Ist die Ultraschall-Phased-Array-Technik die Zukunft der mechanisierten Schienenprüfung im Zeitalter von Bahn 4.0?

Thomas HECKEL [1]
[1] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
Kontakt E-Mail: thomas.heckel@bam.de

Kurzfassung

Die Ultraschall Phased-Array Technik bietet durch die variable elektronische Steuerung des Schallfeldes gegenüber konventioneller Prüftechnik Vorteile bei vielen Prüfaufgaben, sowohl bei der Datenaufnahme als auch der bildhaften Bewertung. Die mechanisierte Schienenprüfung stellt sehr hohe Anforderungen an die Prüftechnik insbesondere durch die hohen Prüfgeschwindigkeiten von bis zu 20 m/s.

Im Rahmen dieses Vortrags wird evaluiert, welche Lösungsansätze auf Basis der Ultraschall Phased-Array Technik vielversprechend erscheinen für einen Einsatz im Umfeld von Bahn 4.0.

Lizenz: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de

Sicherheit in Technik und Chemie

BAM
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

14.03.2018

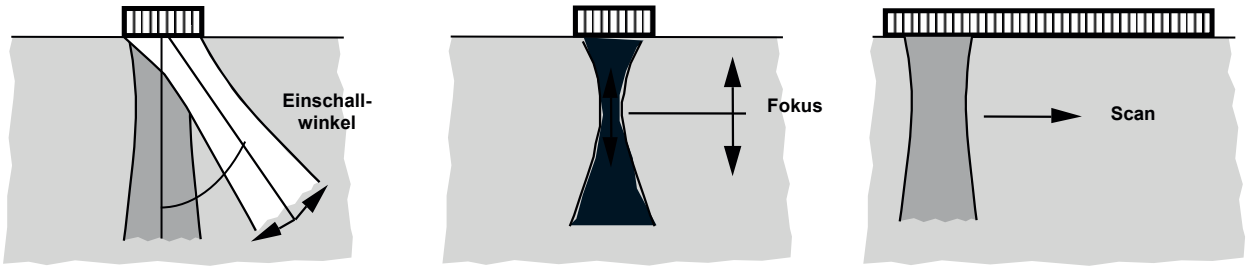
IST DIE ULTRASCHALL-PHASED-ARRAY-TECHNIK DIE ZUKUNFT DER MECHANISIERTEN SCHIENENPRÜFUNG IM ZEITALTER VON BAHN 4.0?

Dipl.-Ing. T. Heckel

www.bam.de

Wie funktioniert die Phased-Array-Technik

BAM



Elektronischer Winkelschwenk

Elektronische Fokussierung

Elektronischer Abtastvorgang

T. Heckel, G Brekow, U Tessaro, D Tscharntke, Ronald Krull, Stand der Entwicklung der Gruppenstrahlertechnik zur Anwendung an Bahnkomponenten, Fachtagung im Eisenbahnwesen 2004, Wittenberge

