SIEMENS
Ingenuity for life

Online-Seminar

Zuverlässige Leistungselektronik designen durch die Kombination von Test und thermischer Simulation

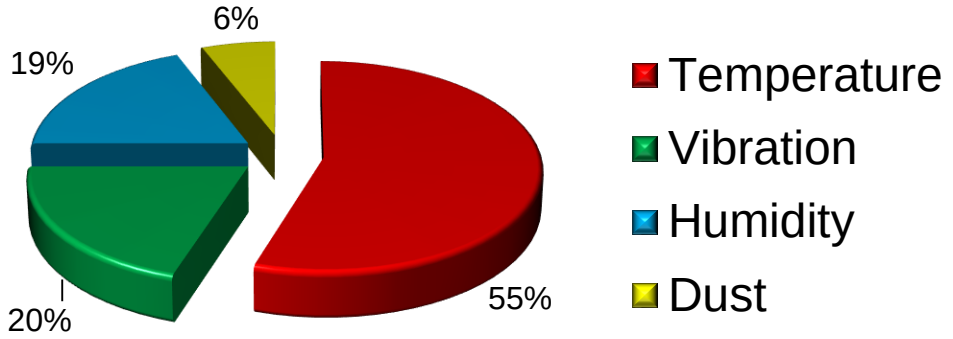
Dr.-Ing. Annika Foydl | Dipl.-Ing. David Sulyok

Unrestricted @ Siemens 2019

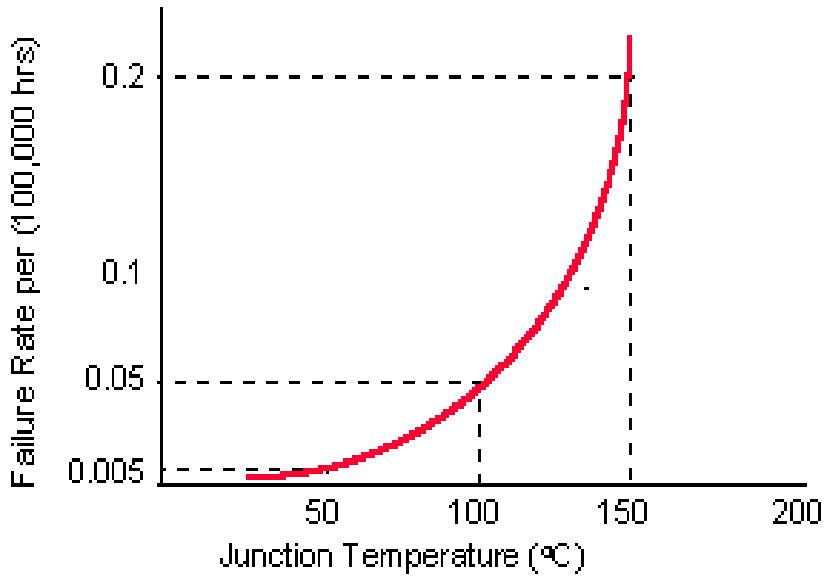
Auswirkung der Temperatur auf die Zuverlässigkeit

SIEMENS
Ingenuity for life

Umwelteinflüsse



Environmental causes of failure in defense-related electronic systems (Source: US Air Force)



(Source : GEC Research)

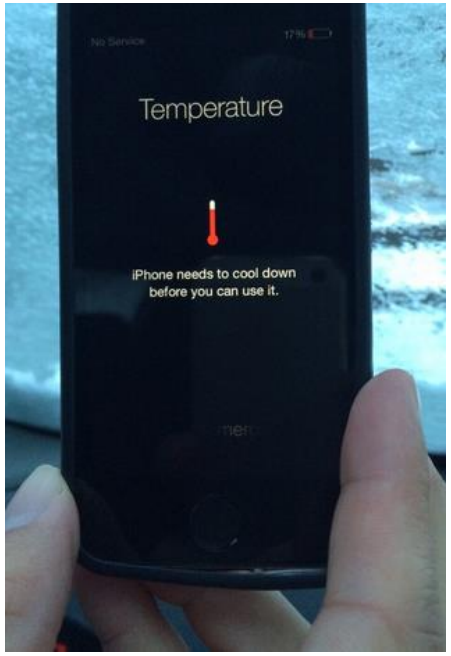
Hochtemperaturkomponenten haben eine hohe Versagenswahrscheinlichkeit

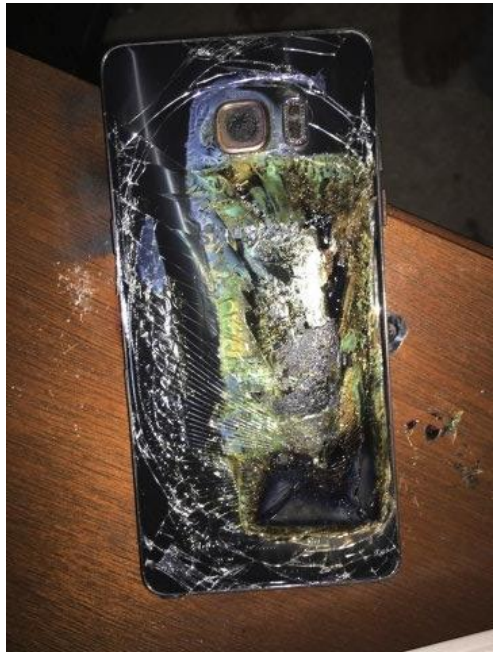
Unrestricted © Siemens AG 2019

Überhitzung von Konsumgütern

Kostenintensive Rückrufe und Imageschaden

SIEMENS
Ingenuity for life





Newsweek

HOW MUCH MONEY HAS THE GALAXY NOTE 7 DEBACLE COST SAMSUNG?

SECTIONS SEARCH **Los Angeles Times**

EDITION: CALIFORNIA | U.S. & WORLD LOCAL ENTERTAINMENT SPORTS POLITICS OPINION MOST POPULAR

Samsung Galaxy Note 7 recall to cost at least $5.3 billion

CNN tech BUSINESS CULTURE GADGETS FUTURE STARTUPS

Samsung takes $10 billion hit to end Galaxy Note 7 fiasco

REUTERS Note 7 fiasco could burn a $17 billion hole in Samsung accounts

#BUSINESS NEWS OCTOBER 10, 2016 / 11:04 PM / A YEAR AGO

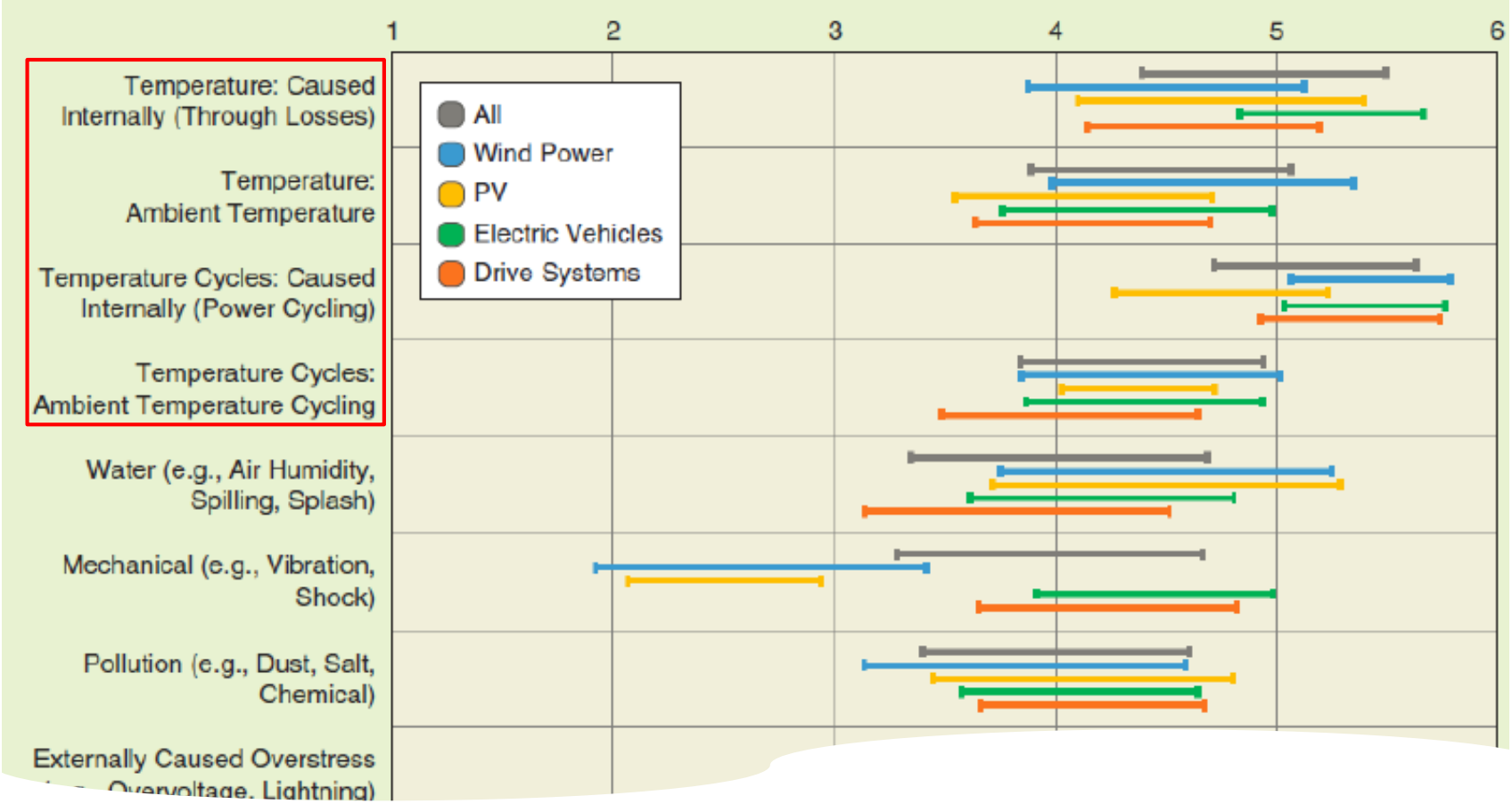
Note 7 fiasco could burn a $17 billion hole in Samsung accounts

Unrestricted © Siemens AG 2019

Industrieexperten bewerten Temperatureinfluss auf die Zuverlässigkeit der Leistungselektronik als besonders kritisch

SIEMENS
Ingenuity for life

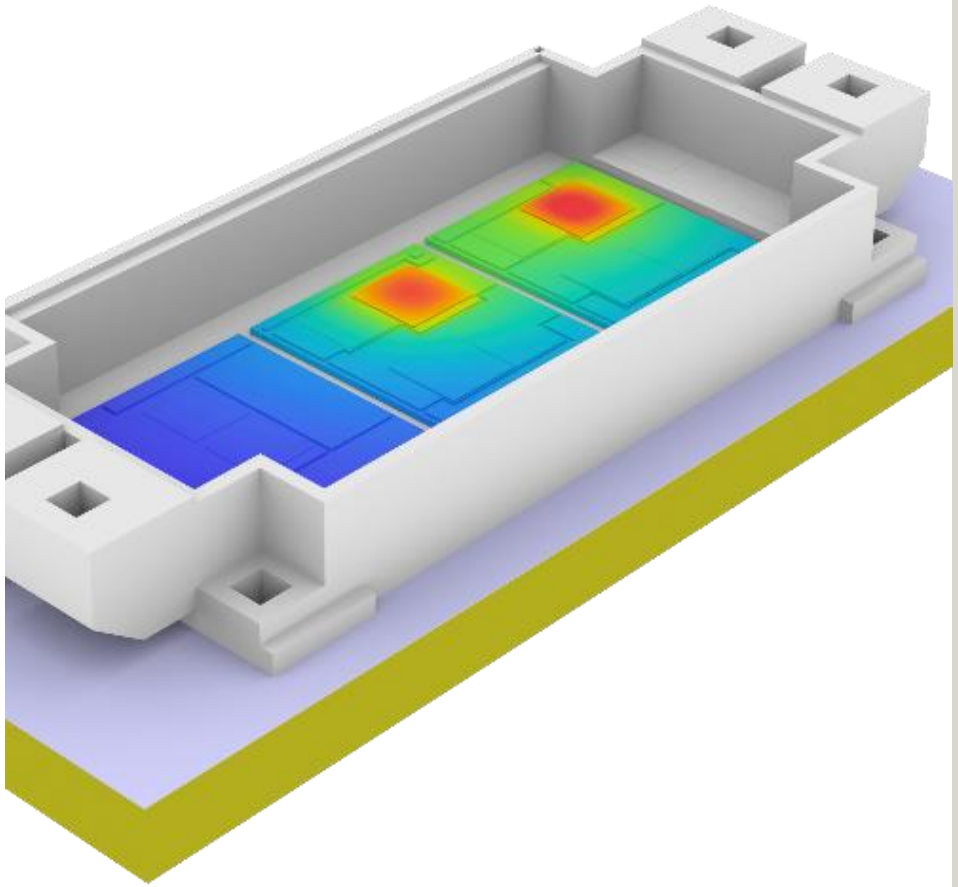
- Experten stimmen mit einer Skala von 1-6 über Schlüsselfaktoren ab, die die Zuverlässigkeit in der Leistungselektronik beeinflussen.
- Temperaturbedingte Probleme werden als größte Bedrohung für die Zuverlässigkeit identifiziert.



J. Falck, C. Felgemacher, A. Rojko, M. Liserre and P. Zacharias, "Reliability of Power Electronic Systems: An Industry Perspective," in IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 12, no. 2, pp. 24-35, June 2018.

