

Laser-Ultraschall zur Charakterisierung von Zementwerkstoffen

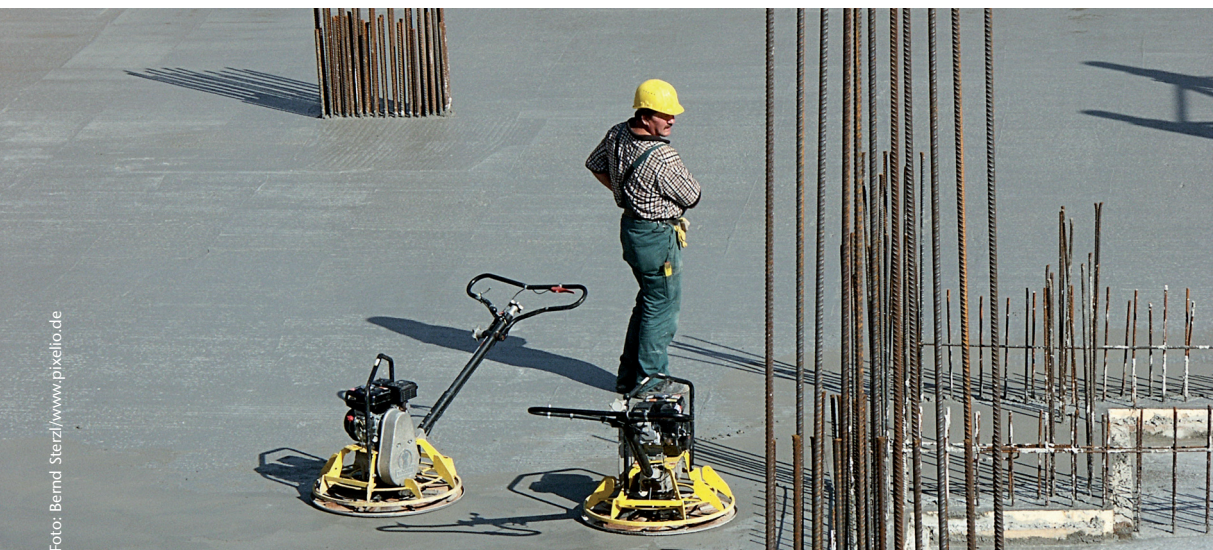


Foto: Bernd Sterzl/www.pixelio.de

Anwendungsgebiete

- A Luft- und Raumfahrt
- B Audio & Akustik
- C Automobilentwicklung
- D Datenspeicher
- G Vibrometrie Allgemein**
- M Mikrostrukturen/-systeme
- P Fertigungsprüfung
- S Wissenschaft & Medizin
- T Strukturuntersuchungen
- U Ultraschalltechnik

Laser-Ultraschall ist ein scannendes, akustisches Verfahren zur berührungslosen Untersuchung von Baustoffen. Dieser Beitrag berichtet über die Anwendung dieses Verfahrens auf zementgebundene Baustoffe während des Erstarrens und Erhärtens. Der Schall wird opto-akustisch durch einen kurzgepulsten Nd:YAG-Laser angeregt und nach Durchtritt durch die Probe interferometrisch mit einem Laservibrometer erfasst. Durch die Wahl geeigneter Materialien und Laserstrahlparameter wurde eine reproduzierbare Schallanregung erreicht, die es ermöglicht, neben der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit eine interferometrische Erfassung und Auswertung der Ultraschall-induzierten Auslenkung der Oberfläche vorzunehmen.

