

Kontaktthermografie

Ein neuer Ansatz zur Inspektion von Die-Sinter- und Lötverbindungen

Dresden, 08.11.2023

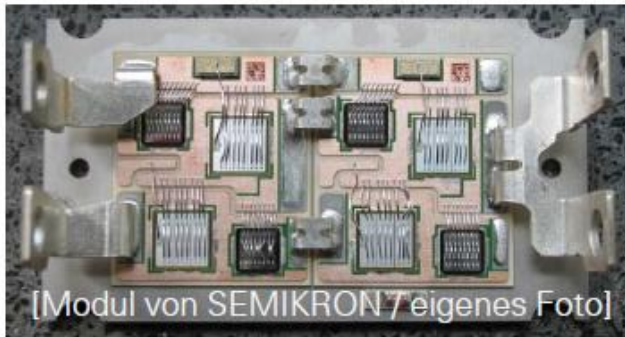
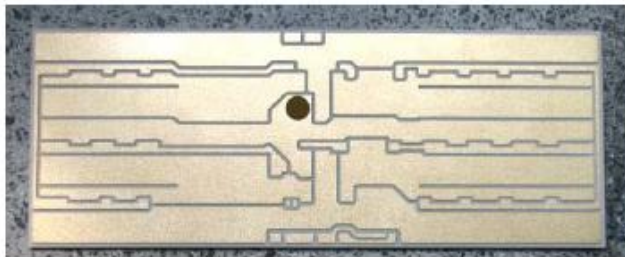
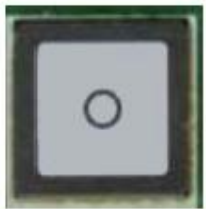
Martin Oppermann, Oliver Albrecht, Thomas Zerna

Agenda

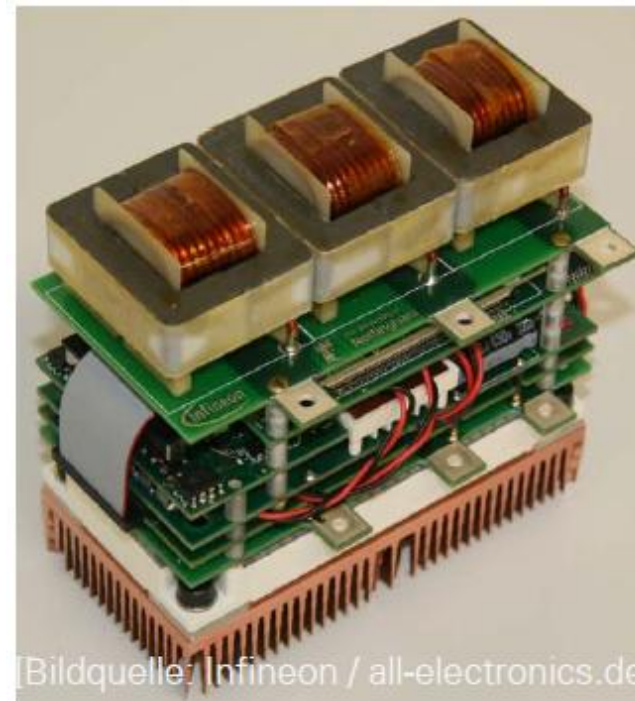
- Motivation und Problembeschreibung
- Die Idee „Kontaktthermografie“
- Der Messaufbau aus AnkoTherm und erste Ergebnisse
- Was stört uns da?
- Der aktuelle Stand

Motivation: zfP-Bedarf für die Leistungselektronik

- Leistungsmodule der Elektromobilität bzw. für die Wandlung erneuerbarer Energien basierend auf IGBTs, Dioden, FETs auf Si- oder SiC-Basis
- montiert als Die auf DCB-Substraten



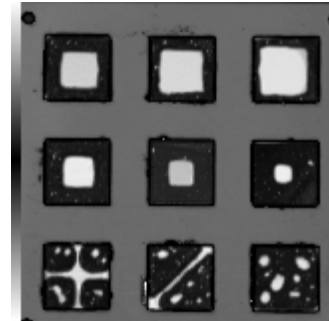
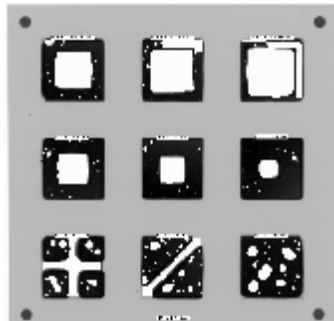
[Modul von SEMIKRON / eigenes Foto]



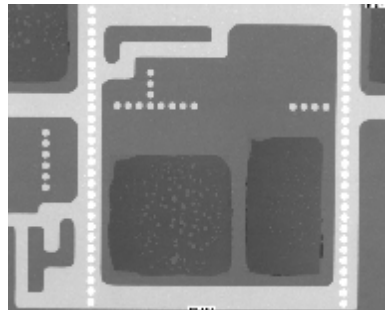
[Bildquelle: Infineon / all-electronics.de]

Motivation: zfP-Bedarf für die Leistungselektronik

- Montagetechnologien: Löten und Ag-Sintern
- Serientaugliche zfP-Verfahren:
 - Gelötete Dies: Röntgen-Radiografie und (bedingt) Ultraschallinspektion



- Gesinterte Dies:



???

è Fazit:

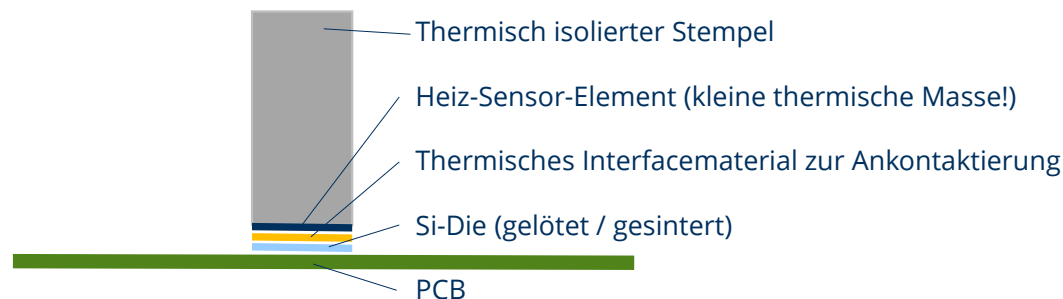
Es gibt (momentan) keine serientaugliche zfP für Sinterverbindungen!

Die Idee: Kontaktthermografie

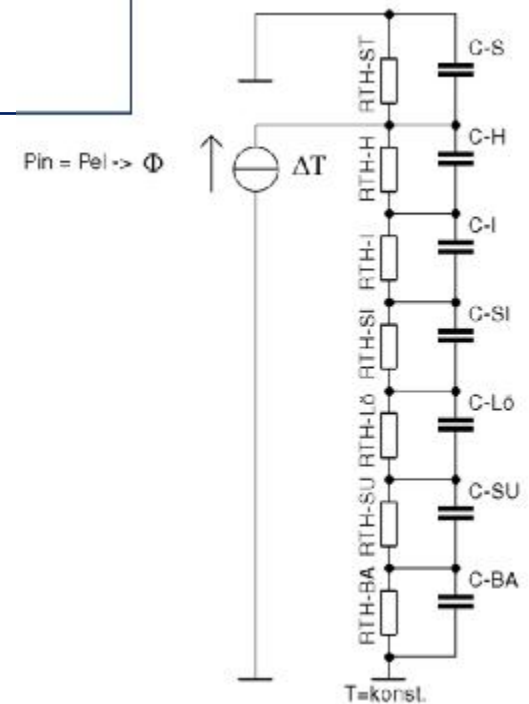
Ideen zum Inspektionsheizer:

- Aufbau eines Heiz-“Pixels”
- Design als Kontaktstempel:

Inspektionsziel:
Inspektion von Löt- & Sinterverbindungen an Dies
(„Ersatz“ für Strahlungsthermografie)

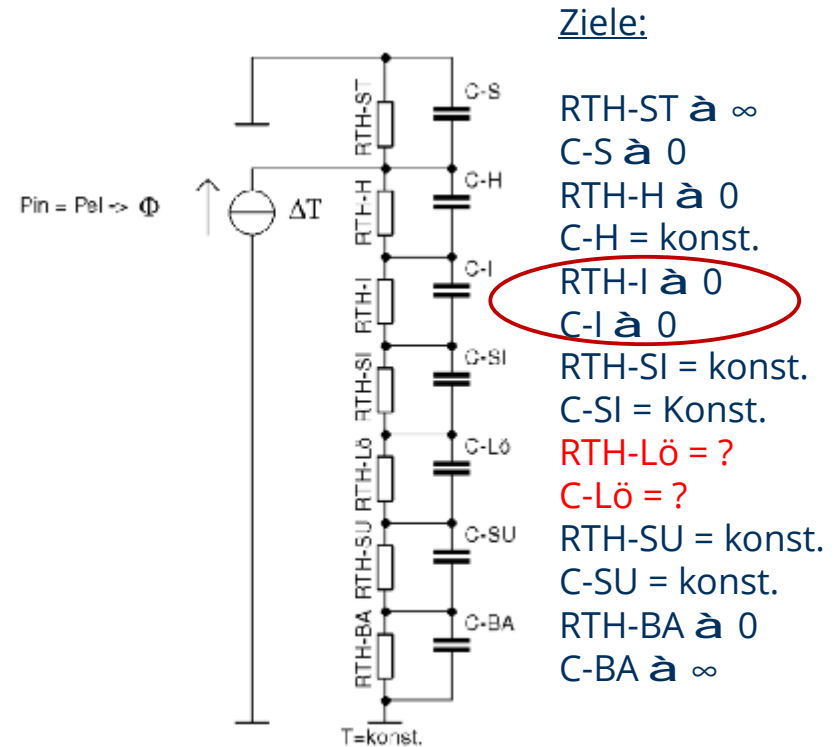
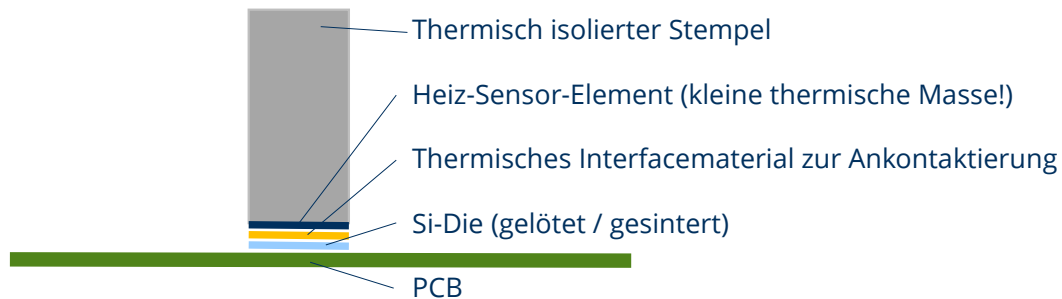