Unrestricted © Siemens AG 2019

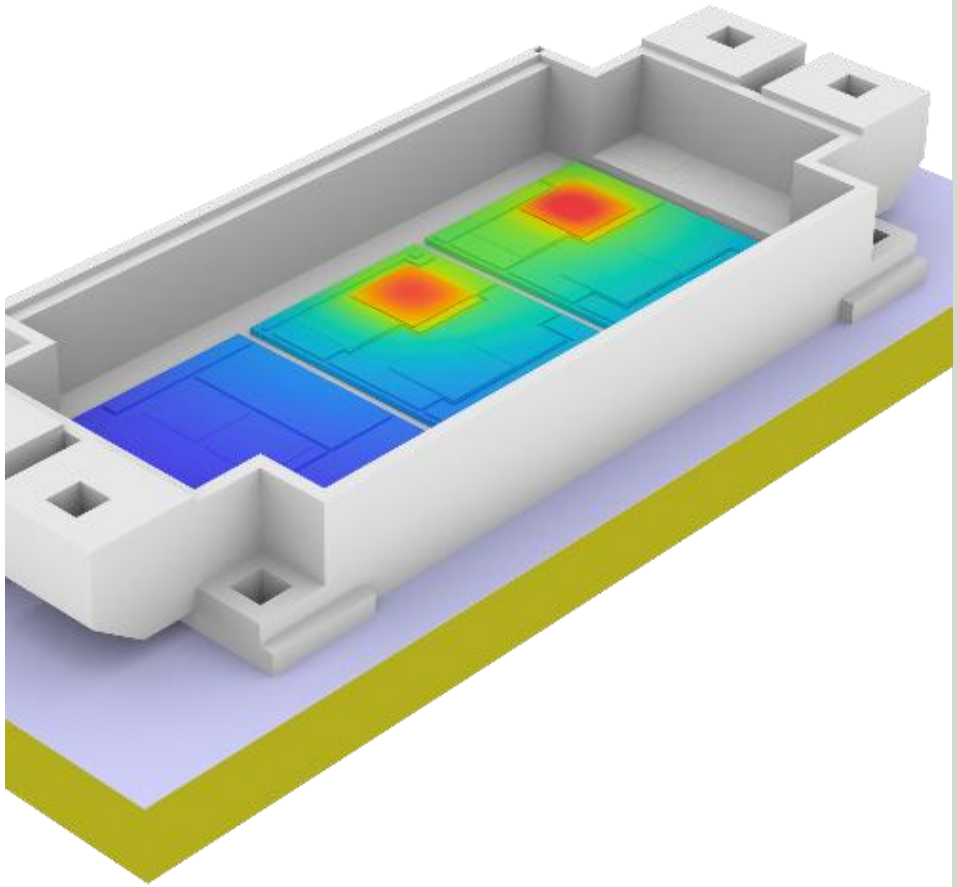
Agenda



- Thermisch-transiente Messungmethode
- Automatische Kalibrierung für die thermische Simulation
- Lastwechselprüfung und Fehlerdiagnose zur Zuverlässigkeitsbewertung
- Fragen und Antworten

Unrestricted © Siemens AG 2019

Agenda



- Thermisch-transiente Messungmethode
- Automatische Kalibrierung für die thermische Simulation
- Lastwechselprüfung und Fehlerdiagnose zur Zuverlässigkeitsbewertung
- Fragen und Antworten

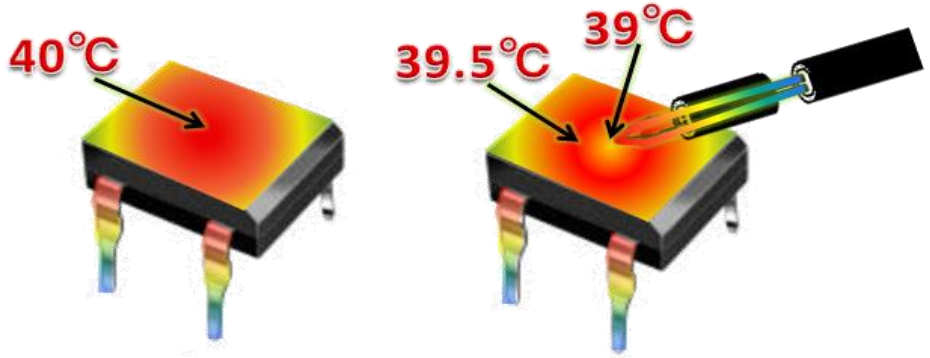
Unrestricted © Siemens AG 2019

Traditionelle Messmethoden zur Temperaturbestimmung

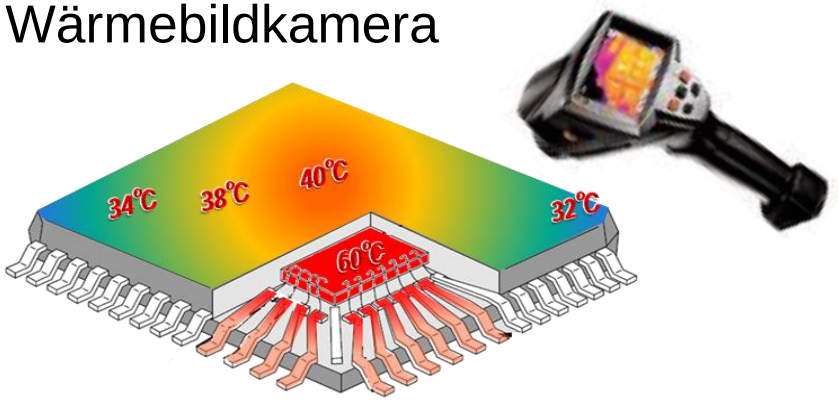
SIEMENS
Ingenuity for life

- Es wird die Oberflächentemperatur gemessen mit z.B. Thermoelementen oder Wärmebildkamera
- Effekte durch die Themoelemente selbst oder die Oberfläche, sowie Emissivität und Absorption können Ergebnisse verfälschen.

Thermoelemente



Wärmebildkamera

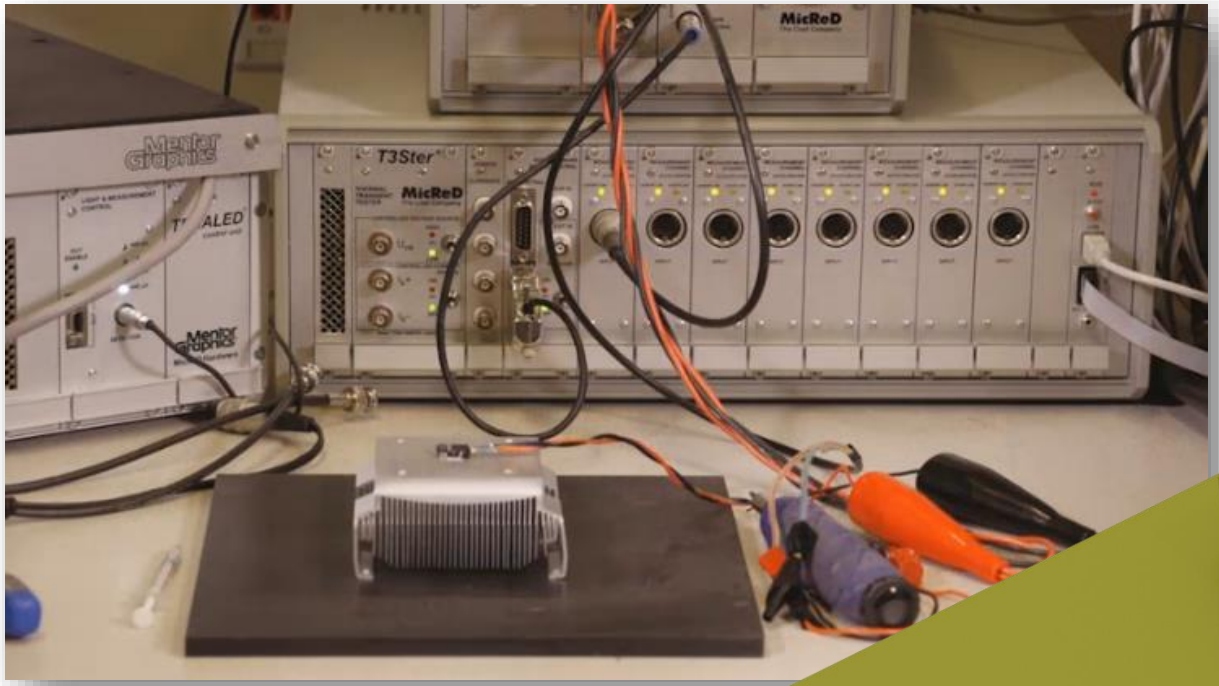


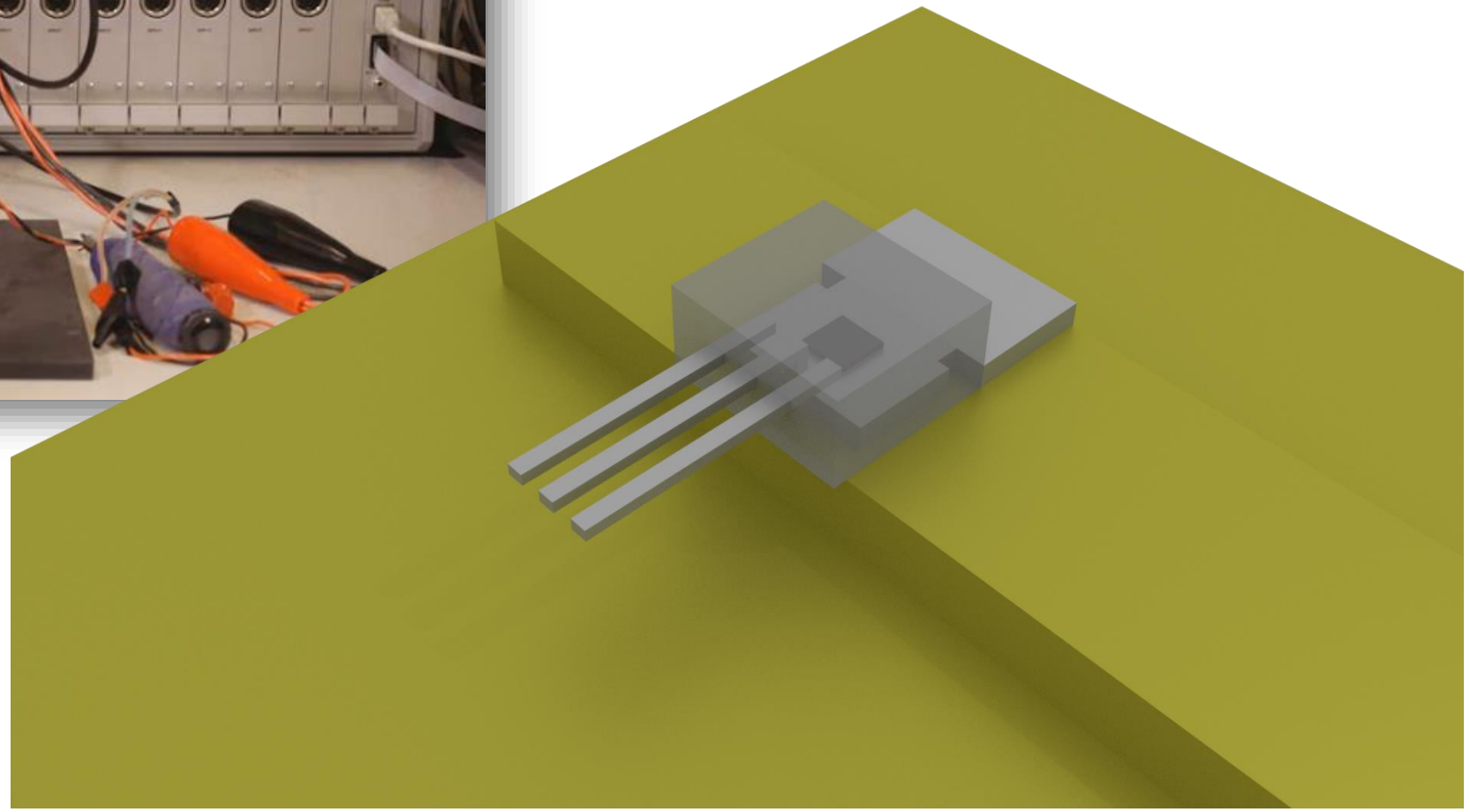
Und wie genau kann die exakte Sperrschichttemperatur (T_j) ermittelt werden?

Unrestricted © Siemens AG 2019

Thermisch transiente Messungen mit Simcenter T3STER

SIEMENS
Ingenuity for life





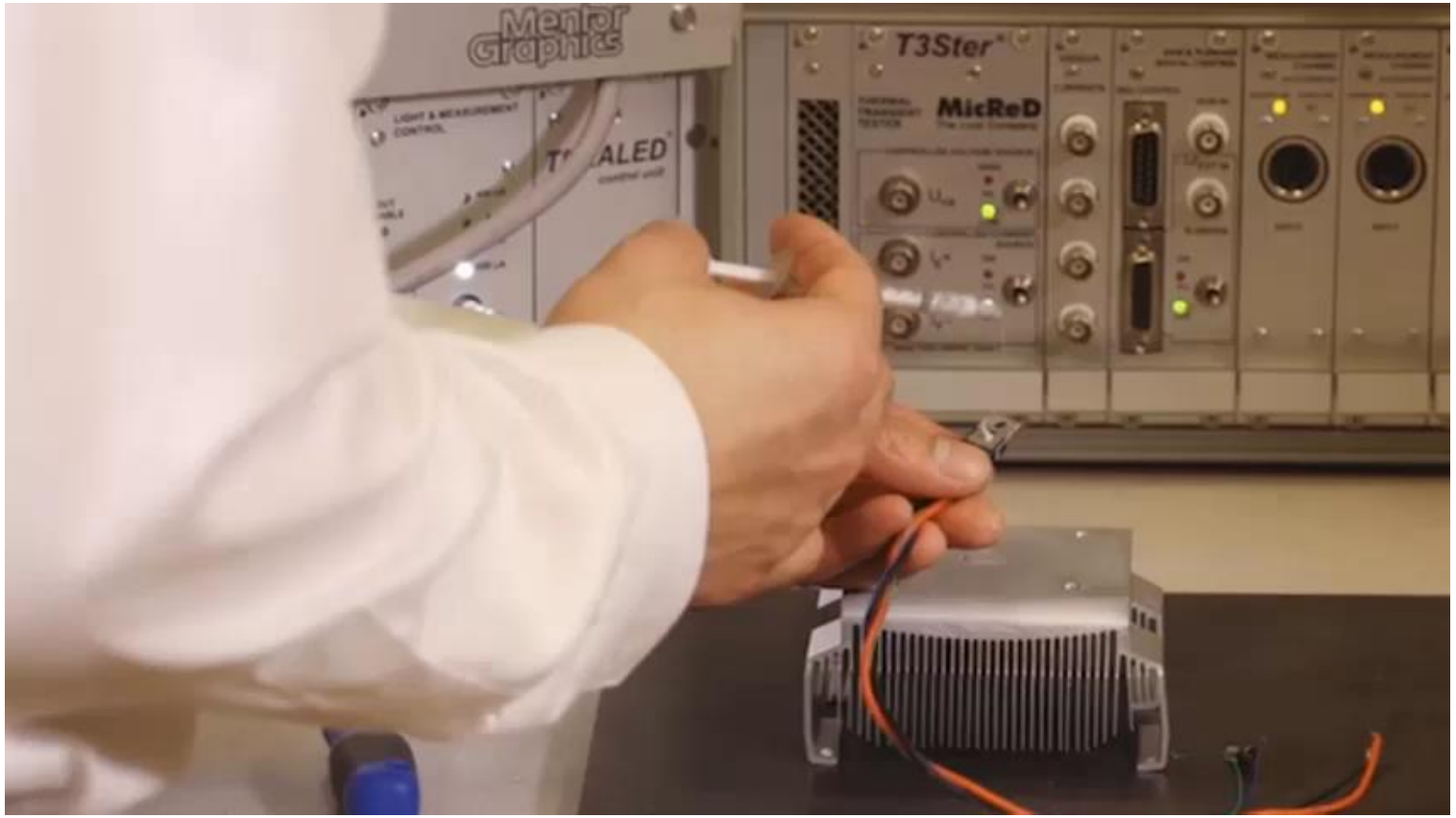
Unrestricted © Siemens AG 2019

Simcenter T3STER Test Setup

SIEMENS
Ingenuity for life

Simcenter T3STER ist ein fortschrittlicher thermischer Tester zur thermischen Charakterisierung von z.B. IC packages

