

Betonkühlung mit Scherbeneis

Technologie und Anwendung in der Praxis

Gebaut wird sommers wie winters, also bei Temperaturen im Minusbereich oder bei wesentlich über 30 °C, daher hatte die Betonerwärmung bzw. die Betonkühlung eigentlich schon immer eine große Bedeutung für eine qualitätsgerechte Erstellung der Bauwerke.

Die Frischbetontemperatur ist ein wesentlicher Parameter für die erzielbare Betonqualität, der in der Bauausführung beachtet werden muss. Daher soll die Frischbetontemperatur selbst in der warmen Jahreszeit möglichst gering sein.

Die Kühlmaßnahmen zur Einstellung einer gewünschten Frischbetontemperatur werden nachfolgend mit dem praxisüblichen Begriff "Betonkühlung" bezeichnet.

Dieser Ausdruck ist insofern unkorrekt, als dass nicht der Beton gekühlt wird, sondern Hauptkomponenten (in diesem Vortrag das Zugabewasser) gekühlt werden, die dann zu dem gewünschten Ergebnis führen.

Andere Bestandteile (Zusatzstoffe) der Mischung sind in der Regel thermodynamisch irrelevant und werden daher nicht weiter in Betracht gezogen.

In den nationalen Regelwerken sind die maximalen Frischbetontemperaturen grob auf +30 °C nach oben und +5 °C nach unten begrenzt. Die Frischbetontemperatur darf höher liegen, wenn spezielle, auf diese Temperatur ausgerichtete Erstprüfungen vorliegen.

Bei speziellen Bauten sind für den Frischbeton Temperaturgrenzen vorgeschrieben und in den Regelwerken hinterlegt. Es gibt abweichende Festlegungen von max. +25 °C an der Einbaustelle, bzw. noch niedrigere Festlegungen der Frischbetontemperatur (Wasserbauwerke, Tunnelbauwerke, Staudämme, ...).

Sowohl der Frisch- als auch der Festbeton muss die an ihn gestellten Anforderungen, die erwarteten Eigenschaften und die gewünschte Leistungsfähigkeit erfüllen.

Die hierfür notwendigen Festlegungen müssen vor der Bestellung des Transportbetons getroffen werden und in die Bestellung einfließen.

Die Betonhersteller halten zwar Sommer- und Winterrezepturen vor, um auf die unterschiedlichen Temperaturen reagieren zu können – dabei variiert dann die Zusammensetzung des Betons. Diese Betone müssen nicht bestellt werden, sondern werden seitens des Herstellers je nach den Witterungsbedingungen eingesetzt.

Beton nach Eigenschaften muss durch grundlegende Anforderungen und, falls erforderlich, durch zusätzliche Anforderungen festgelegt werden

Zusätzliche Anforderungen:

- besondere Arten oder Klassen von Zement (z.B. Zement mit niedriger Hydratationswärme)
- Anforderungen an die Frischbetontemperatur
- Festigkeitsentwicklung (siehe Tafel 1)
- Wärmeentwicklung während der Hydratation
- andere technische Anforderungen (z.B. besondere Oberflächenbeschaffenheit oder besonderes Einbringverfahren)

Wetter als größter Unsicherheitsfaktor in der Baubranche

Die Bauwirtschaft ist unmittelbar vom Wetter abhängig. Das Wetter bestimmt wann, wie lange und was gearbeitet werden kann.

So verzögert eine Schlechtwetterphase beispielsweise den Zeitplan, während Extremwetter Schäden verursachen können.

Die Höhe der Frischbetontemperatur ist im Wesentlichen von den saisonalen Bedingungen abhängig und kann nur in begrenztem Umfang bzw. nur mit entsprechendem technischem Aufwand gezielt beeinflusst werden.

Der Betonhersteller hat die Möglichkeit, die Frischbetontemperatur unterhalb von 30 °C zu senken. Jegliche Form der aktiven Frischbetonkühlung ist immer mit erheblichem Mehraufwand verbunden d.h. höhere Kosten bei der Herstellung. Diese erhöhten Kosten sind vom Verwender zu tragen.

