

Darstellung des Verpresszustandes von Spannkäulen mit 3D-Ultraschallechoverfahren: Modellierung und Experiment

Martin KRAUSE*, Klaus MAYER**, Gregor BALLIER**

Martin FRIESE*, Frank MIELENTZ*, Boris MILMANN*

* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
12200 Berlin, martin.krause@bam.de

** Universität Kassel, Wilhelmshöher Allee 71, 34121 Kassel
kmayer@uni-kassel.de

Kurzfassung. Die Zustandsuntersuchung von Hüllrohren in Spannbetonbauteilen mit bildgebenden Ultraschallechoverfahren im Frequenzbereich von 50 kHz bis 150 kHz ist ein seit den 1990er Jahren bekanntes Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen. Die praktische Anwendung zur Ortung von Verpressfehlern bezieht sich sowohl auf die Amplitudendarstellung der Ultraschallrückstreuung als auch (seit 2006) auf die bildgebende Darstellung des Phasenwertes. In einem DFG geförderten Vorhaben wird zurzeit die Aussagesicherheit des Verfahrens verbessert, die wesentlich von der Bauform der Spannkäule, der Einbautiefe in Bezug auf die Wellenlänge und den Randbedingungen im Bauwerk (schlaife Bewehrung, Betonart) abhängt. Im vorliegenden Beitrag wird über einen Teilaspekt der Ergebnisse berichtet, nämlich die Analyse der elastischen Wellen in der Grenzfläche des Hüllrohres in Abhängigkeit vom Zustand (voll verpresst mit und ohne Spannlitzen bzw. leer).

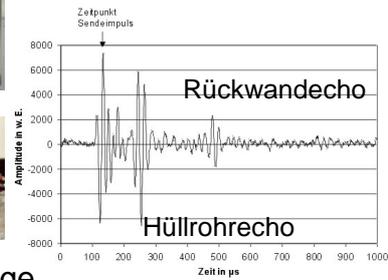
Bei der Ultraschallabbildung tritt eine Rückstreuung sowohl von der Oberseite des Hüllrohres und den darin liegenden Spanndrähten als auch aus den inneren Bereichen des Hüllrohres auf. Außerdem spielen die Kriechwellen eine Rolle, die je nach Verpresszustand in das Hüllrohr eindringen bzw. umlaufen. Die Modellierungen von Druck- und Scherwellen mit EFIT (Elastodynamische Finite Integrationstechnik) sowie die Rekonstruktionsrechnungen einschließlich Phasenauswertung werden mit entsprechenden Messergebnissen verglichen und erlauben eine verbesserte Zuordnung der Ergebnisse zum inneren Zustand der Spannkäule.

Nachfolgend ist eine Auswahl der Vortragsfolien zusammengestellt.

Ultraschallecho-Verfahren für Betonbauteile

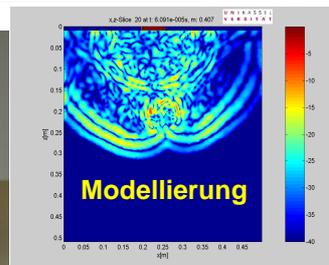


Typische Laufzeitkurve

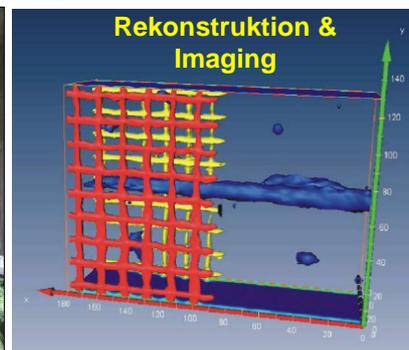


	Frequenz	Wellenlänge
Long-Wellen	100 kHz	4 cm
Transversal-Wellen	55 kHz	5 cm

Niederfrequenz-Ultraschall:
Nutzung des Wechselsignals



Verpressfehler



Gliederung

- Kriterien für die Erkennung von Verpressfehlern

Forschungs- und Entwicklungsbedarf für

- Spankanäle mit geringer Betondeckung
Lineares Array
- Rückstreuung aus dem Bereich der Rückseite
Modenumwandlung

