

# Teilautomatisierte Prüfung von großen Bauteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit mittels axialer Einschallung und Gruppenstrahlertechnik

Till SCHMITTE<sup>1</sup>, Nikolai CHICHKOV<sup>1</sup>, Alfred GRAFF<sup>1</sup>, Oliver NEMITZ<sup>1</sup>,  
Thomas ORTH<sup>1</sup>, Heinrich HOCKS jun.<sup>2</sup>, Dirk OPALLA<sup>2</sup>, Jörg FRANK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg

<sup>2</sup> GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen

## Kurzfassung

Bei der Ultraschall-Prüfung von großen, dickwandigen Bauteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit werden in speziellen Fällen Schallwege von mehreren Metern nötig. Betrachtet werden hier zylinderförmige Bauteile, wie die Körper von CASTOR®-Behältern, mit Durchmessern zwischen 2 und 3 m, einer Höhe von bis zu 6 m und Wanddicken von ca. 500 mm. Bisher ist eine automatisierbare Technik hierfür nicht verfügbar, daher werden derartige Bauteile in einem aufwändigen und langwierigen Prozess mittels manueller Schallung geprüft.

Zur Erhöhung der Nachweissicherheit und zur Steigerung der Effizienz im Prüfablauf sollen nun senkrecht zur Achse des zylinderförmigen Bauteils liegende unzulässige Anzeigen im gesamten Mantelvolumen durch eine teilautomatisierte Prüfung ausgeschlossen werden.

Dieser Beitrag stellt eine Lösung dieses Prüfproblems mittels niederfrequenter Gruppenstrahler vor, die auf der Stirnfläche des dickwandigen Zylinders aufgesetzt werden. Die verwendeten Gruppenstrahler erreichen eine Apertur von bis zu 400 mm. Der Gruppenstrahler wird in mehrere Teilaperturen unterteilt, die mittels verschiedener Scans das gesamte Prüfvolumen erfassen können.

Mit dieser Technik können Testreflektoren KSR 6 mm mit einem Verstärkungszuschlag von 6 dB im Mantelvolumen nachgewiesen werden.

Die Entwicklung und Auslegung der Prüftechnik mittels Simulationen und die Realisierung als mobile Prüfvorrichtung sind Themen dieses Beitrags. Messungen an einem Referenzkörper mit Testreflektoren in verschiedenen Tiefen werden vorgestellt und diskutiert.

## **Teilautomatisierte Prüfung von großen Bauteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit mittels axialer Einschallung und Gruppenstrahlertechnik**

Till Schmitte<sup>1</sup>, Nikolai Chichkov<sup>1</sup>, Alfred Graff<sup>1</sup>, Oliver Nemitz<sup>1</sup>, Thomas Orth<sup>1</sup>,  
Heinrich Hocks jun.<sup>2</sup>, Dirk Opalla<sup>2</sup>, Jörg Frank<sup>2</sup>

DGZfP-Tagung in Salzburg 2015

<sup>1</sup>Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg  
Kontakt: t.schmitte@du.szmf.de

<sup>2</sup>GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen

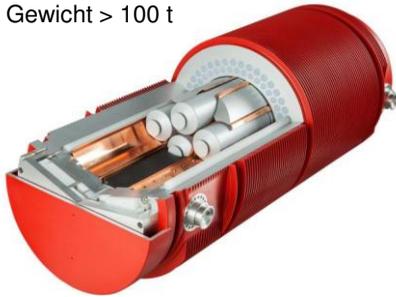
Di.2.B.3

### **Überblick**

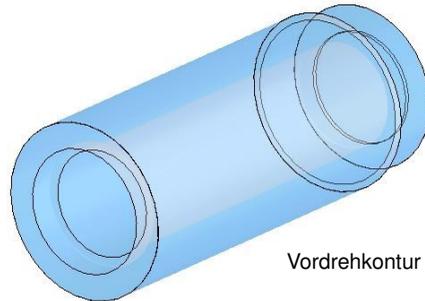
-  Prüfbjekt
-  Ausgangssituation
-  Aufgabenstellung
-  Idee und Umsetzungskonzept
-  Vorbereitende Untersuchungen: Simulationen
-  Auswahl der Komponenten
-  Nachweis der Funktion und Beispiele
-  Fazit

## Prüfobjekt

- Prüfobjekt: CASTOR®-Behälterkörper in einer „Vordrehkontur“, also ohne Kühlrippen und Bohrungen
  - Monolithischer Behälterkörper inkl. Boden aus Sphäroguss
  - Länge ~ 6 m
  - Durchmesser ~ 2,5 m
  - Wanddicken ~0,5 m
  - Gewicht > 100 t



