

Ultraschallecho an Beton - Definition von Kenngrößen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von bildgebenden Verfahren

D. Streicher, M. Krause, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM),
O. Kroggel, TU Darmstadt (UDA),
M. Schickert, Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFWA),
W. Müller, Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (Fraunhofer-IZFP)

Für die Strukturaufklärung von Betonbauteilen existieren mehrere bildgebende Ultraschallecho-Verfahren, u. a. mit Nutzung des Prinzips der synthetischen Apertur. Die Ergebnisse werden mit unterschiedlichen Verfahren, mit oder ohne Anwendung von Rekonstruktionsrechnungen, ausgewertet und in der Regel als B- bzw. C-Bilder dargestellt.

Ziel ist es, die unterschiedlichen Verfahren anhand von Messreihen an Testkörpern mit bekannten Prüfböjekten in Hinblick auf Ihre Leistungsfähigkeit quantitativ zu fassen und zu vergleichen, um den Einsatz der Prüfverfahren bei Untersuchungen unbekannter Objekte zu optimieren. Dazu wurden drei Kenngrößen definiert. Als erster Schritt erfolgte die Anwendung der Definitionen auf vorliegende Messergebnisse zu einer in einem 50 cm dicken Betontestkörper parallel zur Messfläche eingebrachten Bohrung.

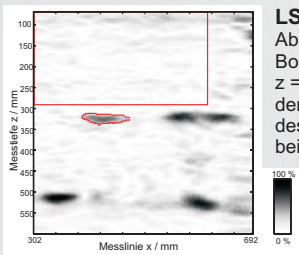
Signal/Rausch-Verhältnis s

Zur Quantifizierung des Signal/Rausch-Verhältnisses s wird das Verhältnis der maximalen Objektamplitude o_{max} zum Effektivwert des, vor dem Objekt auftretenden Rauschens r_v angegeben:

$$s = 20 \log_{10} \left(\frac{o_{max}}{\sqrt{r_v^2}} \right) \text{ in dB.}$$

Als signifikant werden Maximas angesehen, bei denen der Wert s mindestens 6 dB beträgt.

Beispiel 1: Lineare Apertur in Impuls/Echo-Technik



LSAFT-B-Bild: Abbildung der Bohrung bei $z = 320$ mm und der Rückwand des Testkörpers bei $z = 510$ mm

Für den im Bild markierten Abschnitt der Bohrung bei $z = 320$ mm ergibt sich in Bezug auf das Rauschen (rechteckiger Bereich) ein Signal/ Rausch-Verhältnis von $s = 13,3$ dB.

Der für die Signifikanz des Objektes definierte Grenzwert von 6 dB wird deutlich eingehalten.

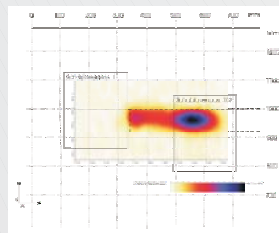
Laterales Auflösungsvermögen x

Als Kenngröße für die laterale Auflösung in x- bzw. y-Richtung ist der Anstiegsweg zwischen 10 % und 90 % der Objektamplitude zu betrachten:

$$x = x_{90\%} - x_{10\%} \text{ in mm.}$$

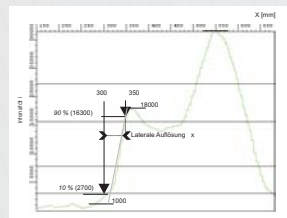
Die Objektbegrenzung wird beim halben Anstiegsweg angenommen.

Beispiel 2: Ultraschall-Array mit zehn Prüfköpfen



Skizze der Bohrung mit integriertem SAFT-C-Bild

Horizontalplot aus dem SAFT-C-Bild unmittelbar über dem Scheitel der Bohrung:



Für das Beispiel des Überganges Beton/Bohrloch ergibt sich eine objektbezogene Auflösung von 50 mm.

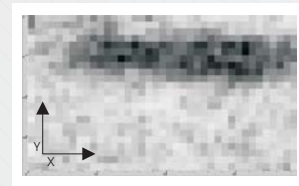
Die Objektbegrenzung ist bei $x = 325$ mm zu erwarten.

Gleichmäßigkeit der Abbildung g

Die Gleichmäßigkeit g der Abbildung eines bekannten, gleichmäßig reflektierenden Objektes wird durch einen einzelnen Wert als Verhältnis zwischen Spitzen- und Effektivwert der Objektamplituden unter Berücksichtigung des Rauschens beschrieben. Die Größe o umfasst dabei alle Amplituden, die einem Objekt zuzuordnen sind:

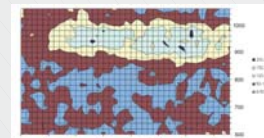
$$g = 20 \log_{10} \left(\frac{o_{max} \cdot \sqrt{r_v^2}}{\sqrt{o^2} - \sqrt{r_v^2}} \right) \text{ in dB.}$$

Beispiel 3: Array mit Punktkontakt-Transversalwellen-Prüfköpfen

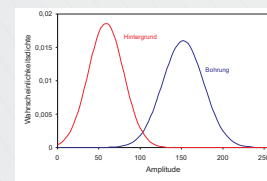


C-Bild: Abbildung der Bohrung

Schritte zur flächigen Beurteilung der Gleichmäßigkeit:



Die gelbe und grüne Fläche umschließt den Bereich, der in die statistische Beschreibung der Amplituden der Bohrungsanzeige eingeht. Die zugehörige Gauss-Verteilung ist blau dargestellt.



Aus der statistischen Auswertung resultiert mit Werten von $o_{max} = 217$, $o = 152$ und $\sqrt{r_v^2} = 59$ eine Gleichmäßigkeit g von 5 dB.

Die Betondeckung über der parallel zur Messfläche eingebrachten Bohrung (Durchmesser 80 mm) beträgt 315 mm. Das Bohrloch endet bei $x = 340$ mm.

Am Beispiel der Bohrung konnten gemäß den vorgestellten Definitionen für jedes Verfahren die Kenngrößen ermittelt werden. Diese Untersuchungen sind an weiteren bekannten Objekten fortzusetzen, wofür zusätzliche Testkörper geplant sind. Dabei gilt zu klären, inwieweit Modifikationen der Definitionen selbst, z. B. der Gleichmäßigkeit oder der Anwendungskriterien, z. B. der Signifikanz, sinnvoll sind.

Objekt: Bohrung im Betontestkörper (Normalbeton, ZS-Größtkorn 8 mm) - Übersicht der verfahrensspezifisch ermittelten Kenngrößen -

Verfahren	Mittenfrequenz kHz	Wellenlänge mm	s dB	x mm	Ortung $x_{50\%}$ mm	g dB
Lineare Apertur in Impuls/Echo-Technik	400 ¹⁾	10 ¹⁾	15	27	317	
Flächige Apertur in S/E-Anordnung	85	47	10	37	327	4
Flächige Apertur in S/E-Anordnung	150	27	15	30	340	
Array mit zehn Prüfköpfen	85	47	21	50	325	3
Array mit zehn Prüfköpfen	150	27	12	25	343	
Scannendes Laservibrometer	100	40	8	28	340	5
Array mit Punktkontakt-Transversalwellen-Prüfköpfen	55	47	16	20	320	5

¹⁾ ermittelt als Impuls/Echo an einer Glasrückwand

Gefördert von der DFG: **Forscherguppe FOR 384** Zerstörungsfreie Strukturbestimmung von Betonbauteilen mit akustischen und elektromagnetischen Echo-Verfahren