

Temperatursteuerung von Beton in Theorie und Praxis

Robert Pree
 Asamer & Hufnagl, Ohlsdorf

1 Einleitung

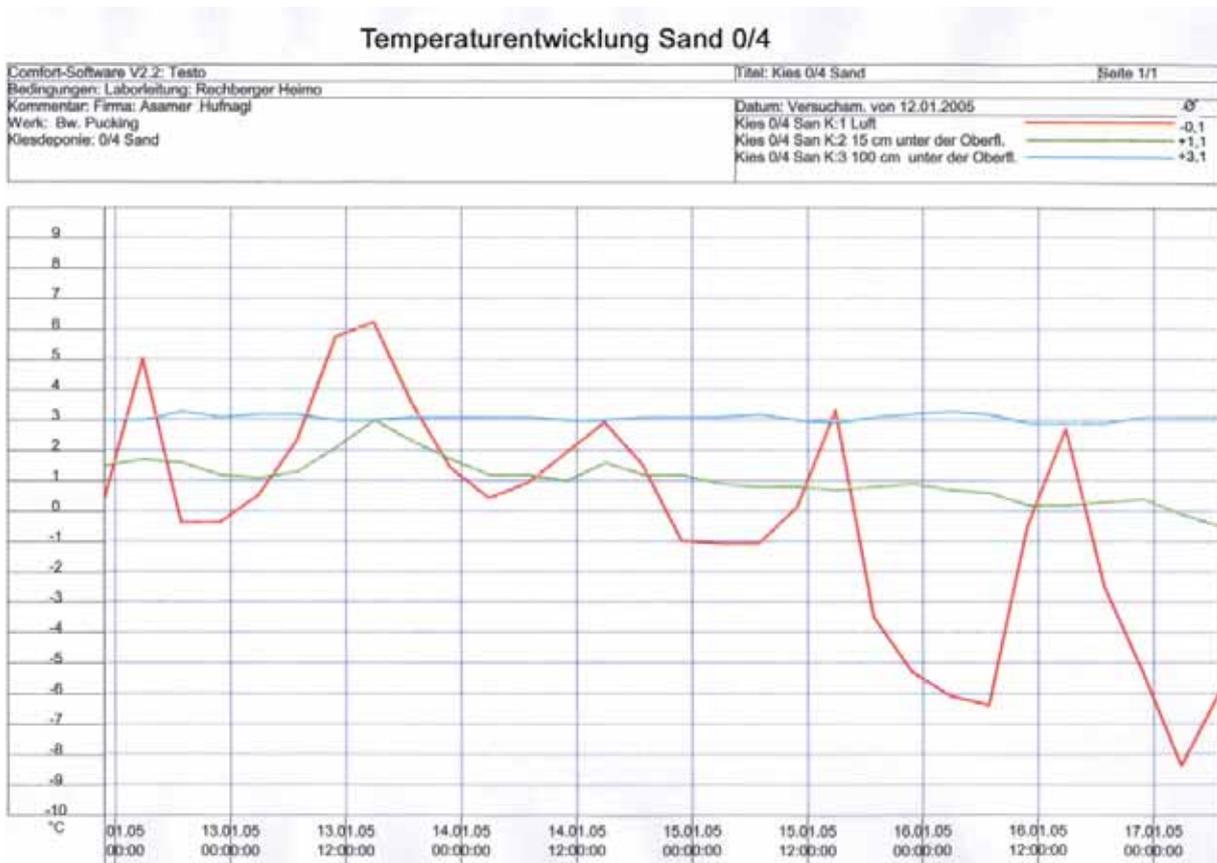
Die Temperatursteuerung ist ein wichtiger Faktor bei der Herstellung von Frischbeton bei kühler und heißer Witterung. Die verschiedenen Normen geben vor, welche Temperaturen bei welcher Witterung der zu verwendende Beton haben muss.

Um diese Kriterien einhalten zu können und ganzjährig eine gleich bleibende Qualität zu erzielen, ist es unbedingt erforderlich, Betonanlagen mit entsprechenden Heiz- und Kühlanlagen auszustatten.

2 Heizen

2.1 Betonieren bei kühler Witterung

Die Zuschlagstoffe auf den Deponien bzw. auf dem Freigelände nehmen annähernd die durchschnittliche Außentemperatur an (siehe Grafik A). Zemente haben in den Wintermonaten eine Durchschnittstemperatur von +50 °C. Wasser aus Brunnen bzw. Ortswasserleitungen liegen bei ca. +7-8 °C. Würde man diese Komponenten ohne Beheizung der Zuschlagstoffe bzw. ohne Erwärmung des Wassers für Beton verwenden, käme bei einer Außentemperatur von 0 °C, d. h. Kiestemperatur ca. 2,5 °C, eine Betontemperatur von +8,19 °C zu Stande.



Grafik A: Anhand dieser Grafik ist ersichtlich, wie sich die Temperatur der Rohmaterialien auf den Kiesfreiflächen entwickelt. Anzumerken ist, dass sich die Kiestemperatur zur Außentemperatur sehr träge verhält, d. h. kurzfristige Tageserwärmungen wirken sich nicht unmittelbar auf die Temperatur der Zuschlagstoffe aus.

Die ÖNORM 4710-1 gibt die Betontemperatur bei kühler Witterung genau vor. Der Beton muss bei Lufttemperaturen an der Einbaustelle ab +3 °C beim Einbringen eine Mindesttemperatur von +5 °C und bei unter +3 °C Lufttemperatur zwischen +10 °C und +25 °C haben (es kann jedoch nach Vereinbarung mit dem Transportbetonhersteller eine Sonderregelung über die Frischbetontemperatur an der Übergabestelle getroffen werden. Hierfür sind zusätzliche Maßnahmen am Bauwerk erforderlich).

Bei der Richtlinie für Weiße Wannen ist die ÖNORM 4710-1 einzuhalten.