Laser-Ultraschall zur Charakterisierung von Werkstoffeigenschaften

Für die Werkstoffforschung und Qualitätssicherung, aber auch für die Planung und Ausführung von Bauvorhaben ist die Kenntnis der zeitlichen und lokalen Änderungen der Materialeigenschaften zementgebundener Systeme von wesentlicher Bedeutung. Die Materialeigenschaften können mithilfe von Ultraschallparametern beschrieben werden. Beispiele sind die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Longitudinalwelle v_p , die Amplitude der Auslenkung beim Ersteinsatz sowie der übertragene Frequenzgehalt. Zementgebundene Baustoffe weisen unmittelbar nach dem Anmischen eine große Dämpfung gegenüber Ultraschallwellen verbunden mit einer niedrigen Schallgeschwindigkeit v_p auf. In Abhän-

gigkeit vom Verlauf der Gefügeentwicklung nehmen die Schallgeschwindigkeiten bzw. Signalamplituden dann kontinuierlich zu. Die zeitliche Entwicklung der Schallgeschwindigkeit v_p hängt von den verwendeten Zementen, Zusatzmitteln bzw. -stoffen, aber auch vom Verhältnis Wasser zu Zement (w/z-Wert), von der verwendeten Gesteinskörnung und vom Luftporengehalt ab. Laser-Ultraschallverfahren sind attraktiv für eine Reihe von Anwendungen, da die Untersuchungsobjekte ohne mechanischen Kontakt und weitestgehend rückwirkungsfrei aus Entfernungen von mehreren Metern untersucht werden können. Gepulste Laser ermöglichen dabei eine berührungslose Anregung von Longitudinal-, Scher- und Oberflächenwellen direkt auf den exponierten Oberflächen. Mit Laservibrometern erfolgt dann die berührungslose Erfassung der Ultraschall-

Polytec GmbH
Optische Messsysteme
Applikationsnote
VIB-G-11
November 2008

induzierten Auslenkung der Oberfläche. Im Folgenden wird ein Versuchsaufbau beschrieben, der die Anwendung des Ultraschall-Transmissionsverfahrens für die Untersuchung von Zementleimen und Mörteln ermöglicht.

Versuchsaufbau

Die prinzipielle Geräteanordnung ist in Bild 1 dargestellt. Zur laserinduzierten Schallanregung wird ein kurzgepulster Nd:YAG-Festkörperlaser mit einer Wellenlänge von 1064 nm verwendet (Bild 2). Für die Aufnahme der Proben wurde eine spezielle Prüfform entwickelt, die eine laser-induzierte Schallanregung und -detektion von Ultraschallwellen zulässt (Bild 3). Zur Detektion der angeregten Ultraschallwellen wird ein Scanning-Laservibrometer eingesetzt. Dabei wurde auf der Probe ein Messgitter mit jeweils 27 gegenüberliegenden Punktpaaren definiert. Die Datenauswertung erfolgte mit einem in LabVIEW implementierten Algorithmus, der die automatische Detektion des Zeitpunktes des Ersteinsatzes der Longitudinalwelle und weiterer Signalparameter wie z. B. Erstamplitude, Frequenzgehalt und Signal-Rausch-Verhältnis ermöglicht.

