

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnratsatzwellen

Wolfgang SPRUCH¹, Toni BEGGEROW¹, Rainer BOEHM², Thomas HECKEL²,
Daniel BRACKROCK²

¹ Büro für Technische Diagnostik GmbH & Co. KG BTD, Brandenburg

² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Kontakt E-Mail: rainer.boehm@bam.de

Kurzfassung

Durch die Verwendung von Ultraschall - Phased Arrays lässt sich in vielen Fällen sowohl die Prüfgeschwindigkeit als auch die Zuverlässigkeit der Prüfung erhöhen. Für die Prüfung von Eisenbahnratsatzwellen ist die Phased-Arraytechnik schon verbreitet, jedoch vor allem für die Prüfung von Vollwellen. Die Prüfung von längsgebohrten Eisenbahnratsatzwellen erfolgt typischerweise mit einer Anzahl von konventionellen Prüfköpfen, die rotierend durch die Längsbohrung bewegt werden. Dabei werden weder die Achsen und Räder noch die Bremscheiben demontiert.

Ein neuer Ansatz für die Prüftechnik ist die Verwendung eines rotationssymmetrischen kegelförmigen Phased-Arrays in Tauchtechnik. Die Abtastung in Umfangsrichtung erfolgt durch elektronische Rotation des Schallfeldes, was viel höhere Prüfgeschwindigkeiten ermöglicht und den mechanischen Aufwand des Prüfsystems erheblich reduziert. Nur die Bewegung des Sensorsystems in axialer Richtung innerhalb der Bohrung erfolgt mechanisch. Senkrecht zur Bauteilachse kann das Schallbündel durch die Phased-Arraysteuerung in Umfangsrichtung exakt ausgerichtet und im Abstand der Prüfbereiche nahe der Außenoberfläche der Ratsatzwelle fokussiert werden.

Die Konstruktionsparameter des Kegelarrays wurden speziell optimiert zum Auffinden von rissartigen Querfehlern in und in der Nähe der äußeren Oberfläche von längsgebohrten Eisenbahnratsatzwellen von Hochgeschwindigkeitszügen. Die Fehlerfläche liegt dabei in der Querschnittsfläche des Bauteils. Im Beitrag werden der Prototyp des neuen Sensorsystems und erste Prüfergebnisse gezeigt. Die Arbeiten wurden durchgeführt im Rahmen des Europäischen Projektes “Whole Life Rail Axle Assessment and Improvement Using Ultrasonic Phased array and Corrosion Inspection Systems“ (RAAI).