Schritt 1: Testaufbau



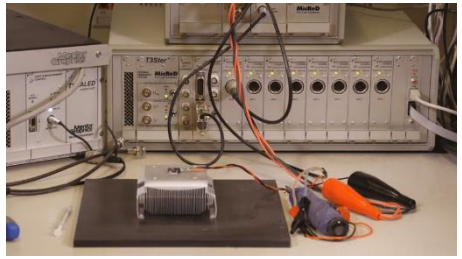
Unrestricted © Siemens AG 2019

Simcenter T3STER Messung

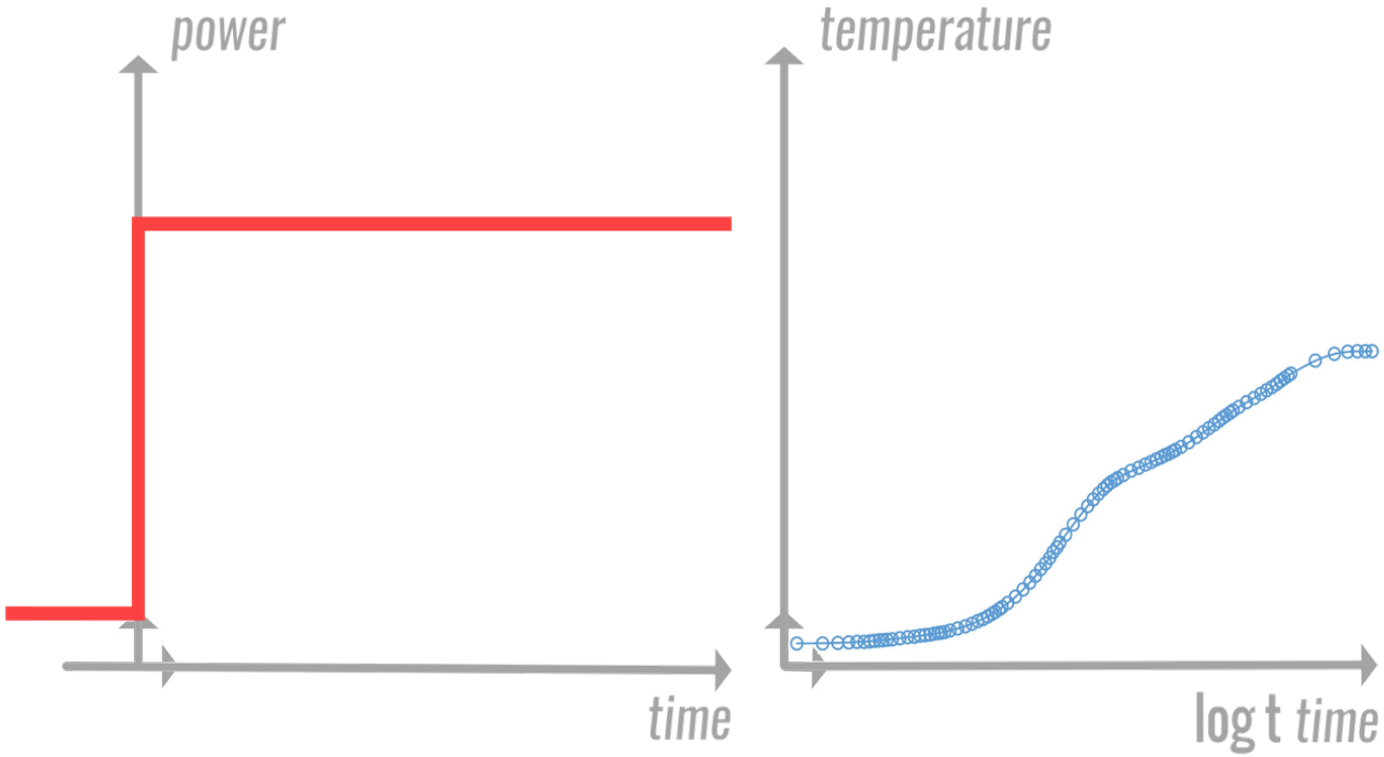
SIEMENS
Ingenuity for life

Simcenter T3STER misst die thermisch-transiente Antwort auf eine Veränderung in der Verlustleistung

Schritt 2: Messung



Schritt 1: Testaufbau



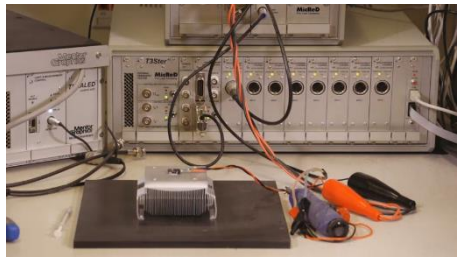
Unrestricted © Siemens AG 2019

Simcenter T3STER Ausgabe der Strukturfunktion

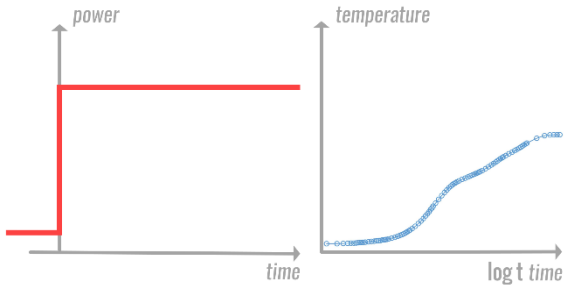
SIEMENS
Ingenuity for life

Simcenter T3STER errechnet aus der transienten Antwort die Strukturfunktion

Schritt 3: Strukturfunktion

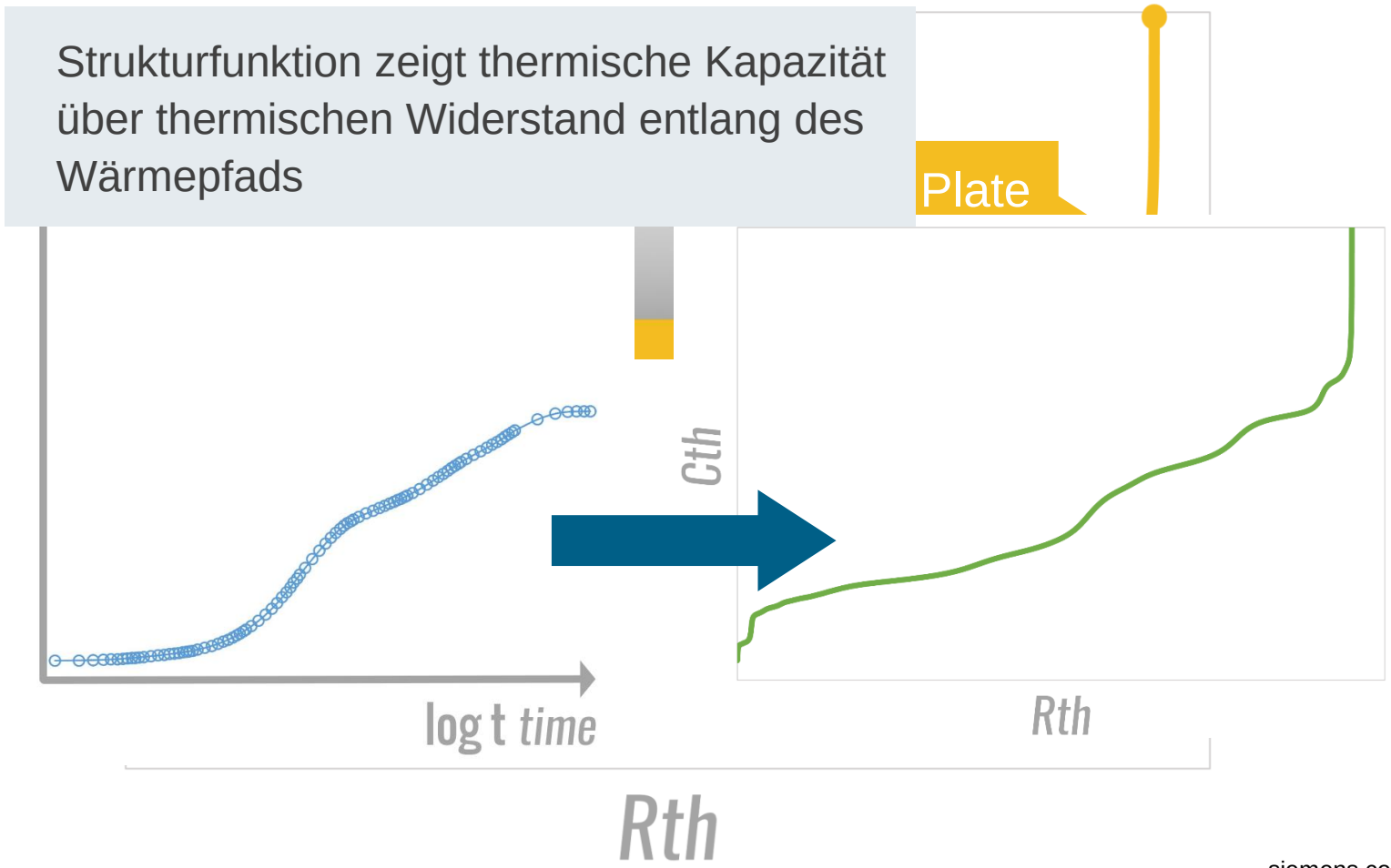


Schritt 1: Testaufbau



Schritt 2: Messung

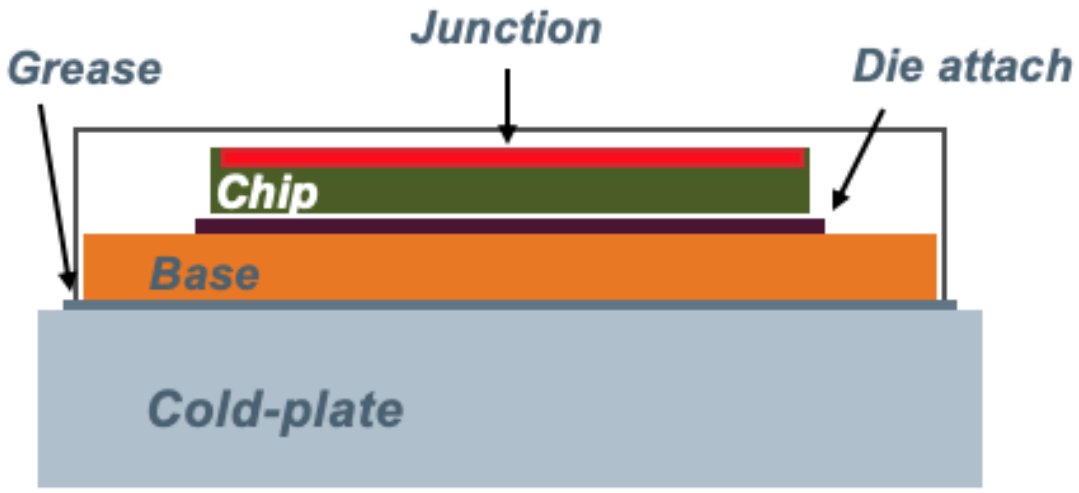
Strukturfunktion zeigt thermische Kapazität über thermischen Widerstand entlang des Wärmepfads

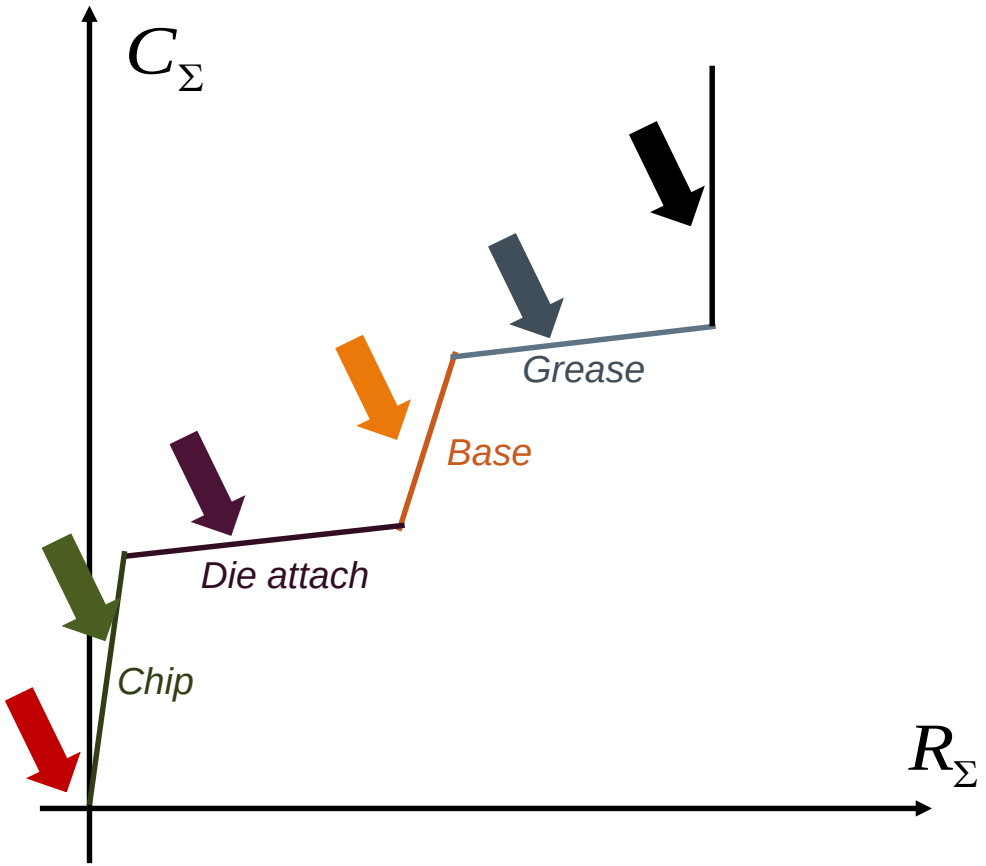


Unrestricted © Siemens AG 2019

Thermisch transiente Prüfung von Halbleitern

SIEMENS
Ingenuity for life





- Darstellung der Wärmekapazität und des Wärmewiderstands auf einem Wärmepfad
- Elektrisches, zerstörungsfreies Prüfverfahren

Unrestricted © Siemens AG 2019

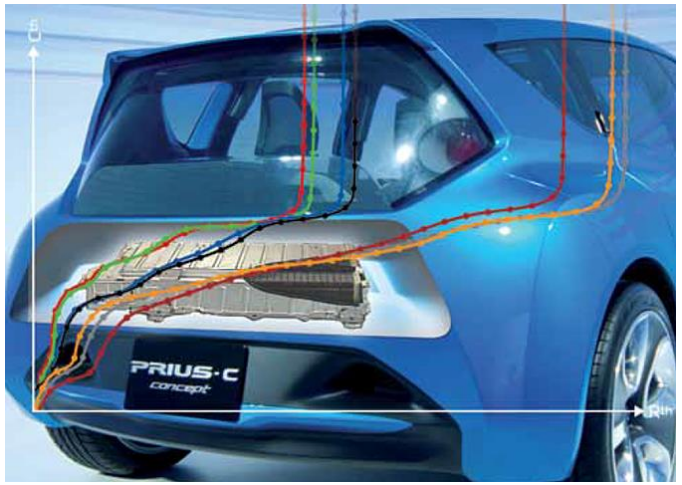
Simcenter T3STER

Thermische Charakterisierung & Modellgenerierung

SIEMENS
Ingenuity for life

"The application of this measurement in an endurance test helped us to uncover weaknesses in the design affecting its lifetime, and we can reduce the prototyping costs by reducing rework on our designs."

Hisao Nishimori, Toyota, Japan

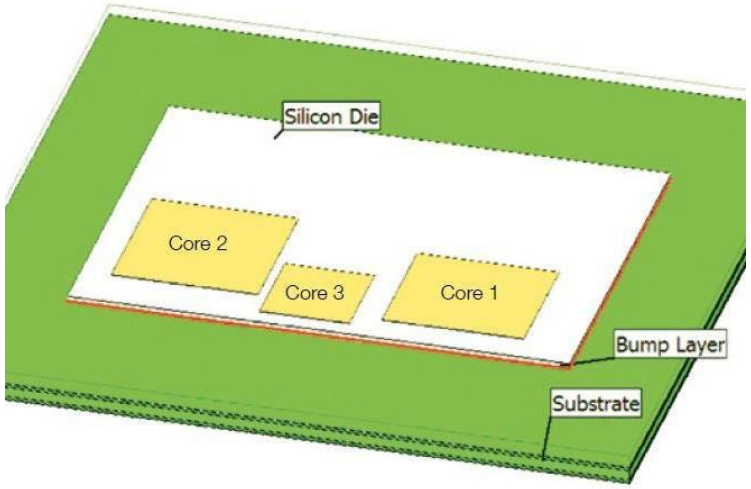


"A wealth of thermal conductivity data was obtained from structure function graphs for different scenarios."

Koji Sasaki, NAMICS Corporation, Japan

"This process is much faster, requires fewer resources, and provides Huawei with a highly-accurate thermal model helping us get products to market faster than our competitors."

Fang Yake, Huawei Technologies



"Thermal Structure Function analysis offers an effective non-invasive method to identify physical characteristics of the individual layers of a packaged device. This technique complements X-ray and C-SAM.."

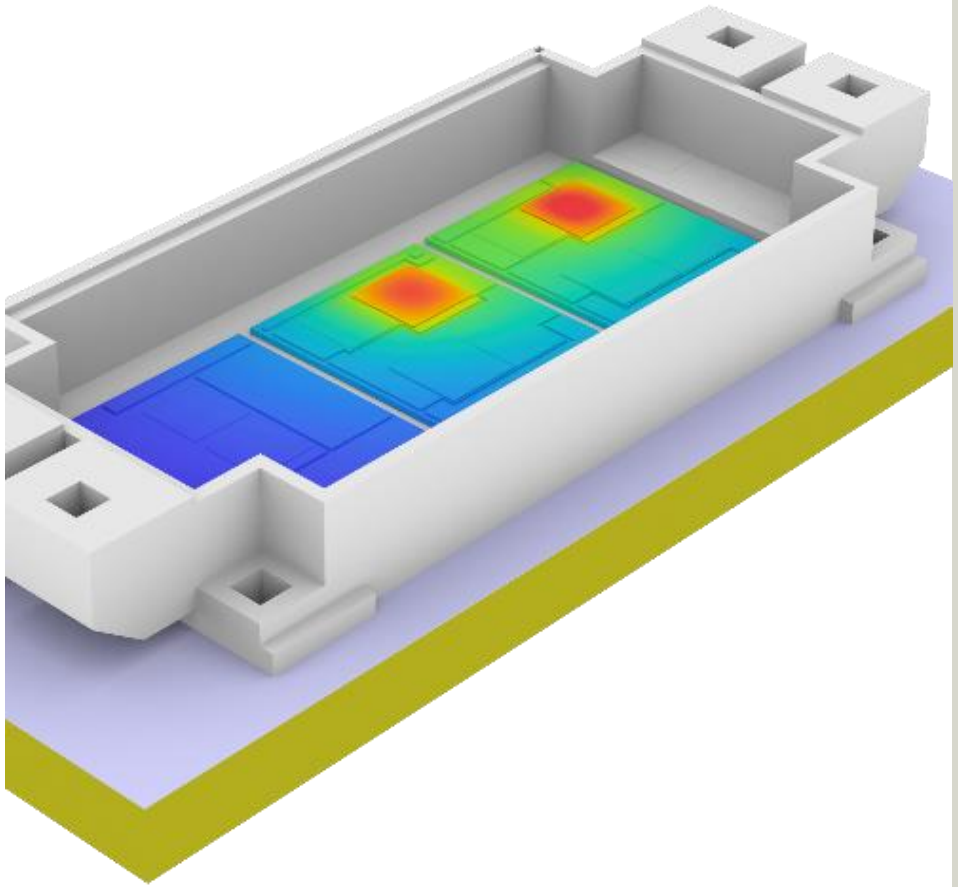
Sujay Singh, ON Semiconductor

Sample-a

Sample-f

Unrestricted © Siemens AG 2019

Agenda



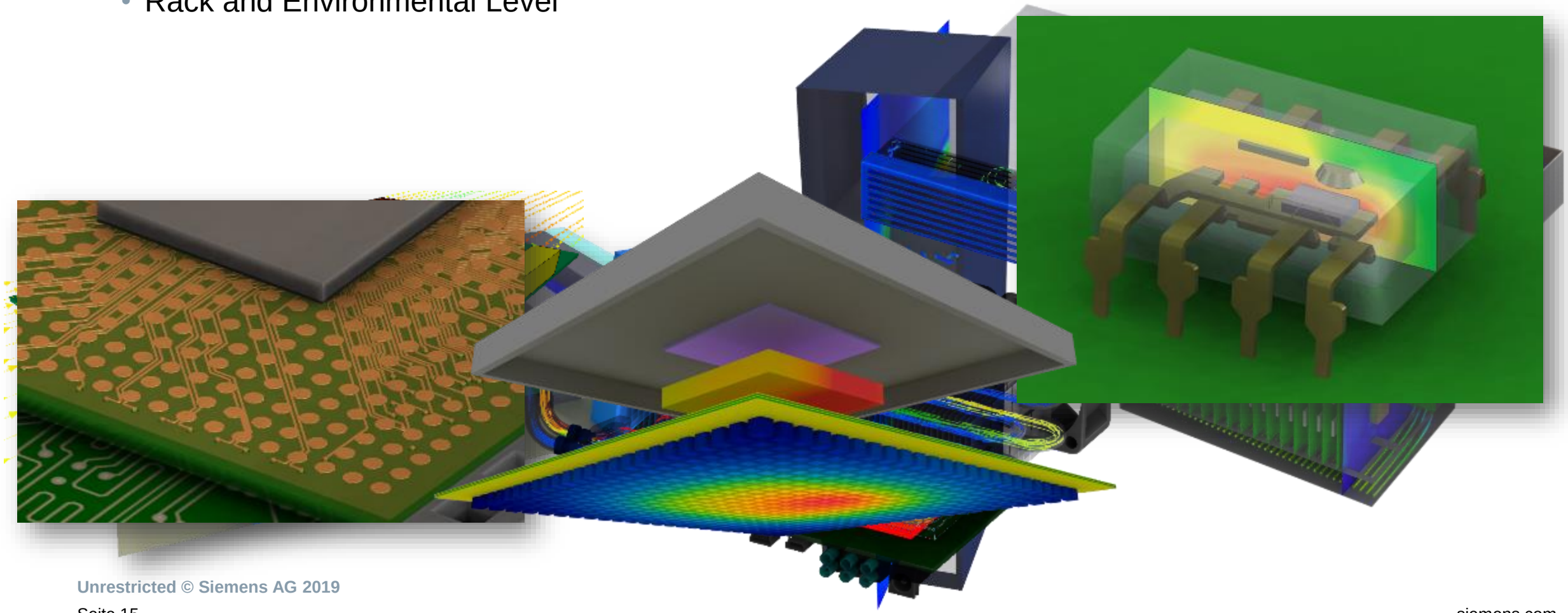
- Thermisch-transiente Messungmethode
- Automatische Kalibrierung für die thermische Simulation
- Lastwechselprüfung und Fehlerdiagnose zur Zuverlässigkeitsbewertung
- Fragen und Antworten

Unrestricted © Siemens AG 2019

Simulationsmöglichkeiten auf verschiedenen Leveln

SIEMENS
Ingenuity for life

- IC Package Level
- Board and System Level
- Rack and Environmental Level

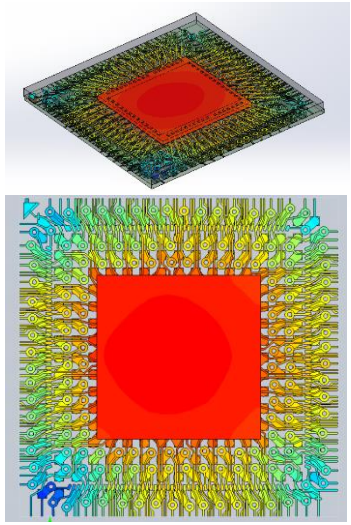


Unrestricted © Siemens AG 2019

Vorteile einer Produktentwicklung mit Simulation

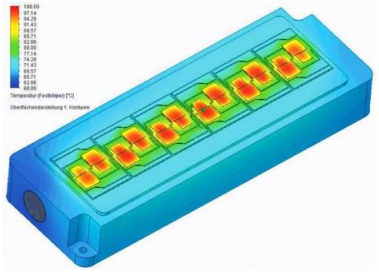
SIEMENS
Ingenuity for life

- Wenig Aufwand für erste Simulationsergebnisse
- Erstellung und Optimierung des Designs „first time right“
- Kostenersparnis im Prototypenbau
- Einfache Bedienung durch robuste Software



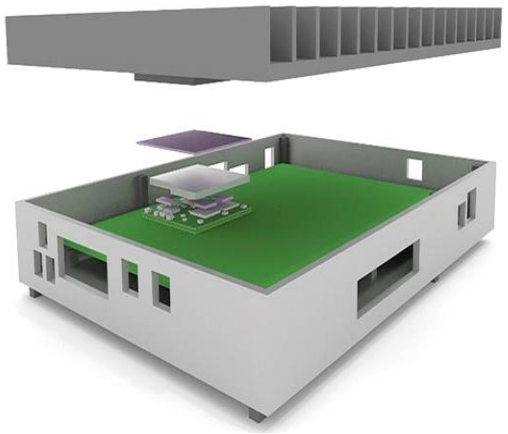
“With Simcenter FloTHERM XT we can import the complete geometry of a FpBGA 208 package with all its internal details, test board, setup the boundary conditions and solve it in just a few hours.”

Eric Monier-Vinard, Thales Corporate Engineering, France



“With Simcenter Flotherm’s simulation environment we were able to create and optimize the reference design with a high level of confidence that the design will perform as it did in the simulations.”

Jared Shipman, Intel Corporation, USA



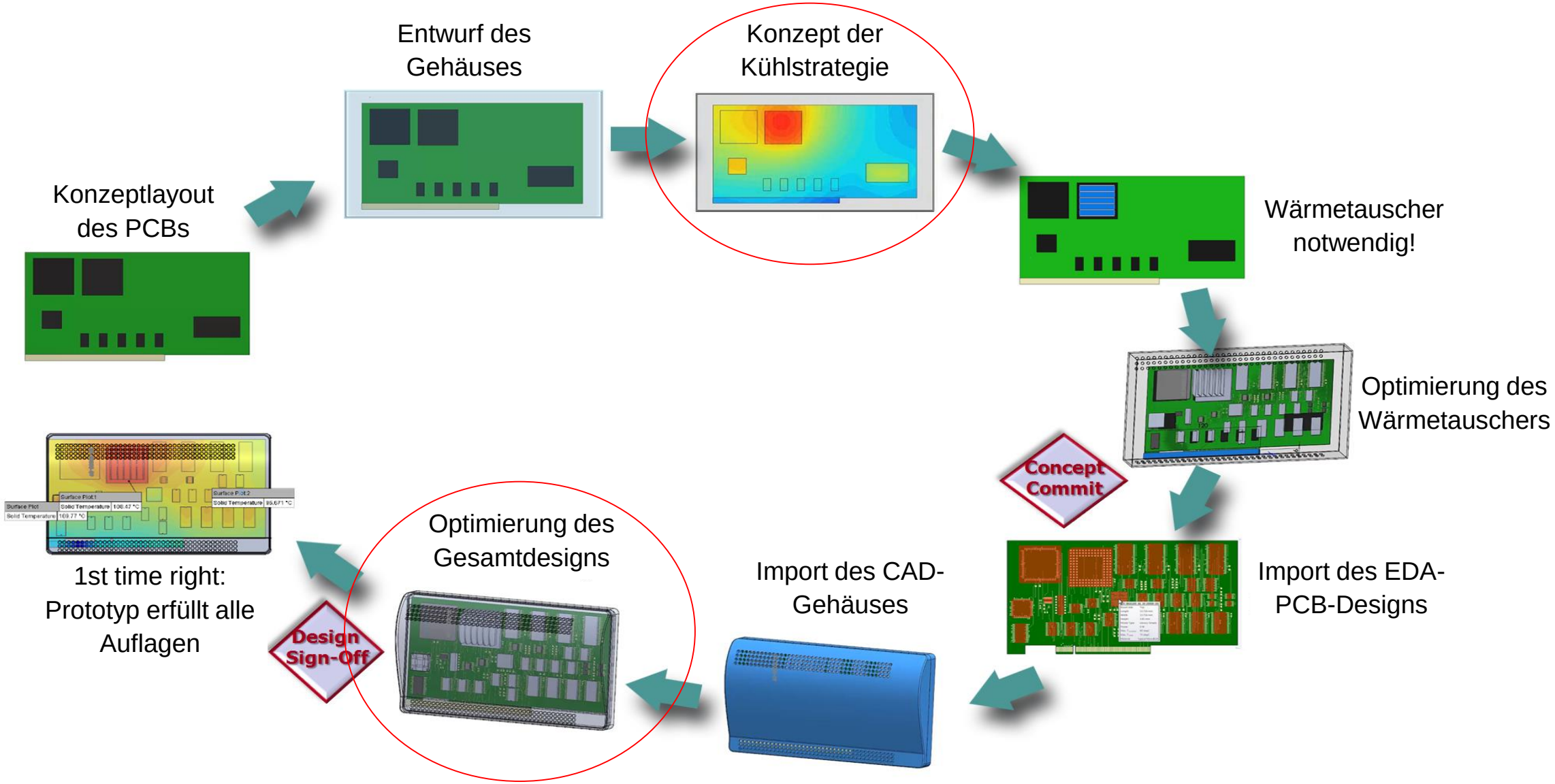
“I like Simcenter FLOEFD…because I can dip in and out of it all year with minimal effort to pick it up again. It’s robust and easy to mesh our complex geometries.”

Klaus Olesen
Danfoss Drives, Germany

Unrestricted © Siemens AG 2019

Electronics Cooling Simulation

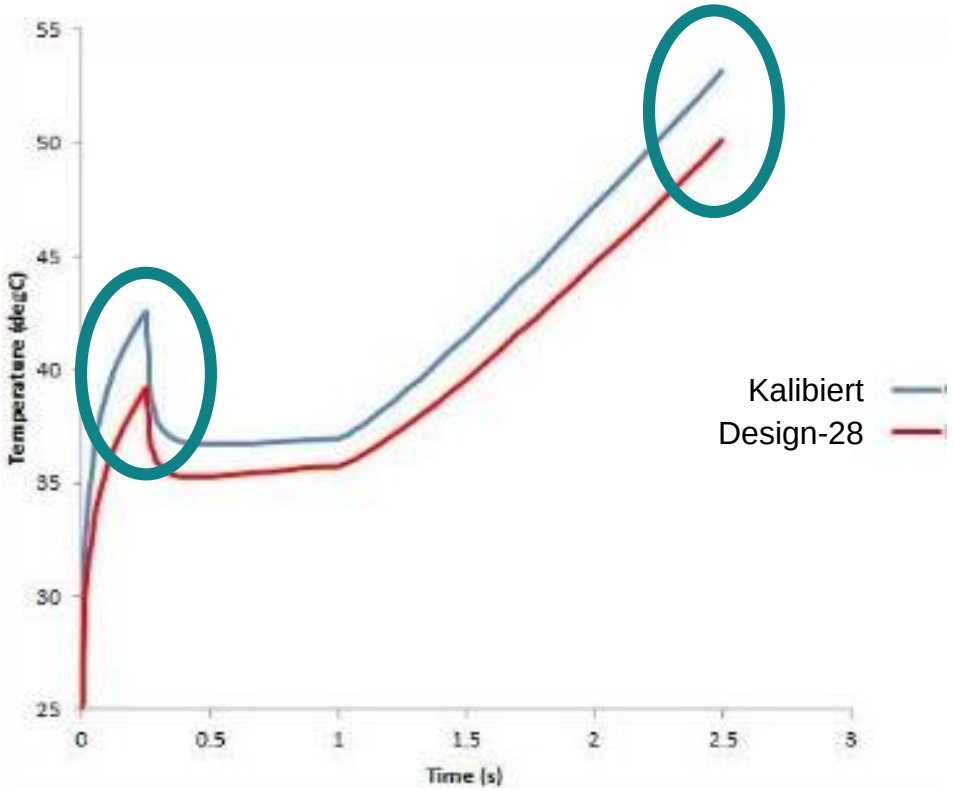
SIEMENS

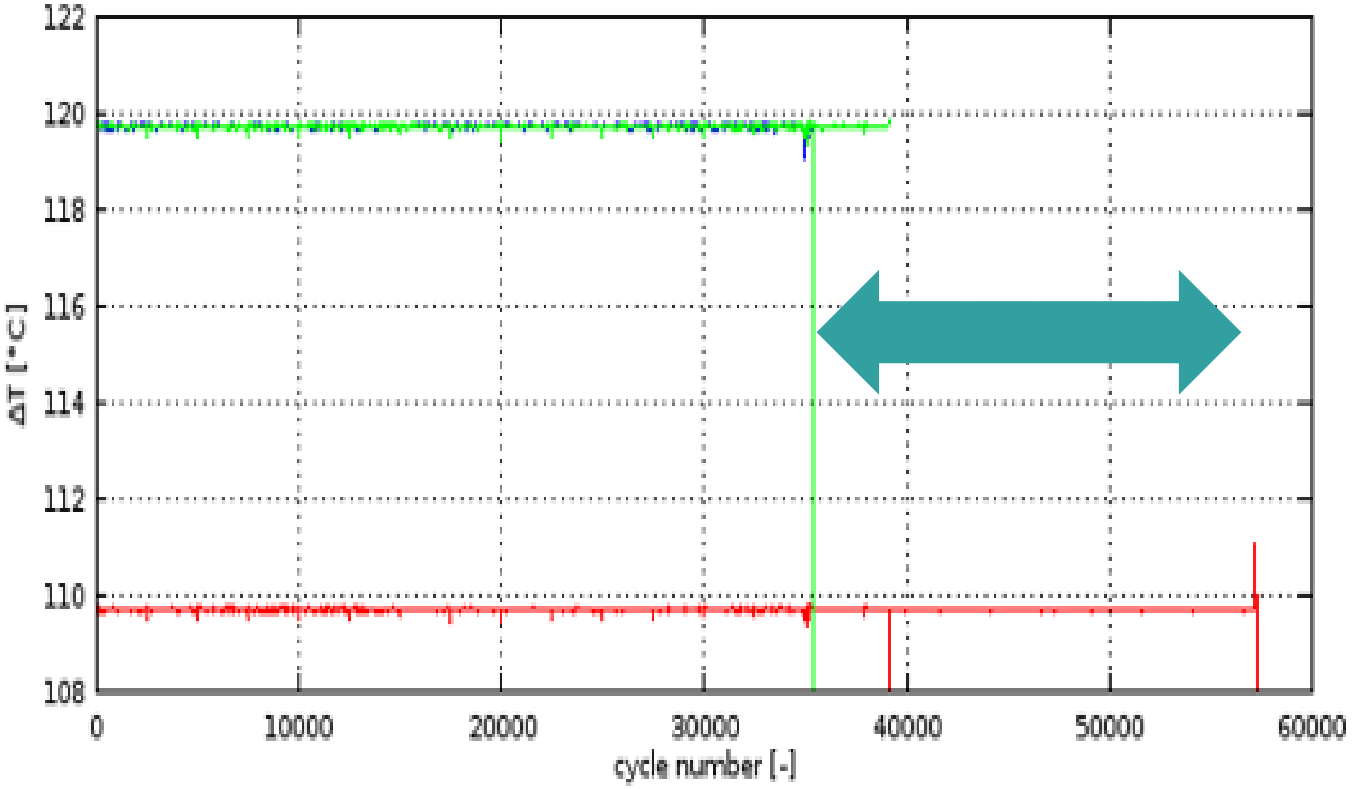


Unrestricted © Siemens AG 2019

Thermische Modelkalibrierung

SIEMENS
Ingenuity for life





Vergleich zw. kalibrierten und unkalibrierten Model zeigt eine Abweichung der Temperatur von 24%.

Im Lebenszyklustest zeigt sich durch einen Temperaturunterschied von 10° C eine 30% geringe Lebenszeit des Bauteils

Unrestricted © Siemens AG 2019

Modelkalibrierungsprozess: Vergleich

SIEMENS
Ingenuity for life

Traditioneller Prozess

Initiales Modell mit geschätzten Werten

Experimental Measurement → Model Setup and Initial Simulation → Engineering Guess and Inspec… → …on

Gut genug?

Konstanter Zustand an diskreten Punkten

Automatisierter Prozess mit Simcenter

Initiales Modell mit bekannten Wertebereich

T3Ster Experimental Measurement → FloTHERM Model and Auto-Calibration Setup → FloTHERM Calibration and Optimization

Komplett kalibiert

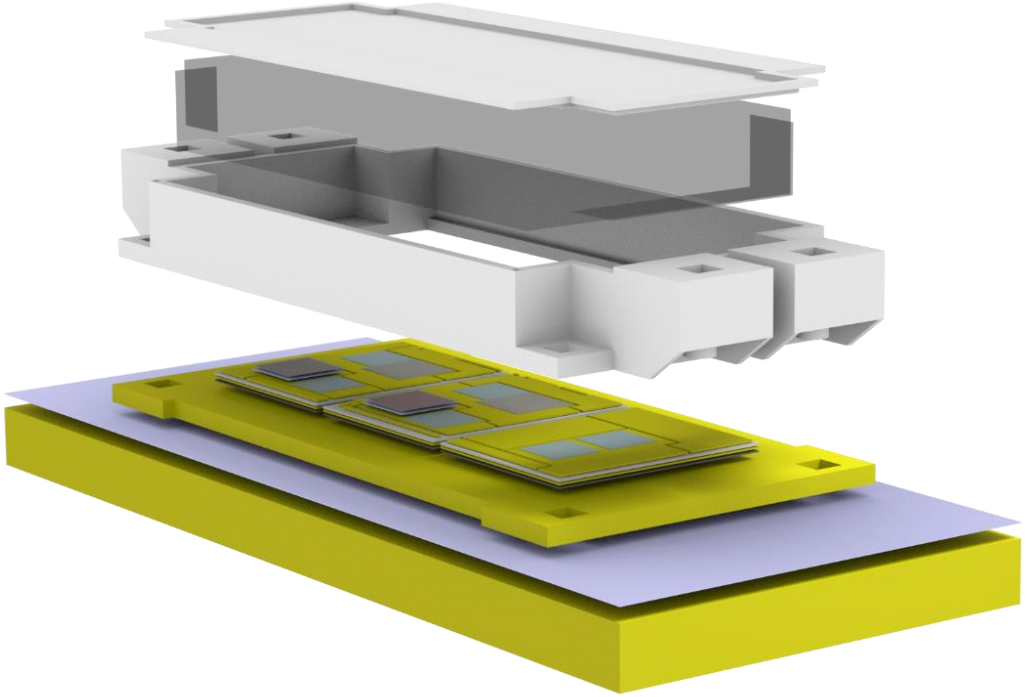
Transiente thermische Antwort

Unrestricted © Siemens AG 2019

Beispiel der automatisierten Modelkalibrierung eines IGBTs

SIEMENS
Ingenuity for life

Simcenter FloTHERM-Modell wird gegen mehrere gemessene Strukturfunktionen kalibriert



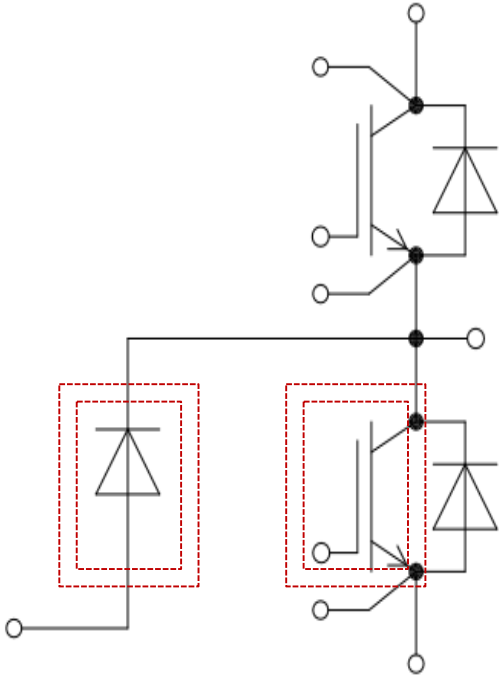
Unrestricted © Siemens AG 2019

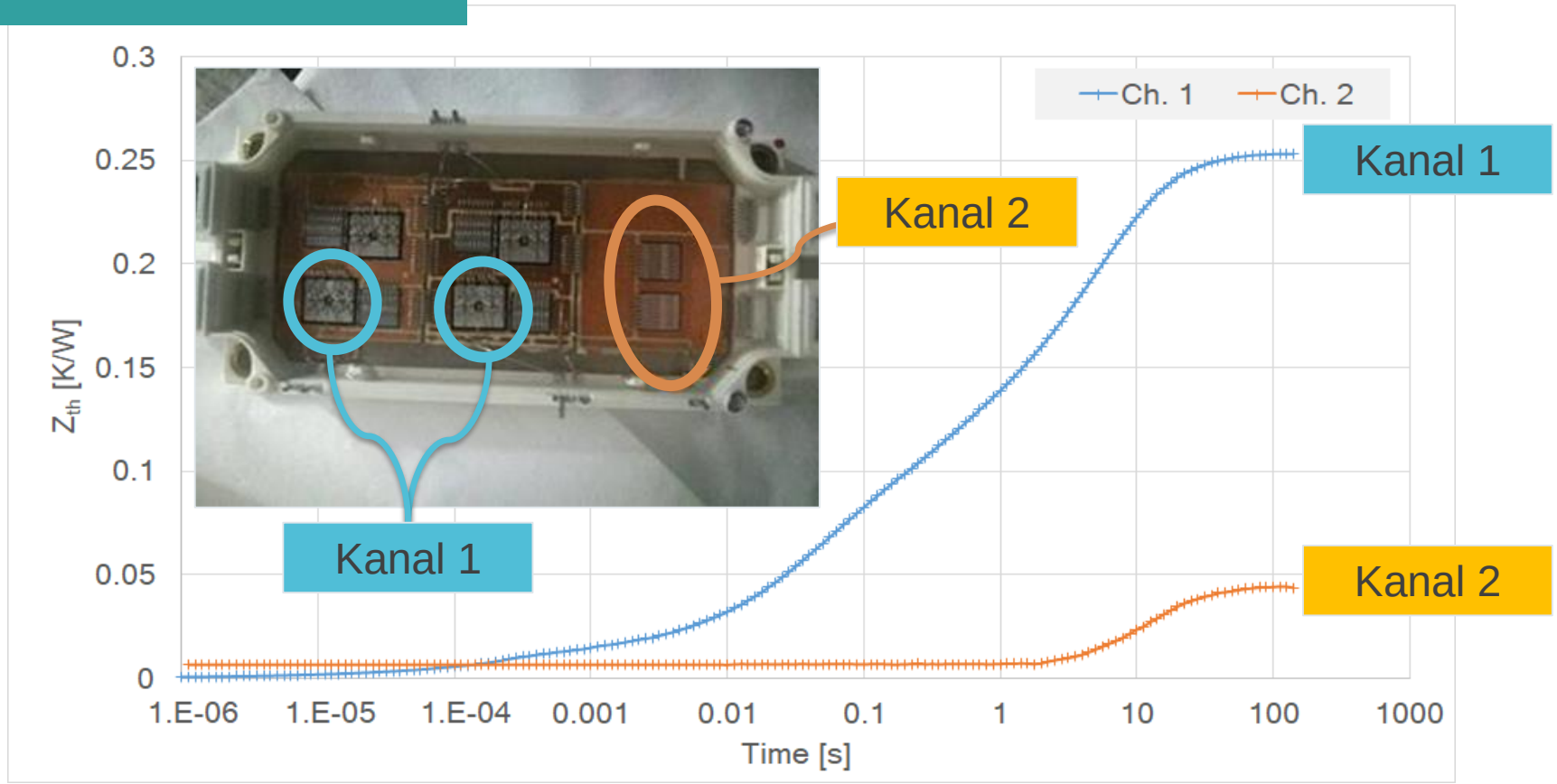
Simcenter T3STER Messergebnis

SIEMENS
Ingenuity for life

IGBT Modulantwort gemessen mit Simcenter T3STER

Kanal 1 – thermische Impedanz: 71.1 W
Kanal 2 – Kopplung: 0 W





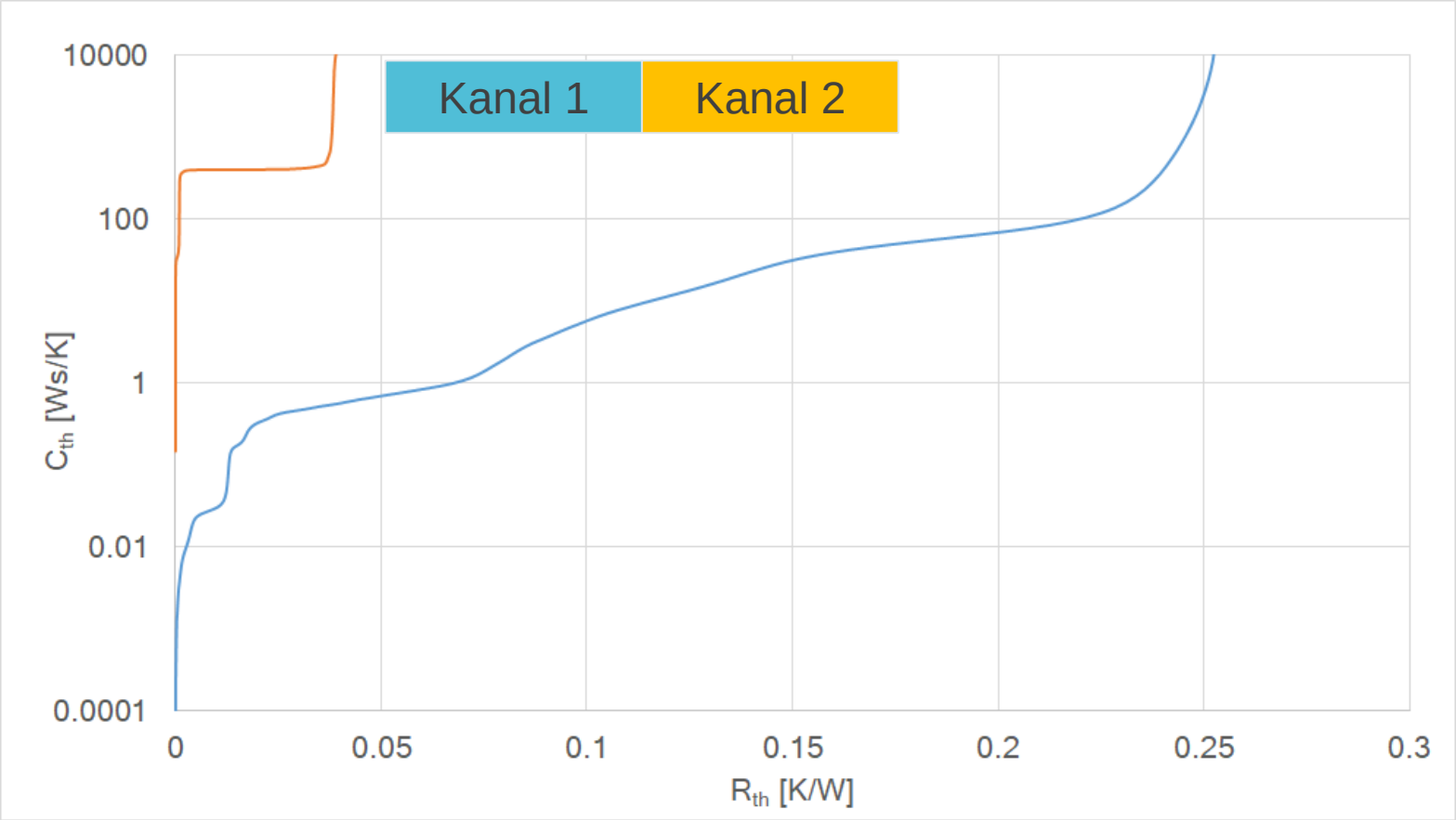
Unrestricted © Siemens AG 2019

Ziel der automatischen Kalibrierung

SIEMENS
Ingenuity for life

Minimierung der Abweichung zwischen dem Simulationsmodell in z.B. Simcenter Flotherm und den Strukturfunktionen auf der Basis der Simcenter T3STER Messungen

Messergebnisse werden in die Simulationssoftware transferiert.

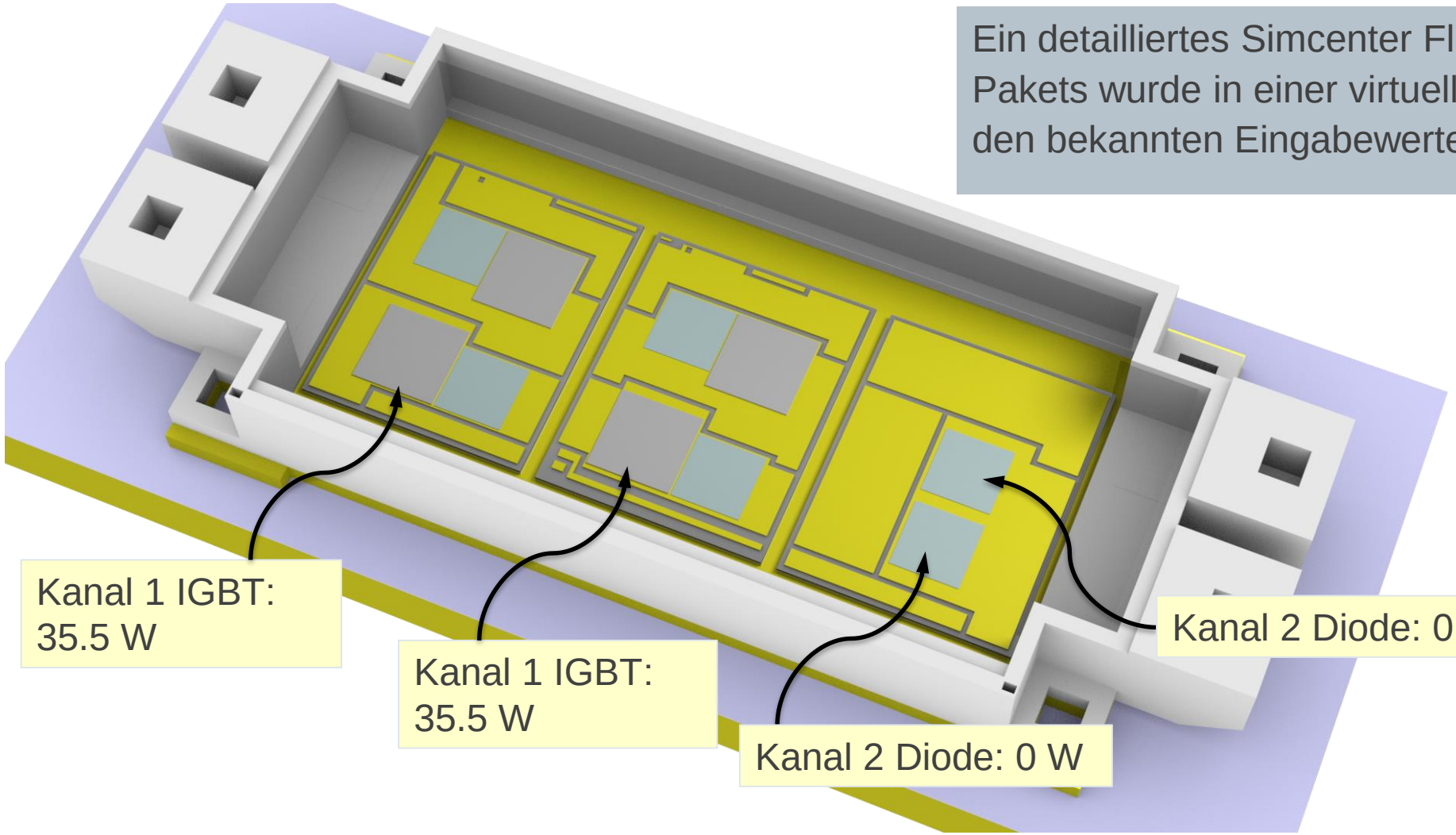


Unrestricted © Siemens AG 2019

Initiales ‘Best Guess’ Simulationsmodell

SIEMENS
Ingenuity for life

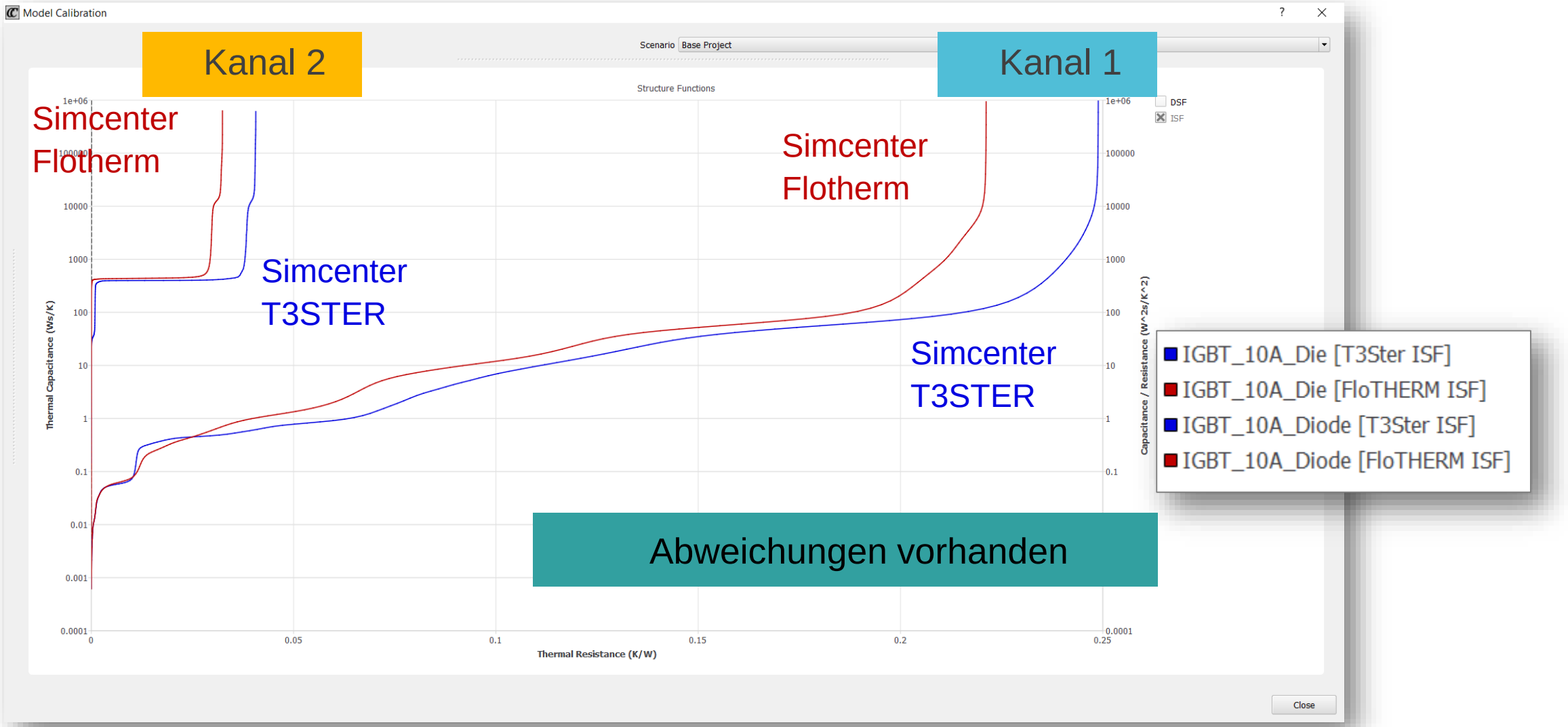
Ein detailliertes Simcenter Flotherm-Modell des Pakets wurde in einer virtuellen Testumgebung mit den bekannten Eingabewerten simuliert.



Unrestricted © Siemens AG 2019

‘Best Guess’ Modell: Ergebnisse

SIEMENS
Ingenuity for life



Unrestricted © Siemens AG 2019

Kalibrierungsstrategie

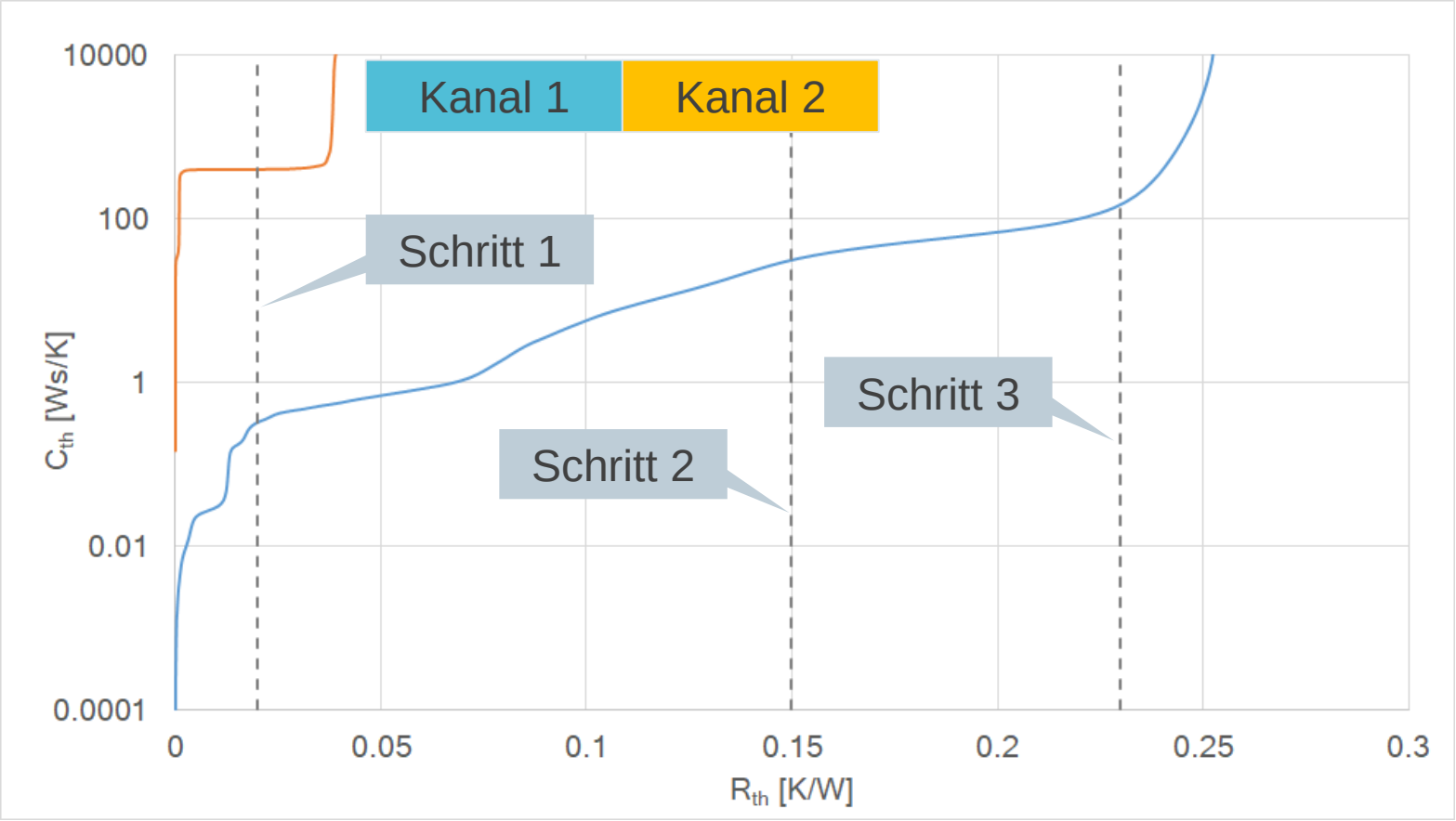
SIEMENS
Ingenuity for life

Kalibrierung gegen die Strukturfunktion in drei Schritten

Kalibrierung erfolgt von der Wärmequelle hin zur Kühlkörper

Rechenszenarien mit verschiedenen Randbedingungen werden aufgebaut

Die Optimierung der Antwortfunktion zeigt die besten Modellwerte an

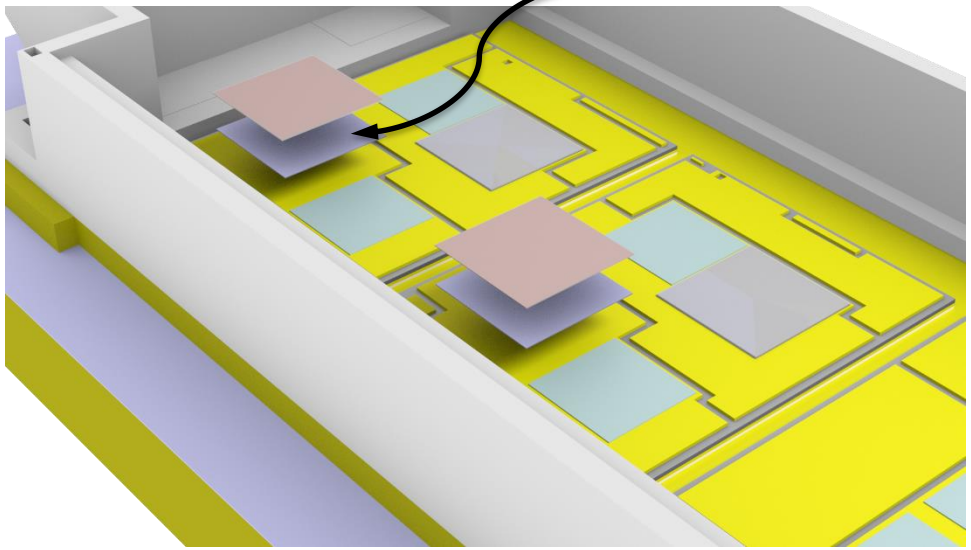


Unrestricted © Siemens AG 2019

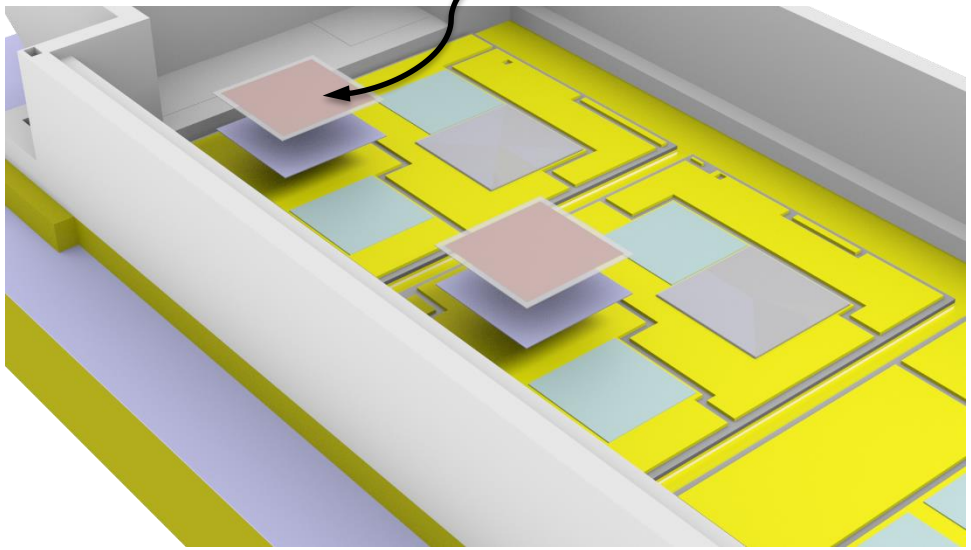
Schritt 1: Kalibrierung bis zum Die attach