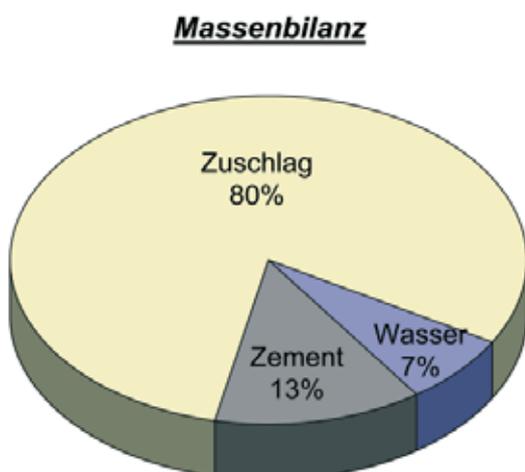
Weitere Angaben für Mindesttemperaturen sind in den jeweils gültigen ÖNORMEN, RVS und Richtlinien nachzulesen.

2.2 Möglichkeiten zur Erwärmung des Frischbetons

Zuschläge:

- Zuschläge können durch Bedampfen bzw. durch Heißluftzufuhr bei der Anlieferung und beim Einbringen in die Lagerstätten erwärmt werden.
- Das Beheizen der Zuschläge in den Kiesvorratssilos erfolgt ebenfalls durch Bedampfen oder Heißluftzufuhr.
- Während der Dosierung ist das Erwärmen der Zuschläge auch durch Bedampfen oder Heißluftzufuhr möglich.

Zugabewasser:



Diese Grafik zeigt, dass der größte Anteil an 1 m³ Frischbeton der Zuschlag ist, somit erzielt man mit der Erwärmung des Zuschlages den besten Effekt. Zweitrangig ist die Erwärmung des Wasser. Der Anteil Zement bleibt unberücksichtigt, da es keine Erwärmungsmöglichkeiten für Zement im Frischbetonwerk gibt.

- Zugabewasser wird in den meisten Fällen mit Heizanlagen auf +60 °C erwärmt. Die Erwärmung auf +60 °C ist die max. Temperatur, die direkt als Anmachwasser im Zwangsmischer beigemischt werden darf (bei höheren Temperaturen Regulierung durch Beimengen von Kaltwasser).

Zement:

- Für Zement ist keine Erwärmung vorgesehen, die durchschnittliche Anlieferungstemperaturen, im Winter beträgt +50 °C.

Beispiel:

	1	2	3
Temperatur Zuschlag	+2,5 °C	+2,5 °C	+20 °C
Temperatur Zement	+50 °C	+50 °C	+50 °C
Gewicht Zuschlag	1.930 kg	1.930 kg	1.930 kg
Gewicht Zement	315 kg	315 kg	315 kg
Gewicht Wasser	101 kg	101 kg	101 kg
Eigenfeuchte Zuschlag	64 kg	64 kg	64 kg
Temperatur Wasser	+7 °C	+48 °C	+7 °C
Temperatur Frischbeton	+8,19 °C	+14,47 °C	+21,16 °C

2.3 Technische Ausrüstung

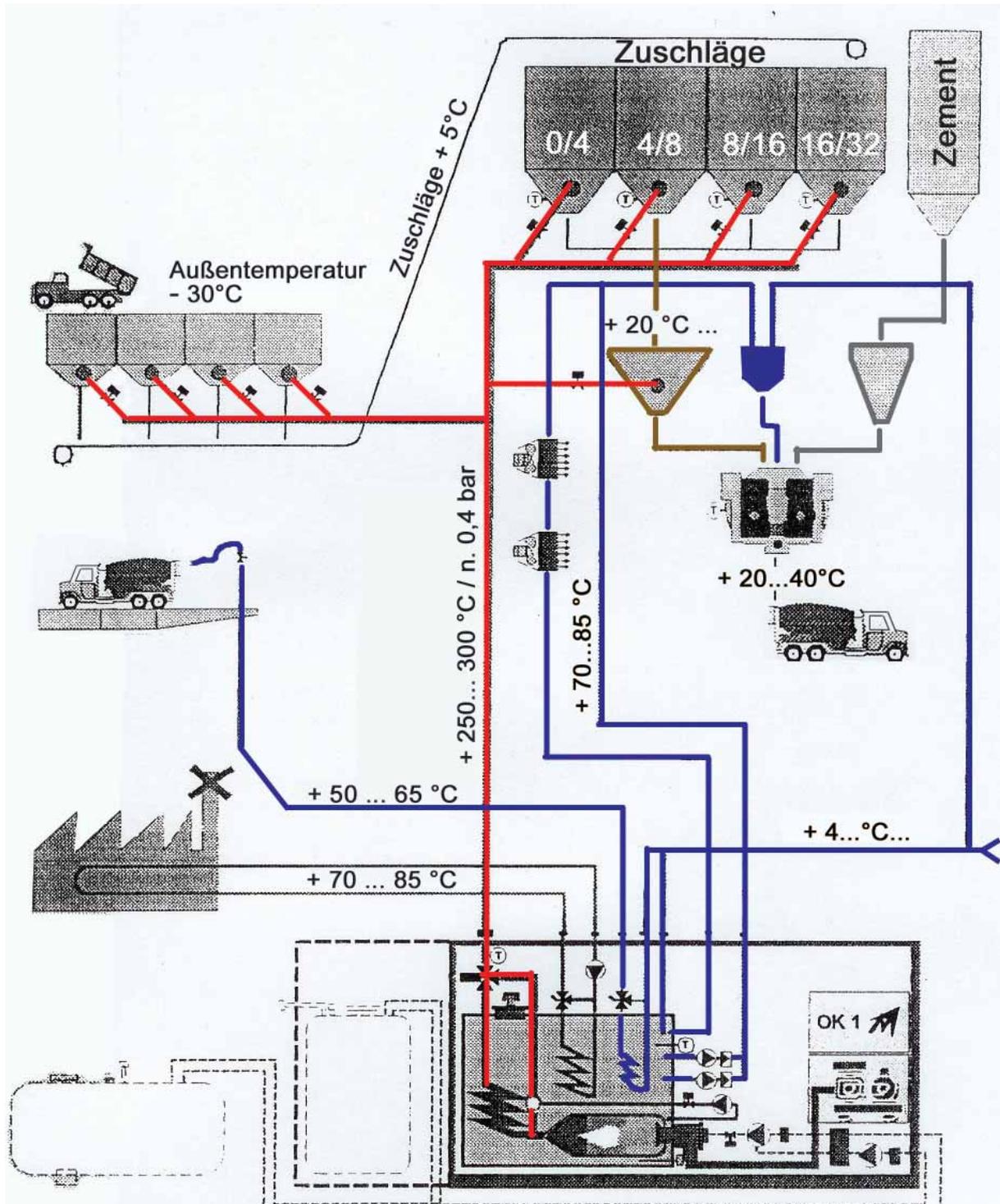
Die derzeit gängigste Anlage zur Erwärmung von Zuschlagstoffen und Wasser ist die Turbomatic (Energieanlage Typ PMC-750 bzw. 1000).