Sicherheit in Technik und Chemie

15. 03. 2018 – PRÄSENTATION

KEGEL-PHASED-ARRAY FÜR DIE SCHNELLE ULTRASCHALLPRÜFUNG VON LÄNGSGEBOHRTEN EISENBAHNRADSATZWELLEN

W. Spruch¹, T. Beggerow¹, R. Boehm², T. Heckel², D. Brackrock²

¹ BTD, Büro für Technische Diagnostik, Brandenburg

² BAM, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin



FOCUS AREA
ANALYTICAL SCIENCES

Gliederung

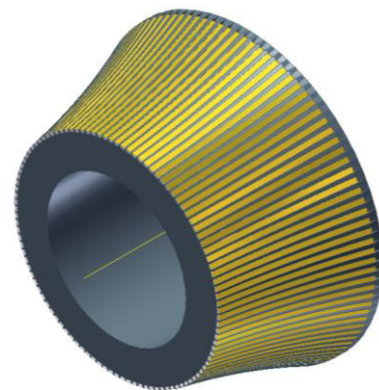
Aufgabenstellung

Prinzip der Prüftechnik

Vorläuferprojekte

spezielle Sondengeometrie

erste Tests

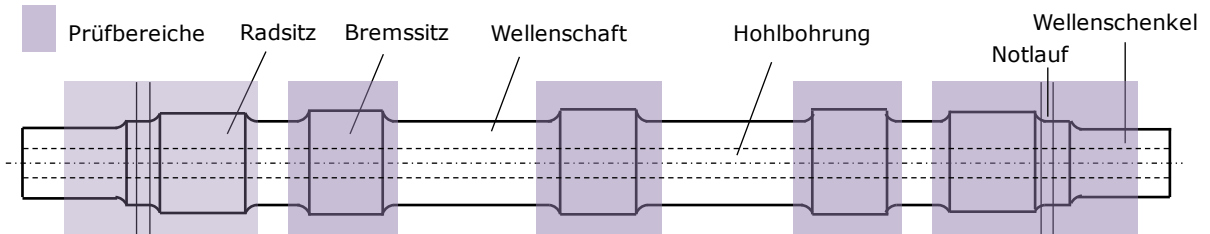


Phased-Array-Rotationsscanner
neues Design



FOCUS AREA
ANALYTICAL SCIENCES

Einführung, Prüfaufgabe



Typische Prüfzonen einer längsgebohrten Eisenbahnradatzwelle

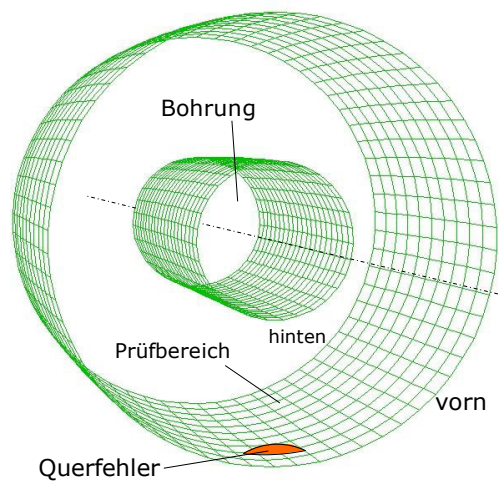
3

15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradatzwellen



Einführung, Prüfaufgabe



Rissartiger Fehler in der Radial-Radialebene

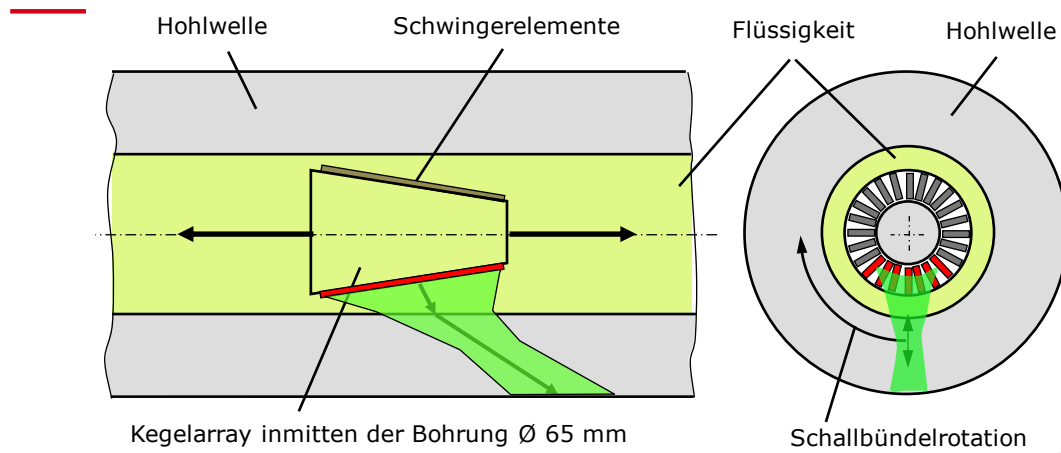
4

15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradatzwellen



Prinzip der Prüftechnik



Skizze des kegelförmigen Phased Arrays

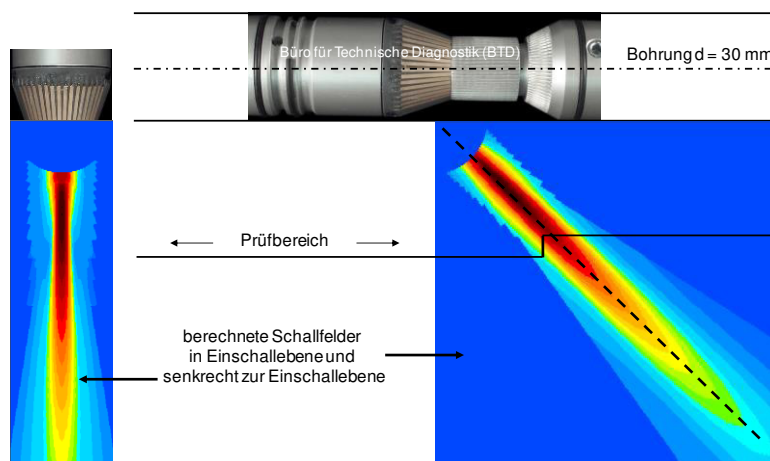
15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



