Ultraschall- und Magnetpulver-Prüfung von neuen Bahnrädern

Wolfram A. Karl DEUTSCH [1], Wolfgang WEBER [1], Klaus MAXAM [1],
Mathias RAZENG [1], Frank BARTHOLOMAI [2]
[1] KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal
Tel: (+49 202) 7192-0, Fax: (+49 202) 714-932, info@karldeutsch.de, www.karldeutsch.de

Kurzfassung. Neue Eisenbahn-Räder werden im Anschluss an den Fertigungsprozess einer Vielzahl von Prüfungen unterzogen. Hierzu gehören auch die Magnetpulver- und die Ultraschall-Prüfung. Für denselben Endkunden wurden nun beide Prüfanlagen einer Prüfstrecke realisiert. Die Be- und Entladung der Prüfanlagen erfolgt über Spezialkrane und die Gesamtanlage ist für einen hohen Durchsatz von ca. 90 Sekunden pro Rad ausgelegt.

Die Magnetpulver-Prüfanlage arbeitet mit einer trapezförmigen Spule, die pneumatisch zwischen Sicherheitsposition und Prüfposition verfahren wird. Um die Taktzeit einzuhalten, wurde der Beladeprozess aufwändig mechanisiert. Das stehende Rad fährt mittels eines Schlittens zwischen Beladeposition und Prüfposition hin und her. Nachdem das Rad sich in der Prüfposition befindet und die Spule abgesenkt worden ist, wird unter Rotation des Rades geprüft. Die Auswertung erfolgt unter UV-Licht mit mehreren Bedienern, wobei die Zugänglichkeit des Rades von drei Seiten bei gleichzeitiger Beachtung aller Sicherheitsvorschriften möglich sein muss.

Die Ultraschall-Prüfung erfolgt ebenfalls mit (fast) vertikaler Radposition. Das Rad wird von oben in eine Prüfmechanik mit Tauchtank eingelegt, wobei nur der untere Radbereich ins Koppelwasser eintaucht. Auf 6 Uhr befinden sich zwei 128-elementige Phased-Array-Prüfköpfe zur Radkranz-Prüfung (Lauffläche, Stirnfläche). Die Nabe wird mittels Spaltankopplung mit beidseits aufgesetzten 64-elementigen Phased-Array-Prüfköpfen realisiert. Die Naben-Prüfköpfe müssen natürlich entsprechend den Raddurchmessern höhenverstellbar sein. Nur die Phased-Array-Technik ermöglicht eine schnelle Prüfung der Räder innerhalb einer Umdrehung. Drei Prüfelektroniken mit je 128 parallelen Kanälen erlauben eine flexible und schnelle Schussfolge, d. h. gleichzeitig können mehrere virtuelle Prüfköpfe aktiv werden. Die gekrümmte Lauffläche erfordert eine sorgfältige Einstellung der Zeitverzögerungen der Phased-Array-Prüfköpfe und eine große Laufruhe während der Drehung, um die Kreisscheiben-Reflektoren (1 mm KSR bzw. 2 mm KSR in verschiedenen Tiefenlagen) sicher zur Anzeige zu bringen.

Einführung

Das türkische Unternehmen Karabük Iron & Steel Industry and Trade Inc. (Kardemir) baut derzeit seine Bahnsparte aus. Die neue Fertigungslinie zur Herstellung von Eisenbahnrädern hat einen Wert von mehr als 90 Millionen Euro und wird von der Firma Schuler realisiert. Für den Pressenhersteller Schuler ist dies der größte Einzelauftrag der 174-jährigen Firmengeschichte. Die Fertigungslinie hat eine Ausbringungsleistung von rund 200.000 Rädern pro Jahr bei einem durchschnittlichen Rohling-Gewicht von circa 500 Kilogramm.