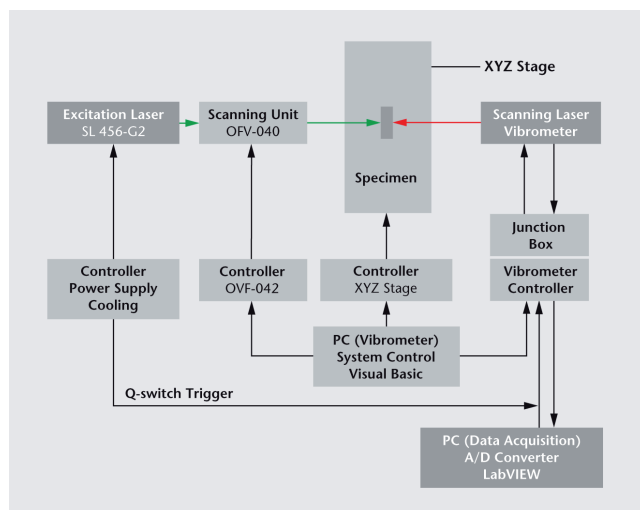


Bild 1: Schematischer Versuchsaufbau

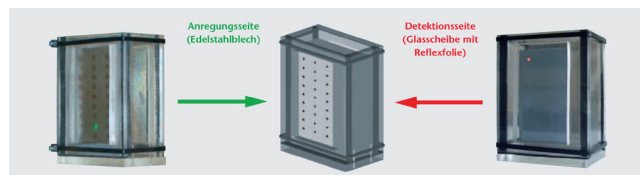


Bild 3: Prüfform zur laserinduzierten Durchschallung. Links: Ansicht von der Anregungsseite mit Laserpunkt; Mitte: Schematische Darstellung; Rechts: Detektionsseite mit Vibrometer-Messstrahl

Experimentelle Ergebnisse

Mit dem vorgestellten Versuchsaufbau wurden kontinuierliche Untersuchungen während der Hydratation von zementgebundenen Baustoffen vorgenommen und die lokale Verteilung der Schallgeschwindigkeit v_p zu festgelegten Zeitpunkten bestimmt. Untersucht wurden u.a. zwei Zementleim-Proben mit unterschiedlichem Wasser/Zement-Verhältnis (w/z -Wert) sowie Mörtelproben mit verschiedenen Kornzusammensetzungen.



Bild 2: Versuchsanordnung
Bildmitte: Positioniersystem mit Probe; rechts hinten: Anregungslaser mit Scanner; links: Scanning-Laservibrometer

Bild 4 zeigt die mit Laser-Ultraschall an zwei Zementleim-Proben ermittelte Entwicklung der Schallgeschwindigkeit v_p . Die Messempfindlichkeit erweist sich als sensibel genug, eine Durchschallung dieser zunächst stark dämpfenden Systeme vorzunehmen.

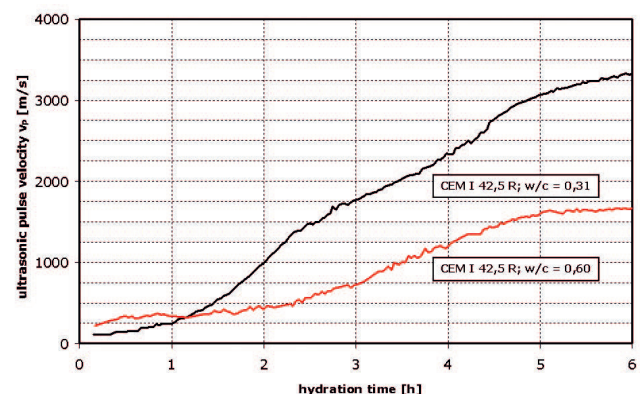


Bild 4: Schallgeschwindigkeitsverlauf v_p von Zementleim, Variation des w/z -Wertes

Im Verlauf der Gefügeentwicklung kommt es bei beiden Versuchsmischungen zu einem Ansteigen der Schallgeschwindigkeit. Der Zementleim mit dem niedrigeren w/z -Wert zeigt einen deutlich stärkeren Anstieg der Schallgeschwindigkeit. Dagegen führt eine größere Wasserzugabe zu einem verzögerten und zugleich flacheren Verlauf. Bild 5 zeigt die zeitliche Entwicklung der Erstamplitude der Longitudinalwelle. Der Zementleim mit einem geringeren w/z -Wert weist gegenüber dem Zementleim mit einem höheren w/z -Wert einen früheren und steileren Anstieg auf. Im weiteren Verlauf der Gefügeentwicklung zeigt sich der Einfluss von Schwindprozessen auf die Ankopplungsbedingungen. Die Parameter Schallgeschwindigkeit v_p und die Geschwindigkeitsamplitude der Longitudinalwelle ermöglichen somit eine kontinuierliche Bewertung der Hydratationskinetik.

