

# Praktische und praxisnahe Untersuchung von Spannbetonkonstruktionen mit bildgebenden Ultraschallecho-Verfahren

Sebastian SCHULZE\*, Martin KRAUSE\*\*, Klaus MAYER\*\*\*

\* BAM/Hupfer Ingenieure (Bei der Neuen Münze 14, 22145 Hamburg)

[schulze@hupfer-ingenieure.com](mailto:schulze@hupfer-ingenieure.com)

\*\* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (12200 Berlin)

[martin.krause@bam.de](mailto:martin.krause@bam.de)

\*\*\* Universität Kassel (Wilhelmshöher Allee 71, 34121 Kassel)

[kmayer@uni-kassel.de](mailto:kmayer@uni-kassel.de)

## Kurzfassung

Um die Akzeptanz der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau) in der Praxis weiter zu verbessern, müssen Resultate in wirtschaftlich vertretbarem Rahmen erreicht werden, auch für komplexe Prüfaufgaben. Gleichzeitig sollten Resultate für Auftraggeber und andere Baufachleute ohne entsprechenden Hintergrund in der ZfPBau weitestmöglich intuitiv nachvollziehbar sein. Wesentlicher Bestandteil dabei ist die effiziente bildgebende Auswertung von Volumendaten, die mittels automatisierter Prüfverfahren und/oder zweckmäßigen manuellen Messungen gewonnen wurden.

Eine besonders komplexe Aufgabe ist die Untersuchung von Spannbetonkonstruktionen, speziell hinsichtlich des Verpresszustandes der Spannglieder. Im Rahmen des DFG-geförderten Forschungsvorhabens "Analyse von Spannbetonbauteilen mit 3D-Ultraschallecho-Verfahren" als Gemeinschaftsprojekt der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und der Universität Kassel wurden Serien kleiner Probekörper sowie eine große Referenztestwand erstellt, in die Hüllrohre unterschiedlichster Verpresszustände, Tiefenlagen und Bewehrungsüberdeckungen praxisnah eingebaut wurden.

Für die Auswertung wurde das an der Universität Kassel entwickelte und an der BAM im Praxiseinsatz bewährte Softwarepaket „InterSAFT“ zur bildgebenden Rekonstruktion und Darstellung von Messdaten verwendet. Insbesondere durch die bildgebende Darstellung der Phasenlage von Echosignalen zur Unterscheidung der Reflektoren Stahl und Luft in Beton wird dabei ein signifikanter Informationsgewinn ermöglicht.

Anhand von Resultaten an dieser Testwand sowie an einem realen Spannbetonbauwerk mit praktischen Fragestellungen werden aktuelle Fortschritte in der bildgebenden Ultraschallechountersuchung im Bauwesen aufgezeigt.



# Praktische und praxisnahe Untersuchung von Spannbetonkonstruktionen mit bildgebenden Ultraschallecho-Verfahren

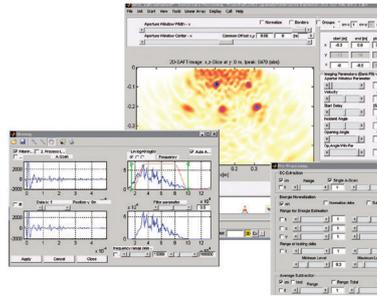
S. Schulze (BAM 8.2/Hupfer Ingenieure), M. Krause (BAM 8.2), K. Mayer (Universität Kassel, FB 16)

Mit der bildgebenden Auswertung von Volumendaten können Resultate erzielt werden, die intuitiv nachvollziehbar sind und so die Akzeptanz der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau) erhöhen. Bei Ultraschallecho-Verfahren bedeutet insbesondere die bildgebende Darstellung der Phasenlage von Echosignalen zur Unterscheidung der Reflektoren Stahl und Luft in Beton einen signifikanten Informationsgewinn. An der Universität Kassel wurde ein Softwarepaket entwickelt, welches an der BAM im Praxiseinsatz optimiert und zur Rekonstruktion und Visualisierung aller hier dargestellten Messdaten eingesetzt wurde.

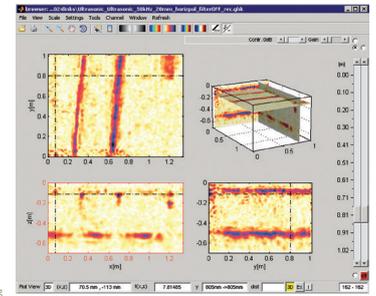
## > Rekonstruktionssoftware der Universität Kassel

Softwarepaket „InterSAFT“ (Interactive Synthetic Aperture Focusing Technique) der Universität Kassel und der BAM zur interaktiven und praxisgerechten bildgebenden Auswertung

- Ultraschall- und Radarmessdaten
- mono- und multistatische Daten
- Rekonstruktion in 2D und 3D
- Intensitäts- und Phasendarstellung



< Ausschnitt aus der Benutzeroberfläche der Rekonstruktionssoftware mit umfangreichen Bearbeitungsmöglichkeiten

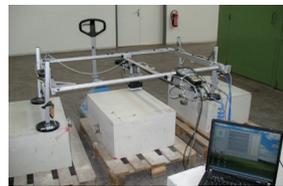


> Browser zur Bildardarstellung

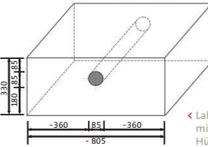
## > Prinzip der Phasenauswertung von Volumendaten

Am Referenzfall des mörtelgefüllten Hüllrohrs kann der Verpresszustand eindeutig identifiziert werden:

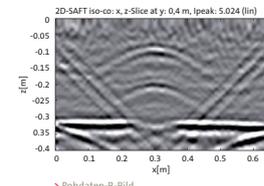
- Das Echo der Hüllrohrunterseite liegt infolge der geringeren Schallgeschwindigkeit im Mörtel tiefer als die wahre geometrische Lage.
- Aufgrund der Fokussierung des Schallstrahls im Mörtel besitzen die Echos an Ober- und Unterseite ähnliche Intensität.
- Die Phasenlage an der Hüllrohrunterseite ist gegenüber der Oberseite des Hüllrohrs sowie der Unterkante des Probekörpers deutlich verschoben.