Für eine Senkung der Frischbetontemperatur im Sommer besteht die einfachste Maßnahme darin, die Gesteinskörnungen zu beschatten und kühles Zugabewasser zu verwenden.

Die Frischbetontemperatur kann am einfachsten und auch am wirtschaftlichsten durch Erwärmen oder Abkühlen des Zugabewassers beeinflusst werden. Um auf Dauer Temperaturen unter z.B. +25 °C zu garantieren sind aktive Kühlmaßnahmen unvermeidbar.

Reichen diese „natürlichen“ Kühlmethoden zur Begrenzung der Frischbetontemperatur nicht aus, so ist der Austausch von Zugabewasser durch Eis wegen dessen hoher Schmelzwärme besonders geeignet.

Die wesentliche Kälteleistung des Eises liegt im Schmelzpunkt; die Temperatur des Eises spielt für die Gesamtkälteleistung praktisch keine Rolle.

Energiebedarf zur Eisproduktion:

Die Energie, die in Form von Kälteleistung später genutzt werden soll, muss zur Erzeugung des Eises zunächst eingesetzt werden. Für unterkühltes Eis (Eis unter 0°C) muss überproportional

viel Energie eingesetzt werden, da Eis selber eine isolierende Wirkung hat, die zur Unterkühlung überwunden werden muss.

Jeder Nutzer hat seine eigenen Anforderungen in Bezug auf die Eismenge und die Eisart. Von Bedeutung ist auch der Härtegrad, die Eisform und die Eisgröße.

In einem Restaurant hat man Anforderungen an Eis, die sicherlich von den Anforderungen in einem Fischgeschäft oder für eine aktive Kühlung von Frischbeton abweichen, aber alle verwenden Scherbeneis (Brucheis).

Scherbeneis ist eine technisch hergestellte Form von Eis. Scherbeneis besteht aus einzelnen Plättchen mit einer unregelmäßigen, scherbenartigen, leicht gewellten Form. Die Eisplättchen sind 1 bis 2 mm stark und haben eine Temperatur von zirka -7°C .

Scherbeneis eignet sich vor allem zur Kühlung von Prozessen bei direkter Verwendung nach der Produktion ohne längere Zwischenlagerung.

Der Vorteil von Scherbeneis liegt in der großen, trocken ausgefrorenen Oberfläche, über die ein optimaler Wärmeaustausch erfolgen kann, wodurch eine rasche und effiziente Abkühlung erreicht wird.

Zur Herstellung von Scherbeneis kommen Scherbeneismaschinen zum Einsatz. Es ist zu unterscheiden zwischen rotierenden und feststehenden Verdampfern; der feststehende Verdampfer vermeidet Kältemitteldichten

Bei einer Scherbeneismaschine wird beispielsweise Wasser in einen Vorratsbehälter gefüllt, in dem sich eine Edelstahlwalze befindet, dessen Wand über eine leistungsstarke Kältemaschine gekühlt wird. An der Zylinderwandung bildet sich Eis, welches von einem Schaber abgeschabt wird und dann in einen Vorratsbehälter fällt.

Scherbeneismaschinen können Eismengen zwischen 100 kg und mehreren Tonnen täglich produzieren.

Je kälter das Eis, desto leichter friert die Feuchtigkeit. Fällt an der Oberfläche eines Eisberges im Speicher Tauwasser an, so fließt dieses Tauwasser im Eis nach unten und gefriert an den Eisstücken, die es passiert = die Stücke frieren zusammen. Dieser Effekt wird immer stärker, je länger das Eis liegt und je stärker Feuchtigkeit nachkommt.

Daher neigt z.B. Scherbeneis von -7°C dazu, bereits nach einigen Stunden zu einem Klumpen zusammenzufrieren; dies läßt sich bei Lagerung in einem zusätzlich auf rund -5°C gekühlten Raum verzögern.