Beispiel für fertigen CASTOR®-Behälter



Vordrehkontur

SMF-EDSZ-Folie 3, 12.03.2015

## Ausgangssituation

- Manuelle Prüfung in einem aufwändigen und langwierigen Prozess, da keine automatisierten Verfahren verfügbar
- Überwiegend konventionelle Prüfung (teilw. manuelle Phased-Array Prüfung)
- Nachweis von axial orientierten Inhomogenitäten im gesamten Mantelvolumen gefordert
- Referenzfehler KSR 6



SMF-EDSZ-Folie 4, 12.03.2015

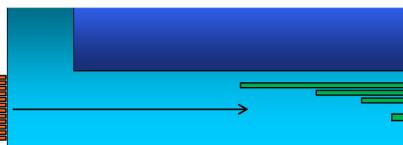
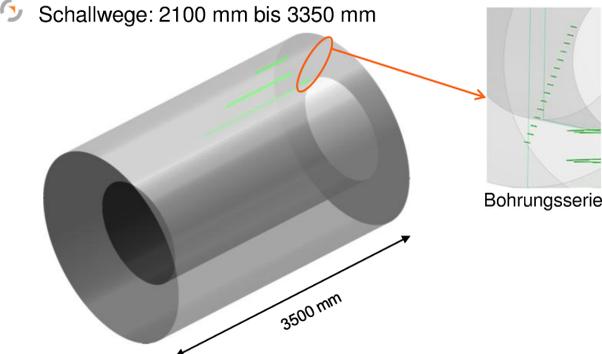
## Aufgabenstellung

- Aufbau eines neuartigen industriellen, mobilen Prüfsystems für mehrere Einsatzorte zur teilautomatisierten Prüfung
- Nachweis von senkrecht zur Achse des zylinderförmigen Bauteils liegenden unzulässigen Anzeigen im gesamten Mantelvolumen
- Referenz: Nachweis einer definierten Anzahl von 6 mm Flachbodenbohrungen (Bohrungsachse parallel zu Zylinderachse) in einem eigens zur Verfügung gestellten Referenzkörper
- Erhöhung der Nachweissicherheit: Objektivierbares Prüfergebnis
- Effizienz im Prüfablauf: Prüfung innerhalb eines vorgegebenen Zeitrahmens

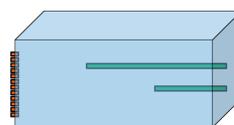
SMF EDSZ, Folie 5, 12.05.2015

## Referenzkörper

- Referenzkörper mit Testfehlern für große Entfernungen, KSR 6
- Schallwege: 2100 mm bis 3350 mm



- Zusätzlich Referenzblöcke mit Bohrungen, KSR 6
- für kleinere Schallwege

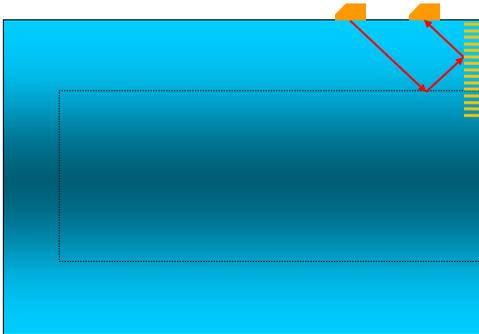


Beispiel

SMF EDSZ, Folie 6, 12.05.2015

## Mögliche Umsetzung

- Prüfung auf senkrecht zur Achse des zylinderförmigen Bauteils liegende unzulässige Anzeigen

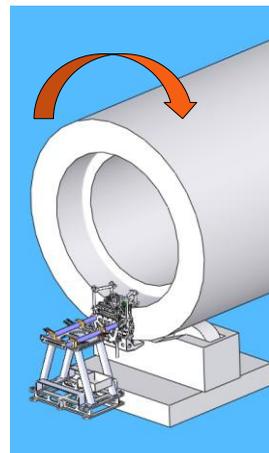
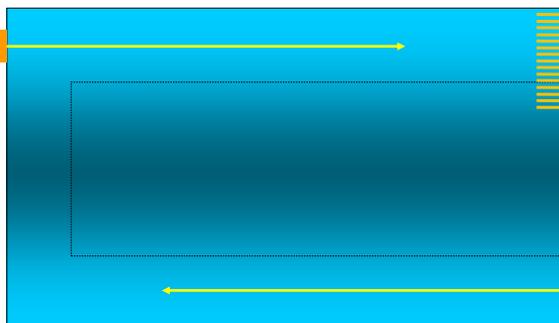


