

Bewertung der Tiefe von senkrechten Rissen in Beton mit Hilfe des Winkelspiegels

Ute RABE¹, Sergey PUDOVNIKOV¹, Hans-Georg HERRMANN¹,
Herbert WIGGENHAUSER², Ernst NIEDERLEITHINGER³

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

² Berater, Berlin

³ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM, Berlin

Kontakt E-Mail: ute.rabe@izfp.fraunhofer.de

Kurzfassung

In der Ultraschallprüfung von Metallen ist die Winkelspiegelmethode weit verbreitet, um beispielsweise Ermüdungsrisse zu detektieren. Es werden Einzelschwinger oder Phased Arrays verwendet, die im Bauteil vertikal polarisierte Scherwellen (SV) unter einem Winkel von 45° erzeugen. Der Prüfkopf wird so positioniert, dass er die rechtwinklige Ecke beleuchtet, die aus Rückwand und Rissflanke gebildet wird. Angesichts einer alternden Infrastruktur ist die Ultraschall-Untersuchung von Rissen in Beton generell von Interesse. Die zerstörungsfreie Bestimmung der Tiefe von senkrechten Rissen in Beton basiert auf Laufzeitverfahren, die bei künstlichen Fehlern wie Sägeschnitten sehr gute Ergebnisse liefern, auf natürliche Risse jedoch derzeit nicht zuverlässig übertragbar sind. In der Ultraschallprüfung von Beton haben sich Prüfköpfe mit Trockenpunktkontaktwandlern durchgesetzt, die horizontal polarisierte Scherwellen (SH) aussenden. Es wird erläutert, wie die Daten im Full Matrix Capture Modus mit linearen Arrays für Beton aufgenommen wurden, und wie sie mit der Total Focusing Methode ausgewertet werden können, damit die Winkelspiegelanzeige auswertbar dargestellt wird. Anhand von Beispielen wird gezeigt, dass der Winkelspiegel genutzt werden kann, um zu überprüfen, ob ein Riss ein Trennriss ist oder nicht. Dies bedeutet eine erste Einschätzung der Risstiefe.

Bewertung der Tiefe von senkrechten Rissen in Beton mit Hilfe des Winkelspiegels

U. Rabe¹, S. Pudovikov¹, H.-G. Herrmann¹, H. Wiggerhauser², E. Niederleithinger³

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Campus E3.1, Saarbrücken

² Berater, Berlin

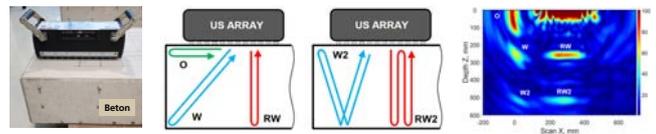
³ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, Berlin

Einleitung

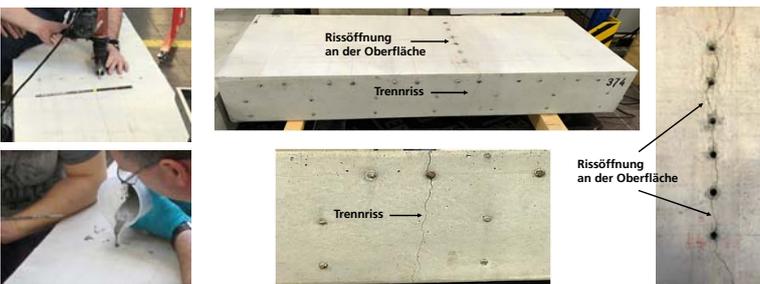
Der Winkelspiegel ist ein bekannter Effekt, um senkrechte Risse mit Ultraschall zu detektieren.

- Ultraschallprüfung an Metallen: Einzelschwinger oder Phased Arrays regen im Bauteil vertikal polarisierte Scherwellen (SV) unter einem Winkel von 45° an. Der Prüfkopf wird so positioniert, dass er die rechtwinklige Ecke beleuchtet, die aus Rückwand und Rissflanke gebildet wird.
- Ultraschallprüfung von Beton: Trockenpunktkontaktprüfköpfe erzeugen horizontal polarisierte Scherwellen (SH). Die Sensoren befinden sich in direktem Kontakt mit dem Beton.

Es wird gezeigt, dass der Winkelspiegel auch in Beton für SH-Wellen ein starker Reflektor ist. Auf diese Weise können vertikale Risse, die entweder an der Oberfläche oder an der Rückwand geöffnet sind, nachgewiesen werden.



