

## US-Radsatzprüfung an Fahrzeugen des Reiseverkehrs der DB

B. Rockstroh, W. Kappes, F. Walte, Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren  
H. Hintze, R. Ettllich, R. Seitz, DB-AG

### Situation

Die Räder der ICE-Hochgeschwindigkeitszüge sind hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt. Sie werden deshalb nach vorgegebenen Laufleistungen geprüft, um mögliche Schäden in einem sehr frühen Stadium zu erkennen. Die ständige Optimierung von schienengebundenen Fahrzeugen, insbesondere der Hochgeschwindigkeitzüge ICE oder TGV, erfordern die permanente Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik, vor allem auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. Diese Prüfungen sind detailliert in Prüfanweisungen beschrieben [1].

### Aufgabenstellung

Da eine Erhöhung der Sicherheitsstandards - Verkürzung der Inspektionsintervalle und Erweiterung des Prüfumfanges - mit der vorhandenen Prüftechnologie nicht mehr mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand durchgeführt werden konnte, mußten gemeinsam mit der DB-AG neue, schnelle, automatisch arbeitende Radprüfsysteme entwickelt, in Betrieb genommen und in den Dauerbetrieb überführt werden. Das bei der DB-AG (FTZ-Kirchmöser) vorhandene Know-how wurde hierfür genutzt. Die praxisnahen Prüferfahrungen der von der DB gebauten drei Prüfständen wurden bei der Weiterentwicklung und Auslegung weiterer automatischer Radsatzprüfsysteme beachtet. Folgende Forderungen waren dabei einzuhalten:

#### Prüftechnische Forderungen:

- Nachweis von Rissen in den Oberflächen des Radkranzes und der Radscheibe
- Nachweis von Rissen und Inhomogenitäten im Volumen des Radkranzes und der Radscheibe
- Nach Fehlergröße und -lage bewertbare Prüfergebnisse
- Eindeutige Dokumentation der Prüfergebnisse

Die sich daraus ergebenden Prüfbereiche sind in Abb. 1 dargestellt.

#### Objektbezogene Forderungen:

- Prüfung von Radsätzen mit bis zu 4 Bremsscheiben mit und ohne aufgesattelten Lagern
- Max. Radsatzgewicht 2000 kg
- Prüfung der Radscheibe mit Ultraschall bei Ankopplung von der Lauffläche
- Laufkreisdurchmesser von 780 mm bis 1300 mm
- Integration in den vorhandenen Radsatzspeicher mit automatischer Zuführung in den Prüfstand
- Automatisches Einrollen, Absenken, Drehen, Prüfen und Auswerfen des Radsatzes

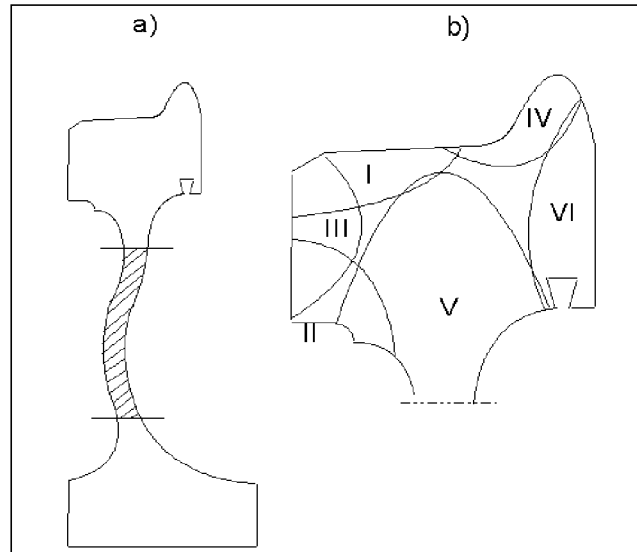


Abb. 1: Prüfbereiche: a) für die Radscheibe, b) für den Radkranz

#### Forderungen an die Prüfzeit

- Die Prüfzeit umfaßt das Einrollen des Radsatzes bis zum Auswerfen aus dem Prüfstand. Für befundfreie Radsätze wurde eine Prüfzeit von ca. 5 Minuten angestrebt.

Das AURA-Ultraschallprüfsystem ist mit modernster Computertechnik ausgerüstet. Alle mechanischen, hydraulischen und pneumatischen Bewegungen laufen automatisch ab. Die Meßdaten werden reproduzierbar gespeichert und analysiert. Die Anzeigen werden ortsgetreu dargestellt. Die Meß- und Ergebnisdaten werden für eine kontinuierliche Überwachung der Radsatzqualität in einer Datenbank abgelegt (Lebenslaufakte).

