

Thermografische (Riss-)Prüfung

Ideal und Realität bei der Signalqualität

LEADING
INNOVATIONS

Thermografie - Signalqualität



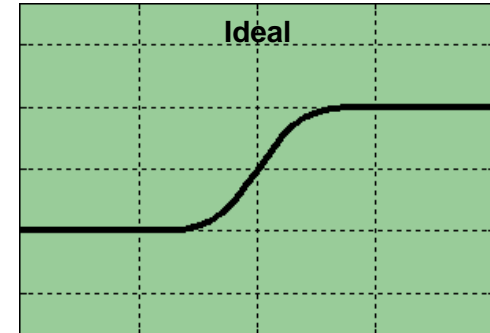
Inhalt

- Übersicht, Motivation
- mögliche Störeinflüsse
- Signal
- Beispiele aus der induktiv angeregten Rissprüfung
- Beispiele aus der laserangeregten Rissprüfung
- Beispiele aus der Blitzanregung
- Schlussfolgerungen

Thermografie - Signalqualität

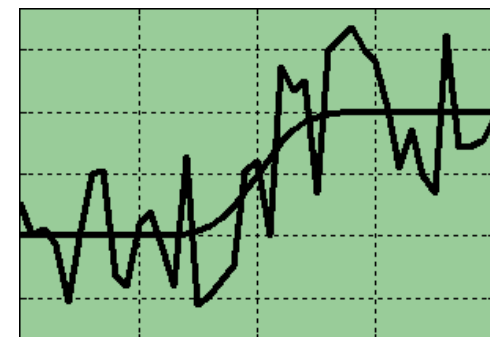
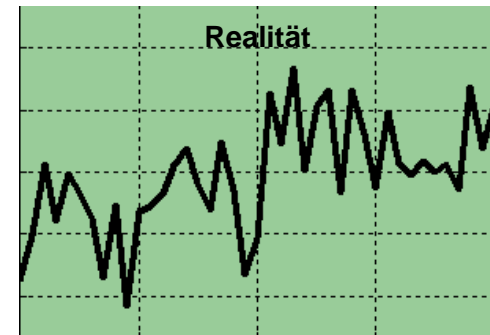
➤ Übersicht

- Thermografie an sich bedeutet die Interpretation der vom Detektor erfassten Bilder.
- Noch allgemeiner ausgedrückt befassen wir uns mit der Signalauswertung.
- Ziel ist es, Kennwerte aus dem Signal zu ermitteln, die ein Maß für die gesuchte Eigenschaft (Temperatur, Homogenität, Materialkennwerte, Oberflächenkennwerte, ...) darstellen.



➤ Motivation

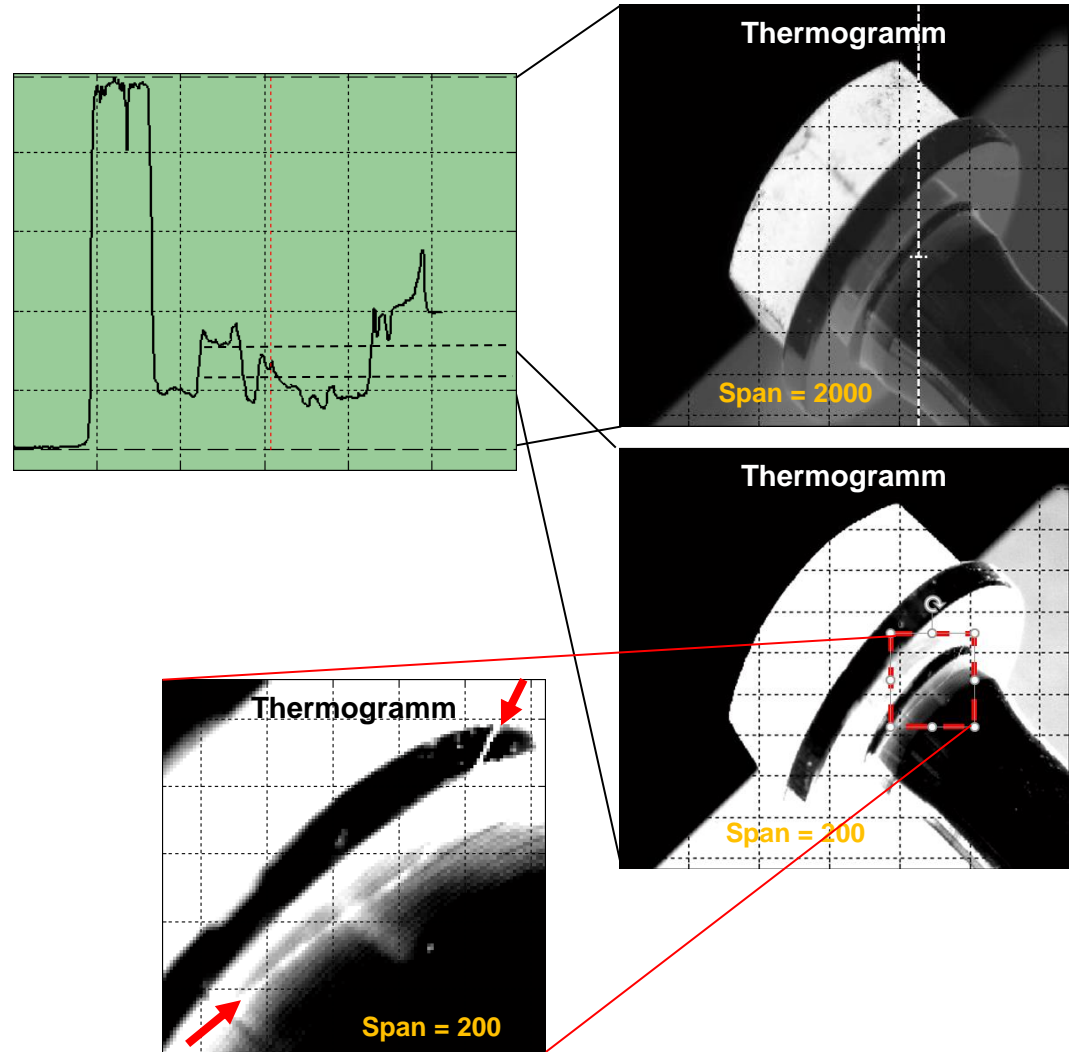
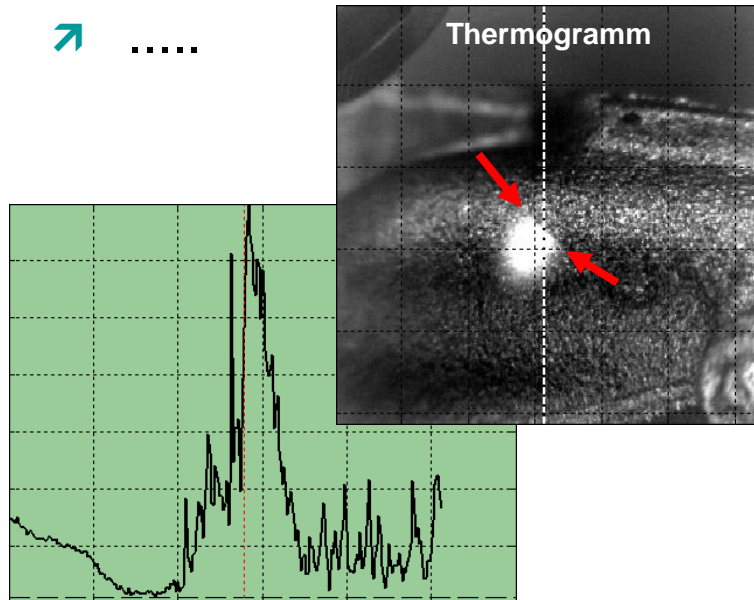
- Im Signal sind viele Informationen enthalten. Wir suchen jedoch nur eine Bestimmte, die unabhängig von anderen Informationen sein soll.
- In der realen Prüfumgebung kommt es selten vor, dass die Signale einem theoretischen Ideal entsprechen.
- Wir müssen also mit den Störeinflüssen umgehen, um die gewünschte Information zu isolieren.