Einsatzbereiche der Ultraschallprüfung an der verlegten Schiene

Manuelle Prüfung

AT-Schweißung
Quelle: Gleisbauwelt.de,
Plesser&Theuerer

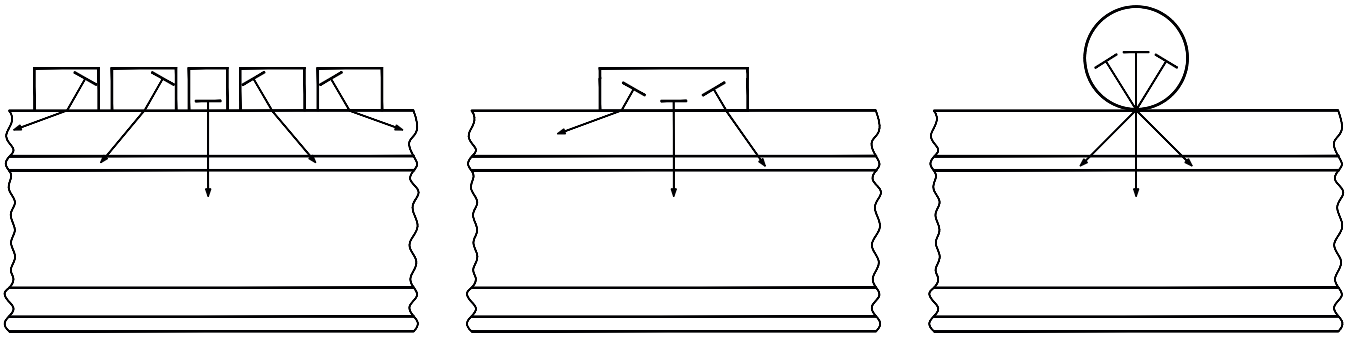
Handgeführte Prüfung

RailRoadRunner,
Quelle: Vossloh.com

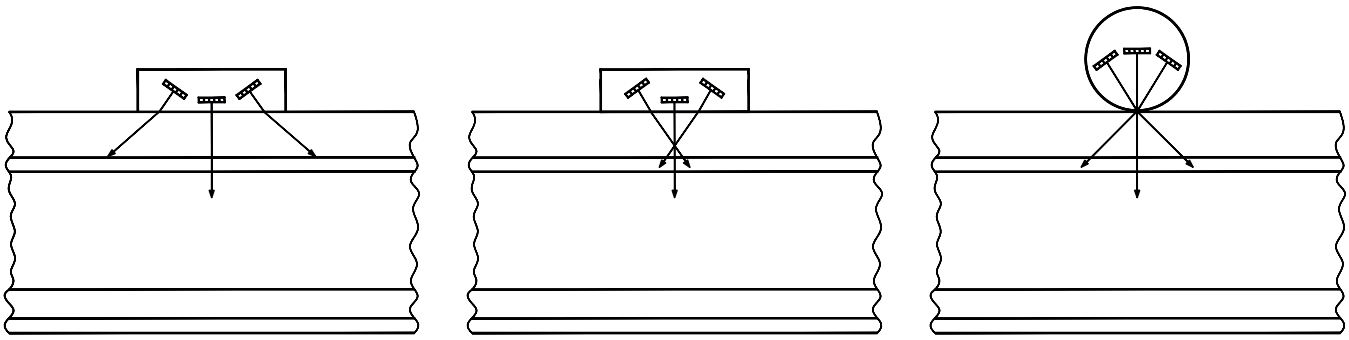
Mechanisierte Prüfung

SPZ3 der DB-AG,
Quelle: PLR

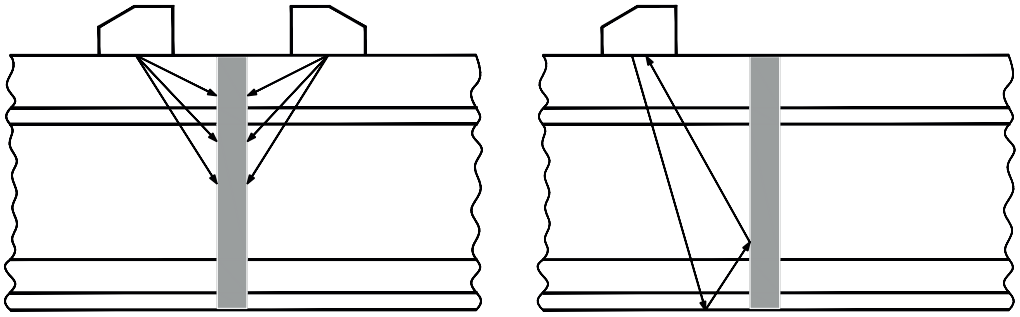
Bekannte Prüfkopfanordnungen für die konventionelle Schienenprüfung



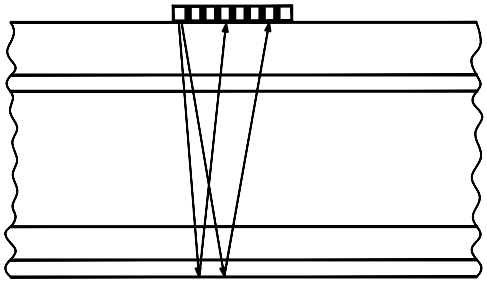
Mögliche Prüfkopfanordnungen für die Phased Array Schienenprüfung