#### Basis für die Entwicklung des Radsatzprüfsystems AURA waren:

- Nutzung des Know-how der Bahn auf der Basis eines detaillierten Lastenheftes (FTZ-Kirchmöser)
- die im IZFP entwickelte Elektronikplattform „PCUS40“ in Form modularer Ultraschall-Karten zur Integration in einen PC [2]
- Benutzung bewährter mechanischer Komponenten früherer Prüfstände der DB-AG in Wittenberge, Delitzsch und Eberswalde
- enge Zusammenarbeit mit dem Werk Nürnberg der DB-AG schon in der Konzeptphase [4]
- ein langjähriges Know-how bei der koppelmittelfreien Anregung von polarisierten Transversalwellen (EMUS-Technologie) [3]
- ein langjähriges Know-how bei der Prüfung komplexer Schmiedeteile
- die Kompetenz der TEG in Automatisierungsfragen



Abb. 2: US-Radsatzprüfanlage AURA im Werk Nürnberg der DB

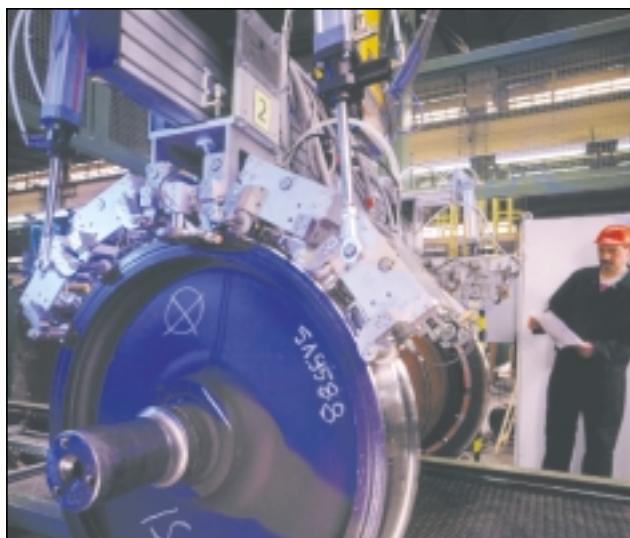


Abb. 3: US-Radsatzprüfanlage AURA im Werk Nürnberg der DB

Automatische Radsatzprüfsysteme sind in den Werken Nürnberg, München und Neumünster der DB-AG erfolgreich im Einsatz. [5/6]

### Prüftechnik

Die Ultraschallprüfung eines Radsatzes wird mit 26 piezoelektrischen- und 2 EMUS-Prüfköpfen (Elektromagnetische Anregung von Ultraschall) durchgeführt. Die piezoelektrischen Prüfköpfe werden über Fließwasser angekoppelt. Die EMUS-Prüfköpfe arbeiten koppelmittelfrei bei einem Luftspalt von ca. 0,2 mm. Die Prüfung erfolgt in Senkrecht- und Schrägeinschallung, um den zu prüfenden Bereich optimal abzudecken.

Die Forderung nach einer US-Radscheibenprüfung ausschließlich von der Rad-Lauffläche her, stellte, insbesondere für die gewölbten Glockenräder, eine große Herausforderung für die Ultraschallprüfung dar. Vermieden wird



Abb. 4: AURA-Prüfstand im Werk München Neuaubing der DB

bei dieser Lösung eine Aufwendige Magnetpulverprüfung mit vorangehender Entfernung der Farbschichten.

Voruntersuchungen mit konventionellen, piezoelektrischen Ultraschallprüfköpfen ergaben keine befriedigende Lösung, speziell für „gekrümmte“ Radscheiben.

Erfolgversprechend war der Ansatz mit parallel zur Radscheibe polarisierten elektromagnetisch angeregten Ultraschallwellen (EMUS-Technik). In dieser Konfiguration entstehen an den Radiusübergängen Radkranz/Radscheibe keine störenden Wellenumwandlungen und die Prüfung der Radscheibenoberflächen sowie des Radscheibenvolumens sind im vorgesehenen Umfang möglich.

Die Parameter für die Prüfung der Radscheiben, insbesondere die Einschallpositionen und die Prüffrequenzen, hängen stark von der Radscheibengeometrie ab, und müssen für jede Scheibengeometrie in Vorversuchen an Testrädern ermittelt werden. Durch die o.g. Einschallbedingungen laufen große Schallanteile streifend an der Radaußenseite entlang und gewährleisten eine hohe Rißnachweisempfindlichkeit. Unebenheiten und Hammerschläge an den Oberflächen der Radscheiben führen zu Störungen. Dies ist auch der Fall, wenn die Radscheiben mit ungleichmäßig angebrachten Farbschichten versehen sind. Lacknasen ergeben dann Scheinanzeigen.