- Ziel: Zeitlich und thermisch aufgelöste Messung des *Entwärmungsvorgangs* nach thermischer Anregung durch Heizen
- è **Wärmeflussmessung**



Die Idee: Kontaktthermografie

Zielfunktionen:



Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

Das Projekt „Anlagenintegration der Kontakt-Thermografie als schnelles In-Line-Qualitätstool für leistungselektronische Module – AnkoTherm“

(Nachfolge von DynaTherm, siehe auch 77. Treffen des SAET)

Projektpartner:



Laufzeit:

10/2021 bis 12/2023

Finanzierung:

BMW i - ZIM

Gefördert durch:



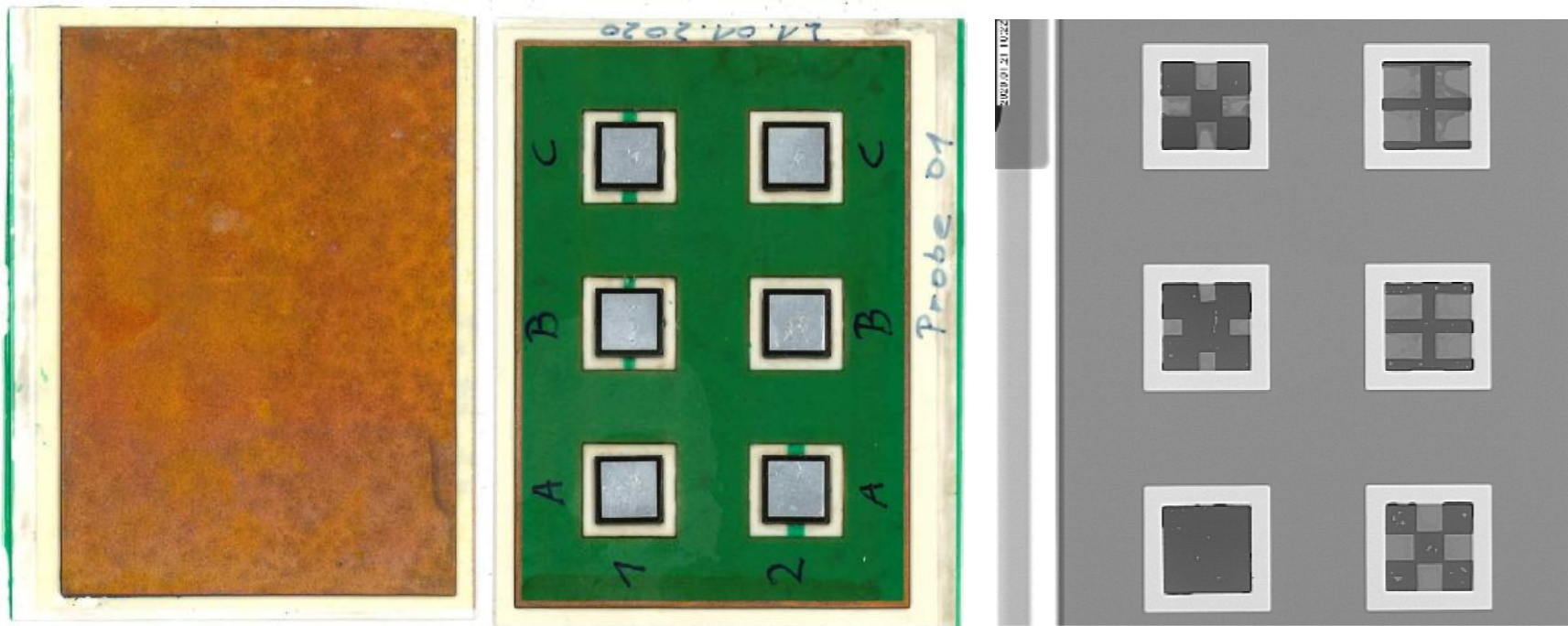
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

Die Inspektionsaufgabe und resultierende Probenaufbauten:

DCB-Substrate mit gelöteten oder gesinterten Leistungshalbleitern als Nacktchip (Die) – mit Fehlerstrukturen



Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

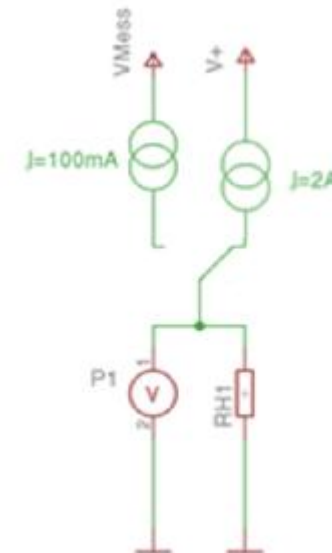
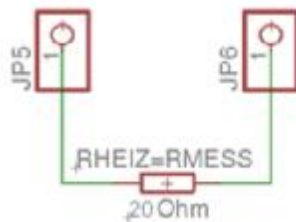
Aktuell: 4. Generation der Inspektionsheizer

Aufbau:

- Heizer-Sensor-Kombination durch Verwendung von Pt-Paste (Heizer = Sensor; $R \sim 20\Omega$)
- Beidseitig der Keramik Heizstrukturen
- Kontaktseite mit Ag als thermischem Interface zum Prüfling
- Möglichkeit des Anschlusses eines Halbleiter-T-Sensors LMT70

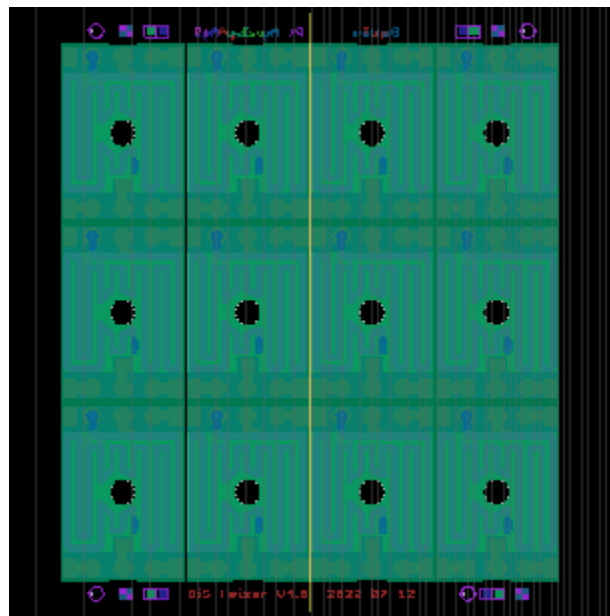
Messprinzip:

- Konstantstromspeisung während der Heizphase: z.B. 2A
- Konstantstromspeisung während der Messphase: z.B. 100mA

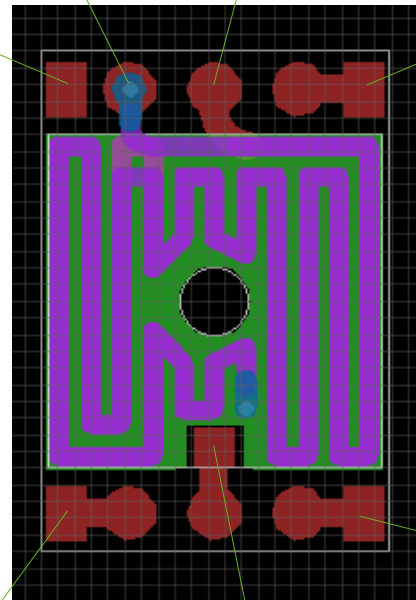


Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

Aktuell: 4. Generation der Inspektionsheizer



Pad für Flex
N.C.