Mögliche Prüfkopfanordnungen für die Prüfung von (AT)Schienenschweißungen



Mögliche Prüfkopfanordnung für die rekonstruierende Analyseprüfung mit FMC/TFM



Stand von Forschung und Technik bei der Phased Array Schienenprüfung

1. Ersetzen eines konventionellen Prüfkopfes mit einem festen Einschallwinkel durch einen Prüfkopf mit einem wählbaren Einschallwinkel (hohe Prüfgeschwindigkeit bleibt erhalten)

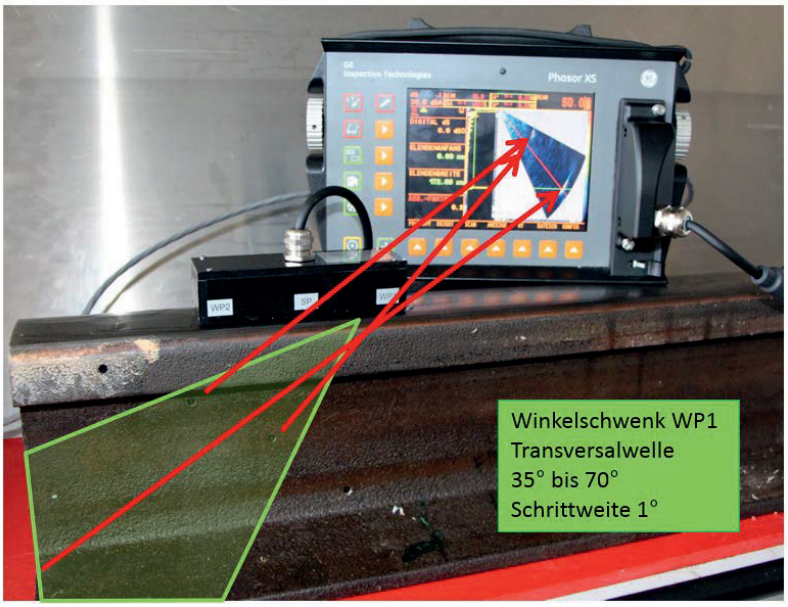
2. Ersetzen mehrerer konventioneller Prüfköpfe durch einen PA Prüfkopf mit mehreren Prüffunktionen (Prüfgeschwindigkeit ist durch die Anzahl der Prüffunktionen zu teilen)

3. Einsatz als Analyseprüfkopf für besondere Prüfaufgaben, zum Beispiel die Prüfung von aluminothermischen Schweißnähten auf Bindefehler

4. Einsatz der Phased-Array Technik für zusätzliche Prüfaufgaben mit rekonstruierenden Verfahren wie TOFD, SAFT, TFM

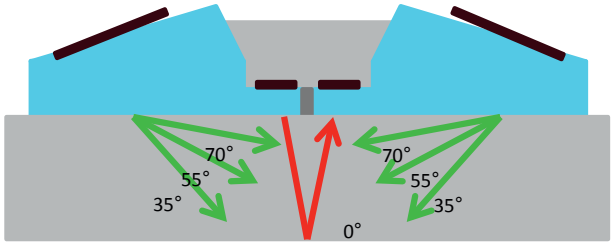
5. Alternative Ansätze, z.B. FAAST Signalverarbeitung

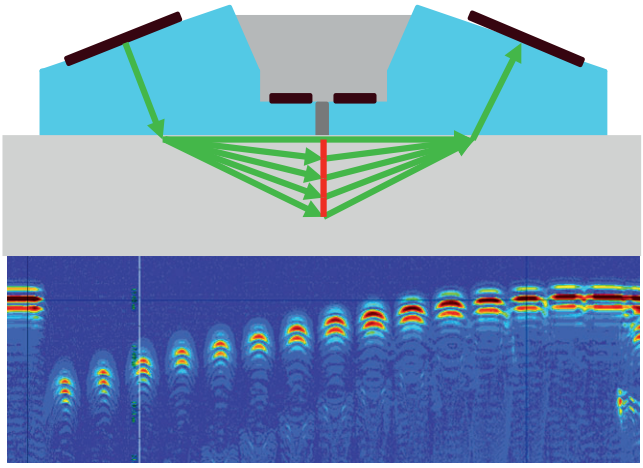
Schienenprüfung mit Phased Arrays
Sektorscan ersetzt feste Einschallwinkel