- Beheizen der Zuschlagstoffe im Aufgabebunker
- Beheizen der Zuschlagstoffe im Silo
- Bedampfen der Zuschlagstoffe bei der Dosierung
- Erwärmung des Anmachwassers

Heizungsprinzip: Das aus der Brennkammer kommende heiße Verbrennungsgas, ca. 1.250 °C heiß, wird in den Turbodampferzeuger eingeleitet, wo das Befeuchtungswasser beigespritzt und damit die Temperatur der Verbrennungsgase auf 250-300 °C herabgesetzt wird. „Turbogas“ wird durch die zu erwärmenden Zuschlagstoffe geleitet, wobei nahezu 100 % der Wärmeenergie in die Zuschlagstoffe übergehen. Durch das feuchte „Turbogas“ bleibt

das Feuchtigkeitsniveau der Zuschlagstoffe nahezu konstant. Die „Turbogaserwärmung“ wird für das Auftauen der Zuschlagstoffe, das

Erhalten von Wärme in den Vorratssilos und für die Produktion von Warmbeton benötigt.

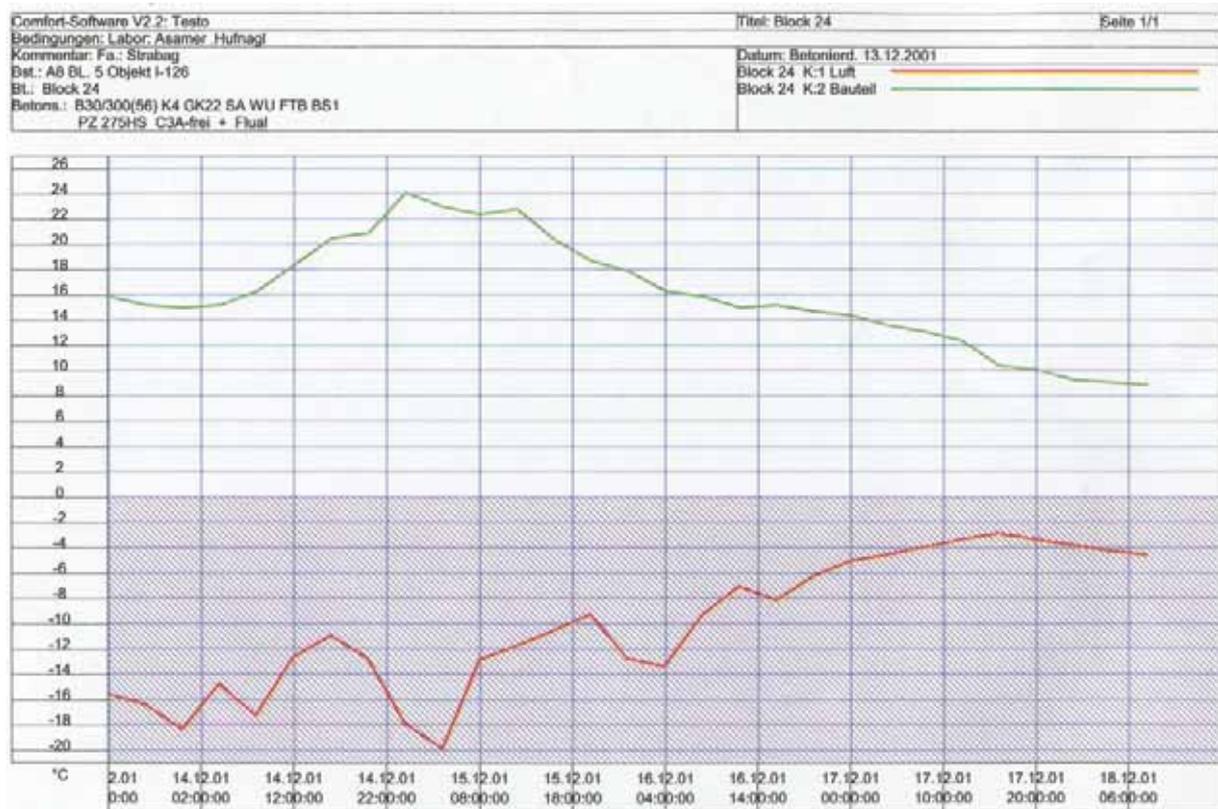


Heizungsprinzip der TURBOMATIC

Mit diesem Heizsystem kann bei voller Auslastung und einer Lufttemperatur von bis -30 °C eine Frischbetontemperatur in der Anlage von $+20\text{ °C}$ bis $+40\text{ °C}$ erreicht werden. Stundenleistung für Frischbeton: $80\text{--}100\text{ m}^3$.

2.4 Erprobte Baustellenpraxis

Baustelle:	A8 Innkreisautobahn BL. 5 Obj. I -126	
Bauteil:	Tunnelblock offene Bauweise	
Betonsorte:	B30/300 K4 GK22 SA WU FTB BS1 PZ 275HS (C25/30(56) F45 GK22 (BS1C) CEM I 32,5R C ₃ A-frei	
Betonierdatum:	13.12.2001	
Lieferwerk:	Asamer & Hufnagl Werk Vorchdorf	
Transportzeit u. Einbauzeit:	ca. 40 Min. Werk – Baustelle	
Liefermenge:	1.000 m ³ in 12-14 Stunden	
Betonierbeginn:	06.00 Uhr	
Lufttemperatur:	05:00 Uhr	ca. 0,0 °C
	16:00 Uhr	ca. -16,0 °C
	02:00 Uhr	ca. -18,5 °C
Am nächsten Tag nach der Betonierung	23:00 Uhr	ca. -20,0 °C



Dieser Bauteil erforderte eine besondere Maßnahme, da ein überraschender Kälteeinbruch stattfand. Obwohl um 5:00 Uhr morgens beim Beginn der Beladung der Fahrmaschine die Lufttemperatur noch ca. 0 °C betrug, sank diese im Laufe des Tages bis auf -18 °C ab. Trotz dieser tiefen Temperaturen – und obwohl ein Betonieren zu diesem Zeitpunkt gemäß ÖNORM 4710-1 bzw. Richtlinie „Weiße Wanne“ nicht mehr ausgeführt werden sollte – wurden die notwendigen Frischbetontemperaturen und damit die entsprechenden Festigkeitsentwick-

lungen erreicht. Die Frischbetontemperatur an der Einbaustelle betrug ständig +15 °C bis +16 °C. Die maximale Kerntemperatur im Bauwerk betrug +24 °C und wurde noch nach vier Tagen mit +10 °C gemessen, obwohl die Lufttemperaturen zwischenzeitlich auf -20 °C abgesunken waren.