5

Prinzip der Prüftechnik



Berechnete Schallfelder des ersten Kegelarrays (ECNDT 2006)

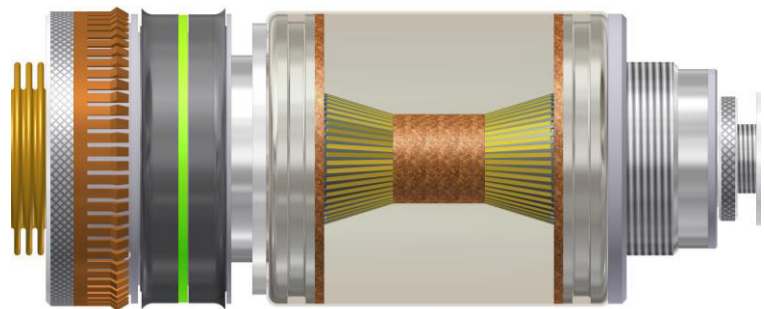
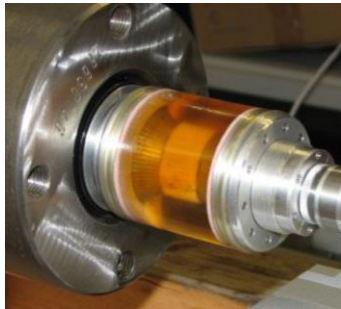
15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



6

Prinzip der Prüftechnik



In einer Ölkammer gekapselter Rotationsscanner für Vor- und Rückwärtsprüfung; entwickelt im Rahmen des Vorläuferprojektes WOLAXIM 2012

15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



7



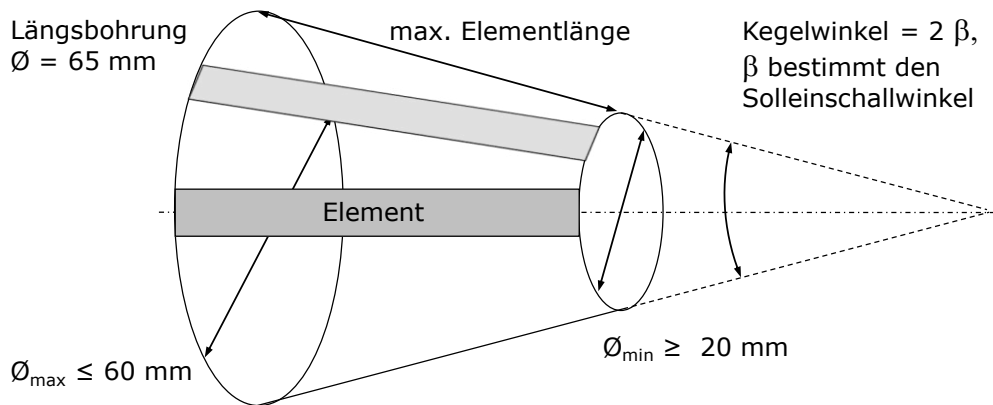
Neue Entwicklung

1. Geometrische Randbedingungen
2. Beitrag des einzelnen Schwingerelements
3. Schallfeld des Kegelarrays



FOCUS AREA
ANALYTICAL SCIENCES

Neue Entwicklung



Skizzierung der Randbedingungen für die Prüfkopfneuentwicklung

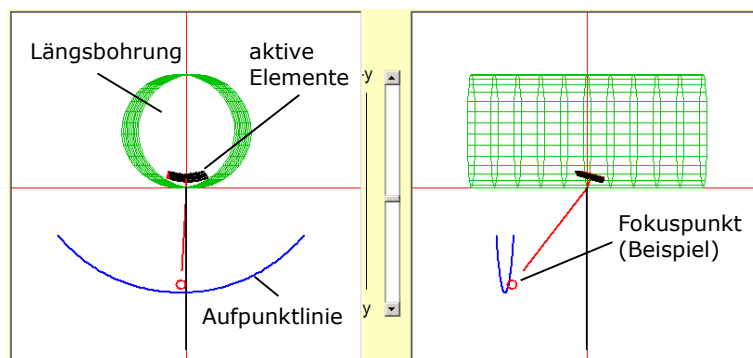
15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



9

SCHALLFELDSIMULATION



Aufpunktklinie (blau) an der oberfläche der Achswelle mit $\text{Ø} = 175 \text{ mm}$ Außendurchmesser und Position der aktiven Elemente

