

Entwicklung eines teiladiabatischen Betonkalorimeters zur Bestimmung der Wärmefreisetzung von Betonen

Development of Semi-Adiabatic Calorimeter to Determine Heat of Hydration of Concrete

Hermerschmidt, W.; Nothnagel, R.; Budelmann, H.

Abstract

In massive concrete structures heat of hydration can cause high internal temperatures and therefore high thermal stresses that may induce cracking at early ages. With knowledge of the material properties, especially the heat release, the risk of thermal cracking at early ages can be calculated and reduced. The semi-adiabatic calorimeter developed at iBMB is a robust measuring method which allows the heat release measurement of concrete directly on site or at a concrete factory.

1. Einführung und Motivation

Die bei der Erhärtungsreaktion des Zements freiwerdende Hydratationswärme kann vor allem in massigen Betonbauteilen zu einem beträchtlichen Temperaturanstieg führen. Die infolge der abfließenden Hydratationswärme entstehenden Temperaturspannungen können eine frühe Schädigung des Betons verursachen. Mit genauerer Kenntnis der Betoneigenschaften, insbesondere der Wärmefreisetzung, kann die Gefahr der frühen Schädigung eingeschätzt und ggf. reduziert werden.

Zur Messung der Wärmefreisetzung existieren verschiedene Verfahren, die sich bzgl. Durchführungsaufwand und Ergebnisgenauigkeit teils stark unterscheiden. Aus den Nachteilen existierender Messmethoden entstand der Anreiz, einen besonders einfachen, robusten Versuchsaufbau zu entwickeln. Adiabatische Kalorimeter liefern zwar gute Ergebnisse, der Kostenaufwand für Anschaffung und Unterhaltung ist aber nicht unerheblich. Bei quasiadiabatischen Versuchen an großformatigen Betonblöcken stellt der hohe Materialbedarf und daraus folgende große Aufwand für Abbruch und Entsorgung einen deutlichen Nachteil dar. Die Berechnung der zu erwartenden Erwärmung aus der Hydratationswärme des Zements gibt meist nur ungenügend genaue Auskünfte über die zeitliche Entwicklung der Betontemperatur.

Das am iBMB entwickelte teiladiabatische Verfahren kommt ohne Regelungstechnik aus und kann bei nahezu beliebigen Umgebungsbedingungen angewendet werden, bei Bedarf auch direkt auf einer Baustelle oder in einem Transportbetonwerk, /1/, /2/.

2. Versuchsdurchführung

Es wurde ein würfelförmiger Probekörper mit 20 cm Kantenlänge gewählt, der allseitig von einer 10 cm dicken Dämmung aus extrudiertem Polystyrolhartschaum (XPS) umgeben ist. Die Dämmplatten wurden zu einer Würfelschalung zusammengeklebt und von innen mit Folie ausgekleidet.

Tabelle 1: Betonzusammensetzung

Zement CEM II/B-S 32,5 R	280 kg/m ³
Wasser	140 kg/m ³
Gesteinskörnung	1862 kg/m ³
Fließmittel	1,12 kg/m ³
Luftporenbildner	0,98 kg/m ³
w/z-Wert	0,4

Sofort nach der Herstellung wird der entsprechend Tabelle 1 zusammengesetzte Beton in die gedämmte Form eingebracht und die Messung der Temperaturen gestartet. Ein Temperaturfühler misst die Temperatur im Kern des Probekörpers, ein weiterer die Temperatur der Umgebungsluft, vgl. Bild 1.

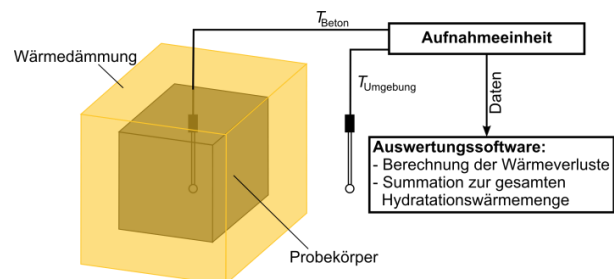


Bild 1: Versuchsaufbau

3. Messergebnisse

Bild 2 zeigt die Messergebnisse von zwei Versuchen, die mit demselben Beton unter verschiedenen Umgebungsbedingungen durchgeführt wurden. Versuch A wurde in

einem klimatisierten Raum bei konstanter Umgebungstemperatur durchgeführt, während Versuch B in einem Stahlschrank, der direkt der Bewitterung ausgesetzt war, durchgeführt wurde. Zur Überprüfung der Genauigkeit des teiladiabatischen Versuchs wurde die Wärmefreisetzung des Betons außerdem im adiabatischen Betonkalorimeter untersucht.

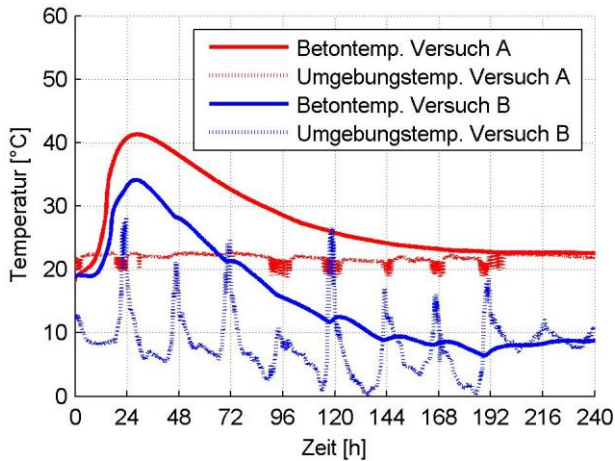


Bild 2: Messergebnisse aus den teiladiabatischen Versuchen

4. Versuchsauswertung und -ergebnisse

Der Grundgedanke der Versuchsauswertung ist die Aufteilung der während des Versuchs freigesetzten Hydrationswärme in drei Energieanteile: Wärmeenergie, die eine Temperaturerhöhung der Betonprobe bewirkt, Wärmeenergie, die aus dem System an die Umgebung abgegeben wird und Wärmeenergie, die zur Erwärmung der Versuchseinrichtung führt.

Der erste Anteil lässt sich direkt aus der Erwärmung der Betonprobe errechnen und beträgt

$$Q_s(t) = \rho_B \cdot c_B \cdot V_B \cdot (T_{B,meas}(t) - T_{B0}) \quad (1)$$

mit der zum Zeitpunkt t im Beton gespeicherten Wärmeenergie aus Hydrationswärme $Q_s(t)$, der Rohdichte des Betons ρ_B , der spezifische Wärmekapazität des Betons c_B , dem Betonvolumen V_B , der gemessenen Betontemperatur zum Zeitpunkt t $T_{B,meas}$ und der Frischbetontemperatur T_{B0} . Der zweite Anteil ergibt sich als Integral des Wärmestroms zwischen Beton und Umgebung:

$$Q_V(t) = \int_0^t U \cdot A \cdot (T_{B,meas}(t) - T_{Um}(t)) \cdot dt \quad (2)$$

In Gleichungen (2) ist der bis zum Zeitpunkt t an die Umgebung abgeflossenen Hydrationswärme $Q_s(t)$, dem

Wärmedurchgangskoeffizienten der Schalung U , der äußeren Oberfläche A , der gemessenen Betontemperatur zum Zeitpunkt t $T_{B,meas}(t)$ und der gemessenen Umgebungstemperatur zum Zeitpunkt t $T_{Um}(t)$.

Die Summation der einzelnen Energieanteile ergibt die gesamte Hydrationswärmemenge. Durch Transformation der Zeitachse auf das wirksame Betonalter und anschließende Berechnung der Temperaturentwicklung unter adiabatischen Bedingungen wird der direkte Vergleich der Ergebnisse mit Versuchen im adiabatischen Betonkalorimeter möglich.

Bild 3 zeigt die Ergebnisse der teiladiabatischen Versuche A und B im Vergleich zu den Ergebnissen aus einem adiabatischen Versuch.

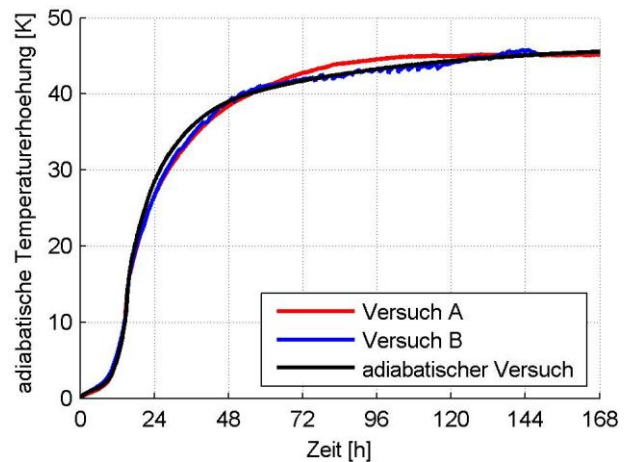


Bild 3: Versuchsergebnisse nach der Auswertung

Die gute Übereinstimmung der Ergebnisse belegt die hohe Genauigkeit beider Messmethoden. Die Ergebnisse zeigen, dass der Versuchsaufbau sehr robust bzgl. der Umgebungsbedingungen ist und problemlos auch außerhalb von Laborräumen, also beispielsweise in einem Baucontainer oder einem Transportbetonwerk durchgeführt werden kann.

5. Literatur

- /1/ Hermerschmidt, W.: Messtechnische und rechnerische Methoden zur Bestimmung der Wärmefreisetzung von Betonen. Diplomarbeit, Technische Universität Braunschweig, 2009.
- /2/ DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, August 2008.
- /3/ Röhling, S.: Zwangsspannungen infolge Hydrationswärme. 2. Auflage, Verlag Bau+Technik, 2009.