

# Maschinenteknik bei der Betonkühlung und -erwärmung

DI (FH) Hans-Peter Mack

Liebherr-Mischtechnik GmbH, Werk Bad Schusseried, Deutschland

## 1 Einleitung

Die Betonkühlung bzw. -erwärmung hatte immer schon eine große Bedeutung. Bei uns in Mittel- und Nordeuropa spielt eher die Betonerwärmung die größere Rolle, in südlichen Ländern wie VAE, Saudi-Arabien sowie bei Staudammprojekten oder „Weißen Wannen“ ist eine Herstellung von Qualitätsbeton ohne Kühlung fast undenkbar. Dieser Beitrag soll anhand von Ausführungsbeispielen einen Überblick über die verschiedenen Verfahren geben, jedoch auch auf Grundlagen der Betonkühlung eingehen und hierzu einige Faustformeln angeben. Es wird darauf hingewiesen, dass die folgenden Formeln und Tabellen nur für erste Abschätzungen verwendet werden sollen und im Einzelfall eine genauere Berechnung stattfinden muss.

ca. 0-10 °C zum Stillstand kommt. Außerdem können bei starkem Frost Gefügestörungen entstehen.

In den nationalen Normen (wie z. B. Ö-Norm 4710-1 Abschn. 5.2.8, DIN 1045-2 5.2.8, ACI 305-72) sind die max. Frischbetontemperaturen grob auf 30 °C nach oben und +5 °C nach unten begrenzt. Kalkuliert man den Transport auf die Baustelle bei warmer Umgebung ein, so sollte der Beton eine Temperatur von ca. 25 °C aus dem Mischer nicht übersteigen. Um die oben erwähnten Risse bei massigen Bauteilen zu verhindern, werden bei Staudämmen üblicherweise Frischbetontemperaturen zwischen +8 °C und +23 °C gefordert.

Eine Rezeptur mit 1.200 kg/m<sup>3</sup> grobe Gesteinskörnung, 700 kg/m<sup>3</sup> Sand, 250 kg/m<sup>3</sup> Zement

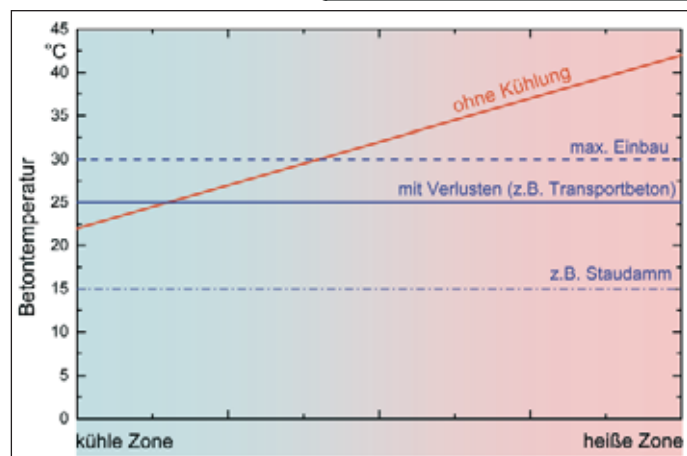
## 2 Warum benötigen wir eine Betonkühlung bzw. -erwärmung?

Zu hohe Betontemperaturen bewirken ein schnelles Ansteifen und Erstarren, das zusätzlich die Verarbeitbarkeit verschlechtert. Die hohe Temperatur bewirkt eine schnelle Verdunstung des Wassers, dadurch schwindet der Beton, was wiederum zur Rissbildung führen kann. Ein zusätzlicher Aspekt, welcher vor allem starke Auswirkungen bei massigen Bauteilen hat, ist die Ausdehnung des Betons im erhärtenden Zustand. Kühlt sich der Beton danach auf Umgebungstemperatur ab, so würden dann Risse im unbewehrten Beton entstehen. Es ist deshalb eine möglichst geringe Ausgangstemperatur des Frischbetons anzustreben. Andererseits dürfen die Frischbetontemperaturen auch nicht zu niedrig sein, da ansonsten je nach Rezept und Zementsorte die Hydratation bei einer Temperatur von

Bild 1: Betontemperaturen für unterschiedliche Klimazonen ohne Betonkühlung

|               | Rezeptur<br>kg/m <sup>3</sup> | Temperaturen |           |           |           |            |
|---------------|-------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|
|               |                               | kühl<br>°C   | °C        | °C        | °C        | heiß<br>°C |
| Grobzuschlag  | 1200                          | 20           | 25        | 30        | 35        | 40         |
| Sand          | 700                           | 20           | 25        | 30        | 35        | 40         |
| Zement/Füller | 250                           | 55           | 60        | 60        | 65        | 70         |
| Wasser        | 190                           | 15           | 20        | 25        | 30        | 35         |
| <b>Gesamt</b> | <b>2340</b>                   | <b>22</b>    | <b>27</b> | <b>31</b> | <b>37</b> | <b>42</b>  |