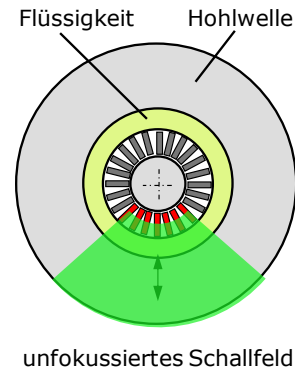
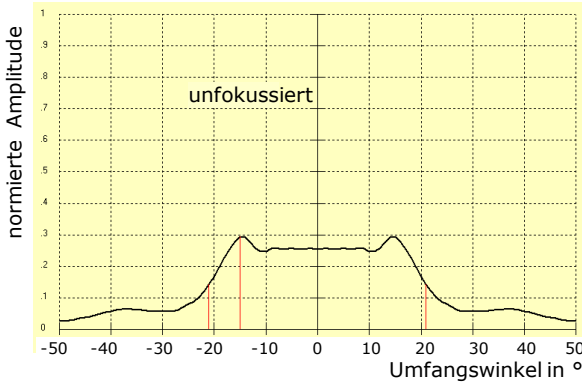
15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



10

SCHALLFELDSIMULATION



Richtcharakteristik einer Gruppe von 13 aktiven Elementen von insgesamt 108, ohne Zeitverzögerung

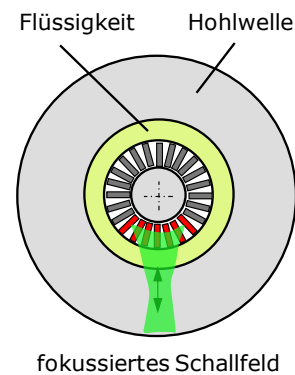
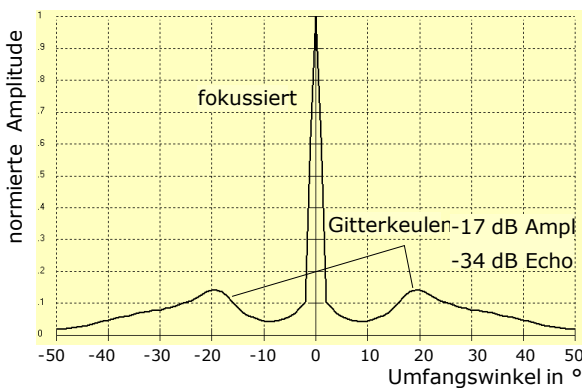
11

15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



SCHALLFELDSIMULATION FOKUSSIERUNG (PA) IN UMFANGSRICHTUNG



Richtcharakteristik einer Gruppe von 13 aktiven Elementen von insgesamt 108, der Fokus liegt auf der Wellenaußenoberfläche

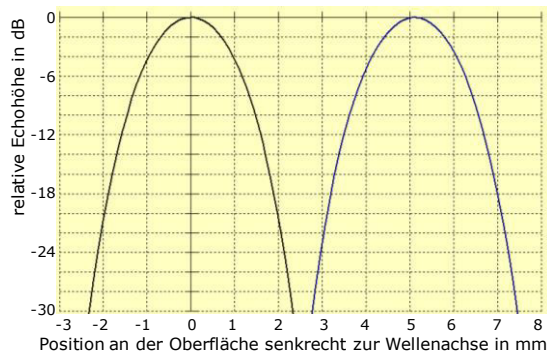
12

15.03.2018

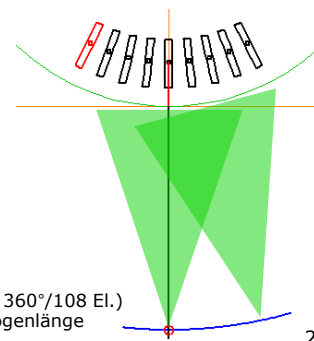
Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