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T  **BAM**

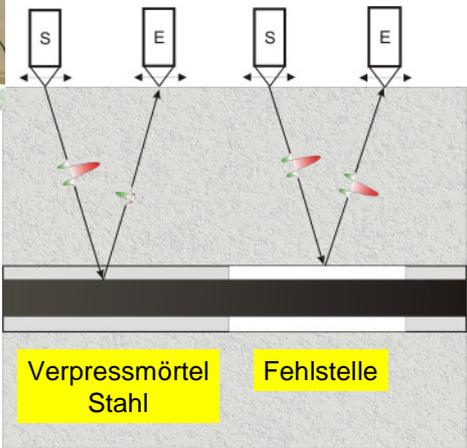
Kriterien für die Erkennung von Verpressfehlern

Trockenkontakt
Scherwellen
(A1220)





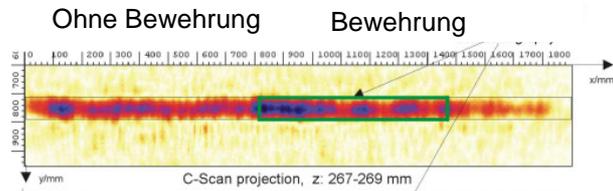
50 kHz



- **Intensität**

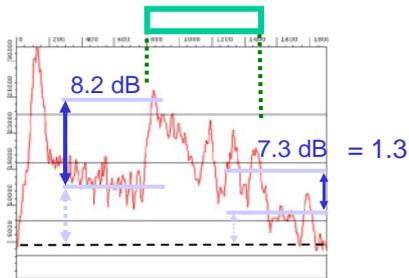
- Phase des reflektierten Signals

- Signale **Linienplot Oberseite**
Unterseite



SAFT- Oberseite
C-Bild

Verh. = 2.6



- **Intensität**

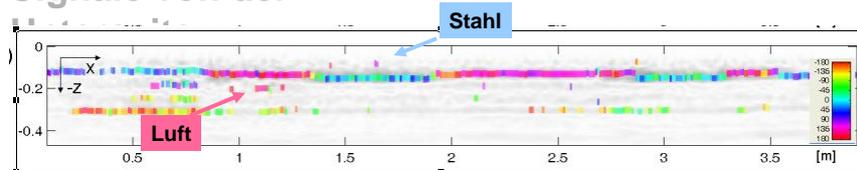
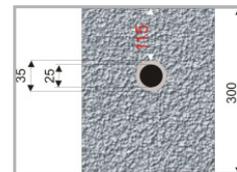
- **Phase des reflektierten Signals**

- Signale von der

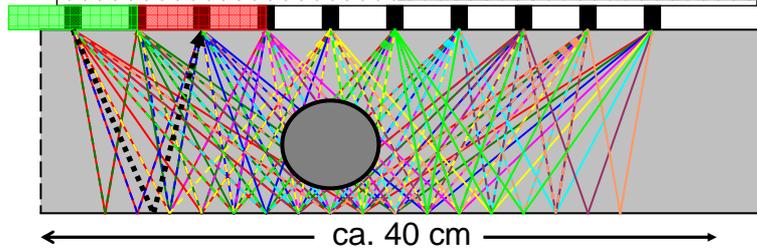


Stahl Luft
180° 0° Phasenwert

SAFT-C-Bild

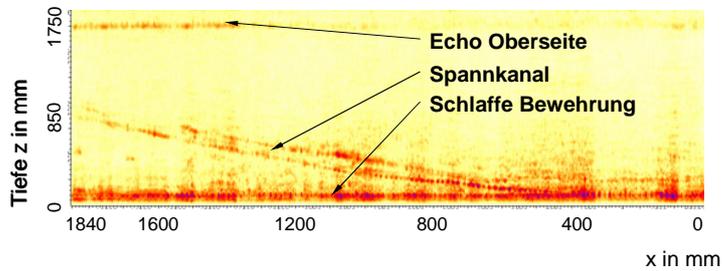
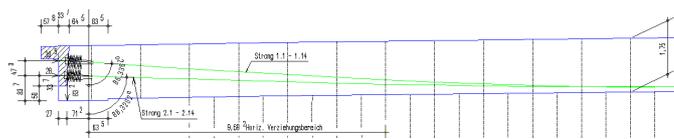