Lizenz: http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de/

Kardemir ist der älteste Stahlproduzent der Türkei und hat eine jährliche Kapazität von drei Millionen Tonnen. Der Unternehmenssitz befindet sich in Karabük, etwa zweihundert Kilometer nördlich von Ankara. Mit rund 4.000 Mitarbeitern wird ein Jahresumsatz von 660 Millionen Euro erzielt. Am Firmensitz steht das modernste integrierte Stahlwerk der Türkei. Kardemir fertigt bereits Schienen und Weichen für Hochgeschwindigkeitsstrecken. Diese baut der türkische Staat derzeit massiv aus. Das gesamte Schienennetz soll bis zum Jahr 2023 auf 25.000 Kilometer verdoppelt werden. Neben der neu entwickelten Radwalze, die aus vorgeschmiedeten Rohlingen Eisenbahnräder formt, liefert Schuler als Systemlieferant für das neue Fertigungszentrum eine Anlage zur Wärmebehandlung und Maschinen zur mechanischen Bearbeitung von Eisenbahnrädern. Auch die Prüfstrecke für die fertig bearbeiteten Räder gehört zum Lieferumfang.

1. Transportkonzept der Prüfstrecke

Die fertig bearbeiteten Bahnräder laufen in eine Prüfstrecke ein, die mehrere Aggregate umfasst. Nach einer Waschanlage werden die Räder laseroptisch vermessen und die Geometriedaten ermittelt. Danach schließt sich die Ultraschall-Prüfung und die Magnetpulver-Rissprüfung an. Eine Auswuchtmaschine und eine Markier-Anlage bilden den Abschluss der Prüfstrecke. Für das Transportkonzept der Prüfstrecke ist die Firma GLAMA Maschinenbau GmbH in Gladbeck verantwortlich. An einem linearen Portal, siehe Abbildung 1, fahren 5 Greifer zwischen den Anlagen der Prüfstrecke hin und her und sorgen für eine Beschickung der jeweiligen Anlagen innerhalb der vorgegebenen Taktzeit von ca. 2 Minuten.

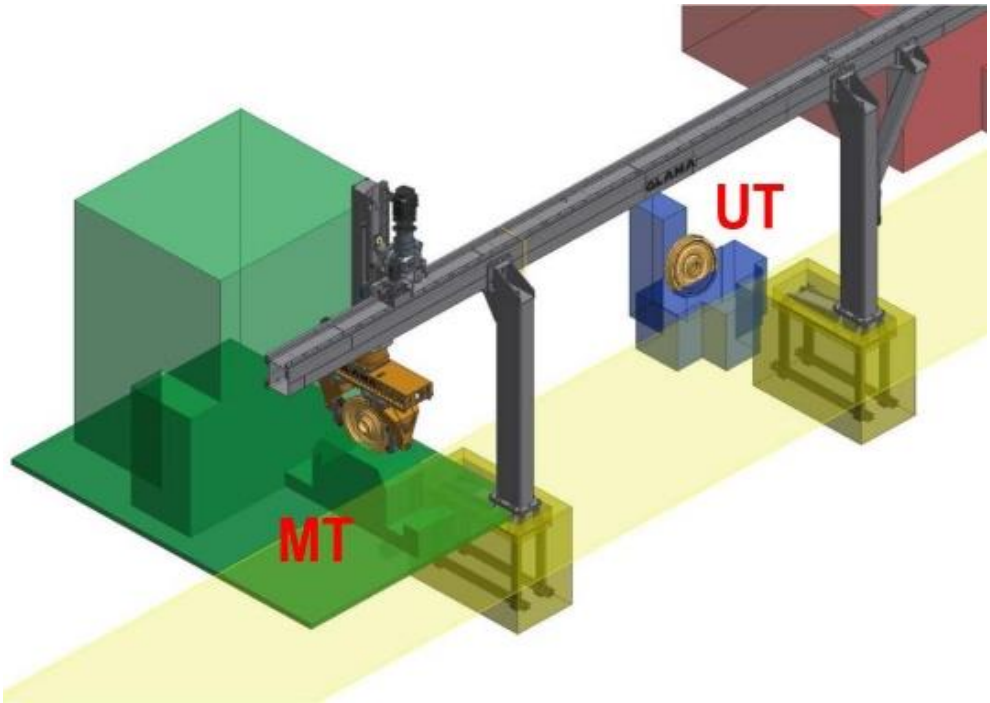

Abb. 1. Verkettung innerhalb der Prüfstrecke über ein lineares Portal der Firma GLAMA

Die Greifer sind in der Lage, vertikale und horizontale Bewegungen durchzuführen. Die Bahnräder können innerhalb der Greifer verkippt und gedreht werden. Die Beladung der Magnetpulver-Rissprüfanlage erfolgt bei vertikal stehendem Rad; die Beladung der Ultraschall-Prüfanlage, dargestellt in Abbildung 2, erfolgt zunächst vertikal. Danach wird das Rad etwas geneigt, um sicher auf den Stützrollen des Prüftanks zu drehen. Die

Positioniergenauigkeit der Greifer bewegt sich bei ± 1 mm. Die Kommunikation innerhalb der Prüfstrecke erfolgt über Profinet.