Thermografie - Signalqualität

➤ Ursachen für Störeinflüsse

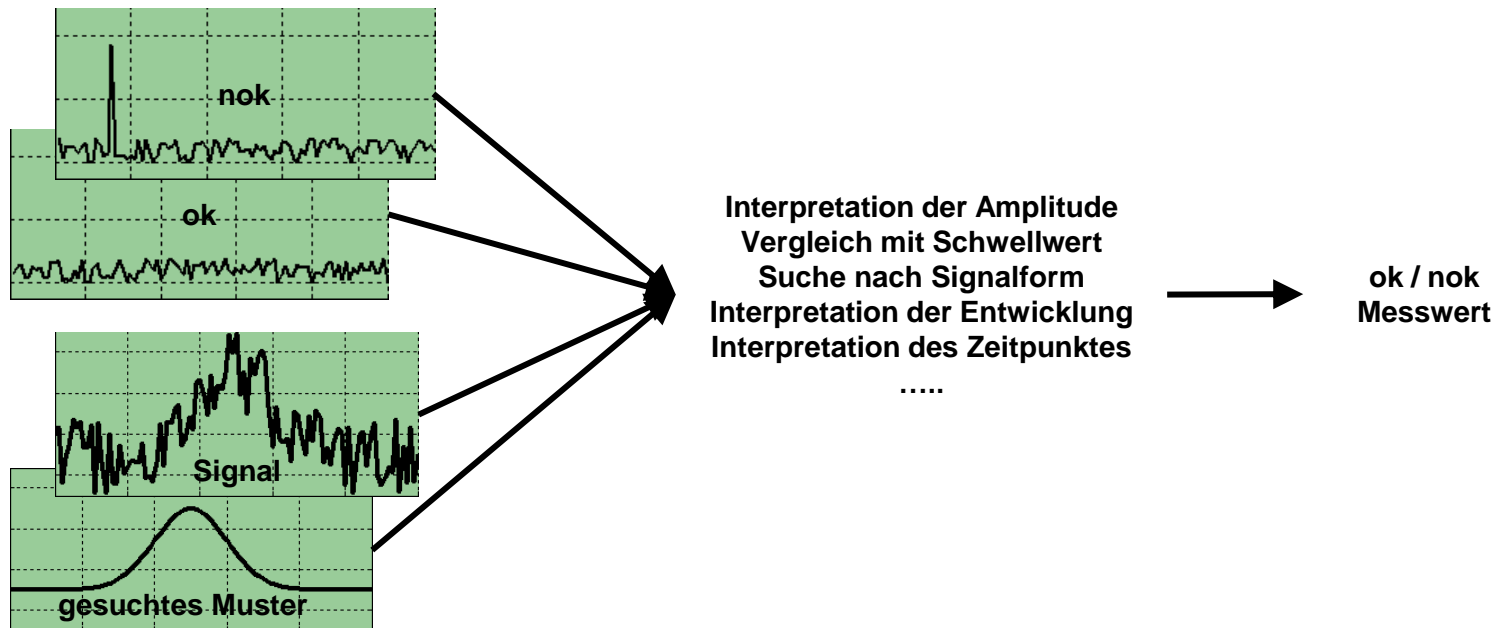
- Kamerarauschen
- lokaler Emissionsgrad
- Reflexionen
- Selbstreflexionen
- Oberflächenbeschaffenheit
- Transmission
-



Thermografie - Signalqualität

➤ Signal

- Es sind unterschiedliche Denkweisen zum Verständnis über die gewünschten Informationen im Signal denkbar:
 - Signalunterschiede empirisch festgestellt
 - Signal(unterschiede) vorhergesagt

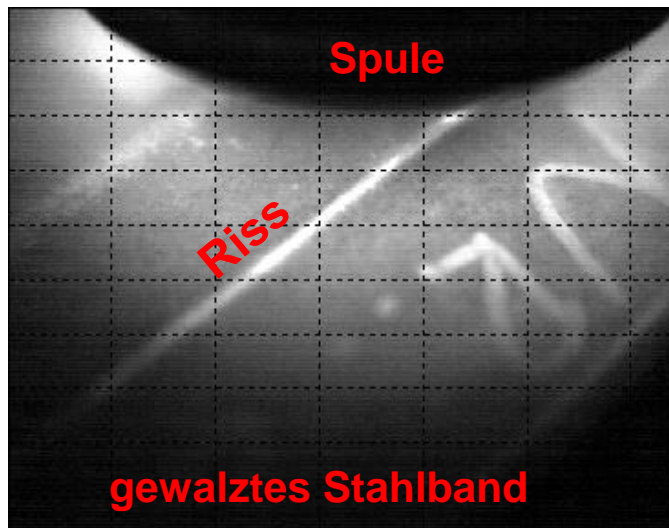
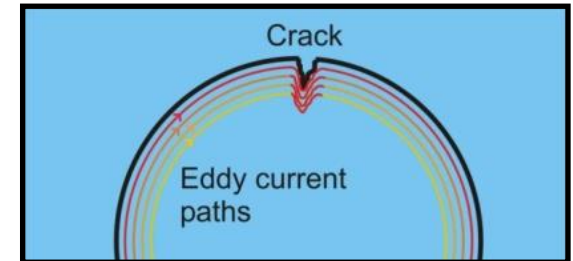


- Ziel der Präsentation: Signalbeispiele diskutieren/gegenüber stellen und punktuelle Auswertebeispiele zeigen

Thermografie - Signalqualität

➤ 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 oder periodisch



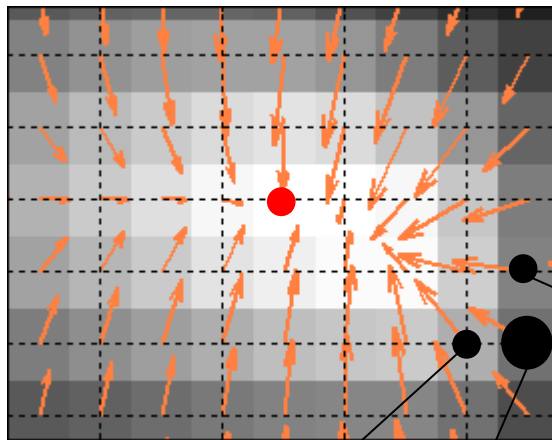
Thermogramm



Induktionserwärmungsanlage (Datenblatt der Fa. IEW)

Thermografie - Signalqualität

- **Auswertedetail „Gradient“**
 - Maß für lokale Änderung



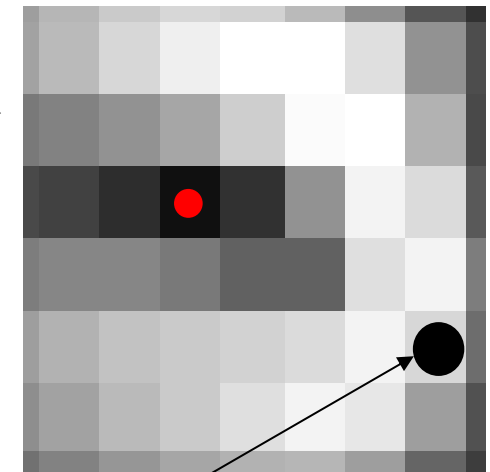
Thermogramm

$$-g_{w(x,y-1)} + g_{w(x,y)} = g_{y(x,y)}$$

$$-g_{w(x-1,y)} + g_{w(x,y)} = g_{x(x,y)}$$

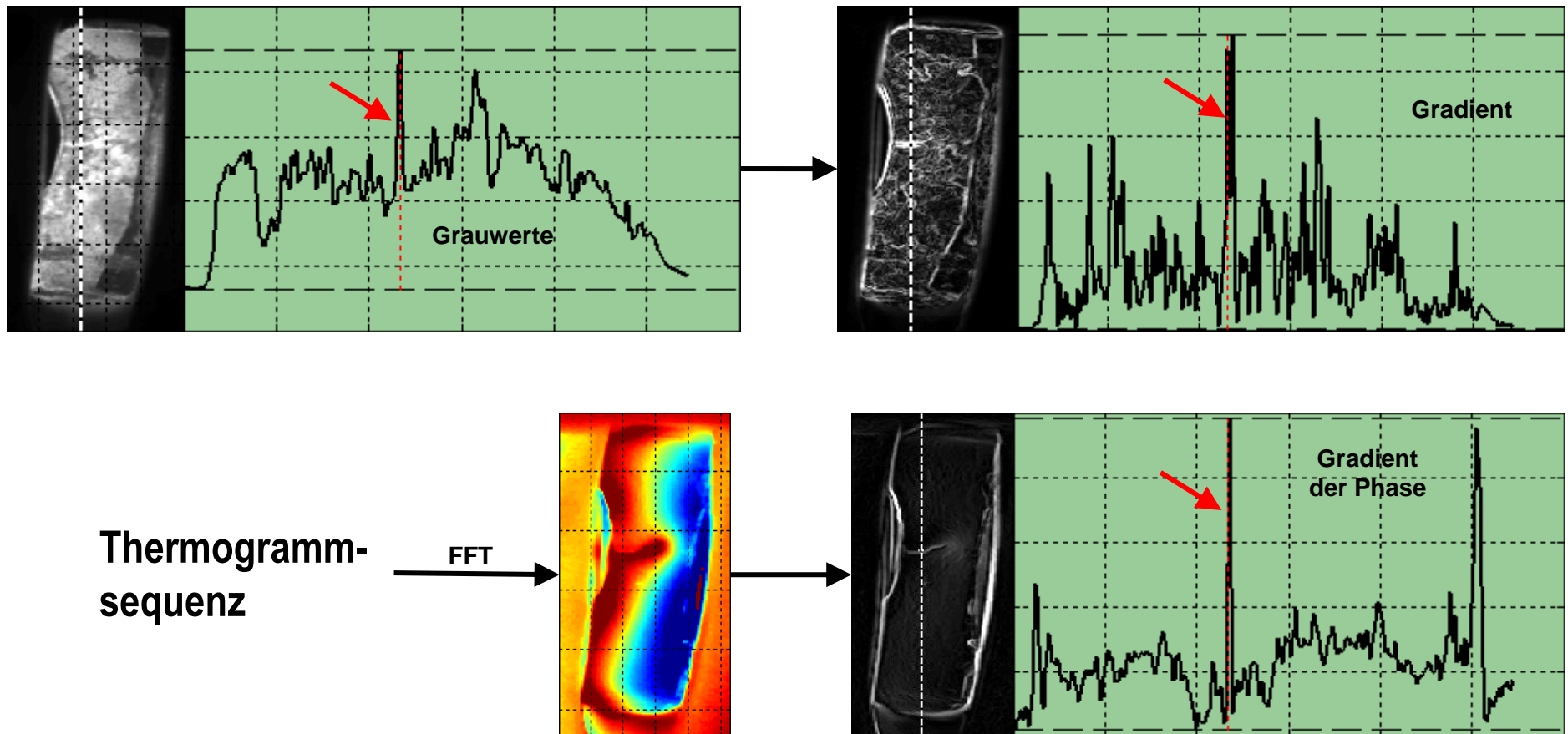
$$\sqrt{g_{x(x,y)}^2 + g_{y(x,y)}^2} = g_{(x,y)}$$

Gradientenbild (Amplitude
des Gradienten)



Thermografie - Signalqualität

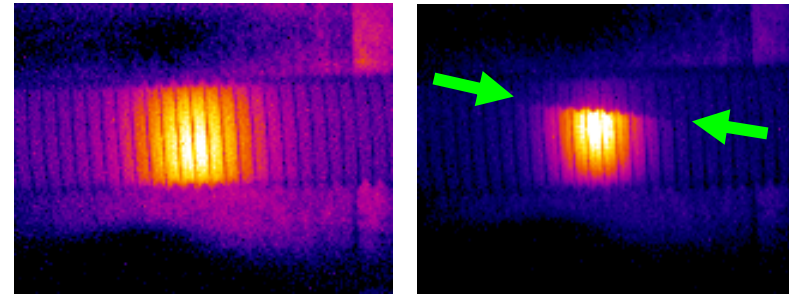
- Induktiv angeregte Rissprüfung
 - Grauwerte und Phase



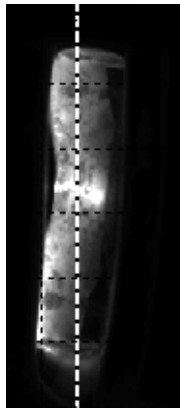
Thermografie - Signalqualität

➤ Auswertedetail „time of T(max)“

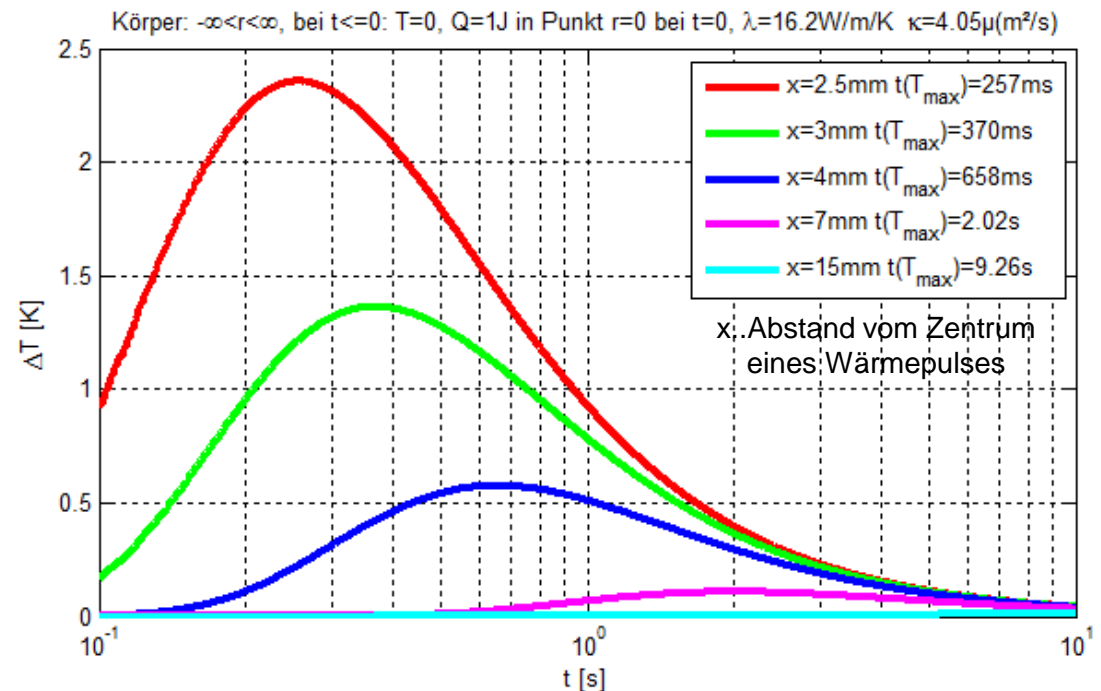
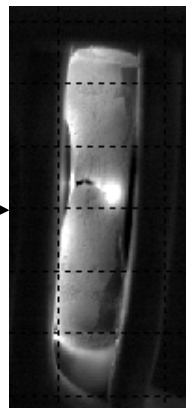
- Ermittle Zeitpunkt, an dem die Temperatur an einer Pixelposition ihr Maximum hat
- Trage Zeitpunkte als Pixelwerte ein
- Ähnliche Eigenschaft wie ein Phasenbild



Thermogramm



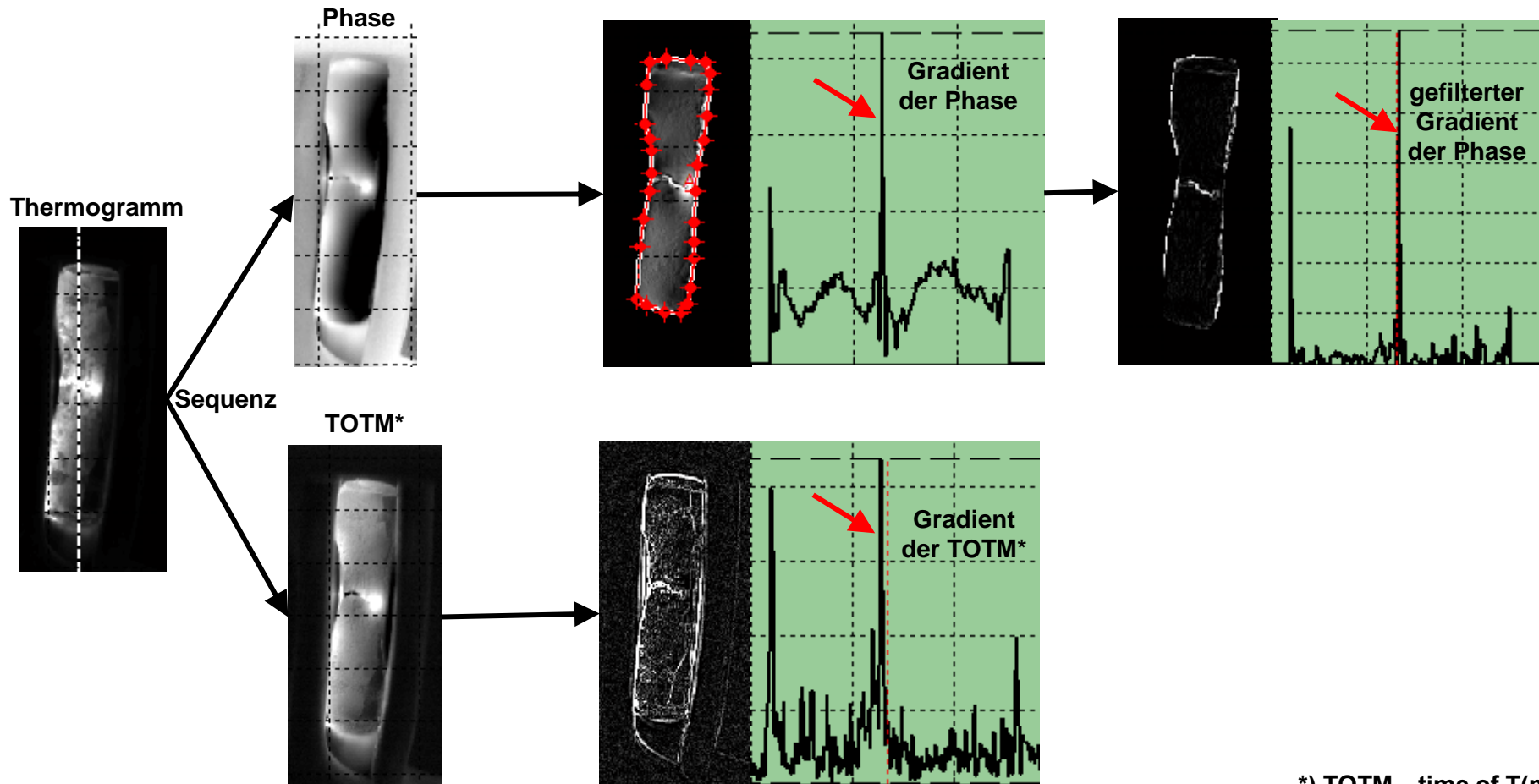
time of T(max)



Thermografie - Signalqualität

➤ Induktiv angeregte Rissprüfung

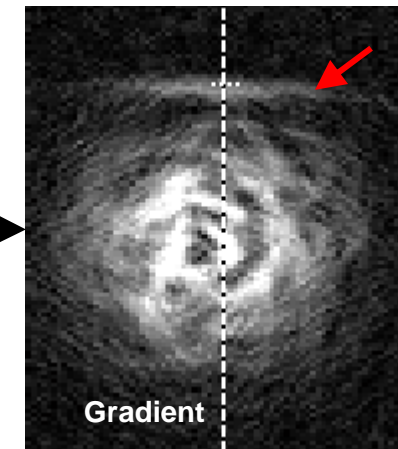
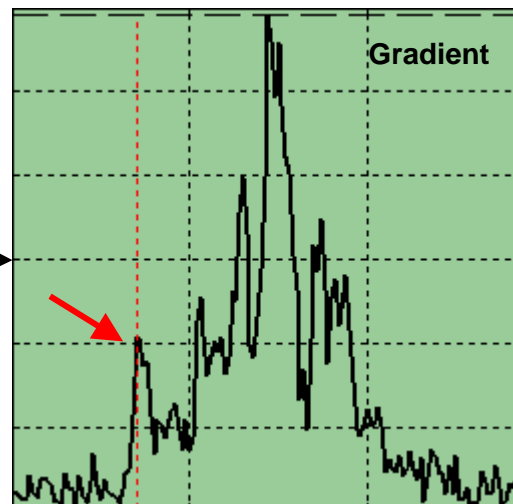
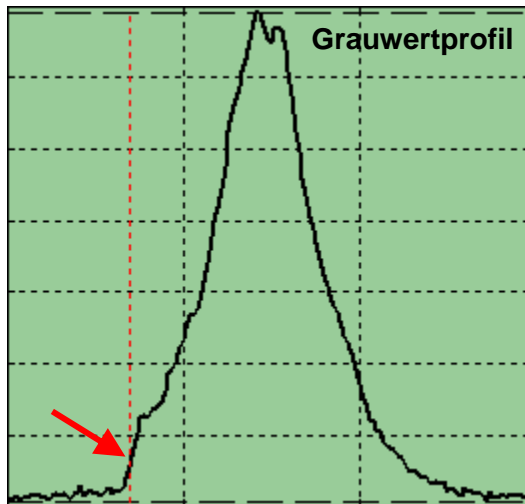
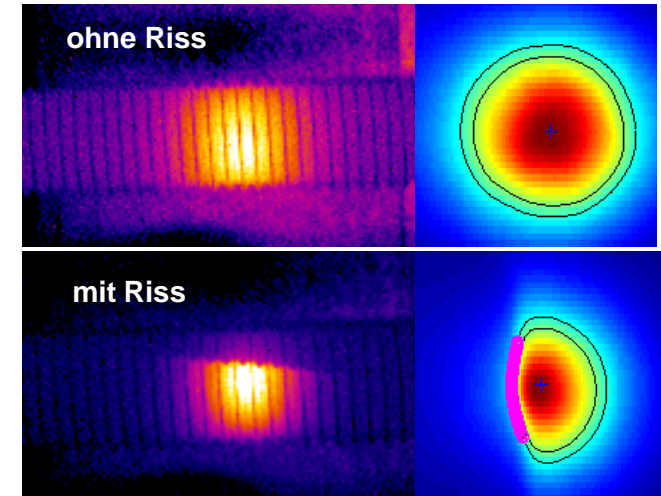
➤ Phase und „time of T(max)“



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

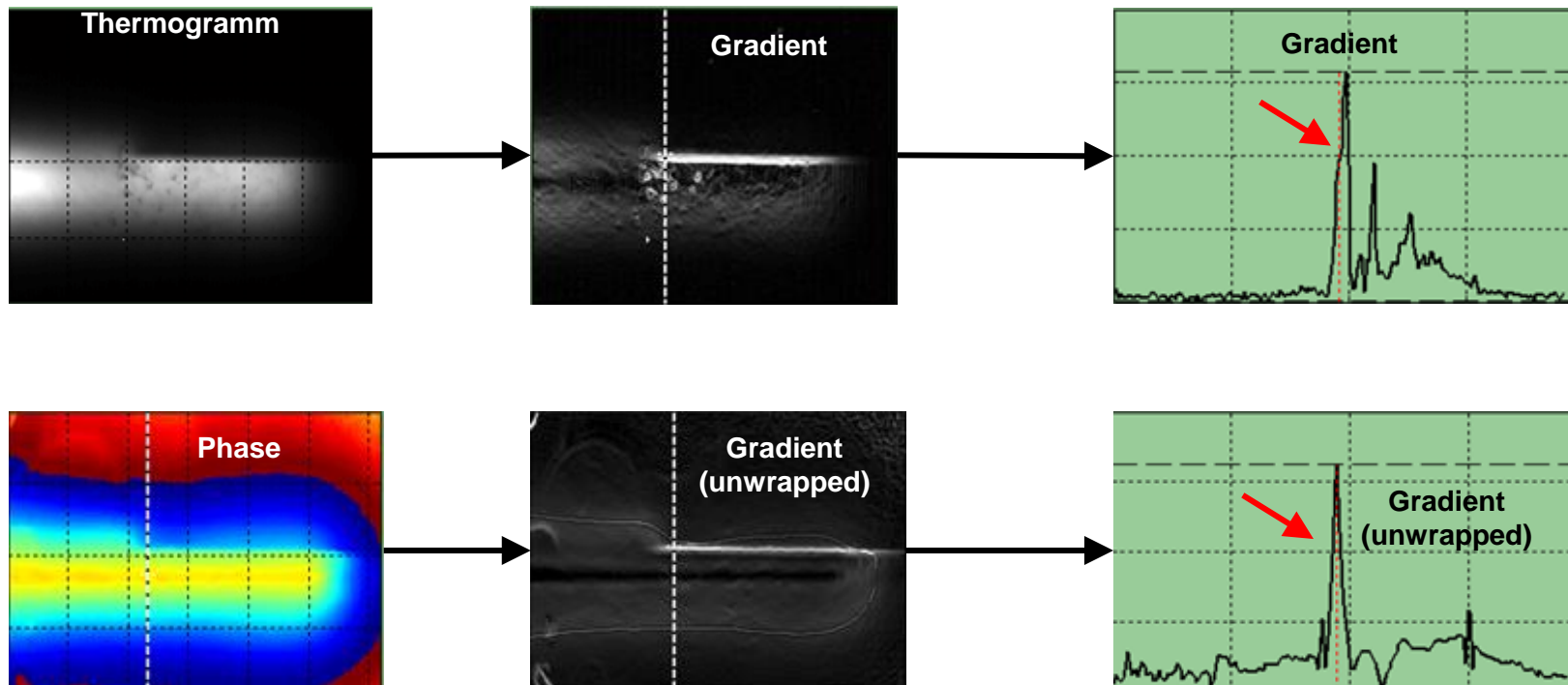
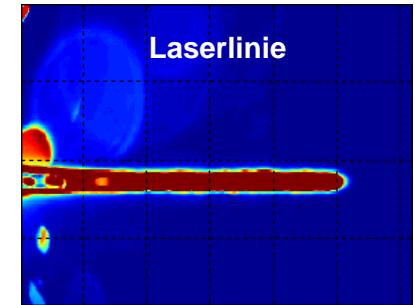
Thermografie - Signalqualität

- **laserinduzierte Rissprüfung**
 - Anregung mit Linie oder Punkt
 - Temperaturprofil ähnlich zu Gauss-Profil
 - nutzbare Temperaturdifferenz häufig um Größenordnung(en) kleiner als der Temperaturhub



Thermografie - Signalqualität

- **Laser angeregte Rissprüfung**
 - Laserlinie / Puls
 - Thermogramm mit gutem Kontrast und Phase



Thermografie - Signalqualität

➤ Auswertedetail „unwrap“

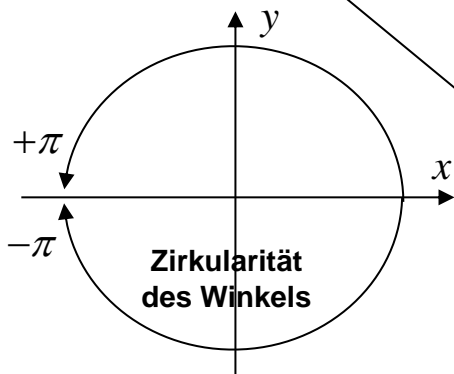
➤ Beseitigen des unerwünschten Phasensprungs

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

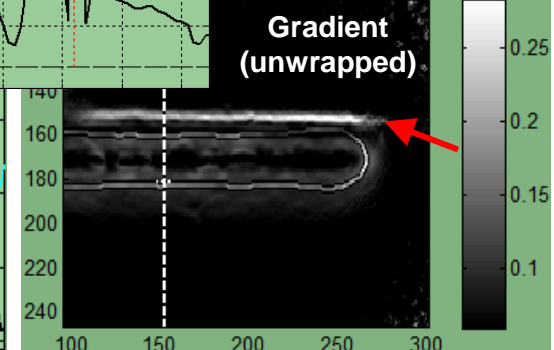
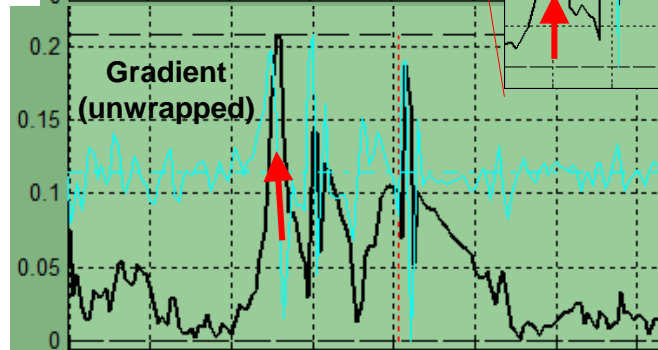
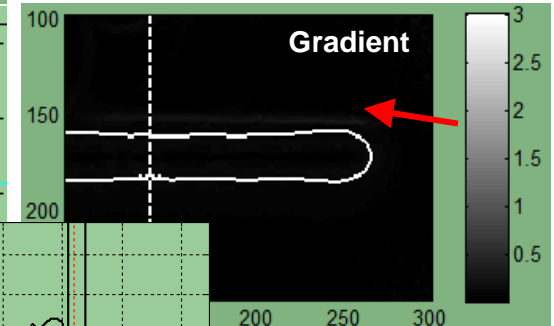
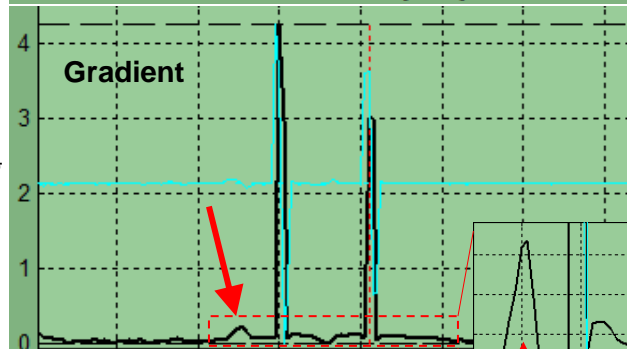
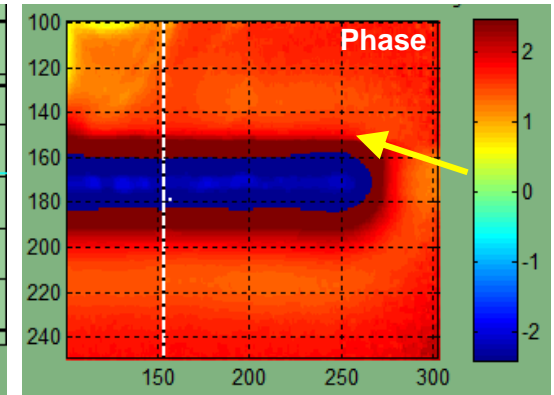
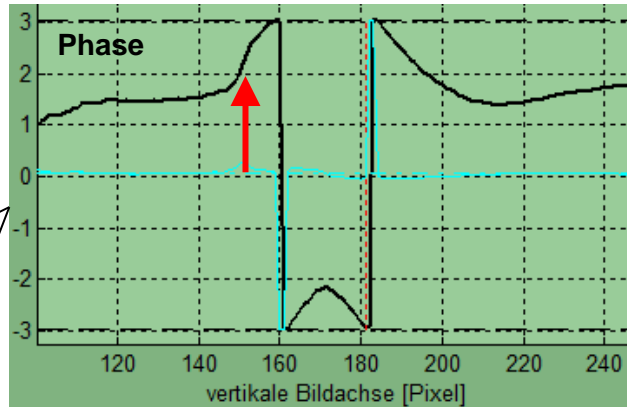
$$\varphi_{xc} = \varphi_x | -\pi < g_x < \pi$$

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

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



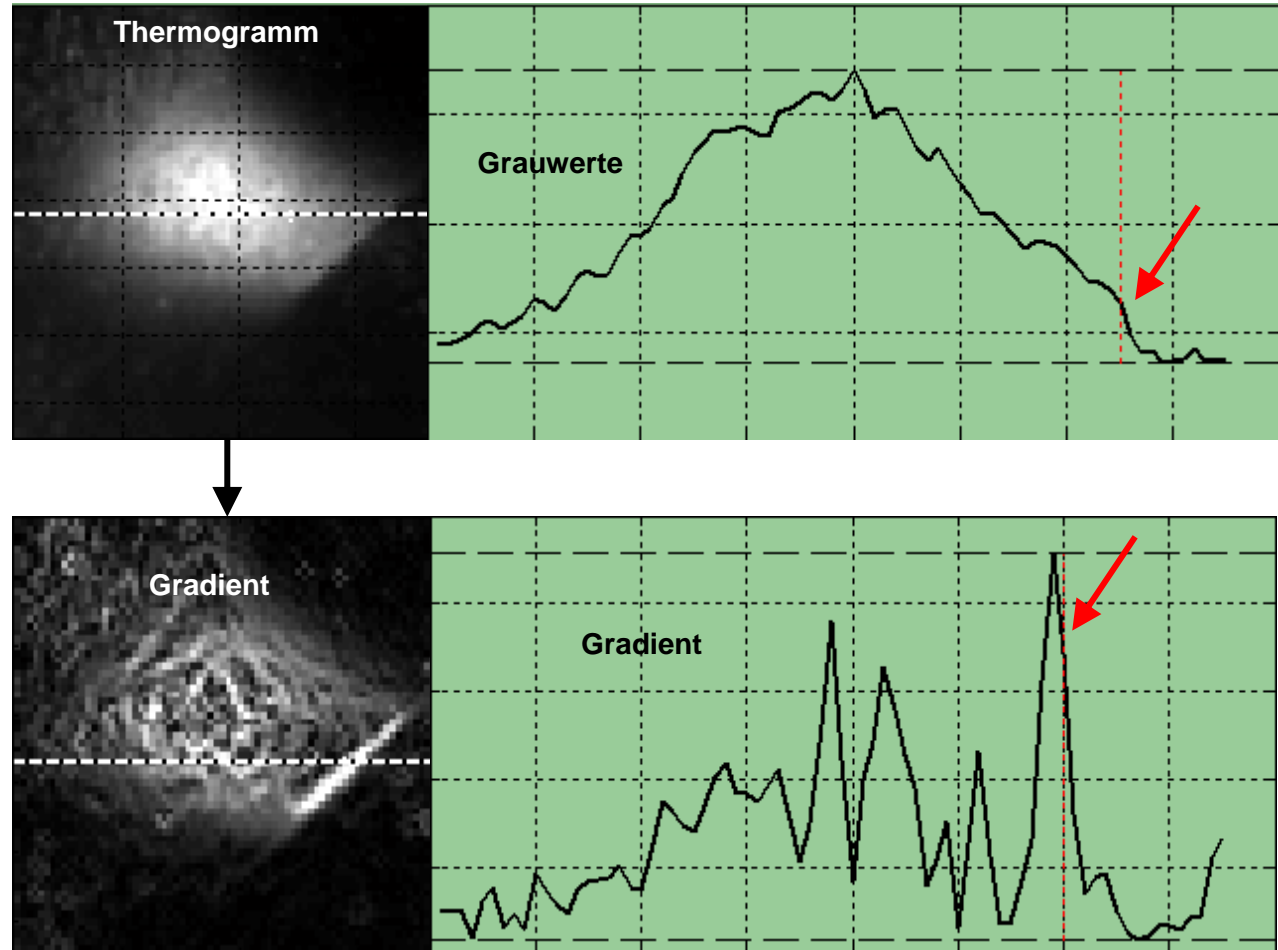
$$\sqrt{g_{xc}^2 + g_{yc}^2} = g_c$$



Thermografie - Signalqualität

➤ Laser angeregte Rissprüfung

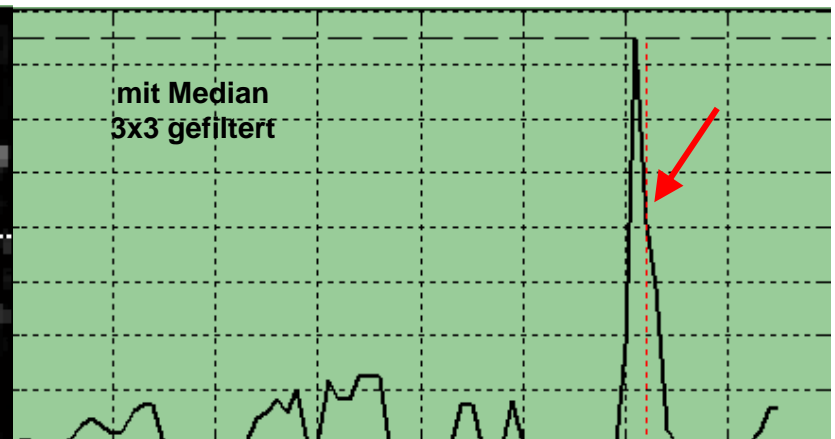
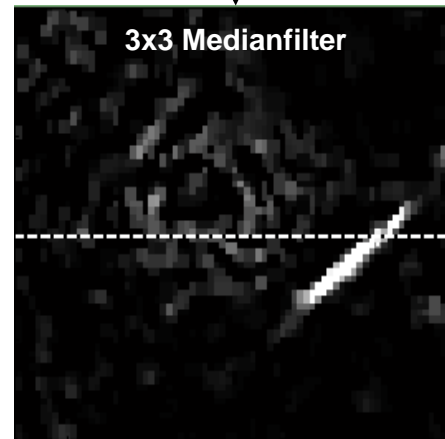
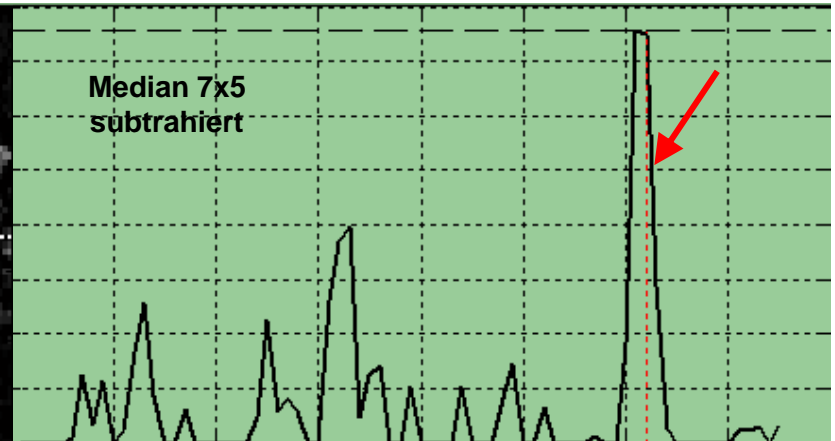
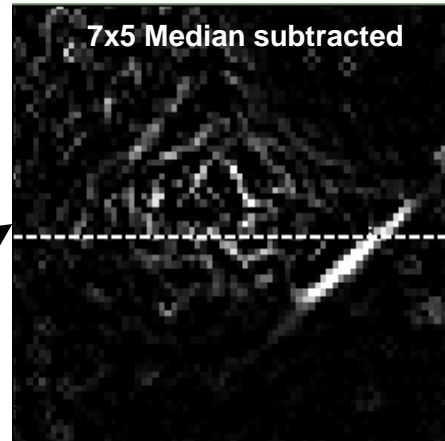
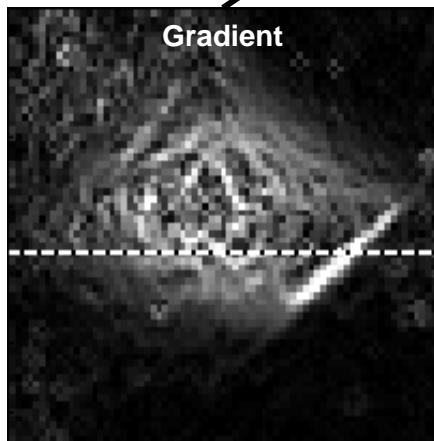
- Laserspot / Puls
- Thermogramm
- Gradient