Messprinzip
Multistatisch



10 Prüfkopf Reihenelemente
90 (45) A-Bilder in 350 ms
Data acquisition, -transfer und -prozessierung in < 2 sec

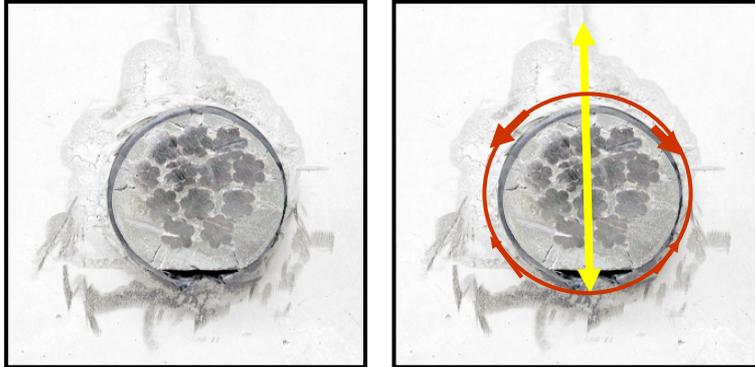
Ultraschall-Echo an Spannbetonbrücke (Beispiel)



SAFT-B-Projektion vom Spannkanal 2
(Längsschnitt)

