

Induktionsthermographie zur Prüfung von Eisenbahnkomponenten

Udo NETZELMANN¹, Günter WALLE¹, Andreas EHLEN¹, Sergey LUGIN¹,
Michael FINCKBOHNER¹, Steffen BESSERT¹, Bernd VALESKE²

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

² Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar), Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Kurzfassung

Bei der Induktionsthermographie handelt es sich um eine aktiv thermographische Prüftechnik, bei der zunächst Wirbelströme in einem elektrisch leitenden Material erzeugt werden. Durch Ohm'sche Widerstandsverluste wird dabei Wärme freigesetzt, die an der Oberfläche mit einer Infrarotkamera abgebildet wird. An Rissen nahe der Oberfläche müssen die induzierten elektrischen Ströme Umwege nehmen, so dass Bereiche mit erhöhter oder verringerter Stromdichte entstehen. Die damit verbundenen thermischen Kontraste zeigen im Infrarotbild die Fehler an und lassen in ihrer zeitlichen Entwicklung auch Rückschlüsse auf die Fehlerorientierung und -tiefe zu. Diese Technik wurde schon in verschiedenen Industriebereichen angewendet. Das Ziel ist dabei oft, zu einer gut automatisierbaren Alternative zur Magnetpulver- oder Farbeindringprüfung zu gelangen.

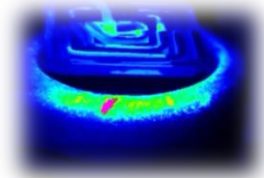
Es werden zunächst Anwendungen der Induktionsthermographie aus allgemeinen Industrieanwendungen gezeigt, zusammen mit Ergebnissen aus unseren Untersuchungen im Rahmen der flexiblen Akkreditierung. Dabei wird auf die Besonderheiten der Kontrasterzeugung eingegangen. Die Anwendung der Induktionsthermographie in der Bahntechnik ist relativ neu. Es wird ein Demonstratoraufbau des Fraunhofer IZFP zur automatisierten Prüfung von Eisenbahnradern nach der Produktion gezeigt. Dabei werden ein Drehtisch und ein Roboter zur Abtastung eingesetzt. Eine andere Anwendung ist die Prüfung von Oberflächenfehlern in Eisenbahnschienen mit Induktionsthermographie aus einem fahrenden Prüfzug heraus. Hierbei bestand die Möglichkeit eines ersten orientierenden Experiments auf dem Testgelände in Wegberg-Wildenrath. Natürliche Oberflächenfehler in einer Schiene konnten bei Zuggeschwindigkeiten von bis zu 15 km/h detektiert werden. Über Simulationen und analytische Abschätzungen werden die derzeitigen Grenzen für die Prüfgeschwindigkeit diskutiert.

Vorteile der Induktionsthermographie im Vergleich zu den etablierten Verfahren werden darin gesehen, dass berührungsfrei ein Fehlerbild erzeugt wird, das seine Lage und Orientierung zeigt und dadurch direkte Hinweise auf die Natur des Fehlers gibt. Der Abhebeeffect zwischen Induktor und Prüfoberfläche spielt eine vergleichsweise geringe Rolle. Es können auch Fehler in Probenbereichen gefunden werden, wo andere Sensoren auf Grund von geometrischen Einschränkungen nicht einsetzbar sind.

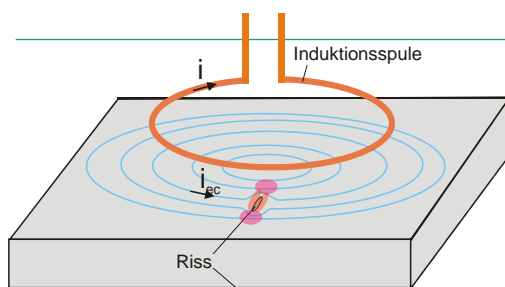
Induktionsthermographie zur Prüfung von Eisenbahnkomponenten

U. Netzelmann, G. Walle, A. Ehlen, S. Lugin, M. Finckbohner, S. Bessert und B. Valeske
Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren, Saarbrücken