### Mechanische Komponenten

Der Prüfstand besteht aus einem Rollstand und einem Stahlportal für die Zustellkomponenten der Prüfmechanik sowie einer rundum aufgestellten Schutzvorrichtung.

tung. Er beansprucht eine Grundfläche von ca. 14 m<sup>2</sup>. Die Funktionen des Rollstandes bestehen im Auffangen, Absenken, Durchdrehen und Auswerfen des Radsatzes.

Das Stahlportal dient als Aufnahme für die vertikale Linearachse (Z-Achse) und für die Medienzuführung (Wasser, Druckluft, Hydrauliköl, elektr. Energie) sowie für Meß- und Steuerleitungen. Die elektrisch betriebene Z-Achse ermöglicht das Zustellen des Prüfsystemträgers und die Anpassung an die unterschiedlichen Radsatzdurchmesser. Um eine "gegensinnige" Ultraschallprüfung bei einer möglichst geringen Anzahl von Prüfköpfen bzw. Prüfkanälen (28) zu ermöglichen, wurde der Prüfsystemträger für die ersten drei AURA-Systeme drehbar ausgeführt (hydraulisches Schwenkmodul), so daß bei einer Drehung um 180° alle Winkelprüfköpfe in Gegenrichtung einschallen. Für die Folgesysteme wird die 180° Drehung des Systemträgers zwecks Einsparung von Prüfzeit vermieden. Es wird mit einem 48-Kanal-US-System des IZFP geprüft. Die Prüfköpfe sind federnd gelagert und befinden sich in klappbaren Sensorsystemen, die pneumatisch an die jeweilige Radoberfläche angedrückt werden.

Alle Positioniervorgänge werden mit Näherungssensoren überwacht.

Die Bedienung des Prüfstandes erfolgt über einen Bedienschrank. Über einen ISDN-Anschluß sind eine Ferndiagnose und Fernwartung möglich, außerdem können notwendige Software-Updates schnell durchgeführt werden. Die speicherprogrammierbare Steuerung für die mechanischen Funktionen befindet sich in einem separaten Steuerschrank. Eine Übersichtsaufnahme der AURA-Anlage in Nürnberg ist in Abb. 2 dargestellt. Abb. 3 zeigt die am Rad anliegenden Sensorhalterungen und Abb. 4 die AURA München.

**Die Vorteile des AURA-Prüfstandes lassen sich wie folgt zusammenfassen:**

- kurze Prüfzeiten
- Automatische Zu- und Abführung der Radsätze
- Entfall der Magnetpulverprüfung der Radscheibe
- Einfache Bedienung des Systemes durch eine benutzerfreundliche Software
- Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit durch integrierte Funktionskontrollen
- Möglichkeit der Ferndiagnose des Anlagenzustandes
- Unmittelbare Dokumentation der Prüfergebnisse
- Möglichkeit der nachträglichen Bewertung von Anzeigen durch Speicherung der Prüf- und Ergebnisdaten