Kenndaten des Frischbetons - Baustelle A8 Innkreisautobahn:

- B30/300 K4 GK22 SA WU FTB BS1
PZ 275HS

(C25/30(56) F52 GK22 (BS1C) CEM I 32,5R C₃A-frei)

- Betonausgangstemperatur im Mischwerk: ca. +20 °C
- Beton-Einbautemperatur auf der Baustelle (Transport und Einbauzeit ca. 50 Min.) bei Lufttemperatur -16 °C an der Einbaustelle rd. +16 °C

Nachfolgende Festigkeitsuntersuchungen am Bauteil bestätigten, dass die geforderten Betonkennwerte erreicht wurden.

Lediglich Ausbesserungen an der Betonoberfläche der Decke waren erforderlich, da das Verlegen der Bauschuttmatten mit Verdrückungen des frischen Betons verbunden war.



2.5 Kosten

Anschaffungswert Heizsystem
Reparatur- und Wartungskosten
Heizölverbrauch



Erfahrungswert EUR 3,60/m³ bei großen Betonmengen
Im Normalbetrieb während der kalten Jahreszeit
liegen die Heizkosten zwischen EUR 5,- bis 7,-/m³



Polarmatic



Container

Die Polarmatic Turbomatic ist in Containerbauweise gefertigt und kann somit für alle stationären bzw. mobilen Betonmischanlagen verwendet und eingesetzt werden.

3 Kühlen

3.1 Betonieren bei heißer Witterung

Maßnahmen bei Lufttemperaturen über 28 °C:

- Auswahl der Betonzusammensetzung
- Kühlen des Zuschlagstoffes (Sand, Kies)
- Kühlen des Frischbetons
- Einbaumaßnahmen

3.2 Betonieren in der kühlen Tageszeit ist zu bevorzugen

3.2 Maximale Frischbetontemperaturen bei heißer Witterung

Nach ÖNORM B4710-1 darf die Frischbetontemperatur beim Einbau in die Schalung +27 °C nicht überschreiten. Ausnahme: Die Frischbe-

tontemperatur kann dann höher liegen, wenn zumindest an 2 charakteristischen Betonsorten speziell auf diese Temperaturen ausgelegte



Beispiel für Betoneinbau bei heißer Witterung: Die kühlen Nachtstunden werden genützt.

Erstprüfungen vorliegen. Eine Frischbetontemperatur von +32 °C darf nur dann überschritten werden, wenn der Einbau spätestens 30 Minuten nach der Wasserzugabe beim Mischen beendet ist.

Nach ÖNORM B4710-1

Wärmeentwicklungsklassen:

W40 +22 °C Einbautemperatur

W45 +27 °C Einbautemperatur

W55 +27 °C Einbautemperatur

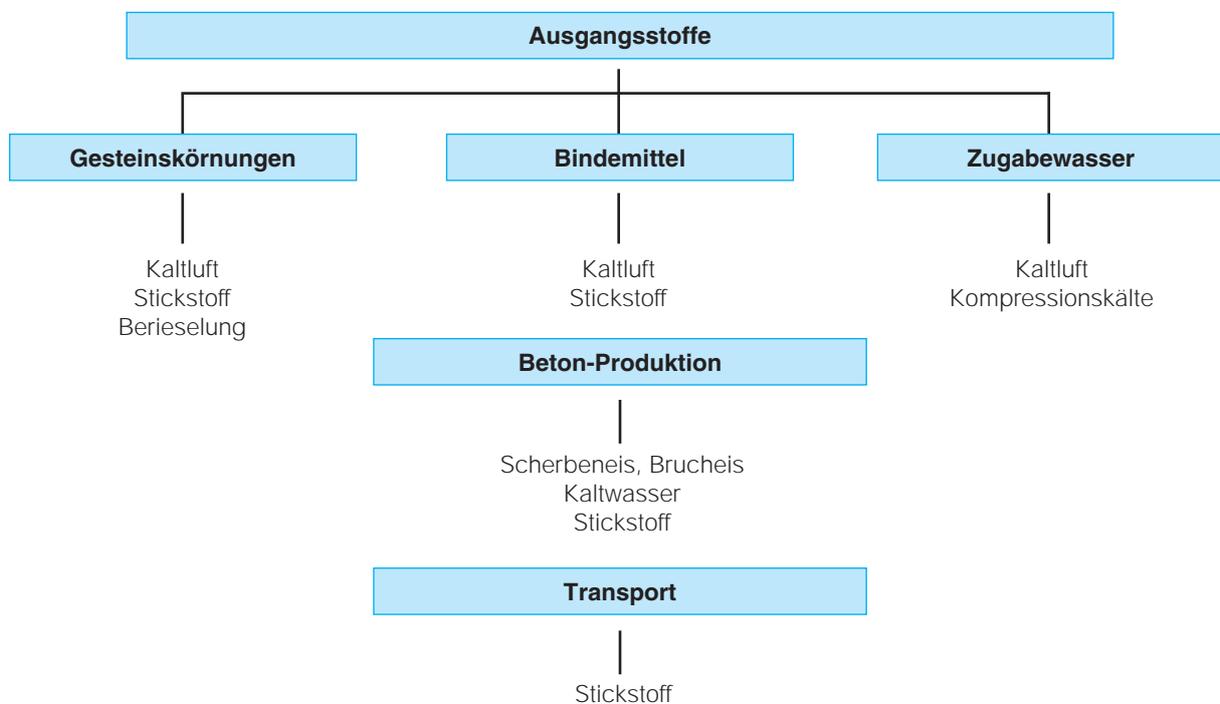
Nach Richtlinie „Weiße Wanne“

BS1 +22 °C Einbautemperatur

BS2 +27 °C Einbautemperatur

Weitere Angaben über max. Betontemperaturen können in den jeweils gültigen Ö-NORMEN, RVS und Richtlinien nachgelesen werden.

