

Impakt-Echo Analyse von Anregungsspektren und deren baupraktische Relevanz

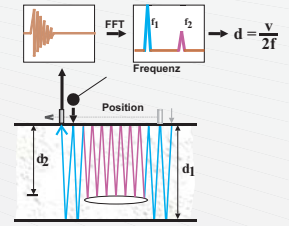
R. Lausch C. Colla, H. Wiggenhauser
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Motivation

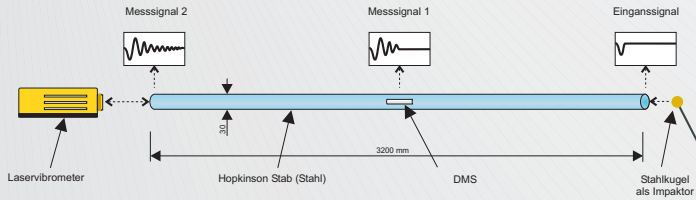
Die IE-Methode wird seit vielen Jahren zur zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen eingesetzt. Bei Anwendung dieses Verfahrens besteht oft das Problem, resultierende Frequenzspektren infolge der vielen Peaks richtig zu interpretieren. Ein wichtiges Bewertungskriterium ist dabei die Amplitudengröße eines Peaks, welche u.a. durch das Anregungsspektrum beeinflusst wird.

Prinzip

Auf der Oberseite des Bauteils werden durch einen kurzzeitigen Schlag mit einer Stahlkugel akustische Wellen generiert. Der Frequenzgehalt des Anregungsspektrums wird maßgeblich von der Dauer und Stärke des Impaktes bestimmt. Die Vielfachreflektionen der erzeugten Wellen an Grenzflächen innerhalb der Struktur werden mittels eines Sensors aufgezeichnet. Die Reflektortiefe d lässt sich dann bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen berechnen.



Hopkinson-Stab



Kalibrierungsmessungen

Zur Untersuchung des Anregungsspektrums von Stahlkugeln ϕ 5 bis 14 mm wird zunächst der Hopkinson-Stab verwendet, ein standardisiertes Messsystem, welches auch der Kalibrierung von Sensoren dient. Die Wellen, angeregt an einem Ende des Stabes, durchlaufen diesen und werden in Stabmitte mit einem DMS und am Ende von einem Laservibrometer aufgenommen. Diese beiden Signale werden anschließend zur Berechnung des am Stabanfang angeregten Zeitpulses verwendet.

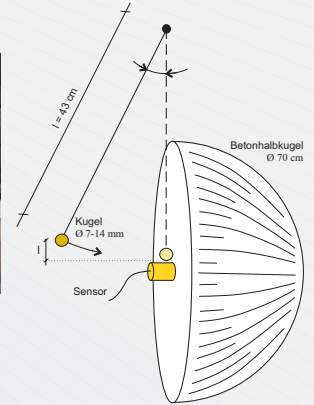
Betonhalbkugel

Untersuchung

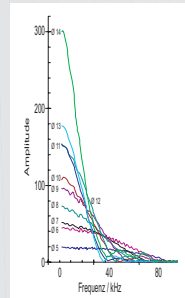
An einen Probekörper aus Beton (B25) wurden die Anregungsspektren der Stahlkugeln ebenfalls bestimmt. Im Versuch 1 erfolgte der Schlag manuell, in einem 2. Versuch wurden die Kugeln an einem Faden befestigt, um dann nach Auslenkung unter einem bestimmten Winkel innerhalb eines bestimmten Winkel frei gegen die Betonoberfläche zu schlagen.



Versuch 1



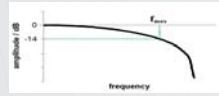
Versuch 2



Anregungsspektren

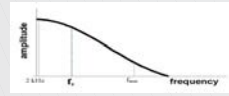
Große Stahlkugeln regen ein sehr schmales Frequenzspektrum an. Mit kleiner werdendem Kugeldurchmesser werden die Frequenzspektren breiter. Die Maximalamplituden nehmen mit größer werdenden Kugeldurchmesser stark zu.

Maximalfrequenz



f_{max} = Frequenz nach Amplitudenrückgang um 14 dB

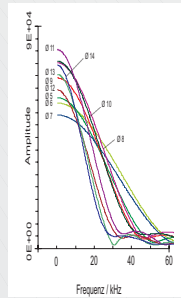
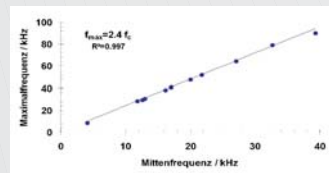
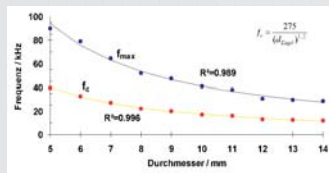
Mittenfrequenz



f_c = Flächenschwerpunkt zwischen $f = 2$ kHz und f_{max}

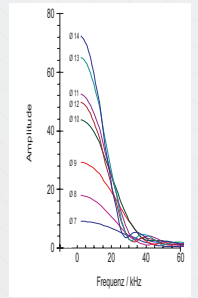
Maximal- und Mittenfrequenz

Die ermittelten Werte für f_{max} und f_c lassen sich in einem Diagramm in Abhängigkeit vom Kugeldurchmesser darstellen (Graph links). Mit der angegebenen Funktion lässt sich f_c bei gegebenem Kugeldurchmesser gut abschätzen. Zwischen f_{max} und f_c besteht eine lineare Abhängigkeit (Graph rechts).



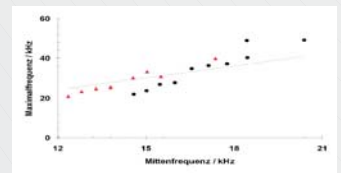
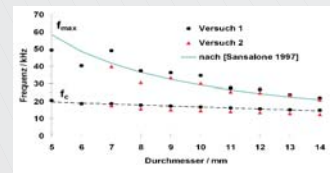
Anregungsspektren

Bei der manuellen Anregung (Graph links) liegen die Amplituden innerhalb eines schmalen Bereiches, wogegen bei definierter Anregung (Graph rechts) eine stetige Zunahme der max. Amplitude zu erkennen ist. Bei manueller Anregung wird die geringere Masse einer kleineren Kugel in der Regel durch eine erhöhte Schlagkraft kompensiert. Es werden wesentlich niedrigere Frequenzen als auf Stahl angeregt.



Maximal- und Mittenfrequenz

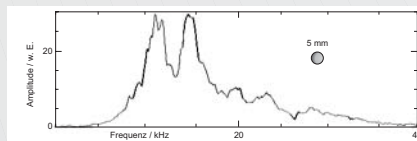
Die max. Frequenzen auf Beton sind deutlich geringer als auf Stahl. Die Mittenfrequenzen für Stahl nähern sich mit zunehmendem Kugeldurchmesser den Werten auf Beton an, für Kugeln $> \phi$ 11 mm sind sie in vergleichbarer Größenordnung. Die Mittenfrequenzen ändern sich nur sehr wenig in Abhängigkeit vom Durchmesser (Graph links). Somit kann keine lineare Abhängigkeit zwischen f_c und f_{max} vorliegen (Graph rechts).



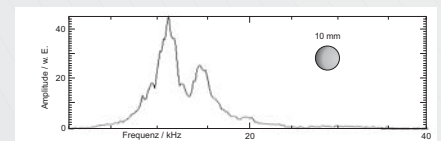
Ein baupraktisches Beispiel



Im Rahmen eines von der BAST finanzierten Forschungsvorhabens wurden Teile einer abgerissenen Spannbetonbrücke (rot eingekreist) untersucht. Zur Erzeugung des elastischen Impaktes wurden Stahlkugeln ϕ 5 und ϕ 10 mm verwendet. Die vorgestellten Frequenzspektren wurden im Flanschbereich des Abristeiles an ein und demselben Messpunkt aufgenommen. Der Einfluss der Kugelgröße auf das Messergebnis wird in diesen Spektren sehr gut deutlich.



Zu erkennen sind zwei Peaks mit annähernd gleich großen Amplituden, wobei der erste mit der Dicke des untersuchten Bauteils korrespondiert und der zweite mit einer Inhomogenität innerhalb der Struktur. Frequenzen bis ca. 35 kHz lassen sich erkennen.



Der die Inhomogenität charakterisierende Peak ist nur noch ungefähr halb so groß wie der Dickenpeak. Die Amplitude des Dickenpeaks ist jedoch ungefähr doppelt so hoch, wie im Spektrum der 5 mm Kugel. Das Spektrum zeigt nur Frequenzen bis ca. 22 kHz.

Für die baupraktische Anwendung bedeutet dies, dass unter Berücksichtigung des Messzieles (Tiefe) die zur Anregung verwendete Kugelgröße sorgfältig ausgewählt werden muss. Kugeln großen Durchmessers regen Frequenzen nur in einem schmalen Bereich an, so dass dementsprechend

keine Aussage über geringe Tiefen gemacht werden kann. Bei der Verwendung von Kugeln mit einem relativ kleinen Durchmesser wird ein wesentlich breiterer Frequenzbereich angeregt. Zu beachten ist allerdings, dass die Amplituden aufgrund der kleineren Masse dieser Kugeln geringer sind.