SCHALLFELDSIMULATION UND MESSUNG, ROTATION UND BÜNDELBREITE



Richtcharakteristiken benachbarter Elementgruppen, fokussiert



Abstand $df = 3.33^\circ$ (= $360^\circ/108$ El.)
 \triangleq 5.1 mm Bogenlänge

Refl. 1B
 1 mm tief
 2.5 mm lang

Skizze Elementgruppe und Schallbündelbreite, nicht Maßstabgerecht

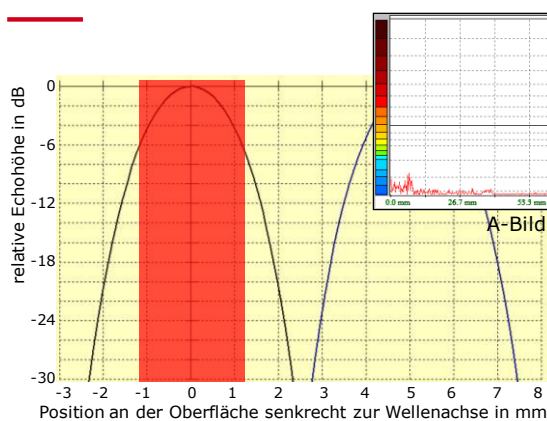
15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen

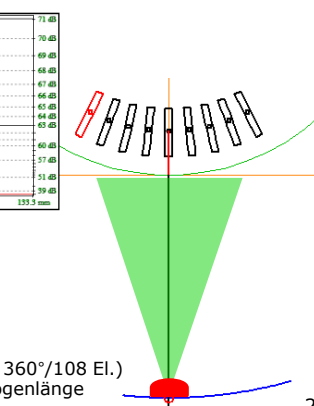


13

SCHALLFELDSIMULATION UND MESSUNG, ROTATION UND BÜNDELBREITE



Richtcharakteristiken benachbarter Elementgruppen, fokussiert



Abstand $df = 3.33^\circ$ (= $360^\circ/108$ El.)
 \triangleq 5.1 mm Bogenlänge

Refl. 1B
 1 mm tief
 2.5 mm lang

Skizze Elementgruppe und Schallbündelbreite, nicht Maßstabgerecht

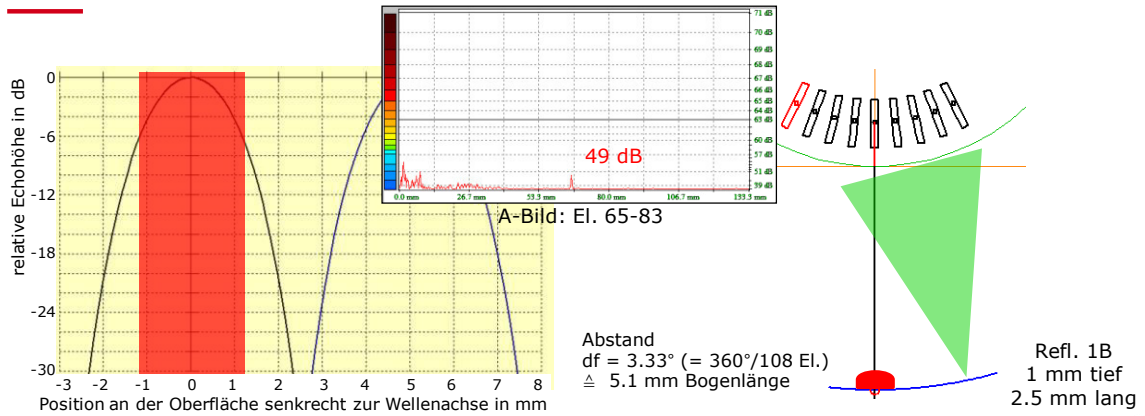
15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



14

SCHALLFELDSIMULATION UND MESSUNG, ROTATION UND BÜNDELBREITE



Richtcharakteristiken benachbarter Elementgruppen, fokussiert

Skizze Elementgruppe und Schallbündelbreite, nicht Maßstabgerecht

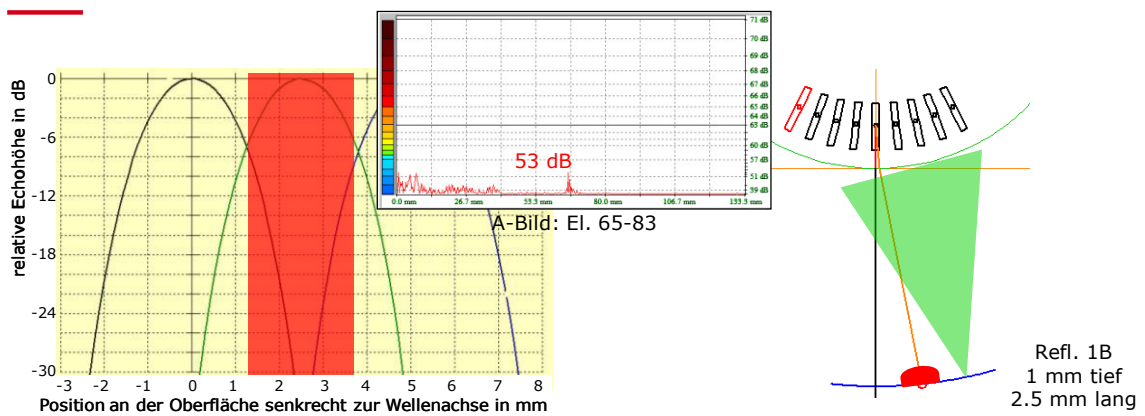
15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