3.3 Möglichkeiten zur Kühlung



Für Frischbeton:

- Eiskühlung (Scherbeneis, Brucheis)
- Stickstoffkühlung
- Wasserkühlung
- Kaltluftkühlung

Für Zuschlagstoffe (Sand, Kies):

- Berieselung auf den Freideponien (Sprinkleranlage)

Der Kühleffekt der Wasserreduzierung durch Ersetzen von Eis ist nicht immer ausreichend, um hohe Betontemperaturen herabzukühlen. Darüber hinaus verursacht die Kühlung durch Scherben- oder Brucheis bzw. Stickstoff extrem hohe Kosten. Daher ist es in der Praxis unbedingt erforderlich, die Temperatur des

Zuschlagstoffes Kies (= größter Anteil im Beton) zu reduzieren (z. B. mittels Sprinkleranlage).

3.4 Technische Ausrüstung

3.4.1 Eiskühlung (Scherbeneis, Brucheis)

Die gängigste Form bei Betonkühlung für hohe Tagesproduktionen ist die Brucheisanlage. Diese Anlage befindet sich in einem geschlossenen Container und ist steckerfertig. Sie wird nur an Wasserleitung und Elektrik angeschlossen. Aus dem Wasservorratsbehälter fließt Wasser in den Zylinder des Eisbereiters. Um den Zylinder ist eine Kühlschlange gelegt, die das Wasser an der Innenseite des Zylinders bei einer Verdampfungstemperatur von -12 °C bis -30 °C gefriert.



Brucheisanlage



Eislager für 40 Tonnen Brucheis

Das Eis wird durch die Schnecke kontinuierlich in einer sehr dünnen Gefrierschicht von der Zylinderinnenwand abgeschält und nach oben gefördert. Dort wird das Eis hartgepresst, nachgefroren und anschließend gebrochen. Das gebrochene Eis wird entweder über Förderbänder oder Förderschnecken direkt in den Zwangsmischer bzw. in die Kiesvorverwiegung befördert.

Vorteile

- konstante Produktion
- keine Verzögerung bei der Mischzeit (Brucheis wird direkt in den Zwangsmi-

- scher bzw. in die Zuschlagstoffewaage beigemengt)
- gleich bleibende Betontemperatur durch exakte Dosierung
- produziert auch Kühlwasser mit +1 °C
- kostengünstiger als Stickstoffkühlung (bei Großmengen)

Nachteile

- vorproduziertes Eis hat eine maximale Haltbarkeit von 3-4 Tagen
- begrenzte Betonkühlung aufgrund der Eistemperatur (max. -10 °C)
- hohe Investitions- und Energiekosten (bei geringen Tagesproduktionen)
- Standortgenehmigung in Österreich erforderlich

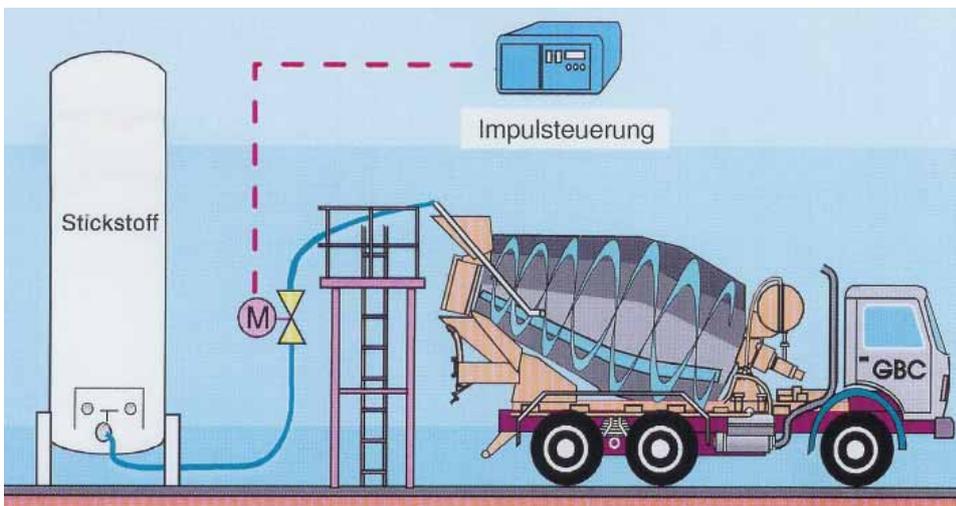
3.4.2 Stickstoffkühlung



Stickstoffkühlung

Stickstoffkühlung kann angewendet werden

- als Lanzenkühlung im Fahrmischer
- zur Kühlung im Zwangsmischer
- für die Zementkühlung
- zur Kühlung des Anmachwassers



Lanzenkühlung: nur geeignet für Kleinmengen, da im Durchschnitt bei einer Temperaturreduzierung von 8 °C ca. 20 Takte (= ca. 50 kg Stickstoff) erforderlich sind. Die Kühlzeit pro Fahrmischer beträgt ca. 20 Minuten.

Die wirtschaftlichste Kühlmethode ist die Lanzenkühlung im Fahrmischer. Diese Kühlung ist von den 4 Verfahrensvarianten die effizienteste mit dem geringstem Aufwand.

3.4.3 Wasserkühlung

Keine ausreichende Kühlung gewährleistet, daher nur bedingt einsetzbar. Eine Kühlung auf +1 °C ist möglich, allerdings erhöht sich bei höherem Wasserbedarf die Wassertemperatur auf bis zu +8 °C. Daher ist die Wasserkühlung für hohe Tagesproduktionen nicht geeignet.

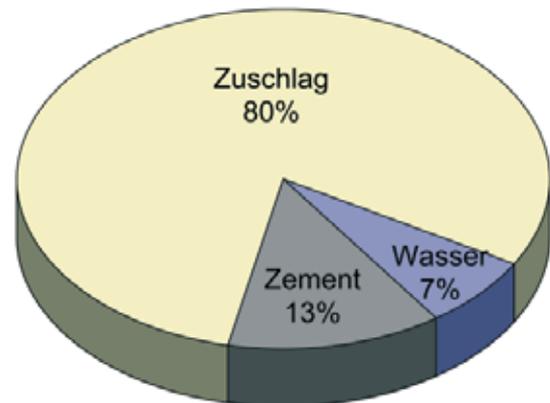
3.4.4 Kaltluftkühlung

Basiert auf dem Prinzip der Stickstoffkühlung für Zuschlagstoffe. Diese Kühlung ist ebenfalls für Kleinmengen geeignet. Vorsicht: Zuschlagstoffe im Silo können vereisen.