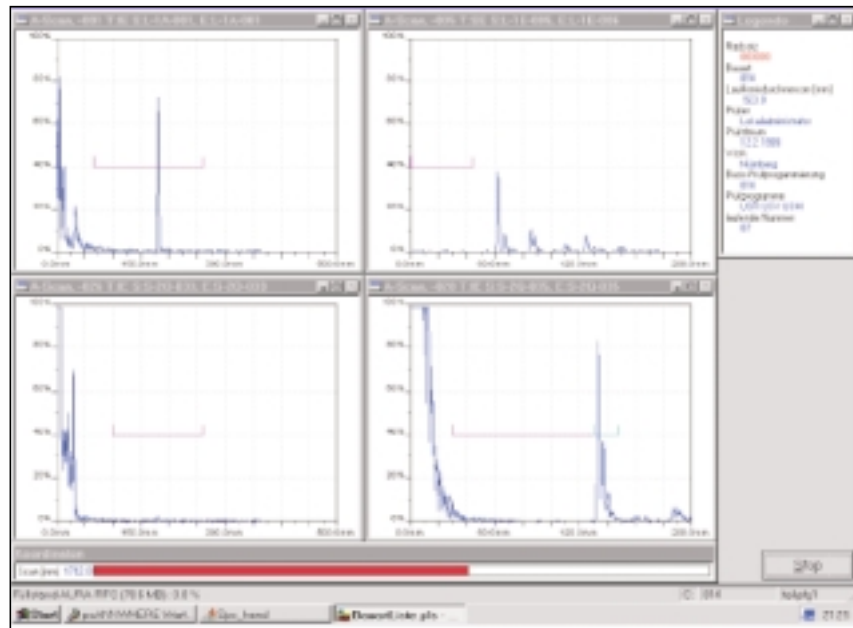


Abb. 5: Online-Darstellung während der Datenaufnahme

- Erstellung einer qualitätsgesicherten Dokumentation
- Schneller Überblick über den Gesamtbestand an befundfreien Radsätzen durch eine Informationsmanagement-Software
- Erstellung Bauart-spezifischer Prüfprogramme
- Überprüfbarkeit und Dokumentation der Funktionsfähigkeit der Anlage entsprechend Regelwerk

### Prüfelektronik

Für die AURA-Prüfanlage wird eine Mehrkanal-Elektronik auf der Basis der im IZFP entwickelten Elektronikplattform PCUS 40 (34 aktive Kanäle und 6 Reservekanäle) eingesetzt, die aufgrund des modularen Aufbaus auf 64 Kanäle erweitert werden kann. Pro Prüfkanal können 4 unabhängige Blenden gesetzt werden, wobei je Blende Amplitude- und Laufzeit des höchsten Echos mit der Umfangskoordinate aufgezeichnet werden.

Während der Prüfung werden vier A-Bilder, sowie der Prüffortschritt, in Form eines horizontalen Balkens auf dem TFT-Bildschirm dargestellt, Abb. 5. Die A-Bilder können vor Beginn der Prüfung vom Prüfer individuell aus allen Prüfkanälen ausgewählt werden. Nach Beendigung der Prüfung werden die Prüfergebnisse der beiden Teilprüfungen (Radseite A und B am Radsatz) in vier Balken-C-Bildern dargestellt. Für jede Prüffunktion gibt es einen horizontalen Balken von 0 – 360° Umfang, in dem die Registriergrenzenüberschreitungen ortsgetreu angezeigt werden.

Für eine Analyse der Prüfergebnisse, z.B. Justierarbeiten, Nachbewertungen von Anzeigen usw. können die Ergebnisse jeder Prüffunktion durch Anklicken mit dem Cursor als Amplitudendynamik dargestellt werden. Mit der Cursorfunktion kann die Amplitudendynamik hinsichtlich der Amplitudenhöhe und der genauen Fehler-

lage ausgewertet werden. Ein weiteres Hilfsmittel zur Nachauswertung ist ein Seiten-Bild, in dem die Fehler-tiefenlage ausgemessen werden kann. Dies ist insbesondere für die Vermessung von Anzeigen im Scheibenbe-reich hilfreich.

### Neue Prüfanlagen AURA

Auf Grund der geforderten geringen Boden-Boden-Zeit bei den Radsatzprüfanlagen Delitzsch, Wittenberge und Paderborn der Deutschen Bahn muß auf die Drehung des Sensorträgers und auf die Durchführung von 2 Test-prüfungen verzichtet werden. Auf der Grundlage bishe-riger Erfahrungen mit den in Betrieb befindlichen AURA-Anlagen [5, 6] wurden optimierte Systemkonzepte für Folgeanlagen erarbeitet. Die Anzahl der Ultraschallprüf-köpfe wurde auf 52 erhöht (einschließlich der zwei EMUS-Prüfköpfe). Entsprechend wurde die Kanalzahl der Ultraschallelektronik auf 68 erhöht (einschließlich Reservekanäle). Hinzugekommen ist die Wirbelstrom-prüfung der Radlauflächen nicht überdrehter Räder. Für diese Prüfung werden vier Wirbelstromsensoren je Rad-laufläche eingesetzt. Die WS-Prüfelektronik und die Software wurden in das AURA-Systemkonzept integri-ert.

### Erfahrungen mit der AURA 01 im Werk Nürnberg

Das Werk Nürnberg als Dienstleister für DB Reise&Touristik und DB Regio ist u.a. verantwortlich für die Instandhaltung der Fahrzeuge des Hochgeschwindigkeitsver-kehrs, wie z.B. ICE 1/ ICE 2/ ICE T und ICE 3 sowie deren Komponenten.

