

## Praktische Beispiele zum Feintuning der Temperatur: Einflüsse aus den Betonbestandteilen

DI Gernot Tritthart  
 Lafarge Permooser AG, Wien

### Einleitung

Nachfolgende Ausführungen beschäftigen sich mit Betonausgangsstoffen und deren Einfluss auf die Frischbetontemperatur unter Berücksichtigung von Menge, Temperatur und spezifischer Wärmekapazität der jeweiligen Bestandteile.

Weiters betrachtet wird die Hydratation des Zements und eine mögliche Beeinflussung dieser Reaktion durch Änderung der Frischbetontemperatur.

### Betonausgangsstoffe

Wesentlicher Einfluss auf die Frischbetontemperatur ist naturgemäß nur von jenen Betonausgangsstoffen zu erwarten, die auch mengenmäßig entsprechend zu berücksichtigen sind. Dazu zählen Gesteinskörnung, Zement und Betonzusatzstoffe als Bindemittel und Wasser. Betonzusatzmittel sind aufgrund der geringen mengenmäßigen Dosierung vernachlässigbar.

### Abschätzung der Frischbetontemperatur

Um die Frischbetontemperatur näherungsweise bestimmen zu können, benötigt man neben der Menge und Temperatur auch die spezifische Wärmekapazität der Ausgangsstoffe.

Die spezifische Wärmekapazität kann dabei als jene Wärmemenge bezeichnet werden, die erforderlich ist, um ein spezifisches Material (1 kg) um 1 Kelvin (K) zu erwärmen. Spezifische Wärmekapazitäten sind in der einschlägigen Literatur tabellarisch angeführt, wobei die angegebenen Werte für Feststoffe zwischen -40 °C und +100 °C und für Flüssigkeiten zwischen 0 °C und +40 °C annähernd konstant sind.

Vergleicht man beispielsweise die spezifische Wärmekapazität von Wasser (4,128 kJ/kg.K) mit jener der Gesteinskörnung (0,84 kJ/kg.K), so muss man Wasser wesentlich mehr Ener-

Spezifische Wärmekapazität in kJ/kg.K bei 20 °C	
Zement	0,75
Gesteinskörnung (trocken)	0,84
Wasser	4,128
Eis	2,1
Beton (trocken)	0,84

Abbildung 1: Spezifische Wärmekapazität ausgewählter Stoffe

gie zuführen, um es um 1 °C zu erwärmen. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass, wenn sich die Temperatur des Wassers um 1 °C verringert, wiederum jene Wärmemenge abgegeben wird, die vorher zugeführt wurde.

Der im Vergleich zu den anderen Betonausgangsstoffen relativ hohe Wert der spezifischen Wärmekapazität von Wasser zeigt aber auch die Möglichkeiten von Wasser auf, um sowohl beim Kühlen als auch Heizen des Betons, trotz geringer Menge, aktiv mitzuwirken.

Werden nun die Betonausgangsstoffe unterschiedlicher Temperatur miteinander gemischt und in Berührung gebracht, so erfolgt ein Wärmeaustausch. Die Temperaturdifferenz zwischen den einzelnen Ausgangsstoffen geht dabei gegen null und man spricht von einer so genannten Wärmemischung, die physikalischen Regeln folgt. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie gibt jener Stoff mit höherer Temperatur so viel Wärmemenge ab, wie der Körper tieferer Temperatur aufnimmt.

Die Temperatur der Mischung, betontechnologisch die Frischbetontemperatur, folgt dabei näherungsweise nachstehender Beziehung:

$$T_b = \frac{Z \cdot T_z \cdot c_z + G \cdot T_g \cdot c_g + W \cdot T_w \cdot c_w}{Z \cdot c_z + G \cdot c_g + W \cdot c_w}$$

- $T_b$  Frischbetontemperatur in °C
- $Z, G, W$  Zement-, Gesteinskörnungs- und Wassergehalt in kg/m<sup>3</sup>
- $T_z, T_g, T_w$  Temperatur Zement, Gesteinskörnung, Wasser in °C
- $c_z, c_g, c_w$  spezifische Wärmekapazität Zement, Gesteinskörnung, Wasser kJ/kg.K

	Menge kg/m <sup>3</sup>	Beispiel 1 in °C	Beispiel 2 in °C	Beispiel 3 in °C	Beispiel 4 in °C
Zement	300	60 + 10°C → 70	60	60	60
Gesteinskörnung (trocken)	2000	20	20 + 10°C → 30	20	20
Wasser	180	10	10	10 + 10°C → 20	20
Frischbeton- temperatur (näherungs- weise) in °C		20,6	21,4	26,9	23,4

+ 0,8°C  
+ 6,3°C  
+ 2,8°C

Abbildung 2: Beispiele für die Berechnung von Frischbetontemperaturen

In Abbildung 2 werden anhand einer stark vereinfachten Betonrezeptur Beispiele für die Berechnung von Frischbetontemperaturen aufgezeigt. Stark vereinfacht insofern, da die Gesteinskörnung in den seltensten Fällen trocken vorliegt. Durch die Feuchte der Gesteinskörnung wird das tatsächliche Zugabewasser fast bis zur Hälfte reduziert. Die Temperatur der Gesteinskörnung ist dabei natürlich mit der enthaltenen Feuchte gleichzusetzen.