3.4.5 Berieselung auf den Freideponien (Sprinkleranlage)

Um die Temperatur bei Kies herabzusetzen, ist es erforderlich, den Kies mit einer Sprinkleranlage zu befeuchten. Um die Verdunstungskälte bestens auszunutzen, ist es von Vorteil, den Kies 5 Minuten mit Wasser zu besprühen, gefolgt von 30 Minuten Austrocknungszeit usw.

Massenbilanz

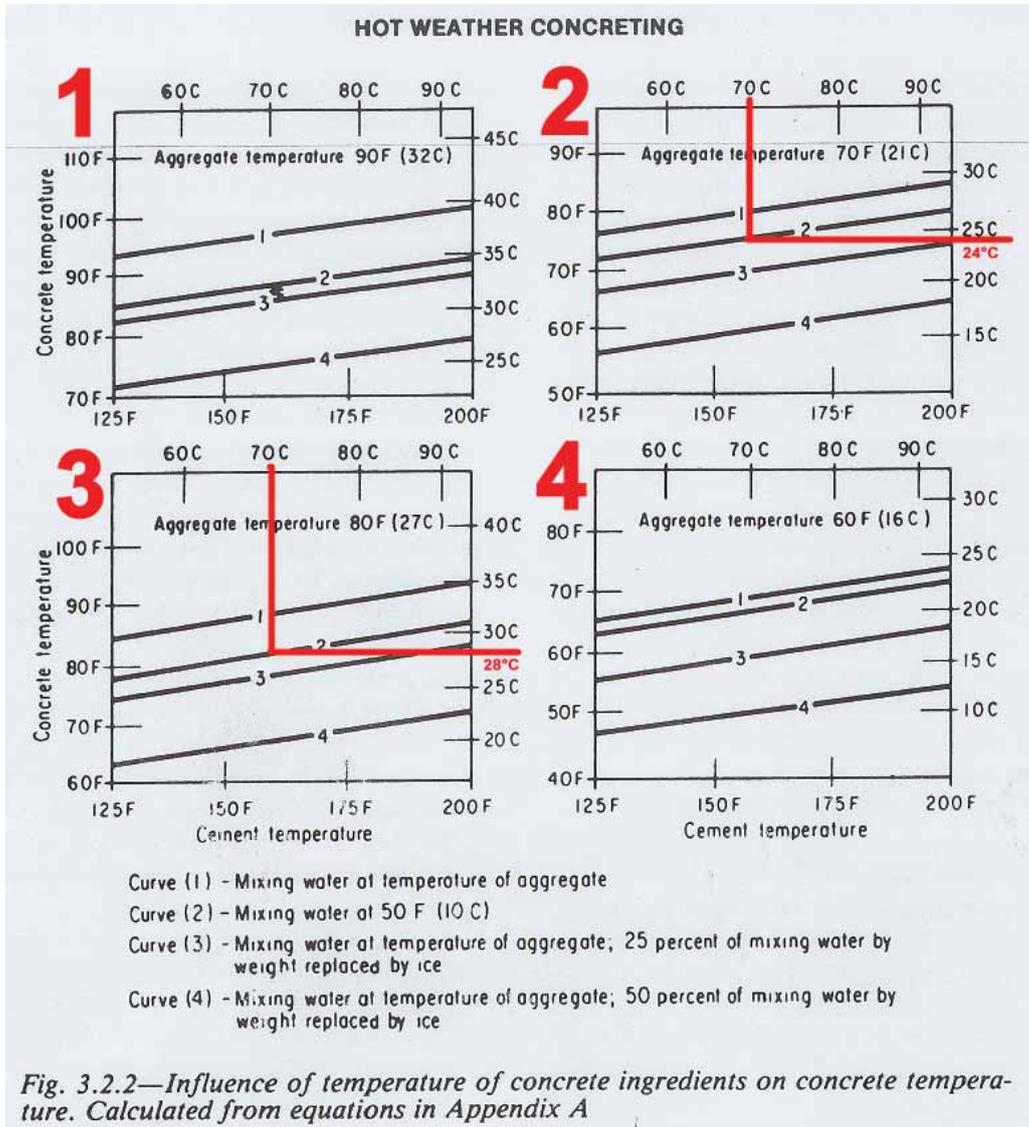


Der größte Anteil an 1 m³ Frischbeton ist der Zuschlag, somit ist es bei heißer Witterung unbedingt erforderlich, auch den Zuschlagstoff zu kühlen. Vor allem deshalb, weil es die kostengünstigste Möglichkeit der Frischbetonkühlung ist.

Da der Kies die durchschnittliche Tagestemperatur annimmt, d. h. in den Sommermonaten ca. +25 °C, ist es mit diesem System möglich, die Temperatur des Zuschlagstoffes auf +20-21 °C zu halten.



