



# Thermografie für Produktion und Entwicklung

Anwendungsbeispiele

LEADING  
INNOVATIONS

# Thermografie und Wärmefluss

## ➤ Anwendung zur zerstörungsfreien und automatischen Prüfung

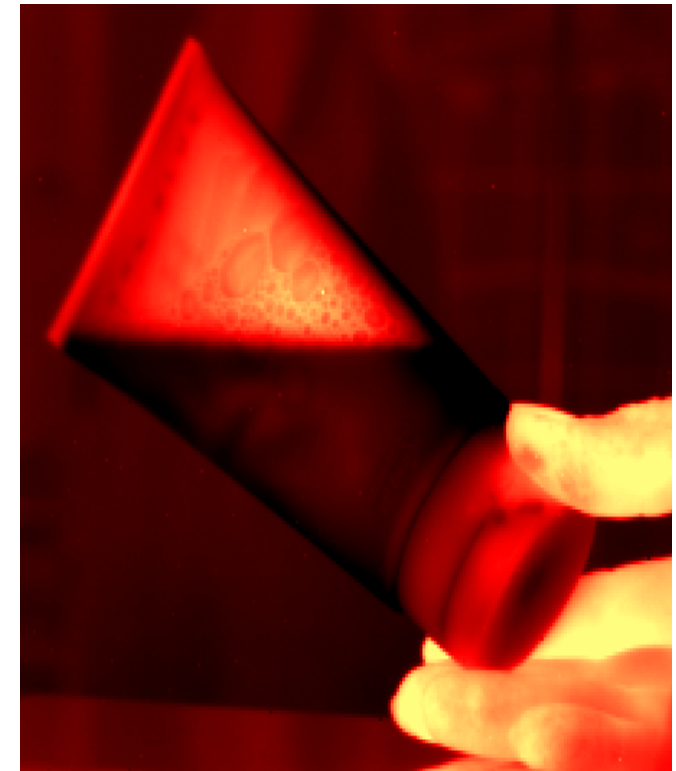
- inline in der Produktion
- Prüflabor

## ➤ Prüfgrundlage

- berührungslose Temperaturmessung der Probenoberfläche
- Wärmefluss im Prüfling
- im Sonderfall: Transparenz des Prüflings

## ➤ Anwendungsbeispiele

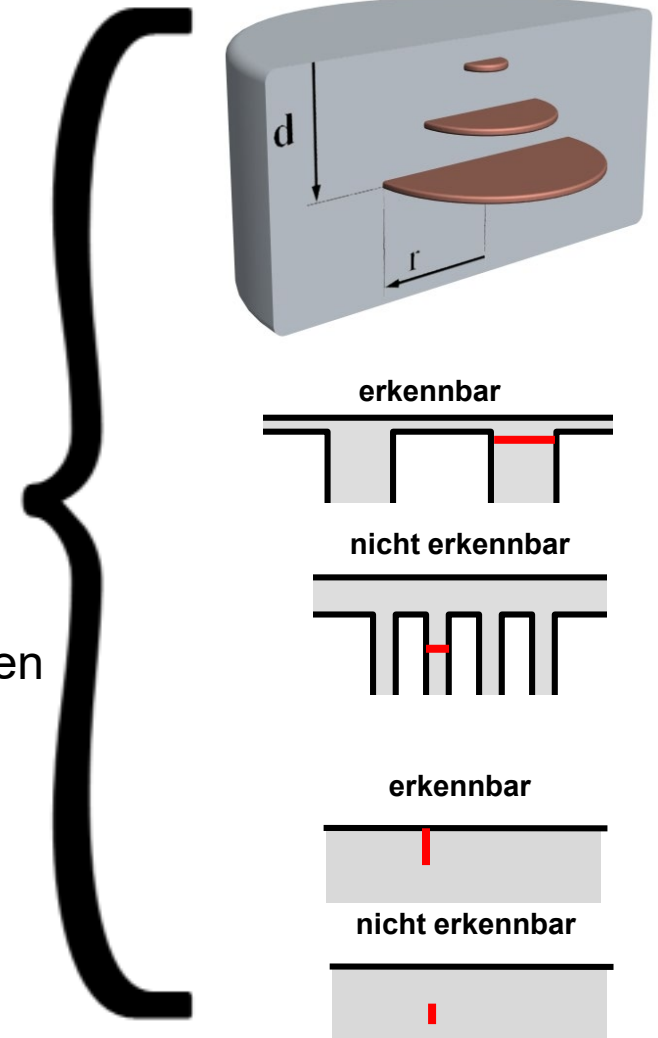
- Fremdmaterialeinschlüsse
- lokale Temperaturleitfähigkeit
- Wärmeleitfähigkeit
- Temperaturverteilung
- Schweißnahtprüfung
- Temperaturentwicklung
- Schichtdicke
- Rissprüfung
- Klebeverbindungen
- Delamination
- ...
- ...
- ...
- u.v.m.
- ...
- ...
- ...



Thermogramm nach Blitzanregung

# Wärmefluss

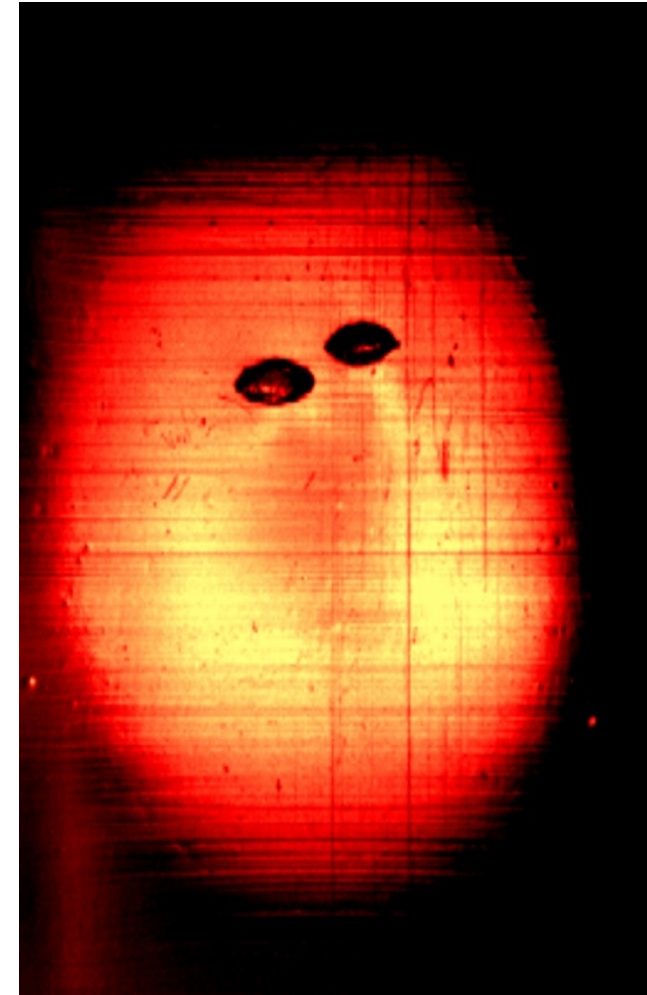
- **Messgenauigkeit (Temperatur)**
  - typ. abs. Genauigkeit: +/- 1K
  - Auflösung: 15..100mK (=NEDT)
  - gilt für ein Objekt mit  $\varepsilon \sim 1$  und unter „günstigen“ Umständen
- **Fehlergröße (Wärmefluss)**
  - kann besser als 100 $\mu$ m sein
  - Erkennbarkeit hängt ab ...
    - von der Fehlergröße (Querschnitt, nicht Dicke!)
    - vom Abstand zur Oberfläche
    - von der Verschiedenheit der Materialeigenschaften
- **Das Auflösungsvermögen für Fehler ist in der Regel nicht vom Kameraauflösungsvermögen bestimmt.**
  - Rückwirkung aus der Tiefe erscheint an der Oberfläche „unscharf“