- Testweise Umsetzung: Kombination aus Tandem- und Phased-Array-Technik: Nachweis der Testbohrungen möglich
- Nachteile:
  - Sehr hoher mechanischer und prüftechnischer Aufwand
  - Lange Prüfzeiten

SMF/EDSZ-Folie 7, 12.03.2015

## Umgesetztes Prüfkonzept

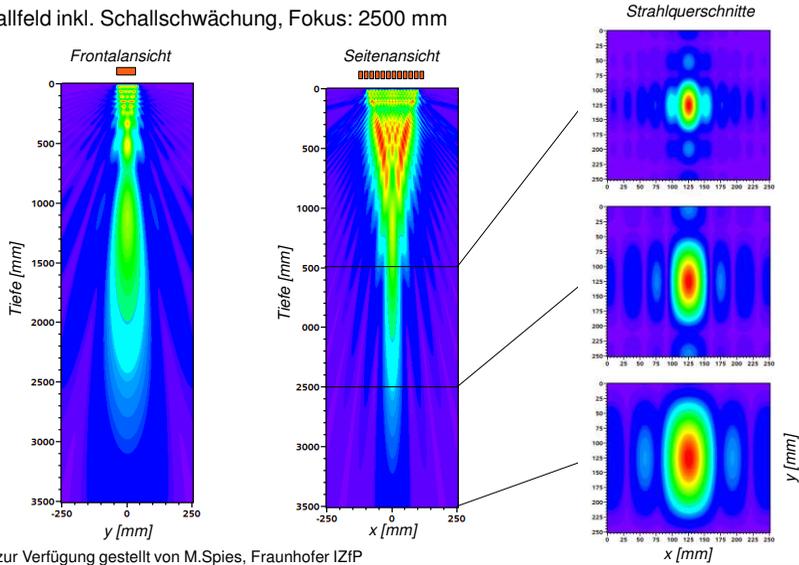
- Axiale Einschallung von der Deckel- und Bodenseite aus
- Langgestreckter Phased-Array Prüfkopf, der die Prüffläche in Radialrichtung fast vollständig abdeckt
- „Kleine“ Mechanik: nur als Prüfkopfhalter
- Nutzung vorhandener Drehvorrichtungen



SMF/EDSZ-Folie 8, 12.03.2015

## Prüfkopfdesign via Simulationen

- 🌀 Beispiel: Prüfkopf mit 64 aktiven Elementen, Prüffrequenz 1 MHz
- 🌀 Schallfeld inkl. Schallschwächung, Fokus: 2500 mm

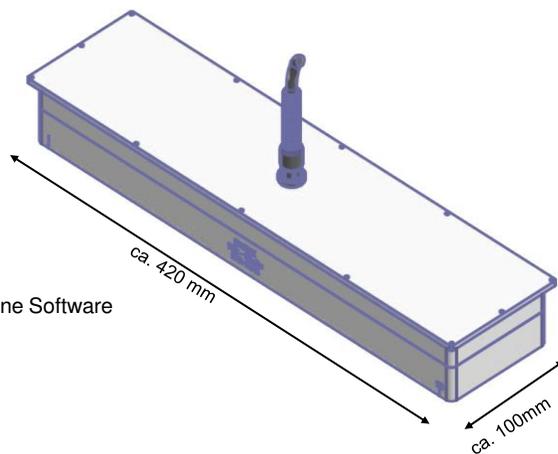


Simulationen zur Verfügung gestellt von M.Spies, Fraunhofer IZIP

SMF EDSZ-Folie 9, 12.05.2015

## Finales Prüfkopfdesign und Phased-Array Ausrüstung

- 🌀 Sonderprüfkopf
  - 128 Elemente
  - 1 MHz
  - Pitch: 3,1 mm
  - Apertur: ~396 x 80 mm
- 🌀 128-kanalige Elektronik
- 🌀 Angepasster Prüfkopfhalter
  - Koppelmittelsystem
  - Prüfmechanik
- 🌀 Auf die Prüfaufgabe zugeschnittene Software
- 🌀 Industrietaugliches PC-System