Baustelleneinsatz von
VIII.2, D. Streicher

Signale aus dem Bereich der Rückseite

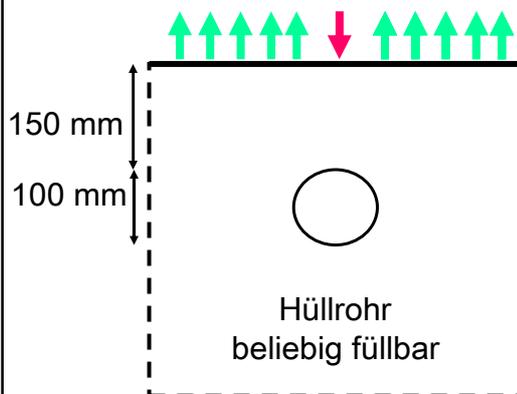


Wellenpulse:
Umlaufend oder
durchgehend



Modellierung der Schallausbreitung mit EFIT

Sendekopf Punktsender p- und s-Wellen zunächst = 20 mm

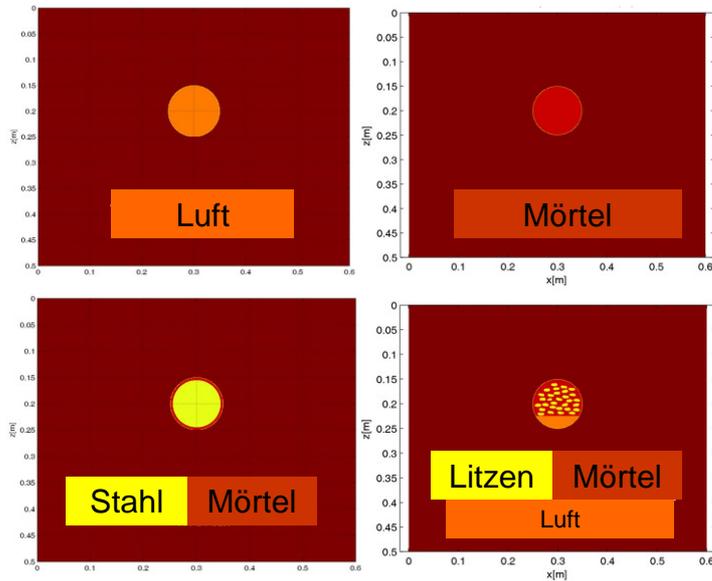


Empfangspositionen
als synthetische Apertur

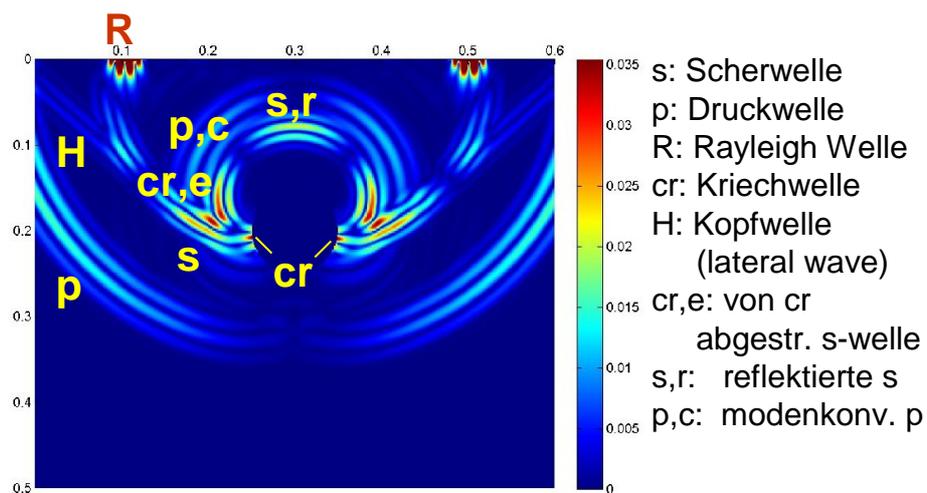
Abtastung reflektierter
synthetischer Daten:
Messdaten für
SAFT-Rekonstruktion

EFIT: Elastodynamisch Finite Integrationstechnik: Marklein, Fellinger, Langenberg

