

# Qualitätssicherung von Hydrophobierungen mit einem reaktiven Markersystem durch die Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)

Klaus BIENERT \*, Gerd WILSCH \*\*

\* Specht, Kalleja + Partner GmbH Beratende Ingenieure, Keplerstr. 8-10, 10589 Berlin,  
E-Mail: bienert@skp-ingenieure.com

\*\* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Unter den Eichen 87, 12205  
Berlin, E-Mail: gerd.wilsch@bam.de

## Kurzfassung

Stahlbetonbauwerke der Verkehrsinfrastruktur sind nutzungsbedingt Expositionen ausgesetzt, die zu Schäden an der Konstruktion führen können. Dabei ist in erster Linie die Einwirkung von tausalzhaltigen Wässern im Winter zu nennen, die durch den Beton kapillar und über Diffusionsvorgänge aufgenommen werden.

Ein Weg, die kapillare Wasseraufnahme zu unterbinden, ist eine Tiefenhydrophobierung der Werkstoffoberflächen durch siliziumorganische Verbindungen. Die Wirksamkeit und die Dauerhaftigkeit der Tiefenhydrophobierungen wird im Wesentlichen durch die Eindringtiefe und den Wirkstoffgehalt in der Betonrandzone bestimmt. Diese beiden Parameter gilt es also in der Qualitätssicherung zu überprüfen.

Bisherige Verfahren zur Qualitätssicherung sind mit Bohrkernentnahmen verbunden. Andere Verfahren arbeiten zwar zerstörungsfrei, liefern aber keine Informationen über die Eindringtiefe und die Wirkstoffverteilung. Das Fehlen eines geeigneten analytischen Verfahrens hat eine breite praktische Anwendung der als sehr leistungsfähig geltenden Tiefenhydrophobierungen bisher verhindert.

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens wurde ein Verfahren entwickelt mit dem durch die Anwendung von LIBS die Wirkstoffverteilung der Hydrophobierung in der Betonrandzone hoch aufgelöst detektiert werden kann.

Da der elementare Unterschied zwischen einer Hydrophobierung und Beton zu gering ist, um ihn mit LIBS zu detektieren, musste dazu ein „reaktive Marker“ entwickelt werden, der an das Hydrophobierungsmittel angebunden wird. Der Marker wird parallel zu den eigentlichen siliziumorganischen Verbindungen in die Betonrandzone transportiert und in den Polysiloxanfilm eingebaut. Durch die anschließende tiefenaufgelöste Detektion mit einem mobilem LIBS – System kann dann anhand der Verteilung des Markers, qualitativ und quantitativ der Wirkstoffgehalt der Hydrophobierung in der Betonrandzone bestimmt werden.



Durch dieses Verfahren lassen sich zunächst die an eine Hydrophobierung zu stellenden Anforderungen schnell und zeitnah überprüfen. Durch das Einbeziehen in die regelmäßige Bauwerksprüfung (z. B. Brückenprüfung nach DIN 1076), soll auch der Wirksamkeitsabbau verfolgt werden, um zeitlich gezielt die Erneuerung des Systems veranlassen zu können.

# Qualitätssicherung von Hydrophobierungen mit einem reaktiven Markersystem durch die Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)

K. Bienert<sup>1</sup>, G. Wilsch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Specht, Kalleja und Partner GmbH, Berlin

<sup>2</sup>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

## Motivation und Innovation



Abb. 1: stark geschädigtes Brückenbauwerk

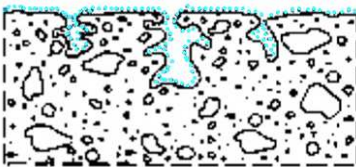


Abb. 2: Prinzipdarstellung hydrophobierte Oberfläche

- Stahlbetonbauwerke sind Umwelt- einwirkungen ausgesetzt, die zu Schäden an der Konstruktion führen können
- eine Vielzahl der schädigenden Prozesse wird durch einen Feuchtigkeitstransport ausgelöst, der gelöste Schadstoffe beinhaltet
- ein wirksames Instrument zur Schadensprävention ist die Verhinderung der Wasseraufnahme durch Tiefenhydrophobierungen
- Tiefenhydrophobierungen dringen in den Porenraum der oberflächennahen Randzone bis zu einer Tiefe von ca. 15 mm ein

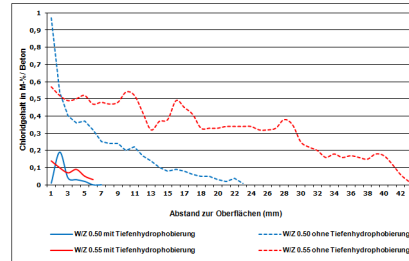


Abb. 3: Reduzierung des Eindringens von Chloriden durch Hydrophobierungen

(/1/ Müller, J. 2006. Tiefenhydrophobierung – präventiver Schutz von Betonbauwerken. Vortrag StoCretec)

- Die Wirksamkeit der Hydrophobierung ist insbesondere abhängig von der Eindringtiefe und dem Wirkstoffgehalt. Eine breitere Anwendung von Tiefenhydrophobieren wird z. Zt. durch fehlende Methoden zur Qualitätssicherung vor Ort verhindert.
- **Innovation:** Qualitätssicherung über ein reaktives Markersystem in der Hydrophobierung, dass durch spektroskopische Methoden (LIBS) sofort vor Ort detektiert werden kann.

