



Rissprüfung mit induktiver Anregung im Taktbetrieb im industriellen Einsatz

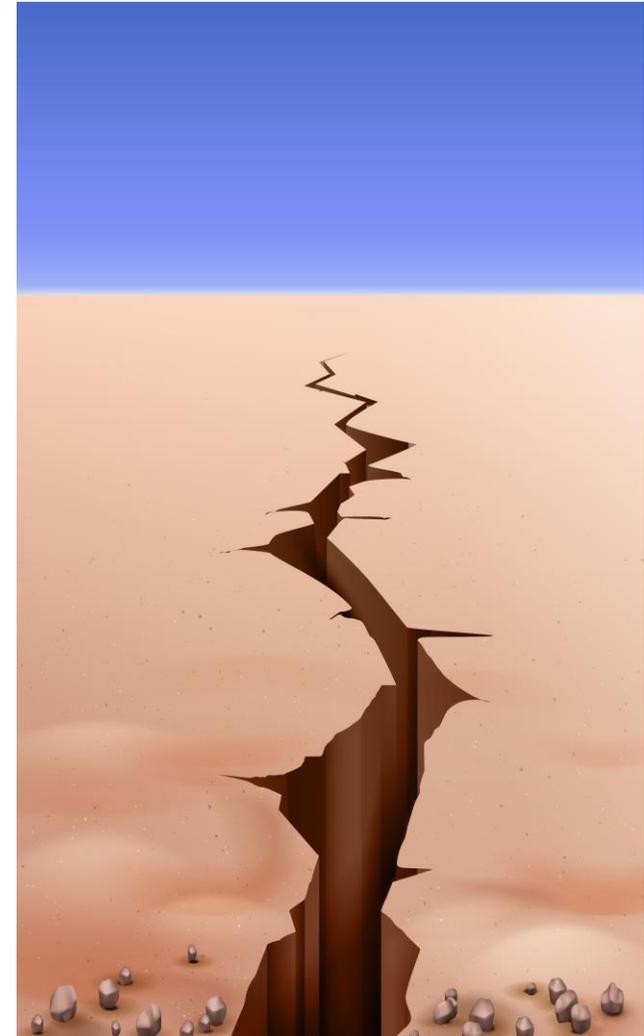
Auswertung und Prüfsicherheit

LEADING
INNOVATIONS

Thermografie - Rissprüfung

➤ Inhalt

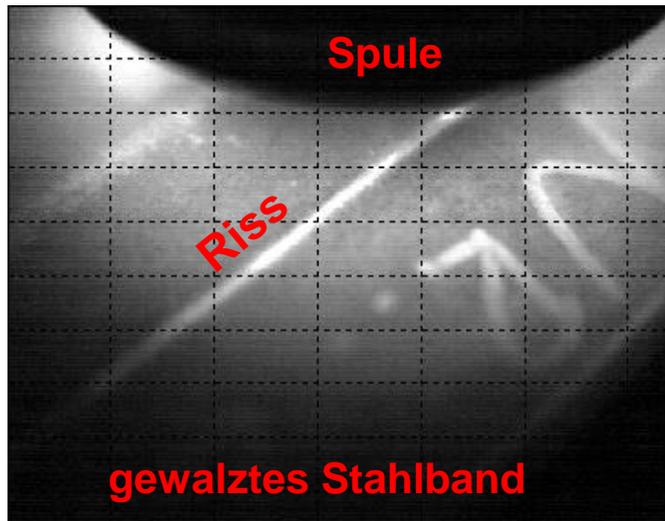
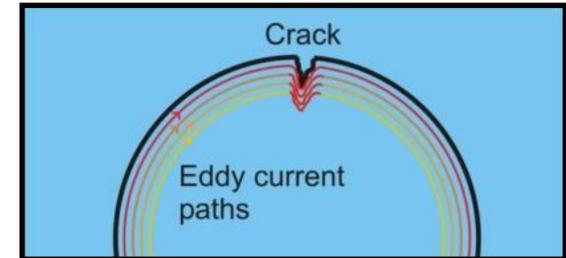
- Prüfsystem, Übersicht
- Auswertung
- Prüftechnik
- Definition der Prüfqualität
- Fehler durch Überlastung
- Fehler durch die Umgebung
- Fehler durch Auswertealgorithmen
- Zusammenfassung



Bildquelle: de.freepik.com

Thermografie - Rissprüfung

- **Induktiv angeregte Rissprüfung**
 - hohe Frequenz (typ. 150kHz) → Skin Effekt: Stromfluss im oberflächennahen Bereich
 - Durch die induktive Anregung erwärmt sich die gesamte Oberfläche im Spulenbereich
 - am Riss (Flanken, Spitzen) lokal höhere Stromdichte → daher „hot spot“ am Riss
 - Anregung mittels Puls, andauernd oder periodisch



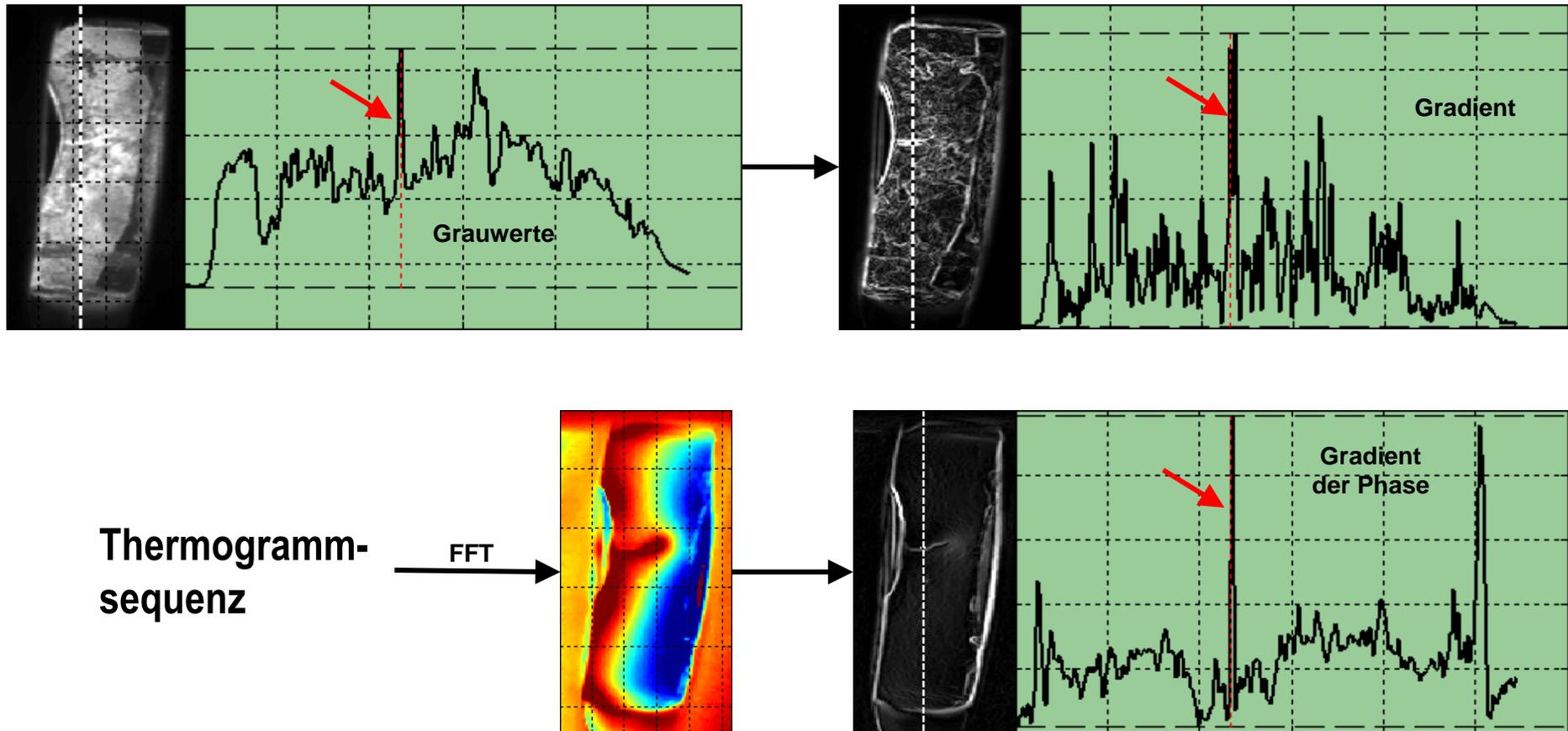
Thermogramm



Induktionserwärmungsanlage (Datenblatt der Fa. IEW)