Bild 2



inkl. Füller und 190 kg/m<sup>3</sup> Wasser mit den entsprechenden Ausgangstemperaturen im Sommer ergibt in den einzelnen Klimazonen Frischbetontemperaturen zwischen ca. 22 °C bis 42 °C (Bild 1).

Überträgt man diese Kurve in ein Diagramm (Bild 2), so wird deutlich, dass eine Kühlung des Betons in den wärmeren Klimazonen relativ schnell notwendig wird.

Es gibt nun Einflussgrößen auf die Betontemperatur, welche unveränderbar sind, wie die Temperatur und Feuchte der Umgebung oder das Betonrezept. Begrenzt bzw. nur mit hohen Kosten veränderbar ist die Temperatur von feinem Sand, da dieser durch Kühlung mit Wasser einen hohen Feuchteanteil erhalten würde bzw. schwer zu entwässern ist. Zement und Füller haben zwar oft sehr hohe Temperaturen, sind jedoch schwer und nur mit großem technischen Aufwand zu kühlen (Stickstoff wird parallel zum Zement eingeblasen bzw. über separate Zuführleitungen eingedüst). Mit der folgenden groben Faustformel kann der Einfluss der einzelnen Ausgangsstoffe abgeschätzt werden:

Um die Temperatur des Betons um ca. 1 °C abzukühlen, müssen sich die Temperaturen der Ausgangsstoffe wie folgt ändern:

Zement um rund 10 °C; Wasser um rund 3,6 °C; Zuschlag um rund 1,6 °C.

Es ist leicht zu erkennen, dass der Zuschlag und das Wasser den größten Einfluss haben.

In der Tabelle 1 sind die einzelnen Methoden der Betonkühlung und deren Kühleffekte aufgeführt.

Hat sich nun der Betreiber für eine Methode entschieden, so kann er mit der folgenden Faustformeln den Kühlbedarf bzw. die erforderlichen Mengen grob abschätzen.

### Betonkühlung – Wie?

Faustformel zur Betonkühlung:

- Um **1 m<sup>3</sup> um 1 °C** abzukühlen, sind ca. **650 kcal** Wärme zu entziehen
- **Kühlung des Anmachwassers** auf +5 °C bei 170 kg/m<sup>3</sup> freiem Wasser: ausgehend von 25 °C: Abkühlung des Betons um 5,5 °C

**Tabelle 1: Betonkühlung – Wie? Übliche Betonkühlmethoden und ihr Kühleffekt**

| Methode                  | Effekt       | Bemerkung  |
|--------------------------|--------------|--|
| Einblasen von Stickstoff | klein - groß | geringste Investition, höchste Betriebskosten, rentabel zur Spitzendeckung; Verfügbarkeit? |
| Kühlung von Wasser       | klein        | geringe Investition max. Abkühlung um ca. 6 °C   |
| Eiszugabe statt Wasser   | groß         | größere Investition, großer Effekt   |

**Tabelle 2: Kühlung der groben Gesteinskörnung**

| Methode                | Effekt | Bemerkung   |
|------------------------|--------|---|
| 1) Verdunstungskühlung | klein  | geringste Kosten, geeignet für Spitzen in heißen Ländern, wenn Wasser verfügbar                       |
| 2) „Weltbelt“-Kühlung  | groß   | hohe Investitionskosten, unvermeidlich bei großer Leistung und niedrigen Betontemperaturen (Staudamm) |
| 3) Kühlung im Vorsilo  | groß   | siehe 2)  |

- Um **1 m<sup>3</sup> Beton um 1 °C** abzukühlen, sind **33 Ltr.** Kaltwasser nötig.
- **Zugabe von Scherbeneis** von –5 °C:
- Um 1 m<sup>3</sup> Beton um 1 °C abzukühlen, sind 7,5 kg Eis nötig
- **Kühlung der Zuschläge:**  
Technik und Kühleffekt stark abhängig von: Verfügbarkeit von Wasser, Rezeptur (RCC/ CVC), Gesteinstypen, Luftfeuchtigkeit vor Ort, Betriebssicherheitsaspekten, Lagerung und Transport der Zuschläge etc. (Tabelle 2).

