



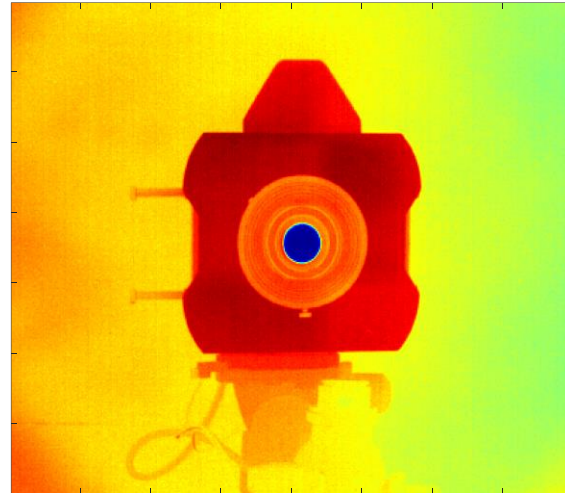
RESEARCH &
DEVELOPMENT

High-Speed Thermografie für die zerstörungsfreie Prüfung von metallischen Bauteilen

Dipl. Ing. Matthias Wolf | 16. September 2022
FH OÖ Forschungs- u. Entwicklungs GmbH

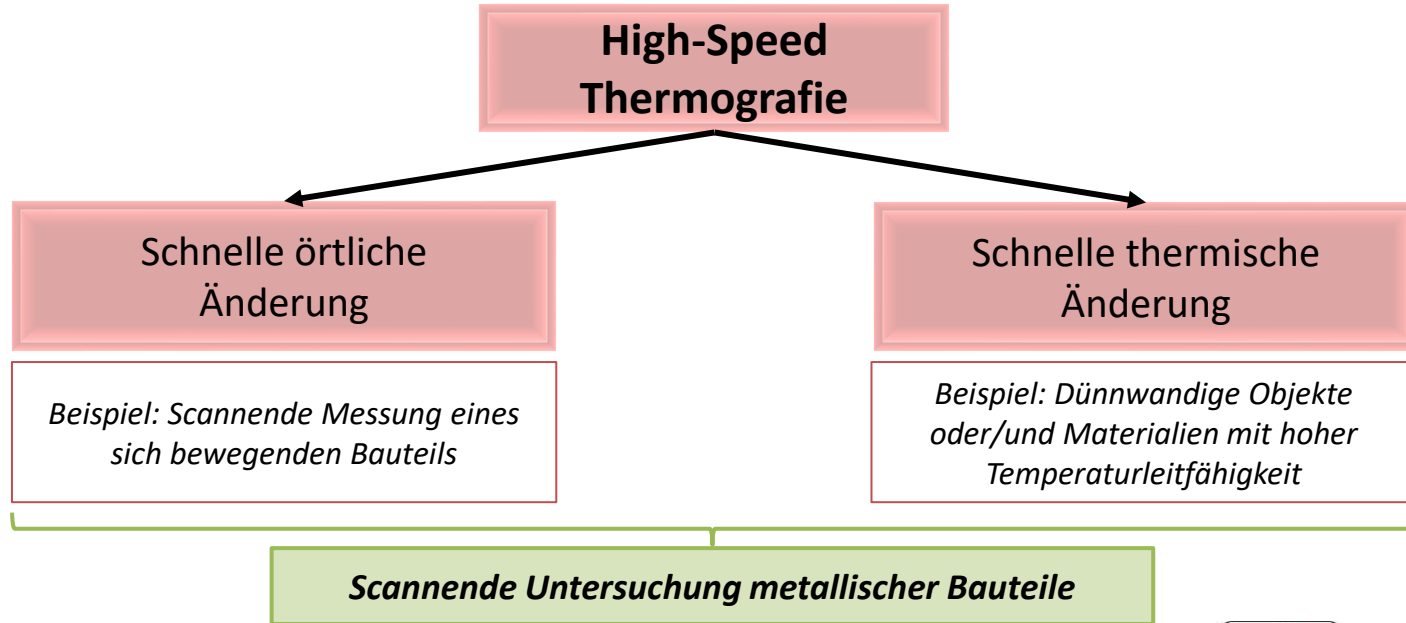
Übersicht

- Definition: High-Speed Thermografie
- Messtechnische Aspekte
- Optische Einflussfaktoren
- Anwendungsbeispiele



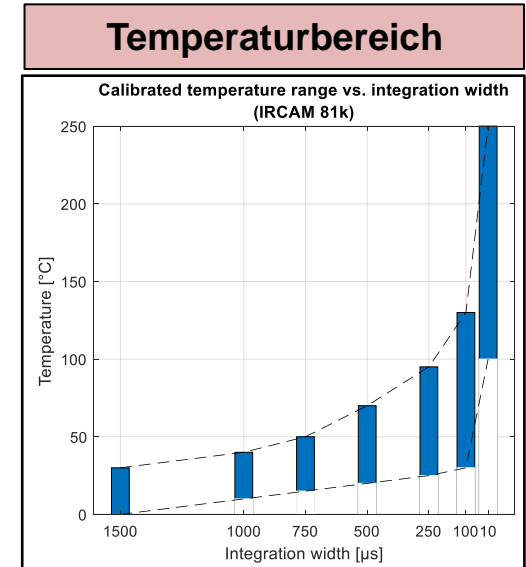
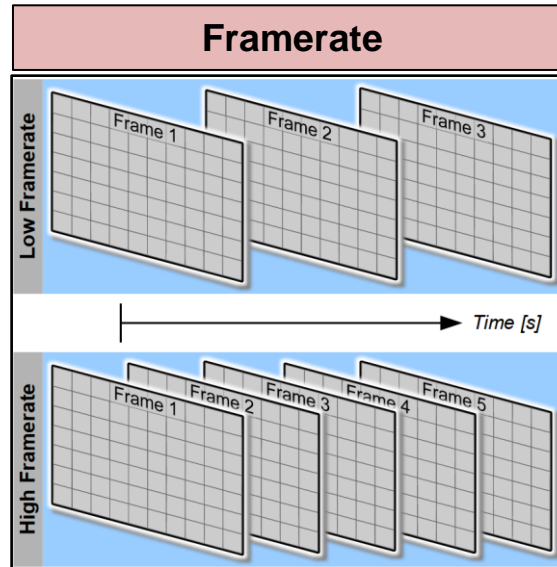
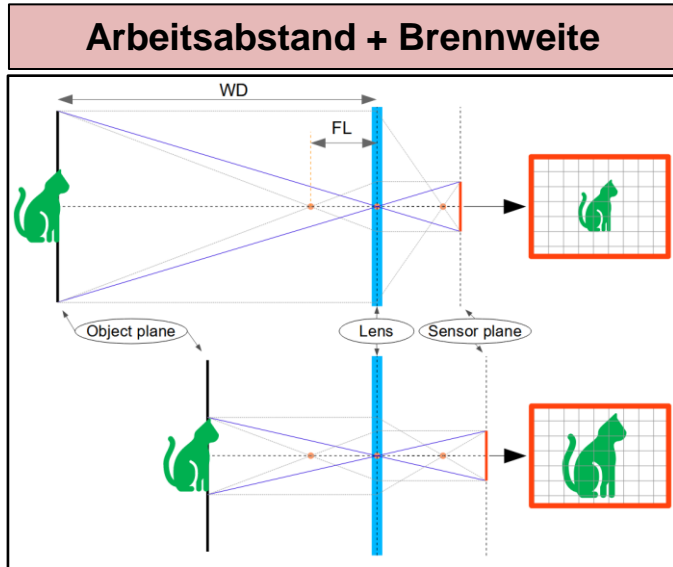
Definition: High-Speed Thermografie

- Photothermische Erfassung schnellablaufender Prozesse



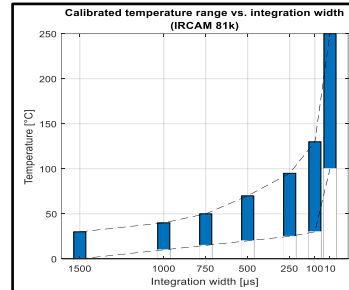
Aspekte der aktiven IR-Thermografie

- Typische *Stellschrauben* bei Thermografiemessungen

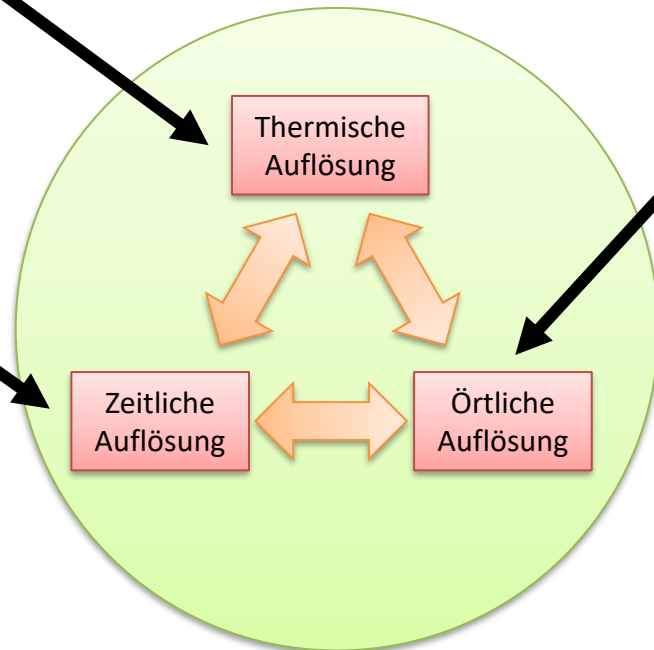
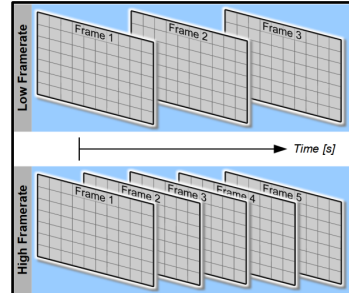


Aspekte der aktiven IR-Thermografie

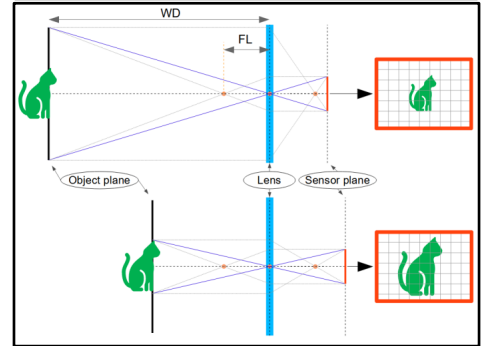
Temperaturbereich



Framerate



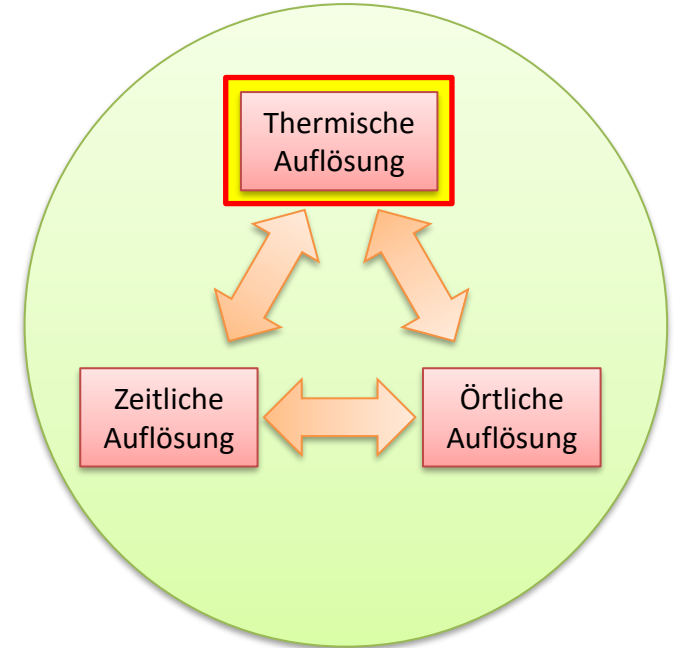
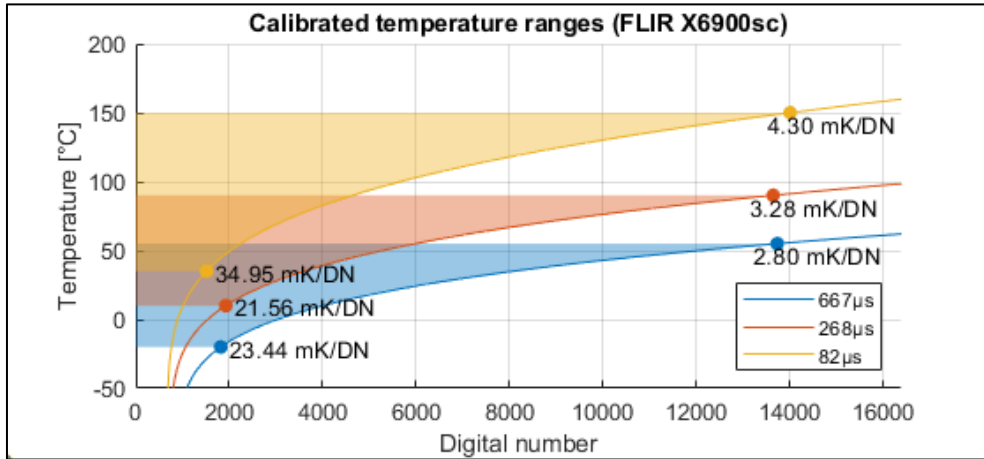
Arbeitsabstand + Brennweite



Aspekte der aktiven IR-Thermografie

- Wahl der **Integrationszeit**:
 - > Temperaturbereich
 - > Temporalauflösung
 - > Messrauschen

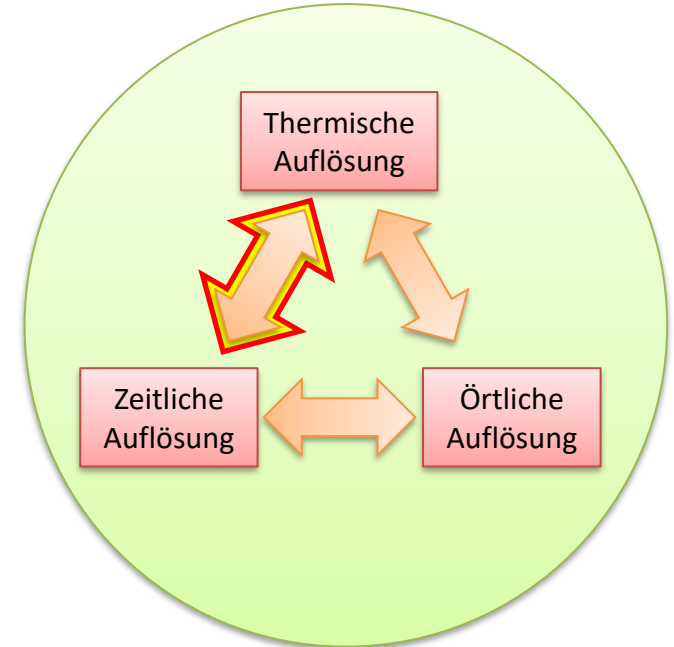
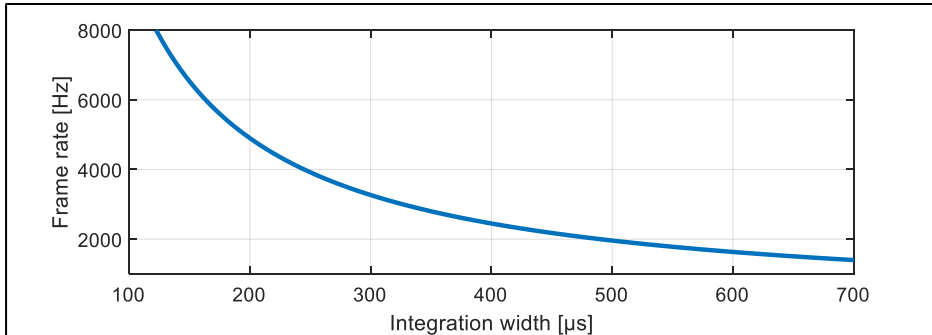
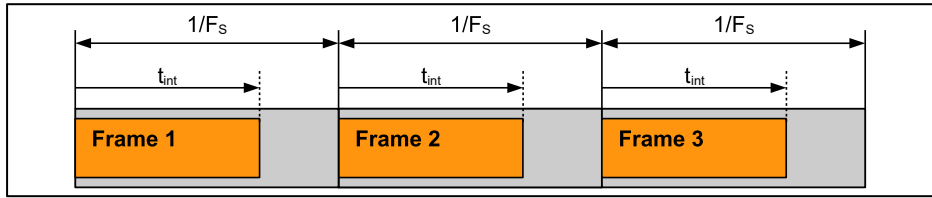
$$\Phi \propto T^4$$



Aspekte der aktiven IR-Thermografie

- Die **Framerate** begrenzt die maximale **Integrationszeit**

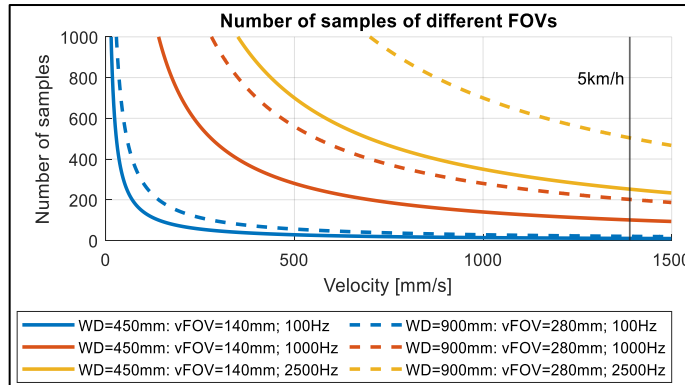
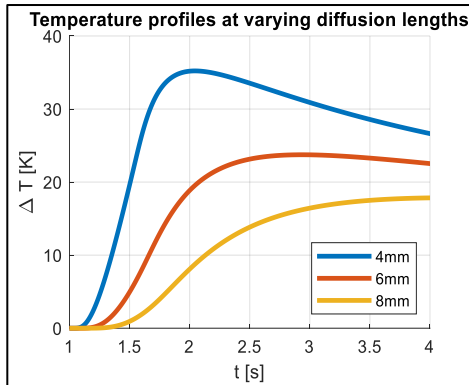
$$T_{int} < 0.98 \cdot \frac{1}{F_s}$$



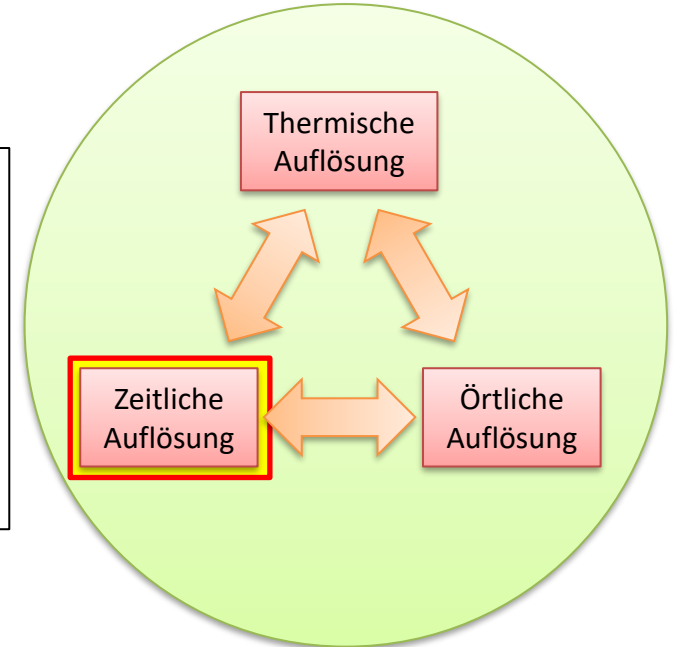
Aspekte der aktiven IR-Thermografie

- Abstimmen der **Framerate** auf:
 - > Geschwindigkeit der Temperaturänderung
 - > Geschwindigkeit der örtlichen Änderung

$$t_d = \frac{L^2}{\alpha}$$

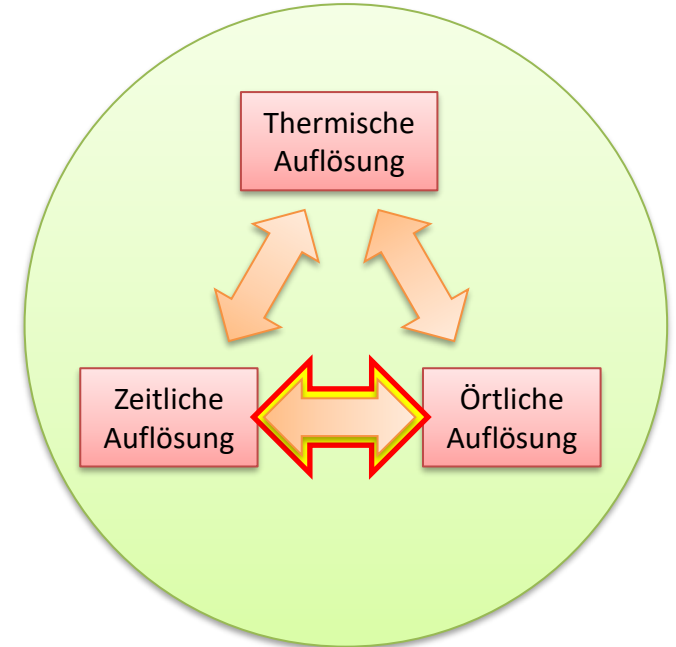
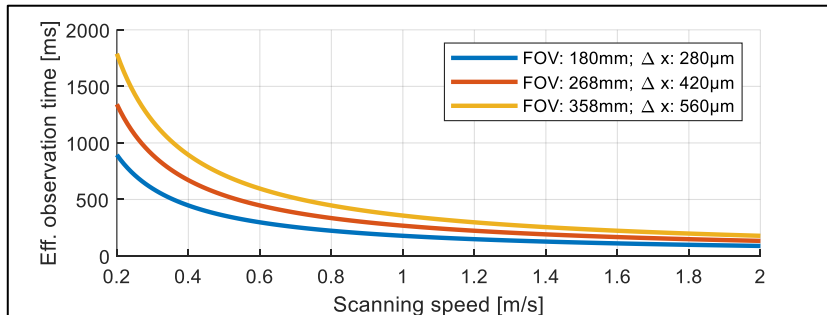
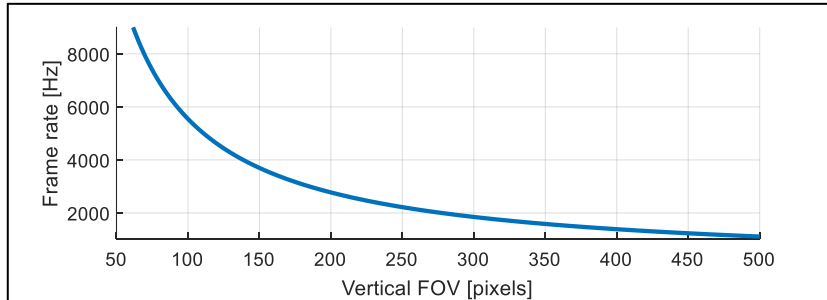


- Typische Temperaturleitfähigkeiten:
 - > Polypropylen: ca. 0.1mm²/s
 - > Aluminium: ca. 100mm²/s