SIEMENS
Ingenuity for life

Die Attach Wärmeleitfähigkeit



Die Active Area



Unrestricted © Siemens AG 2019

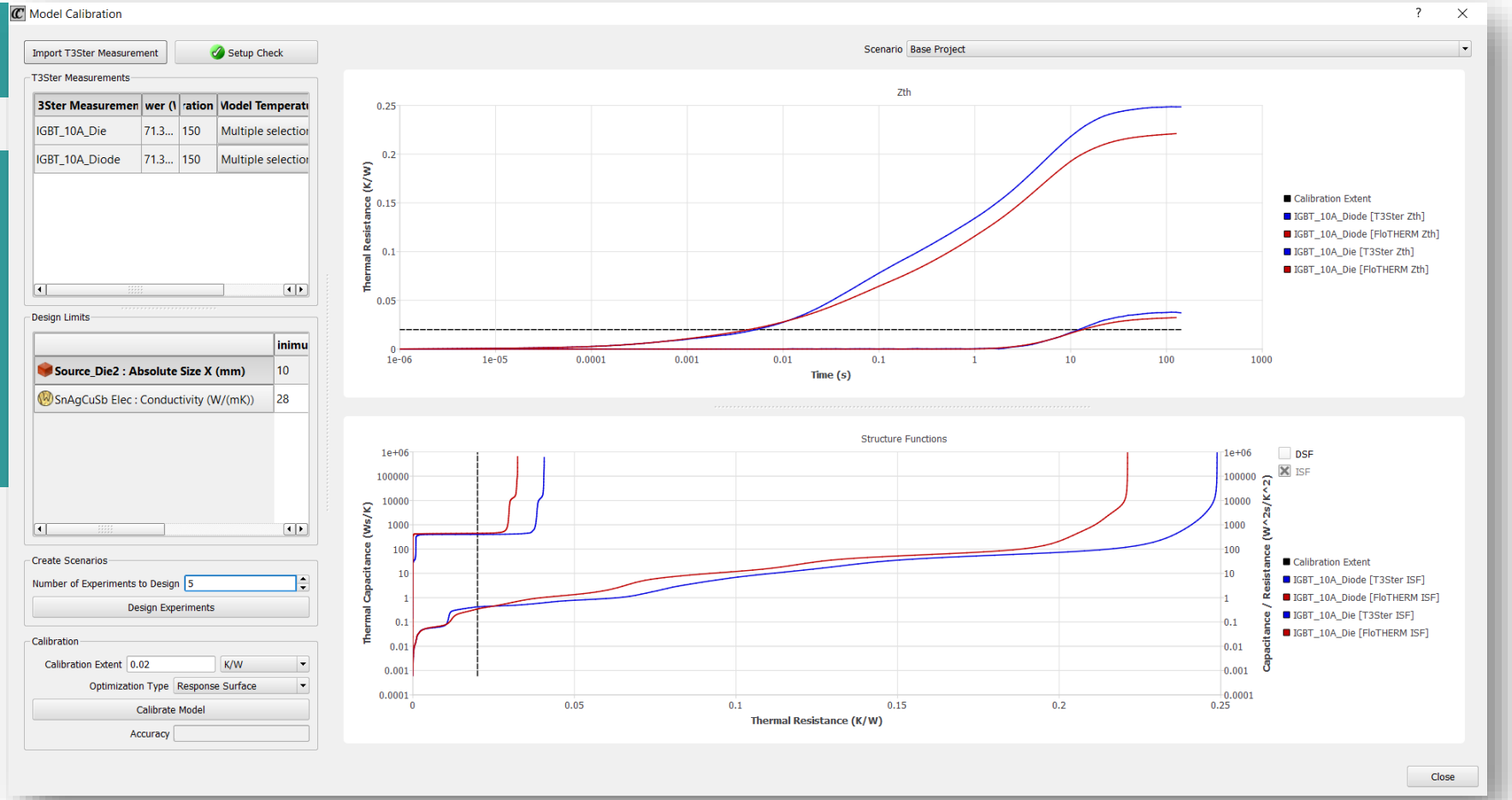
Schritt 1: Eingabedaten

SIEMENS
Ingenuity for life

Kalibrierumfang [K/W]: 0,02

<u>Wertebereich:</u>

Chipgröße [mm]:	10-11
Die Attach [W/mK]:	28-52
Simulationsexp.:	20



Unrestricted © Siemens AG 2019

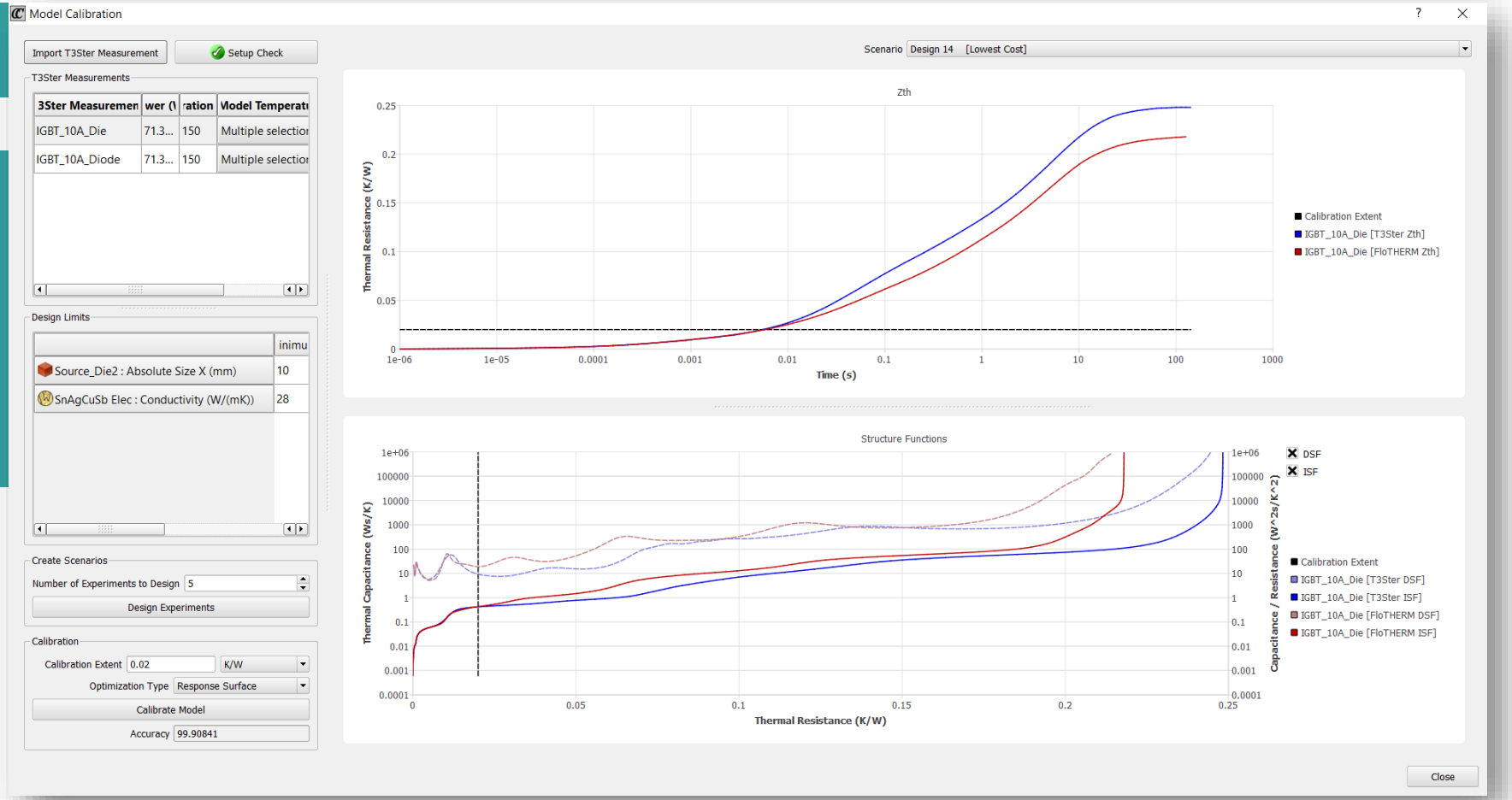
Schritt 1: Kalibrierungsergebnisse

SIEMENS
Ingenuity for life

Kalibrierumfang [K/W]: 0,02

<u>Ergebnisse:</u>

Chipgröße [mm]:	10.9
Die Attach [W/mK]:	40
Genauigkeit [%]:	99.9

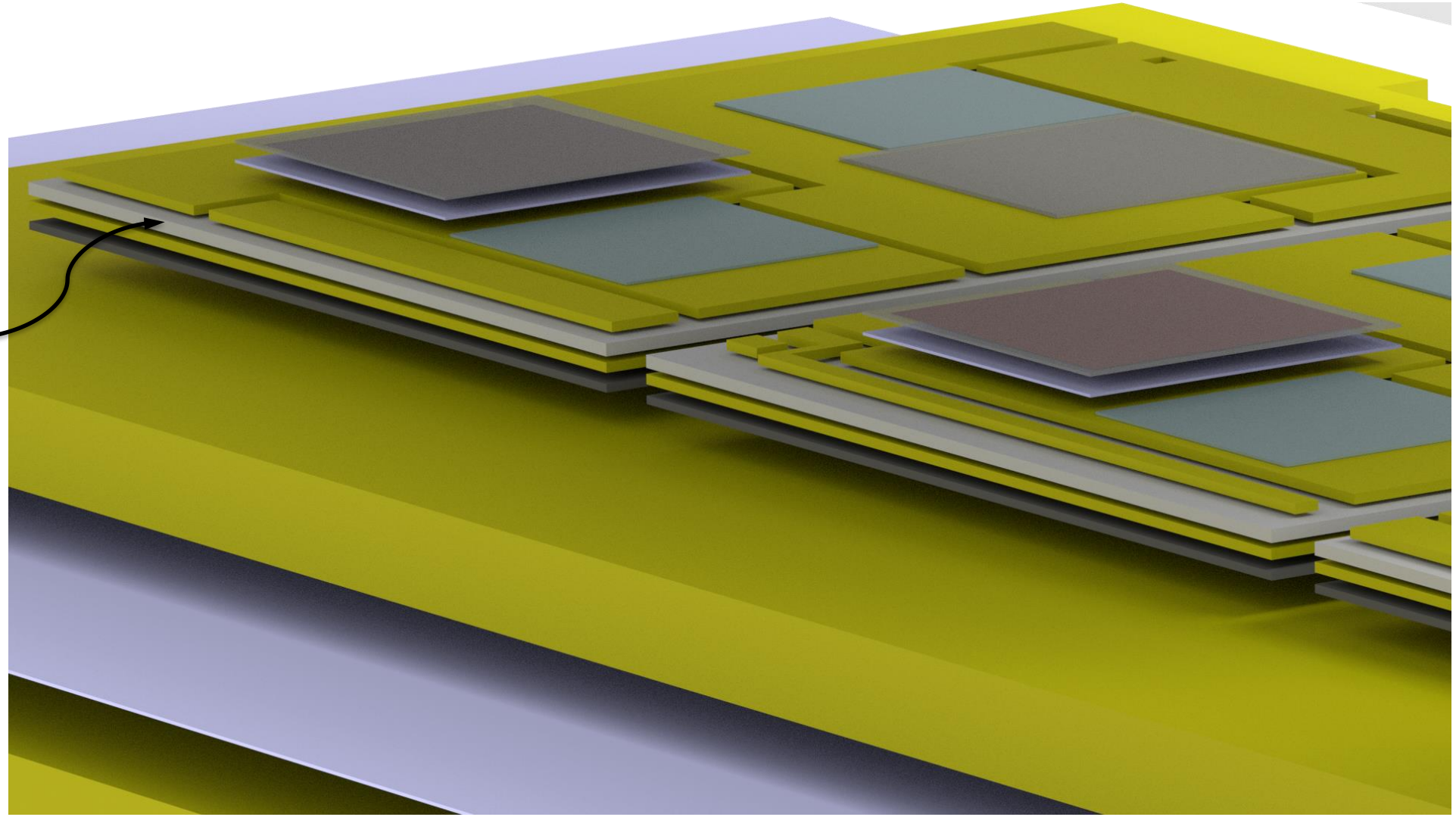


Unrestricted © Siemens AG 2019

Schritt 2: Kalibrierung der Leitfähigkeit der keramischen Schicht

SIEMENS
Ingenuity for life

Leitfähigkeit der keramischen Schicht



Unrestricted © Siemens AG 2019

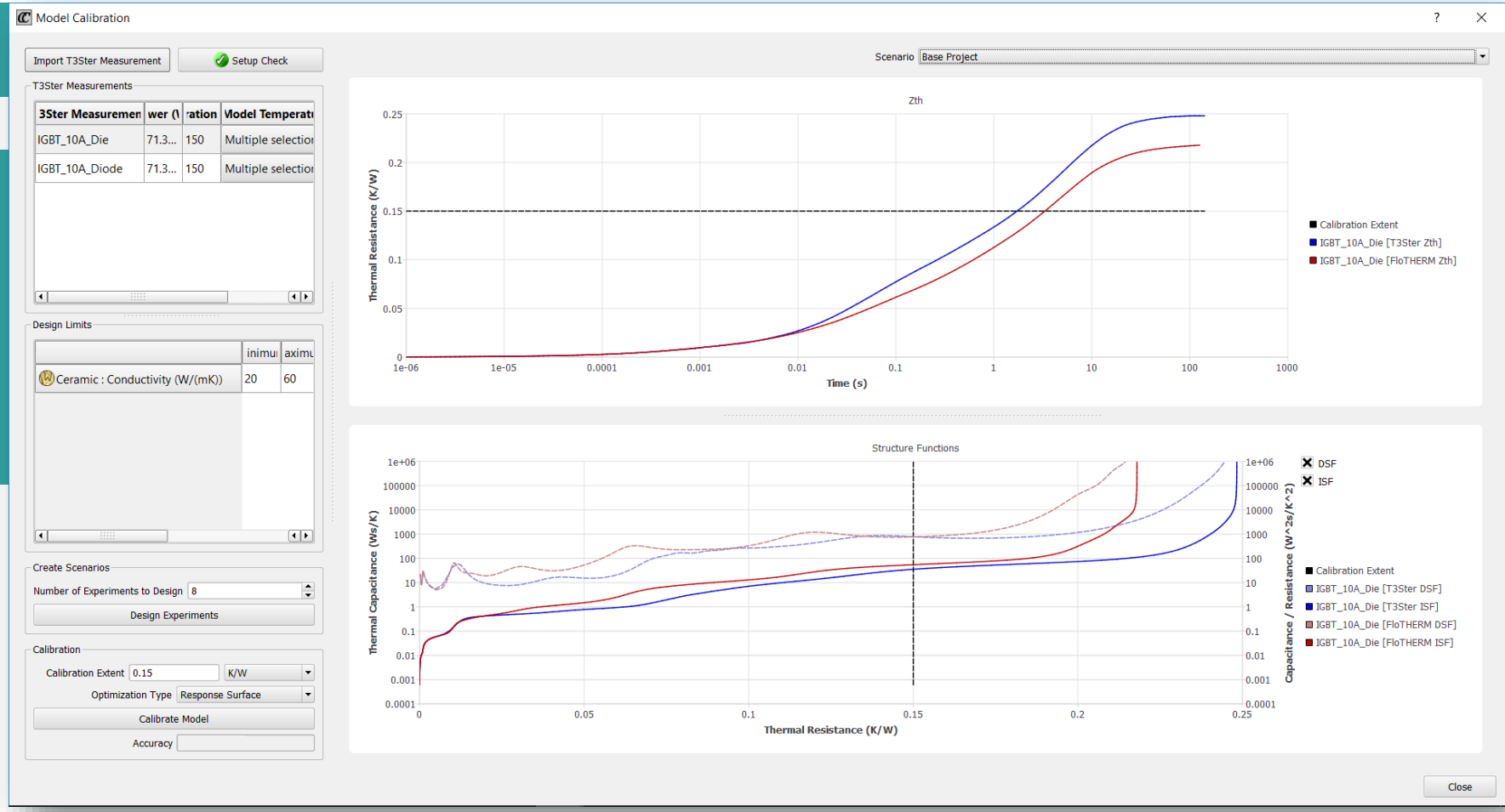