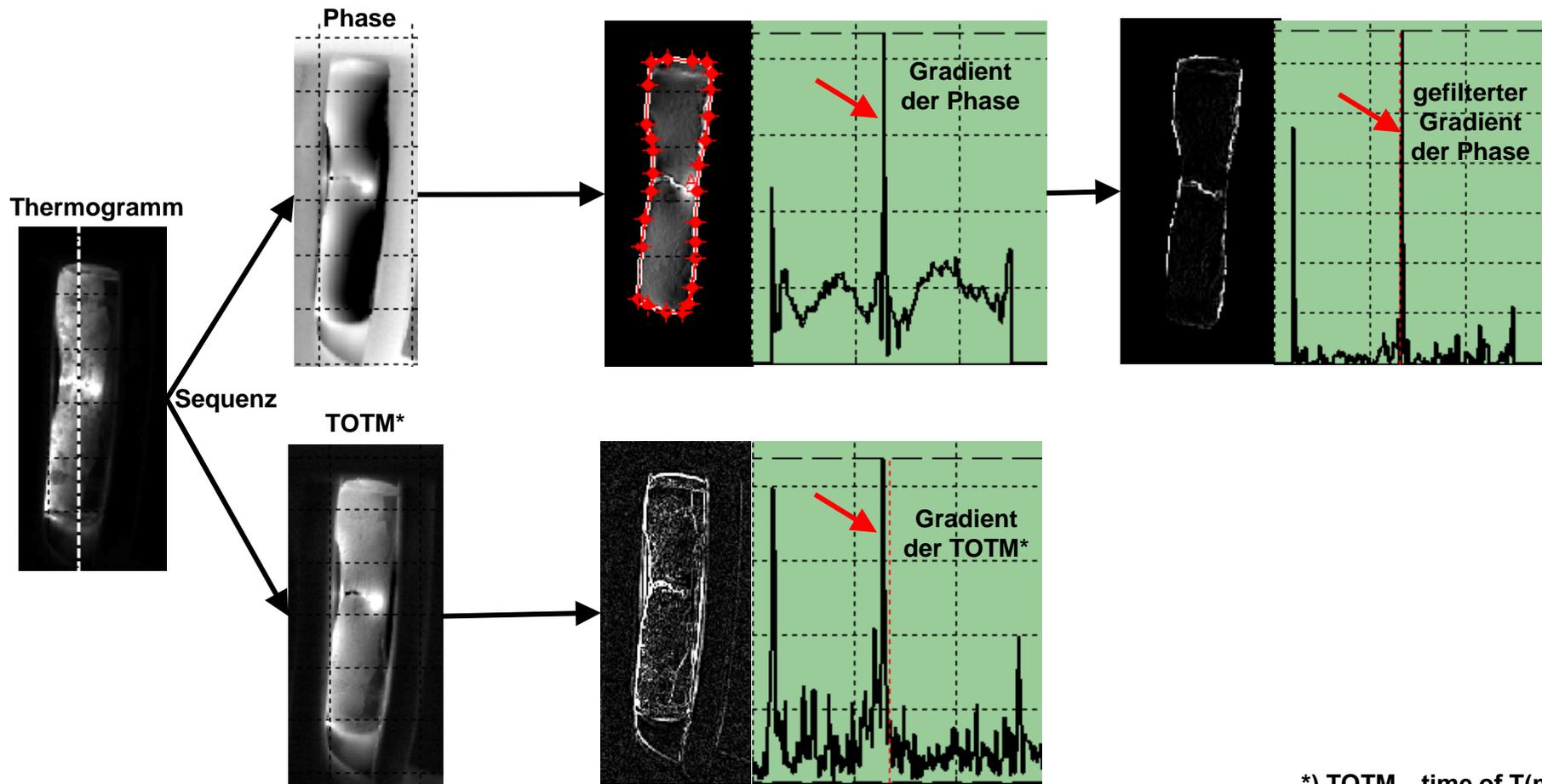
Thermografie - Rissprüfung

- Induktiv angeregte Rissprüfung
 - Grauwerte und Phase



Thermografie - Rissprüfung

- Induktiv angeregte Rissprüfung
 - Phase und „time of T(max)“

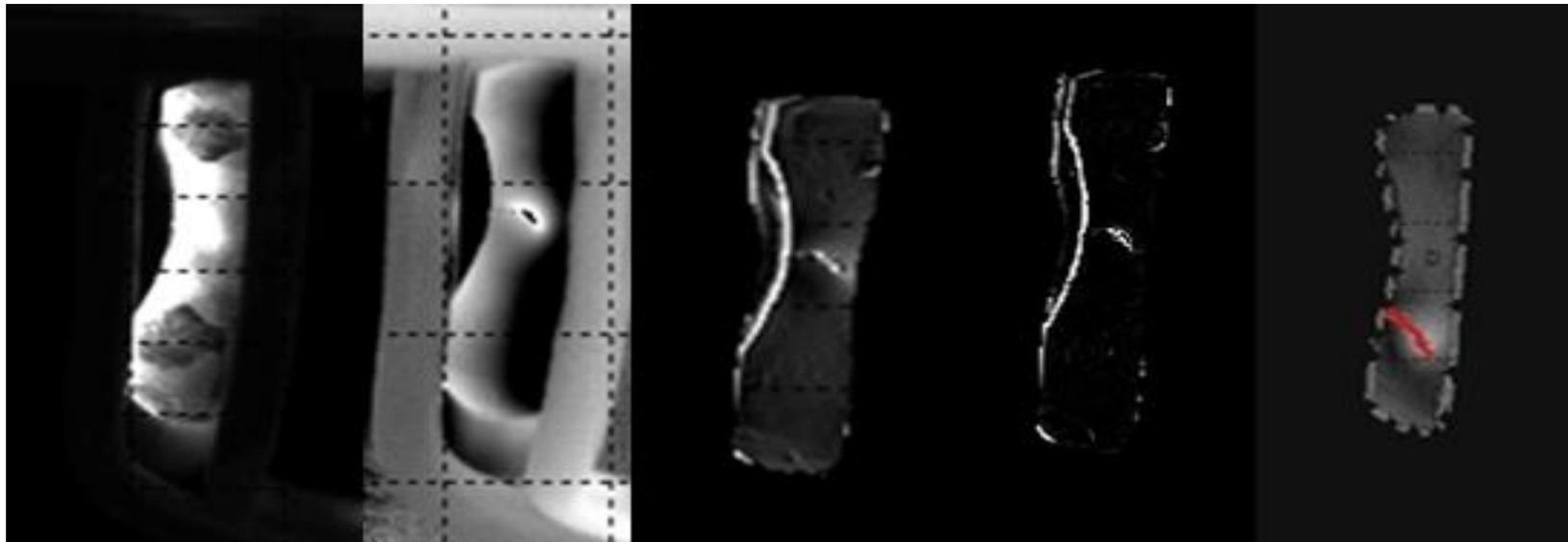


*) TOTM...time of T(max)