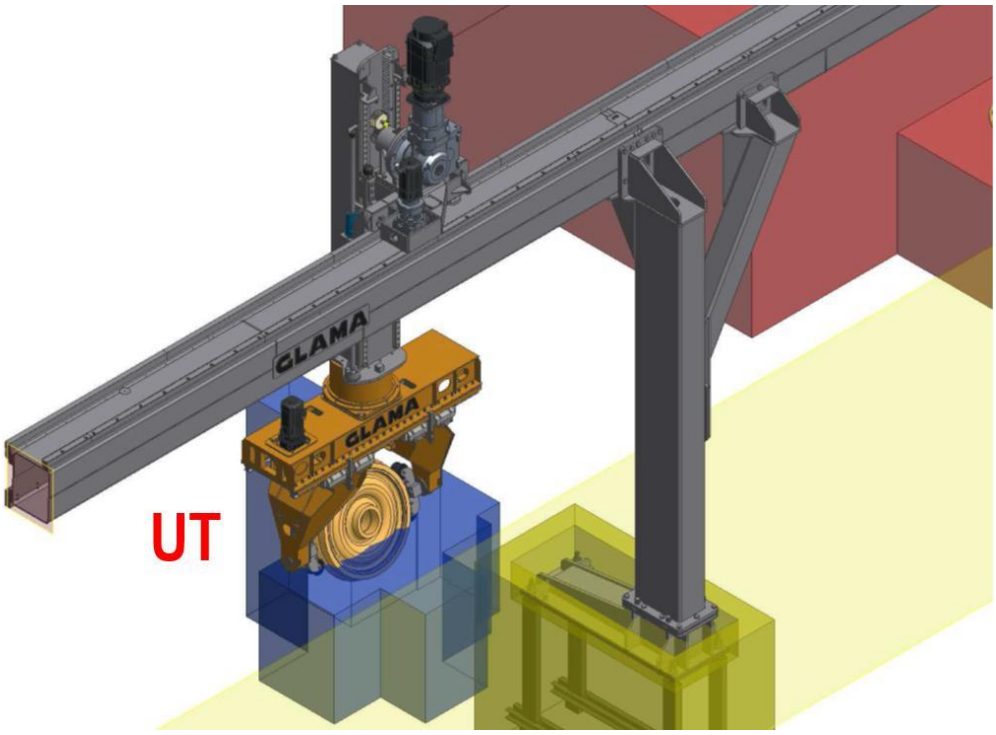

Abb. 2. Beladung der Ultraschall-Prüfanlage und Absenken in den Tauchtank mit einer Rad-Neigung von 17°

2. Magnetpulver-Prüfung von Bahnrädern

Die Magnetpulver-Prüfanlage arbeitet mit einer trapezförmigen Spule, vgl. Abbildung 3, die mit Wechselstrom gespeist wird. Durch die Rotation des Rades innerhalb der Spule werden Fehlstellen aller Orientierungen angezeigt. Die mechanische und elektrische Auslegung der Spule muss für eine ausreichende Magnetisierung der gesamten Radoberfläche sorgen, wobei der Innenbereich der Nabe nicht zum Prüfumfang gehört. Dies wird mit Hilfe von Testrädern nachgewiesen, welche mit künstlichen Fehlstellen versehen sind. Vierzehn erodierte Kreuznuten mit Nutlängen von 4 mm wurden in das Testrad eingebracht, siehe Abbildung 4.