- Einführung
- Nachweismöglichkeiten
- Oberflächenrissprüfung an Industrieteilen
- Induktionsthermographie von fahrenden Prüfzug
- Demonstrator für Rissprüfung an Bahnradern
- Zusammenfassung



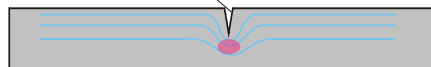
Schema der Induktionsthermographie zum Rissnachweis



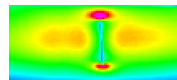
Der Wirbelstromfluss wird an Rissen gestört

Erhöhte Stromdichte führt zu lokal stärkerer Erwärmung

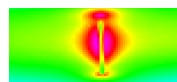
Die Rissflanken tragen als zusätzliche Wärmequellen bei



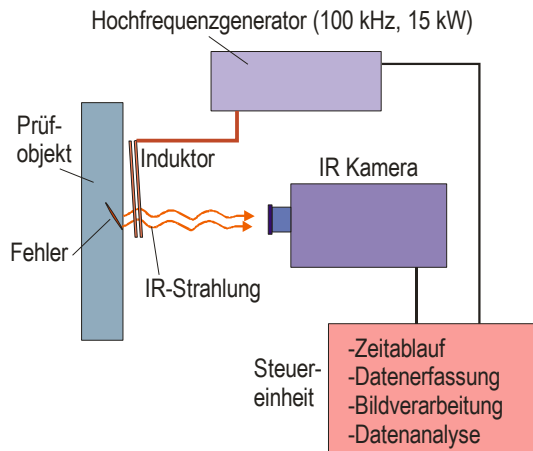
Risstiefe < Skintiefe



Risstiefe > Skintiefe



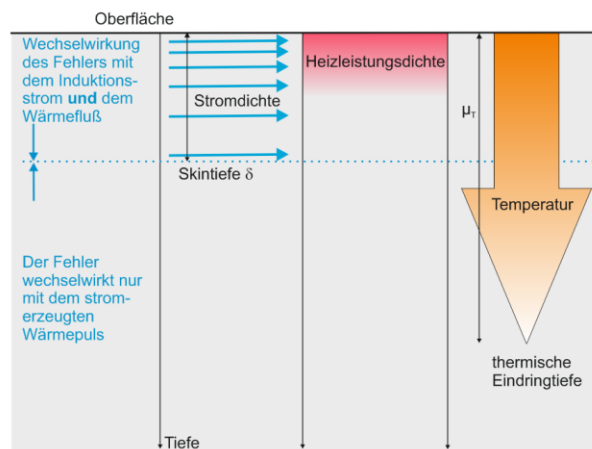
Schema der Induktionsthermographie



© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP

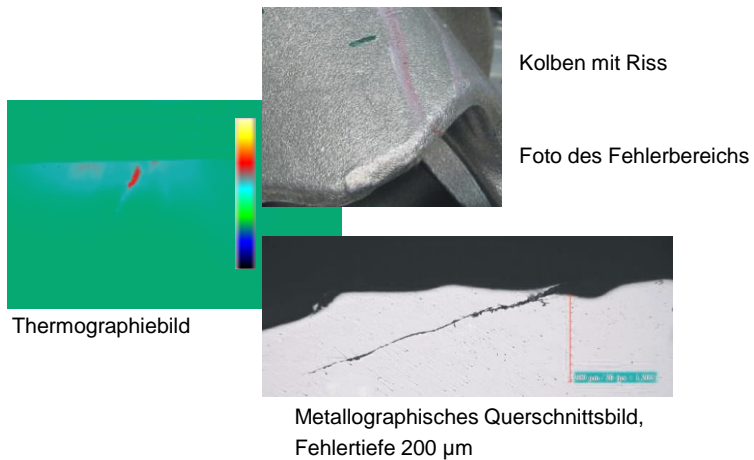
Tiefenbereiche für den Fehlernachweis in ferritischem Werkstoff



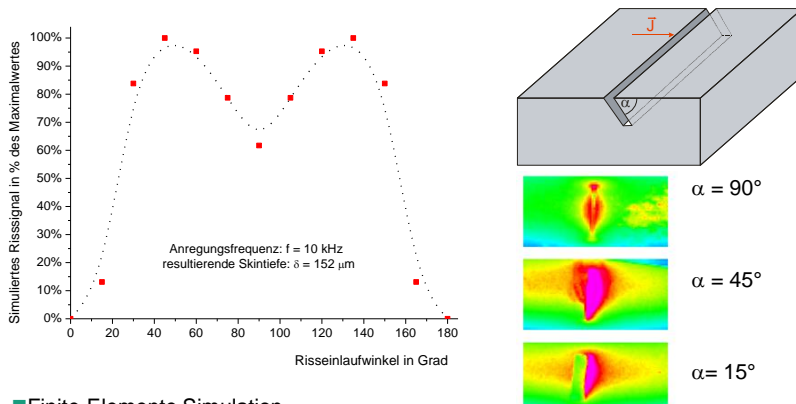
© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP

Schräg einlaufende Risse



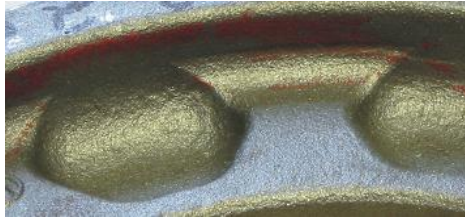
Abhängigkeit des Rissignals vom Einlaufwinkel



■ Finite-Elemente Simulation

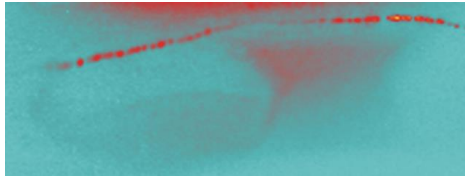
■ Schräg einlaufende Risse werden über einen großen Winkelbereich α nachgewiesen

Induktionsthermographie – Stirnrad



Risseile in der Hohlkehle eines Stirnrades

Foto des Fehlerbereichs

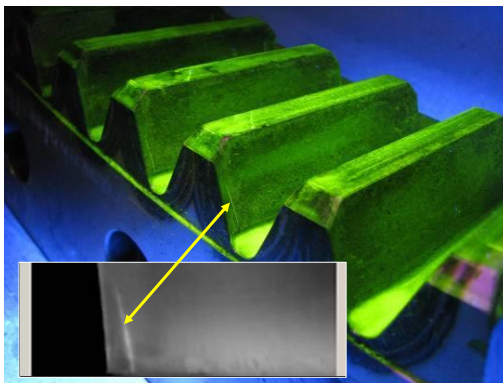


Thermographiebild

Bildausschnitt: ca. 70 mm x 35 mm

Thermographische Rissdetektion ist möglich, wo Wirbelstrom und Nahfeldsensoren aus geometrischen Gründen nur schlecht eingesetzt werden können

Induktiv angeregte Thermographie vs. Magnetpulverprüfung



■ Härterisse an Zähnen

■ Alternative zur Magnetpulverprüfung

kleines Bild: Thermographie, Bildgröße etwa 20 mm x 60 mm

Nachweisgrenzen für Risse in verschiedenen Werkstoffen

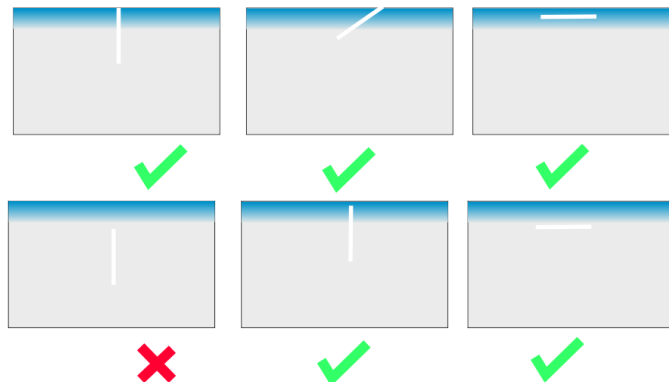
• senkrechte Oberflächen-Risse				
Werkstoff	Risstiefe [mm]	Risslänge [mm]	S/N [dB]	
S235	$T \geq 0,15$	$L \geq 7,5$	> 10	
	$T \geq 0,25$	$2 \leq L < 7,5$	> 10	
X5CrNi18-10	$T \geq 0,3$	$L \geq 5$	6	
	$T \geq 0,5$	$2 \leq L < 5$	6	
• schräg einlaufende Oberflächen-Risse (Tiefe T senkrecht zur Oberfläche)				
Werkstoff	Risstiefe [mm]	Risslänge [mm]	Risseinlaufwinkel α [°]	S/N [dB]
S235	$T \geq 0,08$	$L \geq 7,5$	$20^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	> 10
	$T \geq 0,15$	$2 \leq L < 7,5$	$20^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	> 10
X5CrNi18-10	$T \geq 0,20$	$L \geq 5$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	6
	$T \geq 0,35$	$2 \leq L < 5$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	6
• verdeckte, senkrechte Risse				
Werkstoff	Überdeckung: z	Risslänge [mm]	S/N [dB]	
S235	$z \leq 0,05$ mm	$L \geq 7,5$ mm	6	
X5CrNi18-10	$z \leq 1$ mm	$L \geq 7,5$ mm	6	

© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP

Nachweismöglichkeiten der Induktionsthermographie für unterschiedliche Fehlstellen

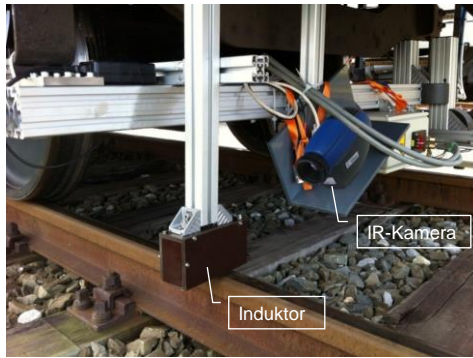
blau: Skintiefe



© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP

Schienenprüfung auf Oberflächenrisse mit Induktionsthermographie vom fahrenden Prüfzug aus



Prüfwagen der RWTH Aachen



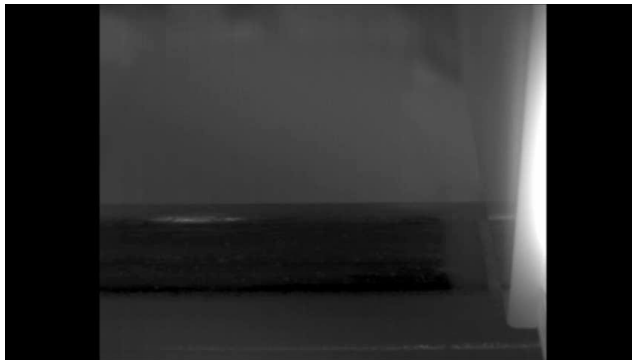
Luftbild des Testgeländes bei Aachen

Anordnung des thermographischen Prüfsystems unter dem Prüfswagen

© Fraunhofer IZFP

 **Fraunhofer**
IZFP

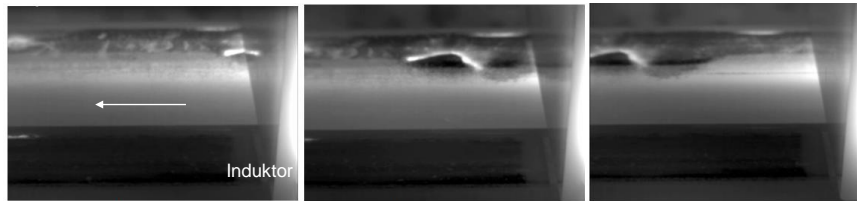
Schienenprüfung auf Oberflächenrisse mit Induktionsthermographie vom fahrenden Prüfzug aus



© Fraunhofer IZFP

 **Fraunhofer**
IZFP

Thermographiebilder vom fahrenden Prüfzug bei 2 km/h Geschwindigkeit



Riss verläßt den Induktor

Riss im Zentrum des Bildfelds

Riss verläßt das Bildfeld

Schienenprüfung auf Oberflächenrisse mit Induktionsthermographie vom fahrenden Prüfzug aus

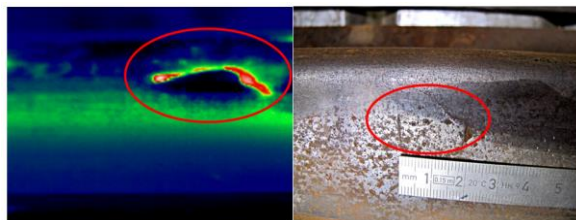
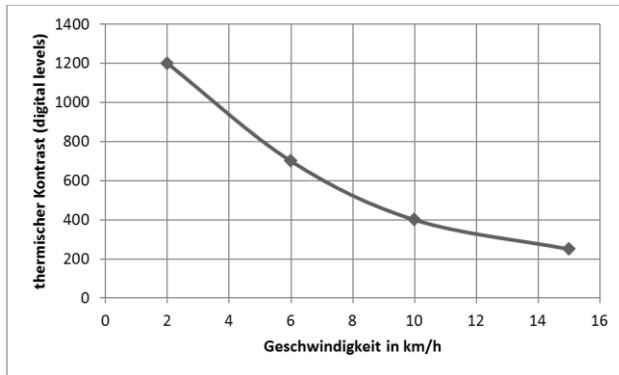


Foto des Fehlerbereichs

Thermographische Rissanzeige im Schienenkopf, detektiert bei $v = 2 \text{ km/h}$

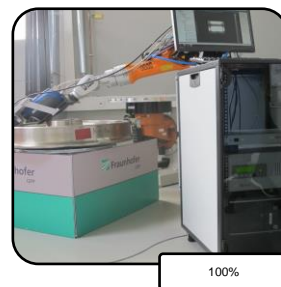
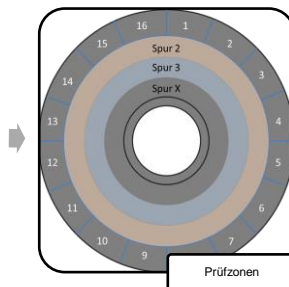
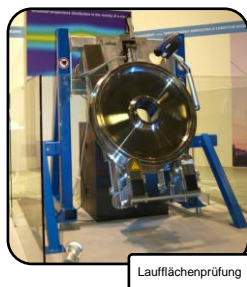
Schienenprüfung auf Oberflächenrisse mit Induktionsthermographie vom fahrenden Prüfzug aus



gemessener
Risskontrast als
Funktion der
Zuggeschwindigkeit

Demonstrator: Automatisches Bahnradprüfsystem für fabrikneue Räder

- Größte Nachweisempfindlichkeit bei statischer Messung
 - Gliederung des Bahnrades in Prüfzonen und Prüfspuren
- Adaption an ein Robotik-System für die Manipulation des Prüfsystems
- Aufbau eines Rotationstisches für eine exakte Positionierung
 - Abtastung der gesamten Oberfläche



Bahnradprüfsystem

- Verbesserte Nachweisempfindlichkeit durch die Weiterentwicklung intelligenter Auswertelgorithmen



Bahnradprüfsystem

- Verbesserte Nachweisempfindlichkeit durch die Weiterentwicklung intelligenter Auswertelgorithmen



Bahnradprüfsystem - Weiterentwicklung

- Verbesserte Nachweisempfindlichkeit durch die Weiterentwicklung intelligenter Auswertelgorithmen



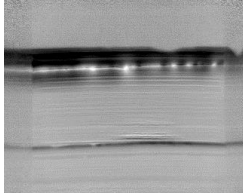
Bahnradprüfsystem

- Verbesserte Nachweisempfindlichkeit durch die Weiterentwicklung intelligenter Auswertelgorithmen
- Fehlerfreier Bereich führt zu einem **homogenen Bild**

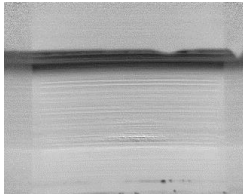


Bahnradprüfsystem

■ Prüfbereich



■ Fehlerfreier Referenzbereich



geprüftes Eisenbahnrad



© Fraunhofer IZFP

 **Fraunhofer**
IZFP

Bahnradprüfsystem



Referenzrad

Ø = 970 mm

© Fraunhofer IZFP

 **Fraunhofer**
IZFP

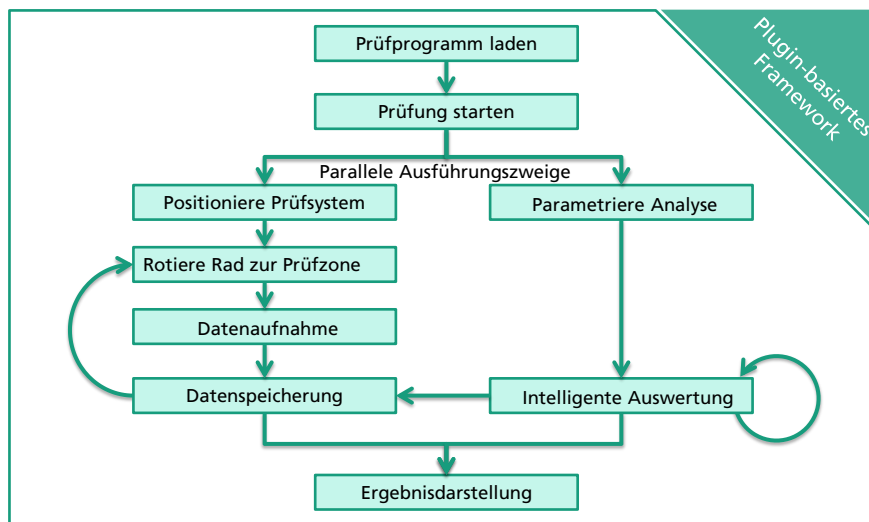
Bahnradprüfsystem für Oberflächenrisse mit Induktionsthermographie



© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP

Bahnradprüfsystem – Automatisierte Auswertung

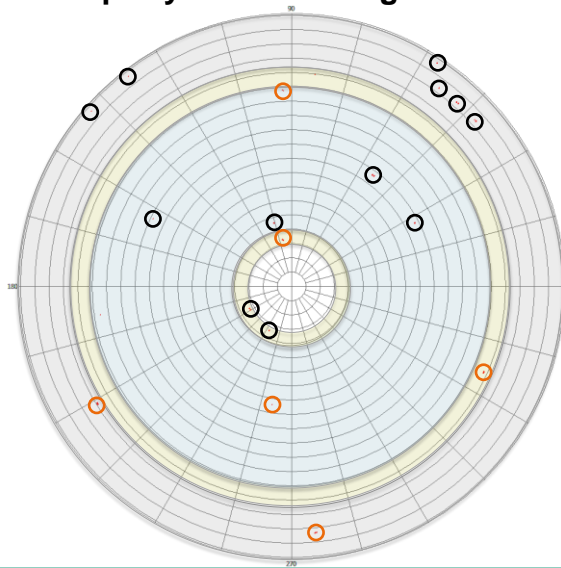


Seite 24

© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP

Bahnradprüfystem - Prüfergebnisse



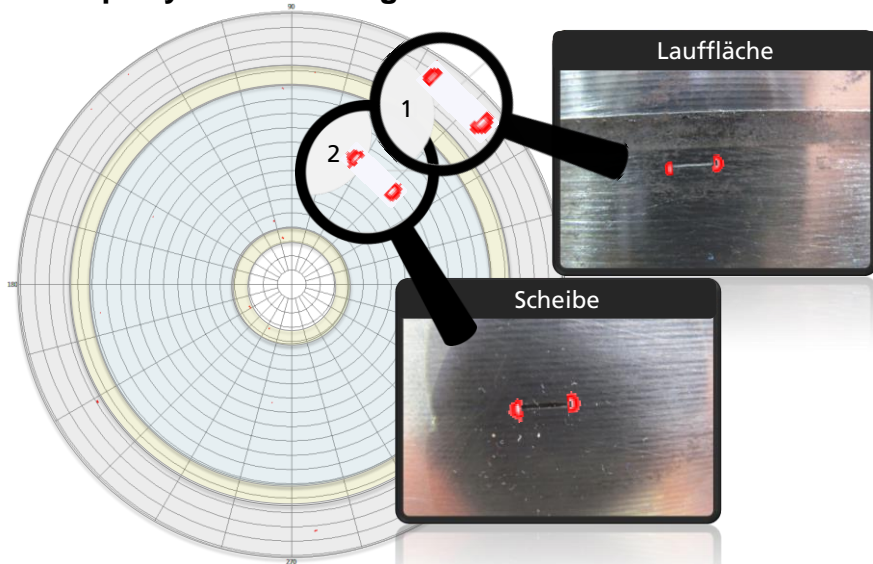
- Testnuten
- MT Vergleichsfehler

- Lauffläche
- Radsteg
- Radscheibe
- Stirnseite der Nabenbohrung

© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP

Bahnradprüfystem - Prüfergebnisse



© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP

Bahnradprüfsystem



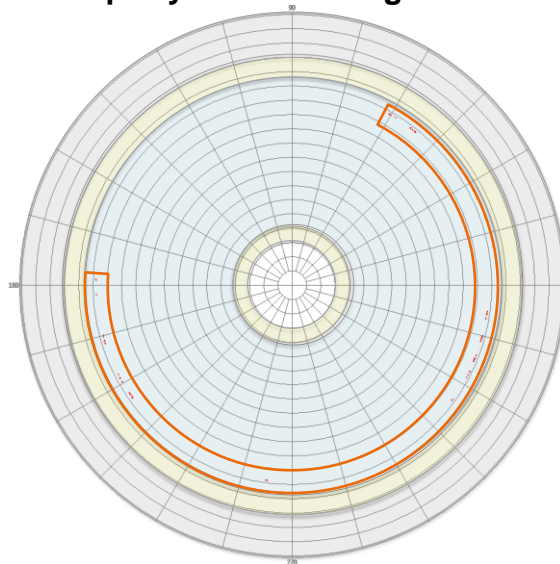
Testrad


∅ = 970 mm


© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP


Bahnradprüfsystem - Prüfergebnisse




 Natürliche Risse

 Lauffläche

 Radsteg

 Radscheibe

 Stirnseite der
Narbenbohrung

© Fraunhofer IZFP

Fraunhofer
IZFP

Bahnradprüfsystem

Referenzrad

- Prüfzonen: **606**
- Datenaufnahme pro Prüfzone: **400 ms**
- Messdauer für alle Spuren ca. **35 Minuten**
- Prüfdauer für alle Spuren ca. **4,5 Minuten**
- Nachweisgrenze: **0,2 mm** Risstiefe

Optimierung

- Rotationsmechanik + Robotik (**87%** der Messdauer)
- **Paralleles** Arbeiten mit mehreren Infrarot-Kameras

Zusammenfassung

- Die induktiv angeregte Thermographie arbeitet berührungslos, großflächig und schnell, auch an gekrümmten Oberflächen
- Prüftechnik ermöglicht eine Risstiefenabschätzung und zudem den Nachweis von verdeckten, unter der Oberfläche liegenden Rissen
- Keine Behandlung der Oberfläche mit Suspension nötig
- Die Prüftechnik erlaubt vollautomatische, objektive Prüfung von Bauteilen nach definierbaren Auswertekriterien
- Erste Anwendung für die Prüfung von Oberflächenrissen in Schienen vom fahrenden Prüfzug aus
- Demonstrator für die vollautomatische Oberflächenrissprüfung von Bahnradern

Normung

- Hohe Nachfrage nach induktiv angeregter Thermografie
- Ersatz der Magnetpulverprüfung durch Thermografie mit automatischer Auswertung
- Fehlende Normen zur induktiv angeregten Thermografie
- Bisher: Einzelqualifizierung oder Validierung erforderlich
- Vorbereitung Normung der Induktionsthermographie im Rahmen des Programms : „Transfer von FuE-Ergebnissen durch Normung und Standardisierung“, ein erstes Arbeitsgruppentreffen fand am 24.6.2015 in Saarbrücken statt
- Aus den Beiträgen wurde ein erster Vorschlag für einen Normentwurf erarbeitet