SMF EDSZ-Folie 10, 12.05.2015

## Aufbau am Referenzkörper bei GNS

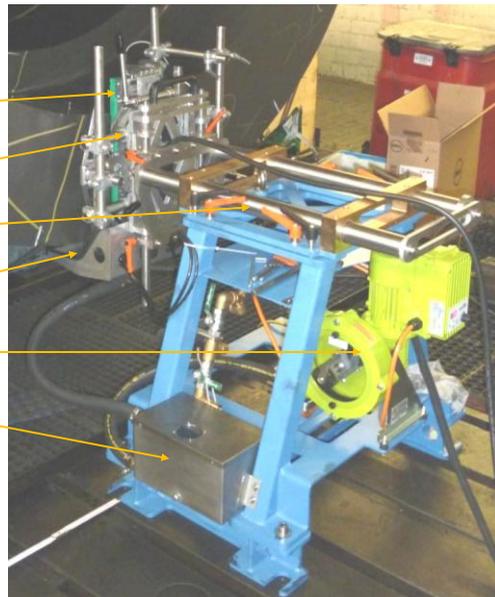
Teilautomatisierter Prüfablauf mit Nachweis der Referenzbohrungen



SMF EDSZ, Folie 11, 12.05.2015

## Mobile Prüfvorrichtung (Details)

- Prüfkopf
- Prüfkophalter mit Kardanik
- Prüfkophalterführung
- Koppelmittelauffangwanne
- Koppelmittelpumpe
- Koppelmittelvorratsbehälter

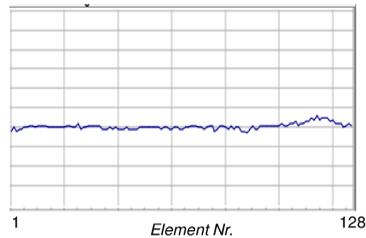
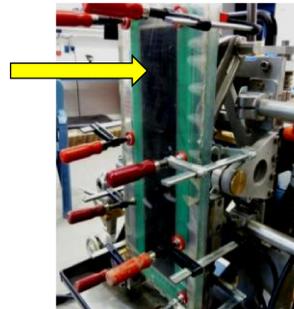
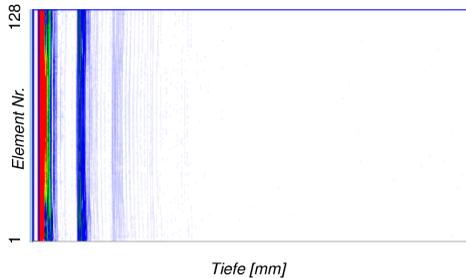
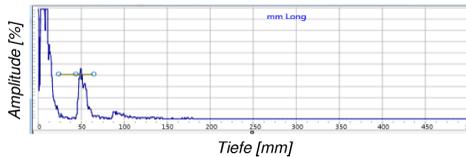


SMF EDSZ, Folie 12, 12.05.2015

## Abgleich der Einzelemente

### ↻ Rückwandreflektion von Einzelementen:

- Testkörper: Plexiglas-Platte
- Ergebnis: sehr gleichförmiges Verhalten

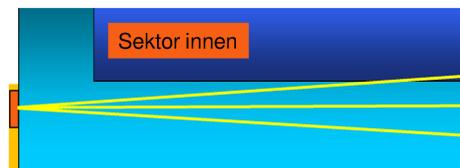


SMAF EDSZ, Folie 13, 12.05.2015

## Prüf-Strategie

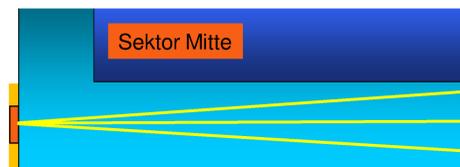
### ↻ Fernbereich (Beispiel rechts):

- 3 virt. Schwinger, Fokus 2500 mm
- Apertur: 64, Schrittweite 32 Elemente => 3 virtuelle Prüfköpfe
- Für jede Radial-Position wird ein Sektor-Scan durchgeführt
- z.B. Sektor:  $\pm 7^\circ$  mit delta 0.25°