Es ist sinnvoll bei Eiszugabe auch das verbleibende Anmachwasser zu kühlen, um den bestmöglichen Erfolg zu bekommen. In dem angezeigten Beispiel wird aufgrund der Ausgangsstoffe eine Frischbetontemperatur von 35 °C erwartet – gefordert sind jedoch 25 °C. Aus dem Bild 3 erhalten wir dann eine Eismenge von 30 kg/m<sup>3</sup>, bei zusätzlicher Kühlung des Anmachwassers. Bei einer Produktion von 50 m<sup>3</sup>/h und 10 Std./Tag würde eine Eismaschine mit 15 t Eis/Tag mit zusätzlicher Kaltwasserbereitung benötigt.

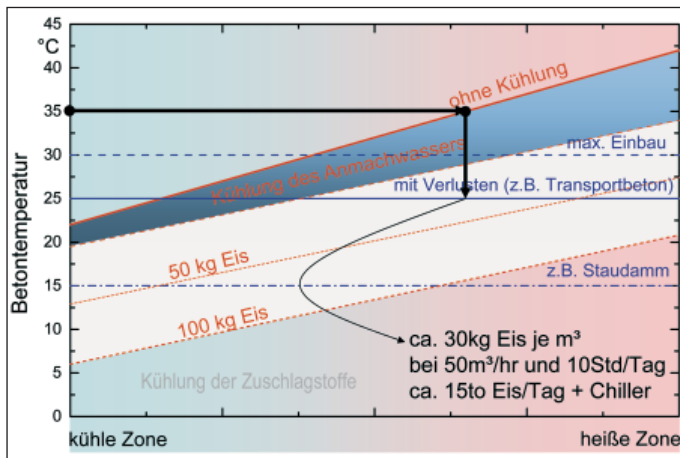


Bild 3:



Bild 4: Ausführungsbeispiel Kaltwasserbereitung

Das Bild 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel von einer Kaltwasserbereitungsanlage, die von 50 kW bis 1.500 kW pro Einheit verfügbar ist. Auf mögliche Kühlungsvarianten mit Stickstoff, bei denen es heute Weiterentwicklungen unter Verwendung des Heizungsluftgebläses und integrierter Wasserkühlung gibt, wird hier nicht weiter eingegangen.

Eine oft praktizierte Lösung ist das Einblasen von Stickstoff in den Fahrnischer (Bild 5). Eine ca. 3,5 m lange Lanze wird ca. 2 m in die drehende Trommel eingeführt. Hierbei werden für eine Abkühlung von 10 °C ca. 80 kg Flüssiggas pro m<sup>3</sup> benötigt. Um die Betontemperatur um 4 °C zu senken, werden ca. 5 Min. benötigt. Wird der Beton zur Baustelle transportiert, ist eine Beschattung der Mischtrommel und des Wassertankes mit optionaler Besprühung in heißen Ländern eine sinnvolle Ergänzung.



Bild 5: Ausführungsbeispiel Kühlung mit flüssigem Stickstoff

Ist eine hohe Kühlleistung notwendig, so werden üblicherweise Scherbeneisanlagen mit Leistungen zwischen 5 und 200 t/Tag eingesetzt (Bild 6). Das vorgekühlte Wasser wird in der Eismaschine gefroren und mit einem umlaufenden Kratzer zu Scherbeneis verarbeitet.



Bild 6: Ausführungsbeispiel Scherbeneisanlage

Das Scherbeneis hat durch die Umwandlungsenergie ein größeres Kühlpotenzial, schmilzt durch die geringe Dicke schnell ab, ist leicht zu lagern und mittels Eisschnecke gut zu transportieren und zu dosieren.

Kommen wir nun zu Anlagen, bei denen es notwendig wird die Zuschläge zu kühlen, wie es im Staudambau allgemein üblich ist. Hier kann aufgrund des niedrigen Zementgehaltes von ca. 150 kg/m<sup>3</sup> auch relativ wenig Kaltwasser bzw. Eis zugegeben werden.



Bild 7: Kühltrommel (Projekt Songda II Vietnam)

Bei diesem Projekt in Vietnam wurde eine Frischbetontemperatur von 8 °C gefordert. Realisiert wurde die Temperatur durch Abkühlung der Zuschläge von 27 °C auf 6 °C in einem abgedeckten Vorsilo, in welchem die Körnungen > 5 mm mit 3 °C kaltem Wasser besprüht wurden. Das zusätzlich dosierte Scherbeneis gleicht die Temperatur des ungekühlten Sandes und des Zements aus (Bild 7).