# Transmission

## ➤ Blaseneinschlusskontrolle in HDPE

- Sonderfall: transparentes Material (bei MWIR:  $3.6\mu\text{m}..5.1\mu\text{m}$ )
- Lufteinschluss
- Fehler ab  $D=0.1\text{mm}$
- Materialdicke bis  $10..16\text{mm}$
- nicht bei schwarzen HDPE-Materialien anwendbar



# Materialeigenschaften messen

- **ortsauflösende Temperaturleitfähigkeitsmessung**
  - sensitiv für Fehler mit Orientierung parallel zu Oberfläche
  - ortsauflösend (~Dicke)

- **Ergebnis**

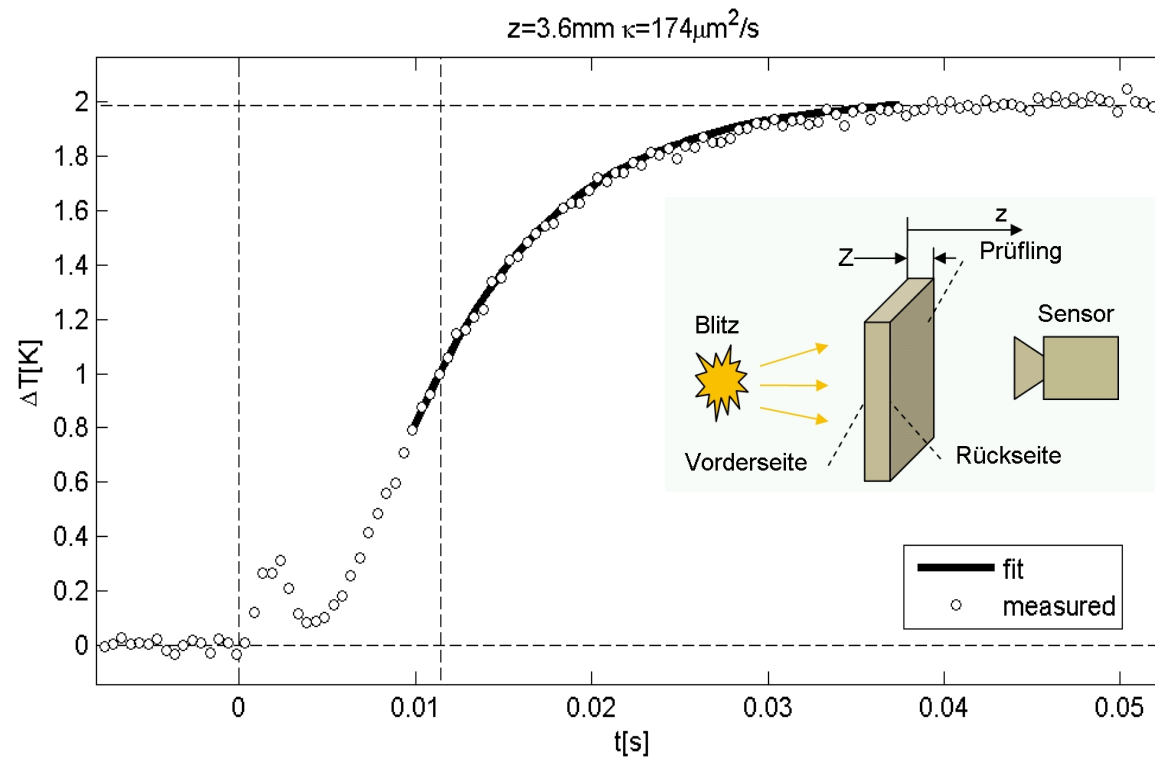
- im homogenen Fall
  - Materialeigenschaft
  - objektiv
  - absoluter Messwert
- im inhomogenen Fall
  - Fehler in der Probe