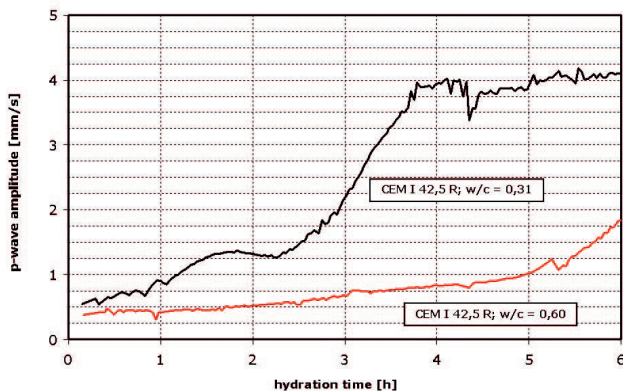


Bild 5: Erstamplitude der Longitudinalwelle von Zementleim, Variation des w/z-Wertes

Lokale Verteilung elastischer Parameter

In Bild 6 ist die an einem Zementleim mit einem w/z-Wert von 0,31 bestimmte Verteilung der Schallgeschwindigkeit v_p zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Hydratationsbeginn dargestellt. Zu jedem Untersuchungszeitpunkt wurden über den gesamten Probekörper vergleichbare Schallgeschwindigkeiten ermittelt, d. h. die Probe ist in der Höhe und Breite homogen (Bild 7, rechts). Der Vergleich der Schallgeschwindigkeiten der Untersuchungszeitpunkte untereinander ermöglicht auch hier eine Bewertung der Hydratationskinetik. In Bild 8 ist die an einer Mörtelprobe bestimmte Verteilung der Schallgeschwindigkeit v_p zu einem Zeitpunkt von 5 bzw. 24 Stunden nach Hydratationsbeginn dargestellt. Über die Probekörperhöhe sind deutliche Unterschiede in den Schallgeschwindigkeiten ersichtlich. Im unteren Bereich der Probe werden größere Schallgeschwindigkeiten erreicht, die sich aus einem größeren Gehalt an Gesteinskörnung ergeben. Dies wird auf eine ungenügende Sedimentationsbeständigkeit dieses Mörtels zurückgeführt. Dabei kommt es vor dem Ansteifen zum Absinken der groben Bestandteile der Gesteinskörnung und zur Anreicherung von Feinmörtel im oberen Bereich. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der visuellen Bewertung (Bild 7, links). Mithilfe des laserbasierten Ultraschall-Transmissionsverfahrens kann somit eine zerstörungsfreie Bewertung lokaler Gefügeunterschiede senkrecht zur Durchschallungsrichtung erreicht werden.

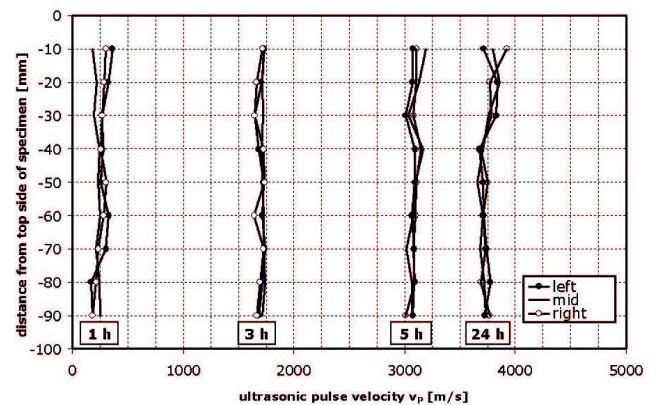


Bild 6: Verteilung der Schallgeschwindigkeit v_p über einen homogenen Probekörper