Sprinkleranlage zur Kühlung des Zuschlagstoffes

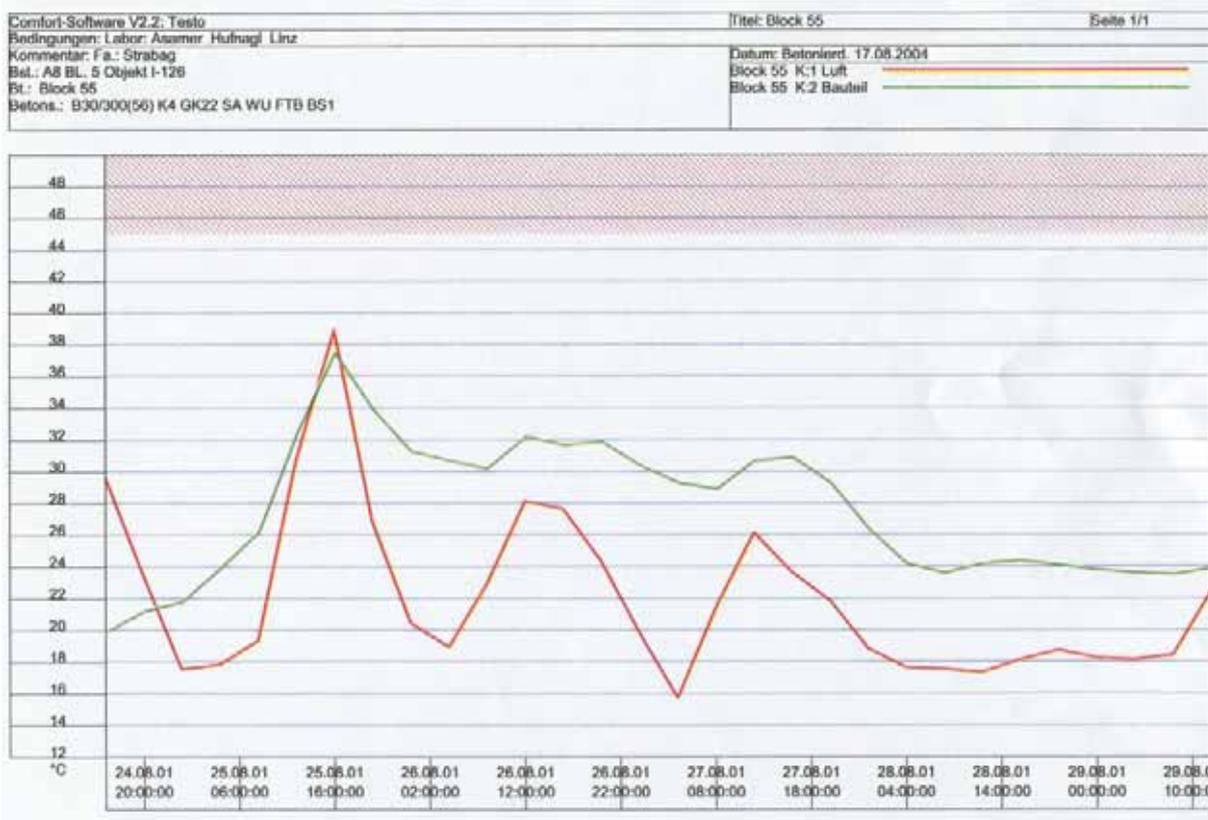


Anhand der Abbildungen 2 und 3 ist erkennbar, wie sich die Kühlung der Zuschlagstoffe auf die Betontemperatur auswirkt.

Abbildung 2: Zuschlagstofftemperatur +21 °C
 – Wassertemperatur +10 °C,
 Abbildung 3: Zuschlagstofftemperatur +27 °C
 – Wassertemperatur +10 °C

3.5 Erprobte Baustellenpraxis mit Brucheis

Baustelle:	A8 Innkreisautobahn BL. 5 Obj. I -126	
Bauteil:	Tunnelblock offene Bauweise	
Betonsorte:	B30/300 K4 GK22 SA WU FTB BS1 PZ 275HS (C25/30(56) F45 GK22 (BS1C) CEM I 32,5R C ₃ A-frei	
Betonierdatum:	24.8.2001	
Lieferwerk:	Asamer & Hufnagl Werk Vorchdorf	
Transportzeit u. Einbauzeit:	ca. 40 Min. Werk – Baustelle	
Liefermenge:	1.000 m ³	12-14 Stunden
Betonierbeginn:	06:00 Uhr	
Lufttemperatur:	13:00 Uhr	etwa +30 °C
Am darauf folgenden Tag nach der Betonierung:	Lufttemperatur: 15:00 Uhr	ca. +38 °C



Kenndaten des Frischbetons:

- B30/300 K4 GK22 SA WU FTB BS1
 PZ 275HS
 (C25/30(56) F52 GK22 (BS1C) CEM I
 32,5R C₃A-frei)
- Frischbetontemperatur **ohne Kühlung im Mischwerk:** rd. +28 °C
- Frischbetontemperatur **mit Kühlung im Mischwerk:** rd. +17 °C
 Beton-Einbautemperatur auf der Baustelle
 rd. +20 °C
 (Transport und Einbauzeit ca. 40 Min.)
 bei Lufttemperatur von +30°C an der Einbaustelle

Brucheisdosierung ca. 30-40 kg

3.6 Kosten

3.6.1 Brucheis Kühlung

Anschaffungskosten	ca. EUR 500.000,-
Energieaufwand	135 kW
Wartungskosten	ca. EUR 10.000,-/Jahr

Ist nur für Großbaustellen mit hohen Tagesleistungen wirtschaftlich!

3.6.2 Stickstoffkühlung:

Stehzeit Fahrmischer
 EUR 55,-/Stunde.....20 Min.
EUR 18,33/Fahrmischer

Kosten Stickstoff
 EUR 0,25/kg.....50 kg
EUR 12,50/Fahrmischer

Miete für Stickstoffanlage
 EUR 4.000,-/Jahr

Errichtungskosten
 EUR 12.000,- einmalig

Ist die optimale Einsatzmöglichkeit für kleine und mittlere Tagesleistungen!

4 Nachbehandlung

Zu beachten ist, dass nicht nur die Temperatursteuerung maßgeblich für die Qualität des Betons ist, sondern auch die richtige Nachbehandlung, die hauptsächlich im Verantwortungsbereich des Anwenders liegt.

Die Nachbehandlung der Oberfläche bei heißer Witterung dient

- zum Schutz gegen vorzeitiges Austrocknen (Rissebildung)
- zur Verhinderung von zu starkem Erwärmen oder Abkühlen
- und zur Verhinderung von zu starken Temperaturänderungen.