### ↻ Mittenbereich

- 5 virt. Schwinger, Fokus 1500 mm
- Apertur: 48 Elemente



### ↻ Nahbereich

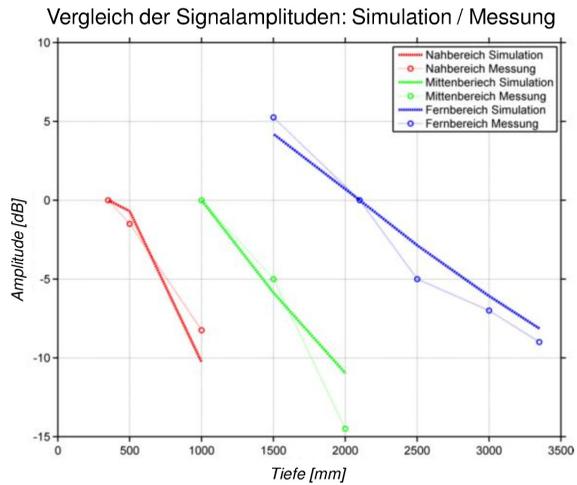
- 5 virt. Schwinger, Fokus 750 mm
- Apertur: 32 Elemente



SMAF EDSZ, Folie 14, 12.05.2015

## Kalibrierung / DAC-Kurven

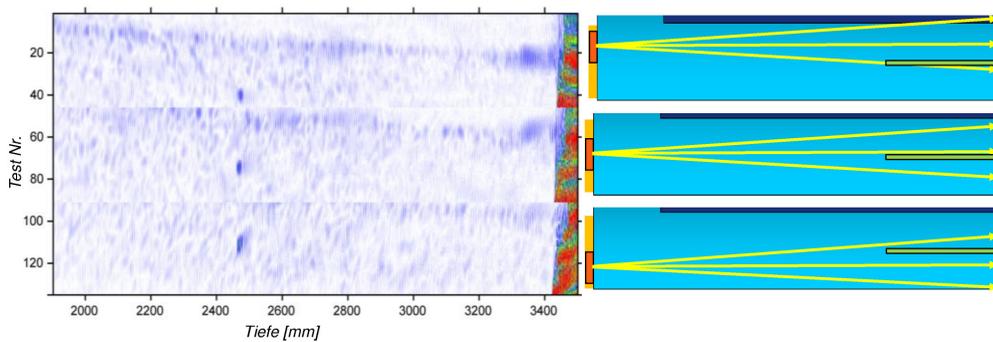
- Anschallung der Testbohrungen
  - Verschiedene Tiefen
  - KSR 6
  - Referenzbehälter / Block
- Drei Zonen mit unterschiedlichem Fokus und unterschiedlicher Apertur
- Vergleich mit Simulationen
- Aus den Signalamplituden ergeben sich die drei DAC-Kurven



SNMF-EDSZ-Folie 15\_12.05.2015

## Ergebnisse: B-Bild

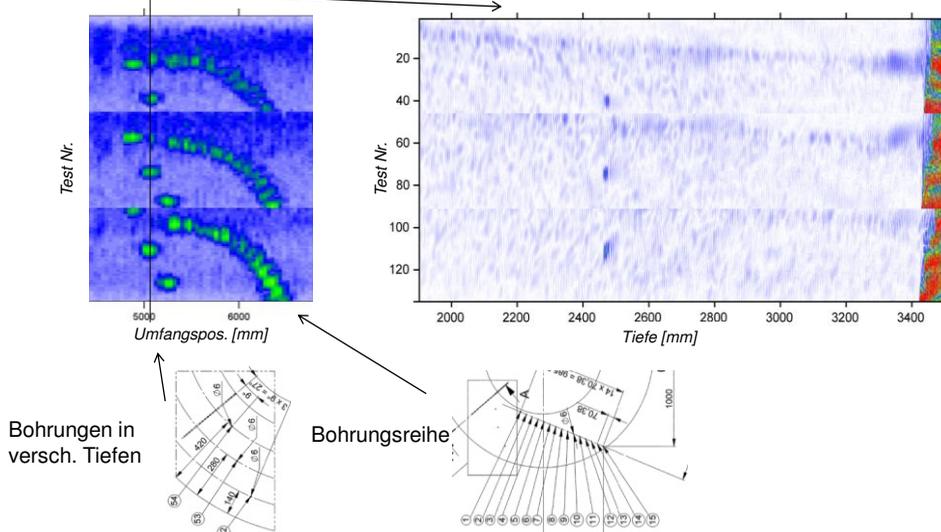
- Darstellung des unkorrigierten B-Bildes
  - Hier: Fernbereich, Kalibrierung 1500 bis 3500 mm
  - Drei Sektor-Scans (innen, mitte, außen)
  - Referenzbehälter / Block