Thermografie - Rissprüfung

➤ Modellanwendung

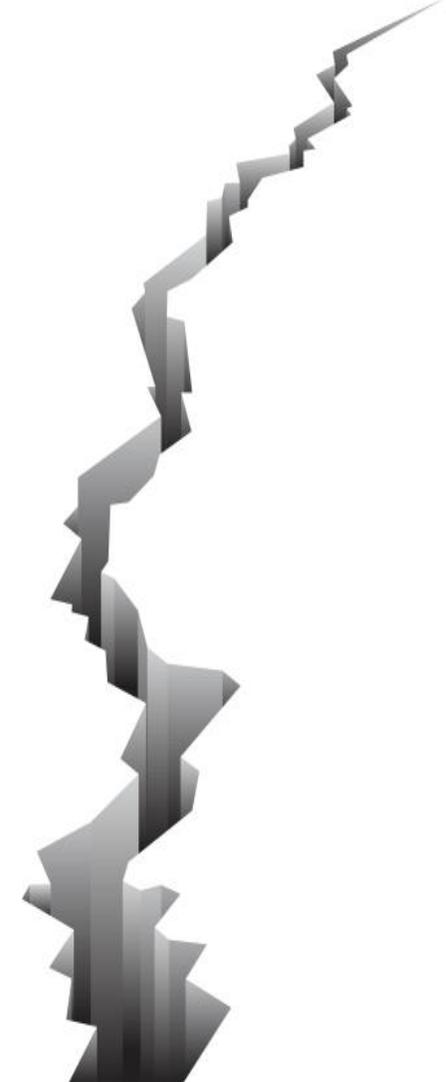
- Getaktete Prüfung (Prüfling steht für ~3s still)
- Pulsanregung
- Puls Phasen Auswertung (~300 Thermogramme @100Hz)



Auswerteabfolge (v.l.n.r.: Thermogrammsequenz, Phasenbild, Gradient, Filter, Segmentiertes Bild)

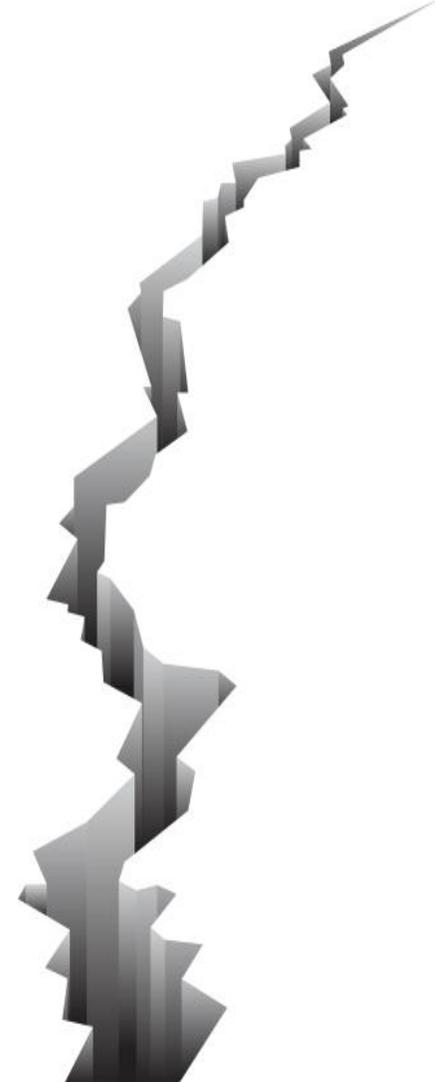
Thermografie - Rissprüfung

- **Herstellung eines Rissprüfsystems (grobe Darstellung)**
 - Projekt mit einem Industriepartner
 - Automatisierte Rissprüfung
 - Geschmiedete Teile für KFZ
 - Ziel: Prüfsystem, implementierbar in Handlingsystem des Partners
 - Typische Eckdaten für ein Projekt:
 - Laufzeit: 6 .. 9 Monate
 - Projektteam mit mehreren Mitarbeitern
 - Projektumsatz: 6-stell. €-Betrag
 - Voraussetzungen
 - Machbarkeit geprüft
 - Spezifikationen vereinbart
 - Ablauf
 - Planung und Abgleich
 - Zukaufteile und –arbeiten initiieren und durchführen
 - SW-Erstellung, Bau
 - Interne Tests und Optimierung
 - Test, Demonstration der Spezifikationen



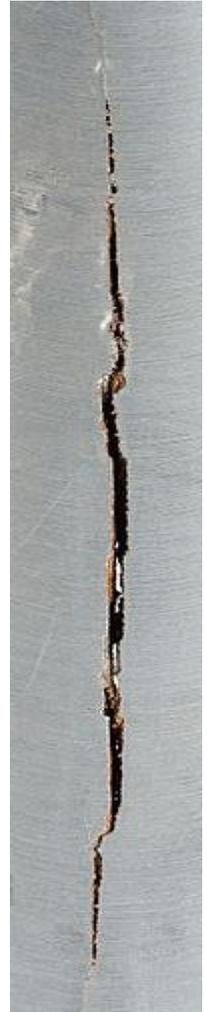
Thermografie - Rissprüfung

- **Anforderungen an die Rissprüfung (Auszug)**
 - In der industriellen Fertigung werden von einem Prüfsystem klare und eindeutige Aussagen zur Produktqualität erwartet → 100% ?!.
 - Für die Prüfung steht maximal der Produktionstakt zur Verfügung.
 - Es ist nicht möglich, die Prüfumgebung zu ändern.
 - Anpassungen an sich ändernde Prüflingeigenschaften müssen (innerhalb eines sinnvollen Rahmens) möglich sein.
 - Die Verfügbarkeit muss sehr hoch sein (Sterlingkühler).
 - Die Prüfqualität muss nachgewiesen werden!



Thermografie - Rissprüfung

- Arten
 - Haarriss, Spannungsriss, Mikroriss, Härteriss, Erstarrungsriss (Schweißen), ...
- Stadien der Schädigung*
 - Rissbildung in Verbindung mit Änderungen in den mechanischen und physikalischen Eigenschaften von Werk- bzw. Baustoffen
 - Rissausbreitung durch das Wachsen des Risses bis zum Erreichen einer kritischen Rissgröße
 - Bruch des Restquerschnitts
- Die Problematik der Rissbildung und –ausbreitung ist von solcher Komplexität, dass die Entwicklung einheitlicher Theorien selbst den Werkstoffwissenschaften bisher noch nicht gelungen ist.*
- Bei der Prüfung haben wir es zumeist mit dem Stadium der Rissausbreitung zu tun.