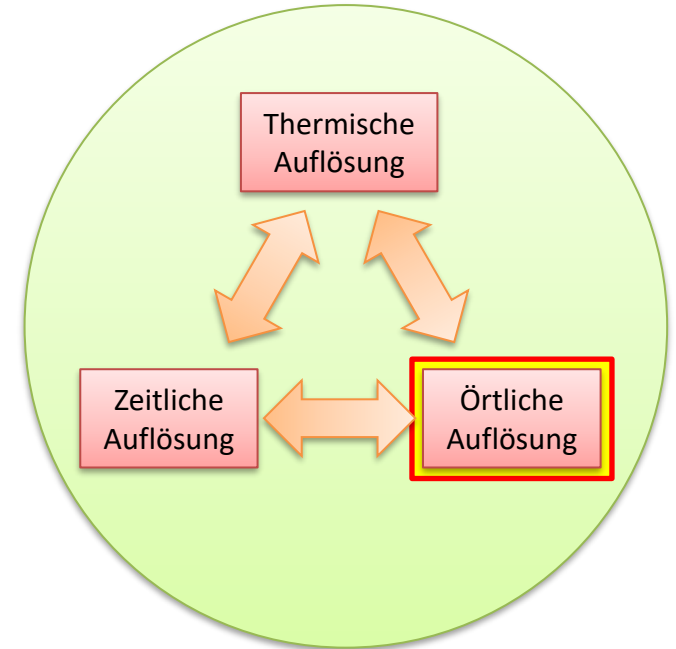
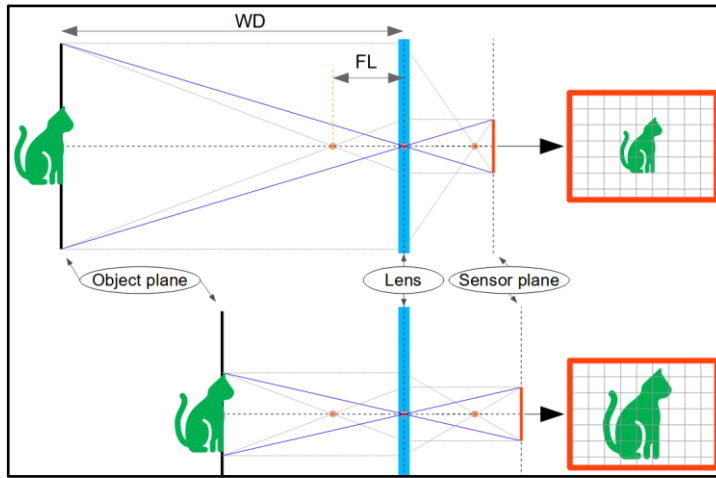
Aspekte der aktiven IR-Thermografie

- Maximale Datenrate der Kamera:
 - > Die Größe des **Messfensters** begrenzt die **Framerate**
- Größe des **Sichtfelds** (FOV):
 - > Legt die effektive **Messdauer** bei bewegten Messungen fest



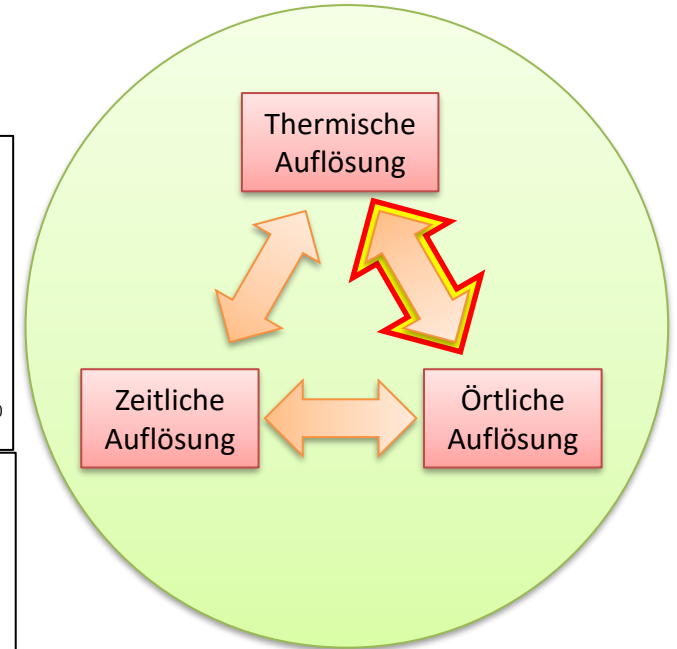
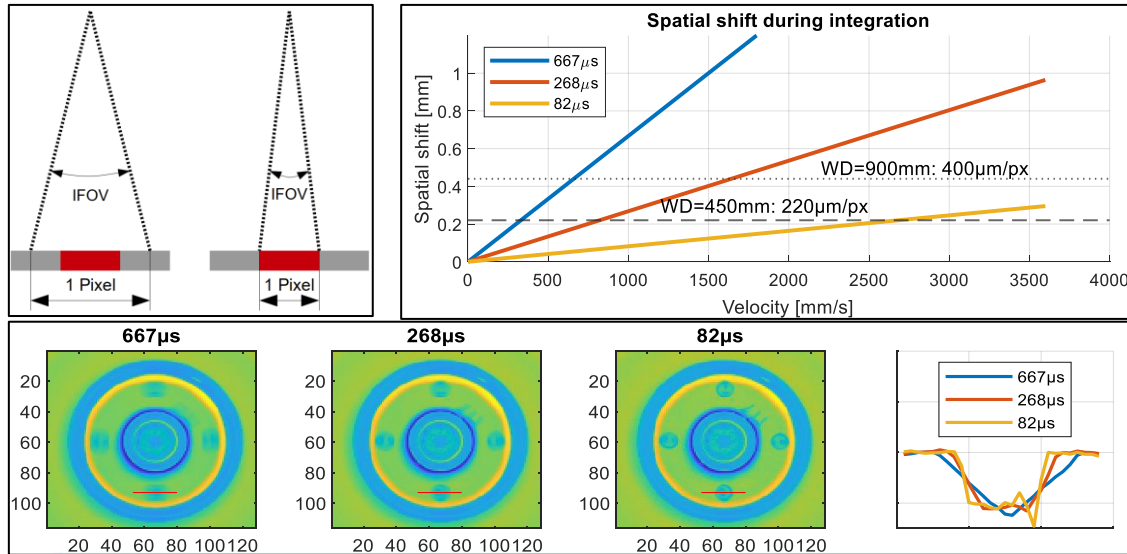
Aspekte der aktiven IR-Thermografie

- Wahl des **Sichtfelds (FOV – Field of View)**:
 - > Arbeitsabstand
 - > Optik (Brennweite)
 - > Sensorauflösung



Aspekte der aktiven IR-Thermografie

- Detektorgröße und -pitch → Messrauschen
- ‚Instantaneous FOV‘ und Strukturgröße → Temperaturverfälschung
- Bewegung während der Messung → Bewegungsunschärfe



Optische Einflussfaktoren

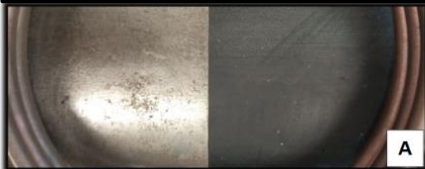
$$\Phi_{Sum} = \tau_{Atm}(\Phi_E + \Phi_R + \Phi_T) + (1 - \tau_{Atm}) \Phi_{Atm}$$

$$\Phi_{Sum} \approx \Phi_E + \Phi_R$$

$$1 \approx \varepsilon + \rho$$

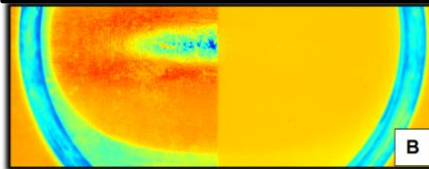
$\approx const.$
 $\propto \varepsilon, T^4$

Referenzaufnahme (VIS)

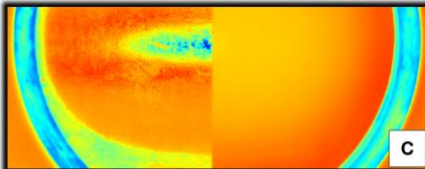


A

Referenzaufnahme (IR)

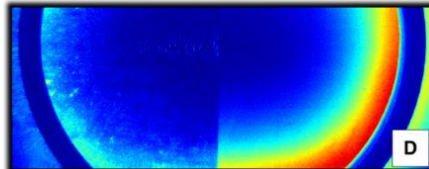


B



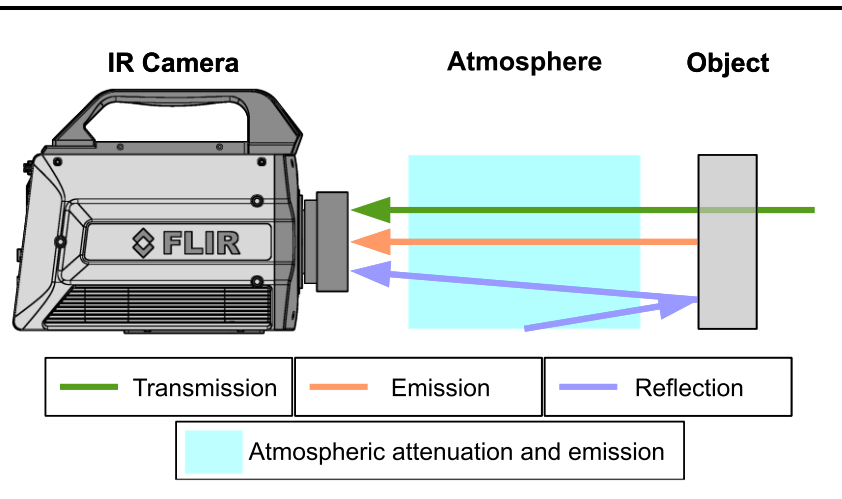
C

Vor Offset-Korrektur



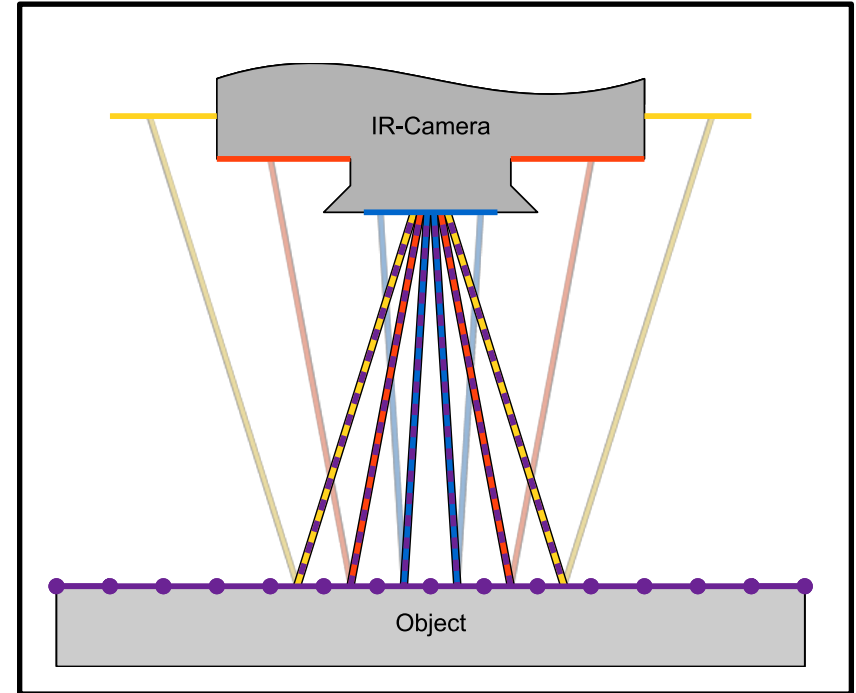
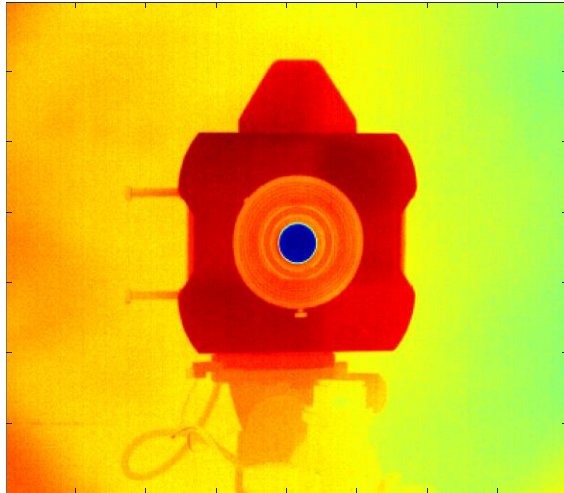
D

Nach Offset-Korrektur



Optische Einflussfaktoren

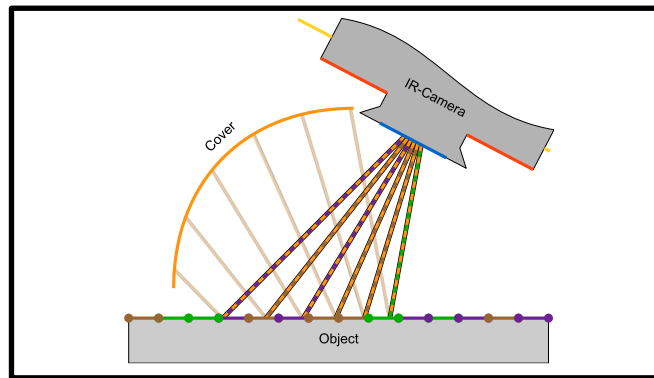
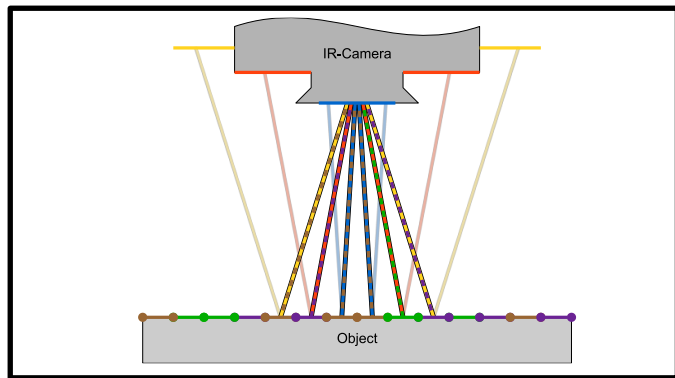
- Optische Achse || Flächennormale
- Stationär
- Gleichverteilter Emissionsgrad



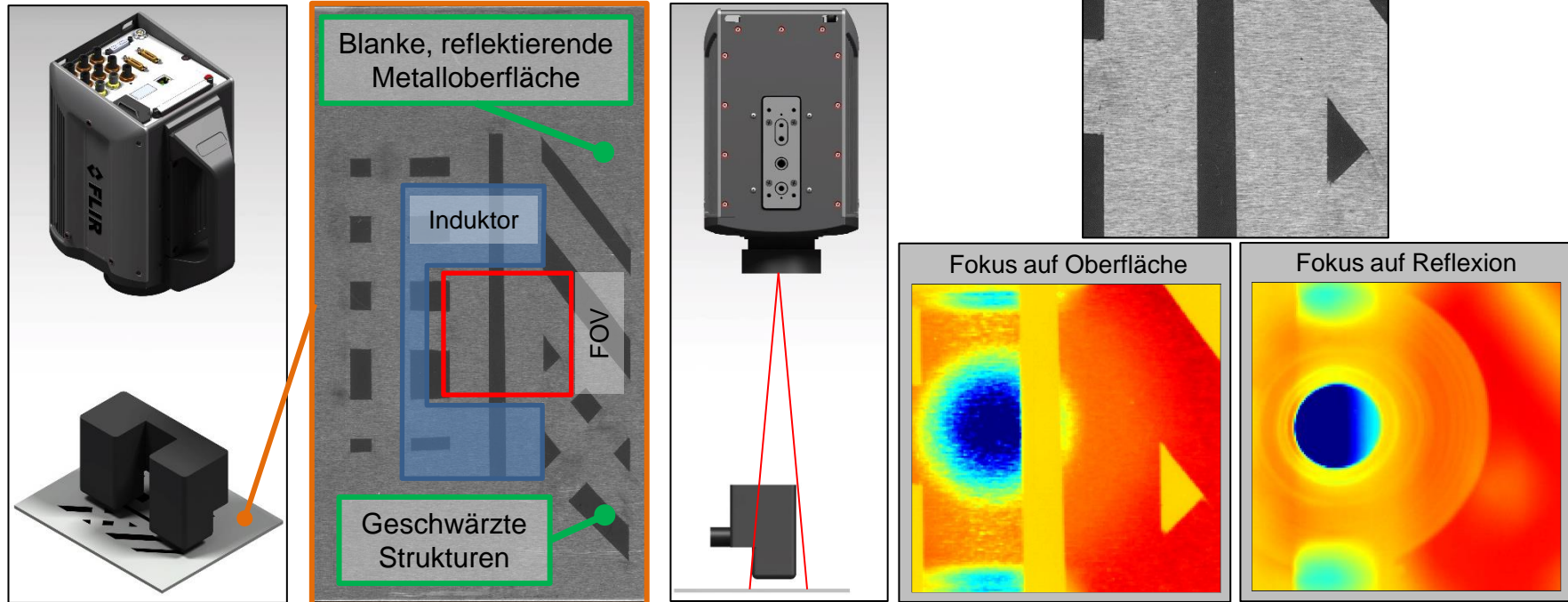
Optische Einflussfaktoren

- ‚Optische Achse || Flächennormale‘ oder ‚Optische Achse \perp Flächennormale mit Abschirmung‘
- Stationär oder bewegend
- Gleichverteilter oder örtlich variierender Emissionsgrad bzw. Reflexionen

Setup	Örtliche Verteilung der Reflexionen	Zeitliche Änderung der Reflexionen	Emissionsgrad	Zeitliche Änderung der Reflexionen bezogen auf den Ort	Reduktion reflektiver Einflüsse
Stationär	Gleichverteilt oder ortsabhängig	Konstant	Gleichverteilt oder ortsabhängig	Konstant	Offsetkorrektur
Bewegend	Gleichverteilt oder ortsabhängig	Konstant	Gleichverteilt	Konstant	Offsetkorrektur (vor dem Abrollen)
Bewegend	Ortsabhängig	Konstant	Ortsabhängig	Zeitabhängig	Schwer möglich
Bewegend	Gleichverteilt	Konstant	Ortsabhängig	Konstant	Offsetkorrektur nach dem Abrollen

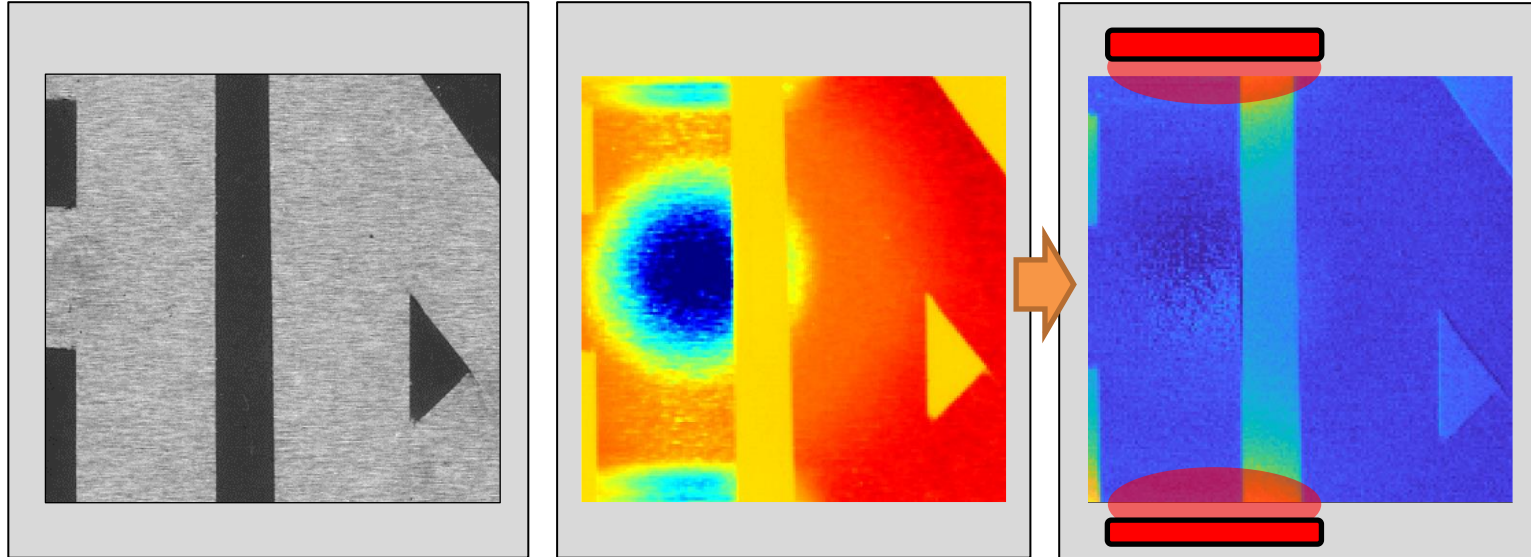


Anwendungsbeispiel: Emissionsgradunterschiede



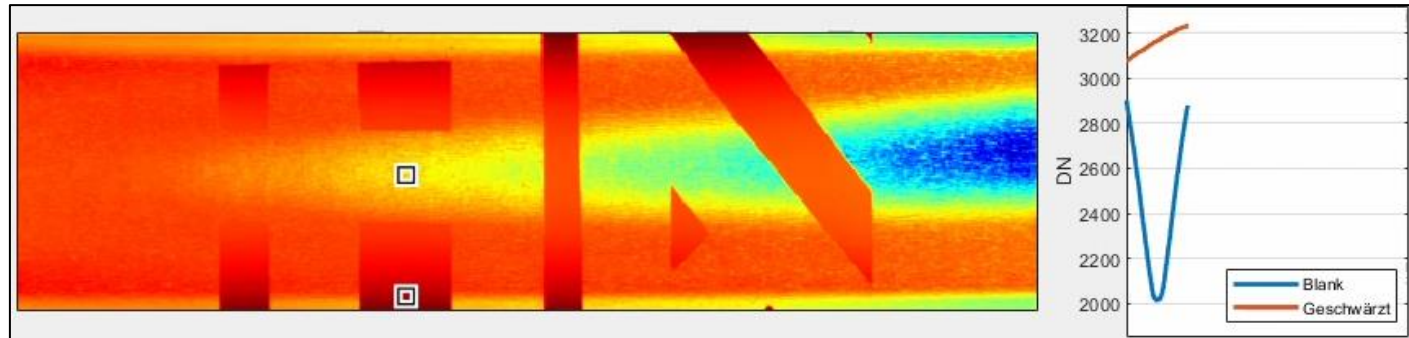
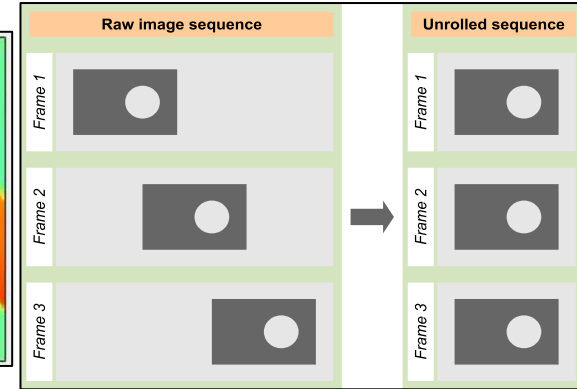
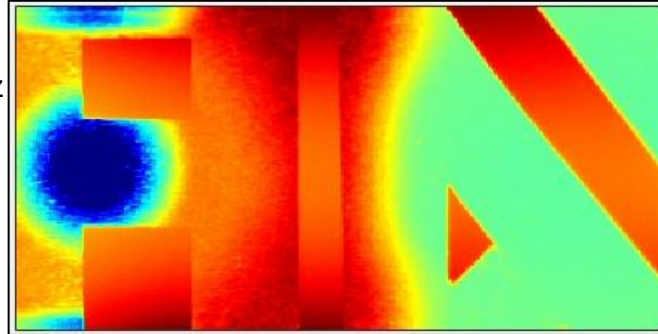
Anwendungsbeispiel: Emissionsgradunterschiede

- Stationäre Untersuchung → Offsetkorrektur



Praktische Anwendung

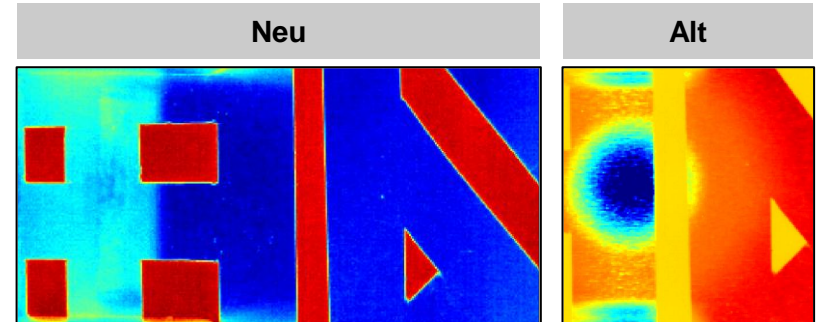
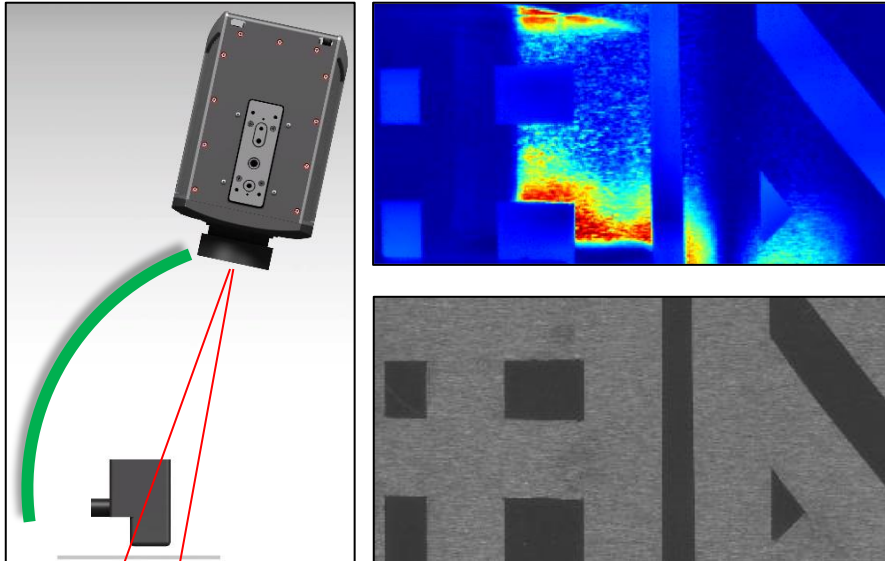
- Bewegtes Bauteil
 - > „Abrollen“ der Bildsequenz
- Herausforderung:
 - > Zeitlich veränderliche Reflexionen



Praktische Anwendung

- Bewegte Messung
 - > Zeitlich veränderliche Reflexionen

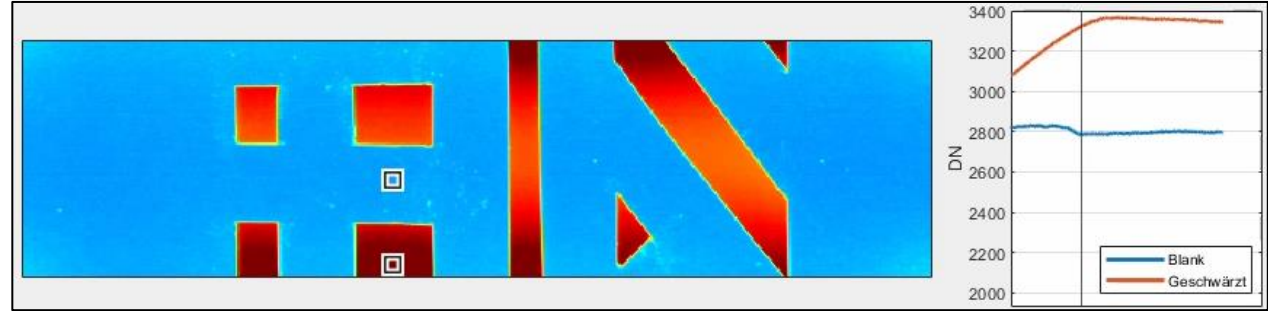
- > Schrägstellung der Kamera
- > Gleichförmige Reflexionen sicherstellen



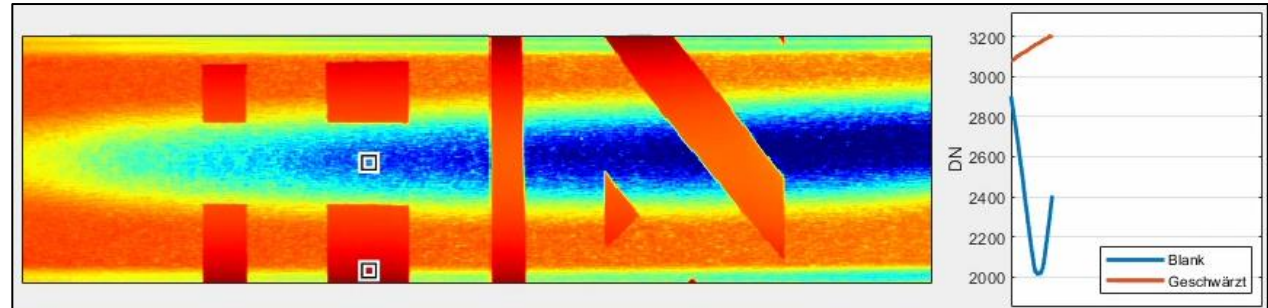
Anwendungsbeispiel: Emissionsgradunterschiede

- Optimierter Messaufbau und Verarbeitung:

Optimiert:

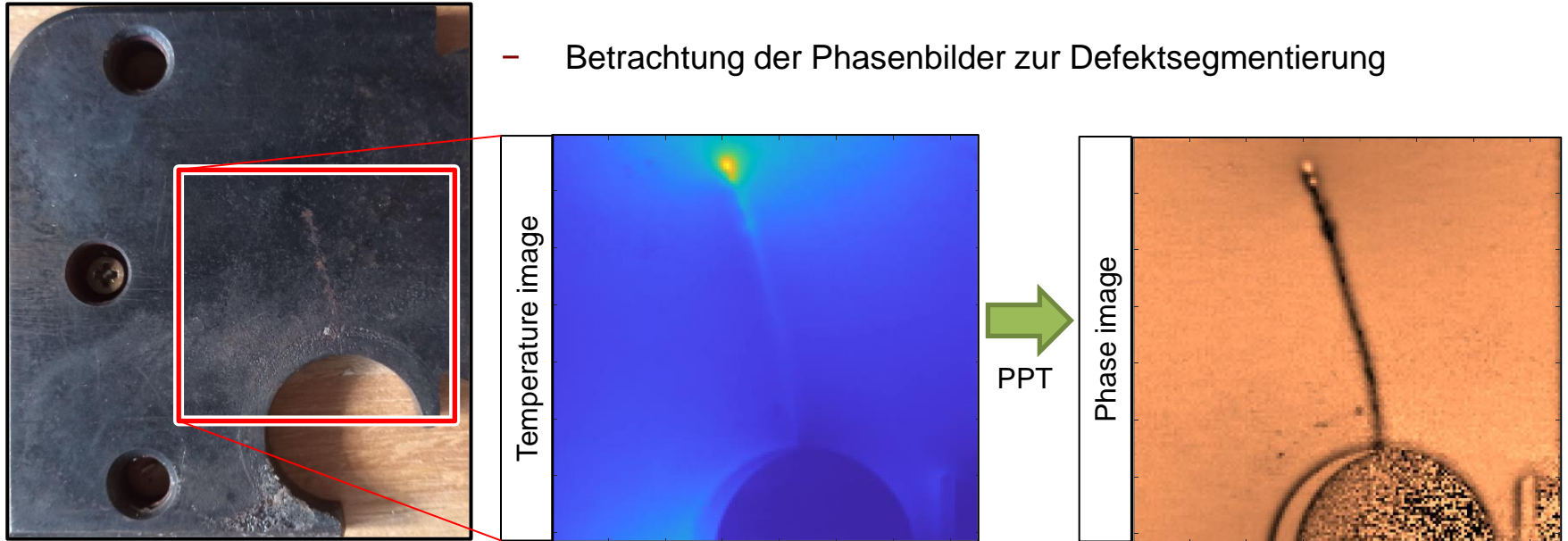


Zuvor:



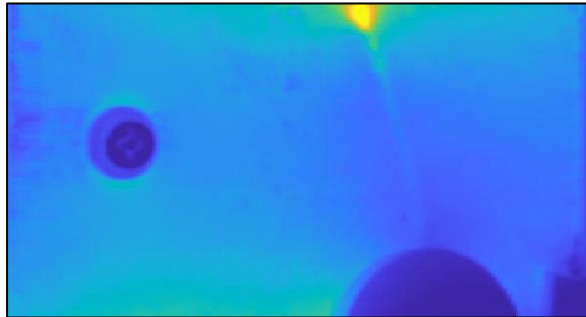
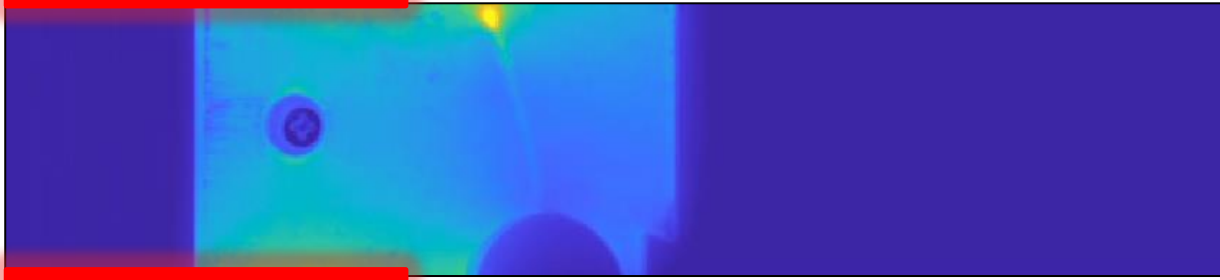
Anwendungsbeispiel: Rissprobe

- Stationäre Messung
- Betrachtung der Phasenbilder zur Defektsegmentierung

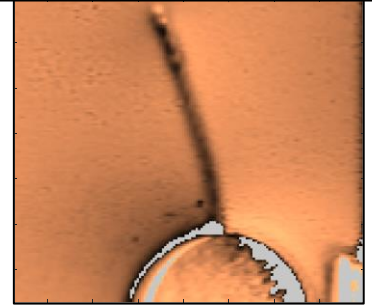


Anwendungsbeispiel: Rissprobe

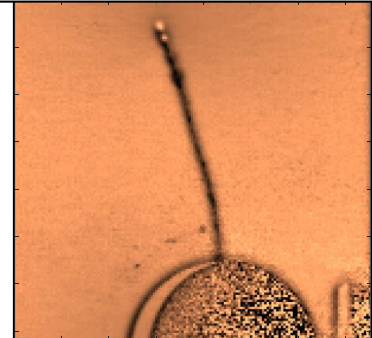
- Scannende Messung (2m/s; 3125Hz; 268 μ s; 128x640 Pixel)



Phasenbild aus scannender Messung

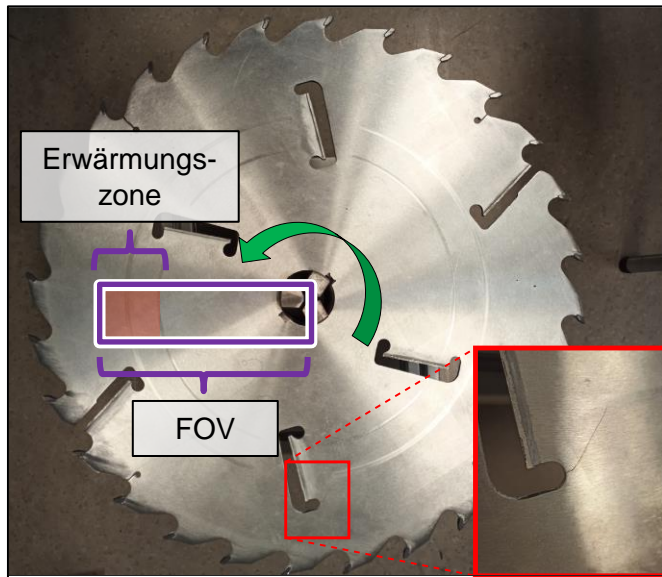


Vergleich: Phasenbild aus stationärer Messung

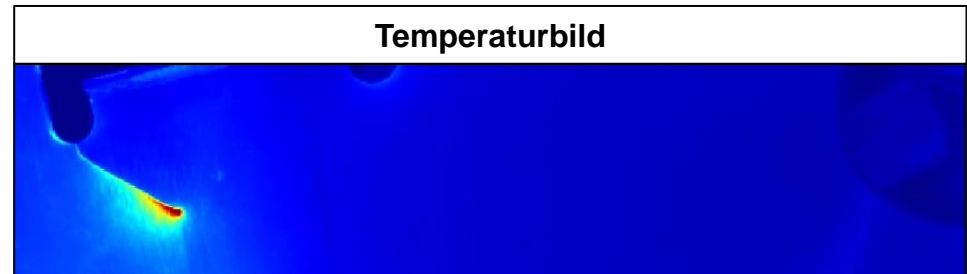


Anwendungsbeispiel: Kreissägeblatt

- Rissdetektion in einem Kreissägeblatt

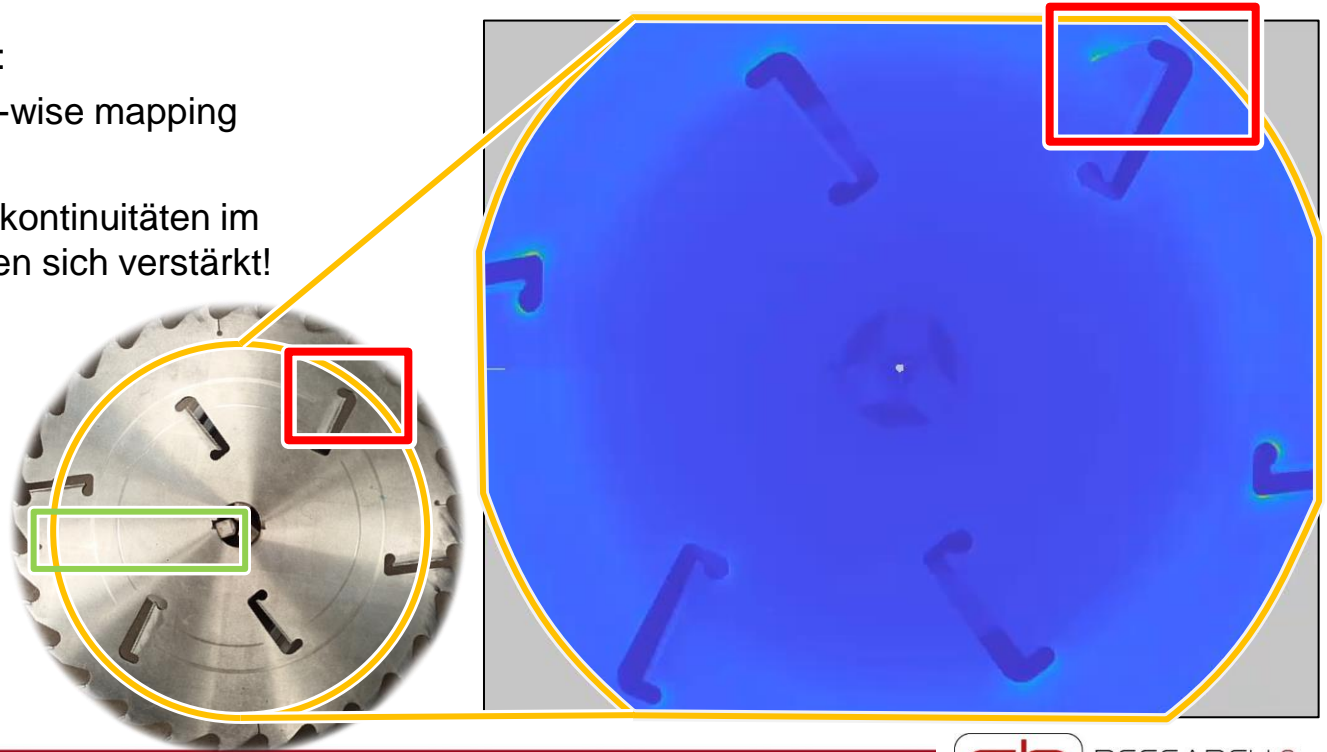


- Rotationsgeschwindigkeit: 92 min^{-1}
 - > Maximale Umfangsgeschwindigkeit ca. 1.9 m/s
 - > Framerate: 3125 Hz ; Integrationszeit: $268 \mu\text{s}$; FOV: $128 \times 640 \text{ Pixel}$
- Stark reflektierende Oberfläche
 - > Induktive Erwärmung
 - > Schrägstellung + Abschirmung



Anwendungsbeispiel: Kreissägeblatt

- Post-Processing:
 - > Inverse point-wise mapping
- Auch andere Diskontinuitäten im Material erwärmen sich verstärkt!



Vielen Dank!