SNMF-EDSZ-Folie 15\_12.05.2015

**Ergebnisse: C-Bild**

C-Bild mit Anzeigen (KSR 6) im Referenzkörper und ein dazugehöriges B-Bild

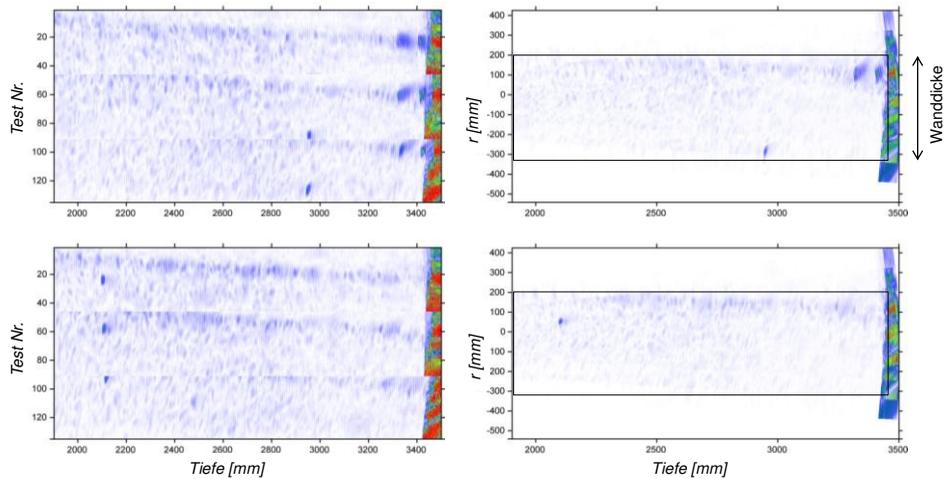


SMF-EDSZ-Folie 17, 12.05.2015

**Korrektur der Daten**

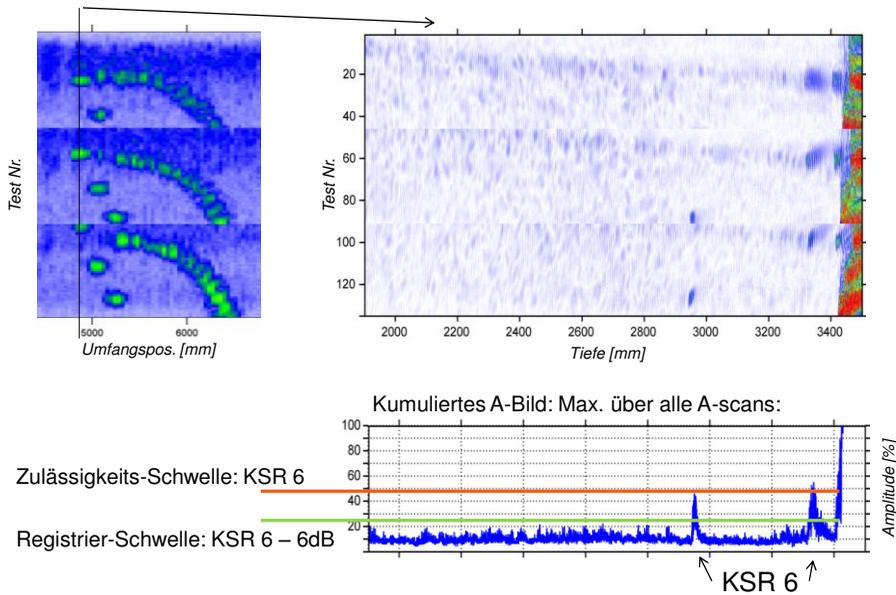
Unkorrigierte B-Scans

Korrektur durch phasenrichtige Überlagerung



SMF-EDSZ-Folie 18, 12.05.2015

**Ergebnisse: S/N**



SMF\_EDSZ\_Folie 19\_12.05.2015

**Fazit**

- 🌀 Prüfkonzept
  - Sehr großes, niederfrequentes Phased-Array
  - Einschallung in axialer Richtung
  - Kein mechanisches Scannen, Rotation reicht aus
- 🌀 Nachweis von Ungänzen im Mantelvolumen
  - Orientierung axial
  - KSR 6 wird in Tiefen bis 3,5 m mit S/N von typisch 6 dB nachgewiesen
  - Reproduzierbarkeit hoch
- 🌀 Mobile teilautomatisierte Prüfvorrichtung erfolgreich getestet
  - Messzeiten zwischen 3 und 12 min für eine Einschallrichtung
  - Auf- und Abbau in kurzer Zeit an verschiedenen Einsatzorten möglich
  - Daten werden digital aufbereitet und archiviert
  - Seit März im regulären Einsatz

SMF\_EDSZ\_Folie 03\_12.05.2015