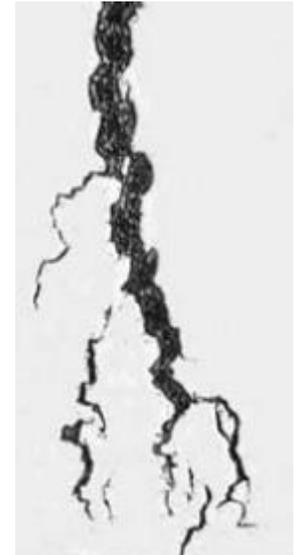


*) Praxisratgeber Risse im Gebäude, 19.9.2013, s35, Sabine Schmidt

Thermografie - Rissprüfung

➤ Fehlerdefinition

- Ein Riss stellt eine Ungänze dar, die auf Grund fertigungsbedingter oder betriebsbedingter Ursachen in einem Werkstoff enthalten sein kann.
- Ein Riss ist eine örtlich begrenzte Trennung des Werkstoffgefüges von geringer Breite, aber oft beträchtlicher Länge und Tiefe.
- Der Riss ist eine begrenzte Werkstofftrennung mit überwiegend zweidimensionaler Ausdehnung.
- Ein Riss ist ein 3-dimensionales Objekt.
- Ein Riss hat eine Länge, Breite und Tiefe
- Ein Riss hat eine Lage und eine Orientierung
- Ein Riss hat eine „innere Struktur“



Bildquelle: de.freepik.com



Bildquelle: Metalbau 07-08/2008

Thermografie - Rissprüfung

➤ Fehlerdefinition

➤ Tiefe:

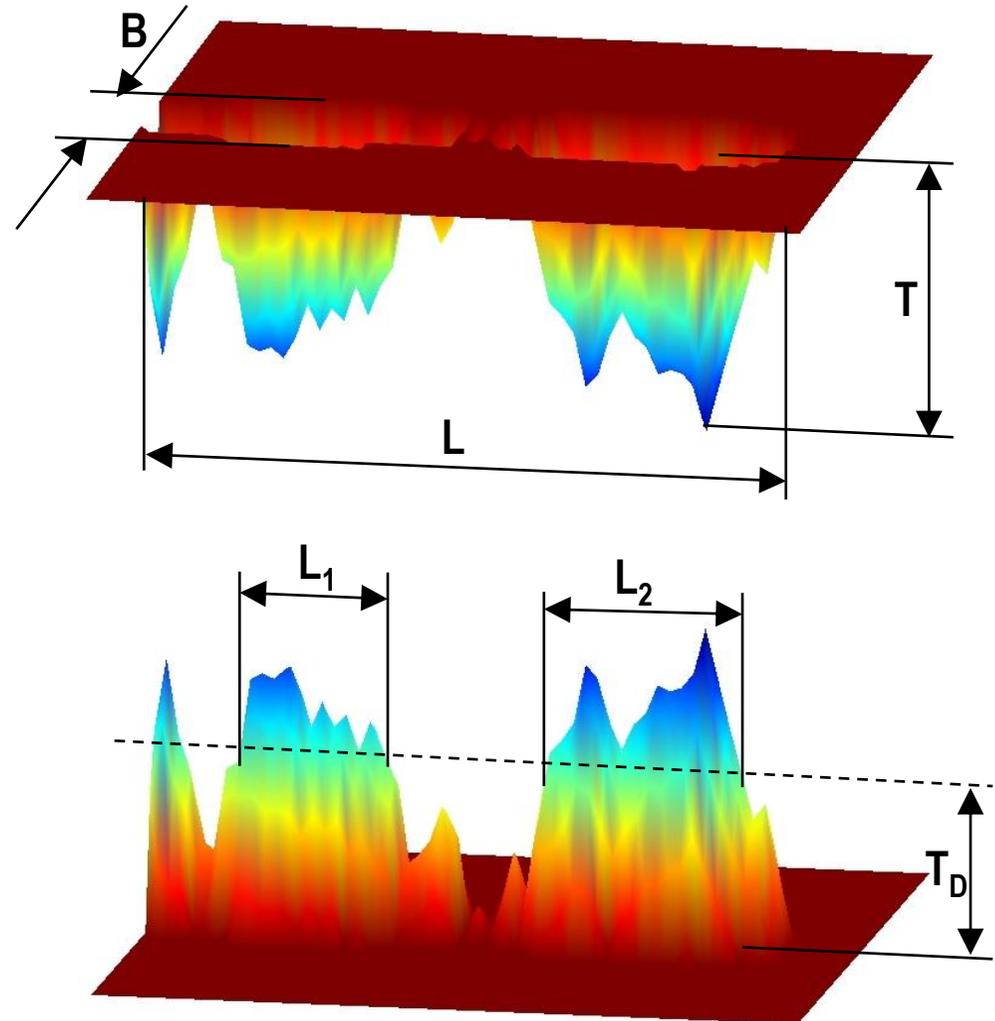
- „Spitzen“ schlecht messbar
- Durchschnittswert?
- Maximalwert?
- Messwert von Methode abhängig

➤ Breite:

- Meist an der Oberfläche am breitesten
- Für Wärmeflussprüfung eher unkritischer Parameter
- Kann auch 0mm sein

➤ Länge:

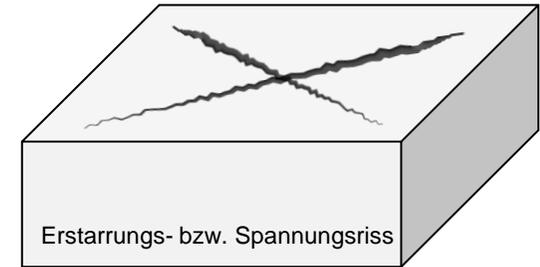
- Bei Oberflächenrissen meist gut erkennbar
- Häufig in Form der Länge eines Fehlers bestimmter Mindesttiefe definiert



Thermografie - Rissprüfung

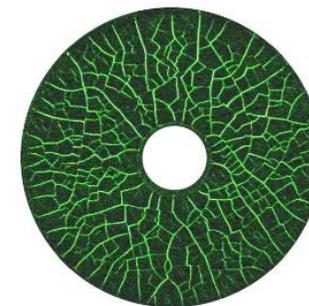
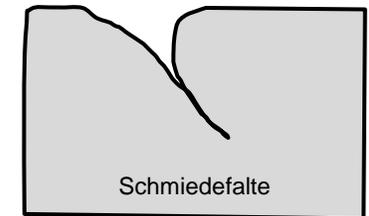
➤ Fehlerdefinition

- Lage und Orientierung
 - Manchmal gibt es eine Vorzugslage und/oder eine Vorzugsorientierung (typ. Erstarrungsrisse)
- Form
 - Scharfkantig versus runder Verlauf
- Konstanz
 - Lokale Rissbreite kann stellenweise auch 0 sein



➤ Definition durch Vergleich

- Normen, Standards
 - Verfahren, Mindestanforderungen, ...
 - <https://www.thermografie.co.at/expertenwissen-normen/normen-und-richtlinien/normen>
- Rissreferenzobjekte
 - z.B.: Vergleichskörper
- künstliche Risse
 - Sägeschnitt, Erodierung, Ermüdungsrisse
 - manchmal schwerer zu erkennen als natürliche Risse