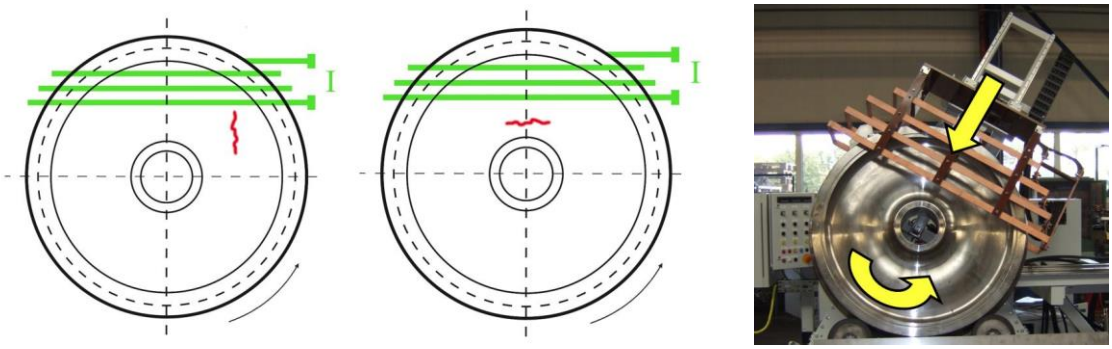

Abb. 3. Darstellung des Prüfprinzips und der Prüfanlage zur MT-Bahnradprüfung mit einer Trapez-Spule

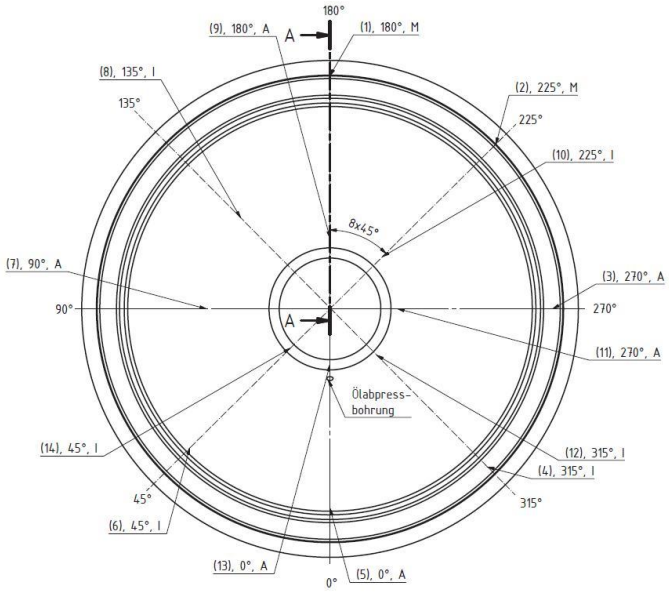

Abb. 4. Testrad mit 14 erodierten Kreuznuten, die auf der gesamten Radoberfläche verteilt sind

Um die knappe Taktzeit einzuhalten, wurde der Beladeprozess aufwändig mechanisiert. Das stehende Rad fährt mittels eines Schlittens zwischen Beladeposition und Prüfposition hin und her, siehe Abbildungen 5-7.

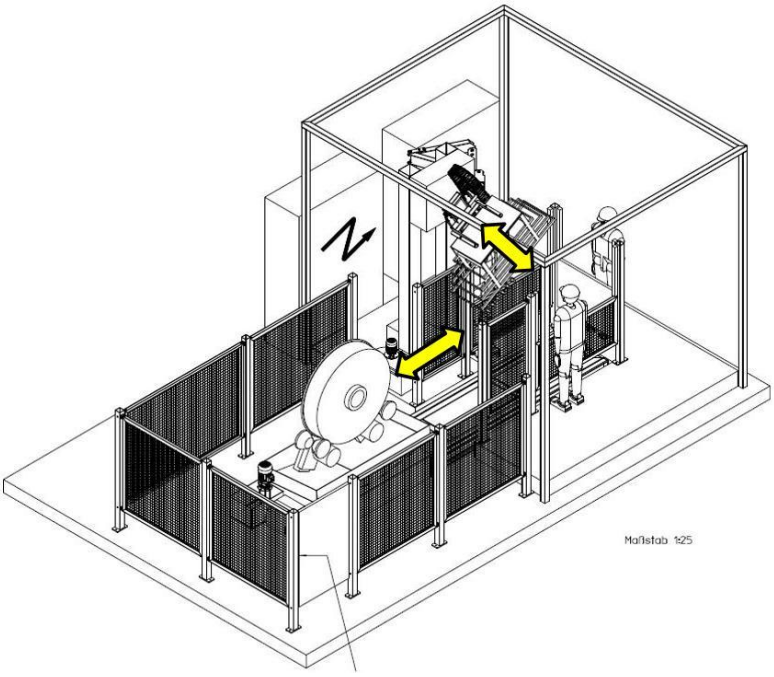

Abb. 5. Prüfmaschine mit quer fahrendem Wagen für die Aufnahme des zu prüfenden Bahnrades

Die Auswertung erfolgt unter UV-Licht mit mehreren Bedienern, wobei die Zugänglichkeit des Rades von drei Seiten bei gleichzeitiger Beachtung aller Sicherheitsvorschriften gewährleistet sein muss.