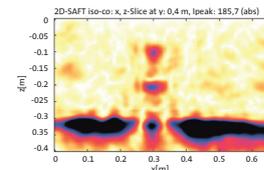
> Versuchsaufbau



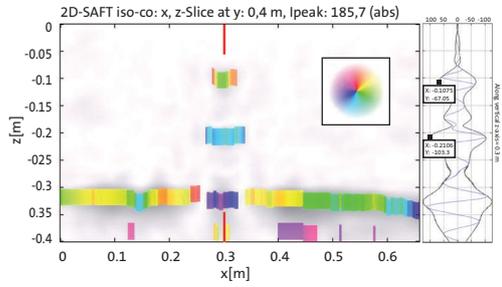
> Laborprobekörper mit mörtelgefülltem Hüllrohr



> Rohdaten-Bild



> Rekonstruiertes B-Bild



> Phasen-Bild und Prinzip der Phasenauswertung am A-Bild anhand der relativen Lage des Wechselsignals (blau) zum Maximum der Einhüllenden (schwarz)

## > Einsatzbeispiel aus der Praxis

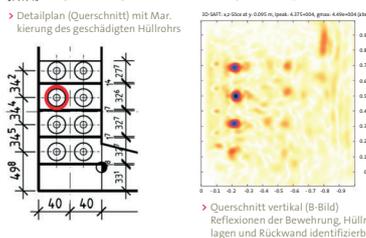
Fragestellung:

Feststellung der Lage und Ausdehnung von Betonverstopfern im Hüllrohr des Neubaus einer Eisenbahnbrücke.

Unter Verwendung von InterSAFT konnte mit manuellen multistatischen Messungen (Linear Array) und wirtschaftlich vertretbarem Aufwand die Aufgabe vor Ort gelöst werden: Die Einbruchstelle wurde detektiert, der Bereich der Blockade konnte eingegrenzt werden.



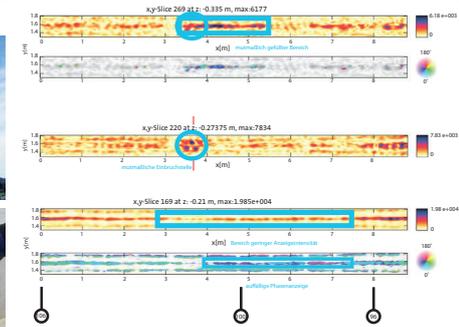
> Plan mit Untersuchungs-bereichen (rot)



> Detailplan (Querschnitt) mit Markierung des geschädigten Hüllrohrs

> Querschnitt vertikal (B-Bild) Reflexionen der Bewehrung, Hüllrohrs-lagen und Rückwand identifizierbar

> Brückensicht und Messung mit multistatischem Array

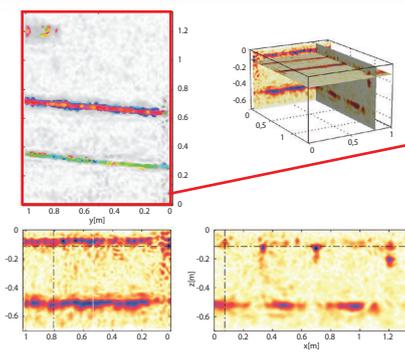


> Tiefenschnitte längs (C-Bilder) in drei Tiefen  
• Intensitäts- und Phasenbilder  
• Einbruchstelle und Blockadebereich identifizierbar

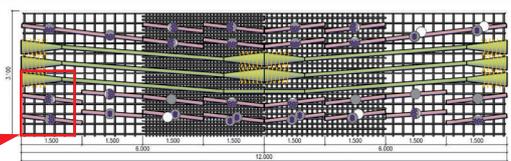
## > Forschung und Ausblick

Auf dem Testgelände der BAM wurde eine großformatige Testwand zur Untersuchung von Spanngliedern einschließlich Spann- und Koppelstellen mit laborgefertigten Hüllrohrabschnitten sowie praxisgleichen Spanngliedern erbaut.

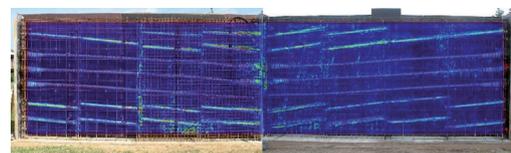
Durch die noch andauernde Auswertung der umfangreichen manuellen und automatisierten, bi- und multistatischen Messungen werden weitere Rückschlüsse auf die Untersuchbarkeit von Spannbetonbauteilen mit bildgebenden Ultraschallecho-Verfahren erwartet.



> Dreidimensional rekonstruiertes Volumen, visualisiert durch drei orthogonale Schnitte  
• C-Bild als Phasendarstellung, B-Bilder als Intensitätsdarstellung  
• Reflexion an Stahl und Luft deutlich unterscheidbar



< Zeichnung Testwand  
• laborgefertigte Hüllrohrabschnitte mit bekanntem Inneren (rot)  
• Spannglieder (grün)  
• Bewehrung (schwarz)



< zusammengesetztes rekonstruiertes C-Bild (Intensitätsdarstellung) • montiert auf Foto der Testwand vor dem Schließen der Schalung