Bildquelle: RIL-CHEMIE, MTU
Vergleichskörper 3 und 2,
EN9934-2

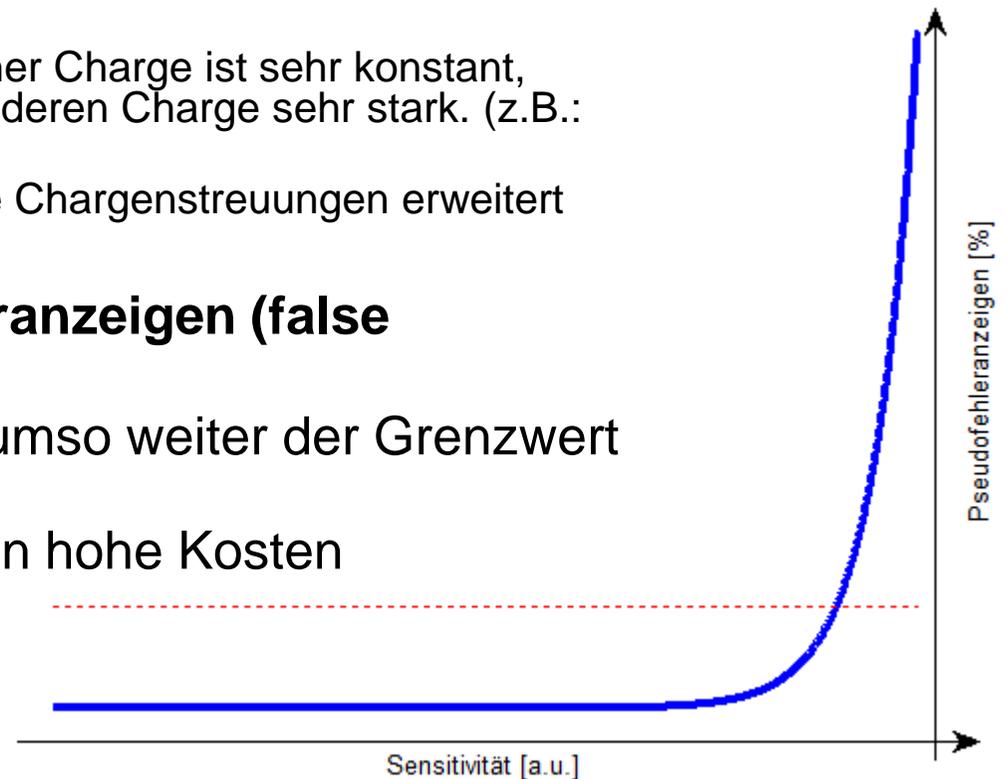
Thermografie - Rissprüfung

➤ Definition durch ein Set realer Prüflinge

- z.B.: 10 Stk. NOK-Teile
- z.B.: 40 Stk. OK-Teile
- Problematik
 - Produktionschargen können sich (innerhalb ihrer Toleranzen) geometrisch unterscheiden.
 - Das Erscheinungsbild innerhalb einer Charge ist sehr konstant, unterscheidet sich aber zu einer anderen Charge sehr stark. (z.B.: glänzende oder matte Oberfläche)
 - Das Testset muss also um typische Chargenstreuungen erweitert werden.

➤ Sensitivität versus Pseudofehleranzeigen (false positives)

- Ein System ist umso robuster, umso weiter der Grenzwert von der Sensitivität entfernt ist.
- Pseudofehleranzeigen erzeugen hohe Kosten



Thermografie - Rissprüfung

- **Wie muss ich das System einstellen, um eine optimale Prüfqualität zu erhalten?**
 - Parameter
 - Sensorik: Bildaufnahmezeit, Beobachtungsdauer,
 - Anregungsquelle: Signalform, Pulsdauer, Pulsstärke, Frequenz, ...
 - Auswertung: Signalprüfung, Auswertefrequenz, Grenzwerte f. Fehlerfläche, Fehlerabmessungen, Bildanzahl, ...

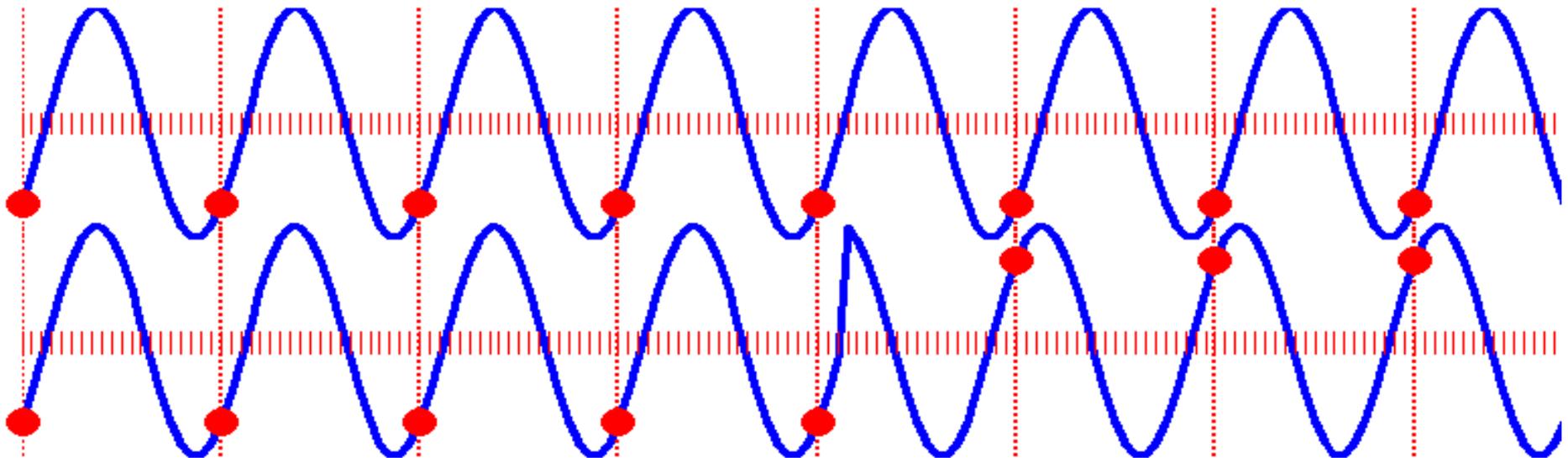
- **Prüfung des Testsets (z.B.: 50 Teile) mit unterschiedlichen Parametern**
 - Parameter, die die Signalentstehung beeinflussen, erfordern je eine neue Prüfung des Testsets.
 - Parameter, die nur auf die Auswertung wirken können durch Nachauswertung der bereits vorhandenen Aufnahmen optimiert werden.

- **Erfolgskriterien**
 - Anzahl der Ok/Nok Prüfanzeigen im Vergleich zu tatsächlichem Ok/Nok-Zustand.
 - z.B.: 100% Nok-Teile gefunden und max. 1% Ok-Teil als Nok klassifiziert

Thermografie - Rissprüfung

➤ Messwertaufnahme

- Üblicherweise läuft der Bildeinzug mit der voreingestellten Framerate ab. Die (Quanten-)Kamera liefert die Bilder in einem präzisen Takt.
- Wenn eine hohe Transferrate vorliegt, dann könnten einzelne Bilder oder Bildserien fehlen. Der PC ist überlastet, und der Bildspeicher läuft über.
- Auswertungen, die äquidistante Zeitschritte erfordern (Puls-Phasen oder Lockin Auswertung) liefern fehlerhafte Ergebnisse, wenn die Sequenz Lücken hat.