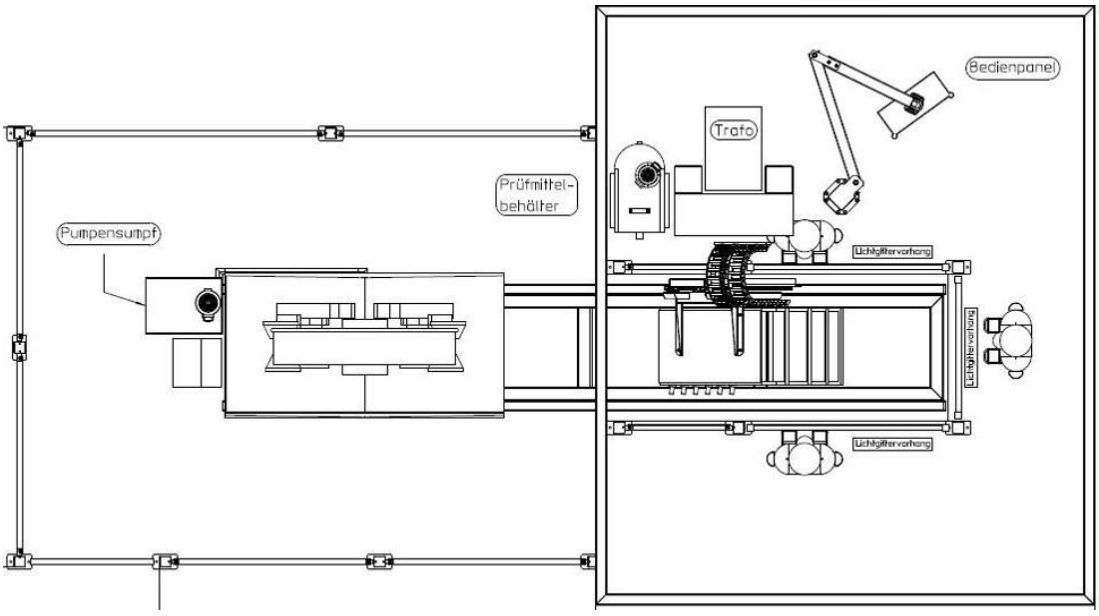

Abb. 6. Draufsicht der Prüfanlage und visuelle Auswertung der Rissanzeigen mit bis zu 3 Bedienern