- **Anwendung**

- Materialentwicklung
- Prozessentwicklung
- Qualitätskontrolle

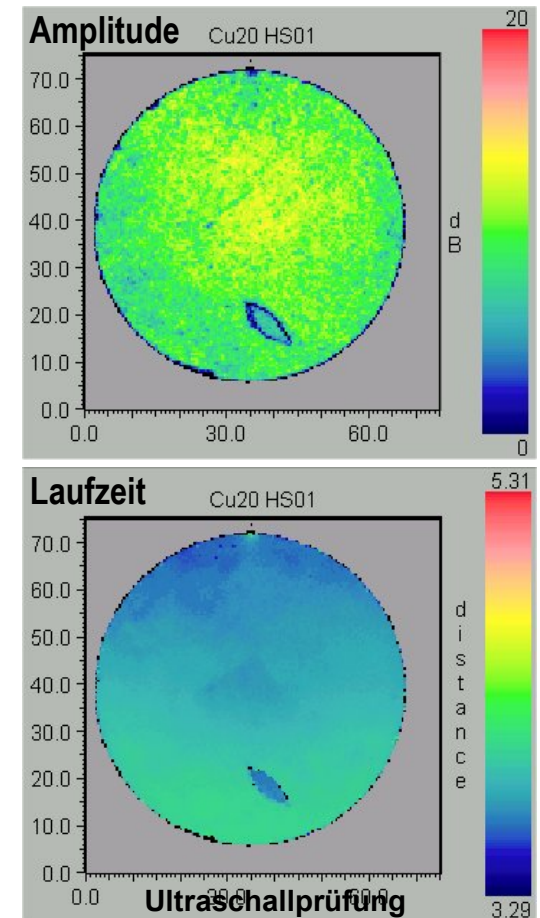
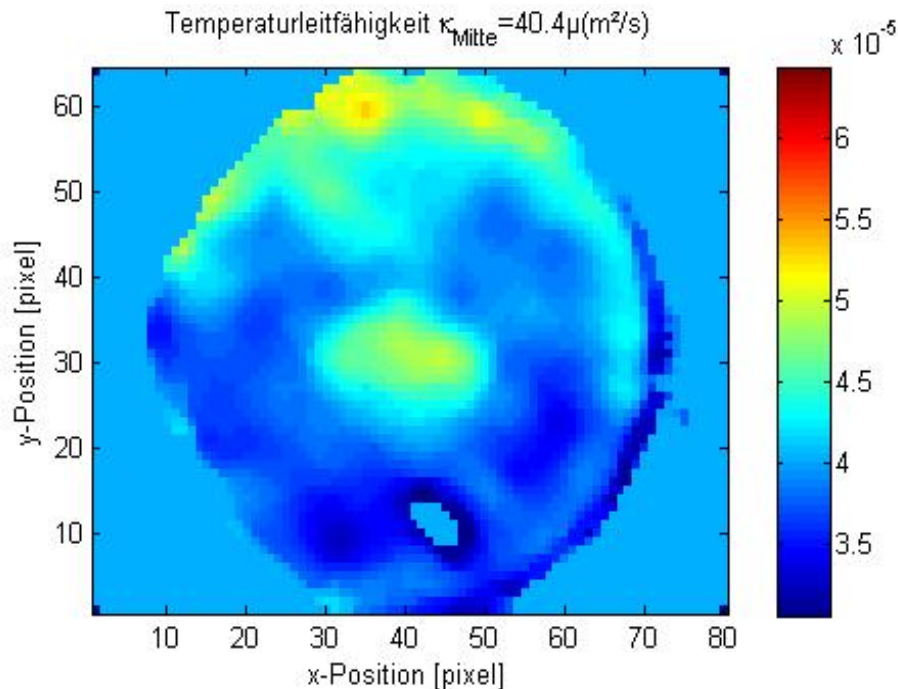
- **Grenzen**

- nur bei weitgehender Planparallelität anwendbar



# Materialeigenschaften messen

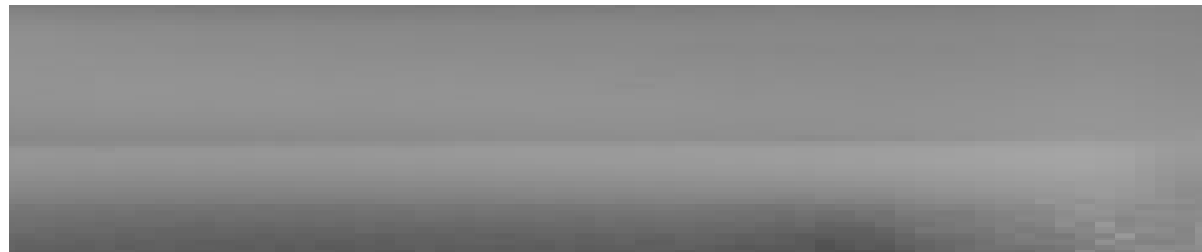
- **Prüfungsergebnis der Temperaturleitfähigkeitsmessung**  $\kappa = \lambda / \rho c_p$
- Gefügefehler gut erkennbar
- höhere Leitfähigkeit in der Mitte weist auf ungleichmäßigen Sinterprozess oder Entmischung hin



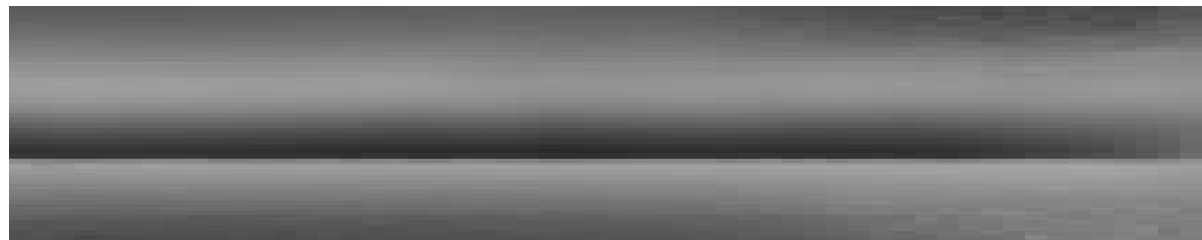
# Materialeigenschaften messen

## ➤ Elektroschweißnahtkontrolle

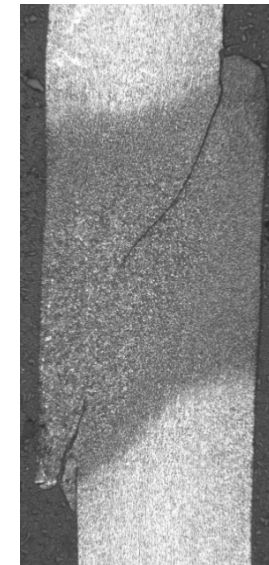
- Überlapp- Quetschnahtschweißung
- absoluter Bezug zum ok-Zustand
- robust gegenüber lokaler Emissionsgradschwankung
- lokal auflösend



Temperaturleitfähigkeitsbild einer guten Naht



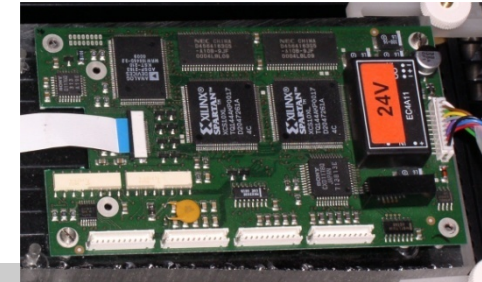
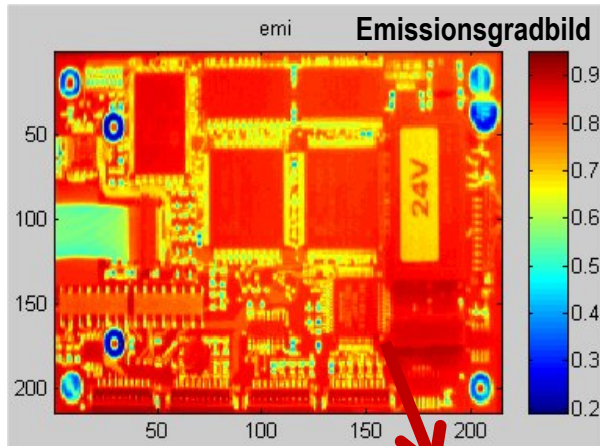
Temperaturleitfähigkeitsbild einer schlechten Naht



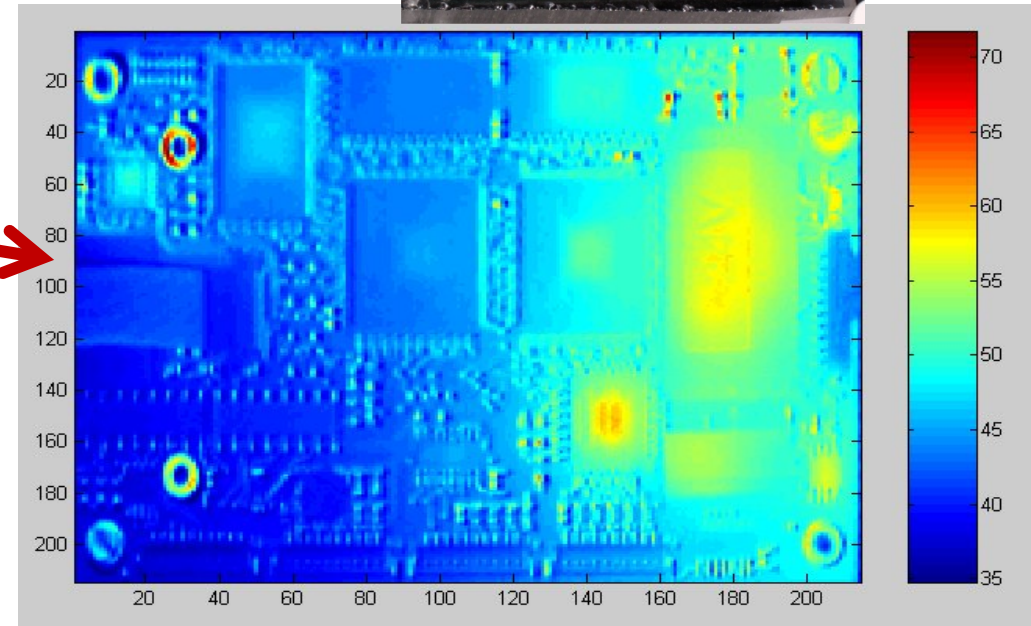
Querschnitt durch schlechte Naht

# Temperaturmessung

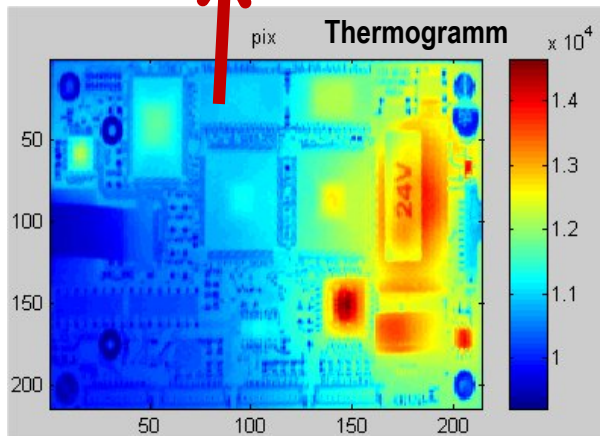
## ➤ Anwendungsbeispiel „pixelweise Emissionsgradkorrektur“



Temperaturbild



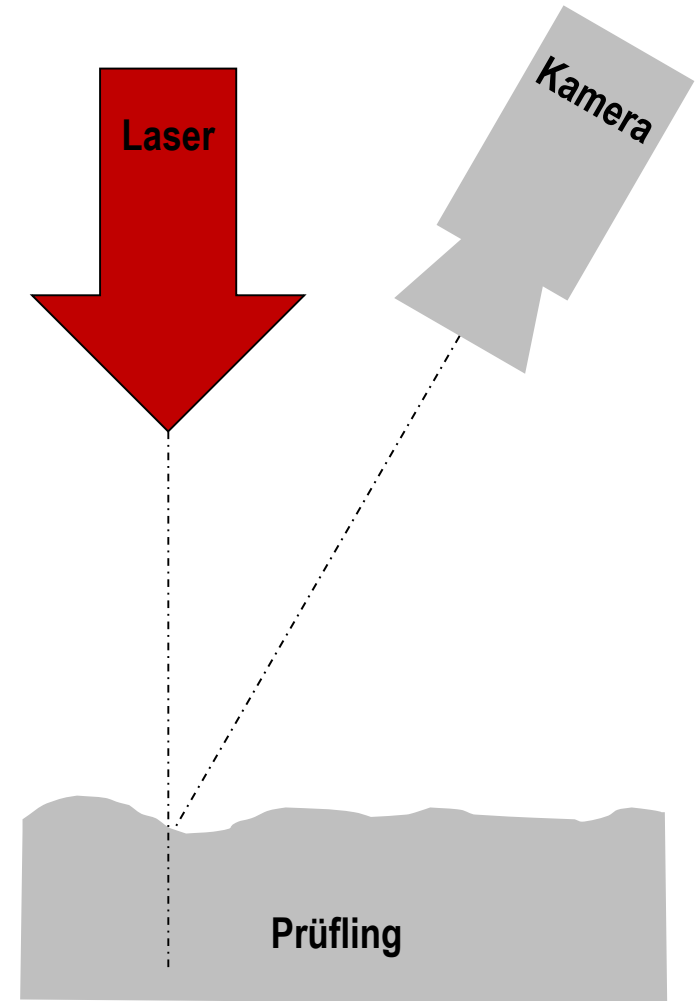
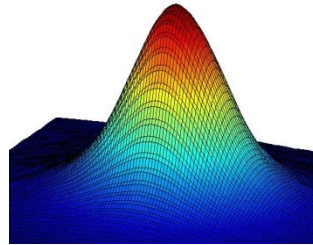
$$DL(x,y), \varepsilon(x,y) \rightarrow T(x,y)$$