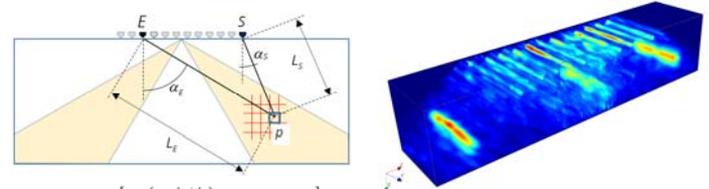
Reflexion des Ultraschalls an der Kante eines plattenförmigen Betonobjektes (schematisch + SAFT-Rekonstruktion von Ultraschall-Messdaten): RW und RW2 – Rückwandreflexion, O – Oberflächenwelle an der Kante, W und W2 – Winkelspiegel [2]



Erzeugung des durchgehenden Risses im Betonprobekörper, BAM

Datenaufnahme und Rekonstruktion

Der Probekörper wurde mit dem Ultraschallarray A1040 MIRA (Firma ACS) mit festem Raster (90 mm in Längsrichtung, 50 mm in Querrichtung) abgetastet. Ultraschallmessungen wurden auf dem Probekörper in drei Zuständen durchgeführt: Probekörper intakt, Riss nicht durchgehend, Riss durchgehend. Die Ultraschalldaten wurden mit Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) rekonstruiert. Durch Einschränkung der Winkel im Rekonstruktionsalgorithmus wird das Signal-Rausch-Verhältnis der Winkelspiegelanzeige erhöht.

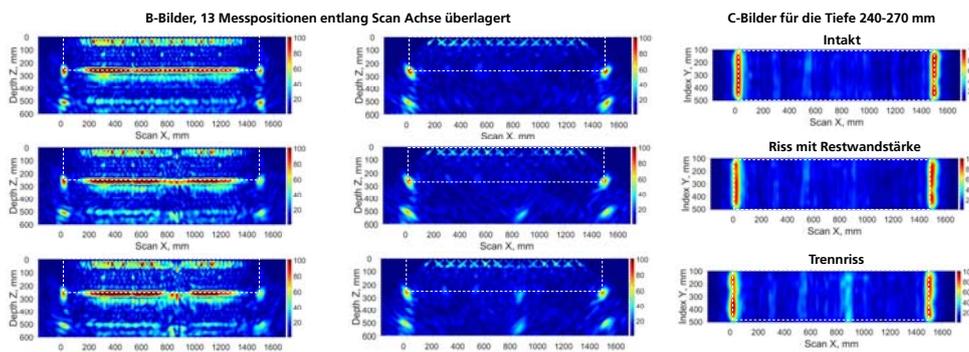


$$I_p = \sum_{s=1}^{11} \sum_{E=s+1}^{12} \left[A^{SE} \left(t = \frac{L_s + L_E}{V} \right) \times \cos \alpha_s \times \cos \alpha_E \right] \times K$$

SAFT-Rekonstruktion mit Einschränkung der Winkel im Rekonstruktionsbereich:
 I_p – Intensität des Pixels p , S und E – Sender und Empfänger, A^{SE} – Laufzeitsignal, V – Schallgeschwindigkeit
 K – Koeffizient, für ihn gilt: $K=1$ innerhalb des gelben Bereiches und $K=0$ außerhalb.
 Rechts ist eine 3D-Darstellung des Rekonstruktionsergebnisses gezeigt (Zustand mit Trennriss)

Ergebnisse

Mit der Einschränkung des Rekonstruktionsbereiches entfernt man die Rückwandanzeige aus dem rekonstruierten B-Bild, wodurch die Winkelspiegelreflexion sichtbar wird. Eine Anzeige bei der Tiefe der Rückwandfläche deutet dann auf einen vertikalen Riss hin, der zur Rückwandfläche geöffnet ist. Analog entspricht eine Anzeige mit doppelter Tiefe einem Riss, der auf der Prüffläche beginnt. Sind beide Indikationen gleichzeitig bei ähnlicher lateraler Lage in einem Bild, weist dies auf einen Trennriss hin.



Rekonstruierte B- und C-Bilder vom Betonprobekörper in drei Zuständen: obere Zeile – intakt, mittlere – mit nichtdurchgehendem Riss, untere – Trennriss [2].
 Linke Spalte – SAFT Rekonstruktion von allen Pixeln, mittlere und rechte Spalte – Rekonstruktion mit beschränktem Bereich (30° bis 60° für jede Arrayposition)

Kontakt

APL Prof. Dr.-Ing. Ute Rabe
 Chief Scientist Sensorbasierte
 Lösungen und Applikationen
 Tel. +49 681 9302 3803

Ute.Rabe@izfp.fraunhofer.de
 Fraunhofer IZFP
 Campus E3.1
 66123 Saarbrücken
 www.izfp.fraunhofer.de

1 H. Wiggerhauser, C. Köpp, J. Timofeev, H. Azari, Controlled Creating of Cracks for Non-destructive Testing, Journal of Nondestructive Evaluation (2018) 37-67.
 2 U. Rabe, S. Pudovikov, H.-G. Herrmann, H. Wiggerhauser, P. Prabhakara, E. Niederleithinger, Using the corner reflection for depth evaluation of surface breaking cracks in concrete by ultrasound, submitted to Journal of Nondestructive Evaluation (2023)