Thermografie - Signalqualität

➤ Laser angeregte Rissprüfung

- Laserspot / Puls
- Thermogramm
- Gradient
- Hintergrund subtrahiert
- gefiltert

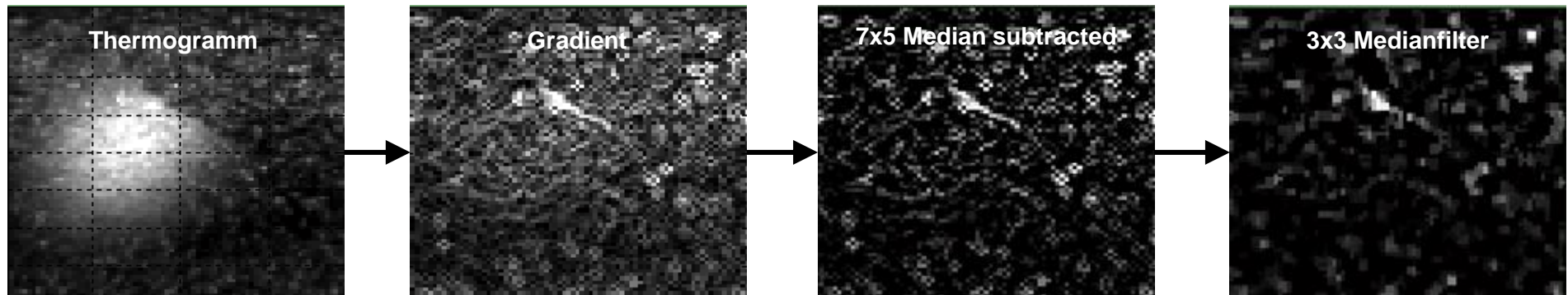
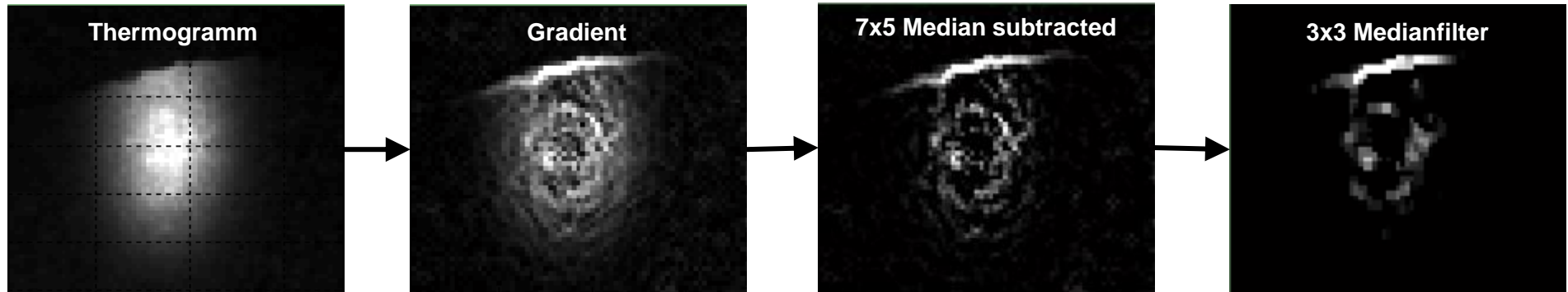


Thermografie - Signalqualität

➤ Laser angeregte Rissprüfung

➤ Laserspot / Puls

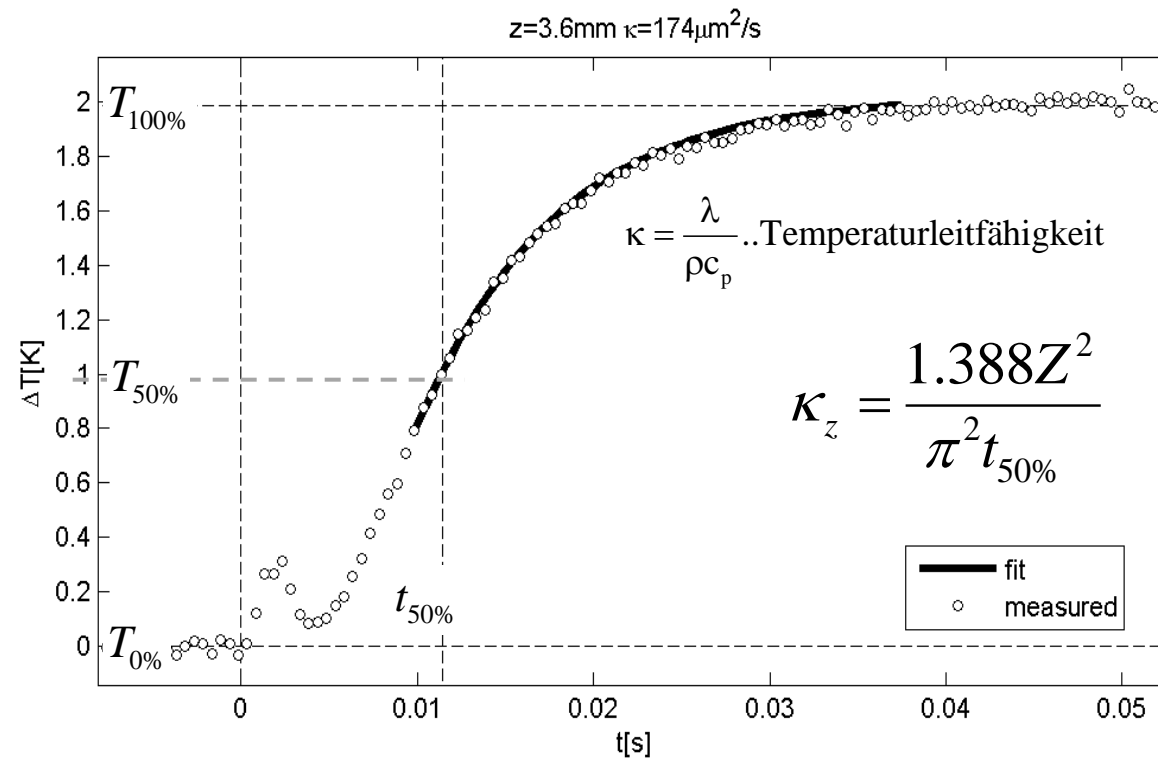
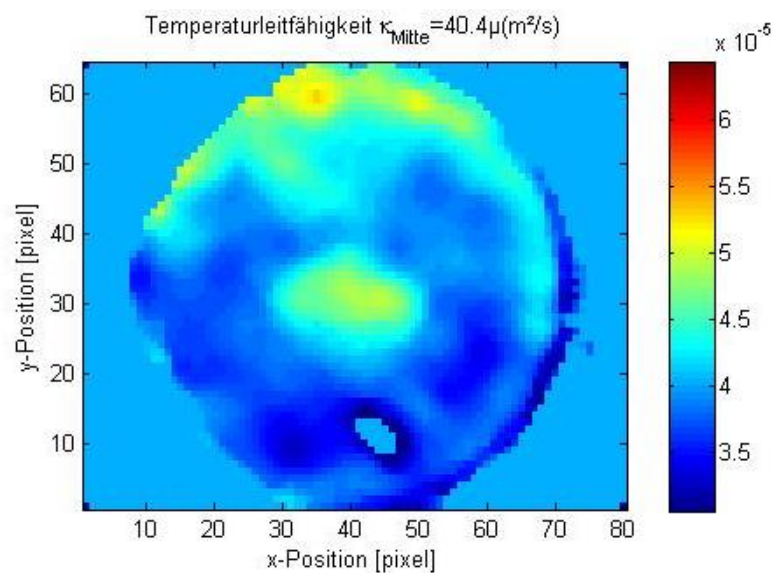
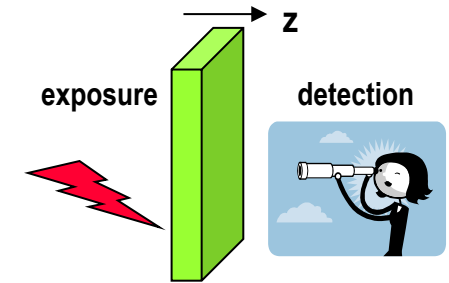
➤ Thermogramm → Gradient → Hintergrund subtrahiert → gefiltert



Thermografie - Signalqualität

➤ Blitzanregung

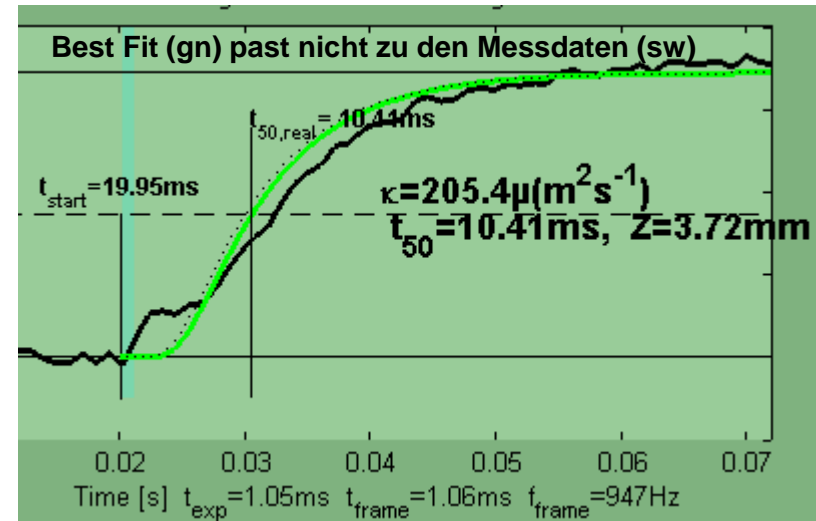
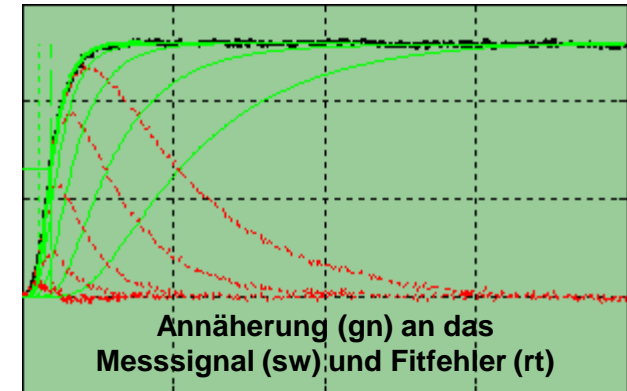
- ortsauflösende Temperaturleitfähigkeitsmessung
- Detektion von lokalen Inhomogenitäten



Thermografie - Signalqualität

➤ Blitzanregung

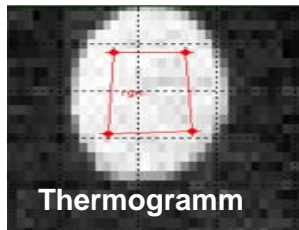
- Ergebnissignal bekannt und gut vorausberechenbar
 - Pulsantwort (Dirac-Blitz) berechenbar
 - Finite Blitzdauer durch Faltung berücksichtigt
- Best Fit durch iterative Annäherung
 - Temperaturleitfähigkeitswert und Maximalamplitude alternierend nachstellen, bis die theoretische Voraussage zum Messergebnis passt.
- Interpretation
 - Ein guter Fit lässt sich nur für homogene Materialien und für einen strikt eindimensionalen Wärmefluss herstellen.
 - Die Methode beinhaltet also Information darüber, ob das Ergebnis schlüssig ist.



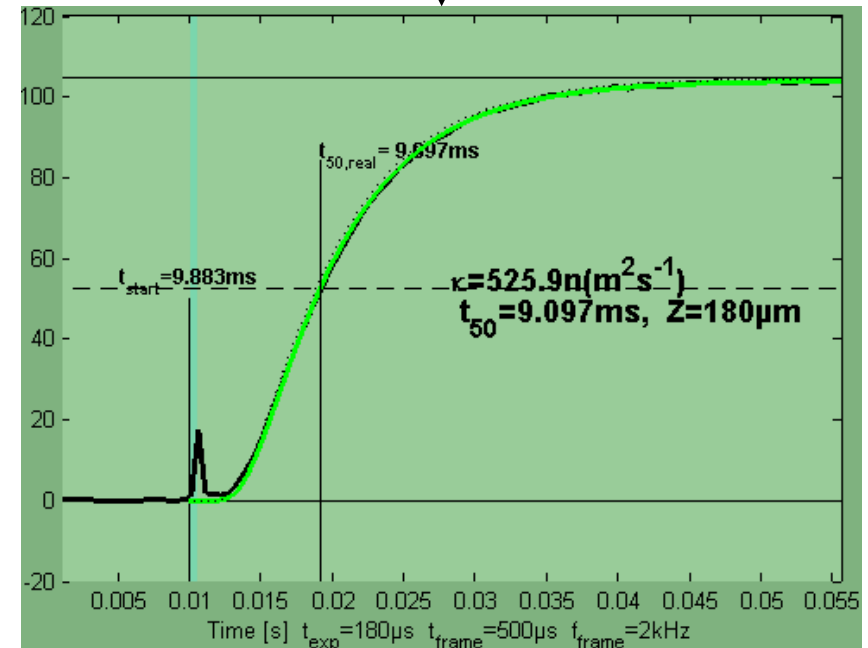
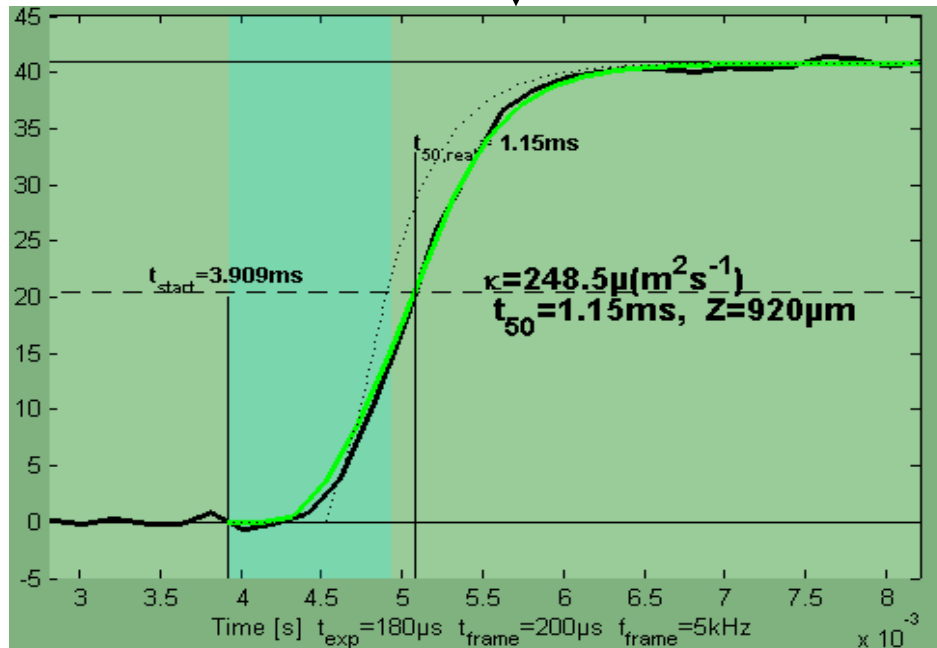
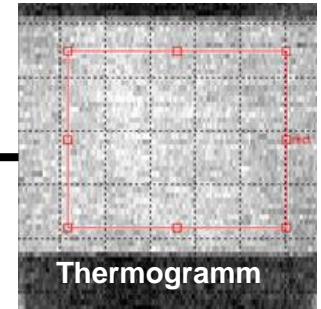
Thermografie - Signalqualität

Blitzanregung

Beispiele guter Signaldynamik

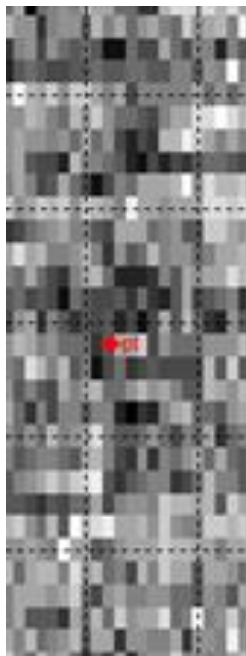


Ein Messpunkt auf der Zeitachse ist jeweils der Mittelwert der Pixelwerte in der markierten Fläche