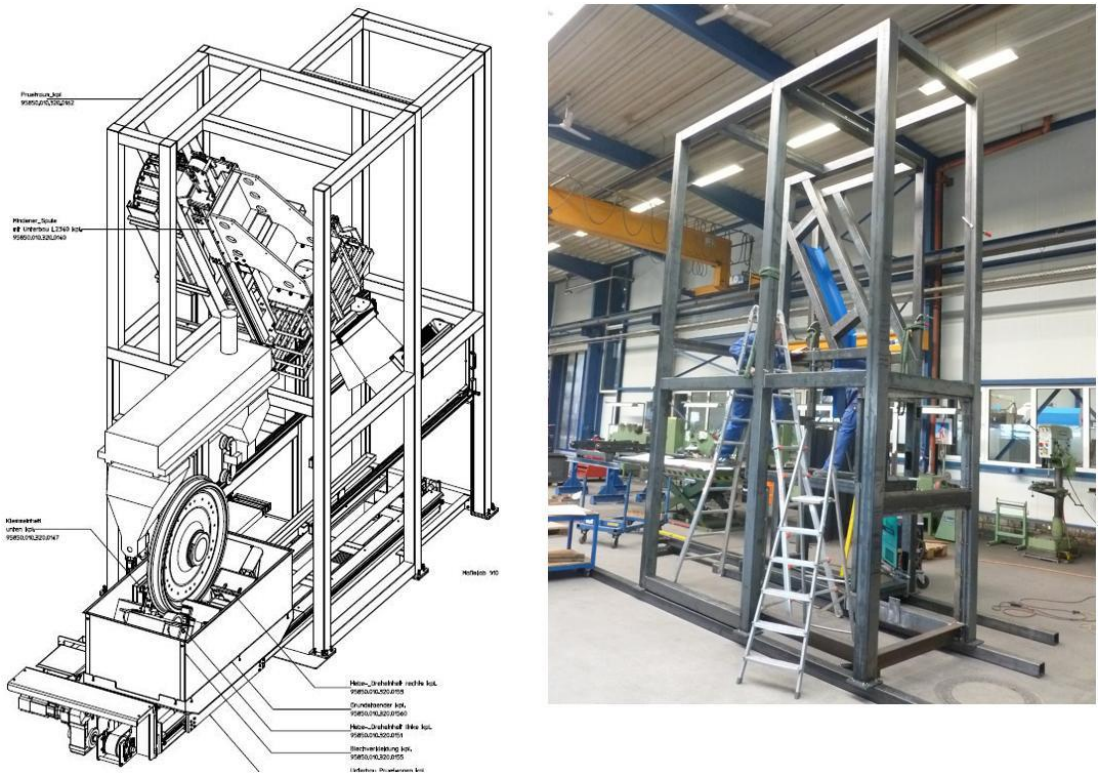

Abb. 7. Prüfmechanik zur MT-Bahnradprüfung, letzter Stand der Konstruktion (links) und während der Endmontage (rechts)

3. Phased-Array-Ultraschall-Prüfung von Bahnrädern

Die Ultraschall-Prüfung mit der in den Abbildungen 8 und 9 dargestellten Prüfmaschine erfolgt mit (fast) vertikaler Radposition unter einer Neigung von 17 Grad. Das Rad wird von oben in eine Prüfmechanik mit Tauchtank eingelegt, wobei nur der untere Radbereich ins

Koppelwasser eintaucht. Wie in Abbildung 10 schematisch dargestellt, befinden sich in der 6-Uhr-Position zwei 128-elementige Phased-Array-Prüfköpfe zur Radkranz-Prüfung (Lauffläche, Stirnfläche).

Abb. 8. Prüfmaschine zur Bahnradprüfung mit Phased-Array-Prüfelektronik (3 Module mit insgesamt 384 parallelen Prüfkanälen, links im Bild) und rotierendes Bahnrad in Prüfposition im Wassertank (rechts)

Abb. 9. Zwei Prüfkopfhalter arbeiten in Tauchtechnik im Wassertank (links gezeigt mit Testkörper in Form eines Radreifens). Zwei weitere Prüfkopfhalter arbeiten mit einer Spaltankopplung zur Nabenprüfung (rechts).

Die Nabenprüfung wird mittels Spaltankopplung mit beidseits aufgesetzten 64-elementigen Phased-Array-Prüfköpfen realisiert. Die Naben-Prüfköpfe müssen natürlich entsprechend den Raddurchmessern höhenverstellbar sein. Die verwendeten Prüfkopftypen sind in Abbildung 11 exemplarisch dargestellt.

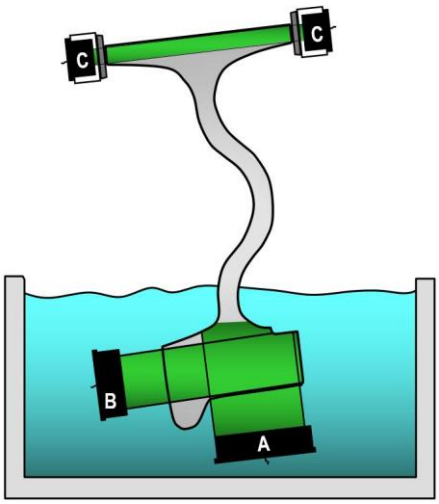

Abb. 10. Prüfkopf-Positionen zur Ultraschall-Bahnrad-Prüfung, A) Array zur Laufflächen-prüfung, B) Prüfung von der inneren Stirnfläche, C) beidseitige Nabenprüfung