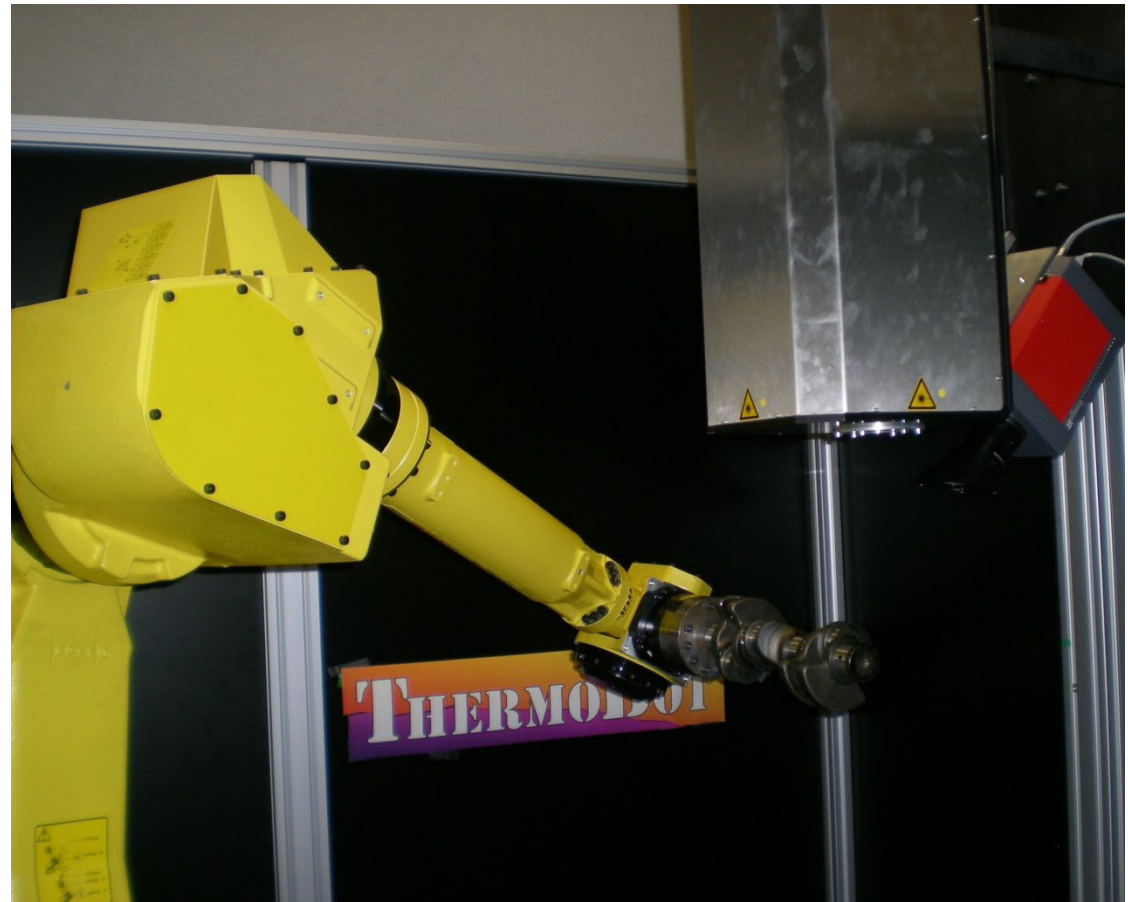
# Rissprüfung mit Laser

- **Prüfling**
  - komplexe Geometrie (z.B.: Nockenwelle)
- **Prüfsensor**
  - Thermokamera
    - AOI: 160 x 128 Pixel (12x9mm)
    - Auflösung: 60..80µm/Pixel
    - Framerate: 400Hz
  - Laser (inkl. Ablenkeinheit)
    - Spot  $\Phi$  (50%) = 300µm
    - Spot  $\Phi$  (10%) = 600µm
    - Leistung: ~10W (variabel)
- **Vorschub**
  - ~100mm/s (variabel)
- **Varianten**
  - Prüfsensor feststehend / Prüfling bewegt
  - Prüfsensor bewegt / Prüfling feststehend



# Rissprüfung mit Roboter

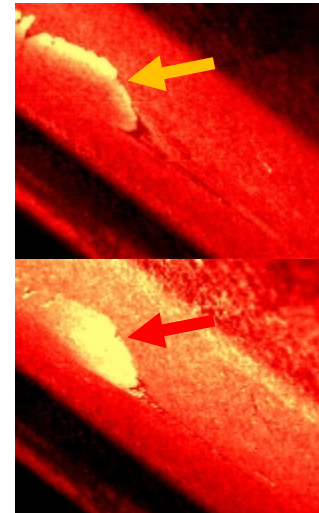
- **Aufbau**
  - Roboter bewegt Prüfling
  - starre Laser-Kamera Einheit
  - PC-gestützte Auswertung
- **automatische Pfadplanung**
  - hält Kamera und Laserabstand konstant
  - hält Betrachtungswinkel konstant
  - beachtet Wärmeflussbedingtes Timing
  - laufende Optimierung des Pfades



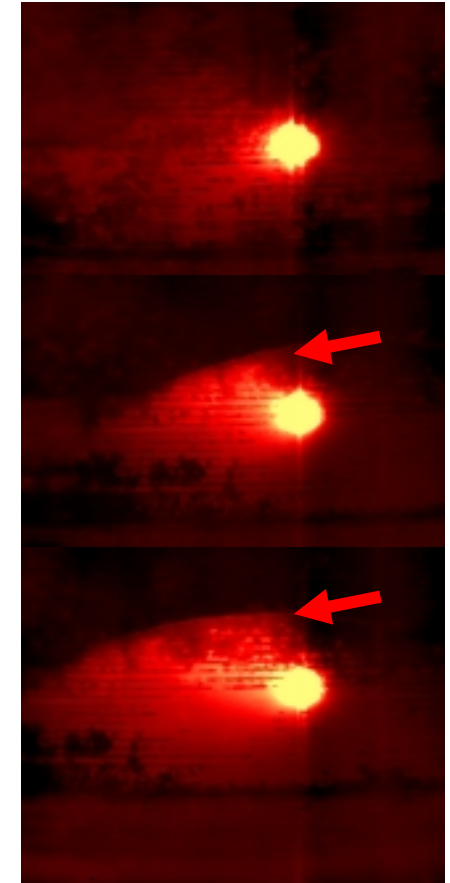
test rig

# Rissprüfung mit Laser

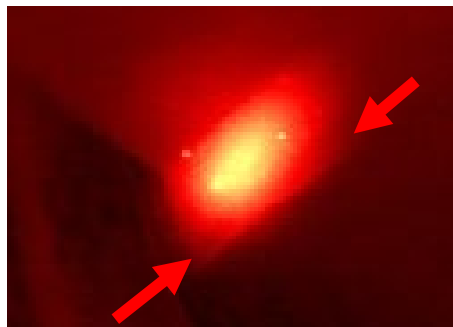
- **laserinduzierte Rissprüfung an verschiedenen Teilen**
  - stark streuender Emissionsgrad
  - Prüfung am bewegten Objekt
  - Laser-Kamera Entkopplung durch Abstimmung der Blickrichtungen
  - typ. Laserleistung 5W..100W
  - typ. Aufnahme rate 100Hz..400Hz
  - Schalen und Überwalzungen werden ebenso erkannt



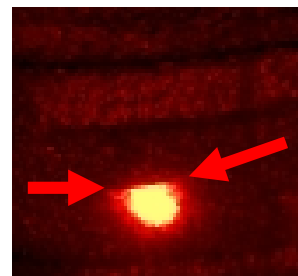
Überwalzung



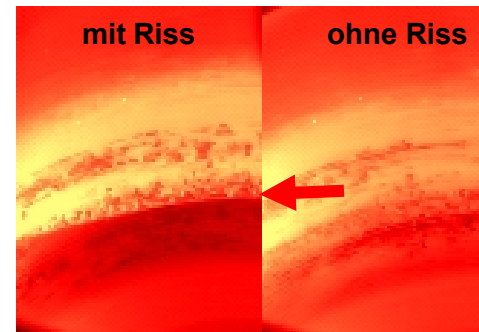
Thermogrammsequenz, Stahlachse



Härteriss



Schmiedeteil

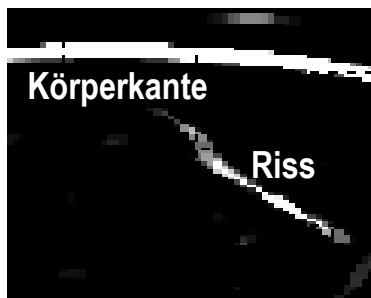


rotierende Stahlwelle

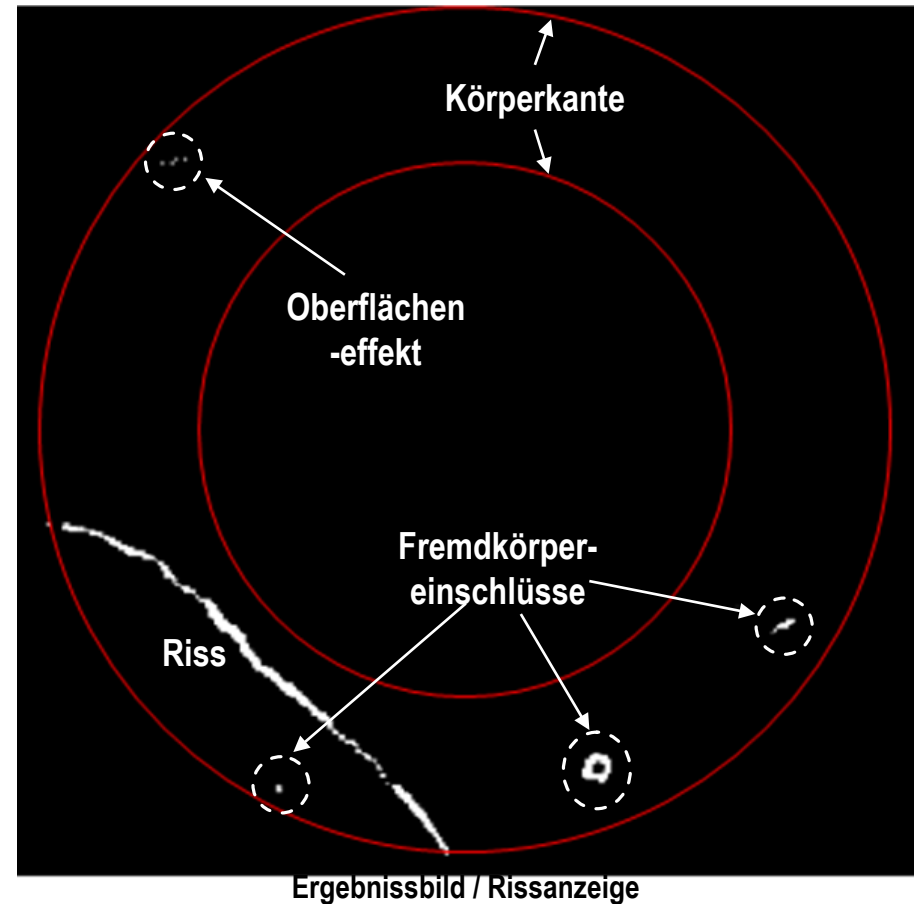
# Rissprüfung im Taktbetrieb

## ➤ Rissbeispiel

- Laseranregung → „Jumping Spot“
- Einzelauswertungen
  - Gradientenbild
- Gesamtergebnis
  - Einzelauswertungen ortsrichtig zu einem Gesamtbild zusammengesetzt
  - Körperkanten mithilfe der bekannten Geometriedaten ausmaskiert