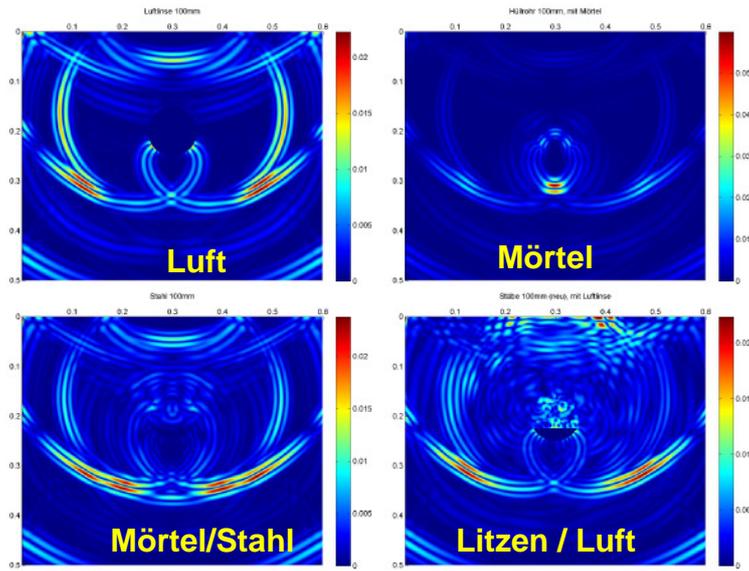
Getrennte Betrachtung der Vorgänge



Wellenmoden für luftgefüllten Hüllrohr

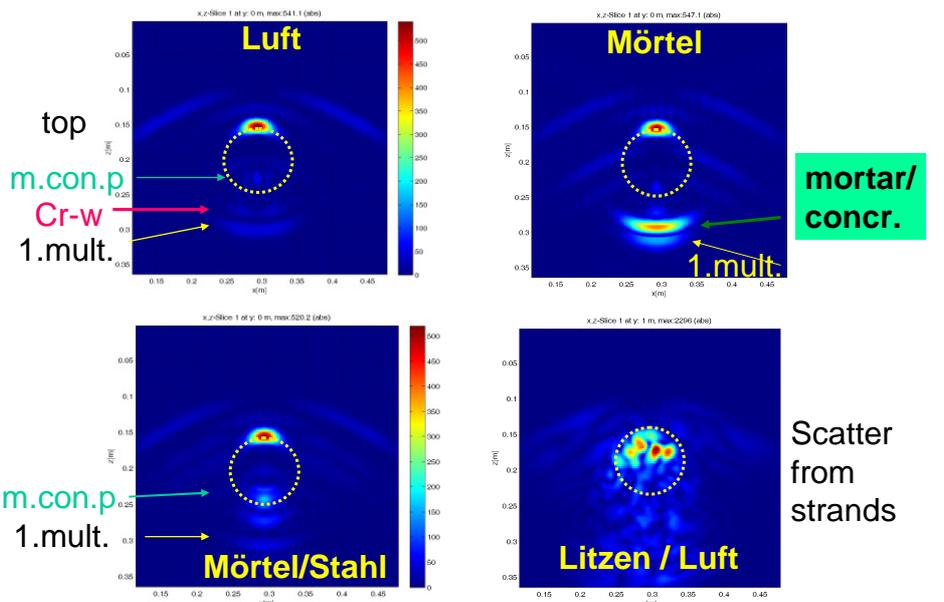


snapshot 21

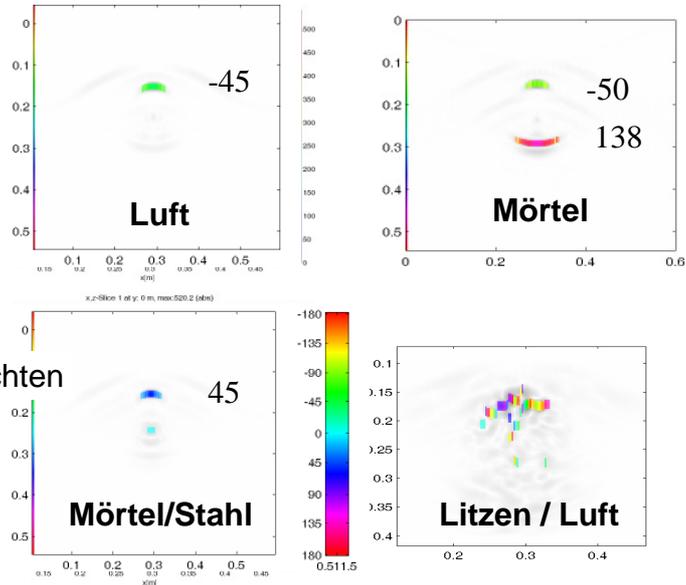


snapshot 40

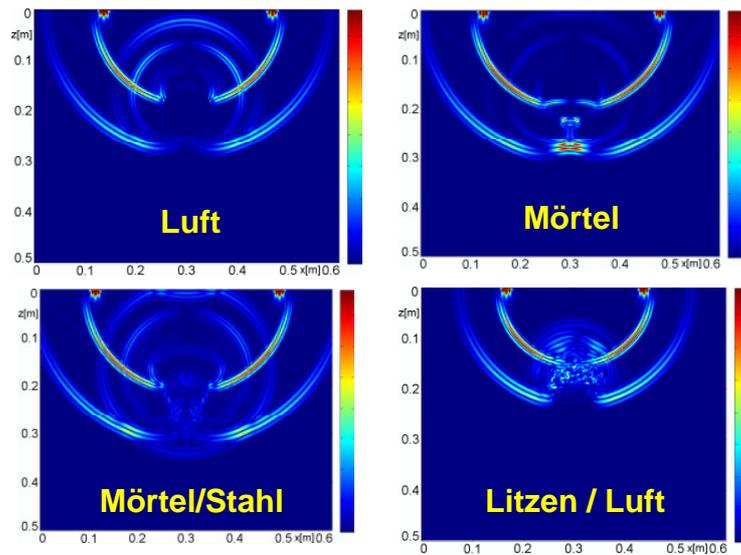
SAFT Rekonstruktion von synth. A-Bildern: **Amplitude**