J. Kitze, T. Heckel, W. Kleinert, Y. Oberdörfer, Schienenprüfung mit Phased Arrays, Fachtagung ZfP im Eisenbahnwesen, 2014, Wittenberge

Mehrwert durch Phased Array
Zusätzliche Prüffunktionen



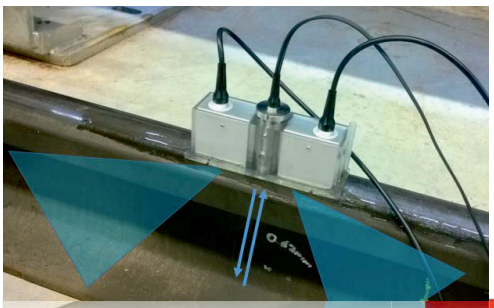


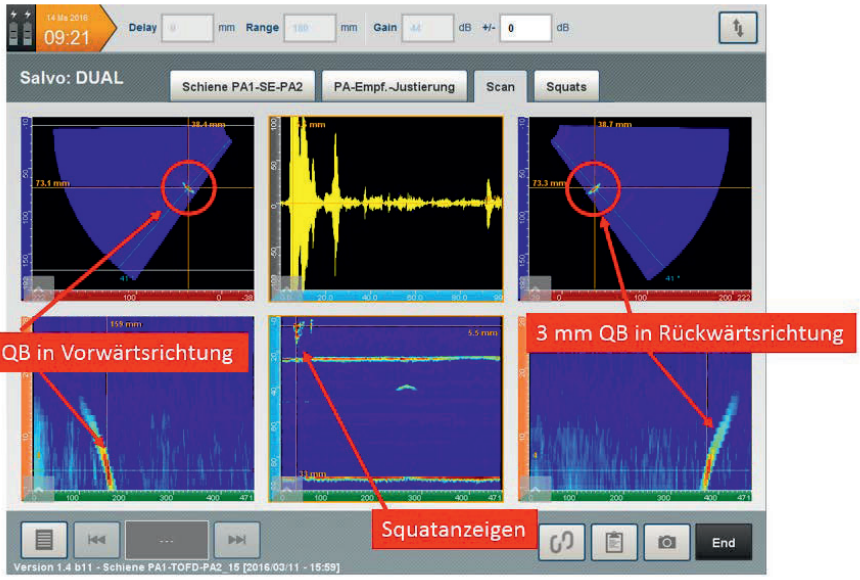
Einsatz von Longitudinalwellen:

- Tiefenzone 1	86°
- Tiefenzone 2	82°
- Tiefenzone 3	78°
- Tiefenzone 4	74°

J. Kitze, T. Heckel, W. Kleinert, Y. Oberdörfer, Schienenprüfung mit Phased Arrays, Fachtagung ZfP im Eisenbahnwesen, 2014, Wittenberge,

Schienenprüfung mit Phased Arrays
Bildhafte Ergebnisdarstellung





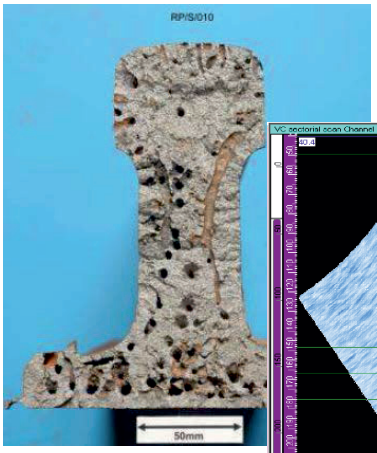
Prüfgerät: GEKKO
64x64 Phased Array-Kanäle

