

3D Schallfeldcharakterisierung niederfrequenter Ultraschall-Prüfköpfe in Beton – Experimentelle Untersuchungen und Simulation

Stefan MAACK*, Martin SPIES**, Bernd HILLEMEIER***

* Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Tel. 030-8104-4246, Email stefan.maack@bam.de

** Fraunhofer Institut Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern, Tel. 0631-31600-4276, Email martin.spies@itwm.fraunhofer.de

*** Technische Universität Berlin, Institut für Bauingenieurwesen - Baustoffe und Baustoffprüfung, 13355 Berlin

Kurzfassung. Diagnose, Überwachung und Prüfung von Bauwerken nehmen eine immer größere Bedeutung im Bauwesen ein, nicht zuletzt aufgrund des steigenden Alters der Infrastruktur. Seit langem werden Ultraschallmessverfahren eingesetzt, um beispielsweise Strukturelemente oder Verdichtungsmängel in Beton zu orten oder die Dicke von Bauteilen bei einseitiger Zugänglichkeit zu bestimmen. Allerdings führt die Heterogenität des Betons in Form von Luftporen und Gesteinskörnung zu einer starken Schallschwächung. Zur effektiven Schallanregung und -detektion in Betonen haben sich Punkt-Kontakt-Prüfköpfe durchgesetzt, die ohne Koppelmittel auf die Messoberfläche aufgesetzt werden und als Einzelschwinger oder als Arrays erhältlich sind. In diesem Beitrag werden die experimentellen Untersuchungen und Simulationen zu deren Charakterisierung vorgestellt. Ein an der BAM entwickelter Scanner ermöglicht die dreidimensionale Bestimmung der Schallfelder und Richtcharakteristiken an halbkugelförmigen Testkörpern. Die am Fraunhofer ITWM entwickelten Simulationsprogramme auf der Basis der Generalisierten Punktquellensynthese (GPSS) liefern vergleichende Ergebnisse an untersuchten Betonhalbkugeln mit Durchmessern von 350 mm bis 650 mm. Die durchgeführten Untersuchungen bilden die Grundlage für den effektiven, applikationsspezifischen Einsatz von Prüfköpfen zur Betonprüfung und für die korrekte Erfassung des Rekonstruktionsvolumens beim Einsatz von tomographischen Verfahren. Darüber hinaus bietet der Einsatz von Simulationen die Möglichkeit, durch Berücksichtigung materialspezifischer Parameter vorab Informationen über die zu erwartenden Signal-Rausch-Verhältnisse zu ermitteln und damit die zu erwartenden experimentellen Gegebenheiten zu charakterisieren.

3D Schallfeldcharakterisierung niederfrequenter Ultraschall-Prüfköpfe in Beton – Experimentelle Untersuchungen und Simulation

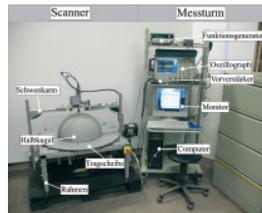
Stefan Maack Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) AG Bauwerksdiagnostik mit akustischen Verfahren, 12205 Berlin
 Martin Spies Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Ultraschall-Imaging, Abteilung Bildverarbeitung, 67663 Kaiserslautern
 Bernd Hillemeier Technische Universität Berlin, Institut für Bauingenieurwesen - Baustoffe und Baustoffprüfung, 13355 Berlin

Hintergrund

Bei der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen ist der Einsatz breitbandiger, niederfrequenter Ultraschall-Prüfköpfe inzwischen weit verbreitet. Insbesondere Prüfköpfe, die gezielt Scherwellen anregen, haben sich als geeignet herausgestellt. Die Prüfköpfe arbeiten koppelmittelfrei und kommen je nach Aufgabenstellung als Einzelprüfköpfe oder als Gruppenstrahler zur Anwendung. Aufgrund der starken Verbreitung nimmt der Werkstoff Beton als zu untersuchendes Baumaterial eine zentrale Rolle ein.

Prüfstand

An der BAM wurde zur Ermittlung der räumlichen Kennwerte von Schallfeldern ein Prüfstand geplant und gebaut. Der Scanner besteht aus einer Rahmenkonstruktion mit drehbarer Tragscheibe und einem beweglichen Schwenkarm. Der Schallimpuls wird an der Unterseite der Halbkugel eingeleitet. Zur Bestimmung der räumlichen Richtcharakteristik werden die Oberflächen



Motivation

Für die sichere Interpretation der Daten von Ultraschallmessungen sind die Kennwerte des Schallfeldes von elementarer Bedeutung. Dies gilt sowohl für die Rekonstruktion des inversen Streufeldes, als auch für vergleichende Simulationsrechnungen. Die allgemeinen Kenntnisse zu den sich ausbildenden Schallfeldern im Beton können gegenwärtig als noch nicht abschließend gesichert