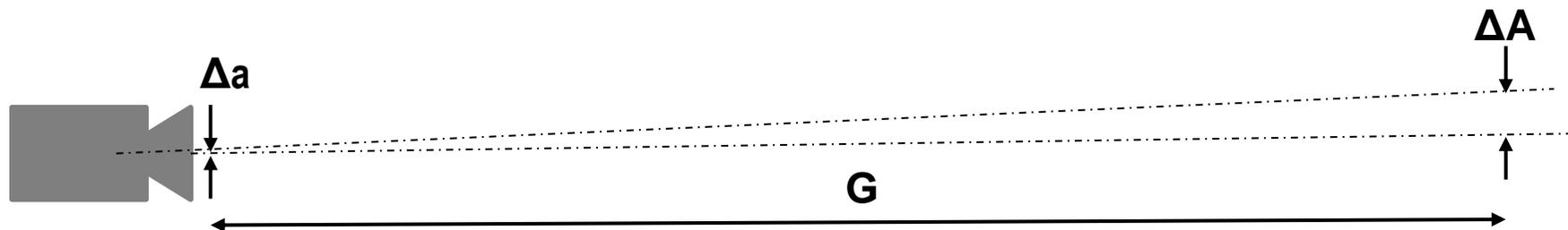
Thermografie - Rissprüfung

➤ Mechanische Schwingungen

- Das Objekt schwingt mit (Lageänderung)
 - Eher untergeordnete (verschlechternde) Auswirkung auf das Prüfergebnis
- Die Kamera schwingt mit (Blickrichtungsänderung)
 - Massive Auswirkung auf das Prüfergebnis
- Allgemein
 - Je nach Art der Auswertung mitunter sehr starker Einfluss auf das Prüfergebnis
 - Wenn Pixelweise ausgewertet wird, dann kann es bei der Auswertung von Zeitserien zu erheblichen Fehlern kommen.
 - Wenn Temperaturwerte in größeren Flächen in Form von Mittelwerten berechnet werden, dann wird der Fehler eher vernachlässigbar sein.

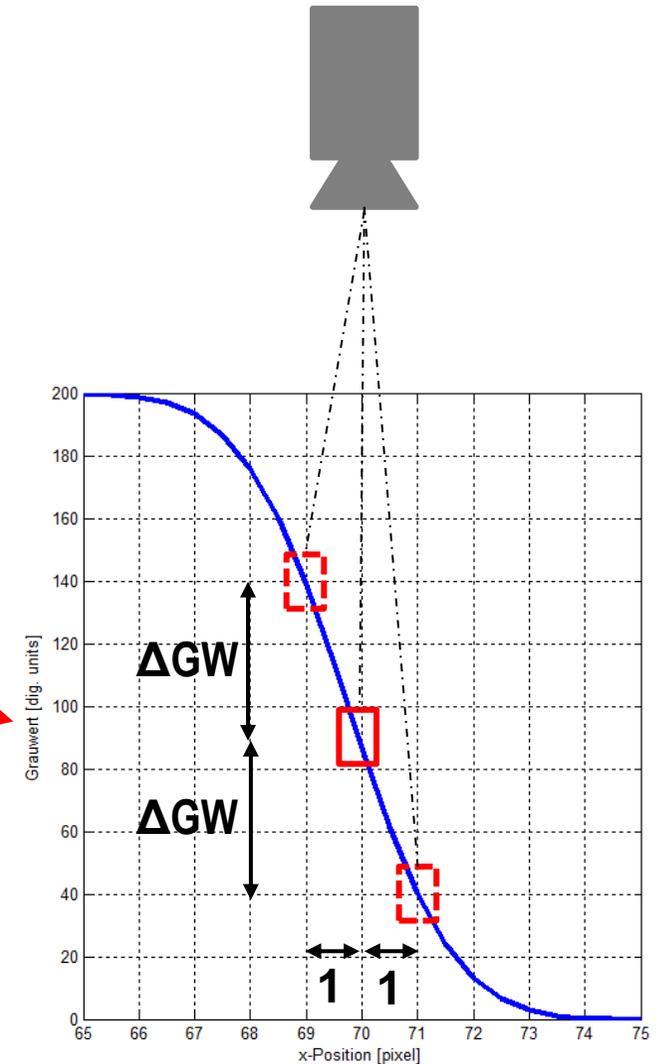
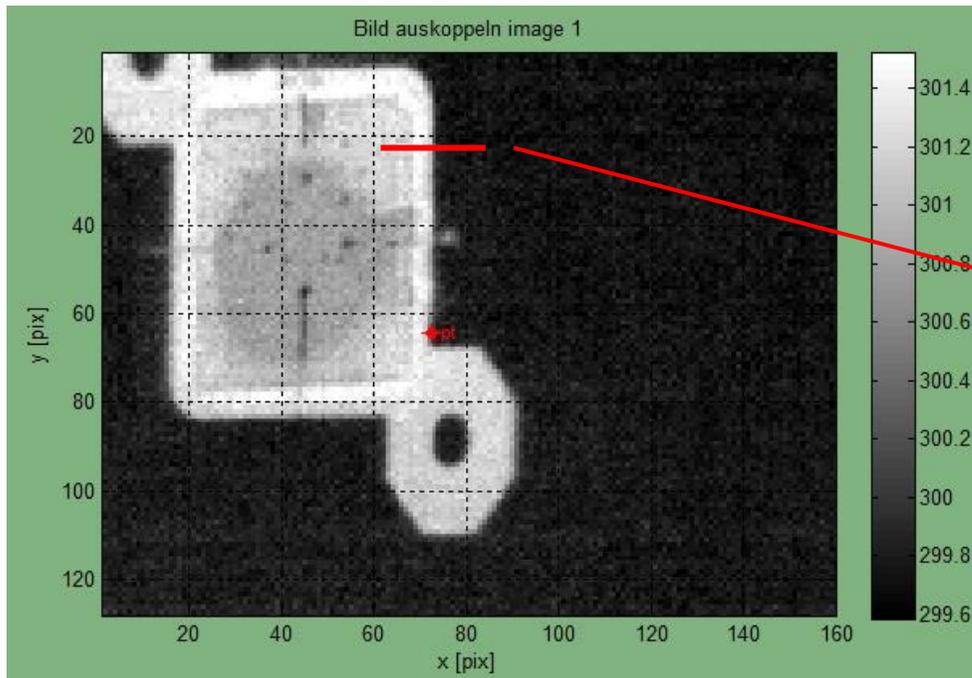


Bildquelle: de.freepik.com



Thermografie - Rissprüfung

- **Vibrationsquellen**
 - Einfache Prüfung mittels zeitlichem Signalverlaufes für ein einzelnes Pixel an einer Kante