## Laser-Induced Breakdown Spectroscopy

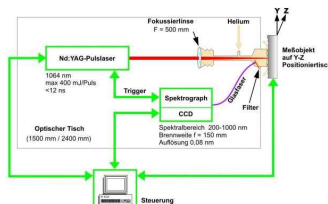


Abb. 4: experimenteller LIBS Aufbau

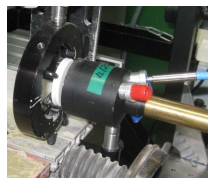


Abb. 5: Messobjekt auf Positioniertisch

- Vorteile: schnelle Multi-Element-Analyse; Messung und Auswertung mit mobilem LIBS sofort vor Ort möglich; Visualisierungsmöglichkeit der Ergebnisse
- zu geringer Elementkontrast zwischen Beton und Hydrophobierung erfordert chemisch feste Anbindung eines Markerelementes an die Hydrophobierung

## Markerelementauswahl

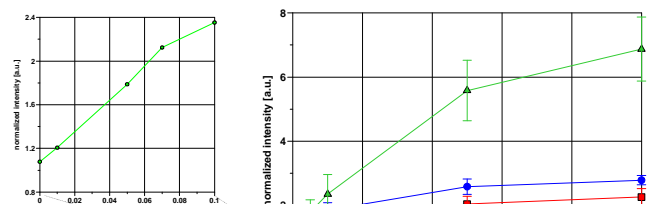


Abb. 6: Detektion möglicher Markerelemente mit LIBS

- gewählt: 3 Übergangsmetalle M1 (rot), M2 (blau) und M5 (grün) als Markerelemente

Hinweis: Auf Grund des noch laufenden Entwicklungsprozesses können die ausgewählten potentiellen Markerelemente zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht veröffentlicht werden.

## Ergebnisse

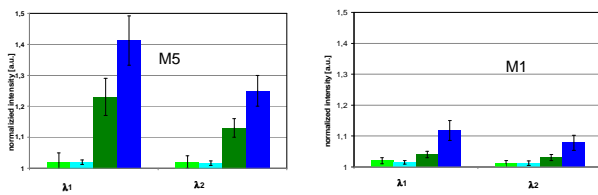


Abb. 7 u. 8: LIBS-Signale bei Zementsteinprismen beaufschlagt mit Hydroph. + Marker hellgrün und hellblau (unbeaufschlagte Oberfläche) / dunkelgrün (beaufschlagt mit Hydrophobierung mit 100 ppm Markergehalt) / dunkelblau (beaufschlagt mit Hydrophobierung mit 1000 ppm Markergehalt) jeweils für 2 Spektrallinien

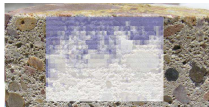
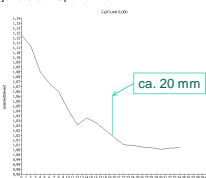


Abb. 9 u. 10: Eindringprofil Hydroph. + M5 (1000ppm) am Bohrkern



- die Untersuchungen belegen die prinzipielle Machbarkeit der Messmethodik LIBS ↔ Hydrophobierung + Markersystem
- es wurden drei Markerelemente gefunden (M 1, M 2 und M 5), die mit hohem Kontrast gegenüber den Trägermaterialien detektierbar sind
- es lässt sich eine klare Korrelation zwischen dem gemessenen LIBS-Signal (normierte Intensität) und den Konzentrationen der Markerelemente (0,01% bis 1,0%) feststellen
- die chemische Anbindung der Markerelemente an die Hydrophobierung ist durch den Projektpartner KIT gelungen

## Ausblick u. A.

- Messkampagnen an Ersatzbauwerken im Freiland



Abb. 11 u. 12: Planung und Umsetzung Ersatzbauwerke auf dem Freigelände Horstwalde

- Anwendung u. Anpassung mobiles LIBS-System

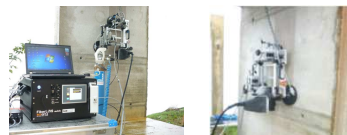


Abb. 13 u. 14: Test mobiles LIBS-System an Ersatzbauwerken auf dem Freigelände in Horstwalde

- weiterführende Untersuchungen unter Variation der Materialien und Expositionen
- Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit (Wirksamkeitsabbau)
- Anwendung der Messmethodik an realen Bauwerken