Nur die Phased-Array-Technik ermöglicht eine schnelle Prüfung der Räder innerhalb einer Umdrehung. Als Prüfelektronik kommen drei MultiX++-Module der französischen Firma M2M zum Einsatz, an der KARL DEUTSCH seit 2009 zu einem Drittel beteiligt ist. Eine parallele Prüfelektronik wurde ausgewählt, um gleichzeitig mehrere Schüsse pro Array auslösen zu können und damit eine hohe Prüfgeschwindigkeit und Flexibilität zu gewährleisten. Die leicht gekrümmte Oberfläche der Lauffläche erfordert eine sorgfältige Einstellung der Zeitverzögerungen (Delay Laws) der Phased-Array-Prüfköpfe und eine große Laufruhe während der Drehung, um die Kreisscheiben-Reflektoren (ab 1,5 mm KSR in verschiedenen Tiefenlagen) sicher zur Anzeige zu bringen. Hierzu wird im Hause KARL DEUTSCH die CIVA-Software eingesetzt, die eine Simulation des Prüfproblems ermöglicht und die optimale Auslegung der Phased-Array-Prüfköpfe erlaubt, siehe auch Abbildung 12.

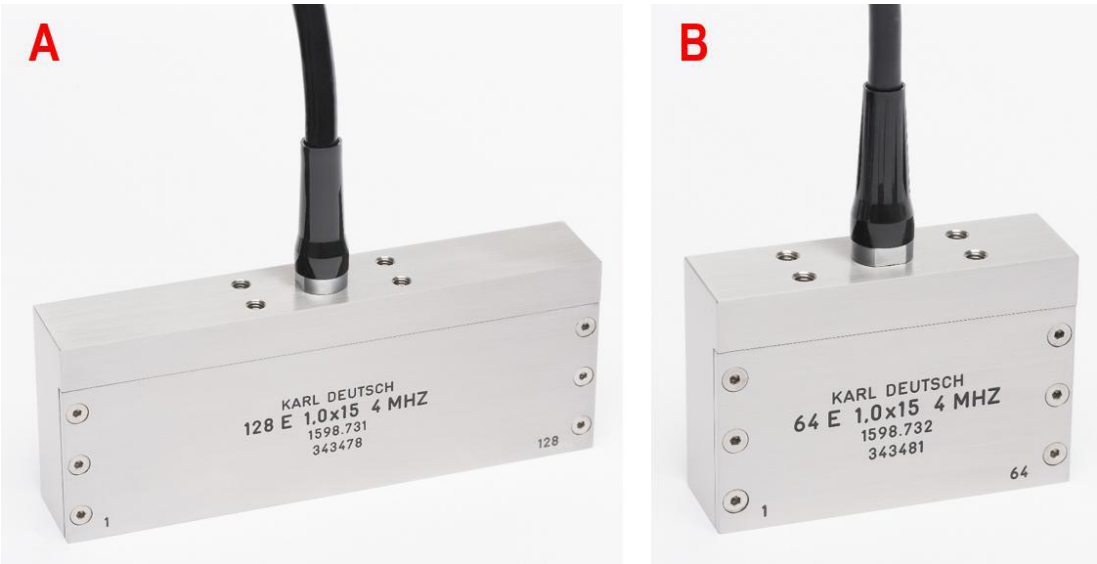

Abb. 11. Phased-Array-Prüfköpfe zur Ultraschall-Bahnrad-Prüfung, A) Array zur Laufflächen- und Stirnflächenprüfung, B) Array zur beidseitigen Nabenprüfung

Die Justierung der Prüfanlage erfolgt an künstlichen Testfehlern in Form von Flachbodenbohrungen in verschiedenen Positionen und Tiefenlagen. Zwei Testkörper

wurden gefertigt. Um die radialen Bohrungen zur Laufflächenprüfung einzubringen, wurde aus einem Rad ein Radreifen ausgedreht, der an zwei Seiten mit zertifizierten Testfehlern versehen wurde, vgl. Abbildung 13. Der zweite Testkörper enthält Bohrungen in der Radscheibe und der Nabe. Während die Lauffläche und die Stirnfläche im Regelfall auf 2 mm KSR zu prüfen sind, ist im Naben- und Scheibenbereich eine Prüfempfindlichkeit von 3 mm KSR typisch. Die Radscheibenprüfung ist jedoch nur bei einer Typzulassung eines Rades