Aufgrund der Mengenverhältnisse kommt der Gesteinskörnung eine sehr große Bedeutung zu, wobei die Temperatur der Gesteinskörnung zumeist von den Umgebungsbedingungen abhängig ist. Eine Erhöhung der Gesteinskörnungstemperatur durch beispielsweise Sonneneinstrahlung kann, wie Abbildung 2 zeigt, deutliche Auswirkungen auf die Frischbetontemperatur haben.

Die Temperatur des Zementes ist aufgrund der Erzeugungsbedingungen (Zerkleinerungs- und Reibungsenergie bei der Mahlung bewirken hö-

here Temperaturen) höher, jedoch fallen Temperaturschwankungen des Zementes weit weniger ins Gewicht, da Zement mengenmäßig gegenüber der Gesteinskörnung in weitaus geringerem Ausmaß enthalten ist.

Mengenmäßig den kleinsten Anteil hat das Zugabewasser. Aufgrund der bereits erwähnten hohen spezifischen Wärmekapazität kommt dem Wasser jedoch eine große Bedeutung zu, die auch praktisch durch Heizen und Kühlen oder Eis ausgenutzt wird.

## Hydratation von Zement

Die Hydratation des Zementes oder die Zementsteinbildung verläuft exotherm, d. h. beim Erstarren und Erhärten wird entsprechend dem Reaktionsfortschritt Wärme, „Hydrationswärme“, frei. Bei dieser Reaktion werden Kristalle, so genannte Calcium-Silikat-Hydrat- (CSH) bzw. Calcium-Aluminat-Hydrat-Phasen (CAH) gebildet.

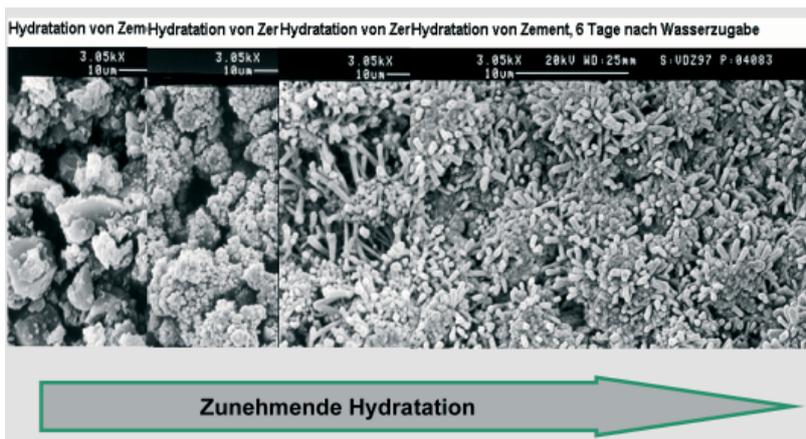


Abbildung 3: Hydrationsfortschritt 1 Stunde bis 6 Tage nach Wasserzugabe

Wie jede andere chemische Reaktion auch verläuft die Zementsteinbildung bei hohen Temperaturen schneller, bei tiefen Temperaturen langsamer. Auch die Eigenschaften des Zementes wie Mahlfineinheit oder Tricalciumaluminat ( $C_3A$ )-Gehalt sind hier als maßgebliche Faktoren zu berücksichtigen.

Die Dichte der entstehenden Kristalle, ihre Länge und der Verzahnungsgrad bestimmen die Eigenschaften des Zementsteins und damit des Betons. Dadurch können Betoneigenschaften wie Festigkeit, Wasserundurchlässigkeit oder Frostbeständigkeit beeinflusst werden.

Höhere Frischbetontemperaturen führen zwar zu höheren Frühfestigkeiten, jedoch bilden sich die Kristalle in ihrer Länge, Dichte und damit Verzahnung weit geringer aus als bei niedrigen Frischbetontemperaturen, wie Abbildung 4 deutlich zeigt.

Damit ist auch das Phänomen des „Sommerlochs“ (geringe Betonendfestigkeiten während der warmen/heißen Jahreszeit) wissenschaftlich leicht erklärbar.

Abbildung 4:

