RISSPRÜFUNG AN EISENBAHNRADSÄTZEN MITTELS AKTIVER THERMOGRAPHIE

Wolfgang Schmidt, Fraunhofer IPA

AWV Radsatz Seminar 15./16. 04. 2015

Fraunhofer
IPA

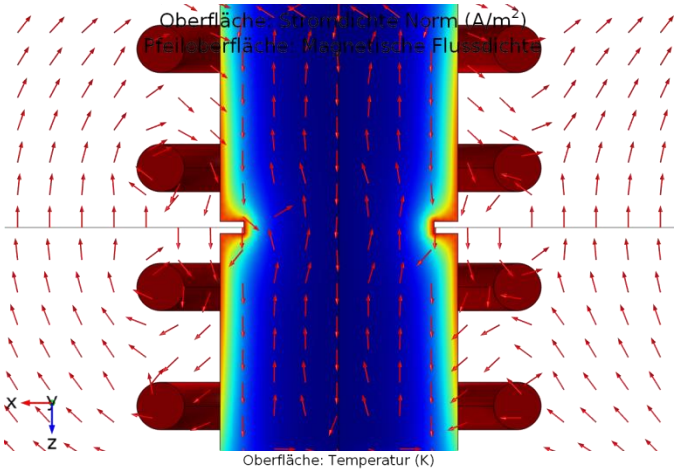
© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

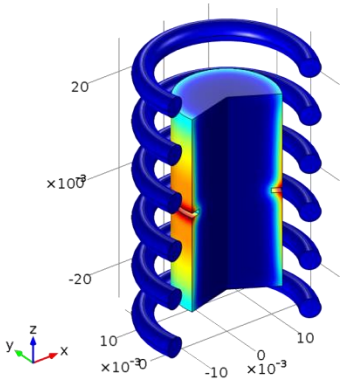
Inhalt

- Prinzip induktiv angeregte Thermografie
- TrainWheels Prüfsystem
  - Aufbau
  - Funktionen
  - Ablauf
- Rissklassifikation
- Ergebnisse und Erkenntnisse
- Fazit

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Prinzip der induktiv angeregten Thermografie





Veränderliche Magnetfelder führen zu Stromverdrängungsprozessen im Innern von Leitern:

→ Wirbelströme im Bauteil nur in Oberflächennähe

→ Skin Effekt:

$$\delta = \sqrt{\frac{2 * \rho}{2 * \pi * f * \mu}}$$

Defekte stören den Wirbelstromfluss und bewirken lokale Änderungen der Stromdichte.

Durch die geänderte Stromdichte im Defektbereich kommt es zu lokalen Temperaturunterschieden infolge der Joule'schen Wärmeentwicklung.

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

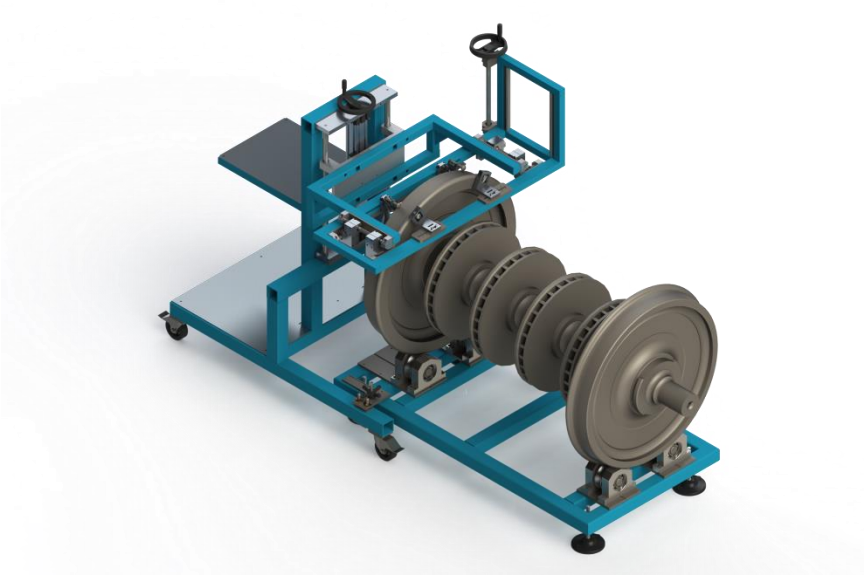
TrainWheels Prüfsystem - Anforderungen

- Möglichkeit zur Prüfung von Radsätzen im ein- und ausgebauten Zustand
- Einfache Integrierbarkeit in bestehende Fertigungs- und Instandhaltungsabläufe
- Weitestgehend autarkes System
- Mobiles System
- Einfache Handhabung und Bedienung
- Erweiterbare Software

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

TrainWheels Prüfsystem - Realisierung



Merkmale:

- Selbstzentrierung
- Integrierter Radsatzantrieb
- Verwendung für ein- und ausgebaute Radsätze durch Drehung des Aufbaus möglich und Adaption am Drehgestell möglich
- Einfache Automatisierung durch Nachrüstung von Antrieben und Messsystemen möglich
- Prüfzeit (ohne Rüstzeit) für Kranzprüfung mit beidseitigem System:
  180 sec. bei 1 mm minimale Risslänge als Nachweisgrenze (minimal 90 sec.)

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

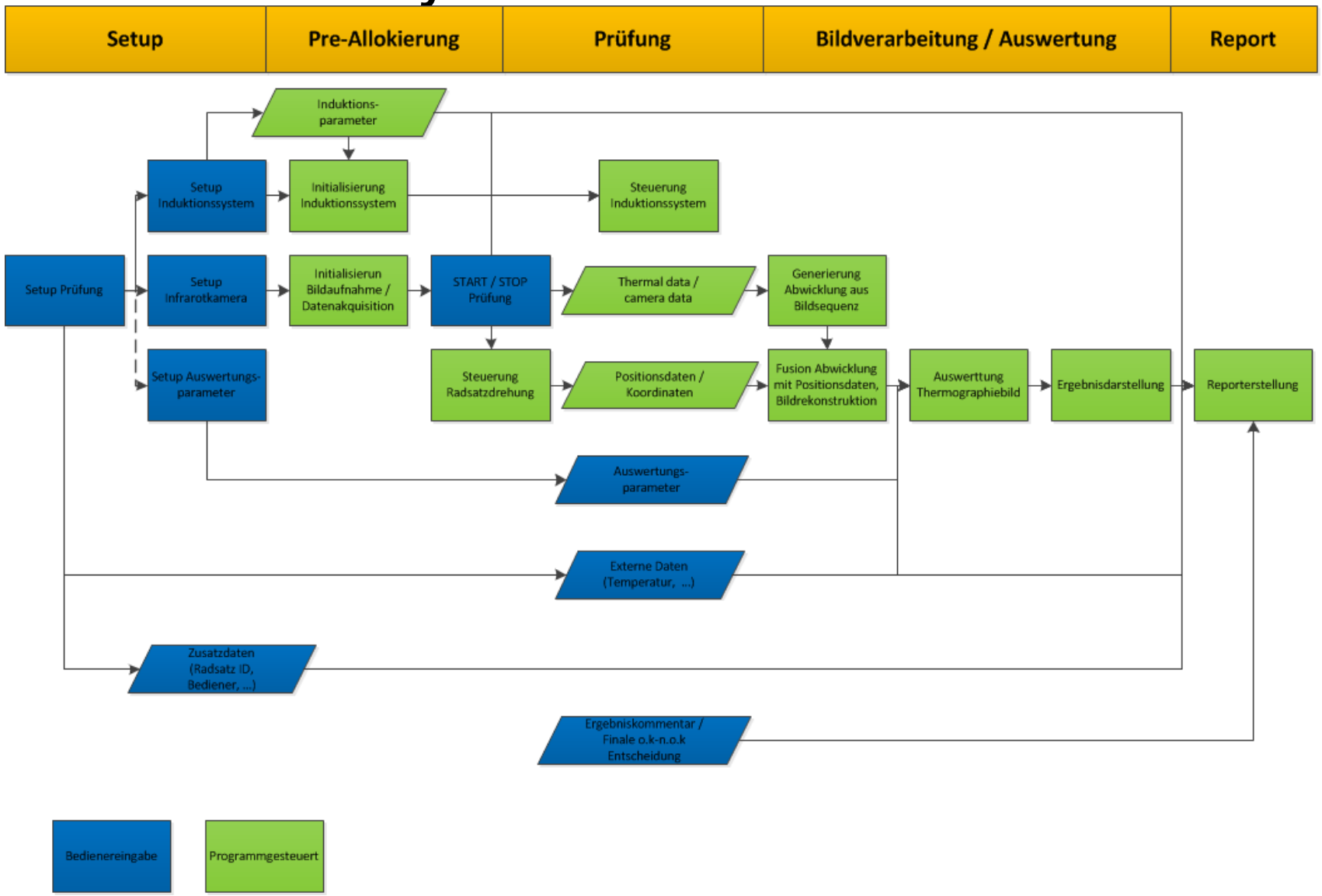
Fraunhofer IPA

TrainWheels Prüfsystem

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

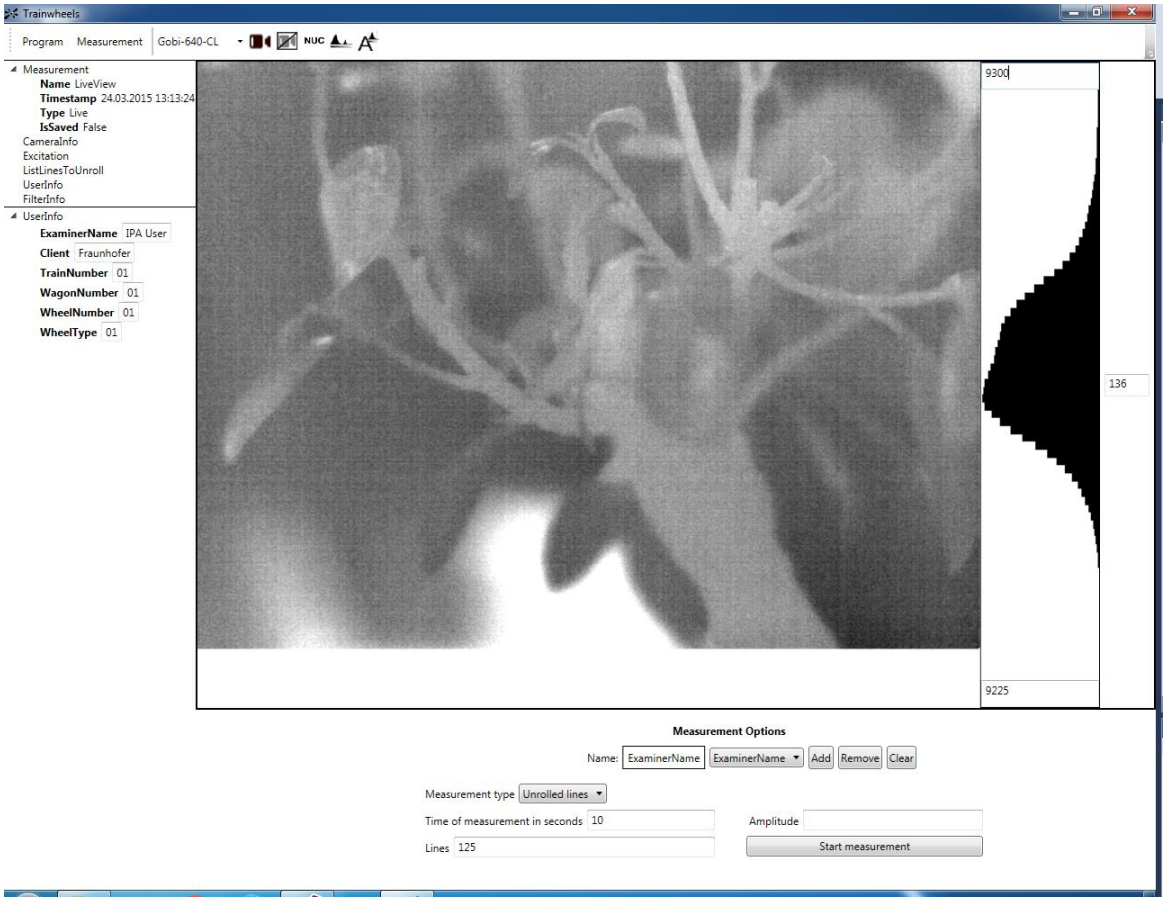
TrainWheels Prüfsystem - Architektur



© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

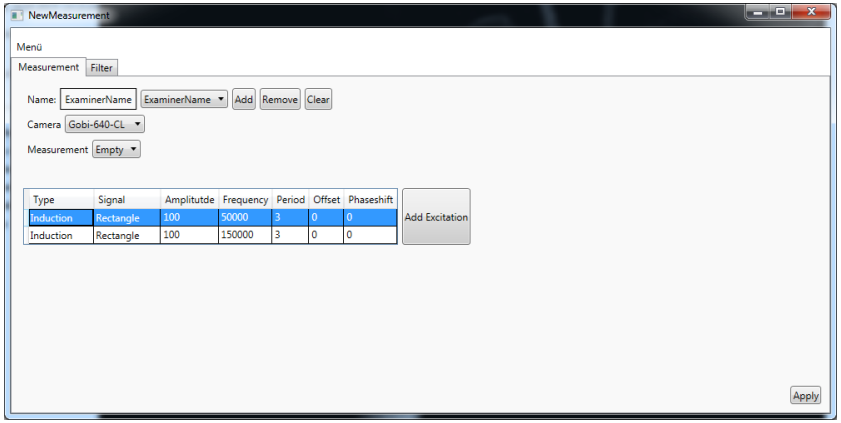
TrainWheels Prüfsystem - Software



© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

TrainWheels Prüfsystem - Software



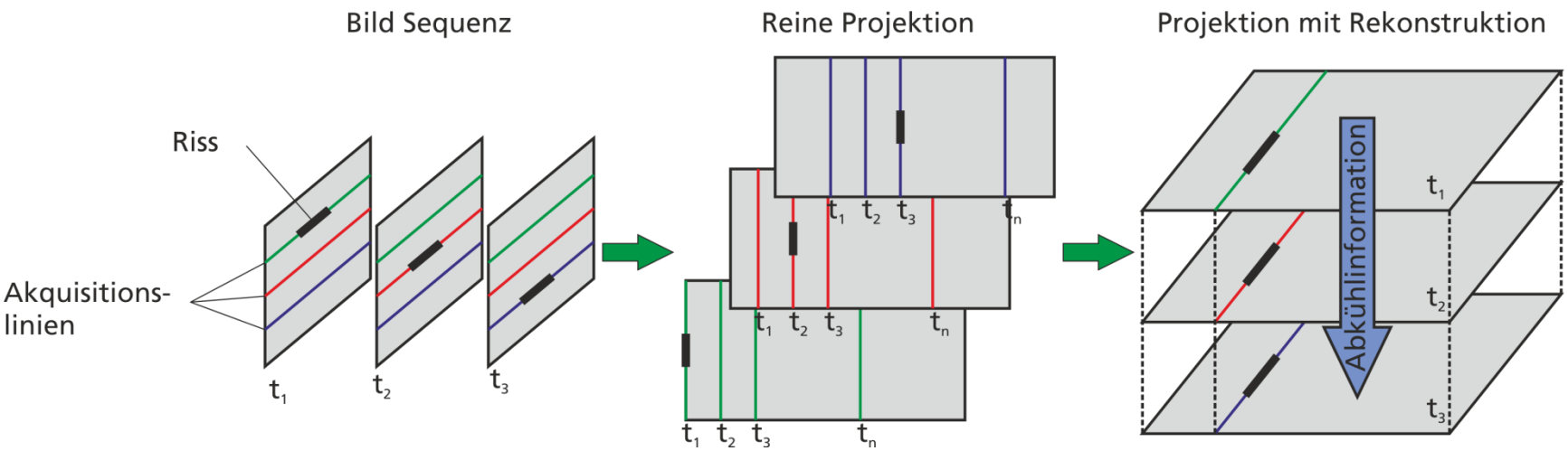
Merkmale

- Einfache Bedienung
- Beliebige Kameras einsetzbar
- Rissklassifizierung
- Anlegen von Prüfprogrammen für wiederkehrende Prüfungen
- Implementierung von Rauschunterdrückungsmethoden
- Maßstabsberechnung
- Automatische Ergebnisdokumentation
- Keine Veränderung der Messdaten

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

TrainWheels Prüfsystem - Datenakquisition



Datenvolumen: 3 GB / Rad (Vollbildsequenz), 30 MB / Rad (Projektion).

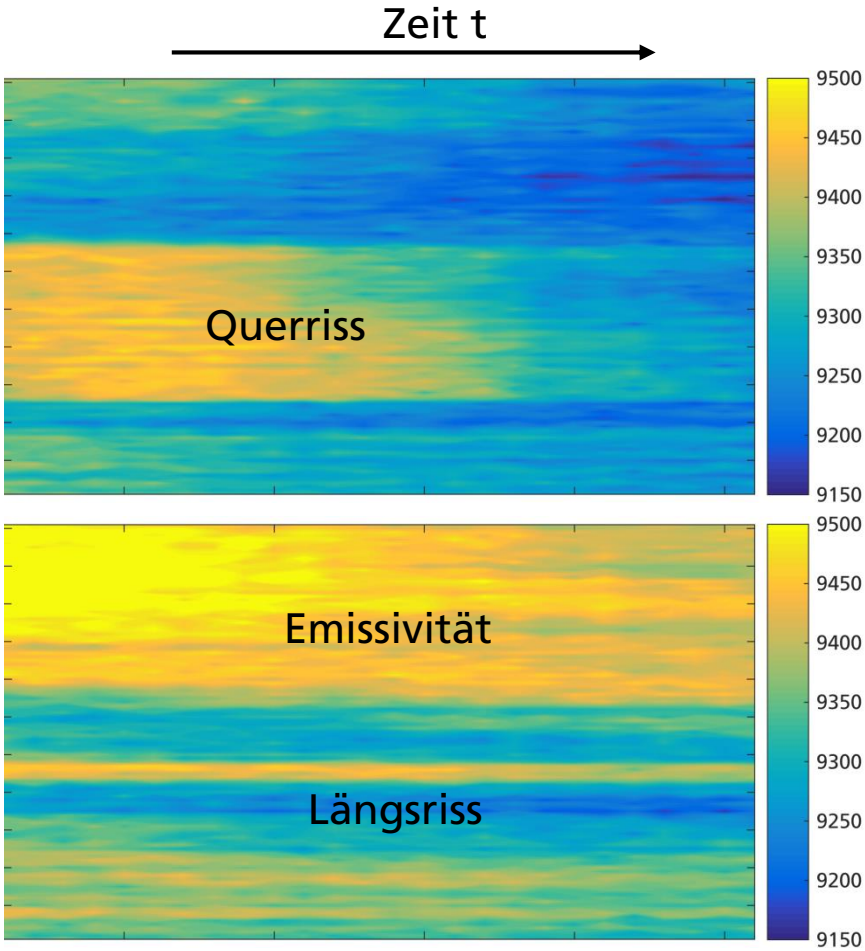
Rohdaten der Projektion bleiben unberührt → Nachbewertung möglich.

Optionale Möglichkeit zur Zeitverlaufsanalyse verbessert Elimination von Scheinanzeigen und Artefakten bzw. Emmisivitätsunterschieden.

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

Analyse Abkühlverhalten

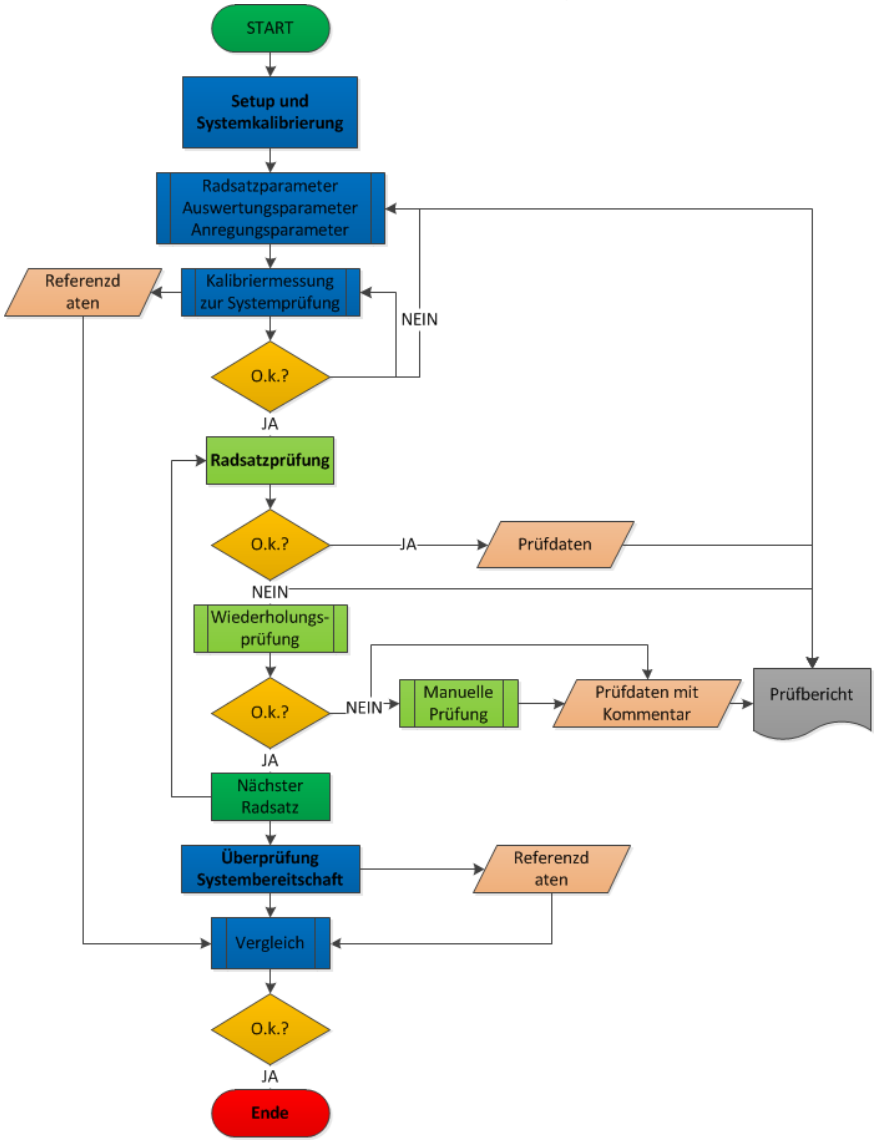


- Risse und Scheinanzeigen aus Emissivitätsunterschieden weisen unterschiedliches Abkühlverhalten auf.
- Ausnutzung des Zeitverlaufs zu Eliminierung von Scheinanzeigen.

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

TrainWheels Prüfsystem - Prüfablauf

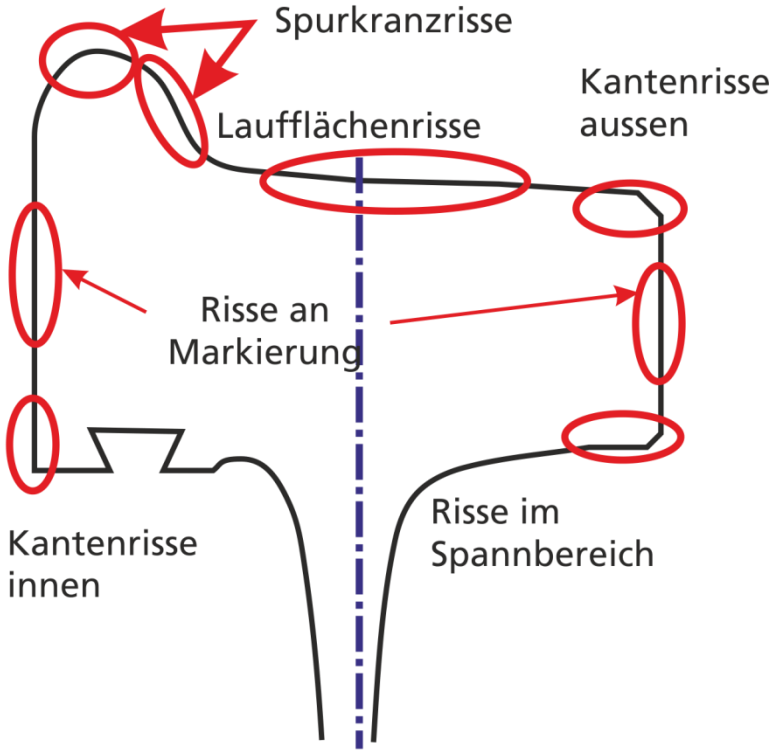


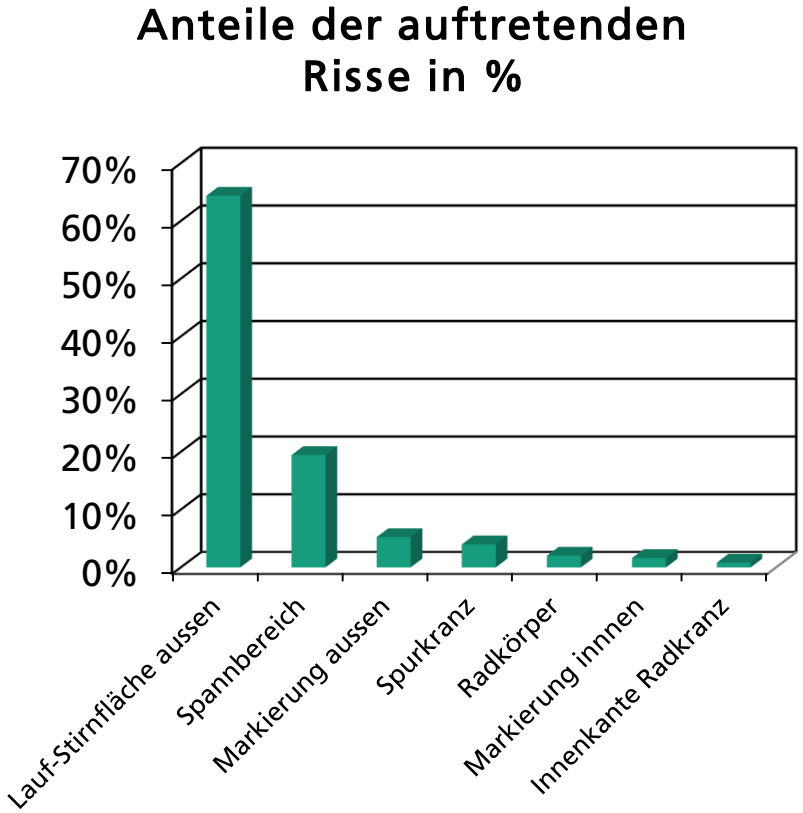
- Setup und Systemprüfung mit Referenzkörper
- Parameter aus Datei
- Automatisierte Radsatzprüfung
- Keine Manipulation der Rohdaten möglich
  → Möglichkeit zur Nachbewertung
- Finale Entscheidung IO / NIO liegt beim Bediener
- Systemüberprüfung in regelmäßigen Intervallen oder beim Beenden

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

Auftreten von Oberflächenrissen





Quelle:
Non-destructive testing of railway items in servcie. Type and size of critical defects in wheels and axles.
Ultrech : Office for Research and Experiments (ORE), 1987.

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

Problematik der Rissklassifikation

- Keine eindeutige Rissklassifizierung möglich
  Ursache:
  - Unterschiedliche Materialien
  - Unterschiedliche Geometrien
  - Unterschiedliche Belastungen
  - Unterschiedliche Regelwerke
  - Kundenspezifische Prüfanforderungen
- TrainWheels Rissklassifikation basiert auf DIN 27201 / 7 und ORE E 162 RP 5.
- Klassifizierung nach Risslänge und Auftrittsort

- Notwendigkeit zur Vermessung der Risse
- Geometrische Skalierung der Bilder
- Maßstab kann aus Bilddaten bestimmt werden

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt
Fraunhofer IPA

Rissklassifizierung – Kritische Rissgröße (ORE E 162 RP 5)

Risstyp	Relative Auftrittshäufigkeit	Kritische Rissgröße $a_{c\,min}$	$a_{c\,max}$
Querrisse in Lauffläche	< 20%	2	37 mm (Risstiefe)
Querrisse Übergang Lauffläche / Stirnfläche	häufig: 40 – 60 %	8,3	80 mm
Querrisse Spurkranz	< 10 %	3	21 mm
		11,8	52 mm
Querrisse Stirnfläche			
Aussen	< 10 %	15	17 mm
Innen	< 10 %	9,5	24 mm
Risse im Radumfang	rare		
Volumenrisse	~ 0 %		

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

Rissklassifizierung – Kritische Rissgröße (ORE E 162 RP 5)

Risstyp	Kritische Rissgröße a_c ($P_ü$ = 90 %)	Zulässige Risslänge $a_{zul\ max}$	Zulässige Länge a_{zul} bei monatlicher Inspektion
Querrisse Lauffläche	36,2 mm ... 12.7 mm	9 mm	4,0 mm rapid transit 5,6 mm long distance
Querrisse Übergang	11,7 mm	8,3 mm	3,3 mm rapid transit 4,9 mm long distance
Querrisse Spurkranz:			
Riss unterbrochen	17,2 mm		4,0 mm rapid transit
Riss kontinuierlich	30 mm		5,6 mm long distance
Risse Stirnfläche:			
Aussen	10 mm	7,1 mm	
Innen	41,7 mm	10 mm	

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

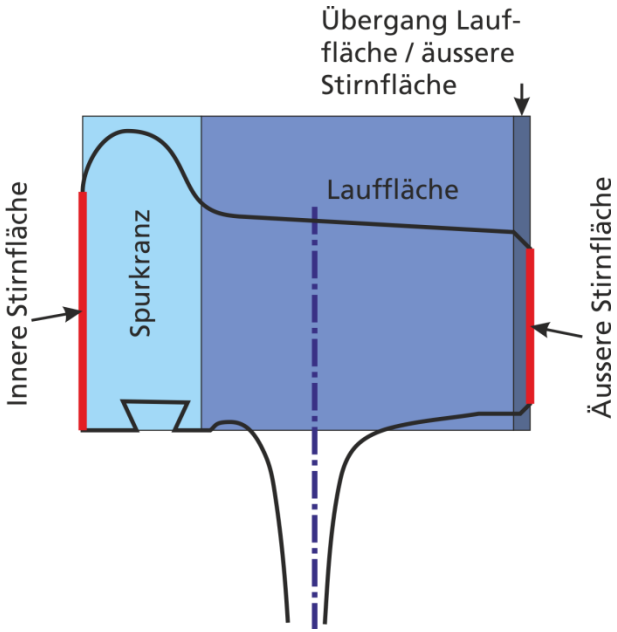
Rissklassifizierung – Zulässige Rissgröße (DIN 27101/7)

Inspektions-bereich	ZfP Methode	Prüffläche	Einschall-winkel	Einschall-richtung	Grenzwert
Lauffläche	ET	-	-	-	Referenzfehler 1 mm
Alternative	UT	SF Innen	45°	2 Richtungen	Referenzfehler 2 mm
Alternative	MT	-	-	-	2 mm lineare Anzeige
Stirnfläche	UT	SF Innen	60° to 70°	2 Richtungen	Referenzfehler 2 mm
Fase	UT	SF Innen	45°	2 Richtungen	Referenzfehler 2 mm
Spannbereich	UT	SF Innen	45°	2 Richtungen	Referenzfehler 2 mm
Alternative	MT	-	-	-	3 mm lineare Anzeige (axial)
Volumen unter Lauffläche	UT	LF	0°	1 Richtung	KSR 4 mm + 6 dB
Übergang zur Scheibe	UT	LF	45°	2 (radial) Richtungen	KSR 4 mm + 6 dB (Querbohrung 3 mm + 6 dB)
Stirnfläche	MT	-	-	-	3 mm lineare Anzeige
Drill whole	UT	LF	45°	2 Richtungen	Referenzfehler 2 mm

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

TrainWheels Rissklassifizierungkonzept

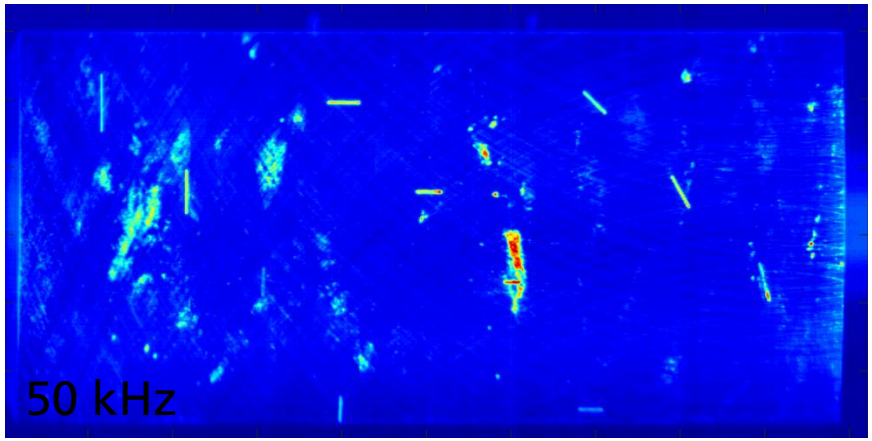


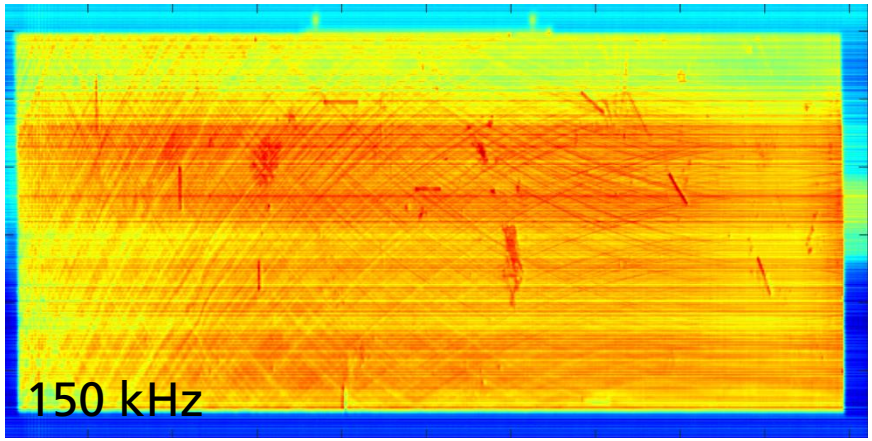
Inspektionsbereich	Merkmal	Grenzwert	Ausgabe
Lauffläche	Risslänge	2 mm	Hinweis
		1,5 – 2 mm	Befund
Spurkranz	Risslänge	2 mm	Hinweis
		1,5 – 2 mm	Befund
Lauffläche / äußere Stirnseite	Risslänge	2 mm	Hinweis
		1,5 – 2 mm	Befund
Innere Stirnfläche	Risslänge	3 mm	Hinweis
		2,5 – 3 mm	Befund
Äußere Stirnfläche	Risslänge	3 mm	Hinweis
		2,5 – 3 mm	Befund

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

Ergebnisse und Erkenntnisse - Induktorfrequenz





- Hohe Anregungsfrequenzen führen zu geringer Skintiefe

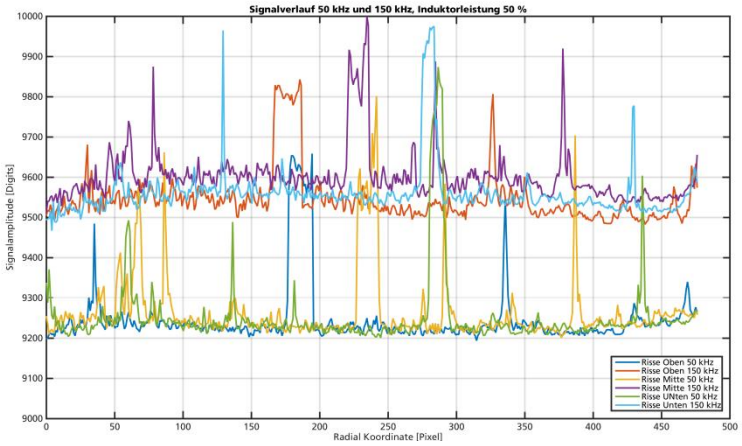
  → Aufheizung der Oberfläche
  → Schlechtere Detektierbarkeit
- Bei hohen Frequenzen ist das System empfindlicher
- Niedrige Frequenzen erzeugen zusätzliche Tiefeneffekte (Erwärmung der Rissflanken)

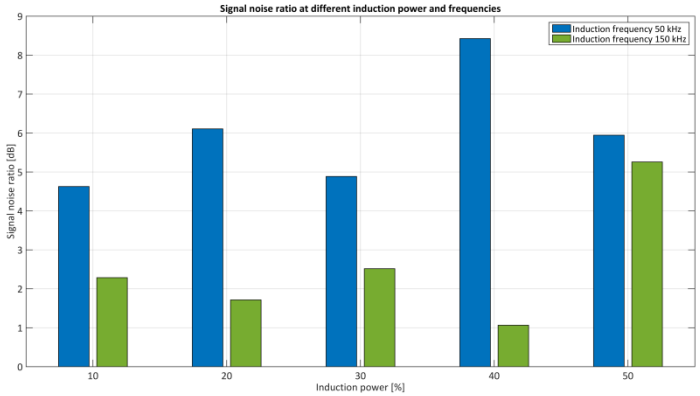
Frequenzabstimmung liefert optimales Prüfergebnis.

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

Ergebnisse und Erkenntnisse – Signal-Rausch Verhältnis



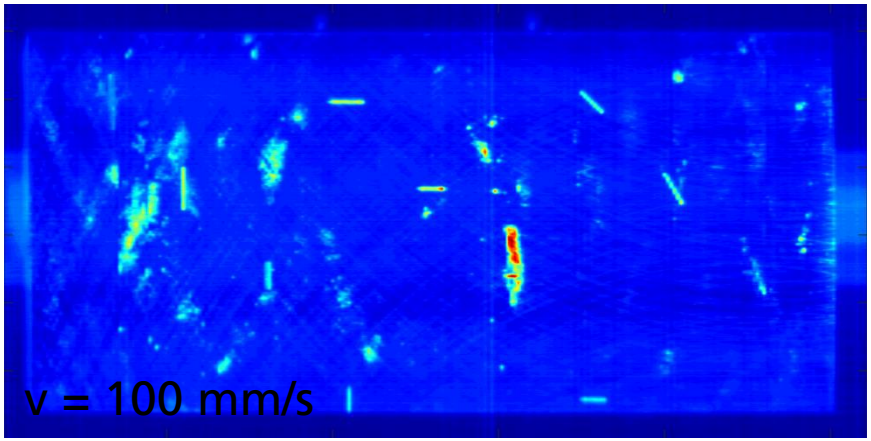


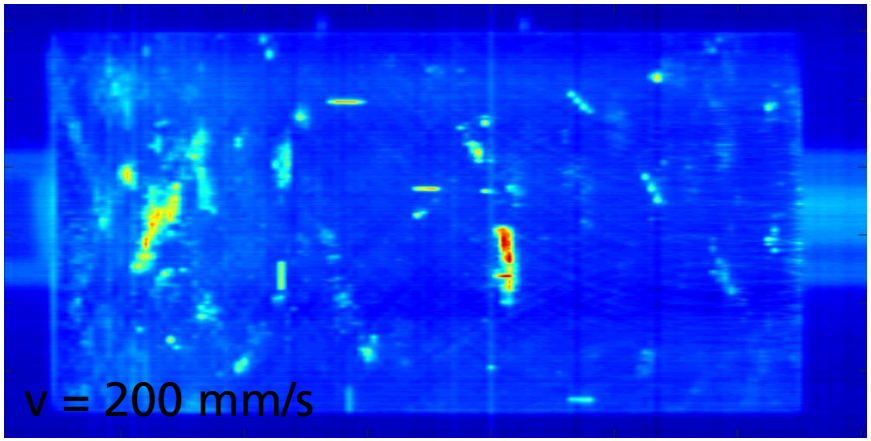
- Besseres Signal-Rausch Verhältnis bei niedrigen Anregungsfrequenzen
- Höhere Induktorleistung verbessert Signal-Rausch Verhältnis nur bedingt

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

Ergebnisse und Erkenntnisse - Prüfgeschwindigkeit





- Prüfgeschwindigkeit ist abhängig von Kameraeigenschaften
- Bildrate (TrainWheels 50 Hz)
- Auflösung (TrainWheels 640 x 480)
- Zu hohe Prüfgeschwindigkeit führt zu Datenverlust und Unschärfen
- TrainWheels System erlaubt Prüfgeschwindigkeiten bis 100 mm/s Standard v = 50 mm/s

→ 29 s Prüfzeit bei D = 920 mm

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

Ergebnisse und Erkenntnisse - Signalverbesserung

© Fraunhofer IPA | April 2015 | Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA