

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Projekträger des BMBF
Produktion und
Fertigungstechnologien

Forschungszentrum
Karlsruhe



Fraunhofer
Institut
Zerstörungsfreie
Prüfverfahren



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

KombiTherm

Aktive thermographische Prüfmethode zur Absicherung von Hochleistungsfertigungsverfahren

Induktionsthermographie

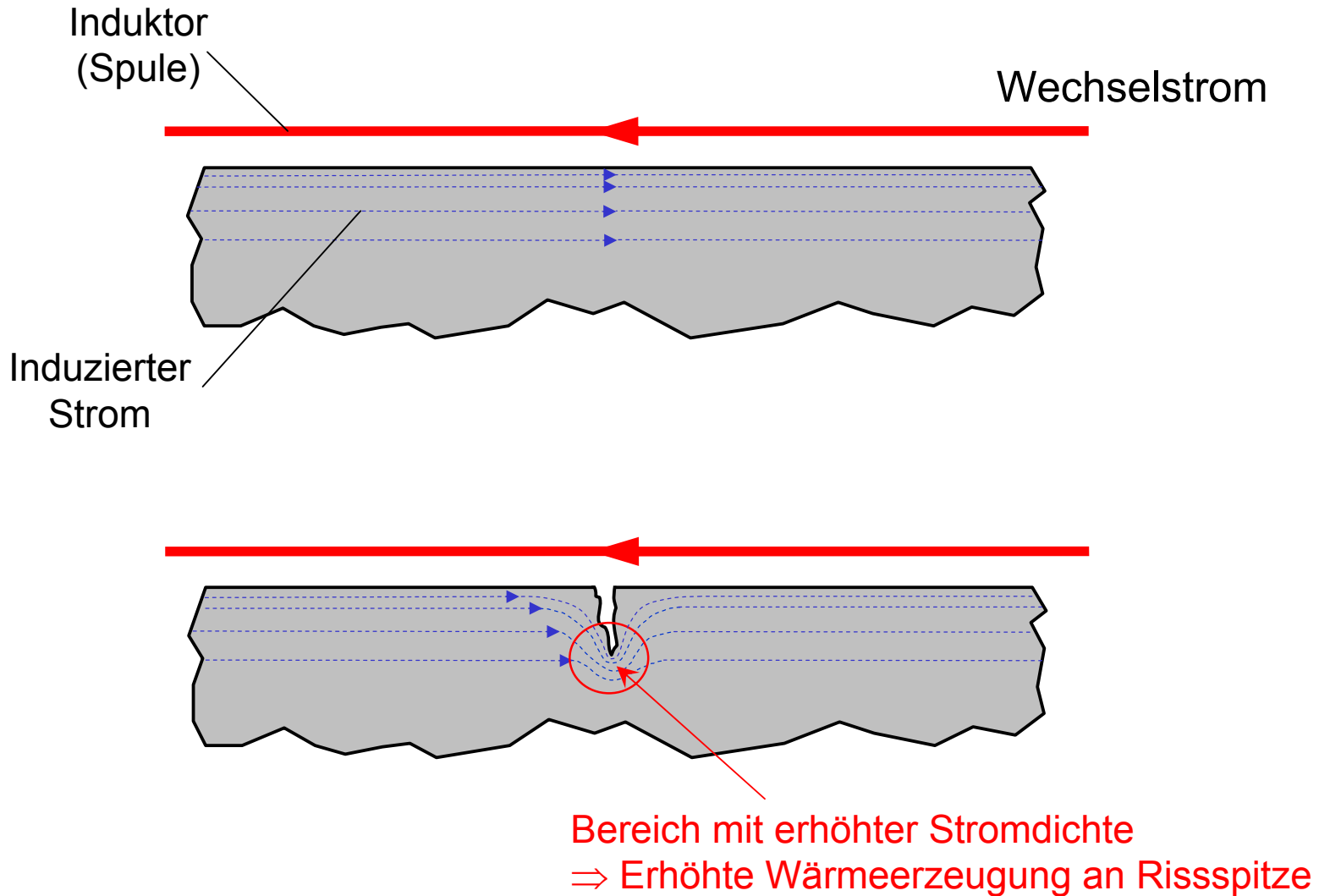
J. Vrana, M. Goldammer
Siemens CT, München

BMBF-Förderprojekt „KombiTherm“:
Förderkennzeichen 02PD2200

- Funktionsprinzip und technische Umsetzung

- Experimente an Proben mit künstlichen Fehlern
 - Erste Beispiele
 - Fehlergeometrie und –ausrichtung
 - Modellriss
 - Restwandstärke

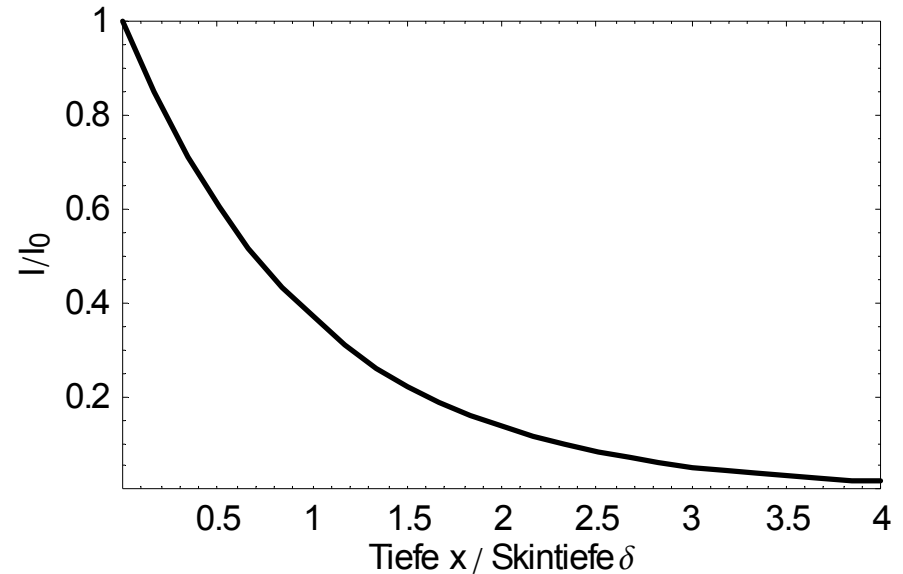
- Experimente an Proben mit realen Fehlern
 - Beispiel: Turbinenschaufel
 - Vergleich von Ultraschallinduzierter Thermographie mit Induktionsthermographie an:
 - Langer Ermüdungsriss
 - Riss unter metallischem Coating



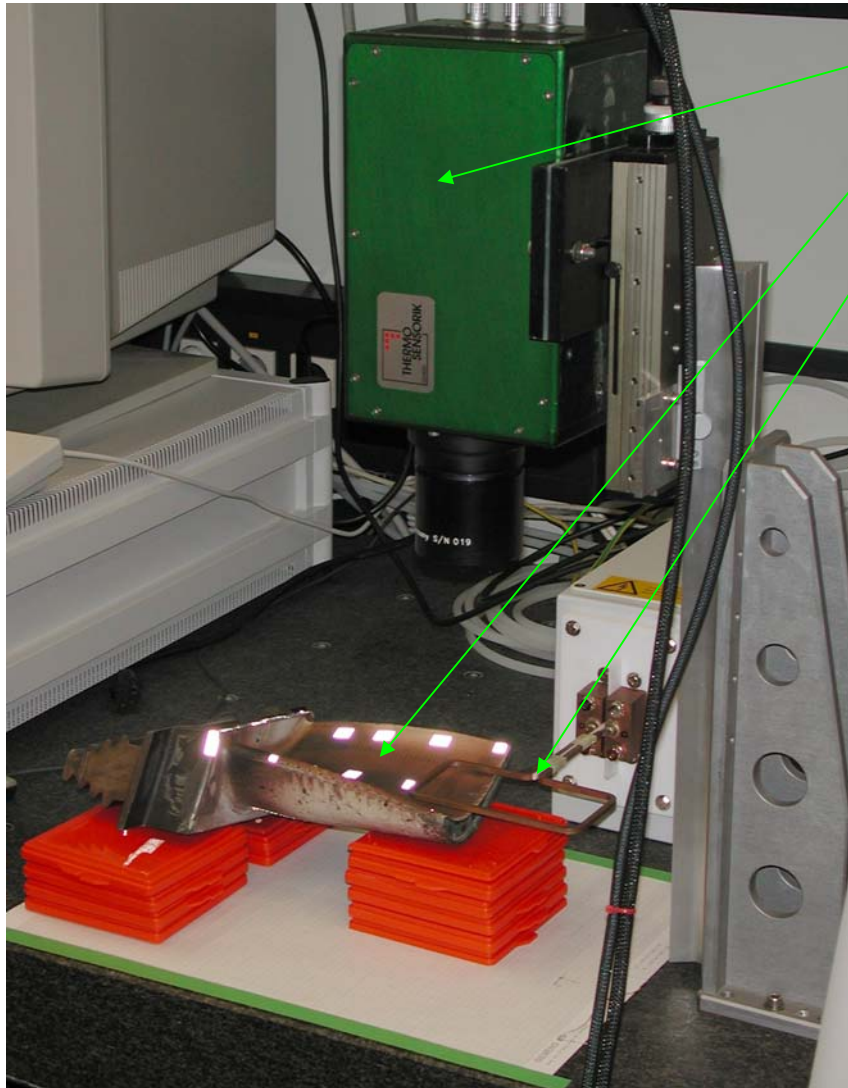
- Strom fließt hauptsächlich an der Oberfläche eines Leiters
- Stromüberhöhung an Kanten
- Skintiefe δ

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

- Spezifischer Widerstand ρ
- Permeabilität μ



		Skintiefen [mm]				
f [kHz]		100	200	300	400	500
unmagnetisch	Inconel	1,80	1,27	1,04	0,90	0,80
	V2A	1,35	0,95	0,78	0,67	0,60
	Al	0,27	0,19	0,15	0,13	0,12
	Cu	0,21	0,15	0,12	0,10	0,09
magnetisch	Stahl	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04
	Fe	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01



IR-Kamera

Probe (Turbinenschaufel)

Induktor



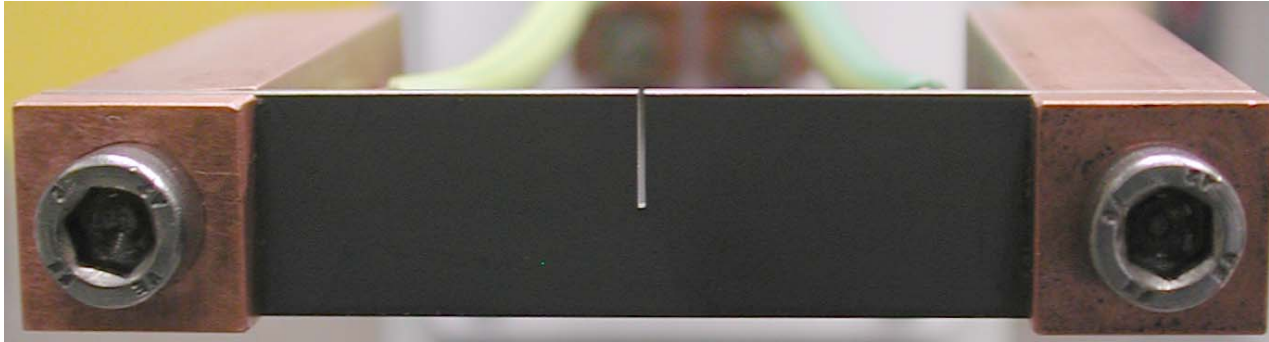
- Hüttinger AXIO 10/450
- 10 kW max.
- 50-1000 kHz
- Minimale Pulslänge mit
 - internem Gate: 50 ms
 - externem Gate: 5 ms
- Typische Anstiegszeit: 10 μ s
- Transformationsverhältnis: 14:1
- Max. Strom: 490 A

- Funktionsprinzip und technische Umsetzung
- Experimente an Proben mit künstlichen Fehlern
 - Erste Beispiele
 - Fehlergeometrie und –ausrichtung
 - Modellriss
 - Restwandstärke
- Experimente an Proben mit realen Fehlern
 - Beispiel: Turbinenschaufel
 - Vergleich von Ultraschallinduzierter Thermographie mit Induktionsthermographie an:
 - Langer Ermüdungsriss
 - Riss unter metallischem Coating

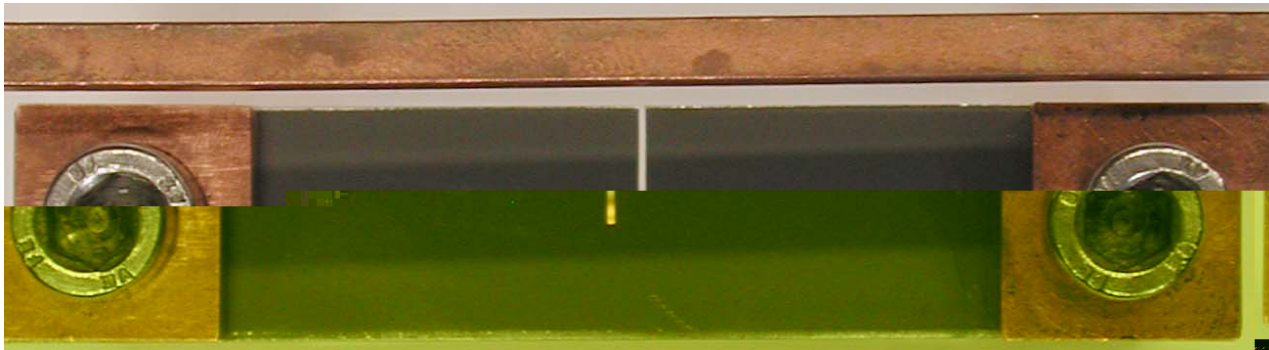
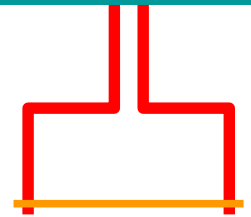


- Material: V2A
- Maße: 80x15x1,5 mm

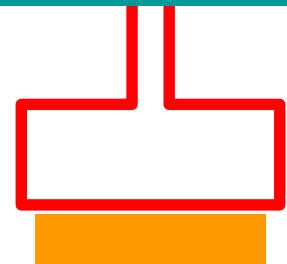
- Pulslänge: 100 ms
- Frequenz: 360 kHz



HF-Generator

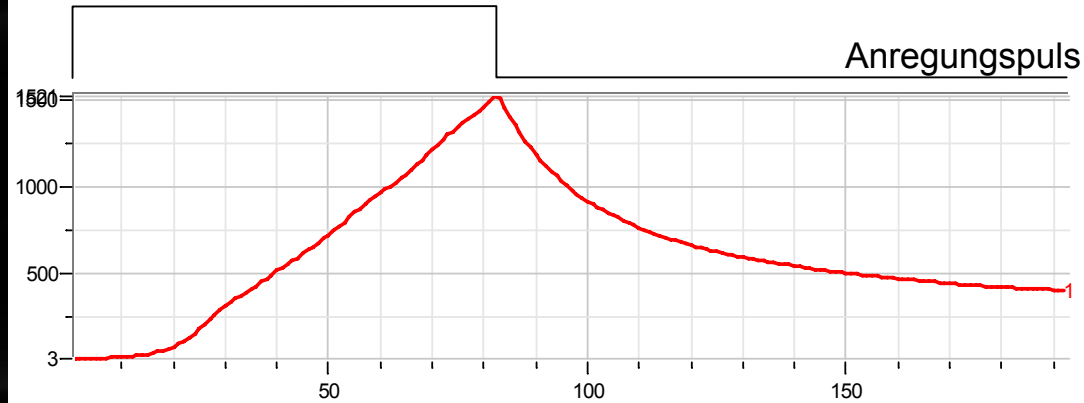
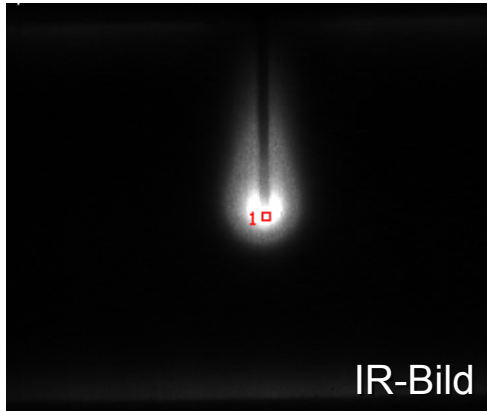


HF-Generator

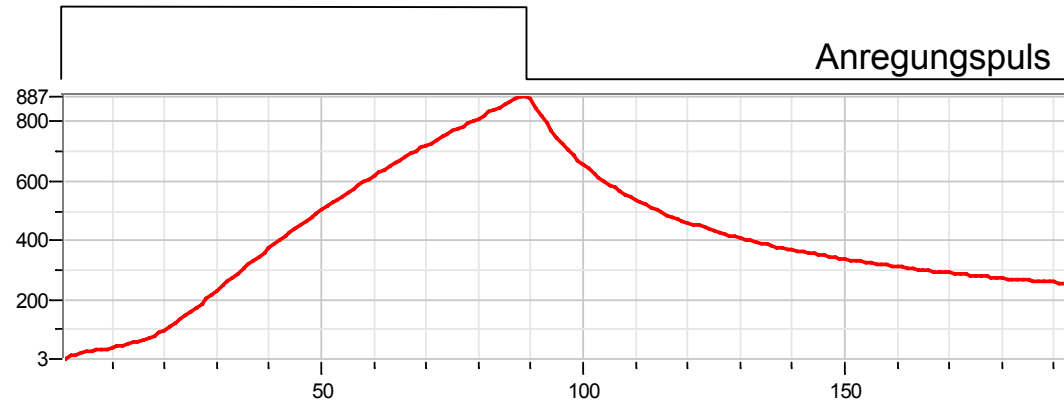
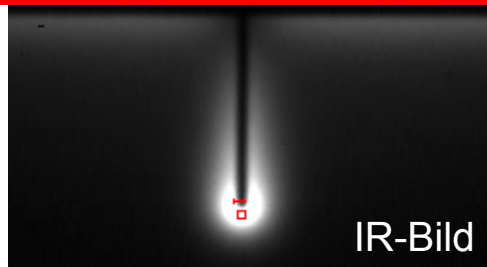


• Schlitzmaße: 0,5x7,5 mm

- Direktkontakt

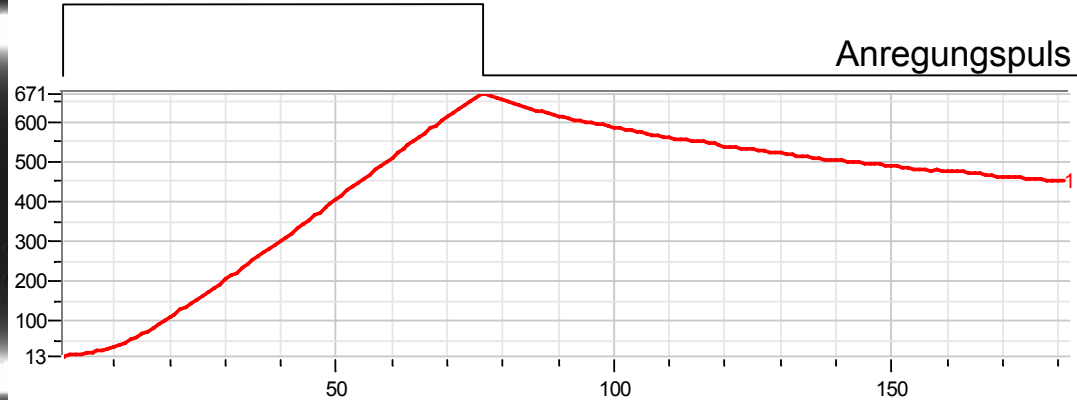
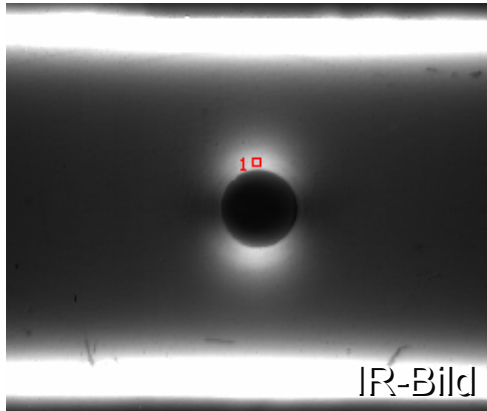
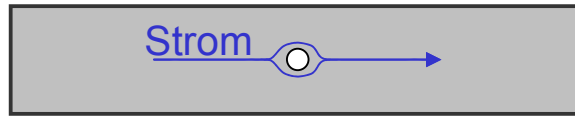


- Induktion

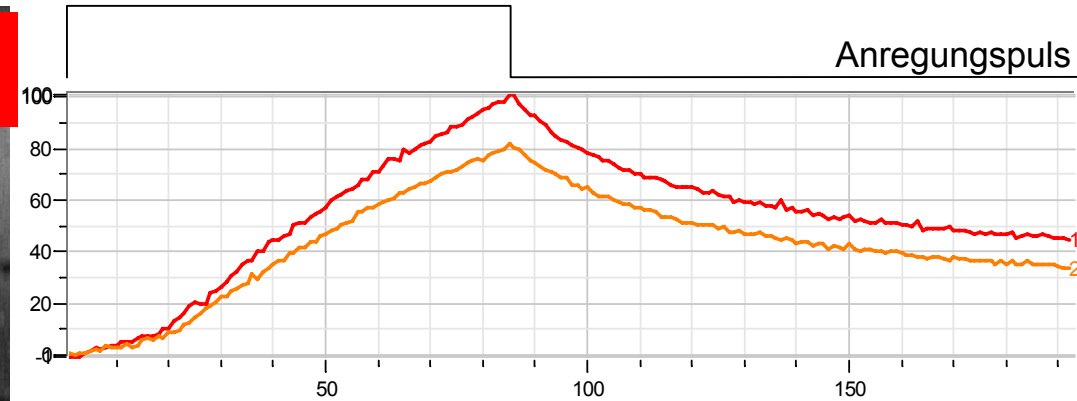
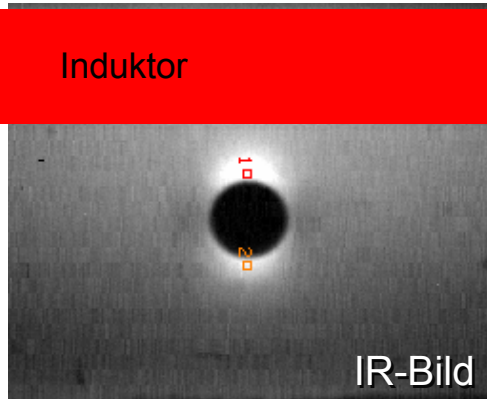


• Bohrungsdurchmesser: 3 mm

• Direktkontakt

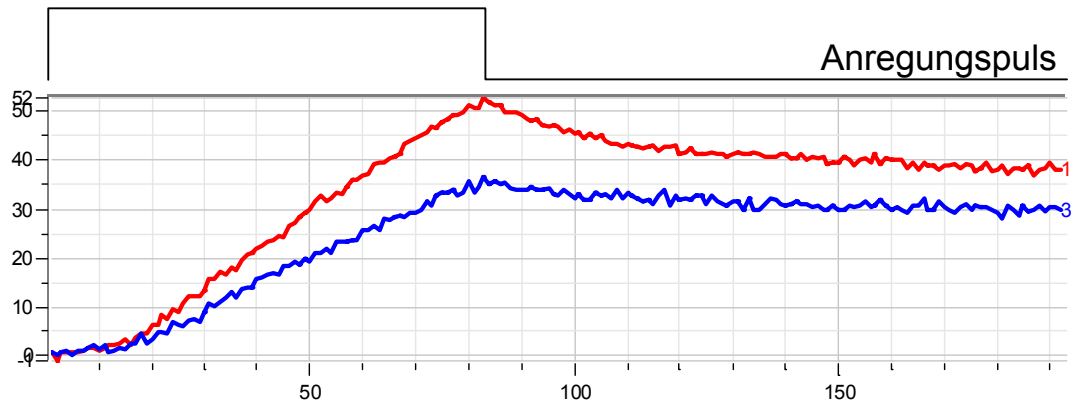
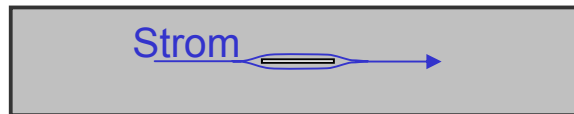
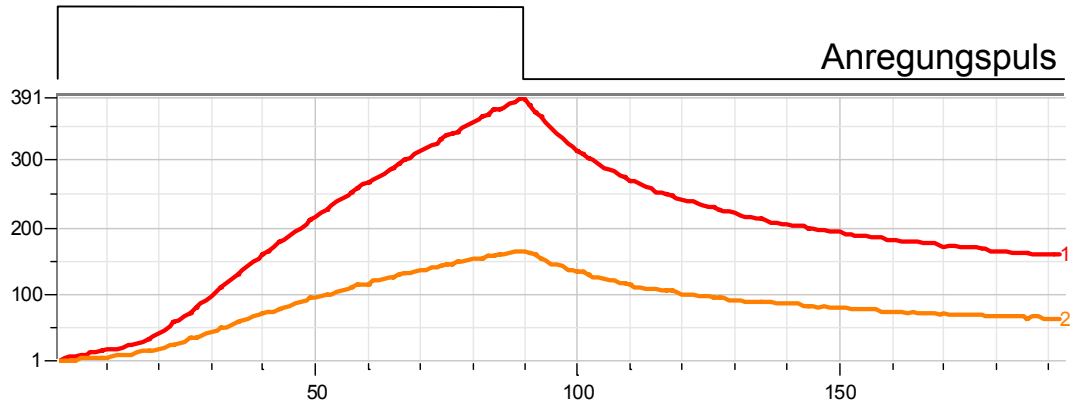
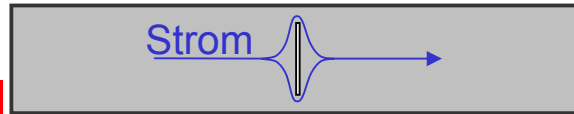
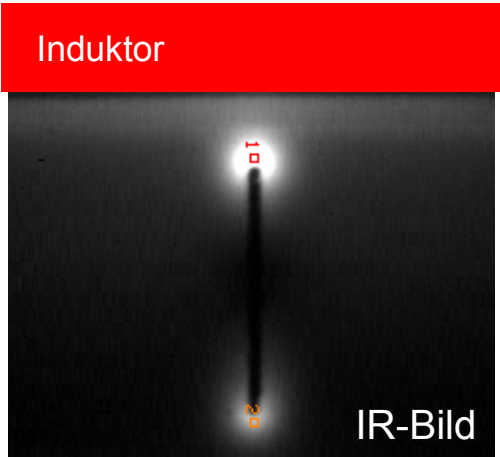


• Induktion

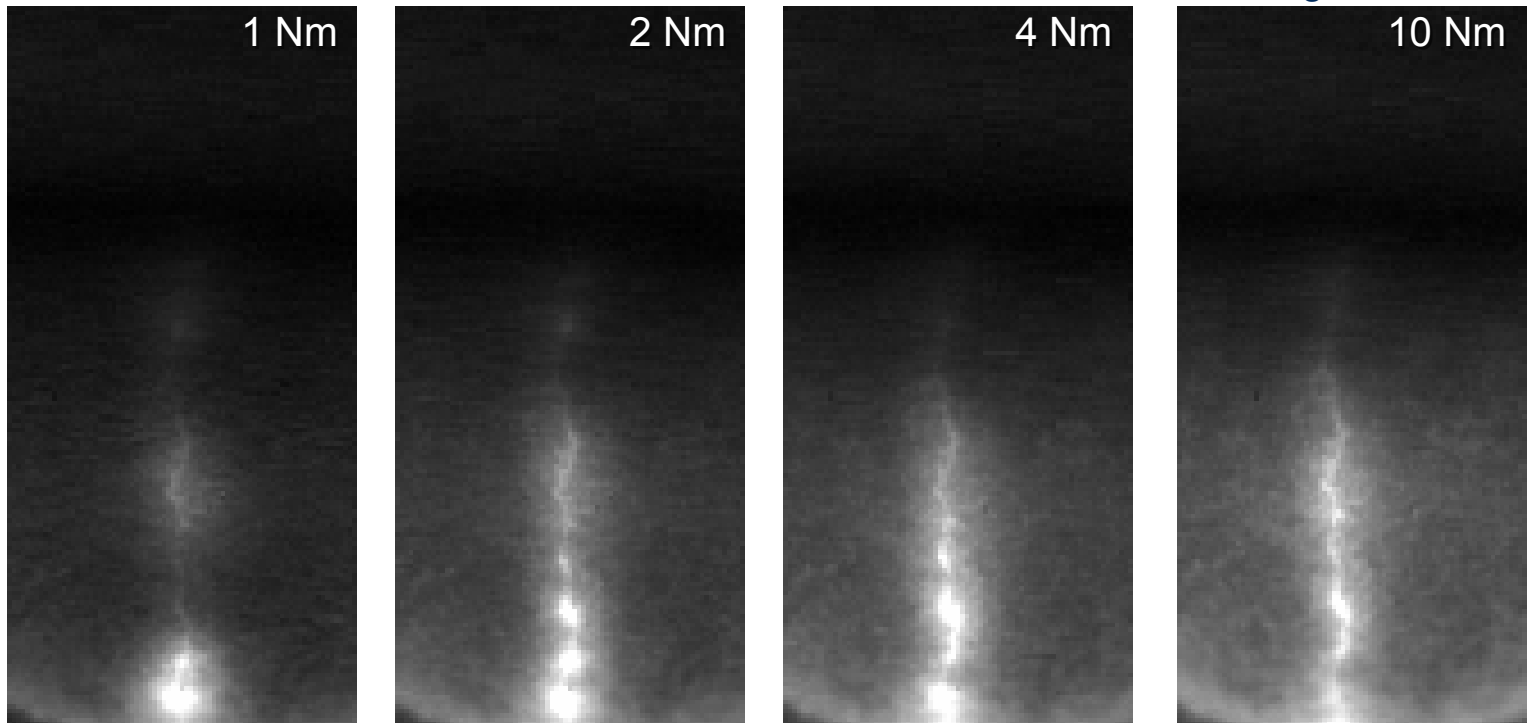
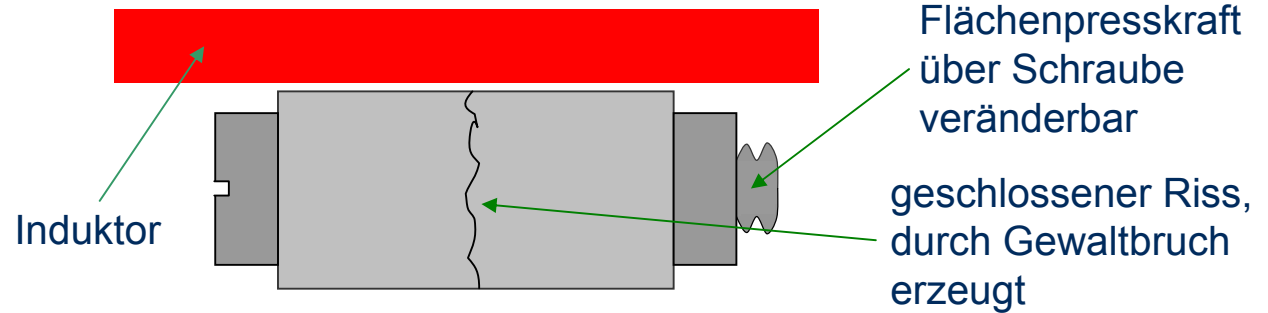


Verhältnis der Temperaturerhöhung (Direkt/Induktion): ca. 10

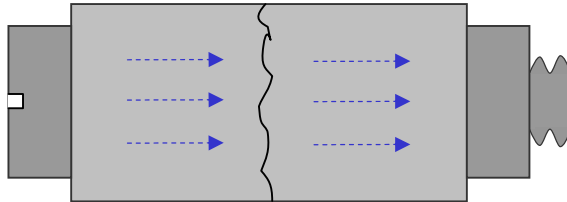
• Schlitzmaße: 10x0,5 mm



- Pulslänge: 50 ms
- Frequenz: 350 kHz

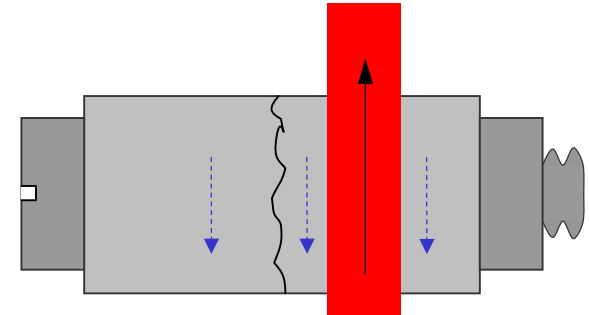
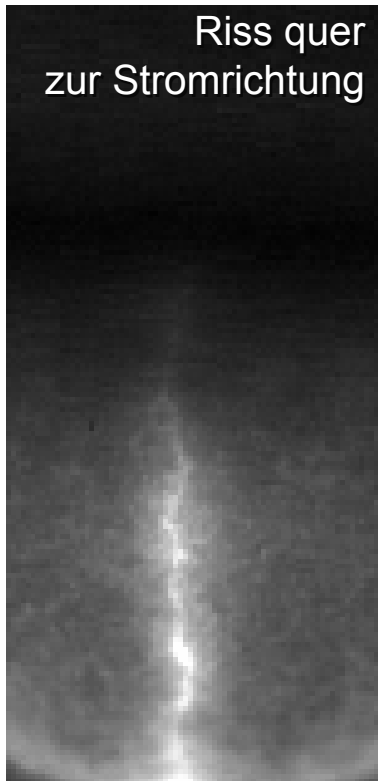


Größere Flächenpresskraft => Riss leuchtet homogener auf

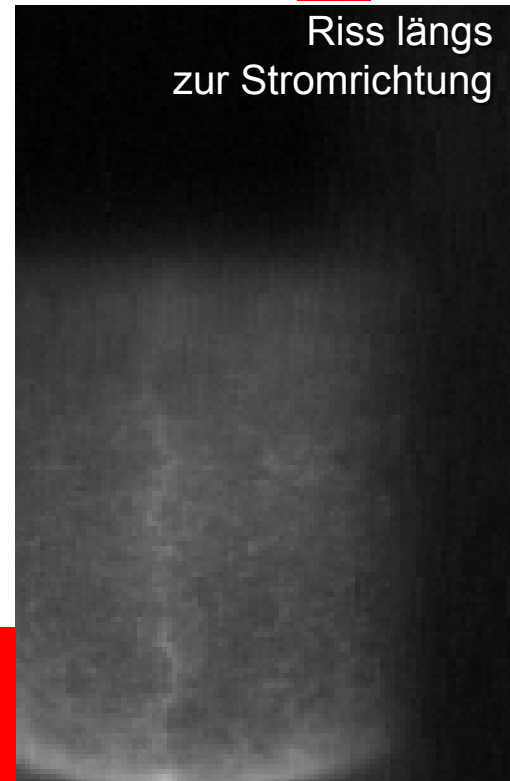


Riss quer zur Stromrichtung

- Pulslänge: 50 ms
- Frequenz: 350 kHz

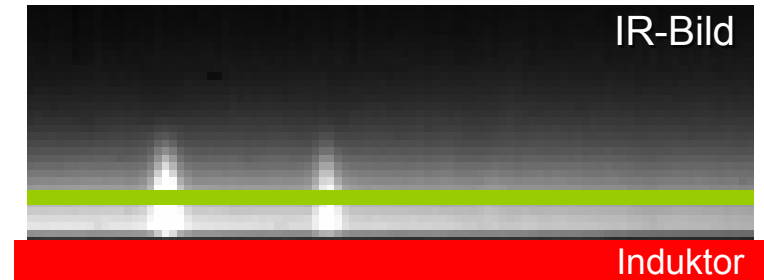
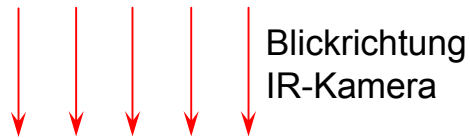


Riss längs zur Stromrichtung

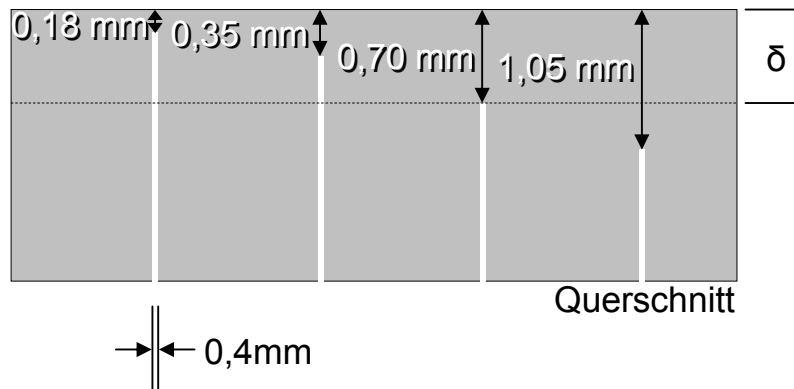


Risserkennung abhängig von Stromrichtung

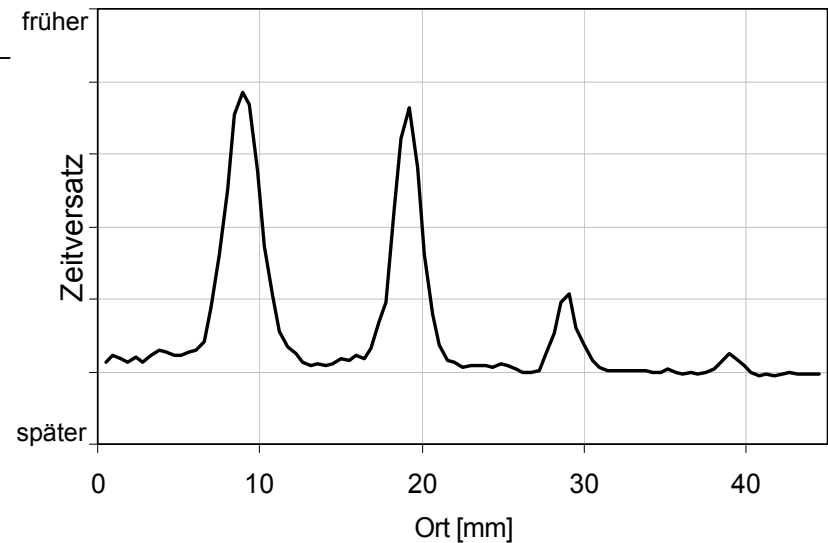
- Pulslänge: 100 ms
- Frequenz: 370 kHz
- Eindringtiefe δ : 0,7 mm
- Material: V2A



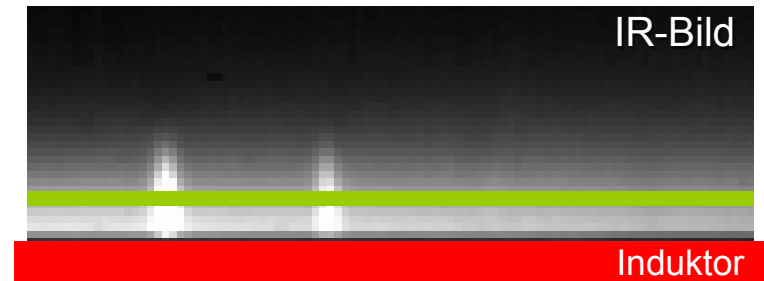
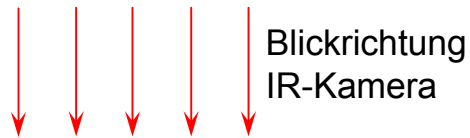
Zeitanalyse entlang Linie



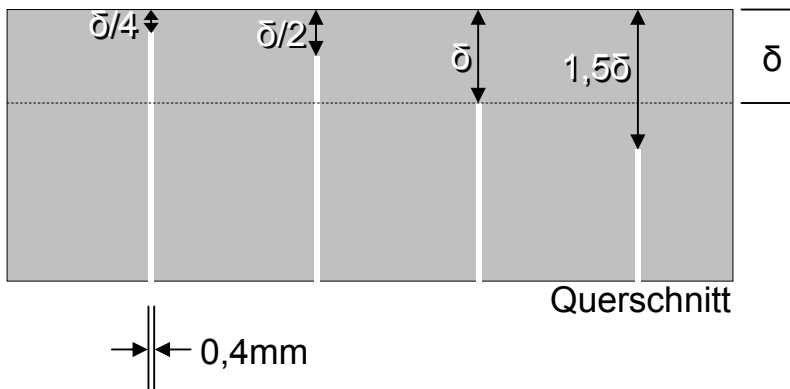
- Restwandstärke bis $1,5 \delta$ zu sehen



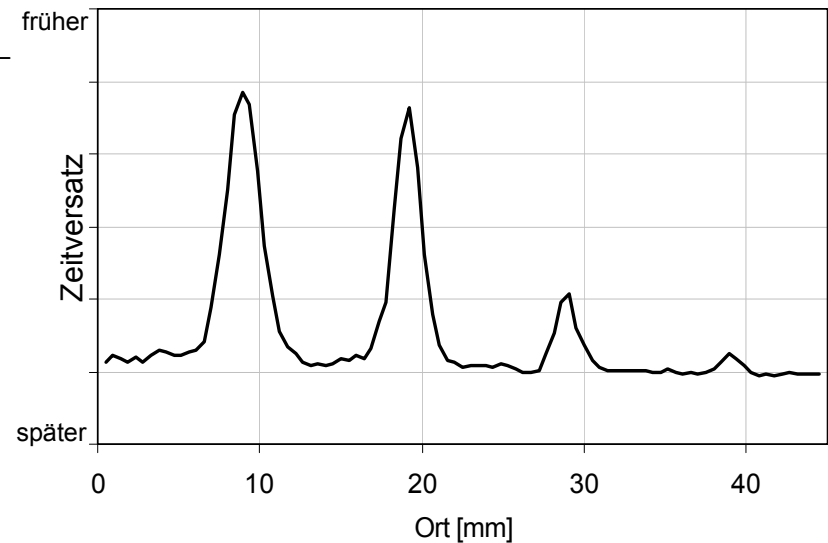
- Pulslänge: 100 ms
- Frequenz: 370 kHz
- Eindringtiefe δ : 0,7 mm
- Material: V2A



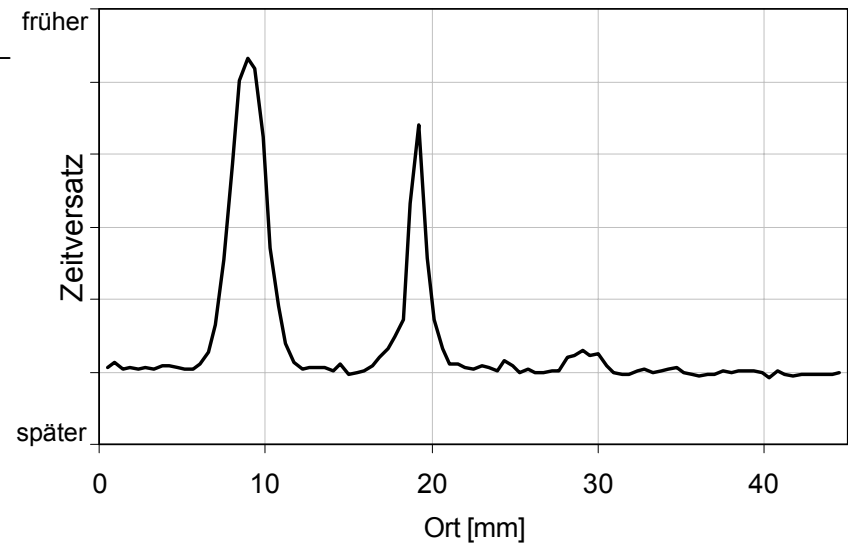
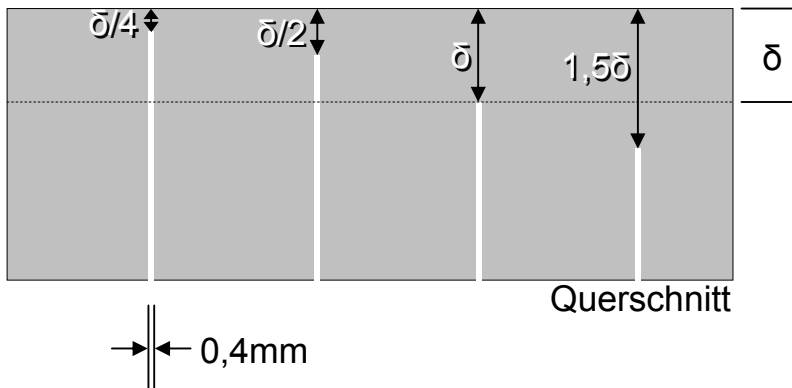
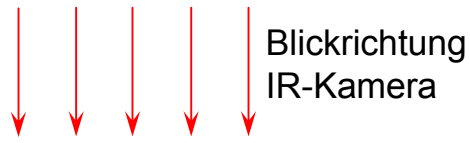
Zeitanalyse entlang Linie



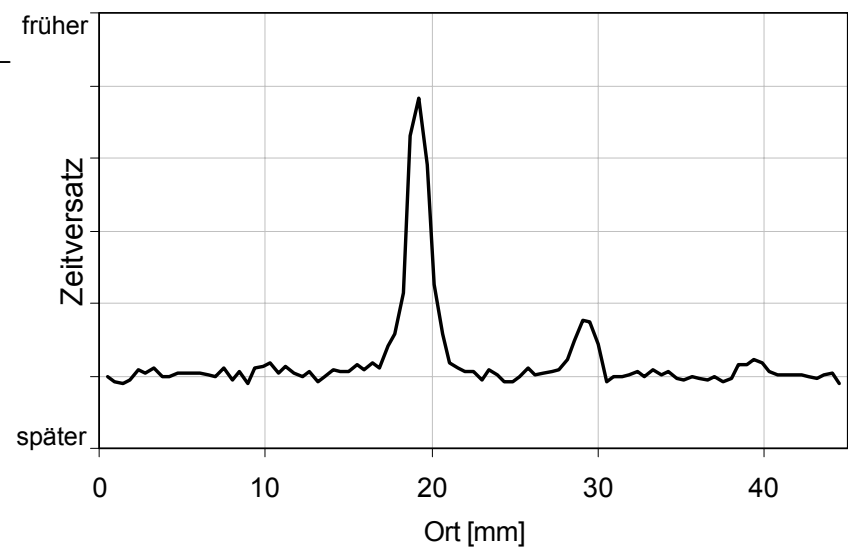
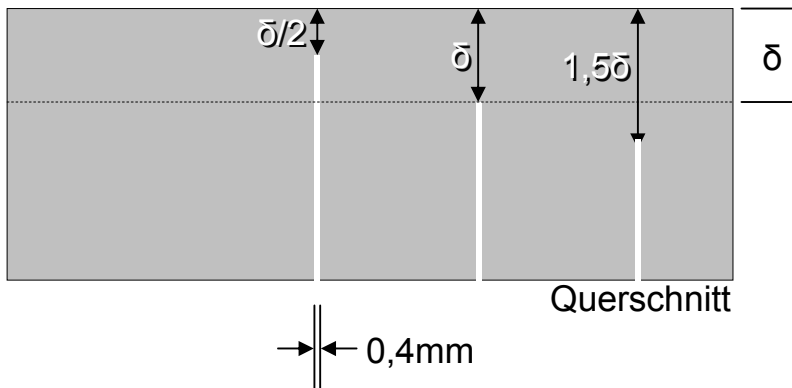
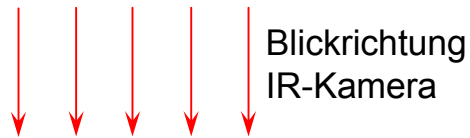
- Restwandstärke bis $1,5 \delta$ zu sehen



- Pulslänge: 100 ms
- Frequenz: 150 kHz
- Eindringtiefe δ : 1,1 mm
- Material: V2A



- Pulslänge: 100 ms
- Frequenz: 530 kHz
- Eindringtiefe δ : 0,6 mm
- Material: V2A

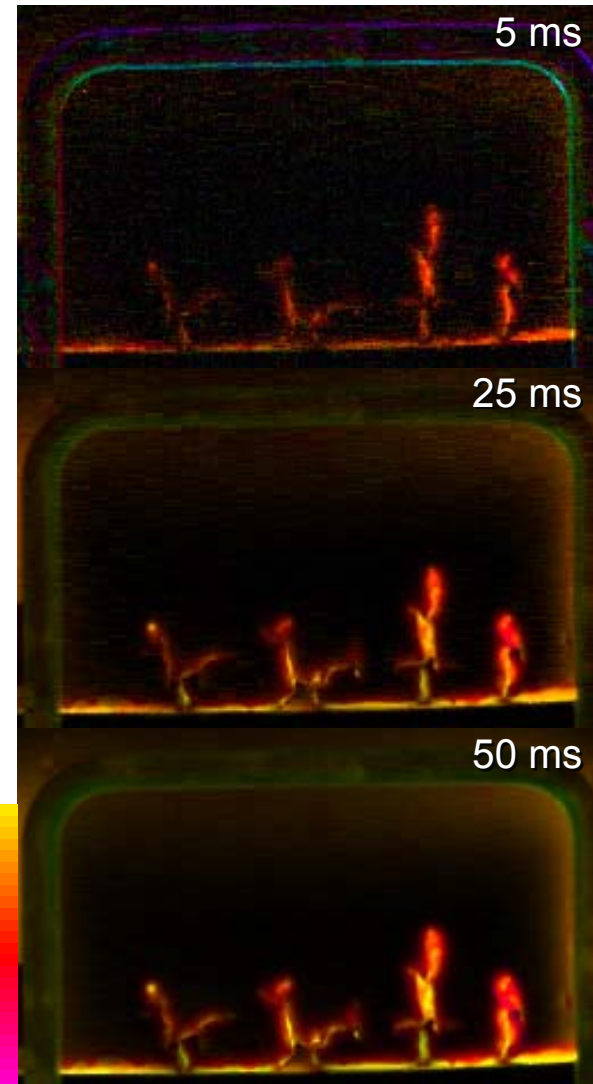


- Funktionsprinzip und technische Umsetzung
- Experimente an Proben mit künstlichen Fehlern
 - Erste Beispiele
 - Fehlergeometrie und –ausrichtung
 - Modellriss
 - Restwandstärke
- Experimente an Proben mit realen Fehlern
 - Beispiel: Turbinenschaufel
 - Vergleich von Ultraschallinduzierter Thermographie mit Induktionsthermographie an:
 - Langer Ermüdungsriss
 - Riss unter metallischem Coating

Beispiel: Turbinenschaufel

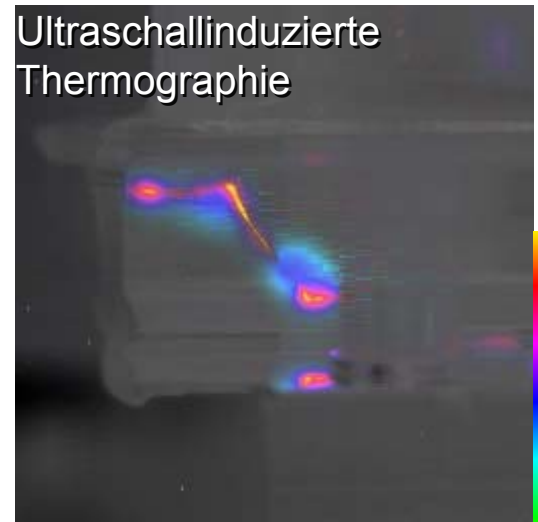
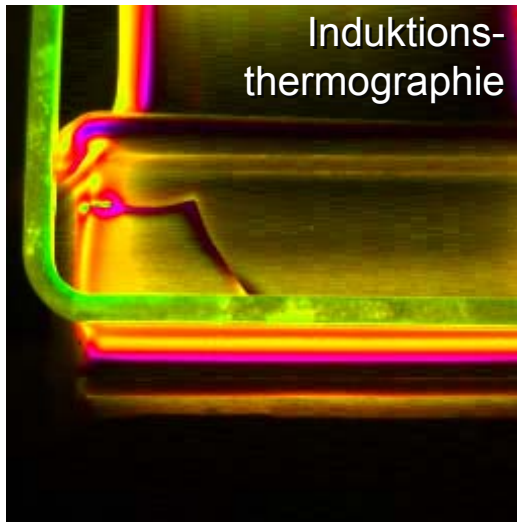
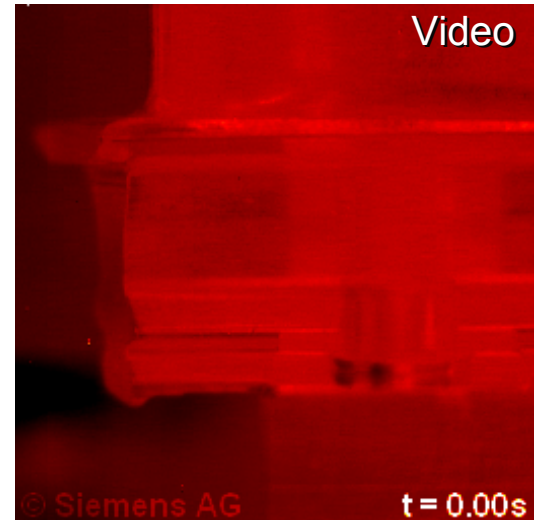
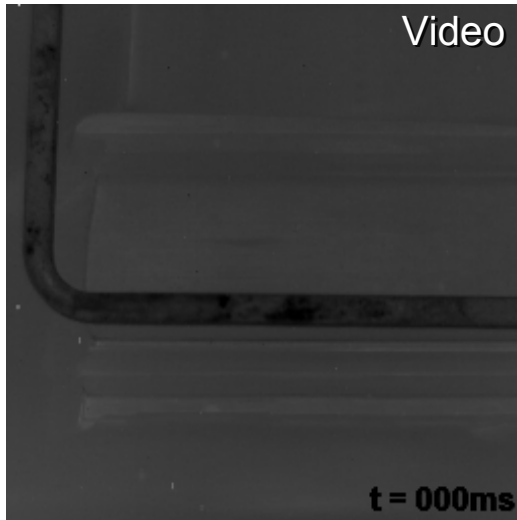
- Pulslänge: 5 - 50 ms
- Frequenz: 360 kHz

Kürzere Anregungszeit => bessere laterale Auflösung

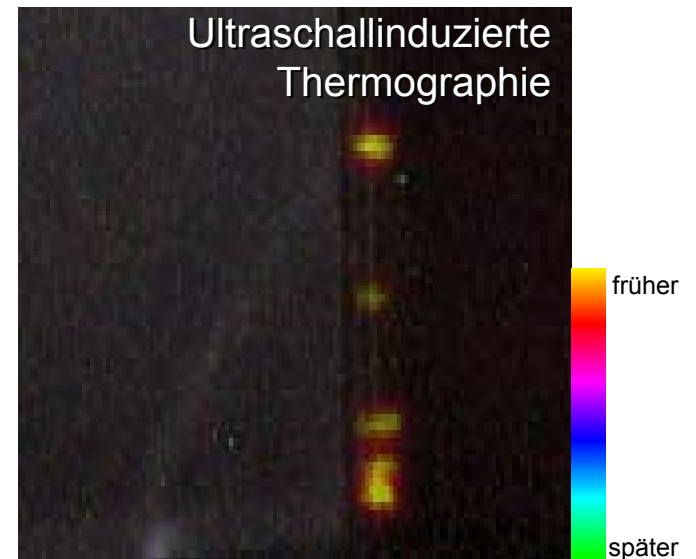
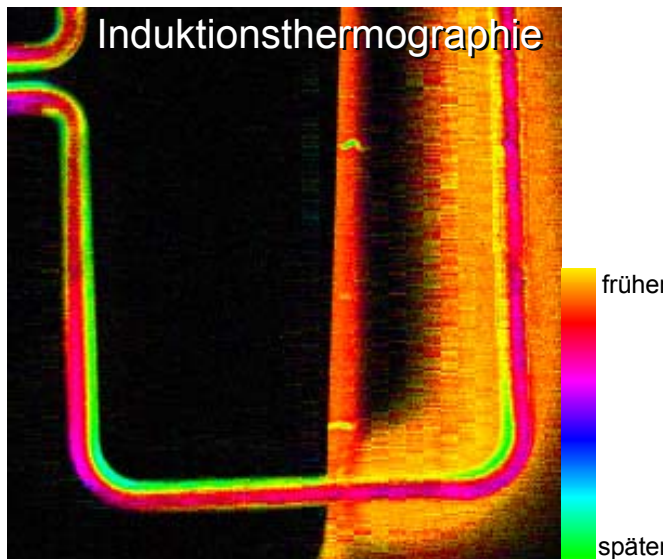
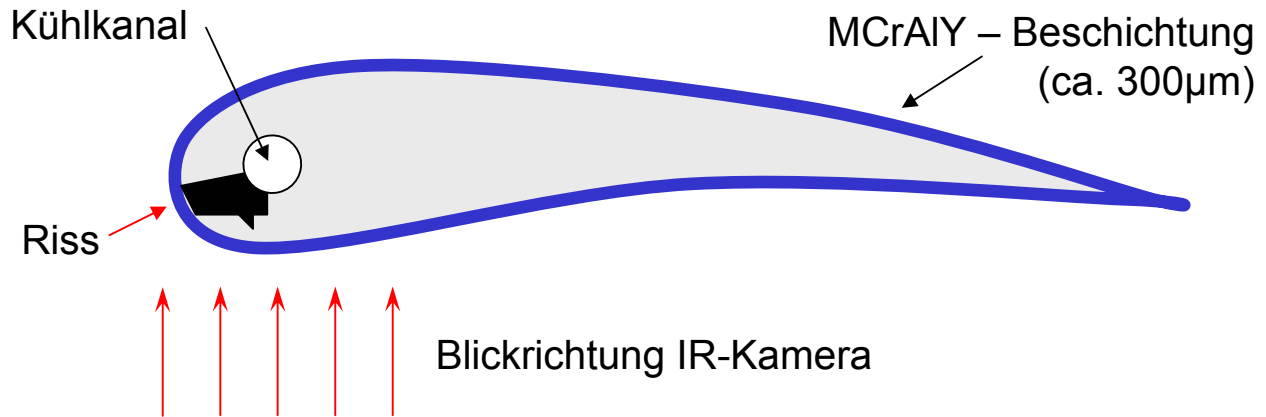


Fehler unter nichtleitender Beschichtung sichtbar

Vergleich von Ultraschallinduzierter Thermographie mit Induktionsthermographie am langen Ermüdungsriss



Vergleich von Ultraschallinduzierter Thermographie mit Induktionsthermographie an Rissen unter MCrAlY



- Stärken
 - **Berührungslos in Anregung und Nachweis**
 - **Jede Art von Rissen nachweisbar: offen, geschlossen und verdeckt**
 - Beliebige Zeitstrukturen der Anregung möglich
 - Richtungsselektiv
 - Metallische Einschlüsse in nichtmetallischen Körpern sichtbar
 - Restwandstärke messbar
 - Delaminationen sichtbar
 - Wandstärken und Schichtdicken über Transmission möglich (nichtleitend auf leitend)
 - Hohe Energieeinkopplung möglich

- Einschränkungen
 - **In Vertiefungen Fehler schwerer zugänglich**
 - **Homogene Anregung nicht immer möglich**
 - Wärmeerzeugung nicht nur an Diskontinuitäten sondern auch Volumenerwärmung
 - Geometrie- und Randeffekte
 - Nur bei leitenden Werkstoffen

Ansprechpartner zur aktiven Thermographie

Dr. J. Baumann, Siemens AG	Tel. +49 89 636 48598
	Email: joachim.baumann@siemens.com
Dr. M. Rothenfusser, Siemens AG	Tel. +49 89 636 48622
	Email: max.rothenfusser@siemens.com