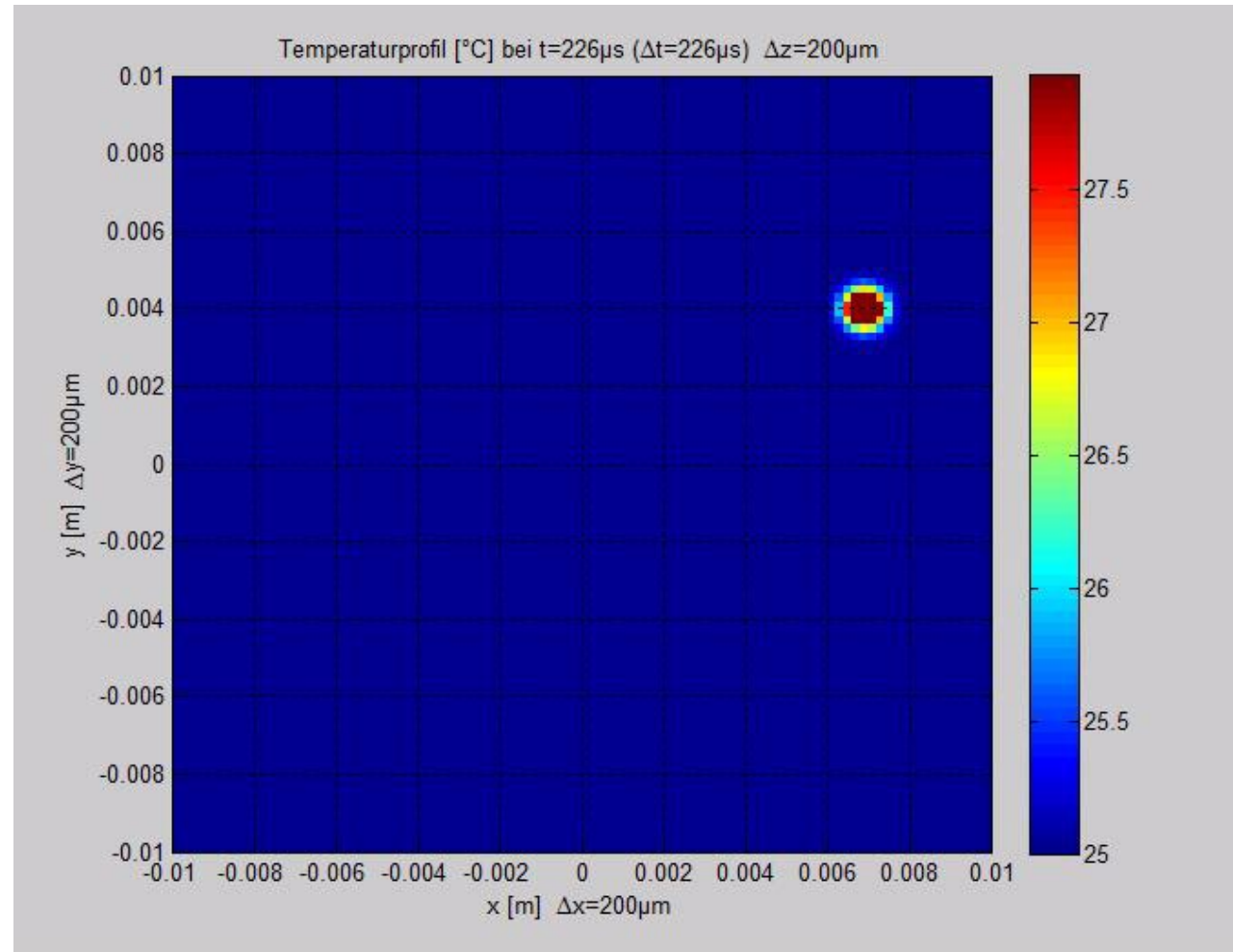
Einzelbild



Ergebnissbild / Rissanzeige

# Rissprüfung im Taktbetrieb

- **Simulation einer Prüfsequenz**
- **Dauer: 2s**
- **Leistung: 10W**



# Rissprüfung für Stahlprofile

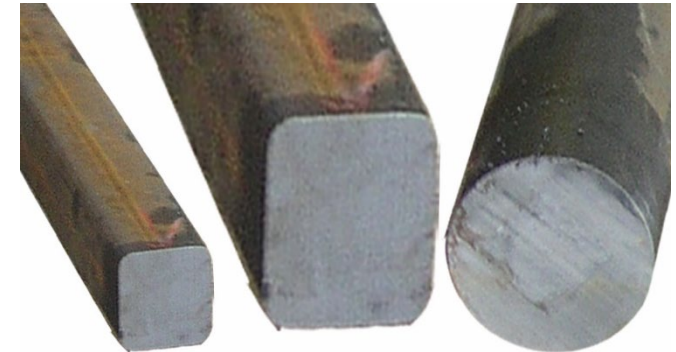
➤ **induktiv angeregte Rissprüfung bis 1.5m/s**

➤ **Stahlknüppel**

➤ rund, rechteckig (50..220mm)

➤ Länge: einige m

➤  $v = 0.1$  bis  $1.5\text{m/s}$



➤ **Prüfung auf Längsrisse und Schalen**

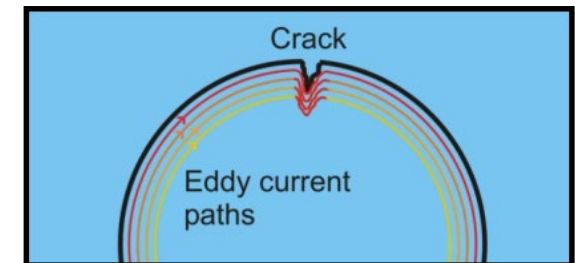
➤ **Prüfgrundlage**

➤ induktive Anregung ...

➤ ... bewirkt Erwärmung des Risses

➤ Thermokamera nimmt Oberfläche auf

➤ Auswertung lokaler Maxima deutet auf Riss



➤ **Weiterentwicklung**

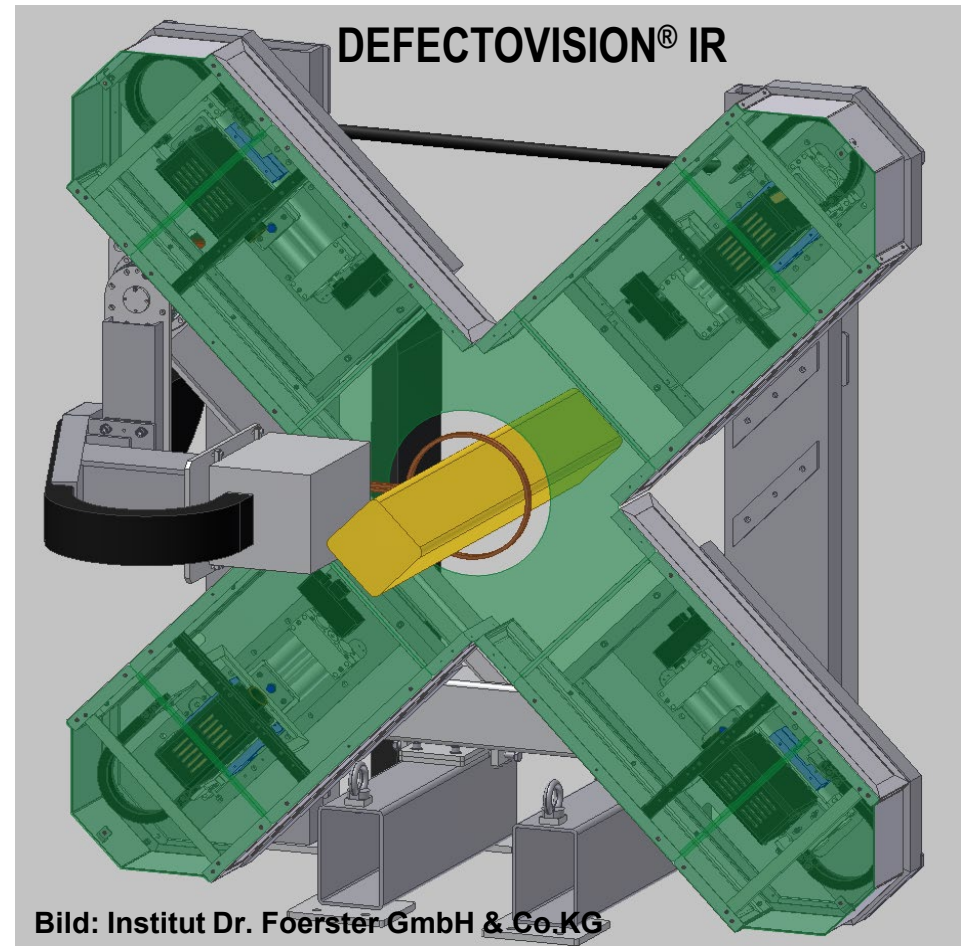
➤ Störungen im Thermogramm reduzieren Robustheit