Brucheis bei $-0,5^{\circ}\text{C}$ besitzt die Eigenschaft, die Feuchtigkeit nicht nachzugefrieren, da die Temperaturdifferenz zur Feuchtigkeit zu gering ist. So läßt sich Brucheis auch bei Temperaturen

über 0°C (idealerweise bis 4° für geringen Tauverlust) tagelang lagern, ohne zusammenzufrieren. Es bildet sich lediglich an der Oberfläche eine leichte Harschschicht, darunter bleibt das Eis locker und körnig.

Der Einsatz der weltweit ersten Scherbeneisanlage erfolgte 1982 bei dem Bau von einem Wasserkraftwerk in Österreich.

Bauprojekte in Deutschland, bei denen Scherbeneisanlagen eingesetzt worden sind

Talsperre Leibis-Lichte: 2 Mischanlagen mit je einer Scherbeneisanlage, Baubeginn: 2002

Tunnel Reitersberg, Bayern, Bauherr DB, Baubeginn: 2009

Tunnel Silberberg, Thüringen, Bauherr DB, Baubeginn: 2009

Neubau Schleuse Dörverden, Niedersachsen, Baubeginn 2009, Transport von Eis von Minden

Neubau Flughafen Berlin Brandenburg von 2006 bis 2011

Bei Verwendung von Betonzusatzmitteln ist deren temperaturabhängige Wirkung zu beachten, daher muss bei der Herstellung die jeweilige Dosierung auf die Frischbetontemperatur abgestimmt werden.

Bei hohen Temperaturen sollte nur Frischwasser eingesetzt werden, da Recyclingwasser im Vergleich zu Frischwasser wärmer ist und die Betontemperatur daher ungünstig beeinflusst. Des Weiteren trägt Recyclingwasser abhängig von seiner Rohdichte Feststoff ein. Dies kann insbesondere bei hohen Frischbetontemperaturen problematisch werden, wenn dadurch weniger Wasser in den Beton dosiert wird als nach Mischungsberechnung vorgesehen ist. .

Überwachung: Sofern Vorgaben zur Frischbetontemperatur oder zur Temperaturverteilung und -entwicklung im Bauteil vorliegen, sollten entsprechende Temperaturmessungen vorgenommen und die Ergebnisse dokumentiert werden.

Risse gehören zwar zum Prinzip des Stahlbetons, in vielen Fällen sind diese jedoch unerwünscht.

Gerader bei massigen Bauteilen gilt es, bei der Wahl von Betonausgangsstoffen und Betonzusammensetzung einen optimalen Kompromiss zwischen der über die Expositionsklassen gesteuerten Dauerhaftigkeit der Betonsubstanz an sich auf der einen Seite und der Minimierung dauerhaftigkeitskritischer Risse bzw., Rissbreiten auf der anderen Seite zu finden.

Technologische Grenze

Es gelten jedoch die Grenzen, denen die Kühlrate von Scherbeneis unterworfen ist (Bilanz der Parameter "Zugabewassermasse", "Zugabewassertemperatur" und "Eismasse", sowie die maximale Gesteinstemperatur). Max. 15 K

Bei Verwendung von Scherbeneis sind die beiden Parameter "Zugabewassermasse" und "Eismasse" auf einen einzigen Parameter anzupassen, der der Zugabewassermenge entspricht, wobei der Eiskristallanteil so eingestellt werden muss, dass dieser den gewünschten Kühleffekt bewirkt.

Anmerkung: eine genaue Einregulierung der Eismasse ist messtechnisch nicht ohne Probleme und zudem teuer.

Bedingt durch den großen Einfluss der Frischbetontemperatur auf die Festigkeitsentwicklung und die Reißneigung der Betone ist es zweckmäßig, für niedrige (gekühlte) Frischbetontemperaturen gesonderte Betonzusammensetzungen festzulegen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die in diesem Vortrag Vorgelegten Formeln und Ansätze nur für eine erste Abschätzung der sich ergebenden Frischbetontemperatur verwendet werden sollen.

Im konkreten Einzelfall sind immer genauere Berechnungen und Versuche für die Herstellung von gekühltem Qualitätsbeton durch Verwendung von Scherbeneis auszuführen !