15

SCHALLFELDSIMULATION UND MESSUNG, ROTATION UND BÜNDELBREITE



Richtcharakteristiken benachbarter Elementgruppen, fokussiert

Skizze Elementgruppe und Schallbündelbreite, nicht Maßstabgerecht

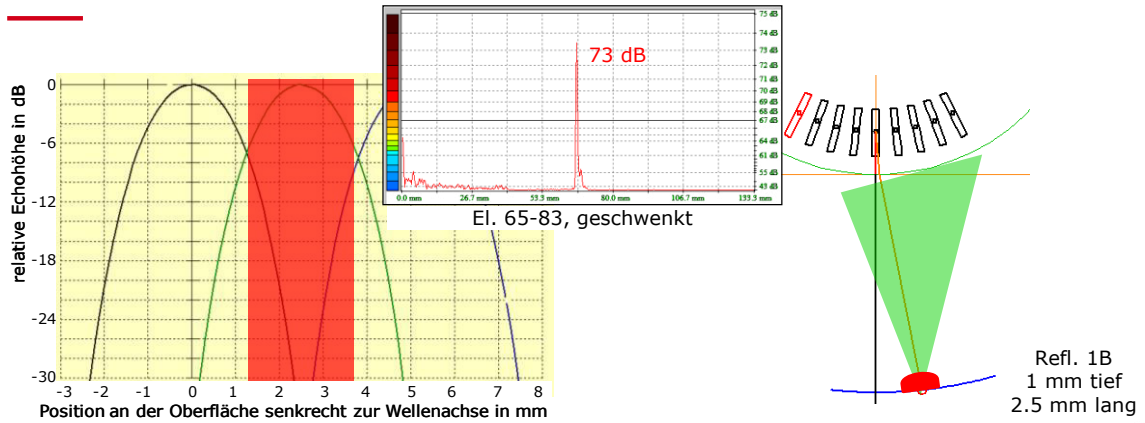
15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