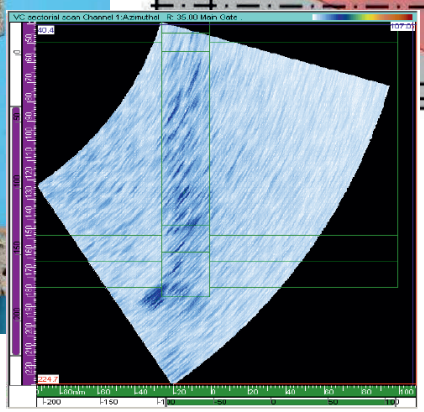
2x Phased Array Prüfkopf
Elemente: 16
Frequenz: 2 MHz

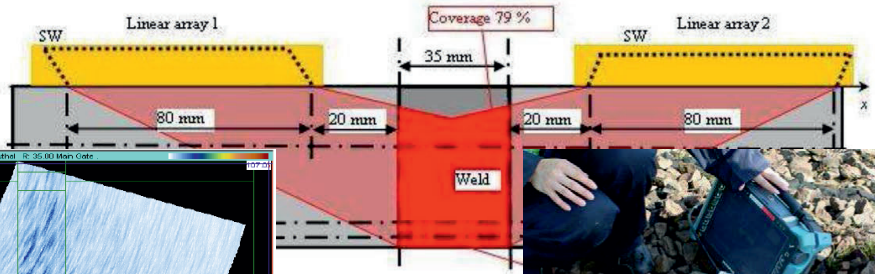
1x SE Prüfko pf
KD STSE 18/25 P4

H. Rast, W.A.K. Deutsch, W. Roye, M. Gumbiowski, Ultraschallprüfung von Radsatzwellen und Schienen mit Phased Arrays, Fachtagung ZfP im Eisenbahnwesen 2016, Wittenberge

Schnelle Schweißnahtprüfung mit Phased Array



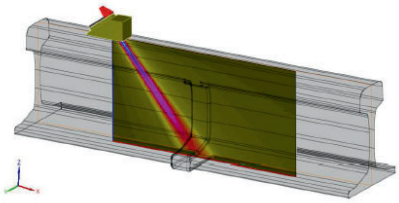


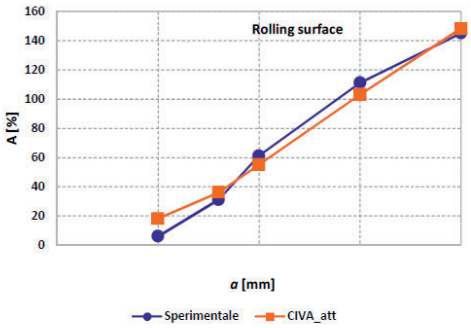


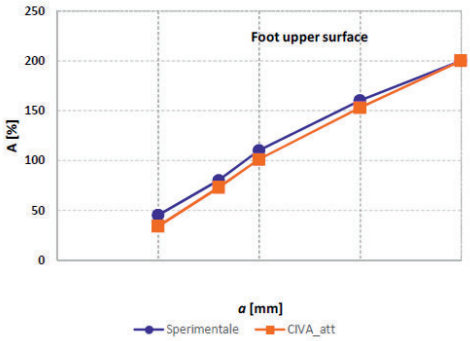
L. Zhao, J. Rudlin, An advanced ultrasonic inspection tool for rapid volumetric examination of aluminothermic rail, ECNDT, 2014, Prag

Schallschwächung in AT-Schweißung Messung und Simulation mit Phased Array

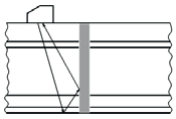
The validation of the numerical model was carried out by simulating all of the SX experimental trials



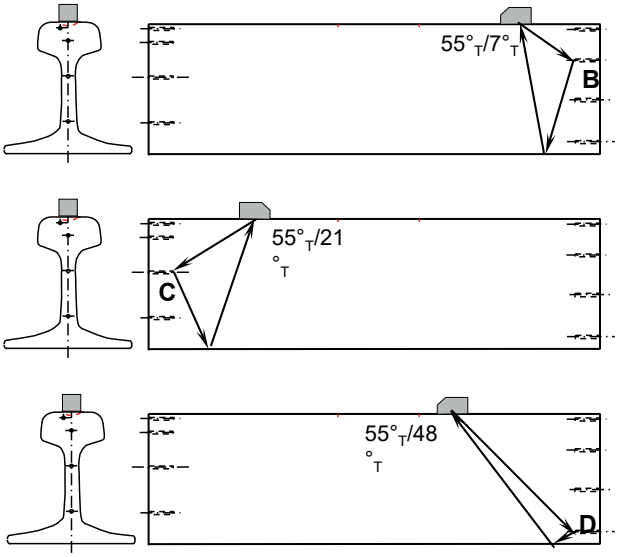


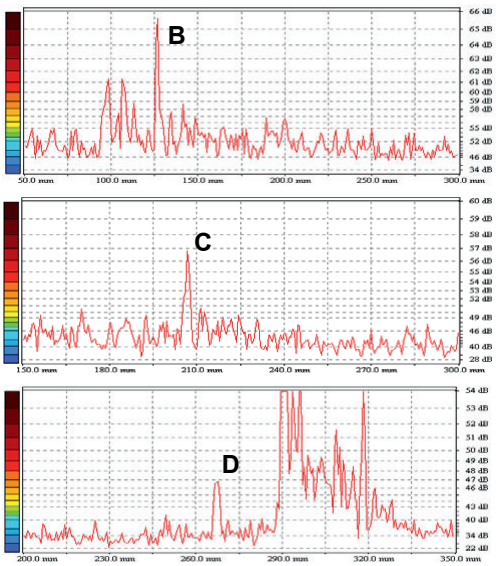


A.Gianneo, M. Carboni, A Reliability Study of Phased Array Ultrasonic Inspections Applied to Aluminothermic Welds in Rails, ESIS-TC24 Workshop 2017, Wittenberge



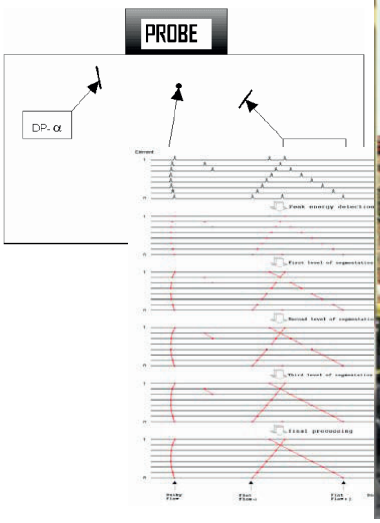
Nachweis senkrecht orientierter Reflektoren





D. Tscharntke, T. Heckel, R. Boehm, A. Erhard, R. Krull, J. Lützner, H. Hinzte, Development of ultrasonic raiway inspection systems using phased array methods, Railway Engineering, 2003, London

FAAST – Phased Array Technik mit Signalverarbeitung

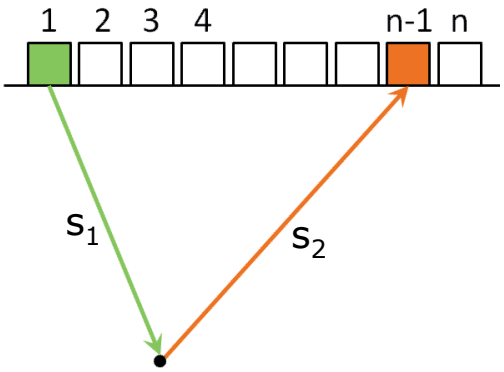


P. Coperet, FAAST - Fast automated angle scan technique, WCNDT, 2008, Shanghai

Quelle: socomate.com/phased-array-faast, SRMA, Australien

Full Matrix Capture (FMC) für die Total Focussing Methode (TFM)

Phased Array - Elemente



Schallweg s, Laufzeit $t = \frac{s_1 + s_2}{v}$

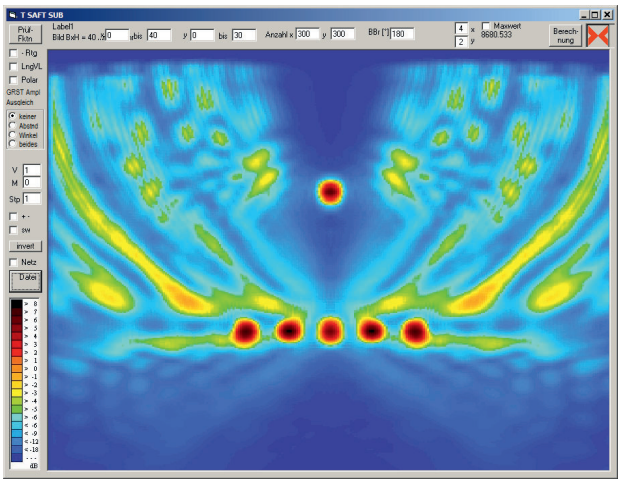
Matrix aller A-Scans der Einzelelemente

T \ R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1, 1	1, 2	1, 3	1, 4	1, 5	1, 6	1, 7	1, 8	
2		2, 2	2, 3	2, 4	2, 5	2, 6	2, 7	2, 8	2, 9
3			3, 3	3, 4	3, 5	3, 6	3, 7	3, 8	3, 9
4				4, 4	4, 5	4, 6	4, 7	4, 8	4, 9
5					5, 5	5, 6	5, 7	5, 8	5, 9
6						6, 6	6, 7	6, 8	6, 9
7							7, 7	7, 8	7, 9
8								8, 8	8,9
9									9, 9

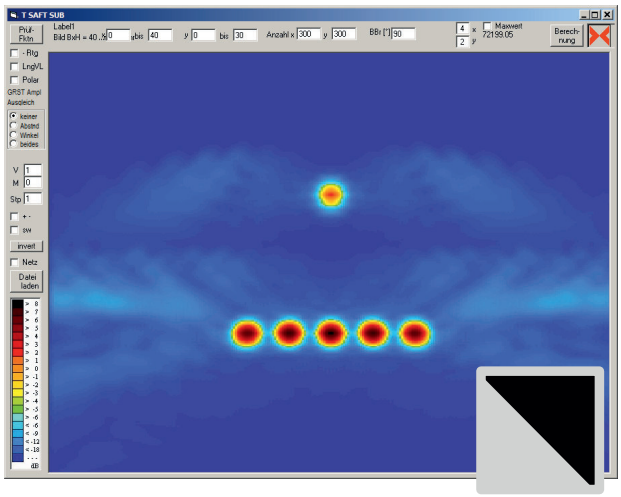
Bi-statische Daten → Spiegelung in Matrix

R. Boehm, D. Brackrock, H. Montag, T. Heckel, What is the benefit of the total focussing method and full matrix capture for ultrasonic imaging using the phased array technique, WCNDT, 2016, München

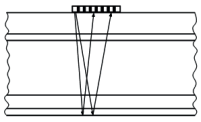
Gegenüberstellung der Puls-Echo Methode und der TFM bei gleicher Datenmenge (Simulation)



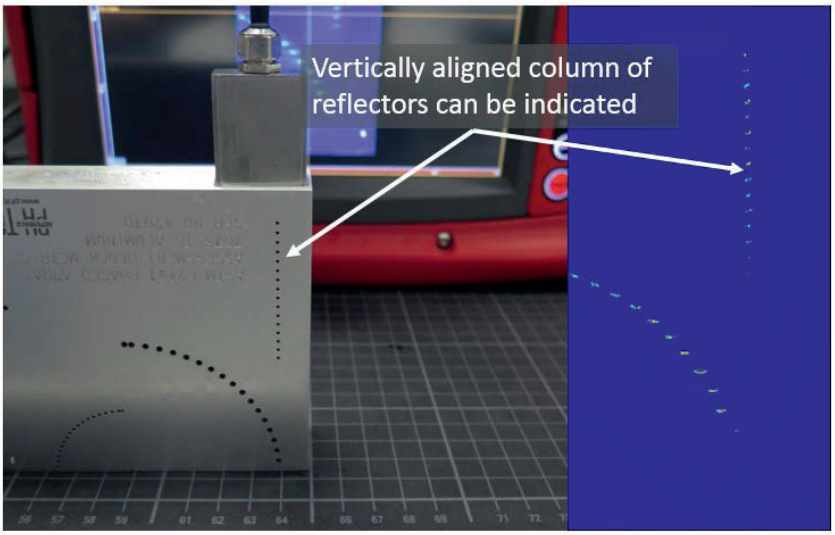
PE-Method, 1 el. moved Stp. = 2 mm
21 A-Scans, 21 MPts