Die Körnungen werden vom Kühlsilo über ein Förderband zum Reihensilo befördert. Hier kann optional eine zusätzliche Besprühung mit Kaltwasser zugeschaltet werden. Über dem Reihensilo sind Entwässerungssiebe installiert. Das hier ankommende Wasser wird über Rinnen und eine Sedimentation in das Kühlbecken zurückgeleitet.

Eine andere Möglichkeit Gesteinskörnungen zu kühlen zeigt das nächste Beispiel, ein Staudammprojekt in Myanmar (Bild 8). Hier wird das grobe Material auf Halde (Stockpiles) gelagert und unterirdisch über Bandsysteme auf das Kühlband geleitet. Sand und Zement werden

**Bild 8: Kühlband (Projekt „Yewa“ Myanmar)**



**Bild 9: Kühlband (Projekt „Yewa“ Myanmar)**



nicht gekühlt. Deren Temperaturen wird über Scherebeis ausgeglichen.

Das Kühlband (Weltbelt) ist in einer isolierten Galerie untergebracht, an deren Ende Entwässerungssiebe die Materialtrennung vornehmen. Anfallendes Schlammwasser wird über Schrägplattenklärer gereinigt und dem weiteren Kühlprozess wieder zugeführt (Bild 9).

**Tabelle 3: Betonwärmung – Wie? Übliche Methode und Ihr Effekt**

|                       | Effekt | Bemerkung   |
|-----------------------|--------|---|
| Erwärmung des Wassers | klein  | wassertemperaturen über 50°C bewirken direkt mit Zement erhöhtes Schwinden und Festigkeitsverlust. Wasser mit Temperaturen von 100 °C kann durch Vormischen ohne Zement verwendet werden. |

**Tabelle 4: Erwärmung der Zuschläge**

| Methode                   | Effekt | Bemerkung   |
|---------------------------|--------|---|
| 1) Wasserdampf            | groß   | größte Energieeinbringung (Hochdruckdampf)<br>Nachteil: Feuchte in Gesteinskörnung<br>Vorteil: kleine Leitungsquerschnitte  |
| 2) Heißluft erwärmung     | groß   | Nachteil: Größere Leitungsquerschnitte sind erforderlich.<br>Vorteil: kein zusätzliches Wasser in den Gesteinskörnungen; Anlage kann durch kleine Erweiterungsmaßnahmen auch zum Kühlen verwendet werden (Stickstoffkühlung). |
| 3) Dampfzugabe in Mischer | groß   | Gezielte Temperatur kann erreicht werden.   |

**Bild 10: Horizontale und vertikale Bauweise in isolierter Ausführung**



Das Kühlband hat eine Breite von 1.600 mm und läuft mit 0,35 m/s sehr langsam. In einem bestimmten Abstand fehlen die seitlichen Führungsrollen, um einen Wasserablauf zu ermöglichen. Der Kühleffekt wird durch ein geneigtes Band verbessert.

Der folgende Kurzüberblick über die Bereitung von Warmbeton stellt den bekannten Stand der Maschinenteknik dar. Die Methoden und Effekte sind ähnlich wie bei der Kühlung (Tabelle 3; 4).

### Betonwärmung – Wie?

Das Bild 10 zeigt horizontale und vertikale Mischanlagen in isolierter Bauweise. Diese sind entweder mit kompl. geschlossenen Rundsilos oder klappbarer Reihensiloabdeckung ausgeführt.

Zur Beheizung kommen meist kombinierte Warmwasser- und Warmluftheizungen in mobiler (Container) und stationärer Ausführung zum Einsatz (Bild 11). Die erzeugte Warmluft wird dann über Leitungssysteme und Verteilersysteme zu den Gesteinskörnungen gebracht.

Eine zusätzliche Möglichkeit für die Betonwärmung bietet die Dampfinjektion über eine Drehdurchführung im Ringtellermischer (Bild 12).

### Zusammenfassung

Die hier genannten Tabellen und Ausführungen können natürlich in der Kürze nur einen groben Überblick geben. Da die einzelnen Anwendungsfälle sich doch stets im Detail unterscheiden, ist es immer sinnvoll, sich von Fachfirmen beraten zu lassen.

### Schrifttum

- Sonderdrucke Fa. Linde
- Schulungsunterlagen Fa. Hansa Industrieanlagen Senden



*Bild 11: Kombinierte Warmwasser und Warmluftheizung in mobiler und stationärer Ausführung*



*Bild 12: Dampfinjektion für Ringtellermischer (Niederdrucksystem)*