Beispiel für Nachbehandlung bei heißer Witterung

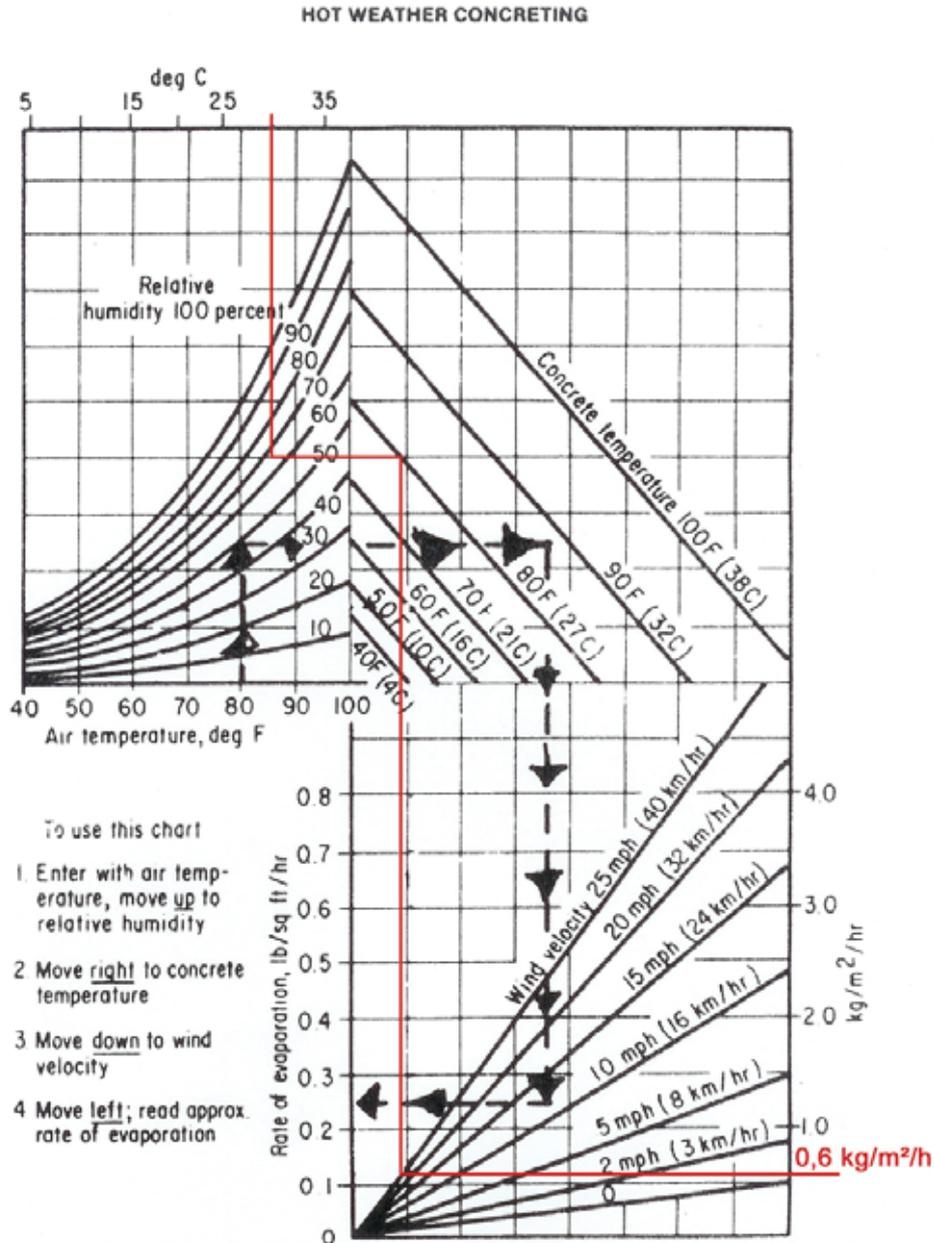


Fig. 2.1.5—Effect of concrete and air temperatures, relative humidity, and wind velocity on the rate of evaporation of surface moisture from concrete. This chart provides a graphic method of estimating the loss of surface moisture for various weather conditions. To use the chart, follow the four steps outlined above. If the rate of evaporation approaches 0.2 lb/ft²/hr (1 kg/m²/hr), precautions against plastic shrinkage cracking are necessary (Lerch 1957)

Anhand dieser Grafik ist erkennbar, welchen Einfluss die Luftfeuchtigkeit, Betontemperatur und Windgeschwindigkeit auf den Beton haben.
 Anmerkung: Mit der Nachbehandlung ist unmittelbar nach der Einbringung des Betons zu beginnen – Austrocknungsgefahr = Rissebildung!

Maßnahmen:

- Feuchthalten
- Abdecken (Folien, Bauschuttmatten)
- Aufsprühen von Nachbehandlungsmitteln, zweimaliger Auftrag, RVS 11.064-2
- Belassen der Schalung
- Nachbehandlungszeiten je nach Betonsorte zwischen 12 h und 14 Tagen

5 Zusammenfassung

Die Arten der richtigen Temperatursteuerungen hängen einzig und alleine von der Betonmenge bzw. der geforderten Betonqualität ab.

Rechenbeispiele können nur baustellenbezogen durchgeführt werden und sind für Betonwerke, die verschiedene Projekte beliefern, im Vorhinein nicht kalkulierbar. Daher werden bei Heizzuschlägen – sprich „Winterzuschlag“ – die Kosten pro m³ in Zeitperioden festgelegt (20.11. bis 10.3.). Bei den Kühlungen liegt das Risiko beim Betonproduzenten, da in den Normen festgelegt ist, dass die Vergütung für gekühlten Beton nur bei einem Tagesmittel von +19 °C und höher berechnet werden darf.

Anmerkung:

Bei Verrechnung der Kühlkosten bei +19 °C und höher gibt es den Erfahrungswert, dass über 70 % vom Betonhersteller ohne Weiterverrechnung aufzuwenden sind.

Bildverzeichnis

- Seite 20: Temperaturentwicklung Sand, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 22: Heizanlage Turbomatic, Quelle: Fa. Polarmatic
- Seite 23: Beispiel Wärmeentwicklung bei kühler Witterung, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 24: Bauschutzmatte, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 24: Heizanlage Turbomatic, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 24: Heizanlage in Containerbauweise, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 24: Betonierarbeiten bei Nacht (in Saudi-Arabien), Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 26: Firma KTI - Brucheanlage, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 26: Firma KTI – Brucheanlage von innen, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 26: Fahrmischer beim Kühlvorgang, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 26: Schematische Darstellung Stickstoffkühlung, Quelle: Linde
- Seite 27: Sprinkleranlage zur Kühlung von Zuschlagstoffen, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 28: Wärmevergleich bei unterschiedlichen Kiestemperaturen, Quelle: ACI – American Concrete Institute
- Seite 29: Beispiel Wärmeentwicklung bei heißer Witterung, Quelle: Asamer & Hufnagl
- Seite 30: Berechnung lt. Professor Lerch 1957, Quelle: ACI – American Concrete Institute