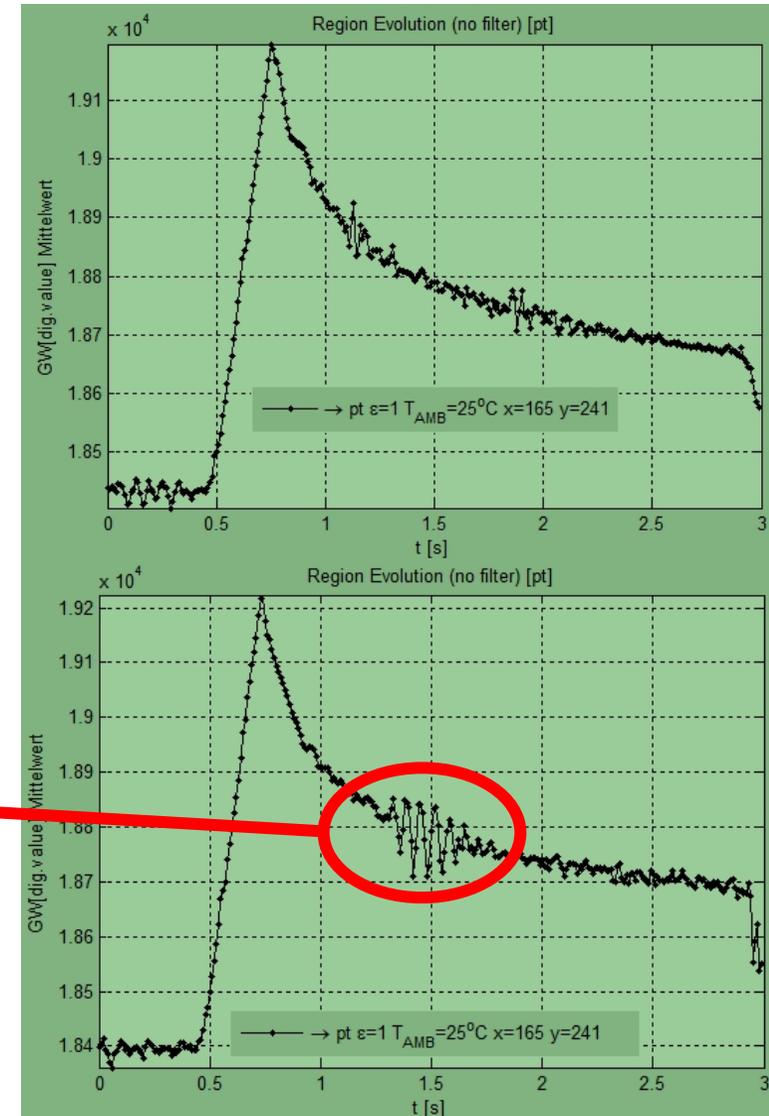
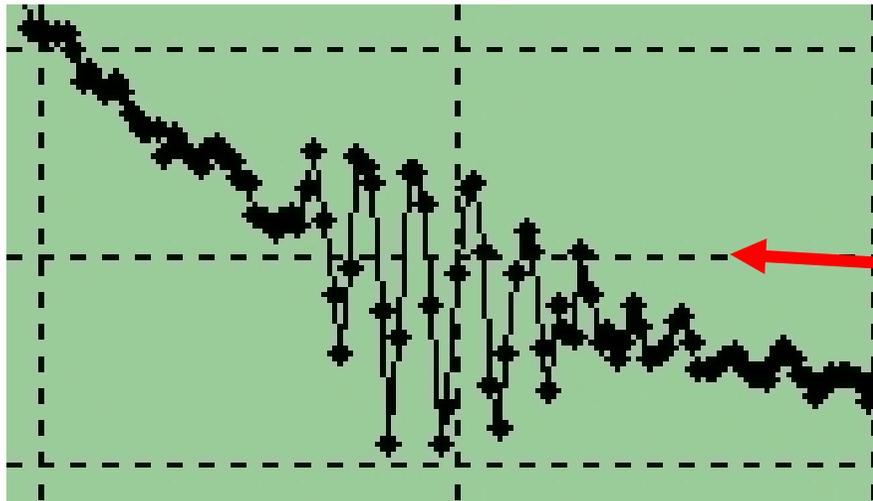


Thermografie - Rissprüfung

➤ Vibrationsquellen

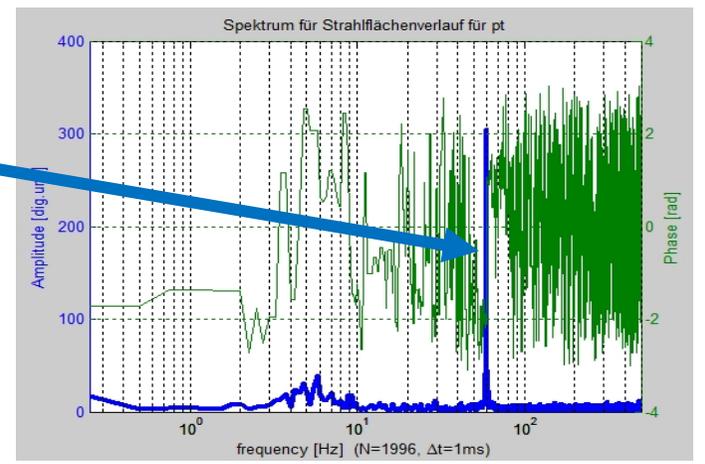
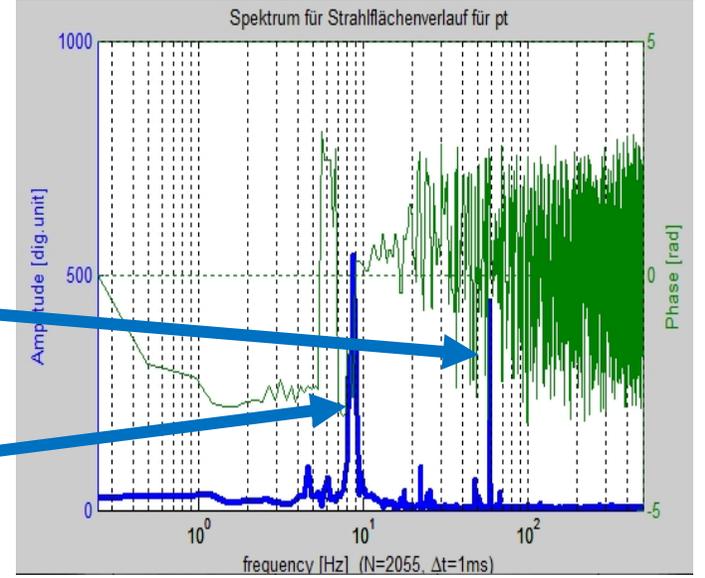
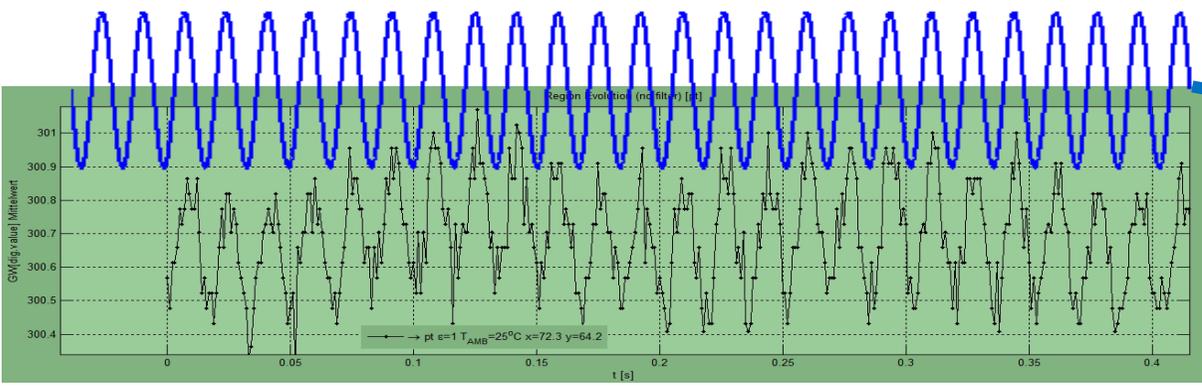
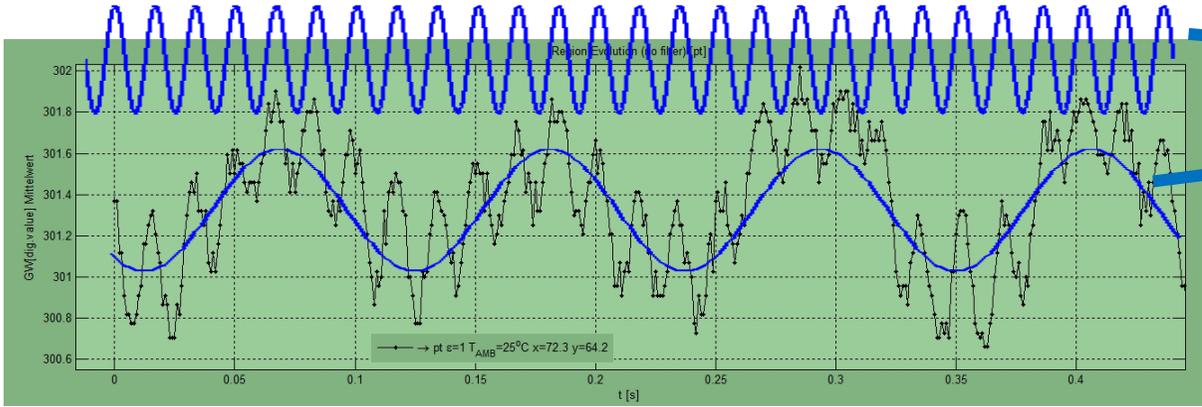
➤ Stöße:

- Schmiede, schwere bewegte Objekte, getaktete Maschinen, ...
- Teilehandling



Thermografie - Rissprüfung

- **Vibrationsquellen**
 - andauernde Vibrationen:
 - Kühlaggregate, Kühlgebläse,



Thermografie - Rissprüfung

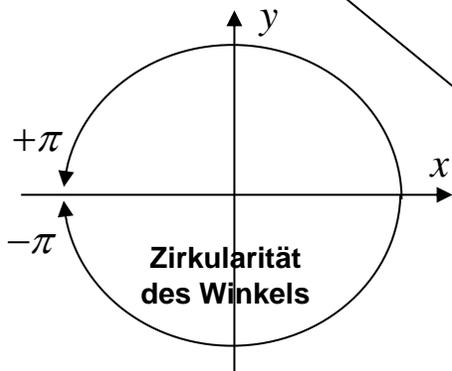
- **Auswertedetail „unwrap“**
- Beseitigen des unerwünschten Phasensprungs

$$\varphi_x - 2\pi |g_x| \geq \pi$$

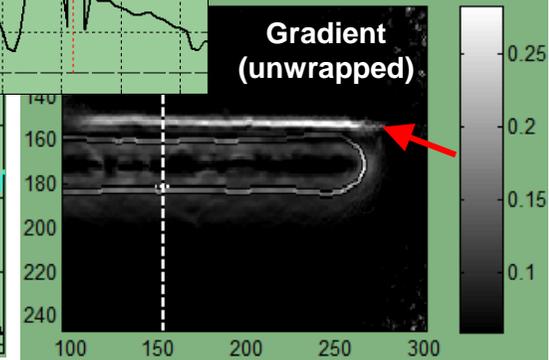
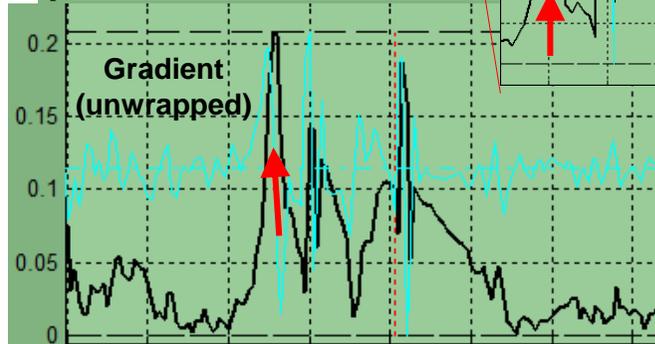
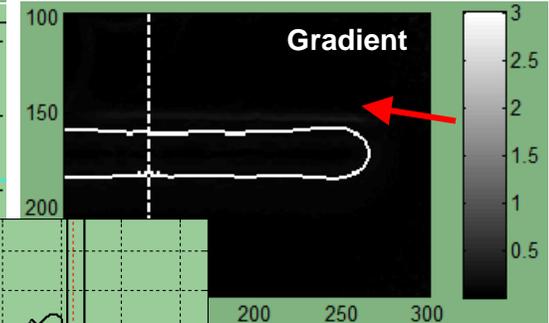
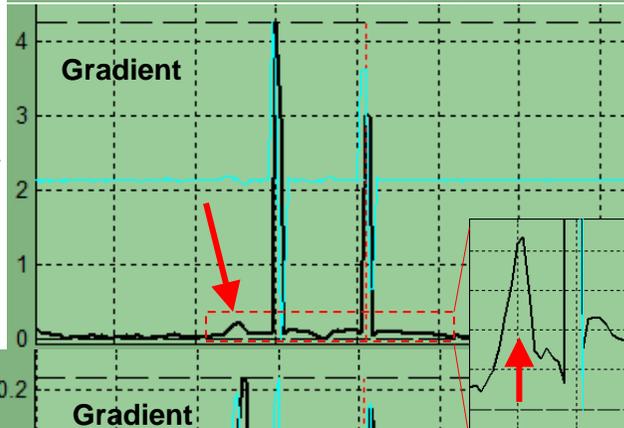
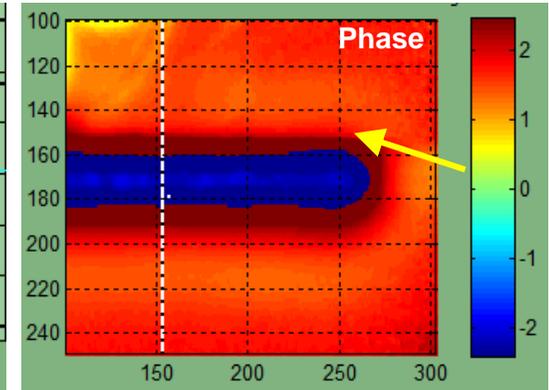
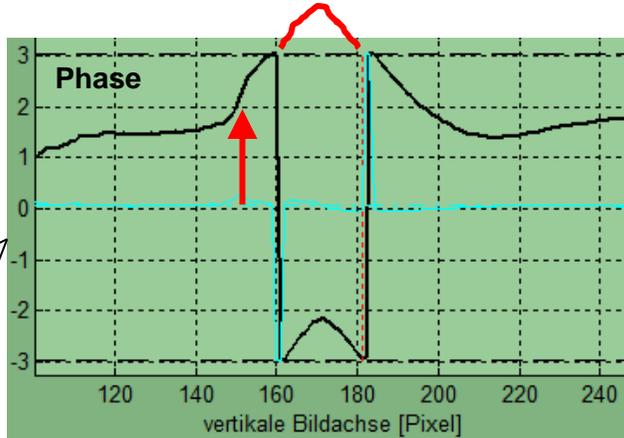
$$\varphi_{xc} = \varphi_x | -\pi < g_x < \pi$$

$$\varphi_x + 2\pi |g_x| \leq -\pi$$

$$\sqrt{g_x^2 + g_y^2} = g$$



$$\sqrt{g_{xc}^2 + g_{yc}^2} = g_c$$



Thermografie - Rissprüfung

➤ Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

- Ein Projekt für ein Prüfsystem muss ganzheitlich betrachtet werden.
 - Die Definition technischer Parameter ist meist einfach (Teilegeometrie, Taktzeit,)
 - Die Definition der Prüfqualität ist, besonders bei Rissprüfungen oft herausfordernd und komplex.
 - Der Nachweis bzw. die Messung der Prüfqualität ist mitunter sehr aufwändig.
 - Das Potential für Fehlmessungen ist beträchtlich, und erfordert die Beachtung vieler Aspekte.
 - Das Prüfsystem selbst kann eine Störquelle darstellen.
 - Auswertelgorithmen können Tücken enthalten.
- Wer Herausforderungen sucht, wird hier mit Sicherheit fündig!

A composite image showing a human hand and a white robotic hand. The human hand is positioned above the robotic hand, and together they hold a glowing teal square icon with a white arrow pointing up and to the right. The background is plain white.

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Gerhard Traxler
PROFACTOR GmbH
Graumanngasse 7,C3
1150 Wien
Tel.: +43 7252 885-951
Mobil.: +43 664 60 885-951
gerhard.traxler@profactor.at