

Anwendung der Radiowellen-Technologie in der Beton-Technik

Application of radio-wave technology in concrete industry

An der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität
Dresden zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
eingereichte

Dissertation

vorgelegt von

M.Sc. Björn Höhlig

eingereicht am 17. März 2014

Tag der mündlichen Prüfung: 05. Mai 2014

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. V. Mechtcherine

Prof. Dr.-Ing. D. Schmidt

Kurzfassung

Zur wirtschaftlichen Herstellung von industriell gefertigten Betonbauteilen werden geringe Taktzeiten angestrebt, um die Formen und Schalungen möglichst schnell wiederverwenden zu können. Dafür ist es notwendig, dass der Beton eine hohe Frühfestigkeit entwickelt, um die nötige Ausschalfestigkeit zu erreichen. Um den Hydratationsprozess schneller ablaufen zu lassen, kann einerseits ein Beton mit hohem Zementanteil oder mit einer hohen Zementfestigkeitsklasse verwendet werden, andererseits kann der Frischbeton bzw. der junge Beton erwärmt werden. Die konventionellen Wärmebehandlungsverfahren, welche zur Erwärmung überwiegend fossile Energieträger verwenden, nutzen in der Regel große Wärmekammern oder -tunnel, in denen die betonierten Fertigteile ihre Festigkeitssteigerung erfahren sollen.

Die Wärmeübertragung auf den Beton beruht auf relativ langsamen Wärmetransportmechanismen, wobei neben dem Beton auch die Schalung und der gesamte Rauminhalt der Wärmekammer erwärmt werden müssen. Der Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist, ein Verfahren zur Wärmebehandlung von Frischbeton zu entwickeln, das eine energieeffiziente und bauteiltemperaturgesteuerte Erwärmung möglich macht. Im elektromagnetischen Feld im Frequenzbereich der Radiowellen wird der Frischbeton dielektrisch erwärmt, so dass eine gleichmäßige Temperaturerhöhung erreicht wird. Durch die Kopplung von Temperaturmessung und Steuerung des Energieeintrags können definierte Temperaturkennlinien und Maximaltemperaturen eingehalten und eine genaue Ansteuerung der Zieltemperatur erreicht werden.

Ziel der Untersuchungen zur Wärmebehandlung von Frischbeton mit der Radiowellen-Technologie ist es, Aussagen über die Regelbarkeit der dielektrischen Erwärmung im Bauteilvolumen, die Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung und den energetischen Wirkungsgrad zu treffen. Weiterhin sollen die Auswirkungen der dielektrischen Erwärmung auf die Früh- und Endfestigkeit geklärt sowie die entsprechende Strukturentwicklung im Beton beschrieben werden.

Zunächst wird der Verlauf der Wärmebehandlung analysiert. Hier stehen sowohl die Temperaturmessung als auch die eingebrachte Radiowellen-Energie im Mittelpunkt. In diesem Zusammenhang werden außerdem eine thermodynamische Modellierung und eine 3D-Simulation zur numerischen Berechnung der dielektrischen Erwärmung von Frischbeton durchgeführt.

Die Strukturbildung der unterschiedlich wärmebehandelten Betone wird durch die Anwendung verschiedener Methoden untereinander detailliert beschrieben und verglichen. Neben Aussagen zur Porengrößenverteilung, bestimmt mit der Quecksilberdruckporosimetrie, liefert die Rasterelektronenmikroskopie (ESEM) weitere Erkenntnisse zur Gefügebearbeitung. Mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie wird die Phasenzusammensetzung des entstandenen Gefüges bestimmt.

Abstract

For economic reasons, in the production of precast concrete elements short station times are necessary to enable a fast re-use of the formwork. Therefore, the used concrete has to reach high early strength values. To accelerate the hydration process, optimized concrete mixtures – typically with a high cement content or by using cement of a high strength class – may be used. Another common method is to increase the temperature of fresh or early age concrete by external heating. These heating processes use fossil fuels and require huge heating chambers or tunnels, where the precast concrete elements are placed. The heat transfer to concrete elements is based on convection and thermal conduction and runs slowly. Except for the concrete, the air volume in the heating chambers as well as the formwork must be heated too.

The subject of the presented thesis is an innovative technology for heat treatment of fresh concrete based on radio-wave technology which allows for an energy-efficient, temperature-controlled heating procedure. By using radio-wave technology, an electromagnetic field is created. It results in a dielectric heating of concrete and enables a homogeneous increase in the temperature throughout the material. If the temperature is measured and the applied radio-wave energy is controlled, defined characteristic temperature fields can be established in the material. An exact temperature control ensures that defined maximum temperatures are not exceeded.

The goal of the research work at hand is to provide information on the temperature control procedure, the homogeneity of the temperature distribution and the energy efficiency for the heat treatment technology of concrete with radio-waves. Furthermore, effects of the dielectric heating on the early age strength and the final strength of the concrete as well as on its microstructure are characterized.

In the chosen approach, initially, the process of the heat treatment will be described. The explanations will focus on the temperature measurement and the radio-wave energy necessary for the heating process. In this context, numerical simulations (3D) of the dielectric heating process of the fresh concrete will be performed.

The heated concrete will be analyzed with different methods to provide information on the materials' microstructure. In addition to the determination of the pore size distribution by using Mercury Intrusion Porosimetry, microscopic investigations with an Environmental Scanning Electron Microscope will be carried out. Furthermore, X-Ray Diffractometry will be used to characterise the phases of the hydration products.