

BAM-Dissertationsreihe, Band 76

Dipl.-Ing. Andreas Zoëga

Spannungsabhängigkeit elastischer Wellen in Beton

2011, ISBN 978-3-9814281-6-2

Beton, einer der vielseitigsten und meist-verbreitetsten Baustoffe, verdankt diese Popularität seiner hohen Druckfestigkeit bei gleichzeitig geringen Kosten auf der einen Seite sowie seiner hohen Flexibilität durch die Möglichkeit der fast beliebigen Formgebung von lastabtragenden Elementen und Bauteilen auf der anderen Seite. Die weltweit verbreiteten Betonbauwerke altern und drängen die zerstörungsfreie Prüfung dazu, Prüfmethode für eine effektive Zustandsbewertung von im Betrieb befindlichen Betonbauwerken zur Verfügung zu stellen.

Für viele in anderen zerstörungsfreien Prüfbereichen alltägliche Anwendungen stellt Beton aufgrund der Heterogenität des Verbundwerkstoffs mit seinem nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Verhalten eine Herausforderung dar. Mit steigender Spannung nehmen die nichtlinearen Eigenschaften noch zu und können - z. B. durch die sich in Abhängigkeit von der Belastungsrichtung bildenden Mikrorisse - zu einer anisotropen Ausbildung von Eigenschaften führen, welche u. a. mit elastischen Wellen in Wechselwirkung treten. Bisherige Prüfaufgaben an Beton beschränken sich auf Bereiche, bei denen die elastischen Wellen ein lineares Verhalten aufweisen und sind daher nicht uneingeschränkt anwendbar.

Gerade der Zusammenhang von Spannungszustand und Anisotropie zeigt eindeutige nichtlineare Effekte auf die Eigenschaften elastischer Wellen. Diese Eigenschaftsänderungen von elastischen Wellen sollen in dieser Arbeit anhand der Schallgeschwindigkeit erörtert werden. Neben einer Beobachtung und Dokumentation der auftretenden Effekte werden die Ursachen und Wirkmechanismen, die zu einer Schallgeschwindigkeitsänderung unter einer Druckbelastung führen, untersucht.

In einem Vorversuch wurden Wellen unterschiedlichen Typs, Frequenz, Polarisierung und Ausbreitungsrichtung auf ihre Sensitivität gegenüber einer Belastung miteinander verglichen. Hierbei stellte sich die Oberflächenwelle als die belastungsempfindlichste heraus und wird in dieser Arbeit für die Beschreibung der spannungsabhängigen Eigenschaftsänderungen von elastischen Wellen bevorzugt verwendet. Die für diese Versuchsserie erstellten Versuchsaufbauten und die verwendeten Oberflächenwellen erlaubten eine beliebige Orientierung der Messrichtung in Bezug zur Lastrichtung. Die Änderung der Schallgeschwindigkeit konnte damit in Richtungsabhängigkeit verfolgt und anisotropes Verhalten beobachtet werden. Ultraschallwellen sind für Untersuchungen an Beton die am häufigsten verwendeten; infolgedessen wurde zum Vergleich parallel mit Ultraschallwellen unterschiedlicher Frequenzen gemessen.

Als Ergebnis aus der Versuchsserie konnte der Auslastungs- und Schädigungsgrad des Betons nachvollzogen und damit die Änderung der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der aufgetragenen Last für eine sichere Bruchvorhersage verwendet werden. Mit wachsender Belastung stieg dabei die Schallgeschwindigkeit an, dieser Anstieg verlangsamte sich und ging im Bereich zwischen 50-80 % der Bruchlast in eine zunehmende Schallgeschwindigkeitsreduktion über. Der größte Schallgeschwindigkeitszuwachs konnte zu Beginn in Lastrichtung beobachtet werden, während die größte Schallgeschwindigkeitsreduktion in orthogonaler Richtung kurz vor dem Bruch stattfand. Der bei geringer Belastung (linear-elastischer Bereich) besonders deutliche Schallgeschwindigkeitsanstieg kann mithilfe der Akustoelastizität erklärt werden. Der sich vermindere Anstieg und die Schallgeschwindigkeitsreduktion ließen sich experimentell auf die Mikrorissentstehung und das Mikrorisswachstum innerhalb des Betons zurückführen. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass sich die Schallgeschwindigkeit bei einer Wiederbelastung von der bei einer Erstbelastung unterscheidet, dieser Unterschied sich bei einer höheren Vorbelastung vergrößert, die Anzahl der vorangegangenen Belastungen einen Einfluss hat und eine Überlastung sich besonders deutlich in einer Schallgeschwindigkeitsminderung niederschlägt. Bei den Schallgeschwindigkeitsänderungen konnte ebenso eine zeitabhängige Komponente beobachtet werden. Die typischen Kurvenverläufe der Schallgeschwindigkeit über der Spannung konnten ebenso an Probekörpern mit anderen Betonrezepturen sowie an bewehrten Probekörpern aufgezeichnet werden.

Die spannungsabhängige Änderung der Geschwindigkeit von elastischen Wellen in Beton ist ein nicht zu vernachlässigender Effekt, welcher für Prüfverfahren zur Inspektion von bestehenden Gebäuden in Betracht gezogen werden kann. Ein Verständnis für die Ursachen der belastungs- bzw. zerstörungsgradabhängigen Geschwindigkeitsänderung der elastischen Wellen in Beton ebnet den Weg zur Entwicklung und Etablierung neuer Prüfmethode, mit deren Hilfe vor Ort und zerstörungsfrei der Auslastungs- und Schädigungsgrad einer Betonstruktur bestimmt werden kann.