

**12/2009**

# beton

59. Jahrgang · G 1739

Die Fachzeitschrift für Bau+Technik

- **Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen nach EN 1504**
- **Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen nach ZTV-ING**
- **Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse**

Belegexemplar

Bitte beachten Sie

Seite: .....586.....

## Abgeschlossene Promotion

# Laser-induzierte Breakdown Spektroskopie zur hochauflösenden Analyse der Ionenverteilung in zementgebundenen Feststoffen

André Molkenthin, Berlin

Universität Duisburg-Essen  
Fachbereich für Ingenieurwissenschaften  
Abteilung Bauwissenschaften  
Institut für Bauphysik und Materialwissenschaften (IBPM)  
Universitätsstraße 15  
45141 Essen

Tag der Prüfung: 12.11.2008

Gutachter: 1. Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. M. J. Setzer  
2. Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher  
3. Dr. rer. nat. Herbert Wiggenhauser

Die Laser-induzierte Breakdown Spektroskopie (LIBS) stellt eine neuartige Methode zur schnellen, berührungslosen chemischen Analyse fester, flüssiger und gasförmiger Substanzen dar. Mit LIBS können die Konzentrationen aller Elemente in einer Probe simultan innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde bestimmt werden. Deshalb sollte dieses Verfahren für mineralische Baustoffe erforscht werden.

Für alle wesentlichen im Bindemittel Zement vorkommenden sowie für von außen, z.B. durch Taumittleinwirkung zugeführten Elemente (Ca, Mg, K, Na, C, Li, Cl, Si, H, O, S) konnten durch die Forschungstätigkeit Emissionslinien gefunden werden, die im sichtbaren Wellenlängenbereich eine spektroskopische Auswertung ermöglichen. Ab einer Leistungsdichte von 1010 W/cm<sup>2</sup> lassen sich auf Zementsteinoberflächen Laser-induzierte Plasmen erzeugen, deren emittiertes Licht elementspezifischen Emissionslinien zuzuordnen ist.

Ein maßgeblicher Schritt zur Überführung des Verfahrens war die Entwicklung von Kalibrierfunktionen an allen untersuchten Emissionslinien. Es wurden deren Leistungsmerkmale, wie Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenzen, numerisch oder empirisch ermittelt. Im Ergebnis können die untersuchten Emissionslinien die baupraktisch auftretenden Elementgehalte hinreichend abbilden.

Durch die Zuführung des Prozessgases Helium lässt sich zudem die Intensität bestimmter Emissionslinien steigern. Es konnte ferner festgestellt werden, dass ein Absenken äußerer Druckverhältnisse bei Exposition in einer Druckkammer im Bereich von 10 mbar bis 200 mbar Einfluss auf die Intensität charakteristischer Linien ausübt.

Zur Übertragung des Verfahrens auf die Baustoffe Zement und Mörtel wurde ein

umfangreiches Versuchsprogramm aufgelegt. Die Versuche fanden mit acht ausgewählten Zementen und einem hieraus entwickelten Zementmörtel statt. Dabei wirkten auf die zylindrischen Proben jeweils 17 unterschiedliche Lösungen ein. Diese Lösungen aus Alkalichloriden und Alkalihydroxiden wurden ferner in ihren Konzentrationen abgestuft.

Die Penetrationsversuche bewirkten Wechselwirkungen zwischen Feststoff und Lösung. Gleichzeitig zum Vordringen von Ionen aus den Lösungen in den Feststoff verlassen lösliche Alkalien die oberflächennahen Randzonen. Es tritt somit aufgrund entgegengesetzter Konzentrationsgefälle Gegendiffusion auf.

Allerdings muss die Auslaugung und Rückdiffusion zementeigener Ionen gegenüber einer Lösungspermeation über Kapillartransport und Diffusion als weitgehend unabhängiger Prozess beschrieben werden. Die Intensität der Auslaugung ist vor allem von der benetzten Oberfläche im Porensystem der Randzone und der Lösungsphase abhängig.

Im Feststoff selbst erfolgt ein Auftrennen der Ionen aus der eindringenden Lösungsphase. Retardierungseffekte zwischen der Wasserfront, dem Chlor und den Alkalien lassen sich darstellen. Insoweit entsteht ein Chromatographie-Effekt. Das Wasser dringt deutlich tiefer ein als die darin gelösten Ionen. Schwach konzentrierte Lithiumlösungen erwiesen sich geeigneter als LiOH-Lösungen, um einen gleichförmigen, tiefenorientierten Gradienten zu erzeugen. Die LiNO<sub>3</sub>-Tränkung erzielt im Feststoff maximale Li-Gehalte von 0,3 M%. Ist dieser Wert erreicht, wandert die Li-Front tiefer in den Feststoff. Damit scheint eine Beladungskapazität definiert, die nicht überschritten wird. Im

Zementstein lassen sich auch Zonen gesteigerter Wasser-Zement-Verhältnisse durch Verringerung von Calcium sowie Natrium und höhere Elementmengen an Wasserstoff identifizieren.

In einem weiteren Teil dieser Arbeit werden drei verfahrensspezifische Abgrenzungskriterien zwischen Bindemittelmatrix und Gesteinskörnung aufgezeigt:

1. das Intensitätsverhältnis zwischen ausgesuchten Calcium - und Sauerstofflinien
2. die Dreistoffbeziehung zwischen den Intensitäten der Elemente Silizium; Aluminium und Calcium und
3. die Verteilung von Wasserstoff auf der getrockneten Probenoberfläche

Letzteres Kriterium dürfte besonders interessant sein, da sich die Bindemittelmatrix durch die chemisch und physikalisch gebundenen Wasseranteile des Zementsteins klar von den Gesteinskörnungen abzeichnet.

Der Abtrag von Feststoff an der Oberfläche unterschiedlich geschalteter Betonproben durch den Laser zeigte weiterhin eine schichtweise Elementverteilungen von Na und K in Randzone auf. Hierbei stellte sich eine Beziehung zwischen dem aus CDF-Tests festzustellenden Abwitterungsverhalten und der in der jeweiligen Abwitterungszone vorherrschenden Alkaliverteilungen heraus.

Kontakt: Dr.-Ing. André Molkenthin  
Tel.: 0 30/34 97 72-0

E-Mail: molkenthin@skp-ingenieure.de

Die Dissertation ist veröffentlicht im Publikationsportal DuEPublico der Bibliothek der Universität Duisburg-Essen unter <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de>