Mit Beginn April 1999 ging der Prüfstand AURA 01 mit seinem vollen Funktionsumfang in den Zwei-Schicht—Betrieb. Die folgenden Erfahrungen mit dem System erforderten eine nahezu ständige Begleitung durch das Team des IZFP sowie durch das Forschungs- und Technologie-Zentrum der DB AG (FTZ 72). In der Folge wurde das System weiter optimiert und die anfangs zu hohe Rate an Nachprüfungen konnte auf unter 10 % der Gesamtprüfungen gesenkt werden. Mit Abschluß des Jahres 1999 betrug die Anzahl der geprüften Radsätze nahezu 8 000 Einheiten. Damit konnte der geforderte Prüfumfang in vollem Umfang erfüllt werden. Wesentlich trug dazu die Standardisierung der häufig auftretenden Anzeigen bei, die nach ihrer Klassifizierung keine Befundanzeige ergaben. Dies erfolgte in jedem Fall in Abstimmung mit dem FTZ 72.

Im weiteren Verlauf der umfangreichen Prüftätigkeit konnten durch die praktischen Erfahrungen weitere Ver-besserungen am Prüfstand erprobt werden, die dann in den Bau der Nachfolgemodelle in München-Neuaubing sowie Neumünster einfließen.

Die hohe Anzeigensicherheit des Prüfstandes beweist sich durch Anzeigen, die bereits durch minimale Geometrieabweichungen bzw. Bearbeitungsspuren oder Farbschichtunterschiede auftreten. Dies erfordert Wiederholungsprüfungen pro Teilprüfung und erhöht da-durch die Aufenthaltsdauer der Radsätze im Prüfstand. So konnte bis jetzt ein Durchsatz von durchschnittlich

drei bis vier Radsätzen pro Stunde erreicht werden. So-mit sind Schichtleistungen von größer 20 erzielbar. Bei einer Handprüfung wären etwa 10 Prüfer erforderlich, um die gleiche Prüfleistung zu erbringen. Dabei sind di-verse Nebenarbeiten, wie z.B. das Abstrahlen der Rad-scheiben, nicht berücksichtigt. Des weiteren sind manu-elle Vor- bzw. Nacharbeiten für Qualitätsprotokolle not-wendig, die durch den Einsatz eines Barcode Lesesy-stems und Datenbanksystemes (Radsatz-Management-System) noch weiter minimiert werden können.

Die bei der Prüfung anfallenden Daten werden nach festgelegten Kriterien (u.a. die jeweiligen C-Bilder aller Prüfköpfe und die jeweiligen Prüfprotokolle der einzel-nen Teilprüfungen) gespeichert und nach dem Ende je-der Schicht gesichert. Diese Tagessicherungen werden wochenweise auf CD ROM geschrieben und entspre-chend archiviert.

Zur Zeit arbeiten wir an einer Online-Sicherung der Da-tensätze, die in das Nachweissystem RMS eingebunden sind. Der dann vorliegende Datenbestand trägt zu einer wesentlichen Erhöhung der Sicherheit bei den Lauf-werkskomponenten bei.

Die Werke von DB Reise&Touristik sind in dieses Kon-zept involviert und leisten mit der angewandten ZfP-Technologie Ihren Beitrag dazu.

### Literatur

- /1/ DB-AG-Konzernrichtlinien 907.0401, 907.0403, 907.0405
- /2/ J. Kretow, K. Pavros, W. Kappes, B. Rockstroh, R. Weiß: Neue PC-integrierte Geräte für die Ultra-schall-Handprüfung und für die mechanische Ul-traschallprüfung. Qnet-St. Petersburg, Rußland.  
Konferenz für moderne zfp in der Industrie, 16.03.98, Charkow (Ukraine)
- /3/ H.J. Salzburger, H. Hintze: Tiefenbestimmung von Lauflächenfehlern an Eisenbahnradern unter Nut-zung linear polarisierter Transversalwellen, Verfah-rensoptimierung und Erprobung.  
DGZFP-Jahrestagung 1996, Lindau
- /4/ G. Hübschen: Trockene Ultraschallprüfung. IZFP-Seminar, ZfP-Anwendungen Kraftwerkserrichtung / Kraftwerksbetrieb, 3./4.12.97 Saarbrücken
- /5/ B. Rockstroh, F. Walte, W. Kappes, G. Hübschen, R. Seitz, H. Hintze: Ultraschallprüfung an Radsätzen von Hochgeschwindigkeitszügen.  
Zeitschrift Welt der ZfP Nr. 5, September 1999, St. Petersburg, Rußland
- /6/ F. Walte, W. Kappes, B. Rockstroh, H. Hintze, R. Ettlich, R. Seitz: US-Radsatzprüfungen an Fahrzeugen des Reiseverkehrs der DB  
DGZFP-DACH-Jahrestagung 2000, 31. Mai 2000, Innsbruck