Pad für Flex
GND LMT70

Pad für Flex
VDD LMT70

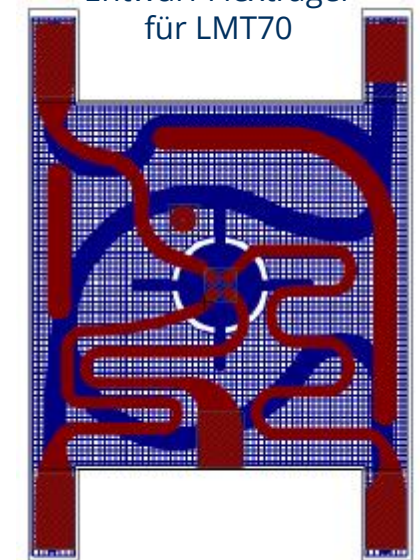
Pad für Flex
T_ON LMT70

Pad für Flex
TAO LMT70

Idee Flexträger
für LMT70

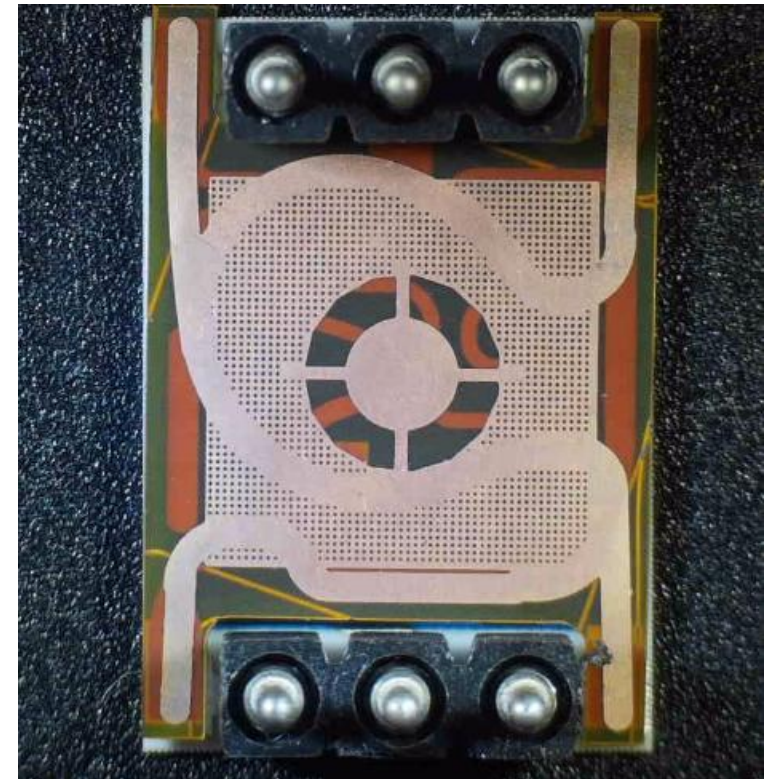
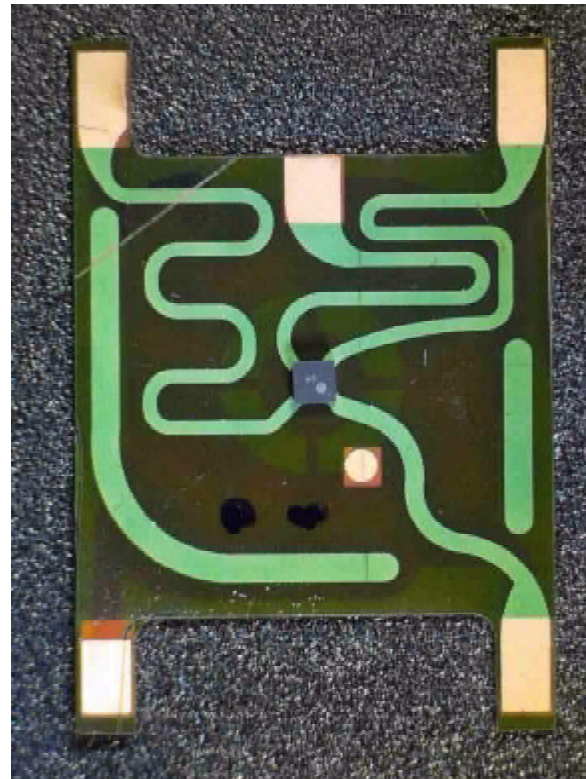
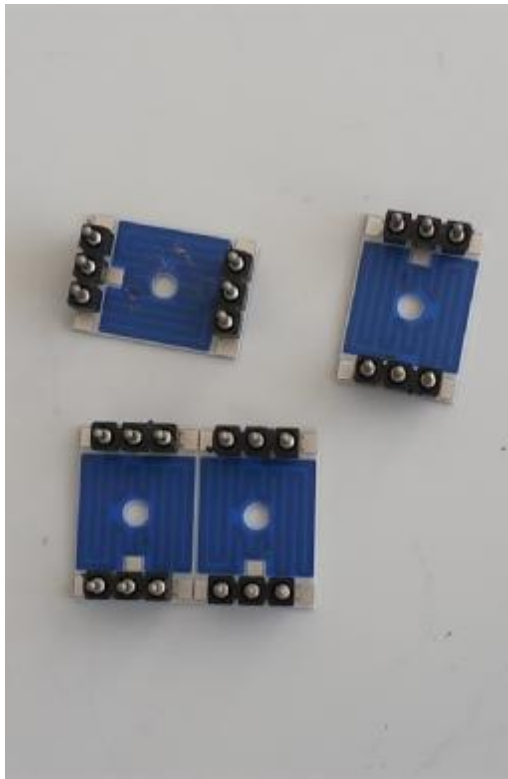


Entwurf Flexträger
für LMT70



Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

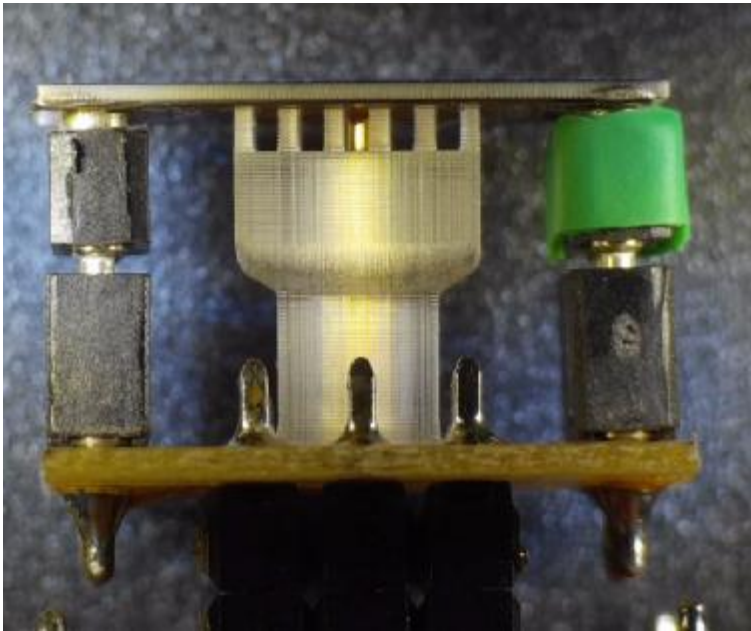
Aktuell: 4. Generation der Inspektionsheizer - Aufbau



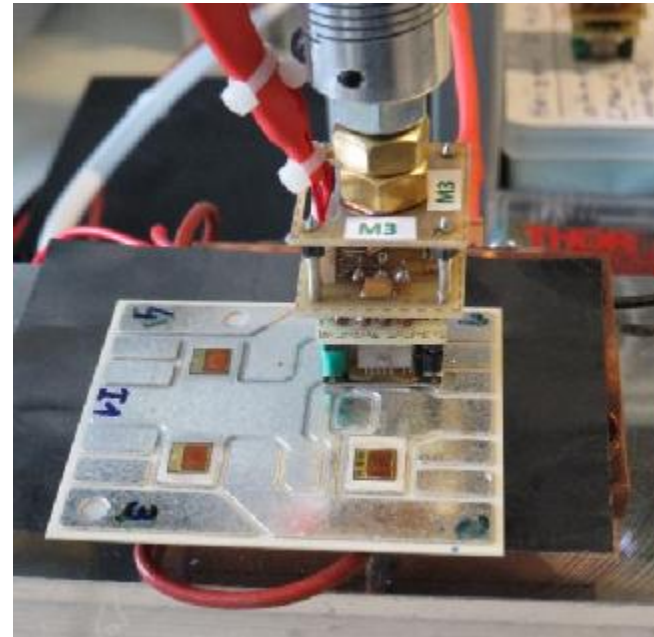
Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

Aktuell: 4. Generation der Inspektionsheizer - Messkopf

Verhindern der Verbiegung des Heizers über die Kanten des Prüflings bei Krafteinbringung durch 3D-Druckteil

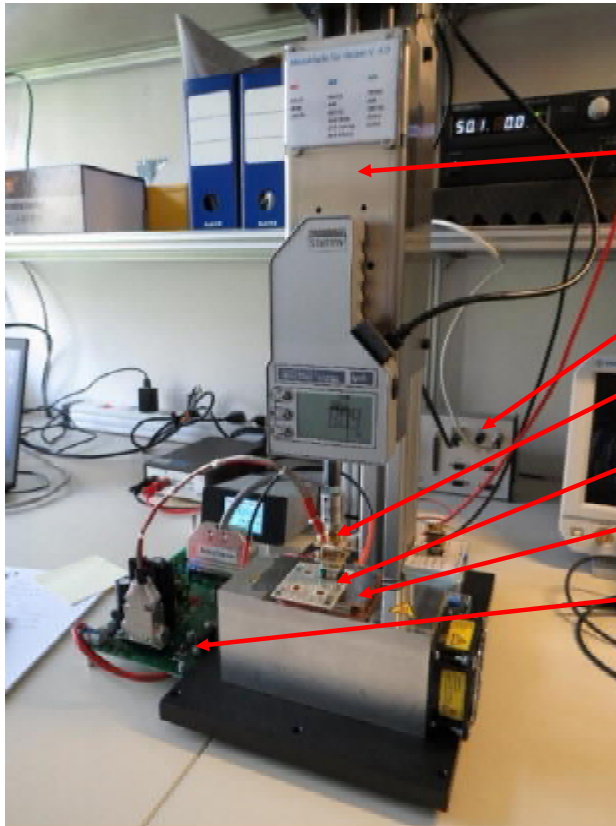


Messkopf auf Die positioniert



Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

Aktuell: 4. Generation der Inspektionsheizer - Prüfstand



Z-Achse mit Kraftmesseinrichtung

ADwin-Messsystem (industrielles Mess- und Steuersystem)

Messkopf

Probe

Peltier-Kühler

Elektronik für Leistungssteuerung / Messwertbereitstellung

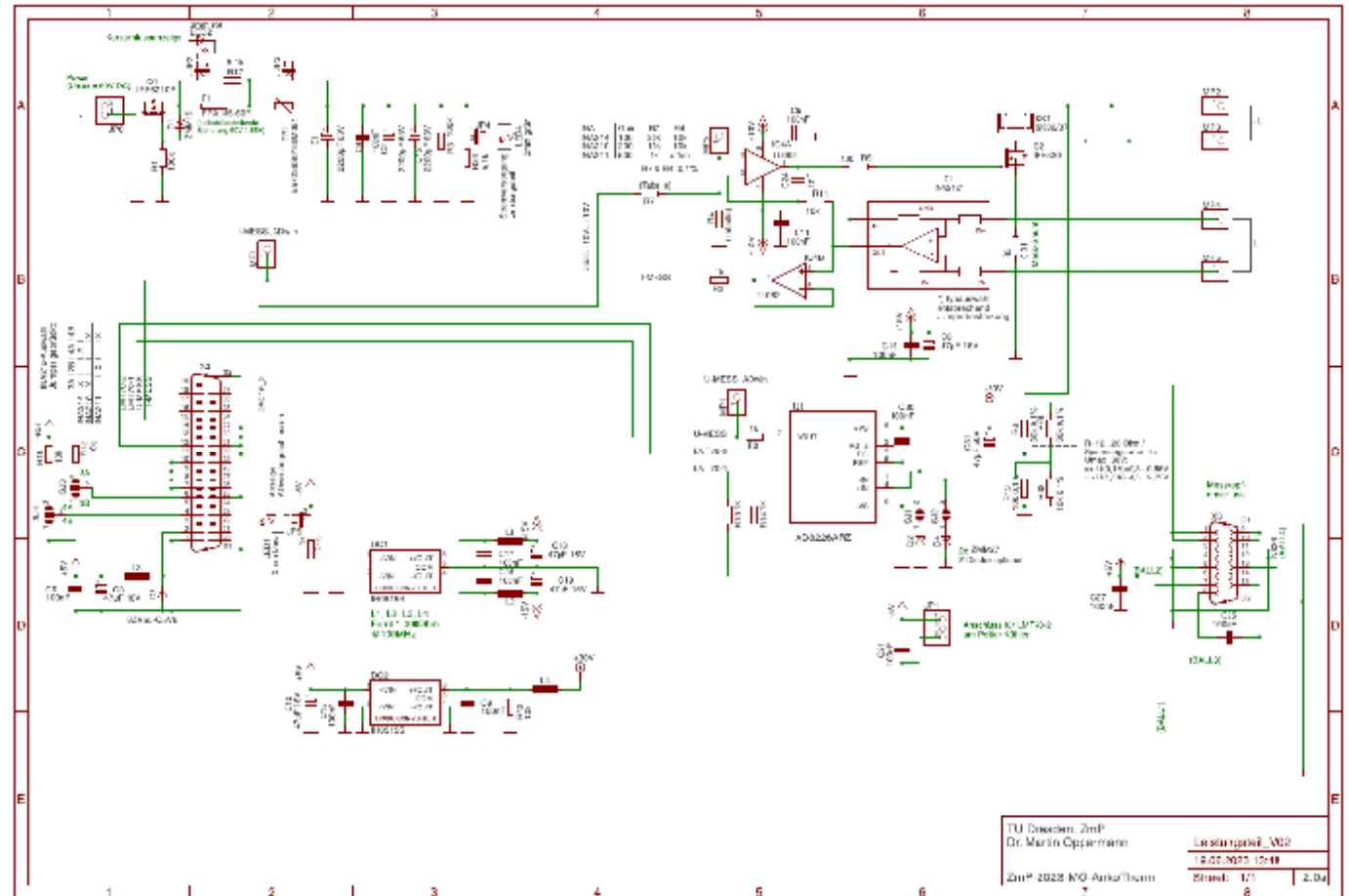
Wichtig!

Aufsetzen des Sensorkopfes mit definierter Kraft auf das Messobjekt (ca. 20...30N); Kraftregelung durch motorisierte Z-Achse.

Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

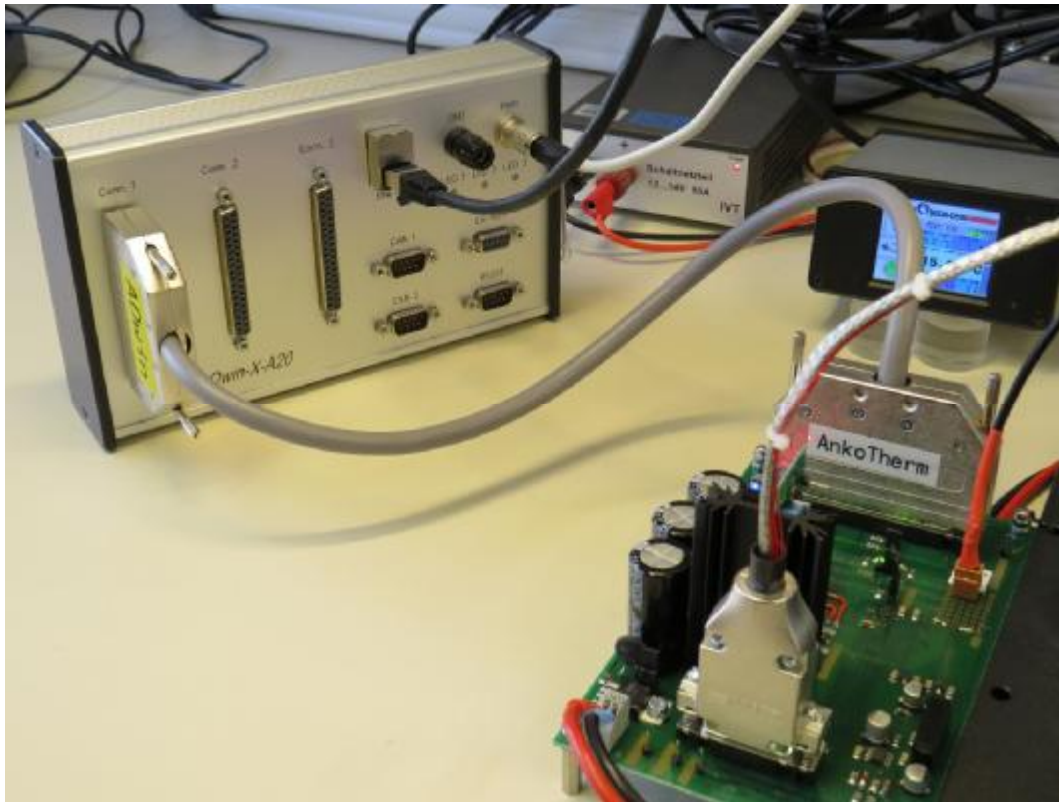
Ansteuerelektronik für kombinierte Heizer-Sensor-Struktur

- Konstantstromquelle, einstellbar
 - z.B. Heizen 3 A / Messen 0,1 A
(momentan 1 A / 0,1 A)
- Messung des Stromes und des Spannungsabfalls über den Heizer
- Erfassung und Entkopplung der LMT70-Signale
- Steuerung des Messablaufs und Messwertverarbeitung durch ADwin®



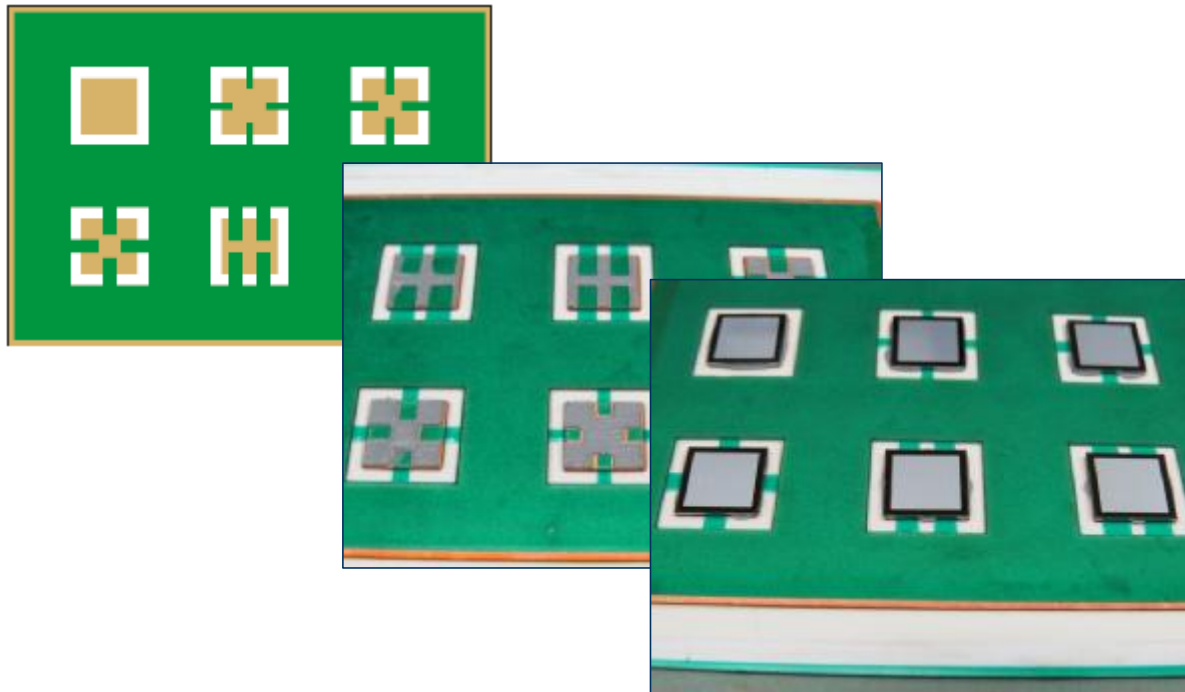
Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