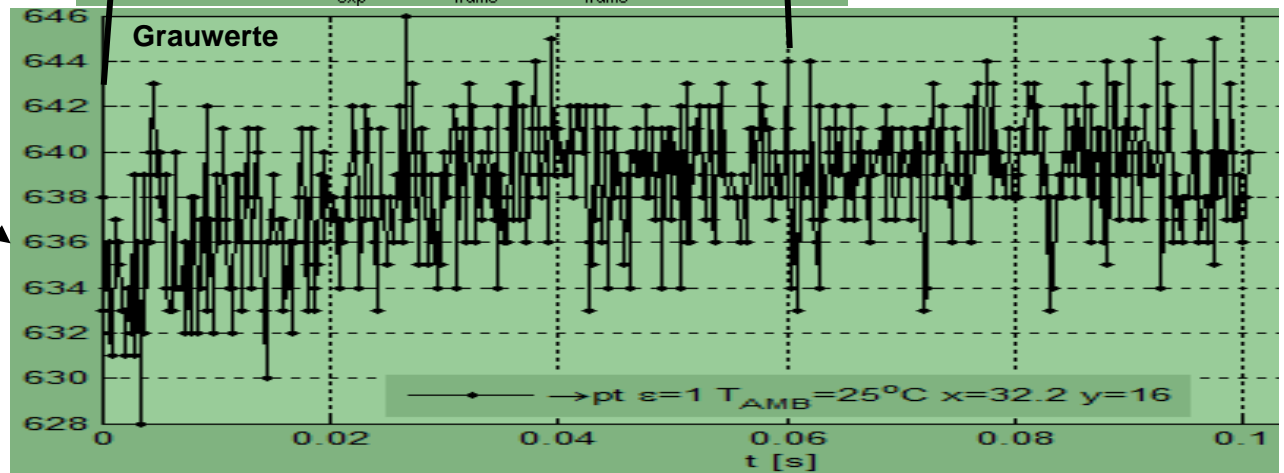
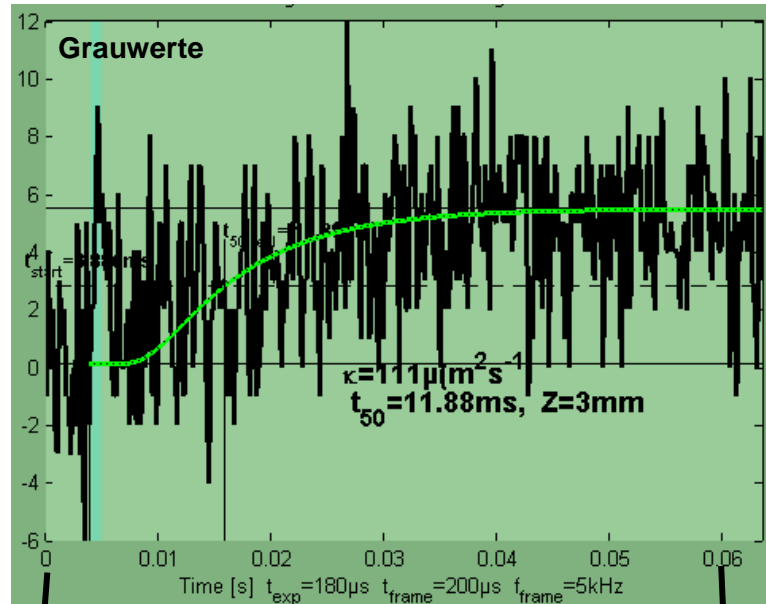


Thermografie - Signalqualität

- **Blitzanregung**
 - Beispiel schlechter Signaldynamik



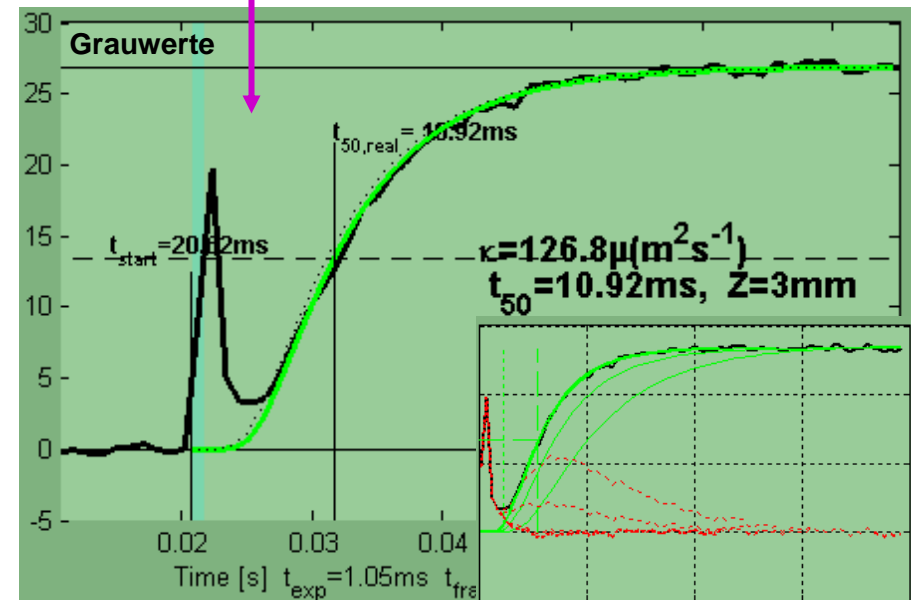
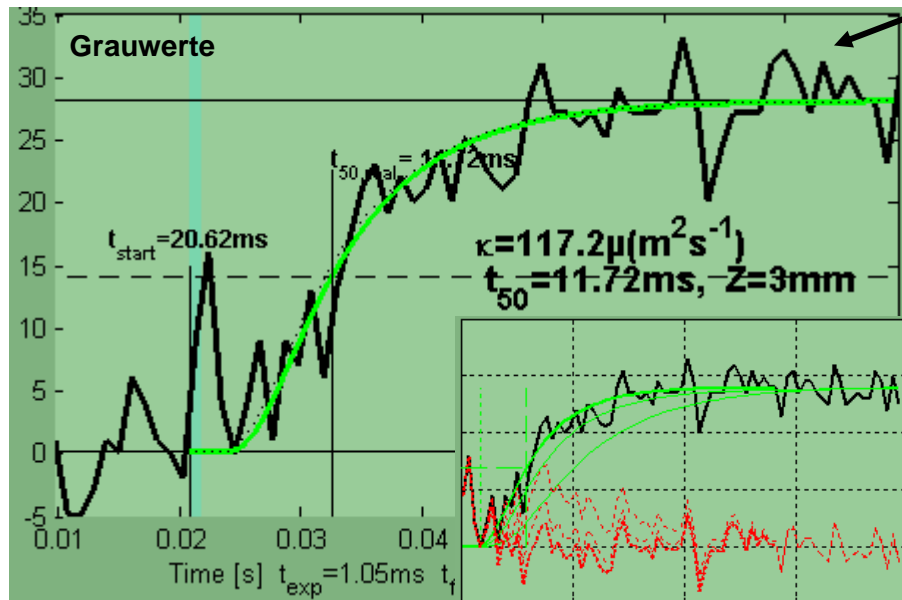
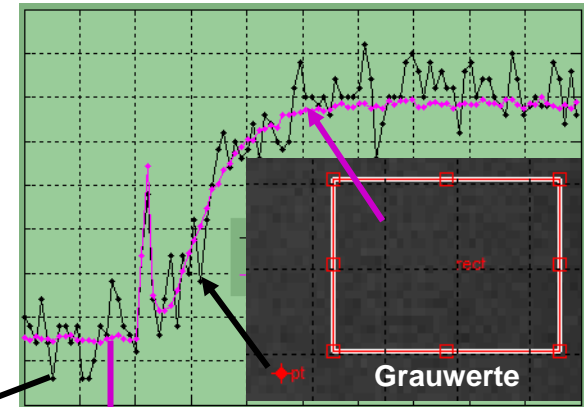
Thermogramm



Thermografie - Signalqualität

➤ Blitzanregung

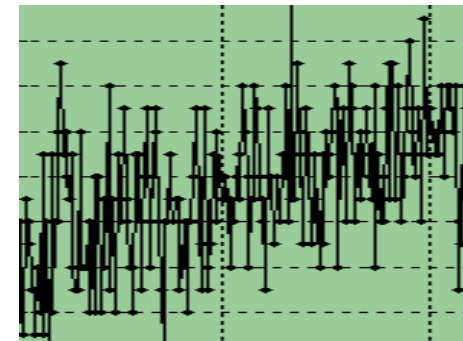
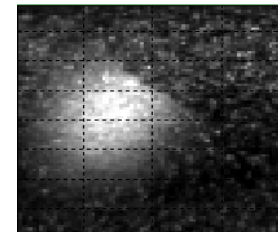
- Gegenüberstellung guter und schlechter Signaldynamik
- gleicher Prüfling → gleiche Materialeigenschaft (begründete Annahme)



Thermografie - Signalqualität

➤ Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

- Reale Signale enthalten Störanteile. Das Ziel, die Störanteile zu reduzieren ist in praktischen Anwendungen nur im begrenzten Maße möglich.
- Oft begrenzt der Störanteil die Genauigkeit bzw. die Zuverlässigkeit einer Auswertung, oder macht sie gar unmöglich.
- Eine Vorhersage über die Auswirkung des Störsignals auf die Auswertequalität nur aufgrund des Störanteils (Signaldynamik) scheint nicht möglich zu sein.
- Vor allem in Bildern ist der menschliche Betrachter der automatischen Signalverarbeitung meistens überlegen. (Relationen, Kontrast, Strukturen)
- Bei zeitlichen Entwicklungen tut sich der Mensch schwer, und die automatische Auswertung ist dem Menschen häufig überlegen. (Erwärmungsrate, Verlauf der Temperatur)
- Algorithmen, die das Signal weitgehend in ihrer Gesamtheit verarbeiten sind dem Menschen meistens überlegen.



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