16

SCHALLFELDSIMULATION UND MESSUNG, ROTATION UND BÜNDELBREITE



Richtcharakteristiken benachbarter Elementgruppen, fokussiert

Skizze Elementgruppe und Schallbündelbreite, nicht Maßstabgerecht

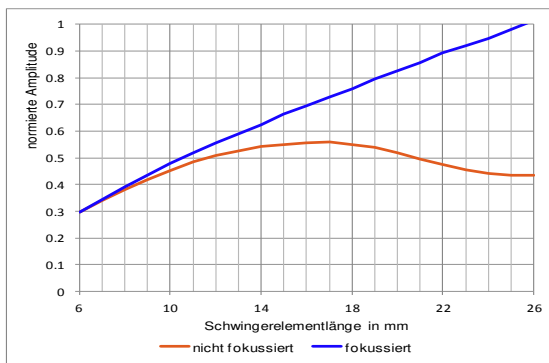
17

15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen

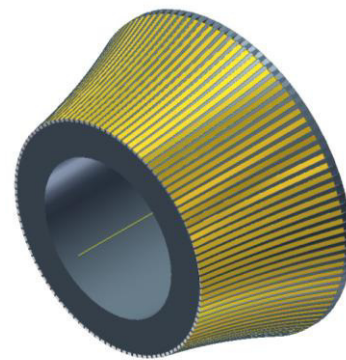


SCHALLFELDSIMULATION, FOKUSSIERUNG IN DER EINSCHALLEBENE



Amplitude als Funktion der Elementlänge

Frequenz 4 MHz, Einschallwinkel 38°, Transversalwelle in Stahl



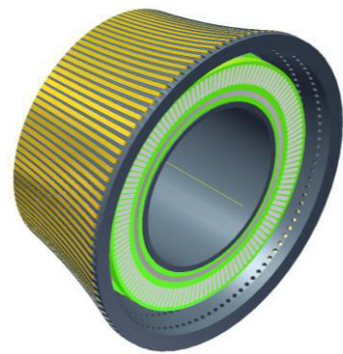
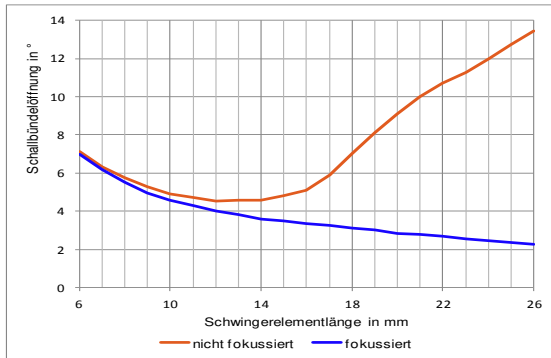
18

15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



SCHALLFELDSIMULATION, FOKUSSIERUNG IN DER EINSCHALLEBENE



Divergenz als Funktion der Elementlänge

Frequenz 4 MHz, Einschallwinkel 38°, Transversalwelle in Stahl

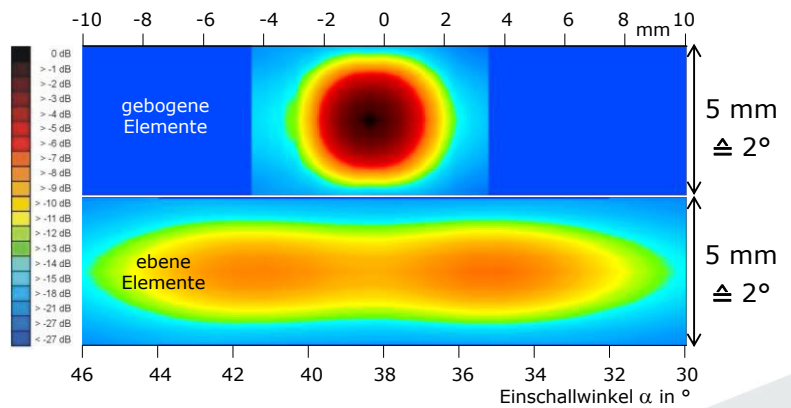
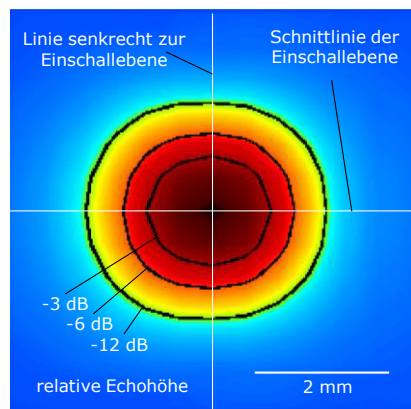
19

15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



SCHALLFELDSIMULATION FOKUSSIERUNG IN DER EINSCHALLEBENE



Schallbündelquerschnitt an der Wellenoberfläche

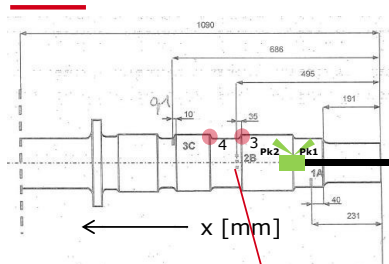
20

15.03.2018

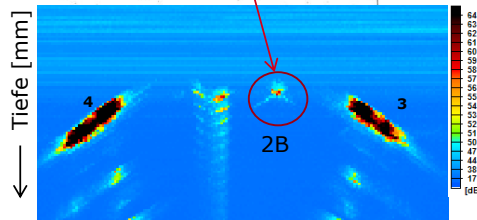
Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



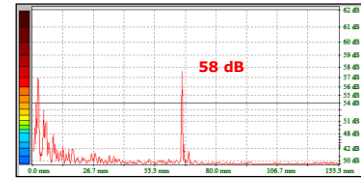
PRÜFUNG VON SICHELNUTEN



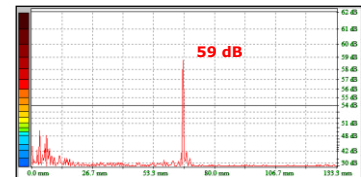
Schallrichtung „vor und zurück“
 $\alpha = 38^\circ$, $f = 4$ MHz
 je 19/108 El. aktiv,
 Messpunktabstand 1mm