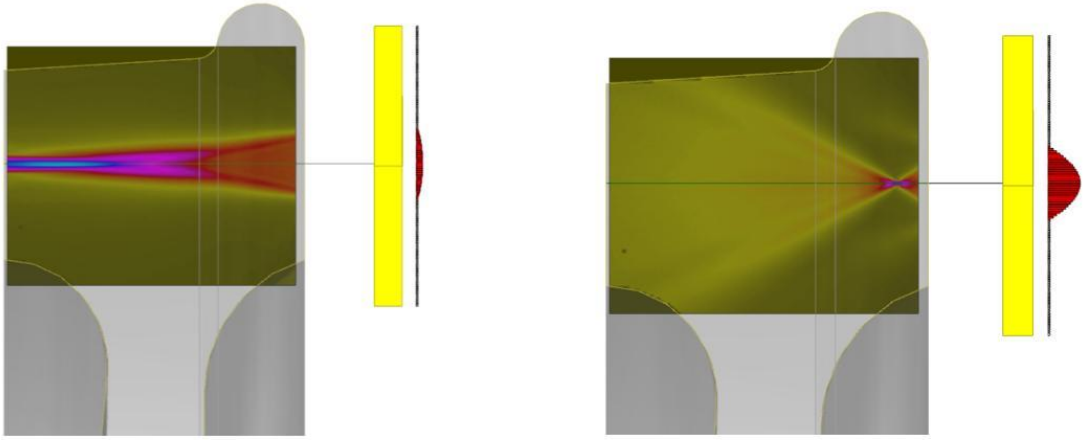

Abb. 12. CIVA-Simulation mit zwei verschiedenen Fokuspunkten zur Stirnflächenprüfung

erforderlich und erfolgt daher von Hand mit einem Ultraschall-Prüfgerät vom Typ ECHOGRAPH 1095. Eine mechanisierte Prüfung der Radscheibe stellt hohe Anforderungen an die Prüfkopfführung und würde z. B. über eine Robotik erfolgen.

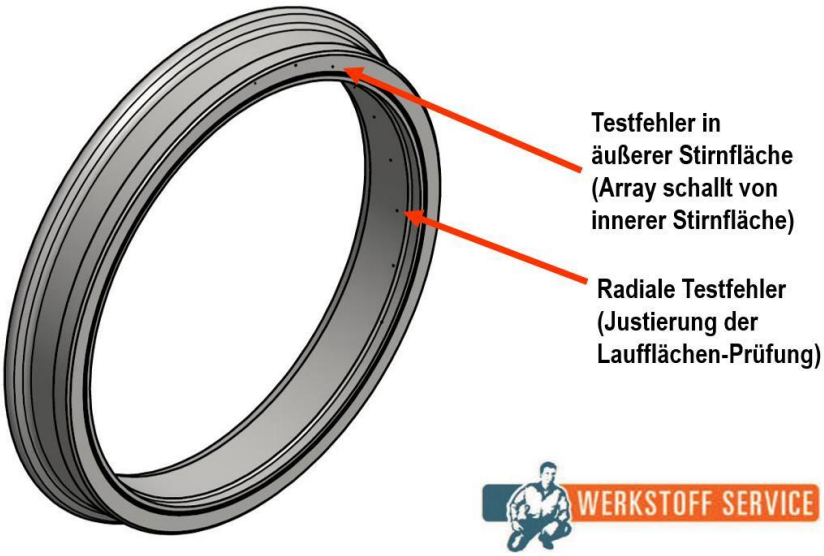

Abb. 13. Testrad, das zur Justierung der Laufflächen- und Stirnflächenprüfung mit Flachboden-Bohrungen in verschiedenen Positionen und Tiefenlagen versehen ist

Nach dem Einlegen erfolgt eine vollständige Rotation des Rades mit einer Umfangsgeschwindigkeit von ca. 100 mm/s. Die Wegsignale werden über einen Encoder am Motor zur Raddrehung ermittelt. Die sorgfältige Auslegung der Treibrollen im Tauchtank, die auf die Geometrie der Lauffläche angepasst wurden, sorgt für eine schlupffreie Drehung. Die Ultraschall-Befunde werden als A-Bilder pro virtuellem Prüfkopf (aktive Apertur innerhalb des Phased-Array-Prüfkopfes) und als Amplitudenschrieb (Ultraschall-Amplitude über Radumfang) visualisiert und dokumentiert.