Messplatz mit ADwin, Leistungsteil und Peltierregler



Der Messaufbau aus „AnkoTherm“ Wärmeflussmessungen an Lötproben

6 Si-Dies (1cm²) auf strukturiertem DCB-Substrat (2x 300µm Cu) mit nichtbenetzbaren Flächen



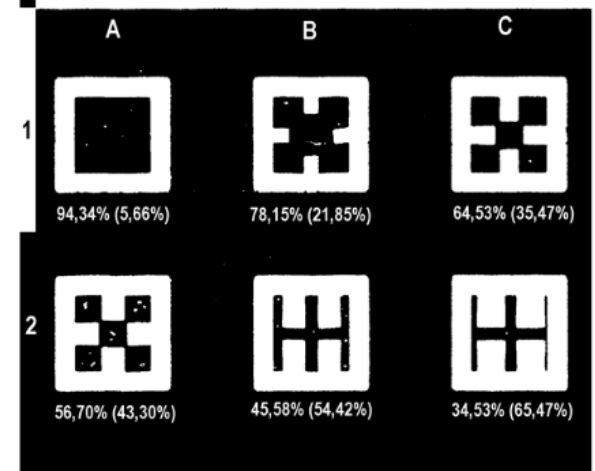
Ultraschall-ThruScan

Probe 01 vom 21.01.2020

Suchfeld (Die-Größe): 197 x 197 Pixel

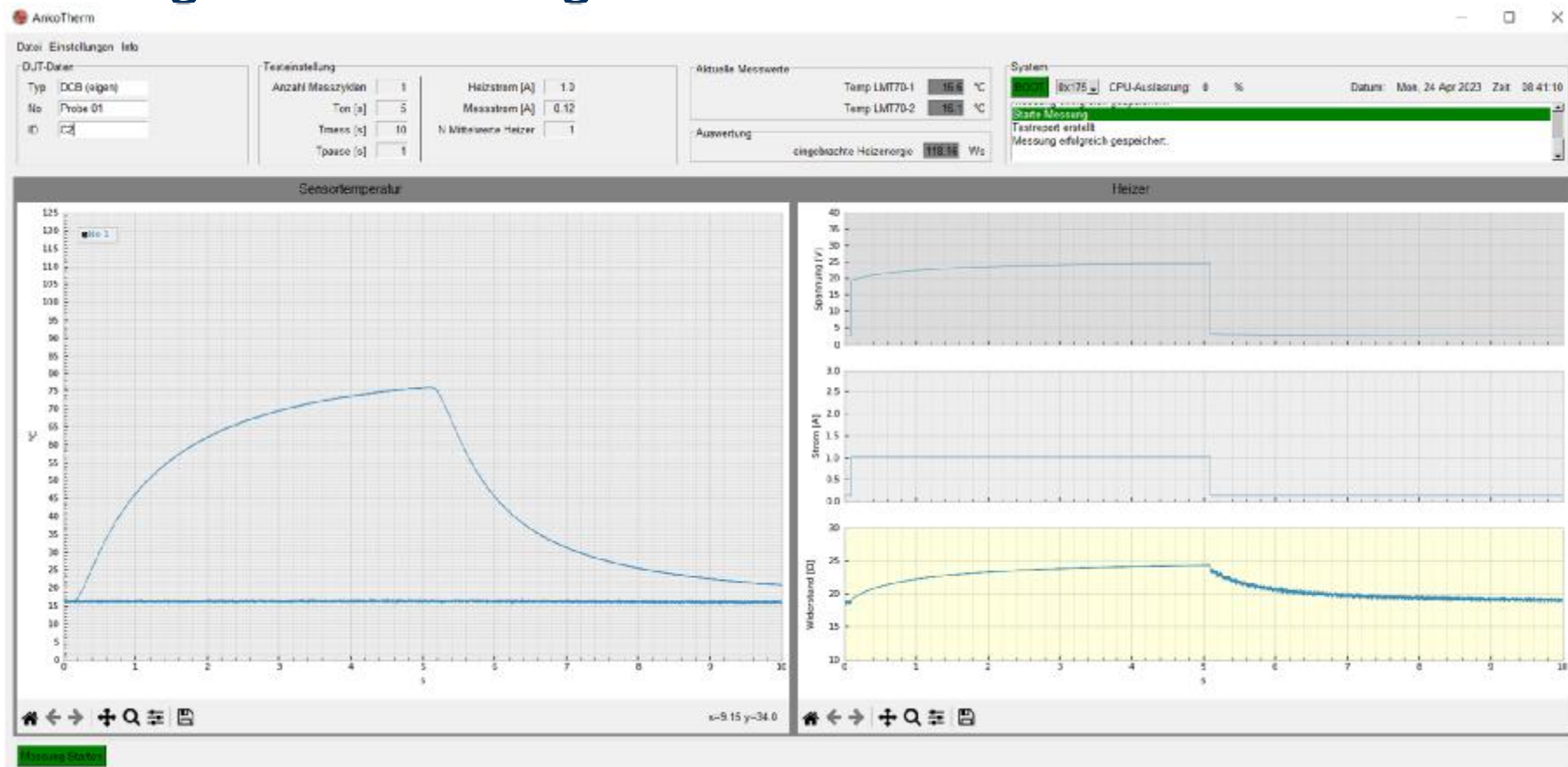
Pixel im Suchfeld: 38.809

%-Wert: benetzte Fläche (Voidanteil in ())



Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

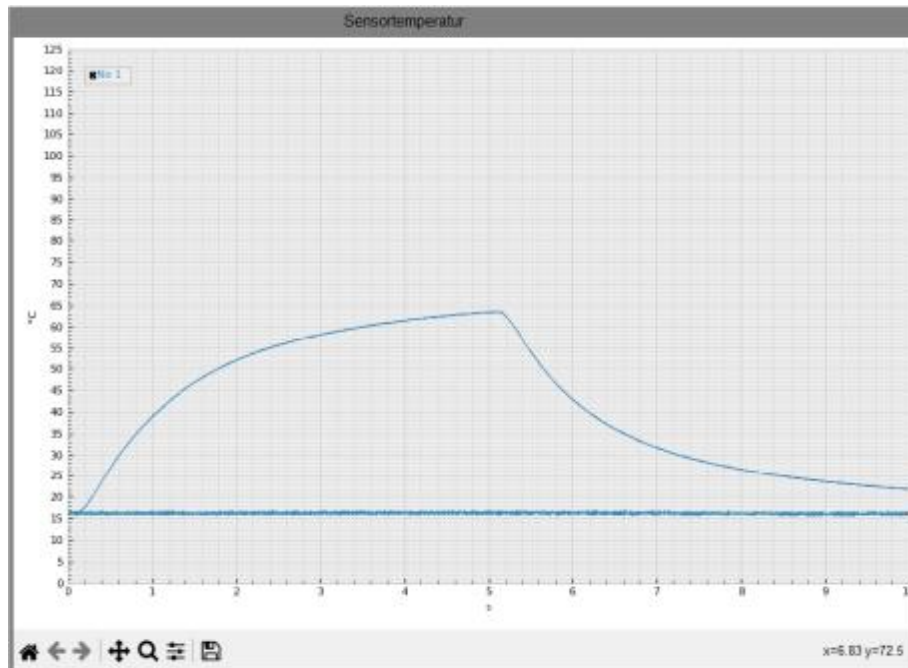
Messergebnisdarstellung in der AnkoTherm-Softwareoberfläche



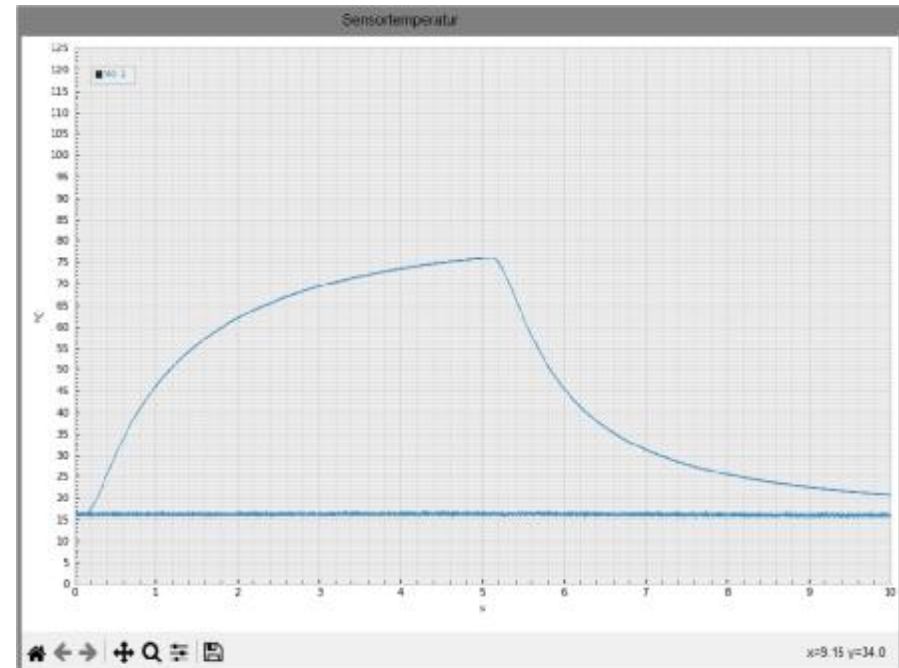
Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

Messergebnisdarstellung in der AnkoTherm-Softwareoberfläche

Temperaturverlauf für Die A1 mit 6% Void-Anteil ($T_{\max} = 64^{\circ}\text{C}$)



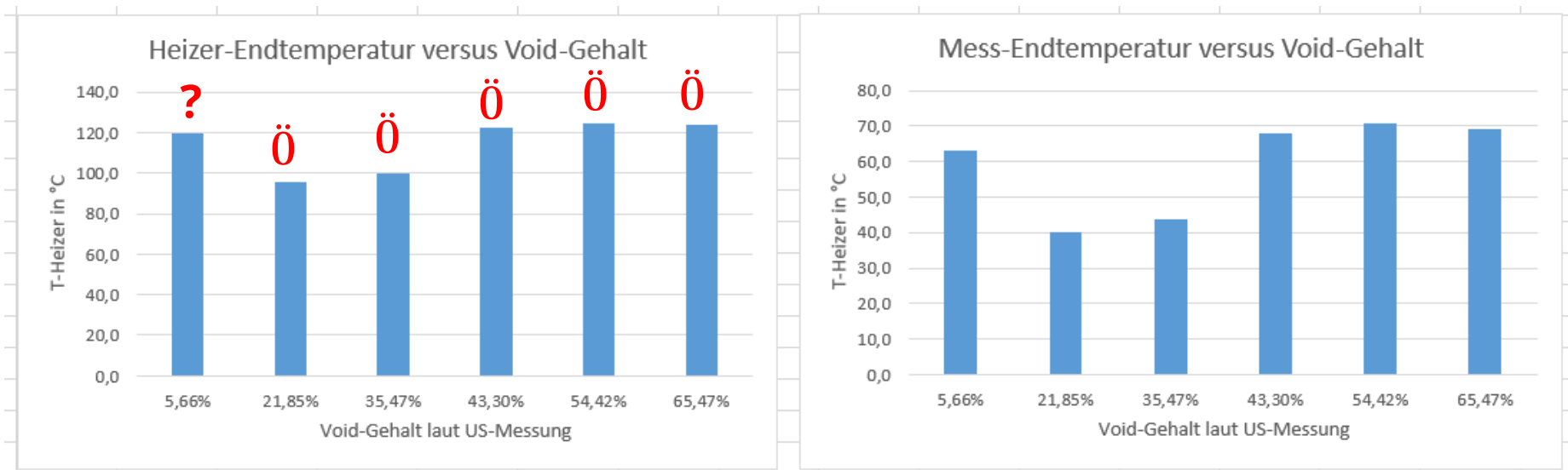
Temperaturverlauf für Die C2 mit 65% Void-Anteil ($T_{\max} = 77^{\circ}\text{C}$)



Der Messaufbau aus „AnkoTherm“

Ergebnisse - Versuche mit Lötprobe / Vergleich mit US (Probe 01)

5	Datum:	10.08.2022								
6										
7	Parameter:	$t_{\text{gesamt}} =$	2 s	Duty Cycle:	50%	F=	12N			
8		$I_{\text{Heiz}} =$	1 A	$I_{\text{Mess}} =$	0,05 A	$R(T=0^{\circ}\text{C}) =$	20,9 Ω			



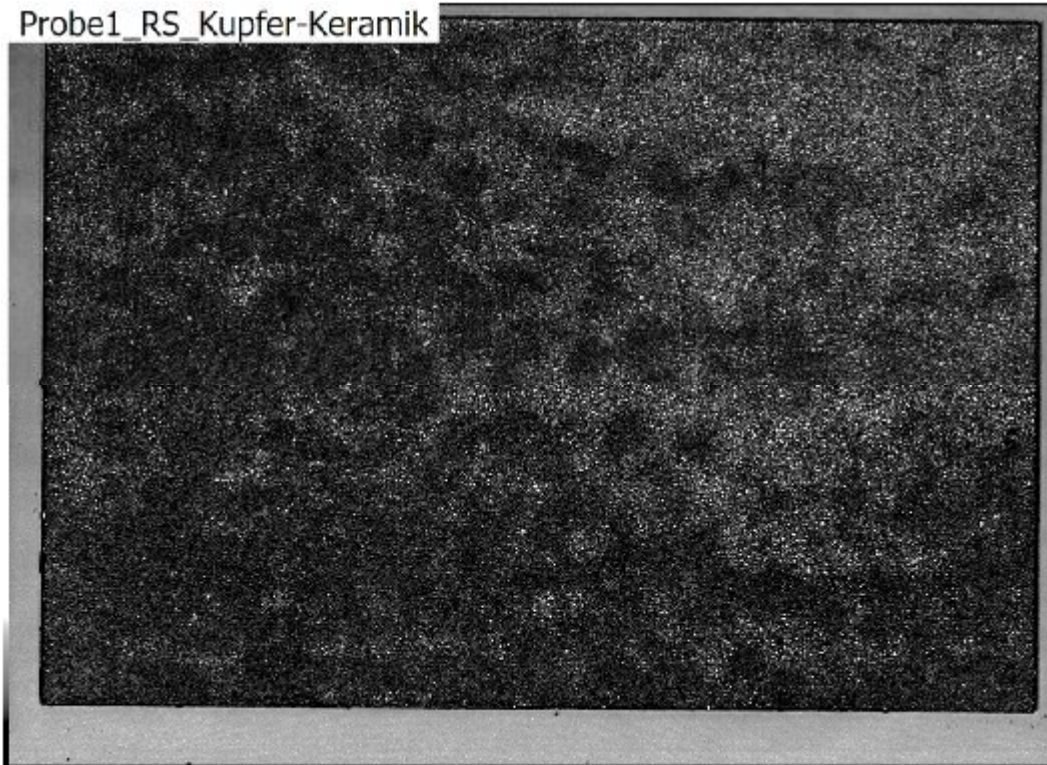
Datenquelle: Messungen_Probe01-Heizer_V4-Vergleich.xlsx

Was stört uns da?

Ergebnisse - Versuche mit Lötprobe / Vergleich mit US (Probe 01)

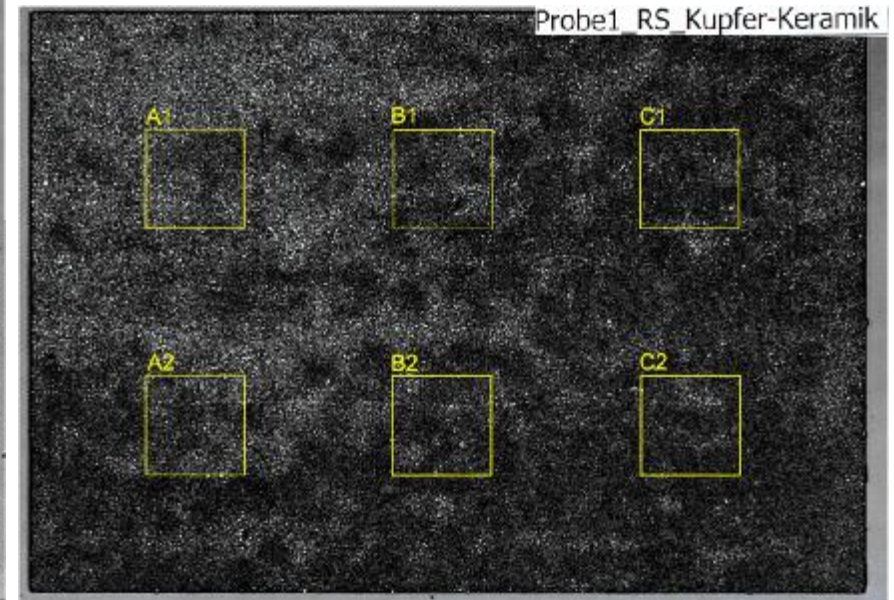
Woher kommt die Abweichung bei A1 vom erwarteten Ergebnis? ➔ Nochmal Ultraschall, aber Rückseite!

Probe1_RS_Kupfer-Keramik



Lage der Dies (gespiegelt):

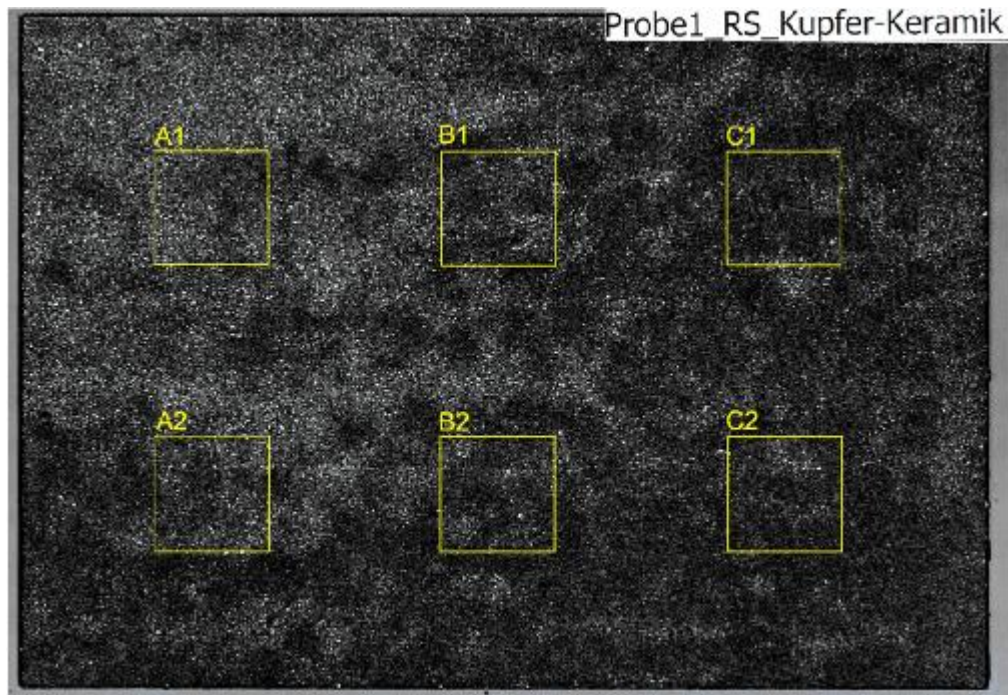
Probe1_RS_Kupfer-Keramik



Was stört uns da?

Ergebnisse - Versuche mit Lötprobe / Vergleich mit US (Probe 01)

Void-Analyse der Rückseite bezüglich Die-Lage:



Rückseiten-Voids:

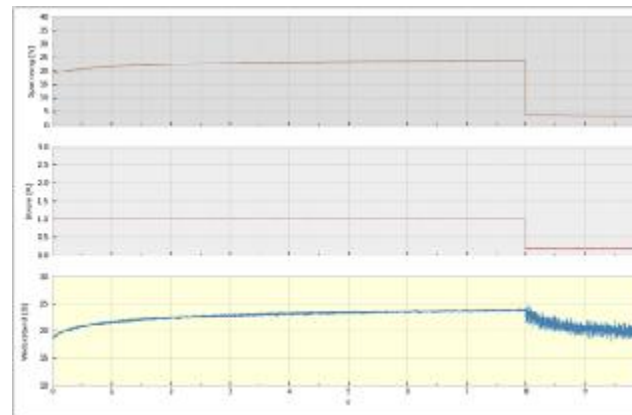
Probe 1	Voidgehalt
A1	8,95%
B1	6,24%
C1	3,28%
A2	7,49%
B2	5,12%
C2	3,66%

Was stört uns da?

Ergebnisse - Versuche mit Lötprobe / Vergleich mit US (Probe 01)

Wärmeflussmessungen an Proben und Vergleich mit US- und Röntgenergebnissen: Fazit

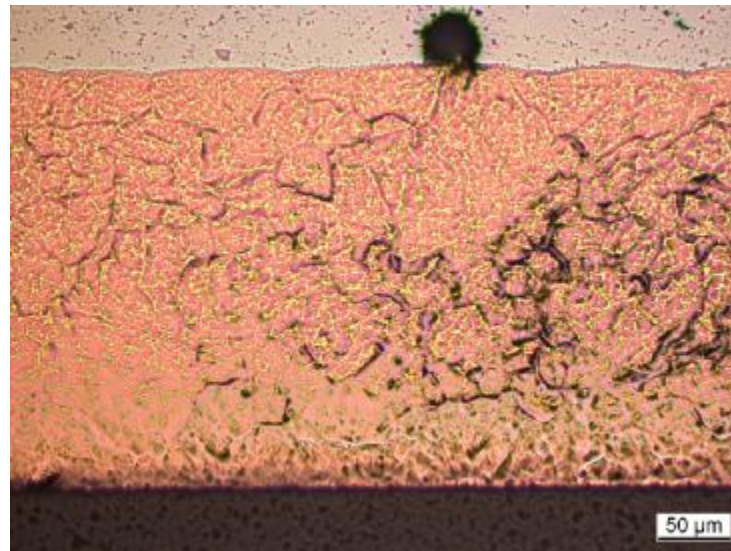
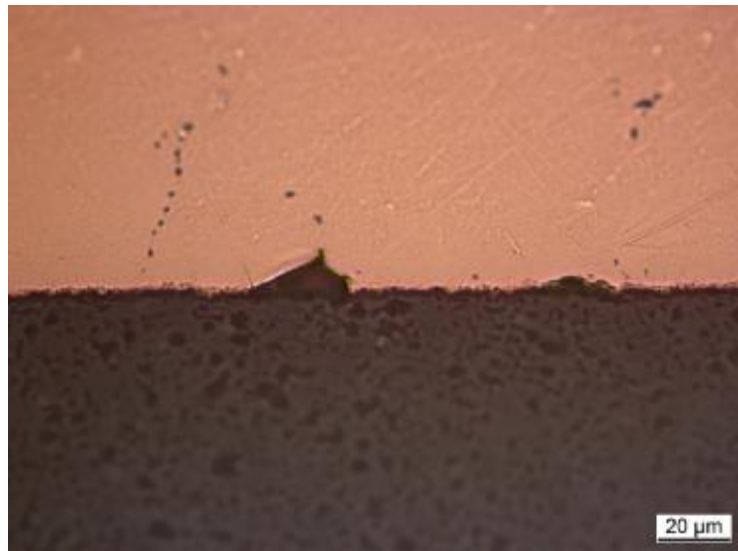
- Betrachtung/Analyse des gesamten Aufbaus ist notwendig!
- Kontaktthermografie (Wärmeflussmessung) damit auch geeignet für DCB-Eingangstest!
- Konstante und reproduzierbare Aufsetzkraft ist notwendig!
- Heizen möglichst bis zum stabilen Zustand
⇒ Dann Logarithmische Regression möglich!



Was stört uns da? Intergranulare Penetration! *(Dank an Prof. Albrecht)*

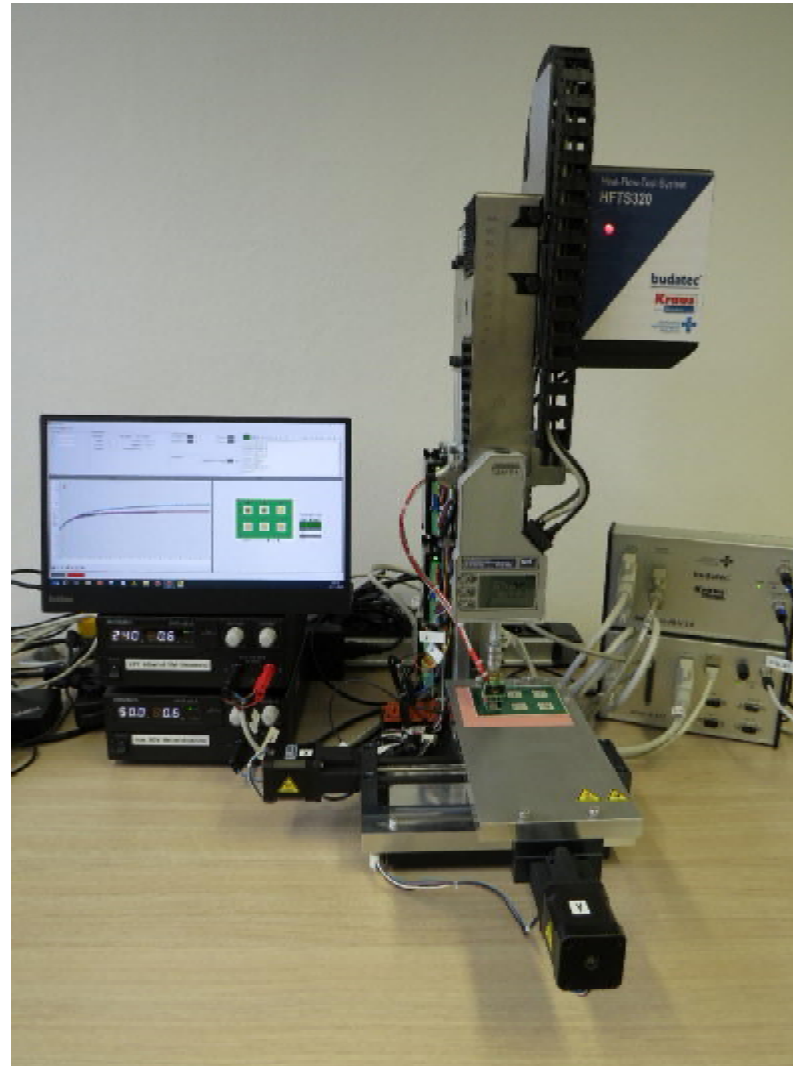
Schliffuntersuchungen zeigen die Ursache der Voids: *Intergranulare Penetration*

- *Materialtransport entlang der Korngrenzen*
- *Entstehung von Fehlstellen, die sich zu Voids umbilden*
- *Auftreten von inneren Spannungen, die durch Diffusionsgradienten angetrieben werden, also ein Stofftransportphänomen, sichtbar (auch) im Ultraschallbild*



Aktueller Stand

Automatisierter Prüfstand,
der auf der „productronica“
auf dem Messestand der
Fa. budatec gezeigt werden wird:



Aktueller Stand

Algorithmus zur schnellen Bewertung des Wärmetransfers:

Idee: **Logarithmische Regression** über die Daten während des Heizens

Gleichung:

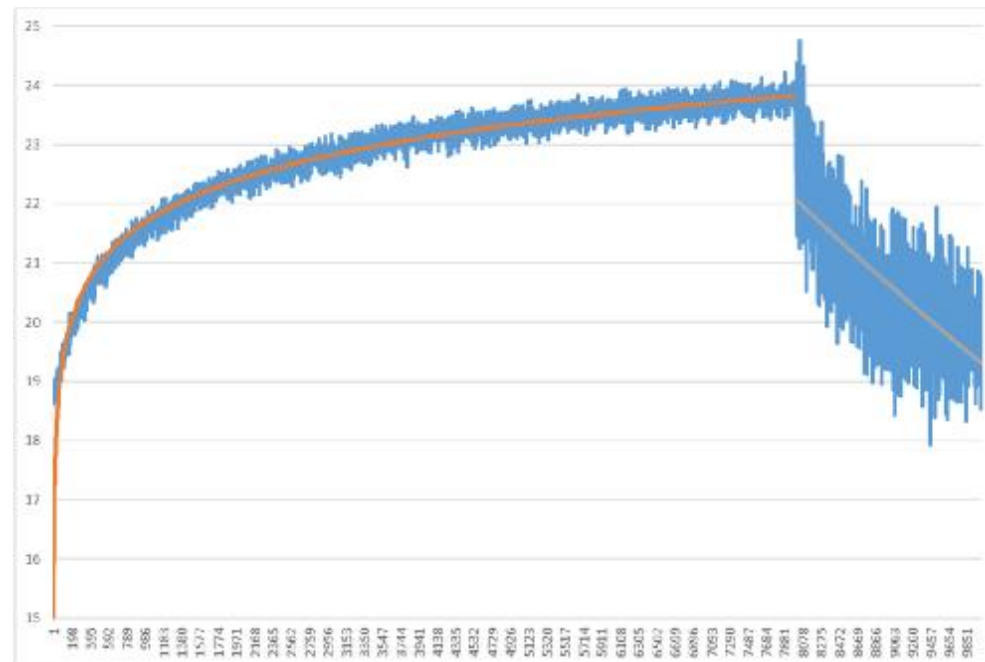
$$\hat{y} = a + b \ln x$$

b Koeffizient

$$b = \frac{n \sum (y_i \ln x_i) - \sum \ln x_i \cdot \sum y_i}{n \sum \ln^2 x_i - (\sum \ln x_i)^2}$$

a Koeffizient

$$a = \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{b}{n} \sum \ln x_i$$

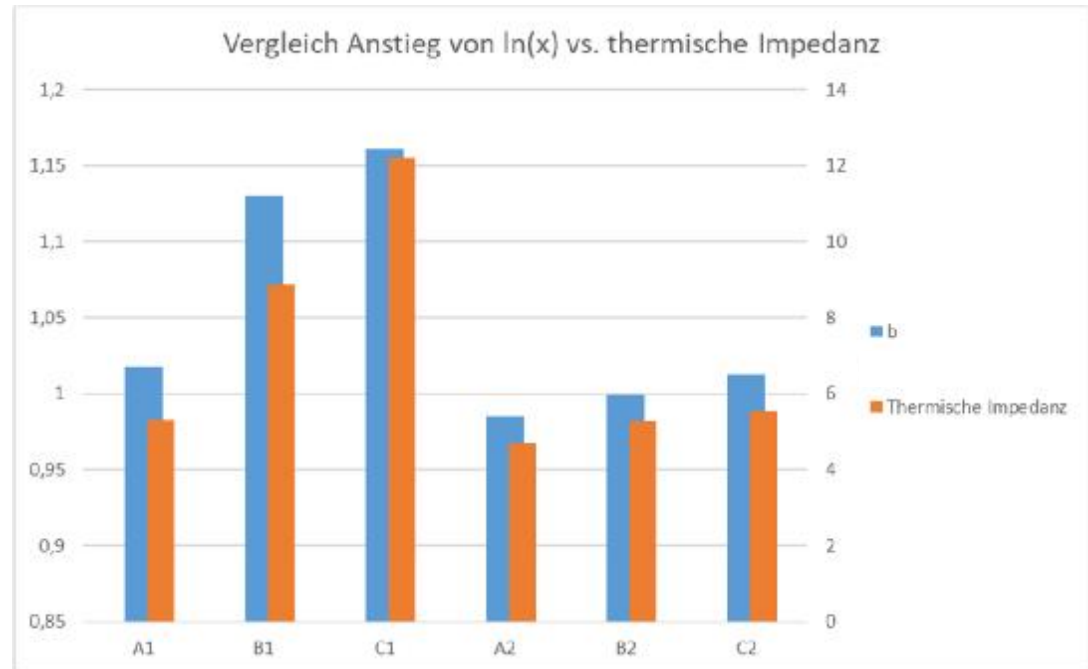


Aktueller Stand

Logarithmische Regression

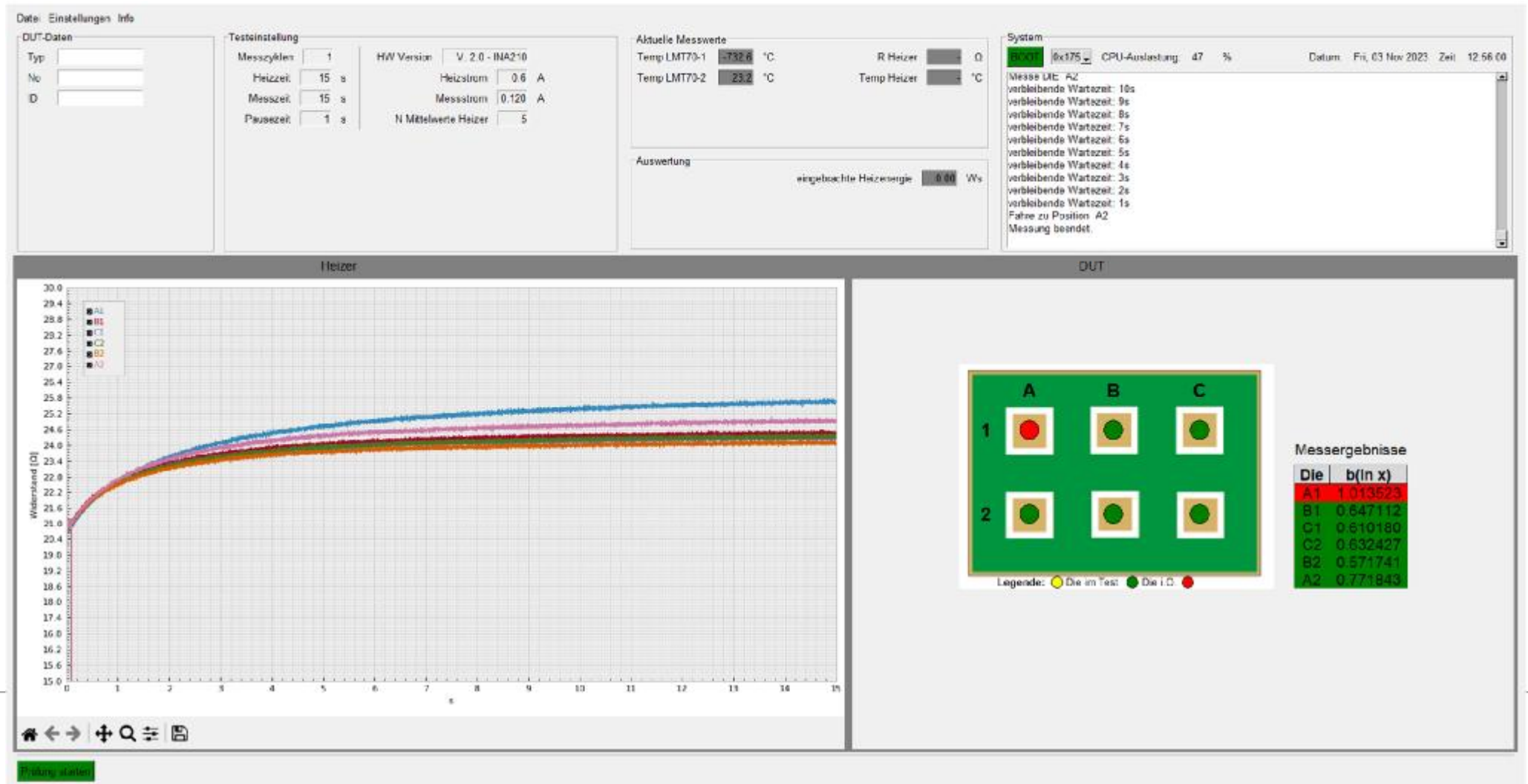
Messergebnisse von Probe 02
vom 27.02.23 analysiert

Die	a	b
A1	-4,06914619	1,01727628
B1	-4,74929057	1,12971211
C1	-4,78161026	1,16131594
A2	-3,95199845	0,98482261
B2	-3,89945787	0,99945916
C2	-3,86180711	1,01272303



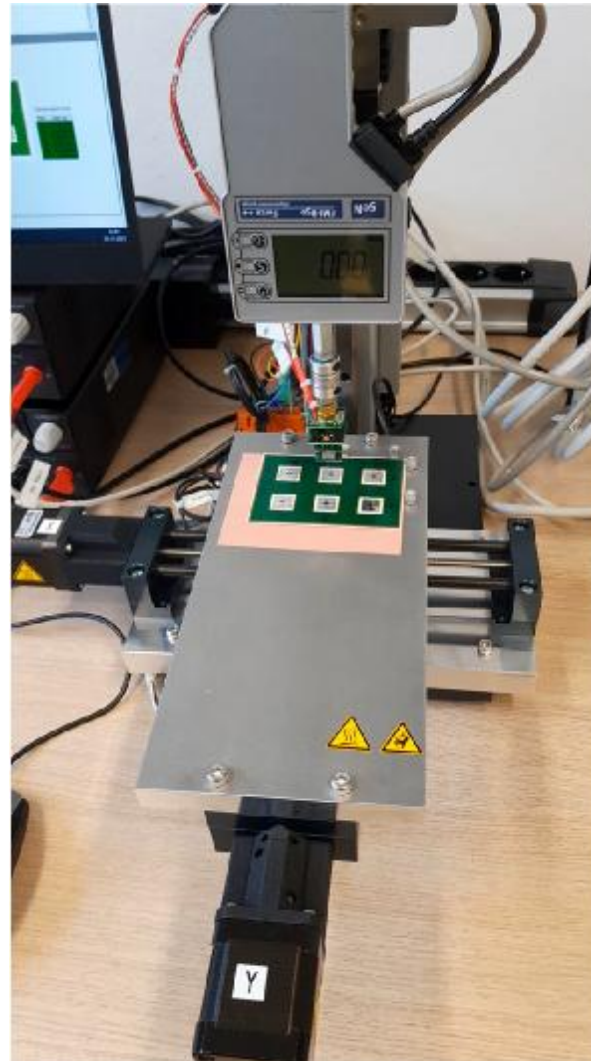
Anmerkung: Es wurde nicht der Absolutwert des Heizerwiderstands, sondern dessen Veränderung im Vergleich zum Anfangswert bewertet.


Aktueller Stand - Ergebnisdarstellung



Aktueller Stand

Der Prüfstand in Aktion...





Doppeldiode EAA91

**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!**

Kontakt:

Martin Oppermann

TU Dresden

Zentrum für mikrotechnische Produktion

martin.oppermann@tu-dresden.de