B-Bild: alle Takte, Re 2B, $t = 1,0$ mm



A-Bild: El. 36-54 PK2 „vor“, $s = 64$ mm



A-Bild: El. 36-54 PK1 „zurück“, $s = 65$ mm

Erodierte Nut 2B
 Halbellipse ($a/c = 0,8$)
 1.0 mm tief, 2.5 mm lang

15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung
 von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



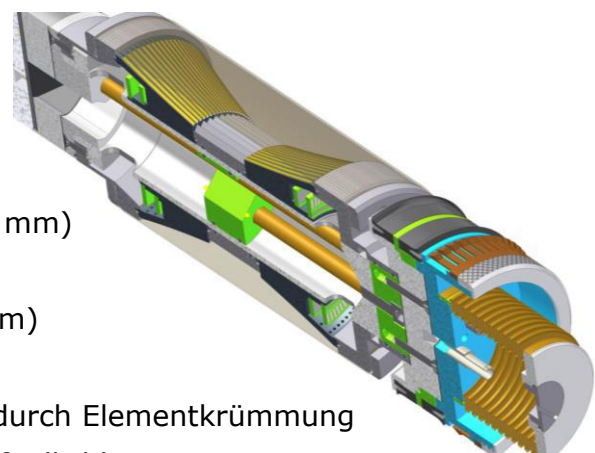
21

KEGEL-PHASED-ARRAY-SYSTEM



Eigenschaften: neu / (Vorgänger)

- optimiert für 65 mm Bohrung
- Frequenz, 4 MHz (2.7 MHz)
- max. Kegeldurchmesser 60 mm (28 mm)
- mehr Elemente, 108 (48)
- schmalere Elemente, 1 mm (1.25 mm)
- längere Elemente, 25 mm (12 mm)
- Fokussierung in der Einschallebene durch Elementkrümmung
- bessere Auflösung und größere Empfindlichkeit

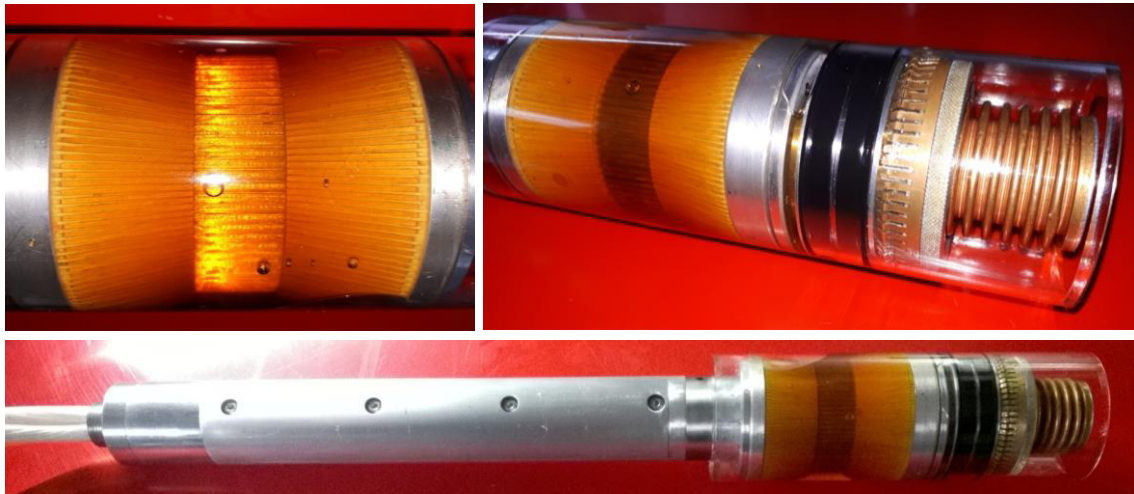


15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung
 von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



22

KEGEL-PHASED-ARRAY-SYSTEM

23

15.03.2018

Kegel-Phased-Array für die schnelle Ultraschallprüfung
von längsgebohrten Eisenbahnradsatzwellen



Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung

Sicherheit in Technik und Chemie

15. 03. 2018

**VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT**

FRAGEN?

rainer.boehm@bam.de / www.bam.de

This project has received funding
from the European Union's Horizon
2020 research and innovation
program under grant agreement
no 674231



FOCUS AREA
ANALYTICAL SCIENCES