➤ Auswertung des Wärmeflusses ermöglicht Identifikation von Störungen

➤ Damit verbessert sich die Robustheit bei voller Sensitivität

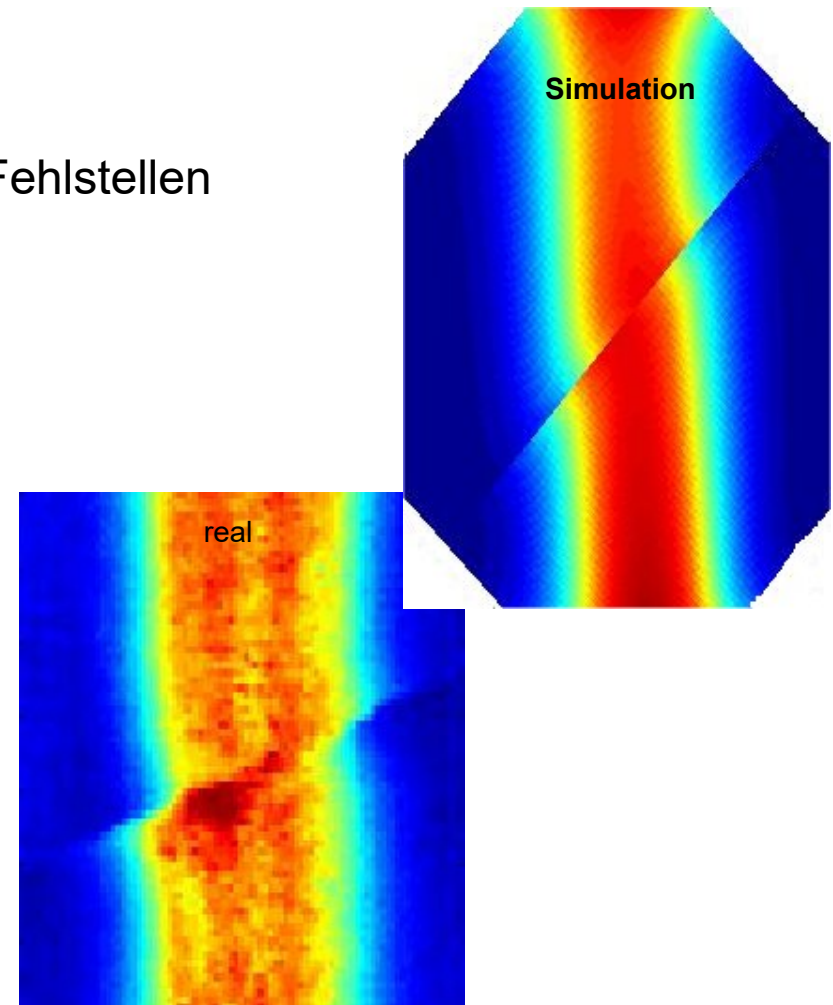
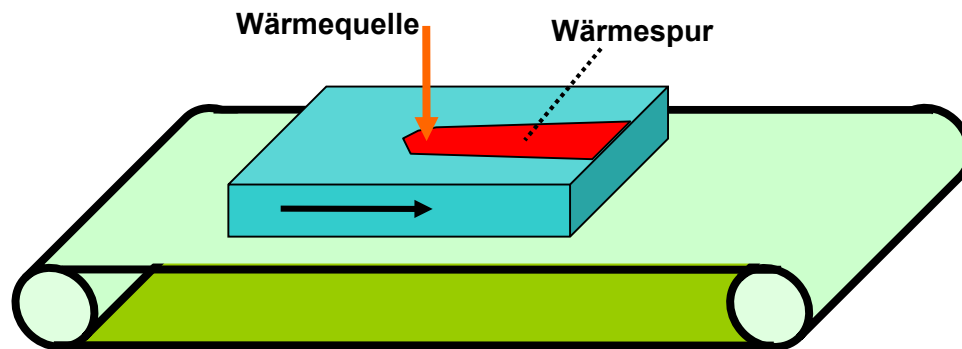
# Rissprüfung für Stahlprofile

- **4 Thermokameras**
  - 100Hz, 640x512 Pixel
- **4 Auswerte-PC's**
  - Echtzeit Bildabspeicherung während Auswertung
  - Auswertung mit multithread-Echtzeitsoftware
- **zentraler PC**
  - Bediensoftware
  - Datenbank
  - Wartungs- und Servicefunktionen



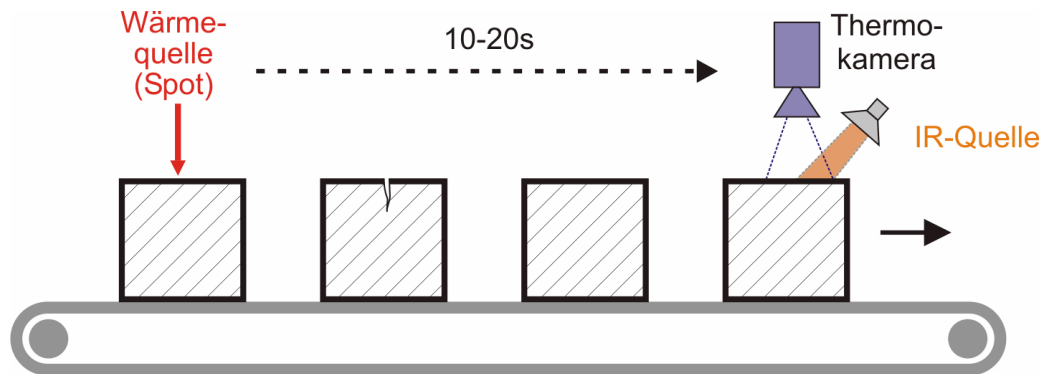
# Rissprüfung am Förderband

- **Rissprüfung am Förderband**
  - Prüfbasis
    - Wärmetransportunterbrechung durch Fehlstellen
  - Xenonlampe als Punktwärmequelle
  - 5 Wärmespuren parallel
  - Prüfdurchsatz > 20 Stück / Minute
  - in situ Emissionsgradkompensation





# Rissprüfung am Förderband



Prüfmethode	Prüfqualität	
	Auswertung	Risse erkannt
visuell	Mensch	7 / 1.4%
Thermografie	Mensch	34 / 6.8%
	Maschine	29 / 5.8%

Gesamtmenge: 500 Prüflinge

## ➤ Auswertung

- lokale Emissionsgradkorrektur
- „Verfolgen“ des Abkühlens über kurze Wegstrecke
- Referenz berechnen (Wärmespur ohne Risse)
- Vergleich liefert Risspositionen

## ➤ Grenzen

- Temperaturgleichgewicht vor Erwärmungsstrecke erforderlich
- keine exakt 90° zur Wärmespur orientierten Risse erkennbar
- Riss exakt in Wärmespur, bzw. zw. 2 Wärmespuren nicht erkennbar

A composite image showing a human hand and a white robotic hand reaching upwards to hold a glowing teal square icon with a white arrow pointing up and to the right. The human hand is on the left, and the robotic hand is on the right, both positioned as if supporting the icon from below.

## Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Gerhard Traxler  
PROFACTOR GmbH  
Graumanngasse 7,C  
1150 Wien  
Tel.: +43(0)7252 885-951  
Mobil.: +43(0)664 815 78 50  
[gerhard.traxler@profactor.at](mailto:gerhard.traxler@profactor.at)