Simulationsverfahren

Generalisierte Punktquellensynthese GPSS des Fraunhofer ITWM

- ▣ halb-analytisch, validiert
- ▣ Beschränkung auf Volumenwellen
- ▣ wellenartspezifische Berechnung von Schallfeldern und Ultraschallsignalen im Zeit- und Frequenzbereich
- ▣ Berücksichtigung von Schallschwächung, Anisotropien, Schichten, ...
- ▣ Berechnungsmodus: hier monochromatisch
- ▣ Berücksichtigung der aus den experimentellen Daten gewonnenen wellenartspezifischen Schallschwächungskoeffizienten

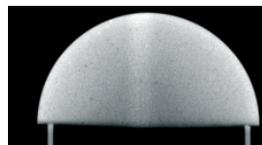
Ergebnisse

Probekörper

- ▣ Herstellung unterschiedlicher Probekörper aus Beton und Polyamid
- ▣ Probekörper aus Polyamid (Durchmesser $d = 588$ mm) für Referenzmessungen (BAM)
- ▣ Probekörper aus Beton: Planung und Herstellung an der Technischen Universität Berlin
- ▣ Material: selbstverdichtender Beton mit einem Größtkorn von $d = 4$ mm und einem Größtkorn von $d = 8$ mm
- ▣ Herstellung von jeweils 4 Probekörpern, maximaler Durchmesser $d = 650$ mm, minimaler Durchmesser $d = 200$ mm
- ▣ Qualitätskontrolle eines Probekörpers mittels Computertomografie (BAM)



Probekörper aus selbstverdichtendem Beton (Größtkorn $d = 4$ mm)



Computertomografisches Schnittbild durch einen Probekörper aus selbstverdichtendem Beton (Durchmesser $d = 350$ mm)

Prüfkopf

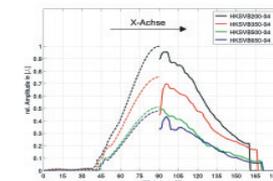
- ▣ Schallanregung: Gruppenstrahler (Transversalwelle) mit einer Mittenfrequenz von $f = 50$ kHz
- ▣ Aufbau: 12 Sender/12 Empfänger
- ▣ mittige Ankopplung an die Probekörper
- ▣ Polarisationsrichtung der Schallwelle in Richtung der Y-Achse



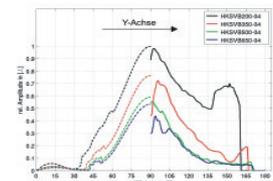
Gruppenstrahler (Scherwellen) mit 24 Einzelprüfköpfen

Ausgewählte Teilergebnisse

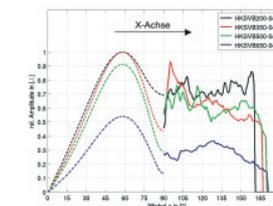
Die experimentellen Daten sind in den Diagrammen denen aus der Simulationsrechnung (gestrichelte Linien) gegenübergestellt. Bei den Kurven handelt es sich um gemittelte Werte aus einem Bereich von $\pm 6^\circ$ um die jeweils dargestellte Achse.



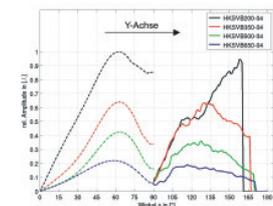
Richtcharakteristik in der X-Achse bei einer Abtastung mit einem Scherwellenprüfkopf



Richtcharakteristik in der Y-Achse bei einer Abtastung mit einem Scherwellenprüfkopf



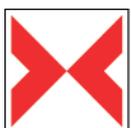
Richtcharakteristik in der X-Achse bei einer Abtastung mit einem Longitudinalwellenprüfkopf



Richtcharakteristik in der Y-Achse bei einer Abtastung mit einem Longitudinalwellenprüfkopf

Zusammenfassung und Ausblick

- ▣ Aufbau eines funktionsfähigen Prüfstandes zur 3D Charakterisierung von Schallfeldern in Festkörpern.
- ▣ Gute Übereinstimmung der simulierten und der experimentellen Daten.
- ▣ Die Untersuchungen bilden die Grundlage für den effektiven, applikationsspezifischen Einsatz von Prüfköpfen zur Betonprüfung und für die korrekte Erfassung des Rekonstruktionsvolumens beim Einsatz von tomographischen Verfahren.
- ▣ Der Einsatz von Simulationen bietet die Möglichkeit, durch Berücksichtigung materialspezifischer Parameter Vorab-Informationen über die zu erwartenden Signal-Rausch-Verhältnisse zu ermitteln und damit die zu erwartenden experimentellen Gegebenheiten zu charakterisieren.
- ▣ Weiterführende Untersuchungen zum Schallfeld in Beton bei variierenden Materialparametern (Größtkorn).
- ▣ Schallfeldanalyse von luftgekoppeltem Ultraschall unter verschiedenen Einschallbedingungen für die Anwendung im Impuls-Echobetrieb.
- ▣ Vergleichsmessungen an unterschiedlichen Prüfköpfen.



Fraunhofer
ITWM