlung der Gesteinskörnung im Vordergrund. Folgende Maßnahmen sind wirkungsvoll:

- Schützen der Gesteinskörnung vor Sonneneinstrahlung im Lager und im Silo
- Berieselung der Gesteinskörnung mit Wasser. Beim Verdunsten entzieht das Wasser der Gesteinskörnung die dafür notwendige Wärme
- Kühlung durch Eis, verstärkt den Effekt einer Berieselung
- Einsatz von Flüssigstickstoff zur Kühlung. Diese Maßnahme ist am effektivsten, aber auch am teuersten.

Weitere Maßnahmen beim Betonieren:

- Betonagen auf die kühlere Tageszeit verlegen
- Fahrzeuge im Schatten parken
- Fahrmischertrommel mit Wasser berieseln
- Fahrzeuglogistik passend wählen (nicht zu viele Fahrzeuge auf der Baustelle).



Abb. 5.3  
Berieselung der Gesteinskörnung mit Wasser



Abb. 5.4  
Am effizientesten ist eine Kühlung mit Flüssigstickstoff





**Holcim (Süddeutschland) GmbH**  
72359 Dotternhausen  
Deutschland  
[info-sueddeutschland@holcim.com](mailto:info-sueddeutschland@holcim.com)  
[www.holcim.de/sued](http://www.holcim.de/sued)  
Telefon +49 (0) 7427 79-300  
Telefax +49 (0) 7427 79-248