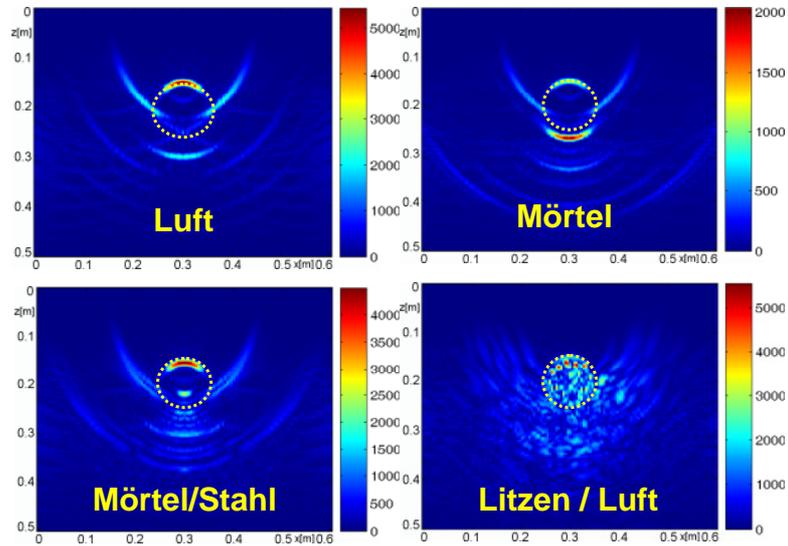
SAFT Rekonstruktion von synth. A-Bildern : Phase



