



IR-SimpleCam

Thermografie für die Leistungselektronik

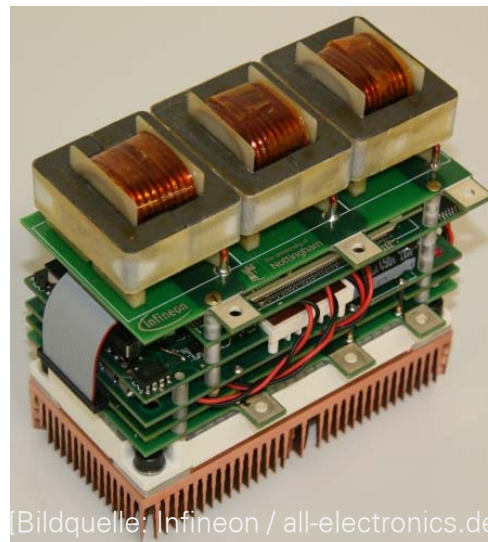
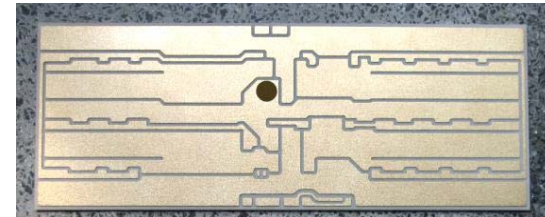
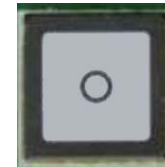
68. Treffen des SAET
30. September 2016 in Dresden

Michael Schaulin,
Martin Oppermann

- **Motivation**
- **Thermografie an Baugruppen**
 - Eigenschaften der Wärmeausbreitung
 - Messtechnische Grenzen
 - Auswerteverfahren
- **Voruntersuchungen**
 - Aufbau von Proben
 - Untersuchungen an Leads
 - Untersuchung flächiger Lötverbindungen
 - Messergebnisse an IGBTs
- **Entwicklung eines Infrarotsensors**

Leistungsmodule der Elektromobilität bzw. für die Gewinnung erneuerbarer Energien basieren auf:

- IGBTs, Dioden und FETs auf Si- oder SiC-Die-Basis
- werden auf DCB-Substrate montiert,
- welche dann als Leistungsmodule
- in z.B. Umrichtern zur Anwendung kommen.



Montagearten für diese Dies:

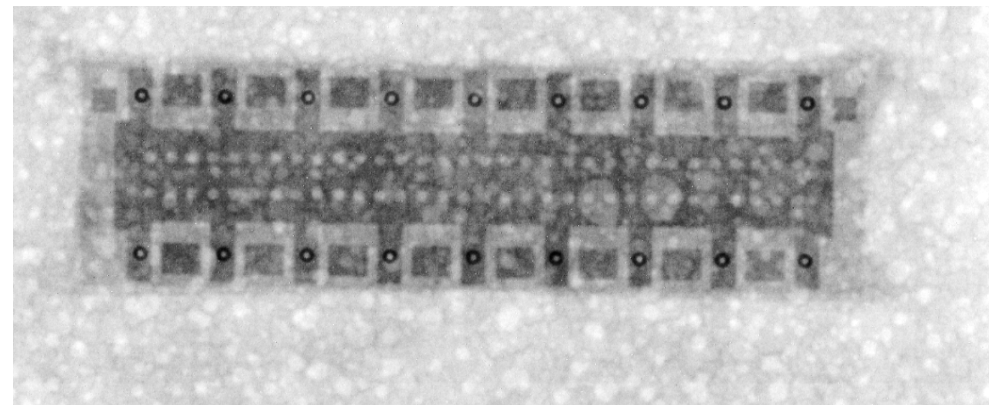
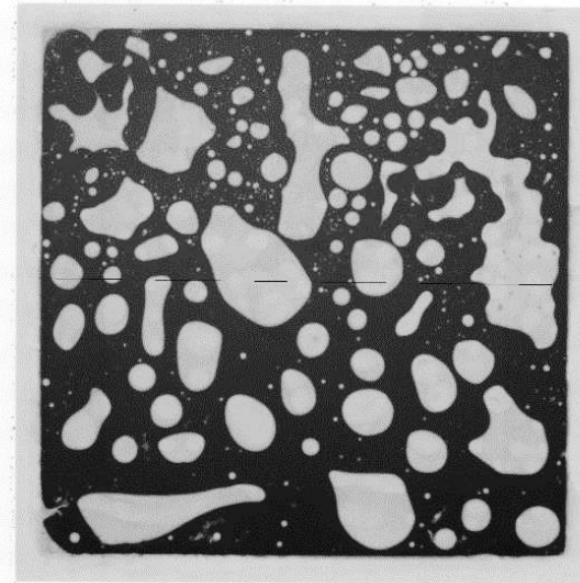
- *Traditionell:* Reflowlöten
- *Kommend:* Ag-Sintern (Schichtdicke ca. 20 µm!)
 - drucklos für Leistungs-LEDs
 - druckbehaftet für IGBTs, Dioden usw.
- *Ziel:* Maximale elektrische und thermische Leitfähigkeit
 - *Beispiel:* E-Pkw mit 60 kW und 400 V-Fahrbatterie: $I_{nenn} = \mathbf{150\ A}$

→ **Gute Thermische Anbindung wichtig**

→ **Notwendigkeit einer optimalen Verbindungsstelle mit minimalem Void- oder Lunkeranteil!**

Zerstörungsfreie Inspektion dieser Verbindungen ist nötig!

- *Traditionell:* Röntgen
 - für gelötete Verbindungen
- Für Sinterverbindung



Ist die Zerstörungsfreie Prüfung mittels Thermographie ein Ausweg?

- Es wird direkt die interessierende Größe erfasst
- Prinzipielle Eignung für flächige Kontaktierungen
- Art der Kontaktstelle spielt keine Rolle (Sinterverbindungen möglich)

Thermische Welle

- Anregung durch zeitabhängige **Erwärmung** in einem Material
- Ausbreitung eines zeitlich und räumlich veränderlichen **Temperaturfeldes**
- „Thermische Welle“ **entspricht** einem **Diffusionsvorgang**
→ keine Schwingung - wie bei Wellen - möglich

Wichtige Materialeigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit λ , spezifische Wärmekapazität c

→ Wärmeeindringkoeffizient (thermische Effusivität) $e = \sqrt{\lambda \rho c}$

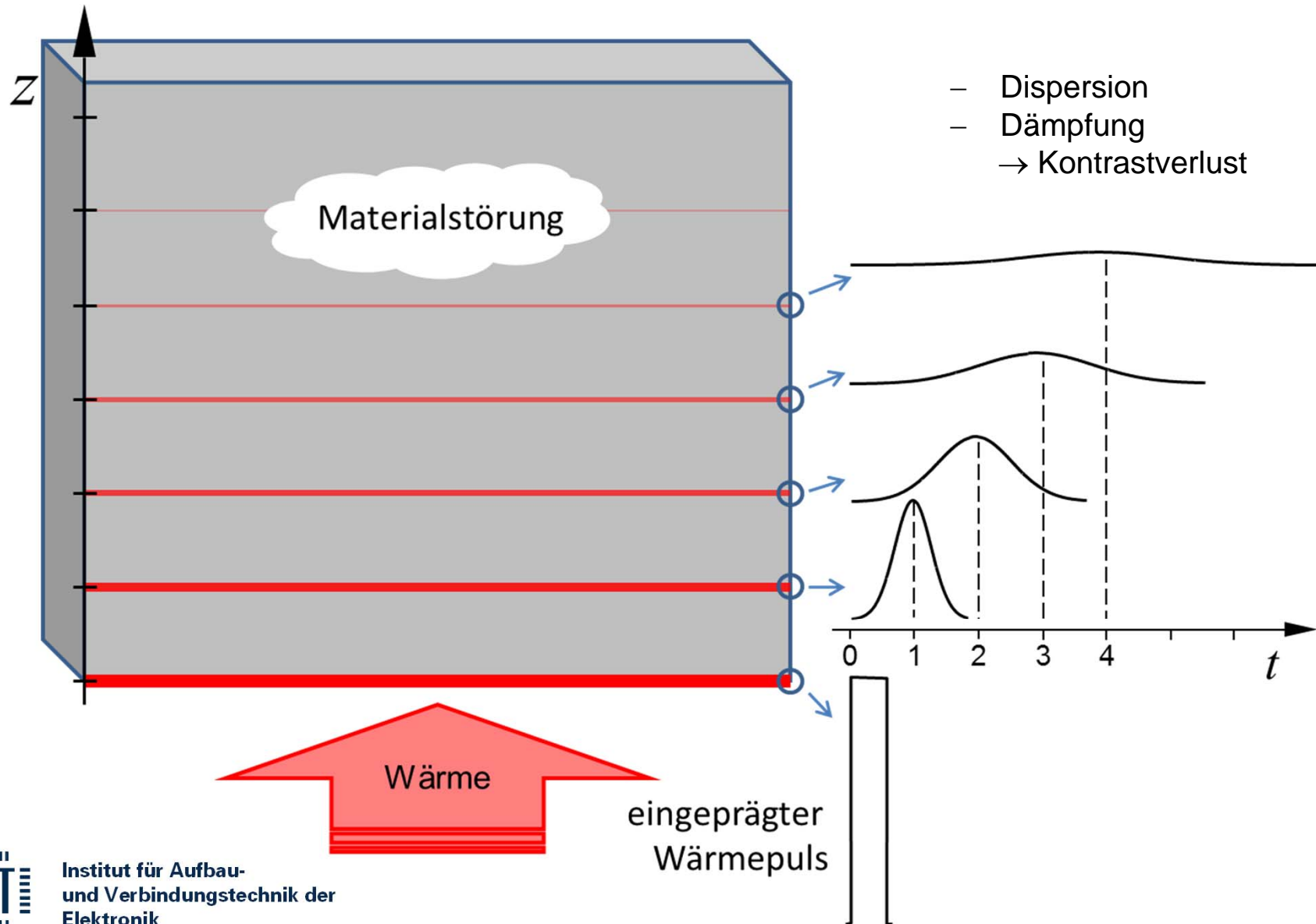
→ Temperaturleitwert (Thermische Diffusivität) $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c}$

Durch Messung erfassbare Eindringtiefe

→ thermische Diffusionslänge $\mu = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f}}$ → **Eindringtiefe durch Modulationsfrequenz der Heizung einstellbar**

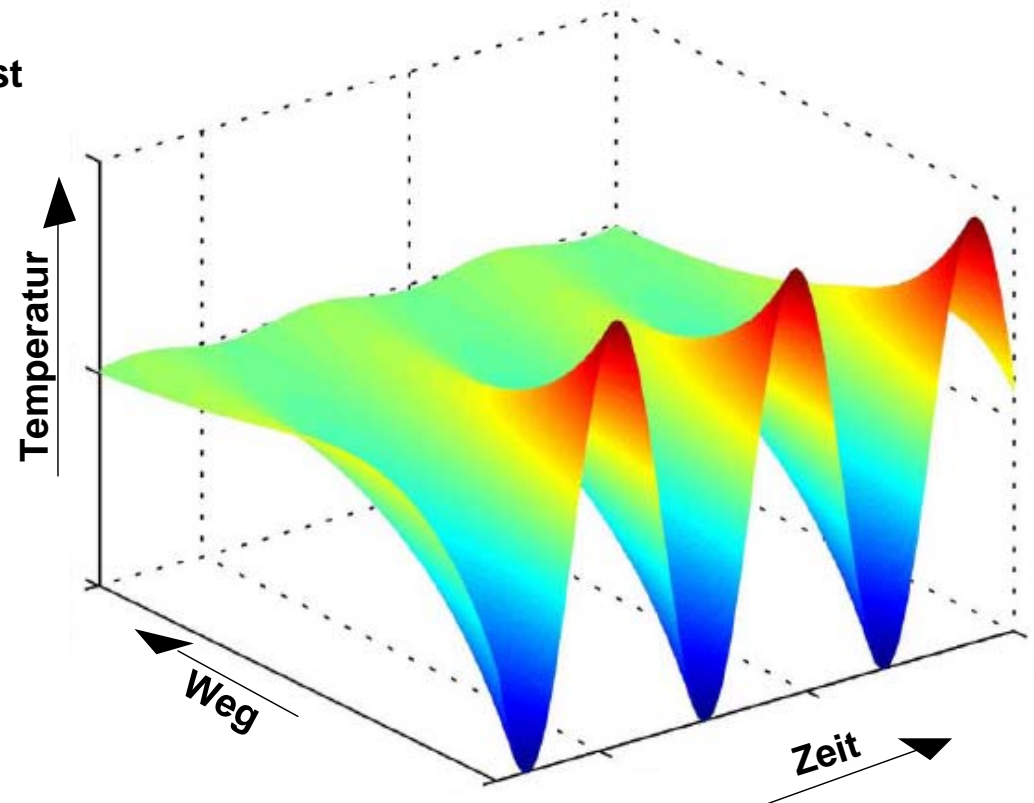
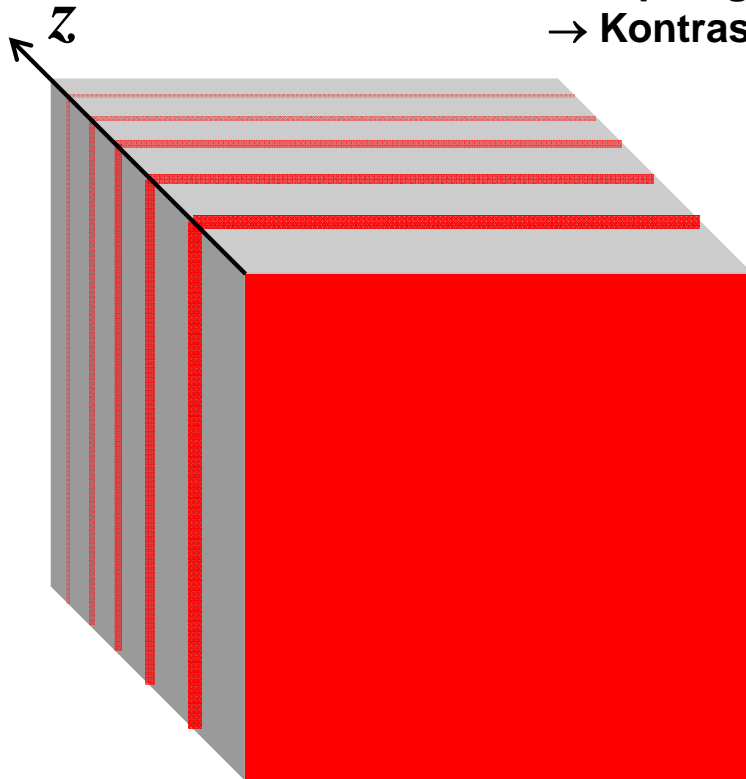


Wärmewelle im Material



Eingeprägtes Temperaturprofil erleidet:

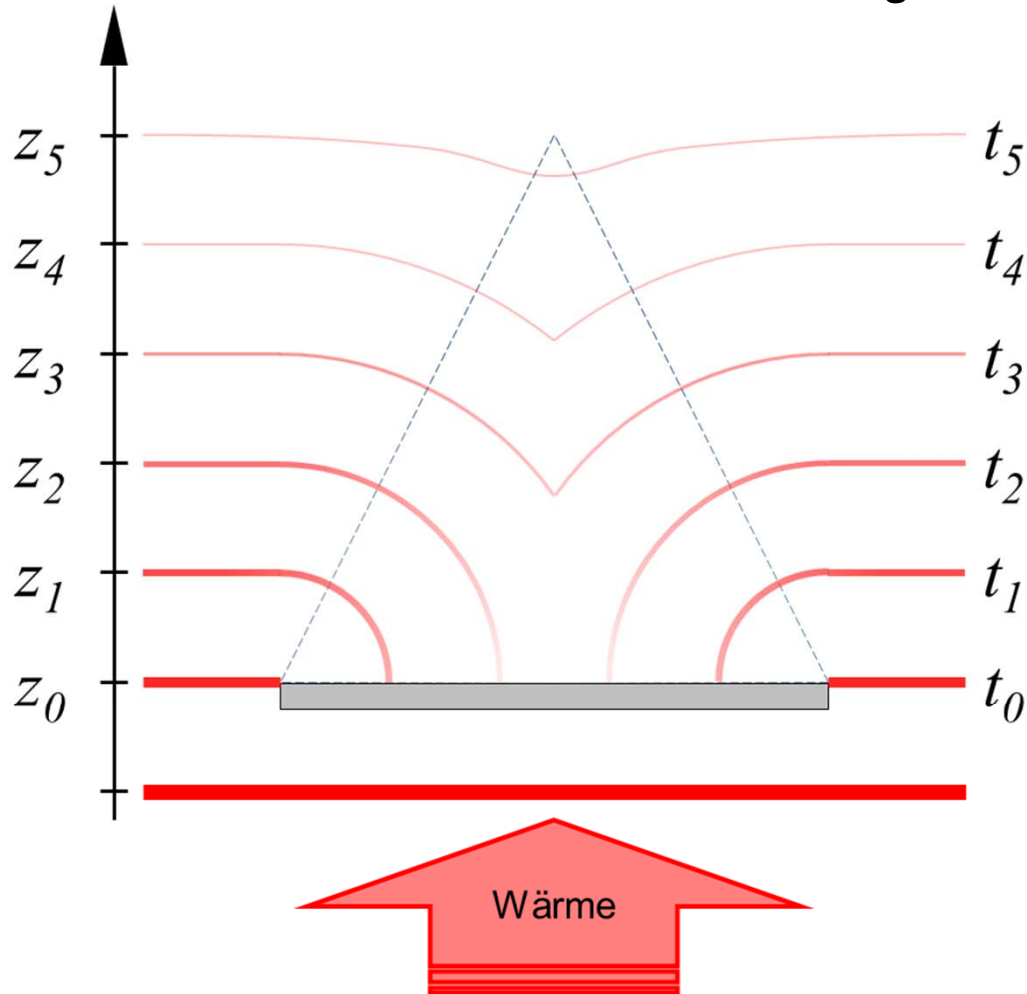
- Dispersion
- Dämpfung
- Kontrastverlust



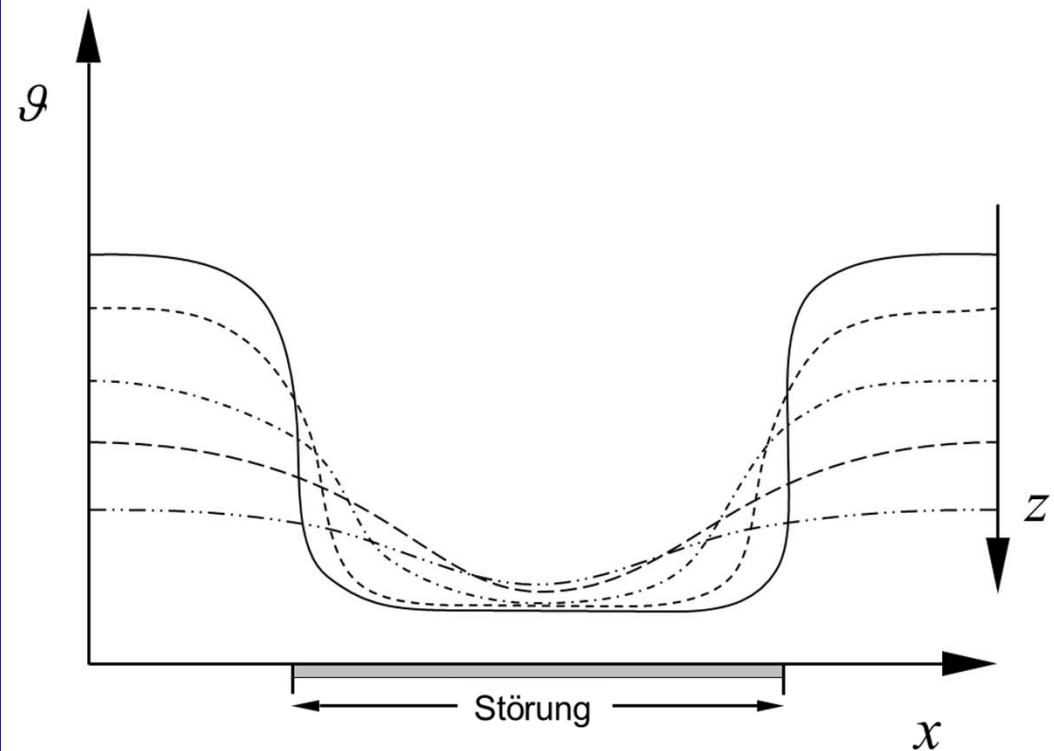
→ thermische Diffusionslänge $\mu = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f}}$

→ Eindringtiefe durch Modulationsfrequenz der Heizung einstellbar

Wärmewelle mit Materialstörung



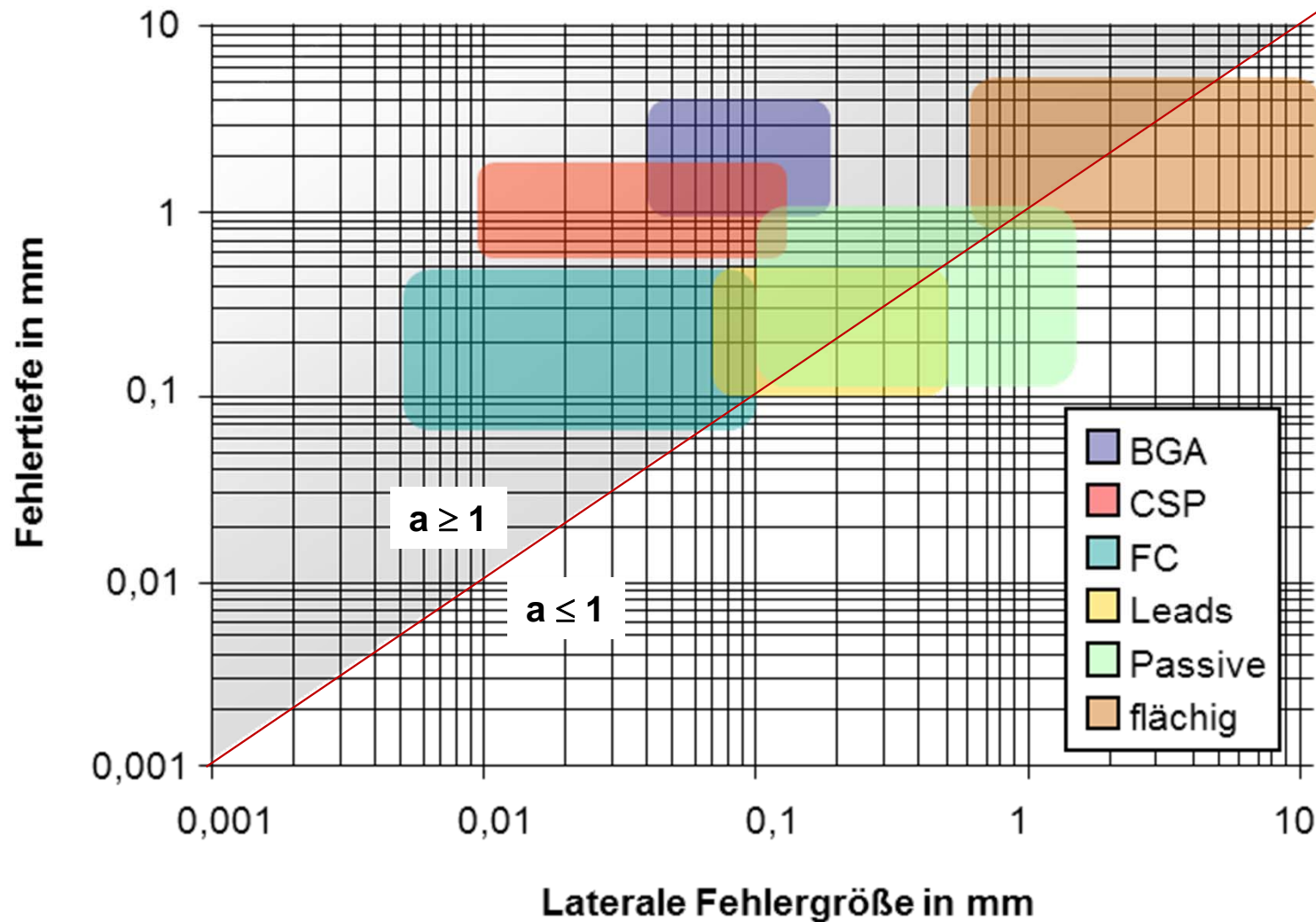
Temperaturverteilung hinter Störstelle

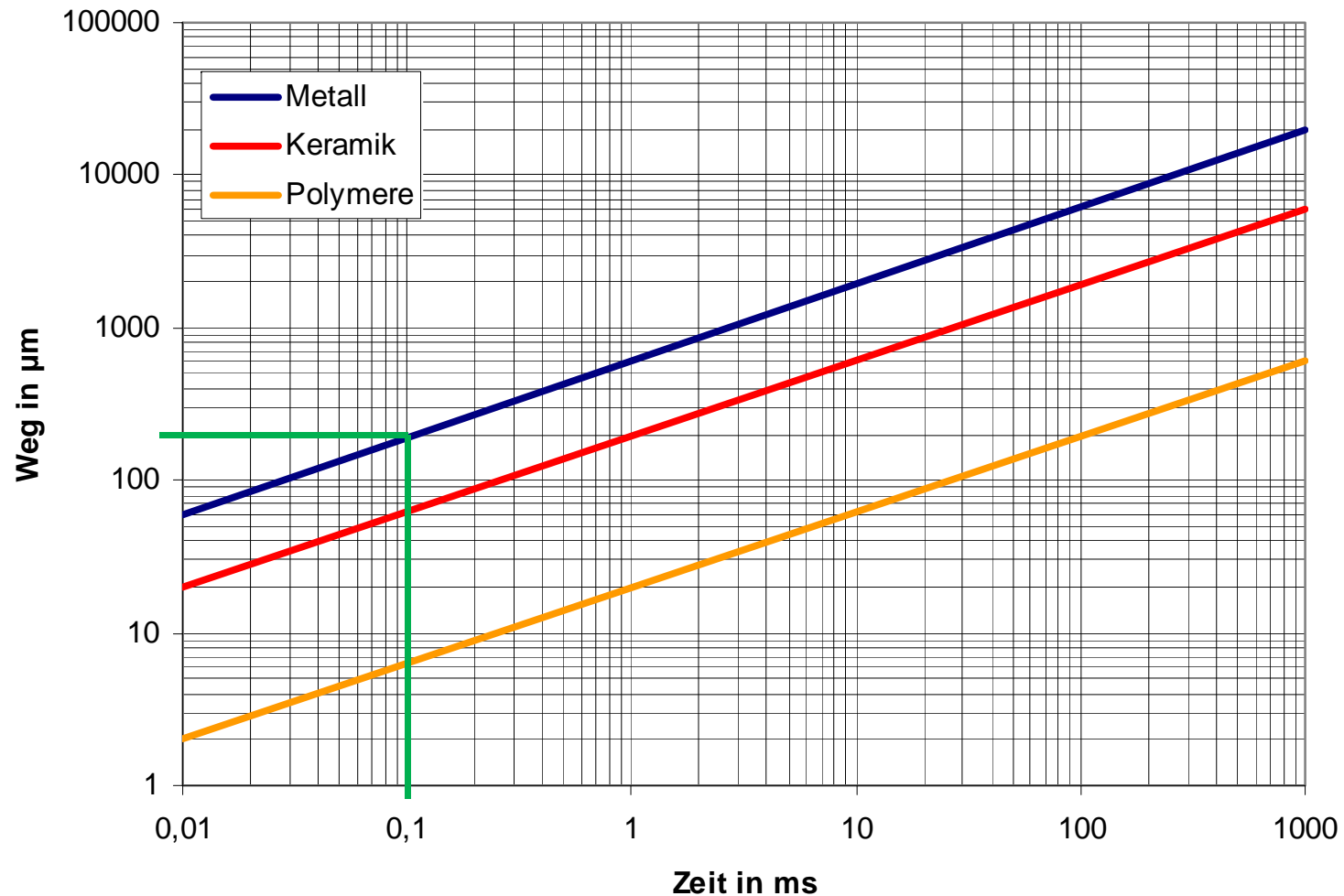


$$a = \frac{Z}{X} = \frac{\text{Tiefe der Störung}}{\text{laterale Ausdehnung der Störung}}$$

→ Messung möglich bis $a \leq 1$

thermografische Detektierbarkeit typischer Aufbauten





→ Thermografie für ausgewählte Anwendungen geeignet

→ schnelle Detektoren sind notwendig

Messanordnungen bei äußerer Wärmeanregung

Anordnung in Reflexion



- Direkte Reflexion in den Detektor durch Wärmequelle
- ggf. Schutz des Detektors bei Wärmeanregung

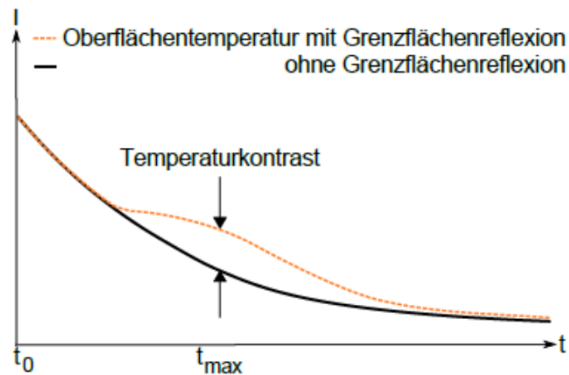
Anordnung in Transmission



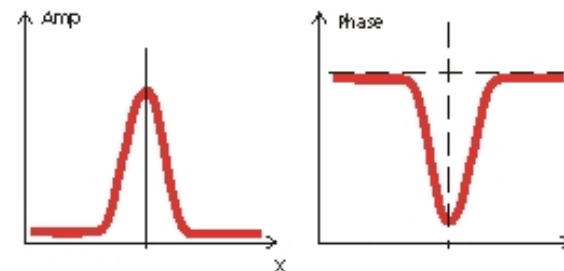
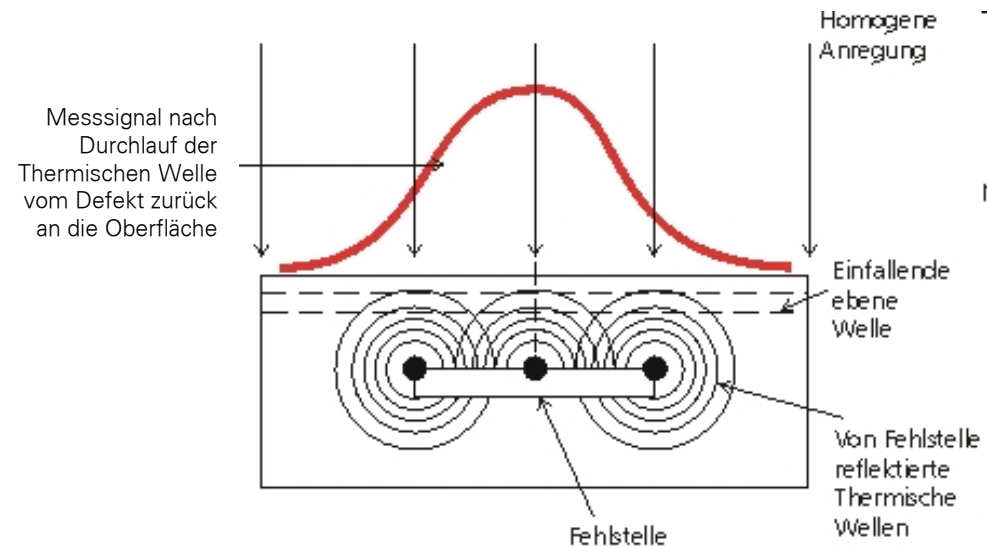
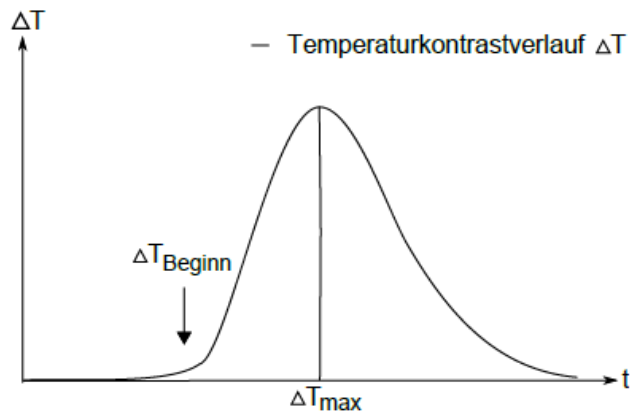
- keine Reflexion in den Detektor durch Wärmequelle
- gut für flache Probekörper geeignet

Anordnung in Reflexion

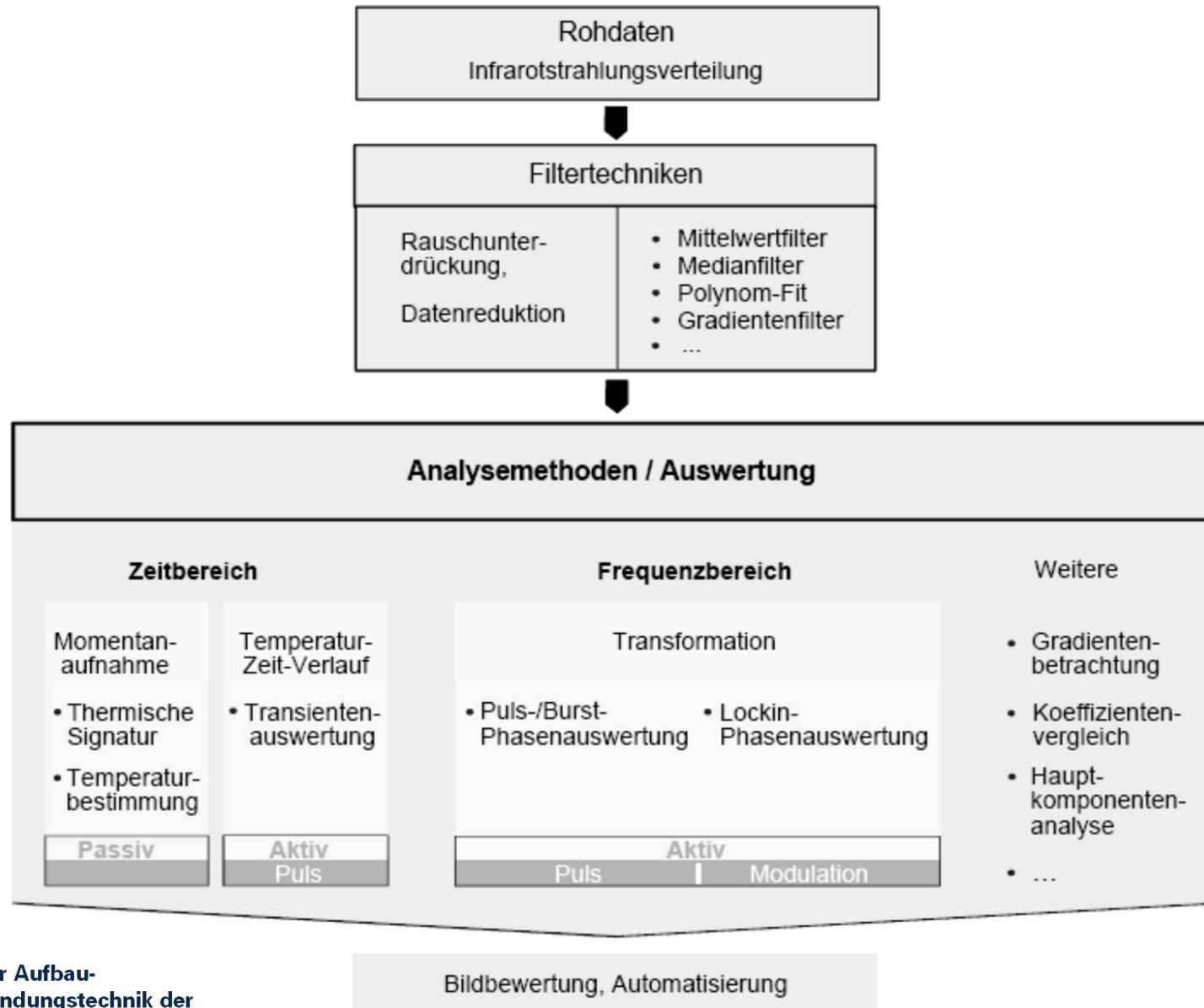
a) Abkühlkurven nach Puls-Anregung



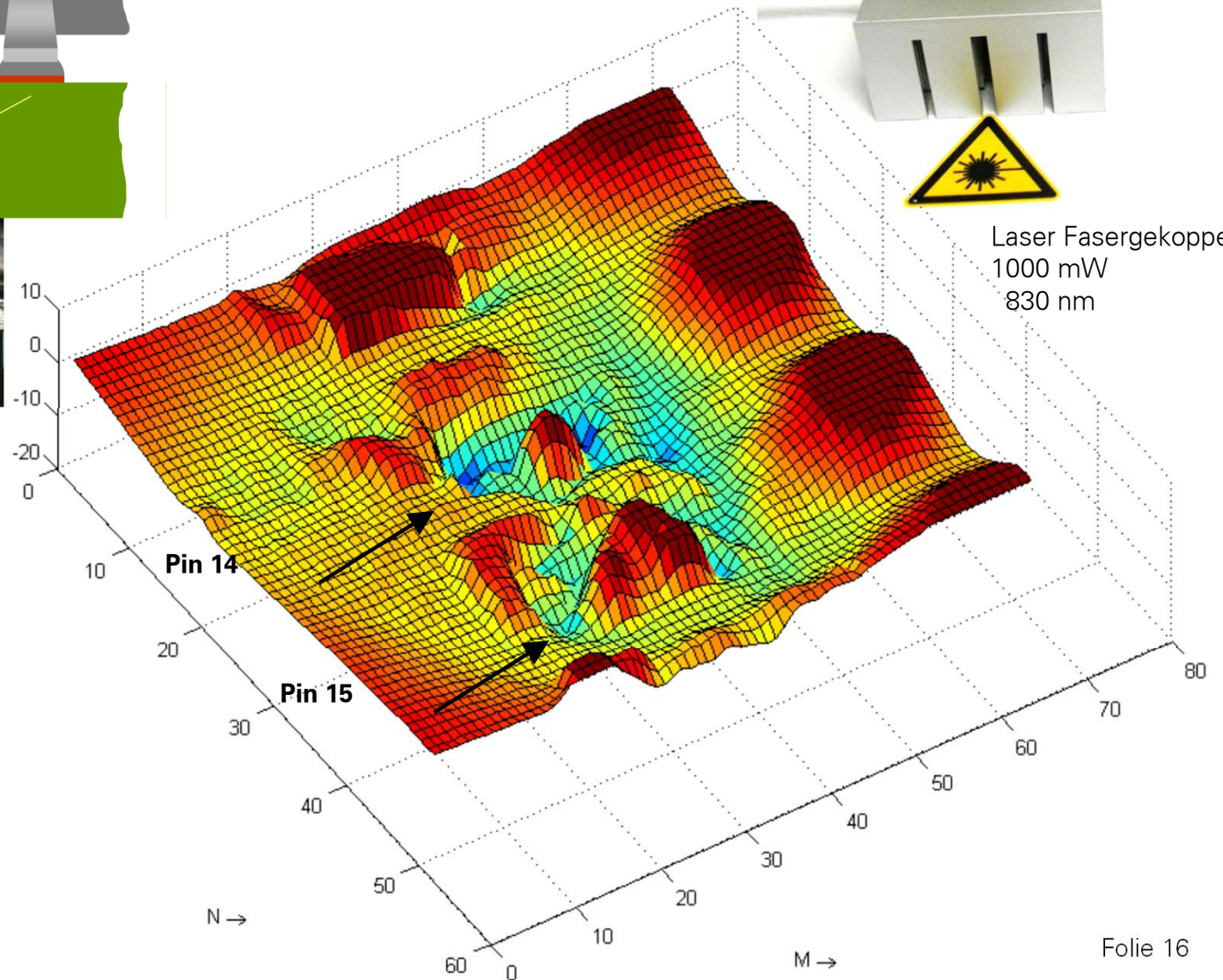
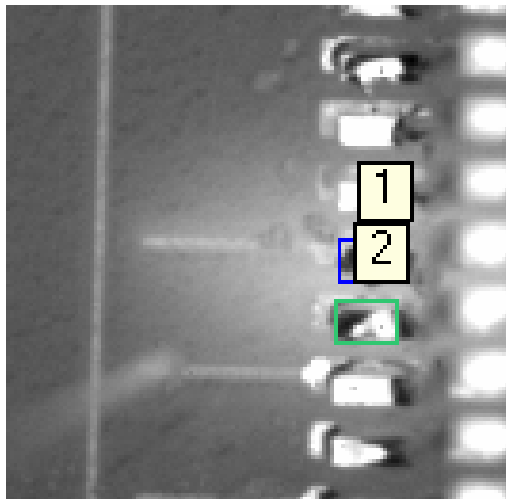
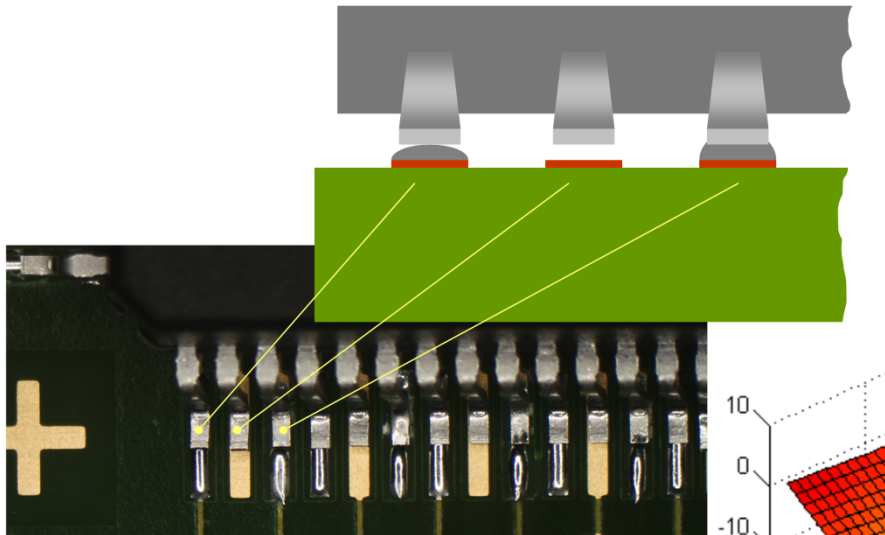
b) Temperaturkontrast



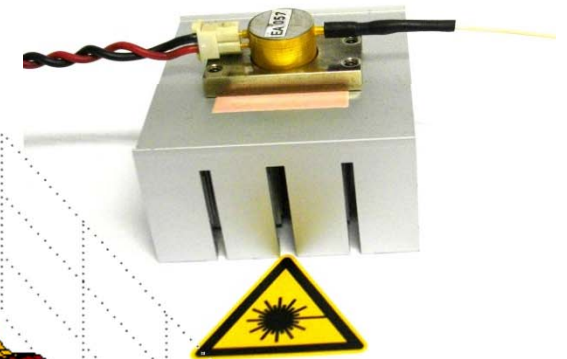
Amplitude und Phase des Messsignals



Topographie Abkühlgradient



τ Abkühlung



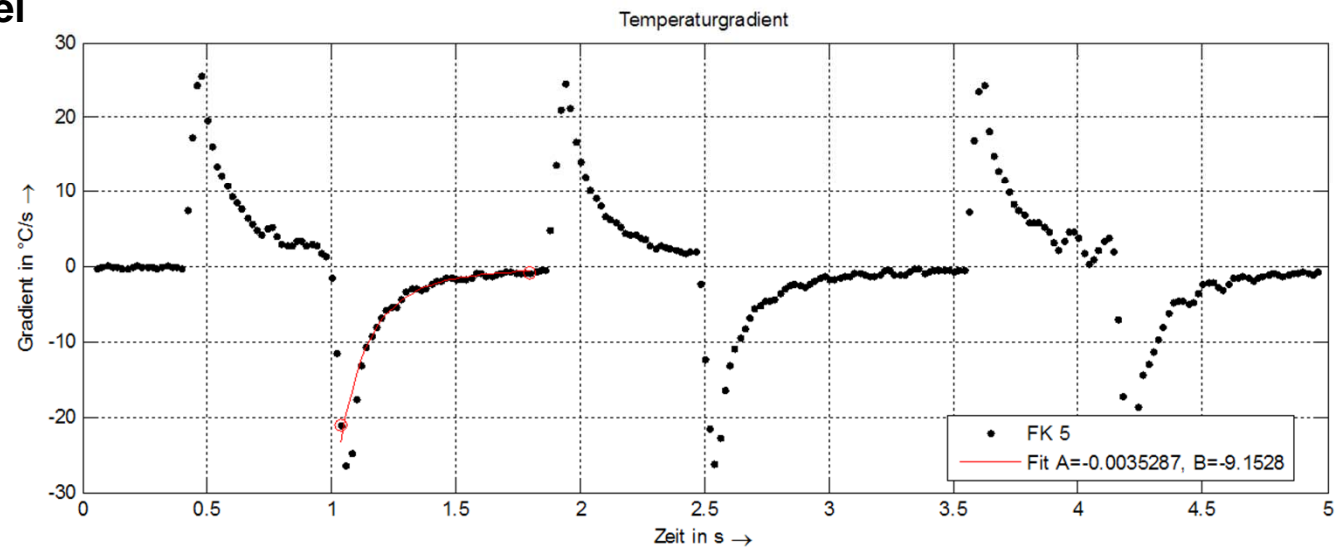
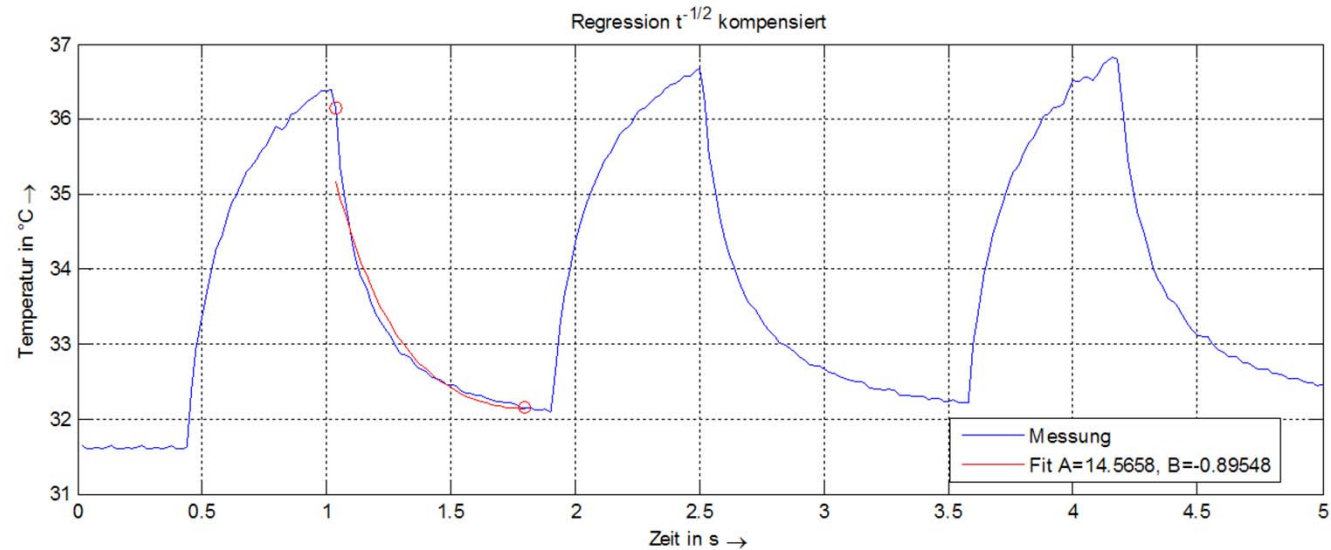
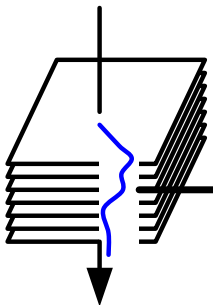
Laser Fasergekoppelt
1000 mW
830 nm

Erstellen der Topographiekarte

→ τ ist Maß für die
Abkühlgeschwindigkeit

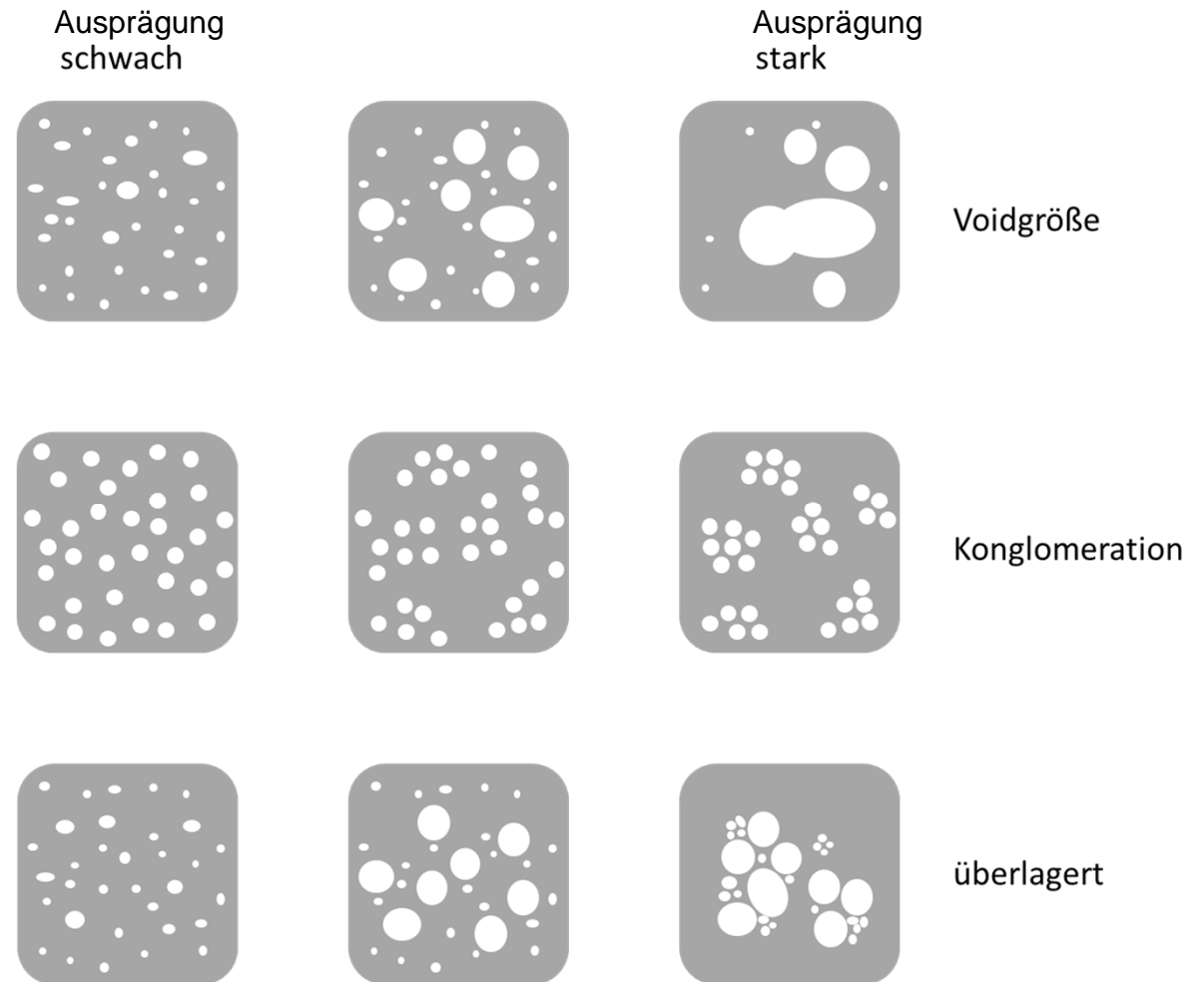
$$\vartheta(t) \sim e^{-\frac{t}{\tau}}$$

→ τ aus Regression der
Abkühlkurve in jedem Pixel

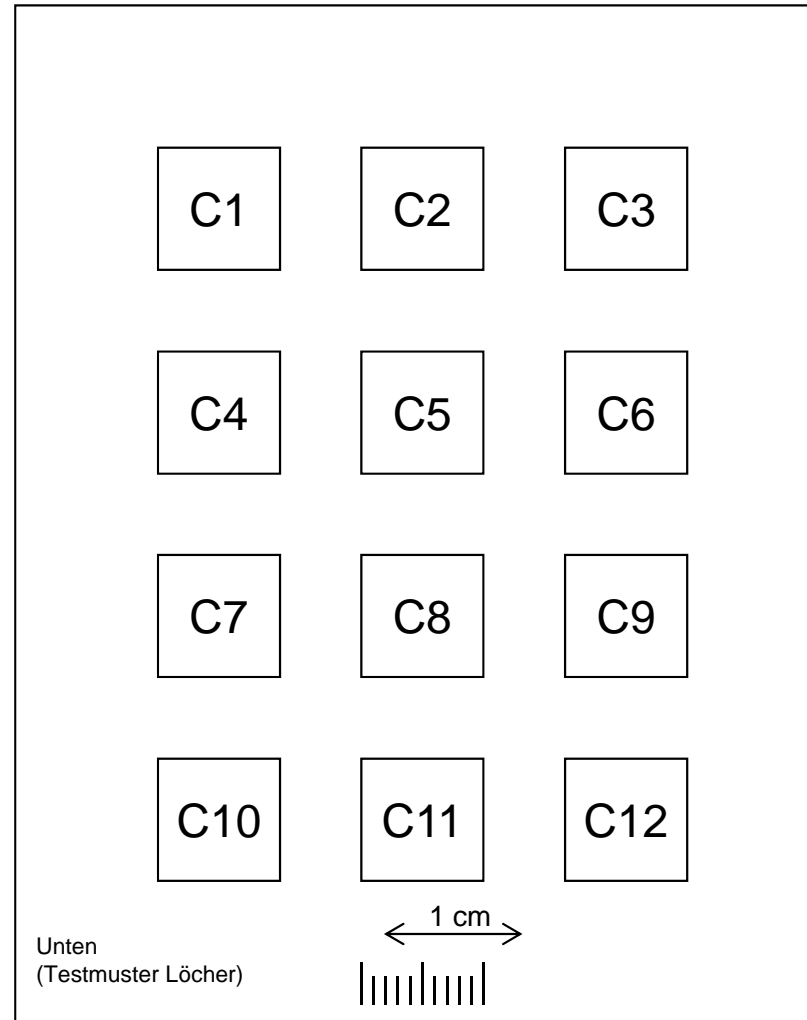
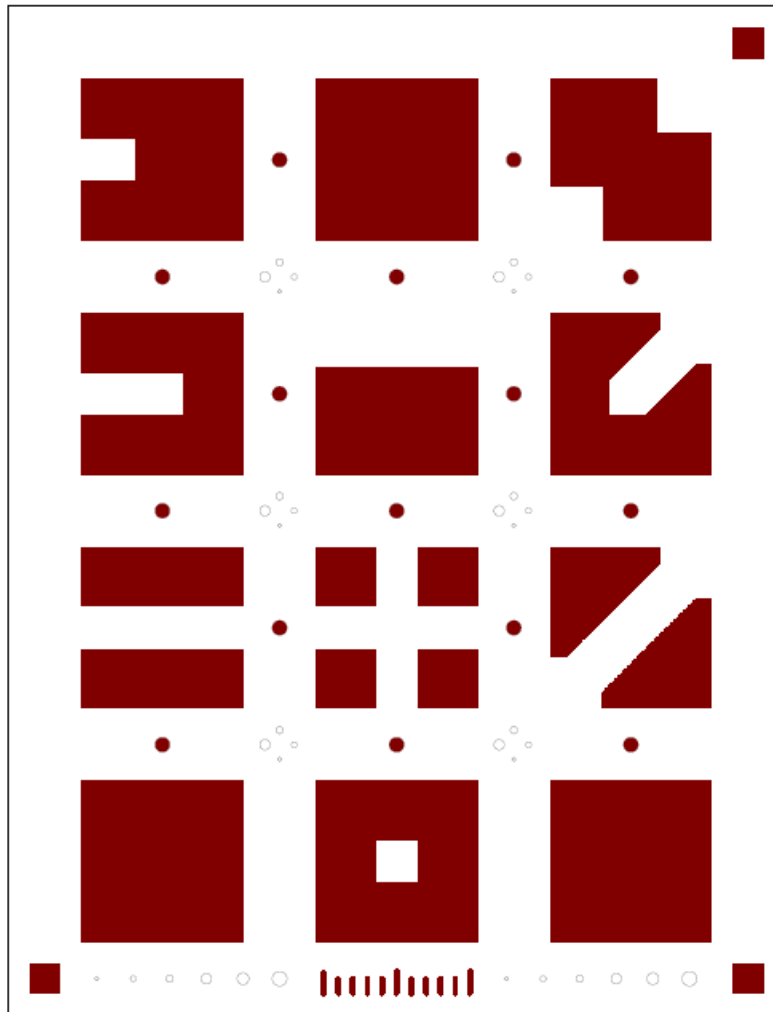


Wärmedurchgang der Lötstelle
beeinflusst von:

- Flächenanteil der Voids %
 - Verteilung der Voids
- Für IR-Kamera ist eine laterale Auflösung der einzelnen kleinen Voids nicht nötig

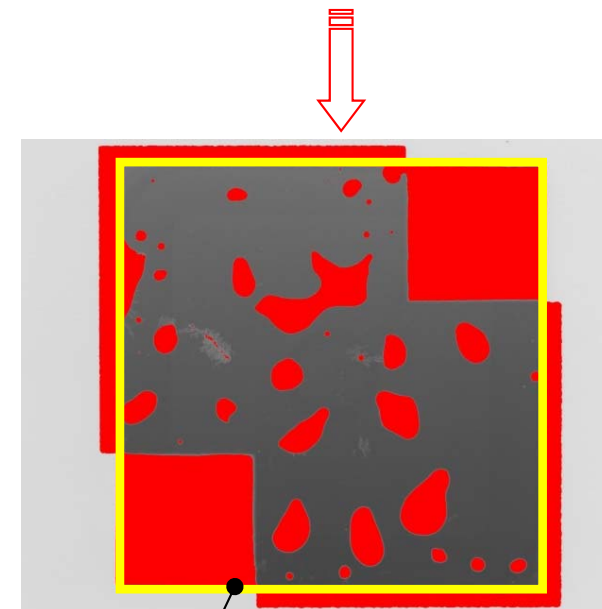
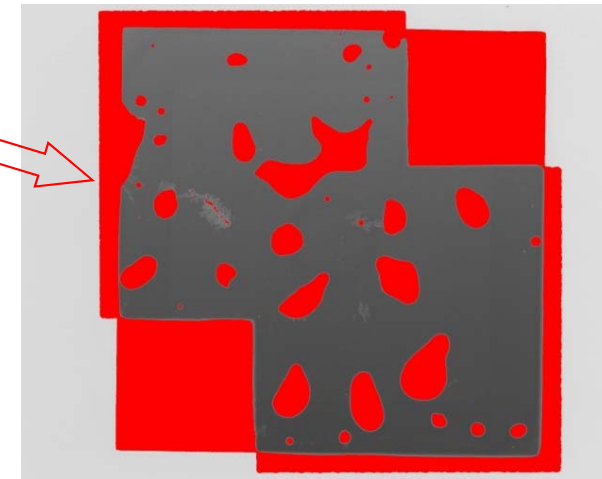
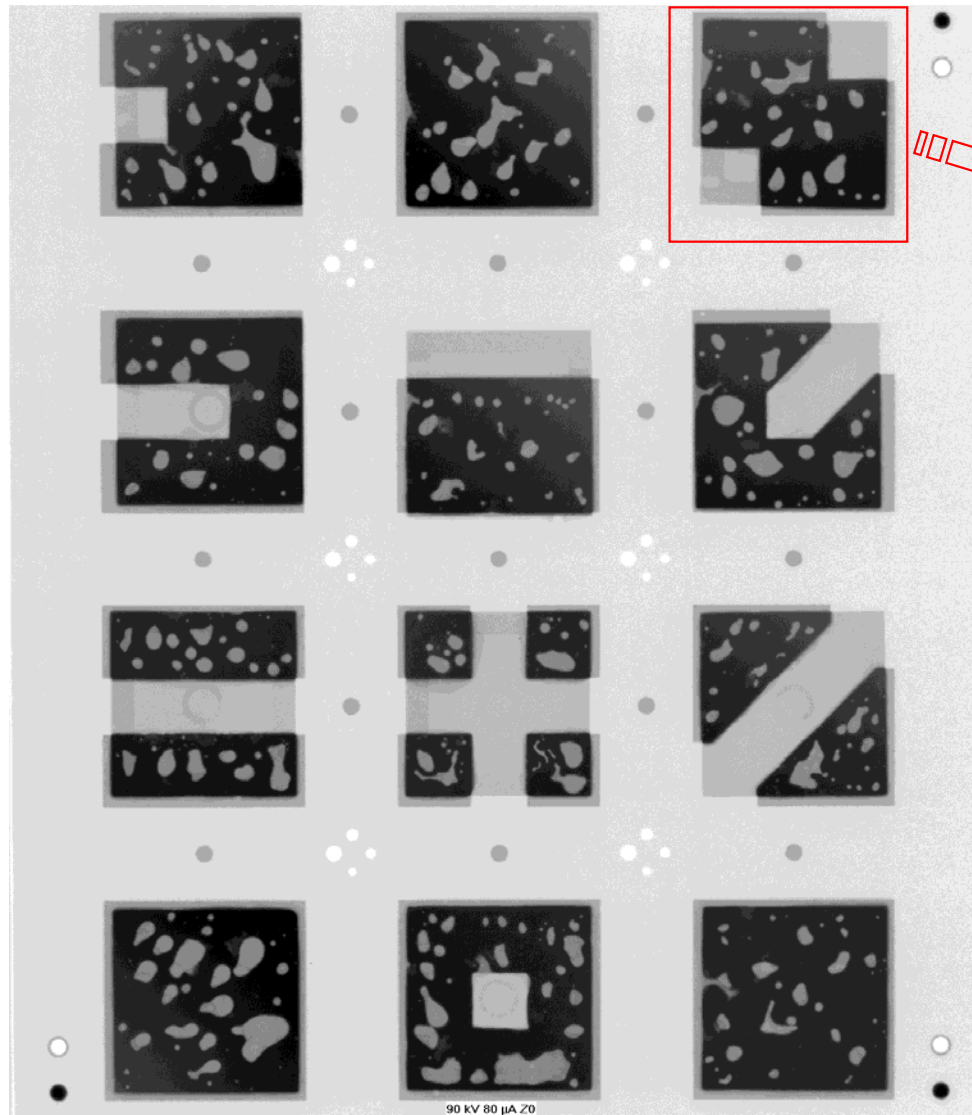


Layout der Testsubstrate



Untersuchung flächiger Lötverbindungen

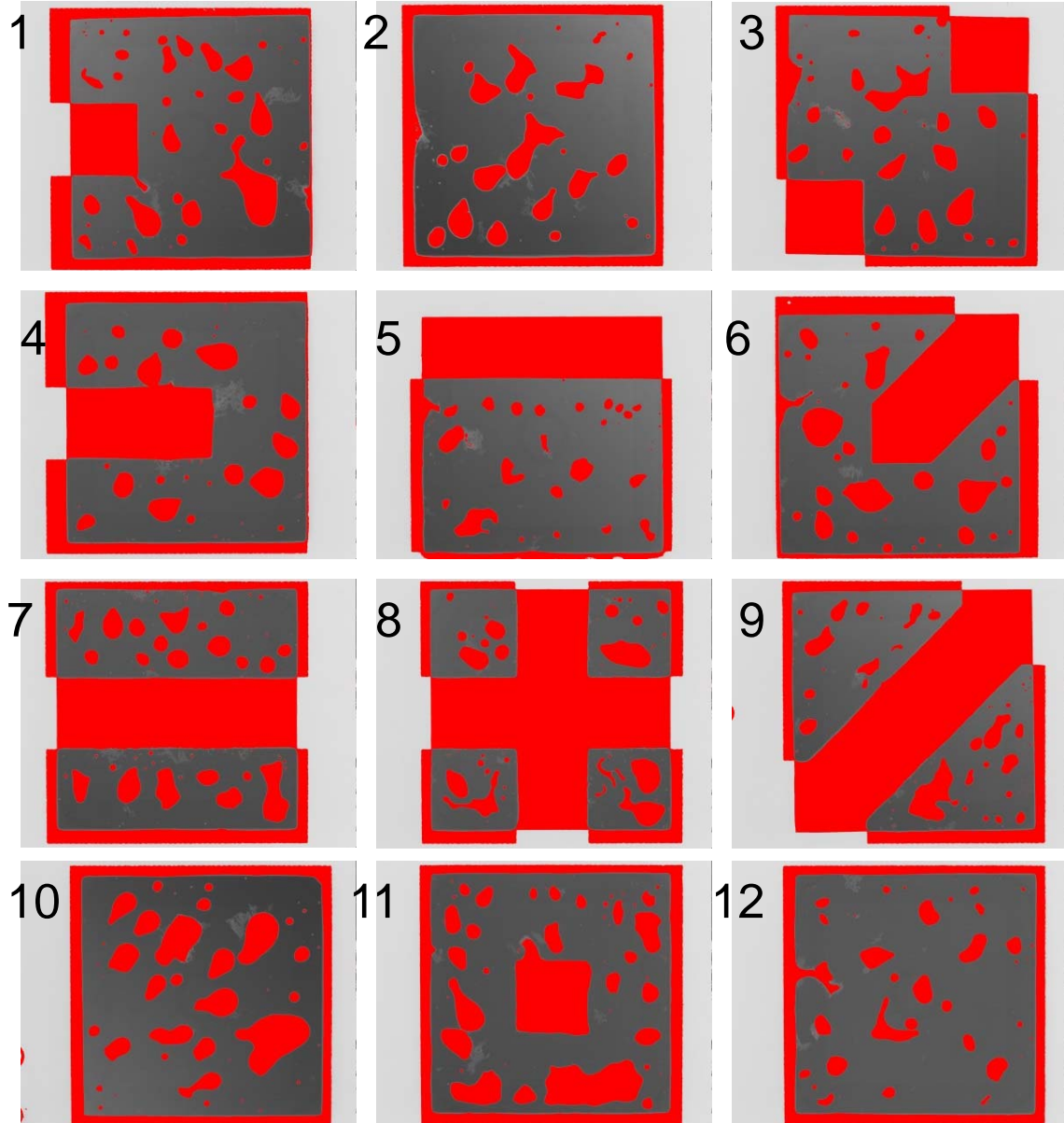


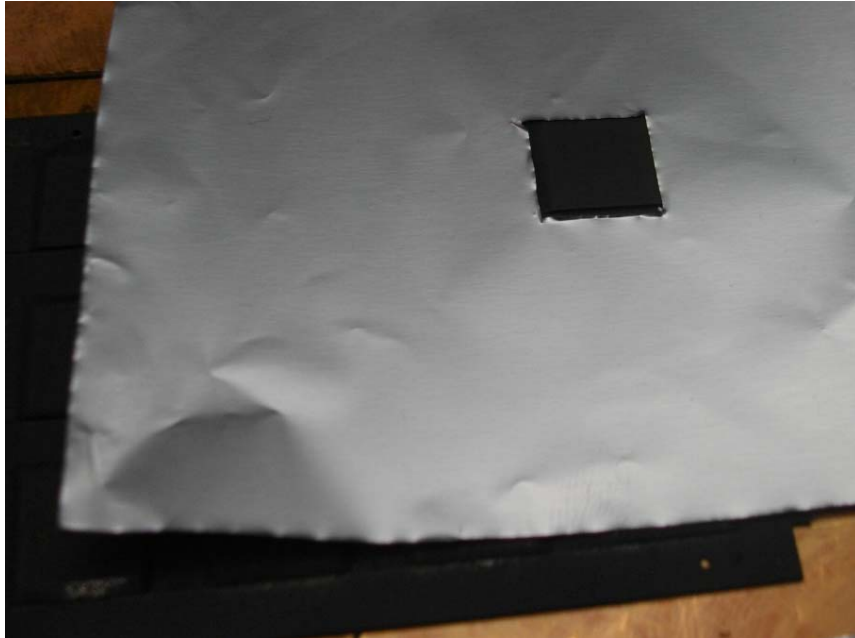


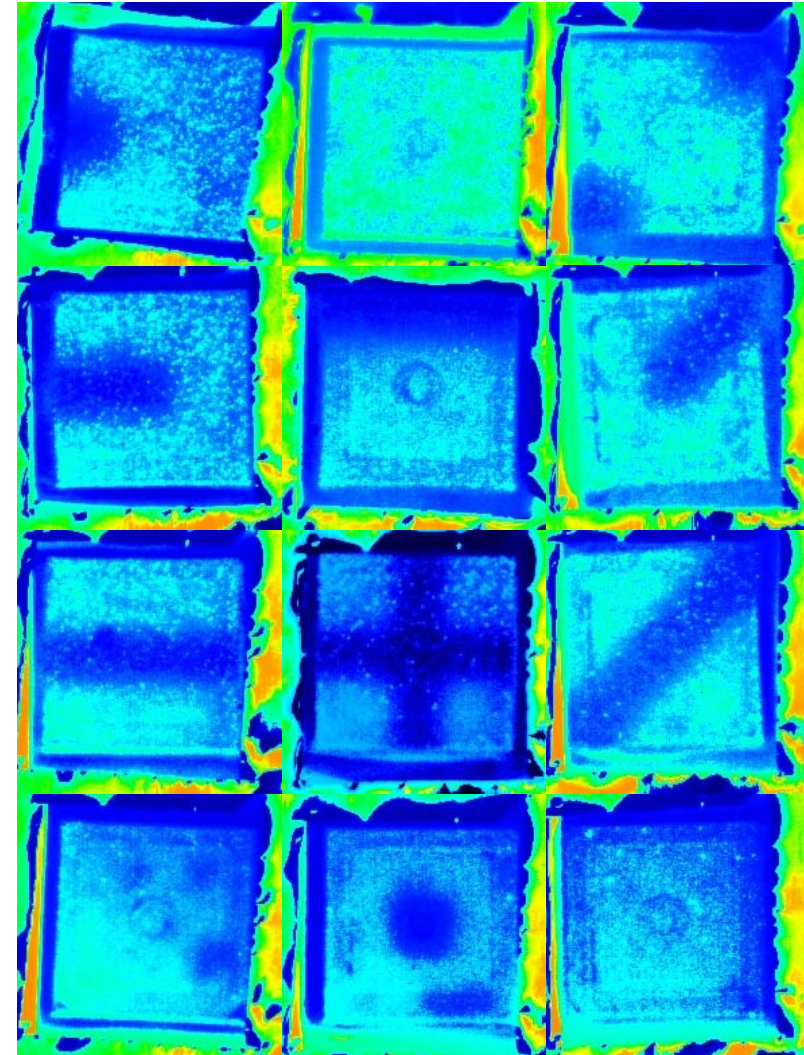
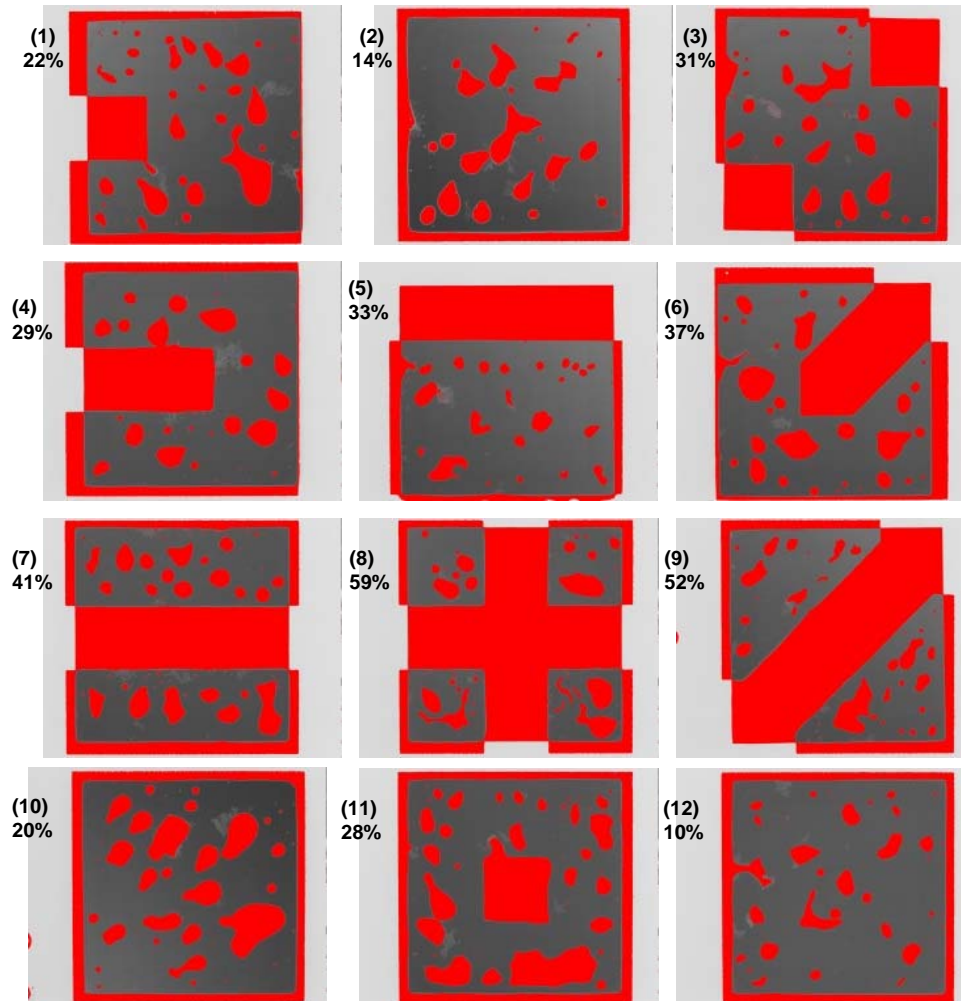
Röntgenaufnahmen der Proben (hier Probe 04)

Auswertung der Fläche unter dem Chip

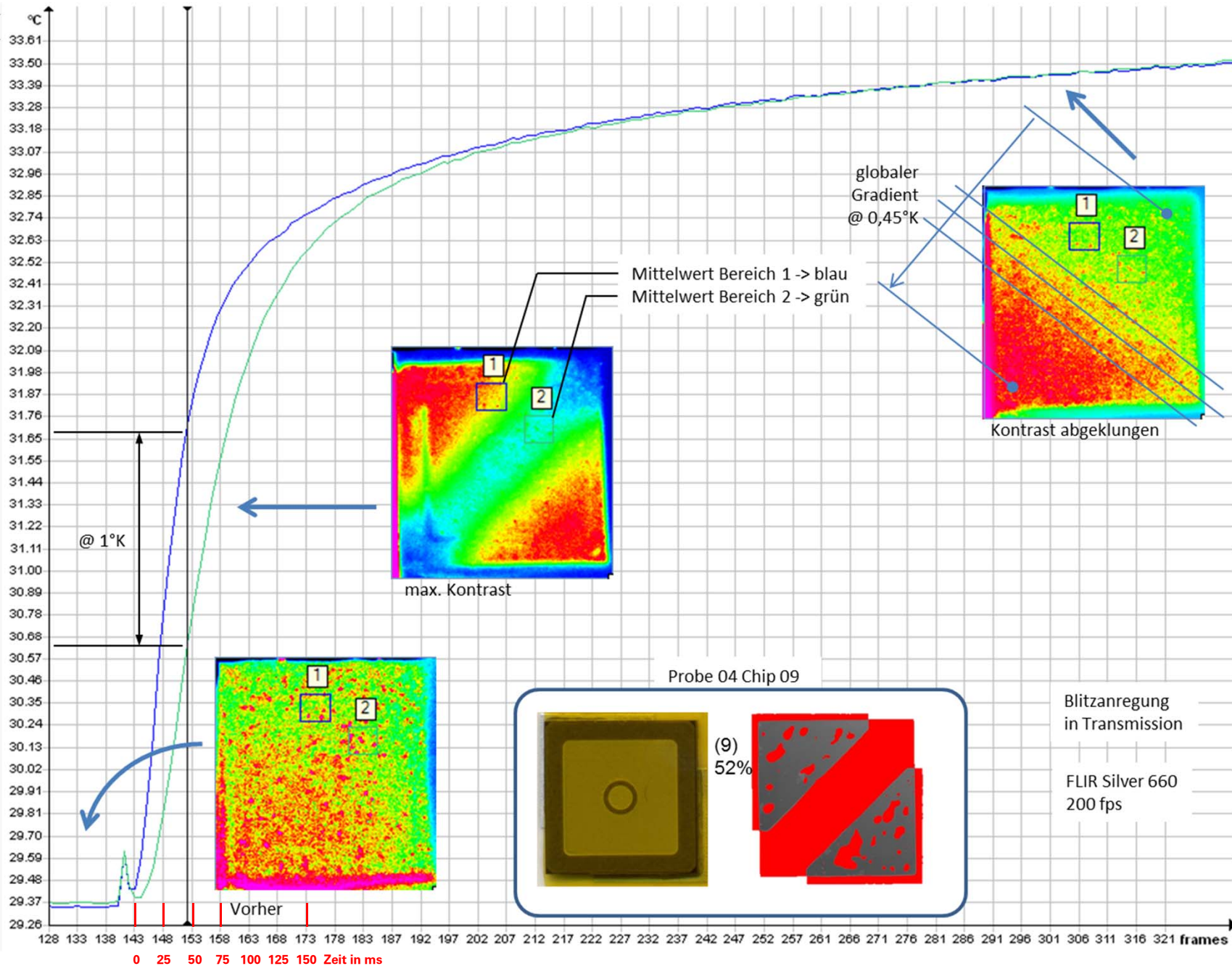
Chip	Fehlstellen- anteil in %
1	22
2	14
3	31
4	29
5	33
6	37
7	41
8	59
9	52
10	20
11	28
12	10







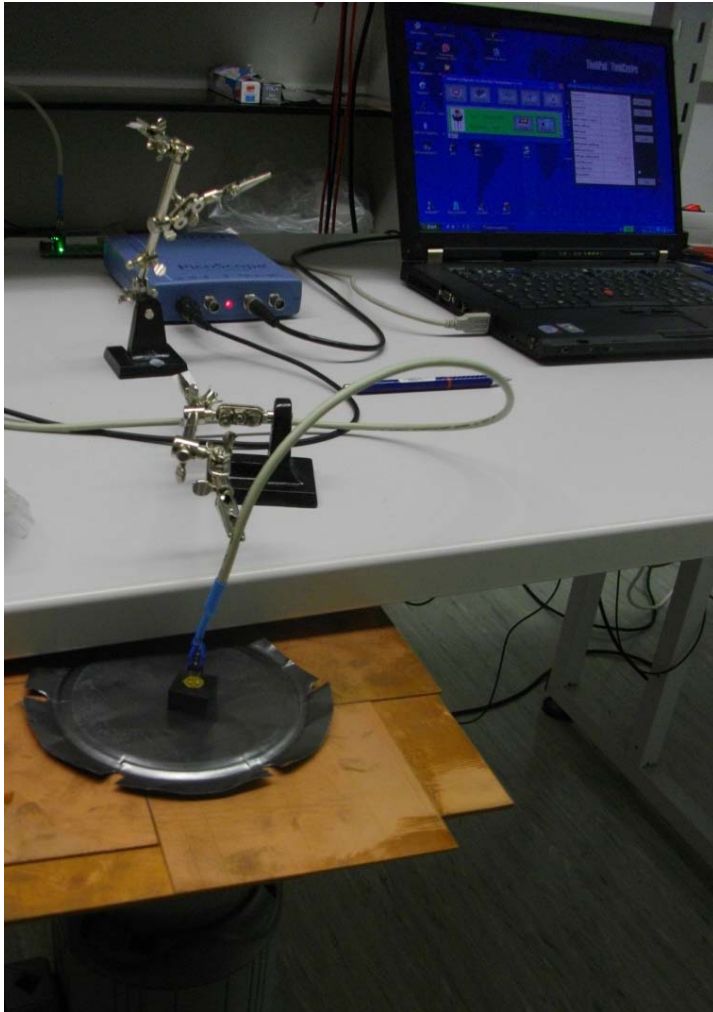
Untersuchung flächiger Lötverbindungen



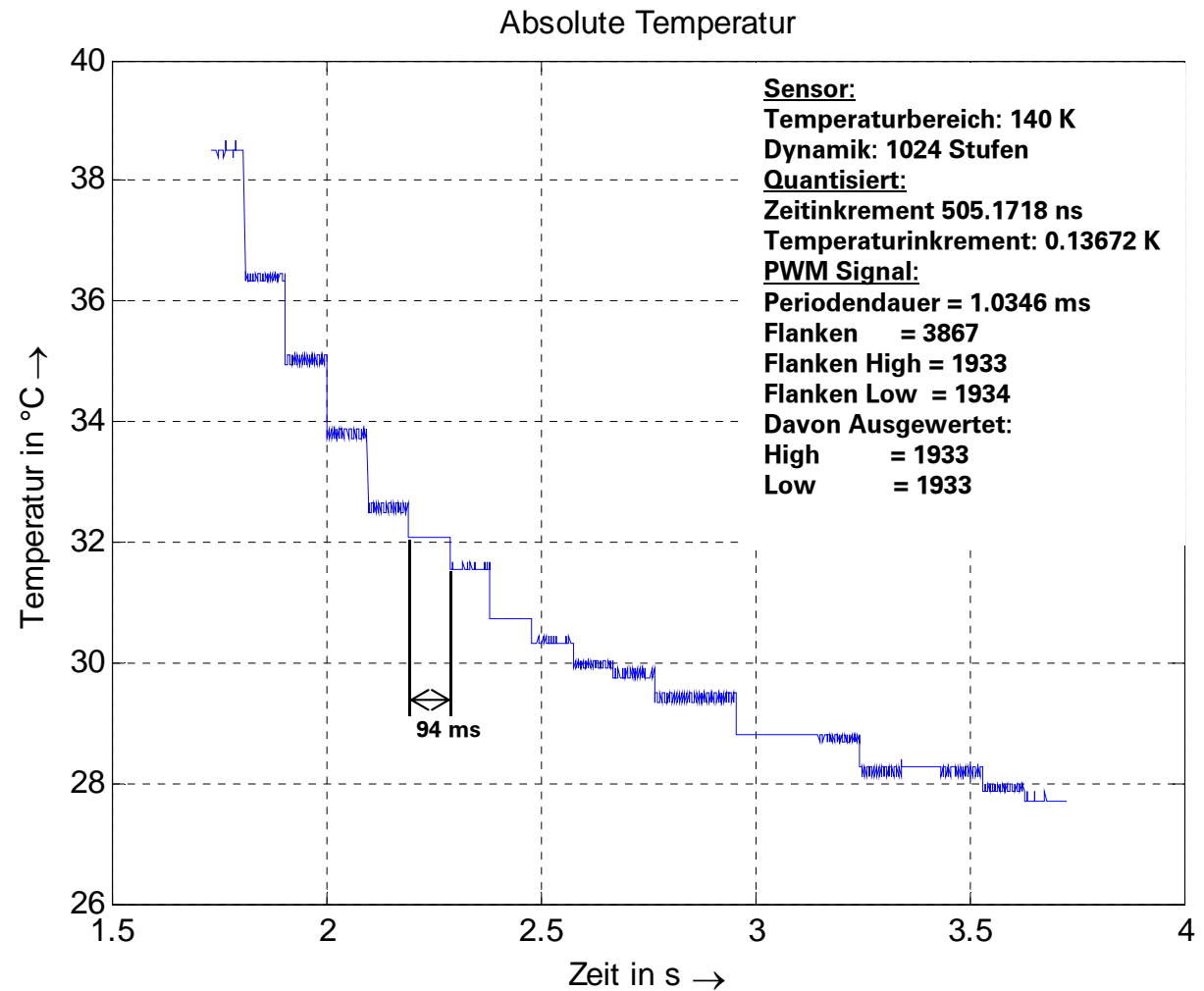
Anforderungen an einen Thermografiesensor

- Laterale Auflösung kann sehr niedrig sein (Unterabtastung bzgl. Struktur möglich)
- Zeitliche Auflösung soll relativ hoch sein @ 1 ms
- Moderate Anforderungen an Quantisierung und Dynamik durch guten Temperaturkontrast (ungekühlter Sensor)

→ **Es ist keine teure Infrarotkamera mit hoher Auflösung und Kühlung notwendig**

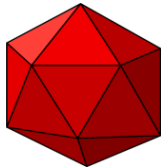


- Recherche nach einfachen IR-Sensoren und
- erste Tests zur Anwendbarkeit



Das Projekt IR-SimpleCam:

- *Projektpartner:*



- TU Dresden, Institut für Festkörperelektronik (IFE)
- Sensor- und Optikentwicklung



- TU Dresden, Zentrum für mikrotechnische Produktion (ZmP)
- Demonstratorproben, thermische Anregung, Steuerung

- *Finanzierung:*

- SMWK, Betreuung durch SAB

- *Laufzeit:*

- 05/2016...04/2018



IR-SimpleCam

Thermografie für die Leistungselektronik

68. Treffen des SAET
30. September 2016 in Dresden

Michael Schaulin,
Martin Oppermann