TFM, Full Matrix for reconstruction
231 A-Scans, 21 MPts



FMC - Full Matrix Capture
TFM - Total Focussing Method



ASTM E2491 Phased Array Testkörper

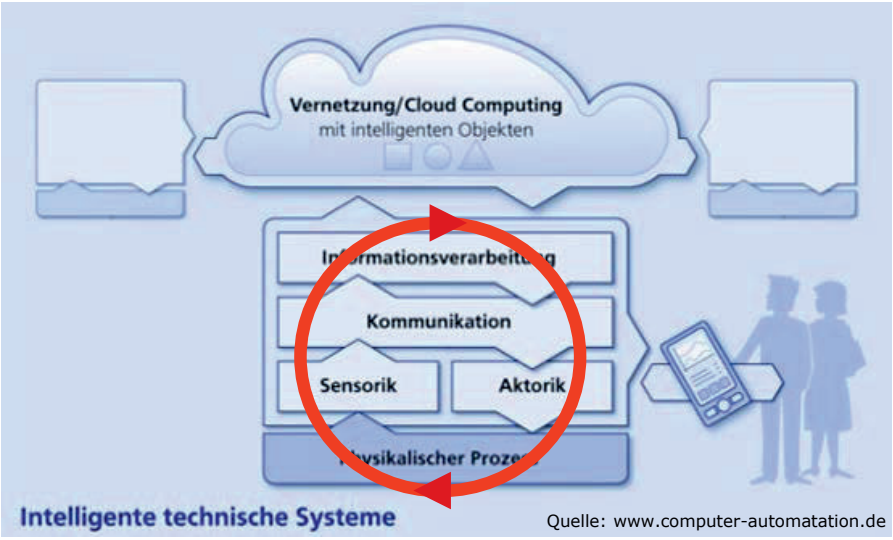
Prüfkopf 10 MHz, 64 Elements

GEKKO Phased Array Prüfsystem

W.A.K. Deutsch, W. Roye, H. Rast, P. Benoiste, High Resolution Phased Array Imaging using the Total Focussing Method, WCNDT, 2016, München

Die Zukunft - ZfP 4.0?

Ja, die Zukunft ist ZfP 4.0!



weitestgehend sich selbstorganisierende technische Prozesse

Design Prinzipien

- Interoperabilität
- Virtualisierung
- Dezentralisierung
- Echtzeitfähigkeit
- Serviceorientierung
- Modularität

T. Heckel, J. Prager, R. Boehm, Neue Konzepte für die Zerstörungsfreie Prüfung und die Zustandsüberwachung von Eisenbahnradsätzen mit Ultraschall, Fachtagung ZfP im Eisenbahnwesen, 2016, Wittenberge

Zusammenfassung

Die Phased-Array Technik liefert bildhafte Prüfergebnisse mit Positionszuordnung (Sektor-Scan, B-Bild, rekonstruierte Daten).

Die Anzahl der benötigten Prüfköpfe und der benötigten Koppelfläche kann auf ein Minimum reduziert werden.

Suchtechnik und Analyseprüftechnik sind mit einem Prüfsystem möglich.

Die Gerätetechnik ist vorhanden.

Eine eineindeutige Zuordnung der Prüfergebnisse mit lokalen Ortskoordinaten und Ortungssystemen ist möglich und kann für Prozesse von Industrie 4.0 bzw. Bahn 4.0 bzw. ZfP 4.0 genutzt werden.

BAM
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Sicherheit in Technik und Chemie

14.03.2018

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Dipl.-Ing. T. Heckel
thomas.heckel@bam.de
030 / 8104 - 3686

www.bam.de