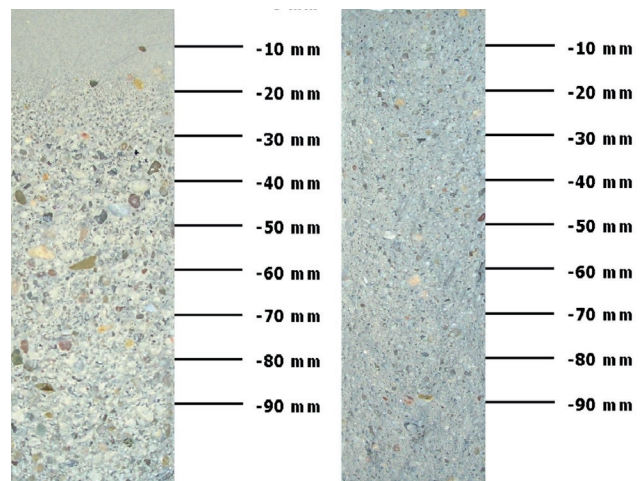


Bild 7: Bruchflächen der untersuchten Mörtel Mörtel M1 mit Sedimentationserscheinungen (links) und homogener Mörtel M2 (rechts)

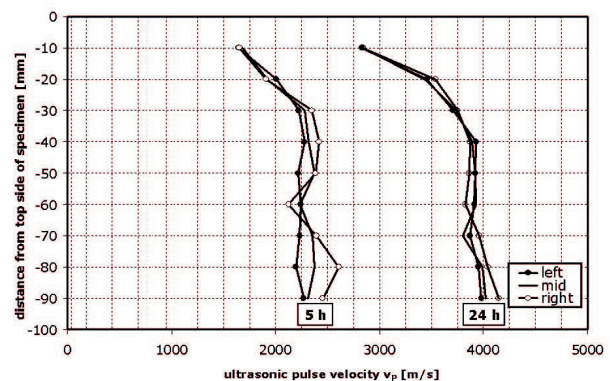


Bild 7: Mörtel M1 – räumliche Verteilung der Schallgeschwindigkeit v_p in einer inhomogenen Mörtelprobe.

Zusammenfassung und Ausblick

Wie die Ergebnisse zeigen, kann das Laser-Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien und berührungslosen Untersuchung von erstarrten und erhärtenden Baustoffen eingesetzt werden. Die zeitlichen und lokalen Änderungen der Ultraschallparameter eignen sich gut zur Beschreibung der Materialeigenschaften, wobei speziell die Schallgeschwindigkeit v_p und die Auslenkungsamplitude der Longitudinalwelle eine kontinuierliche Bewertung der Hydratationskinetik ermöglichen. Senkrecht zur Durchschallungsrichtung können lokale Unterschiede in der Mischungszusammensetzung der untersuchten Zementleime und Mörtel

nachgewiesen werden. Dies ermöglicht die zerstörungsfreie Bewertung der Sedimentationsstabilität derartiger Gemische. Der im Beitrag beschriebene Versuchsaufbau erlaubt zunächst nur die Detektion von flächennormalen Auslenkungen (out-of-plane). Untersuchungen mit einem Polytec PSV-400-3D Scanning Vibrometer haben gezeigt, dass an hydratisierenden Zementen neben der Longitudinalwelle auch die Ausbreitungsgeschwindigkeiten transversaler Schwingungskomponenten simultan erfasst werden können. Dies stellt einen interessanten Ansatz dar, der eine umfassendere Beurteilung der untersuchten Werkstoffe durch die Berechnung der elastischen Größen Elastizitätsmodul und Poissonzahl ermöglicht.

Quelle: InFocus – Magazin für Optische Messsysteme, Ausgabe 2/2008 – ISSN 1864-9181.

Wir bedanken uns bei Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Stark, Dr.-Ing. Wolfgang Erfurt und Dipl.-Ing. René Tatarin vom F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar.

Weitere Informationen zu Polytec-Vibrometern finden Sie auf unserer Website, oder lassen Sie sich durch unsere Produktspezialisten beraten: LM@polytec.de.

Polytec GmbH

Polytec-Platz 1-7
76337 Waldbronn
Tel. + 49 (0) 7243 604-0
Fax + 49 (0) 7243 69944
info@polytec.de

Polytec GmbH

Vertriebs- und
Beratungsbüro Berlin
Schwarzschildstraße 1
12489 Berlin
Tel. + 49 (0) 30 6392-5140
Fax + 49 (0) 30 6392-5141