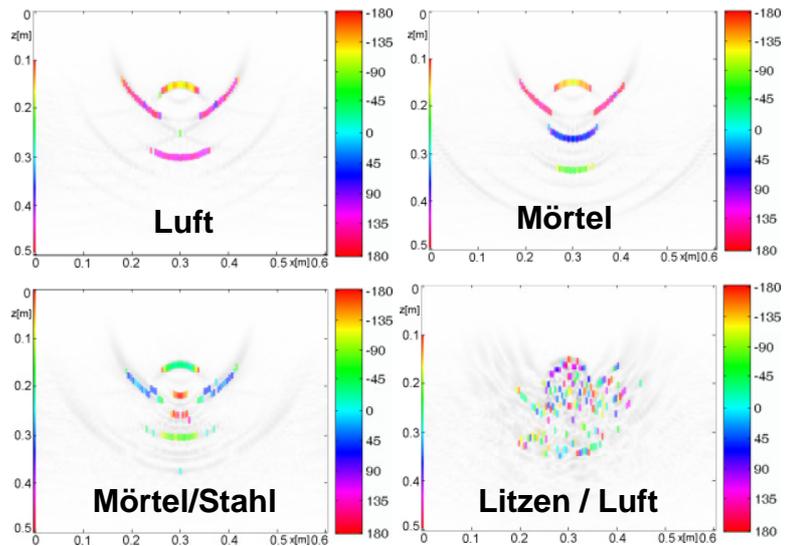
P-Wellenanregung: snapshot



P-Wellenanregung: Rekonstruktion, Amplitude



P-Wellenanregung: Rekonstruktion, Phase



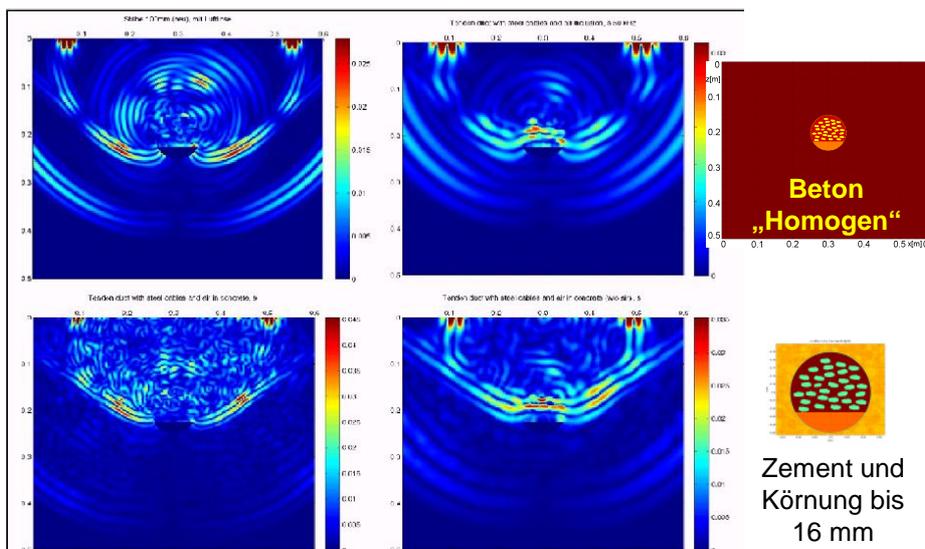
Zusammenfassung: Ausbreitung "kurzwelliger" Wellenpulse
in „homogenem“ Beton ($\phi = 20$ mm)

- Reflexe an der Oberseite der Hüllrohre: Intensität und Phase bestätigen die Experimente
- Umlaufende Kriechwellen nur für Scherwellen im luftgefülltes Hüllrohr (in Rekonstruktion sehr schwach)
- Hüllrohr mit Mörtel: Fokussierungseffekt für s- und p-Wellen: relativ starker Rückseitenreflex
- Rückseitenreflex für Hüllrohr mit Stahl nur für p-Welle
- Hüllrohr mit Litzen: Vielfachstreuung verhindert Signale von Rückseite

Nachfolgend: Größere Wellenlänge / Realer Beton

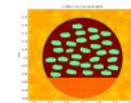
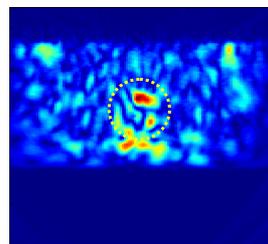
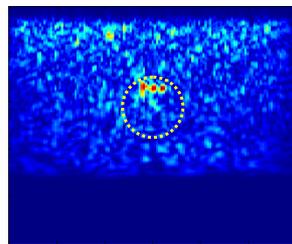
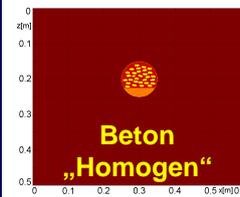
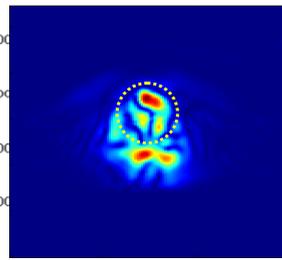
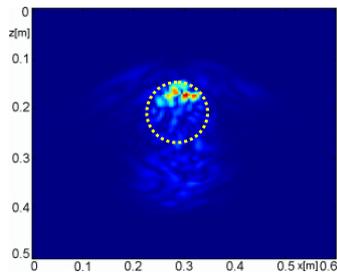
Scherwellen 100 kHz

50 kHz



Scherwellen 100 kHz

50 kHz



Zement und
Körnung bis
16 mm

Zusammenfassung

- Modellierung: Zwei Kriterien für Verpressfehlern mit Modellierung bestätigt
- Signale von der Rückseite: durchgehenden Wellen

Ausblick

- Innere Hüllrohrgeometrie erfordert angepasste Prüfkonzepte
- Neue Testkörper (TTS Horstwalde)
Modellierung, Messung, Verifikation

Dank

- Förderung durch DFG
- Gute Kooperation mit Partnern
Basis: DFG Forschergruppe 2001 bis 2007
- Interdisziplinäre Zusammenarbeit in BAM VIII.2

Zerstörungsfreie
Schadensdiagnose und
Umweltmessverfahren
VIII.2