Schritt 2: Eingabedaten

SIEMENS
Ingenuity for life

Kalibrierumfang [K/W]: 0,15

<u>Wertebereich:</u>

Keramik [W/mK]: 20-60
Simulationsexp.: 8



Unrestricted © Siemens AG 2019

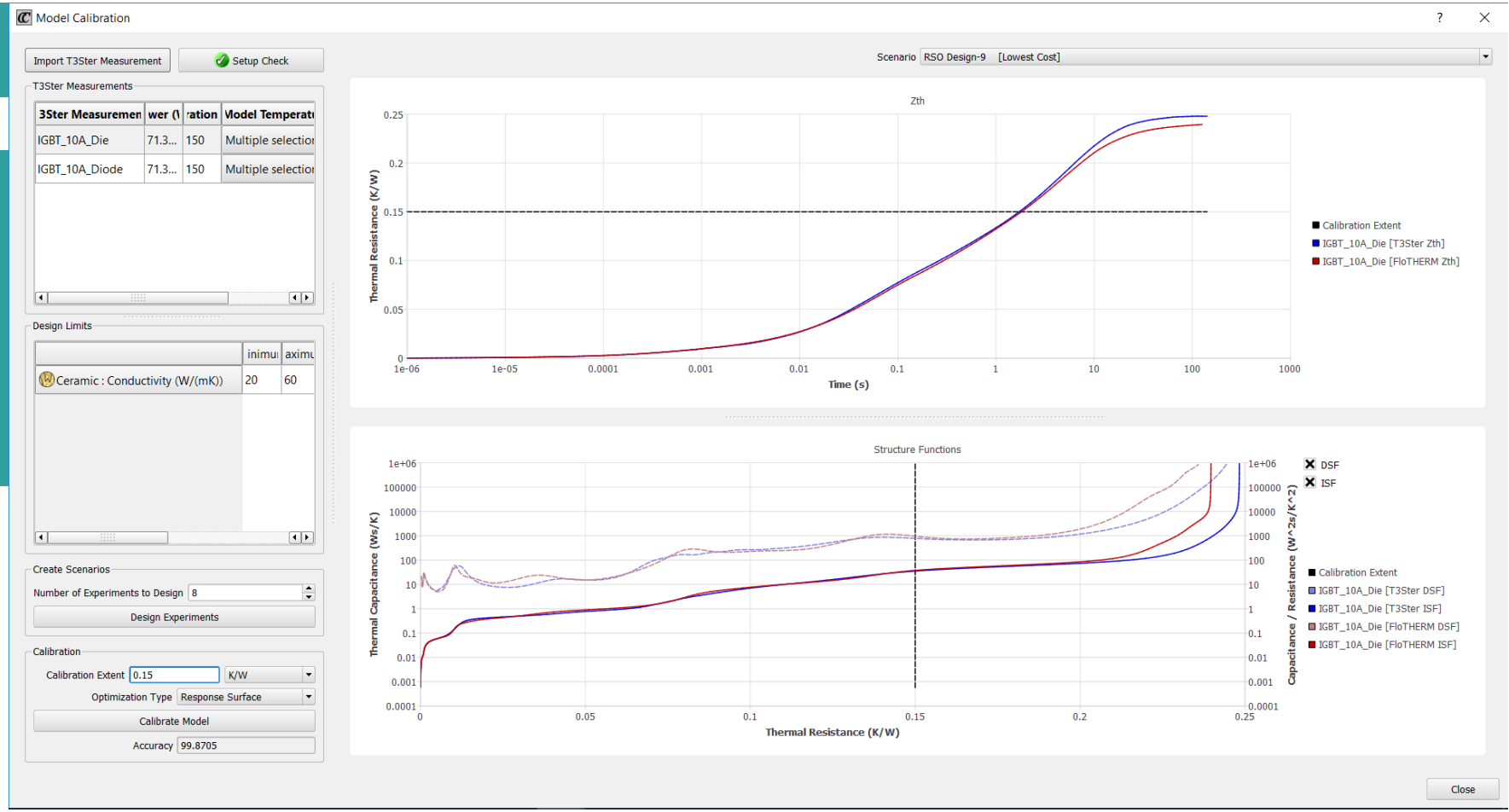
Schritt 2: Kalibrierungsergebnisse

SIEMENS
Ingenuity for life

Kalibrierumfang [K/W]: 0,15

<u>Ergebnisse:</u>

Keramik [W/mK]: 20,9
Genauigkeit [%]: 99.87

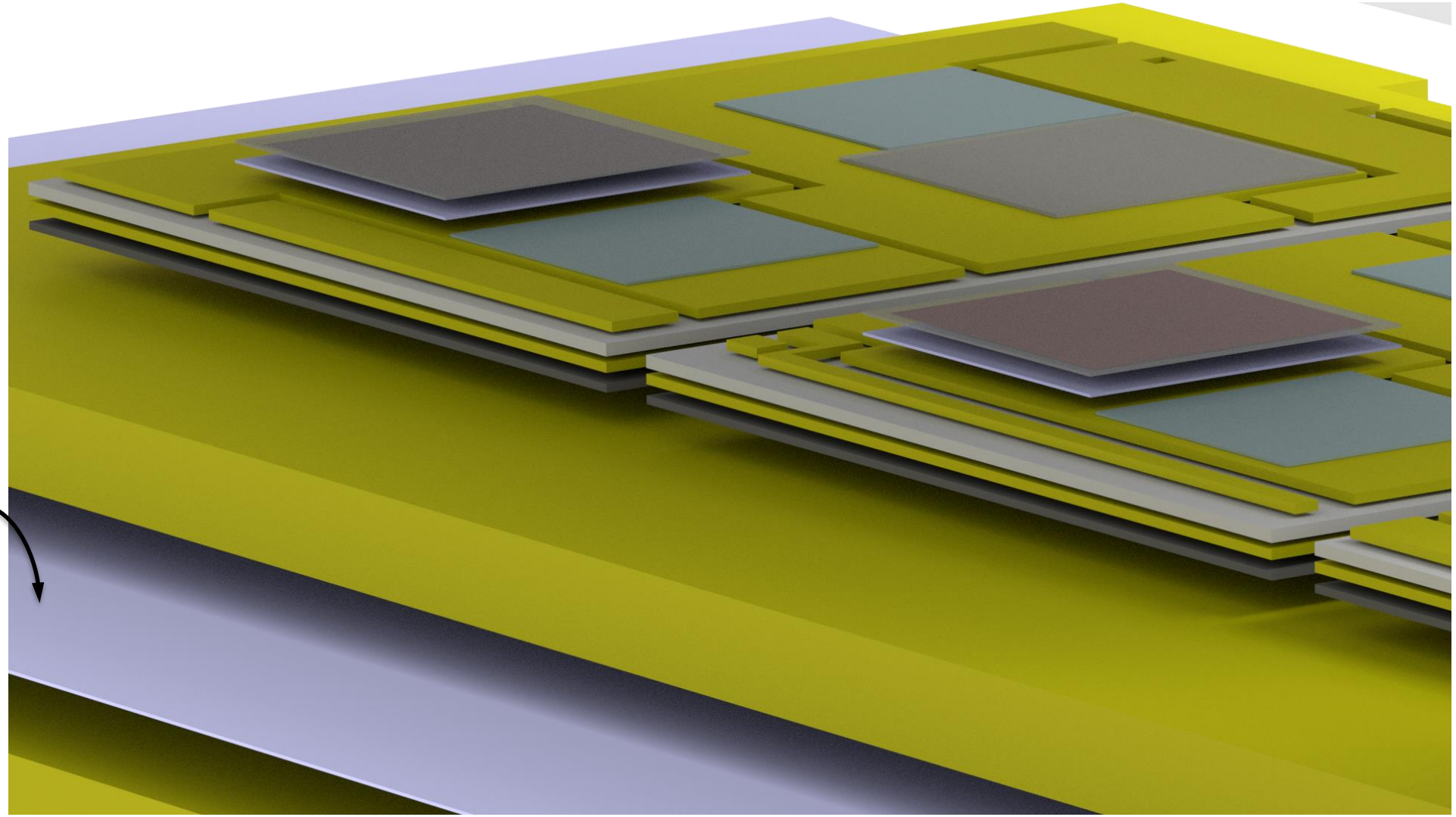


Unrestricted © Siemens AG 2019

Schritt 3: Kalibrierung der thermischen Leitfähigkeit des Thermal Interface Material (TIM)

SIEMENS
Ingenuity for life

TIM Leitfähigkeit



Unrestricted © Siemens AG 2019

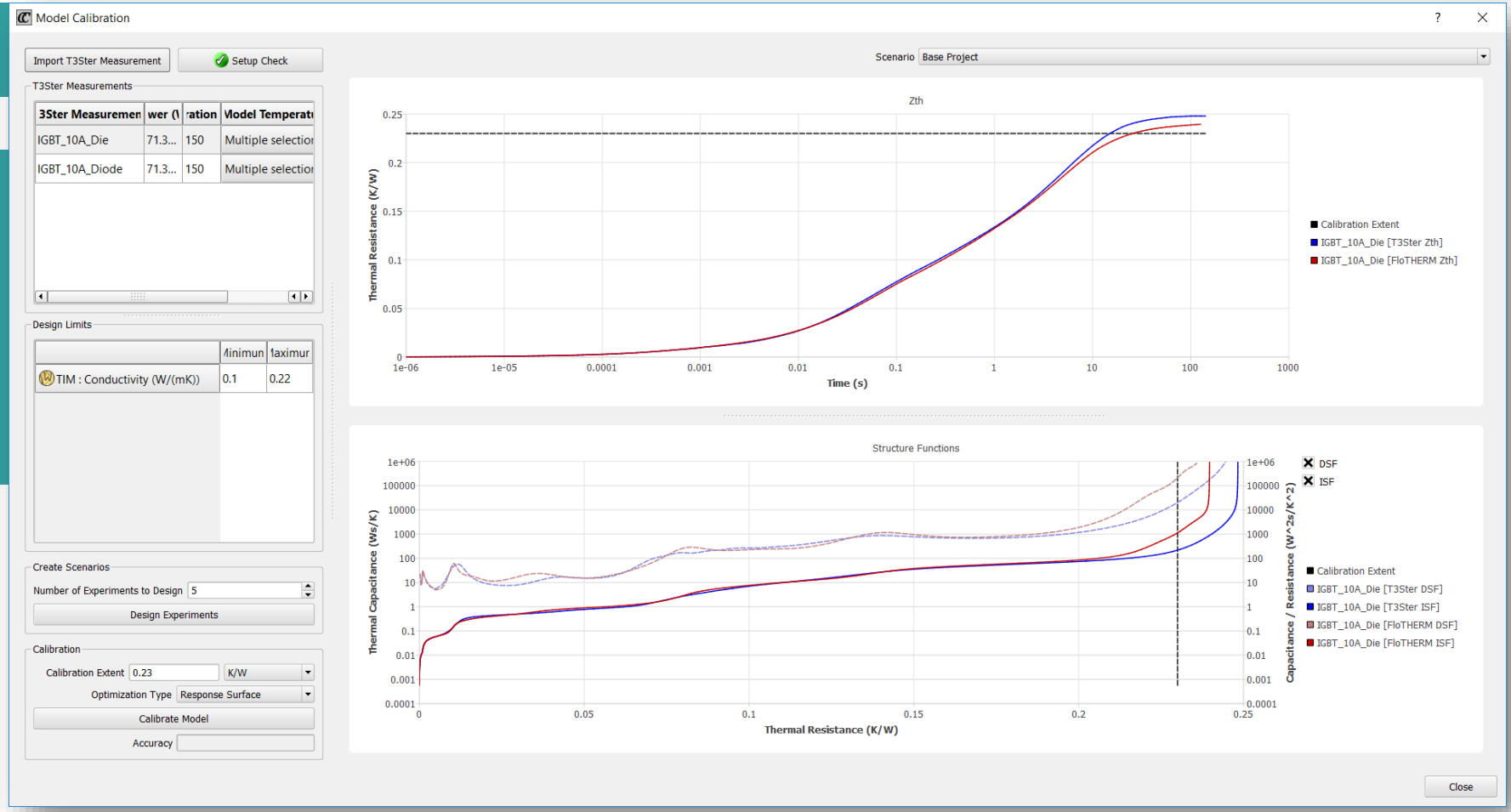
Schritt 3: Eingabedaten

SIEMENS
Ingenuity for life

Kalibrierumfang [K/W]: 0,23

<u>Wertebereich:</u>

TIM [W/mK]: 0,1-0,22
Simulationsexp.: 8



Unrestricted © Siemens AG 2019

Schritt 3: Kalibrierungsergebnisse

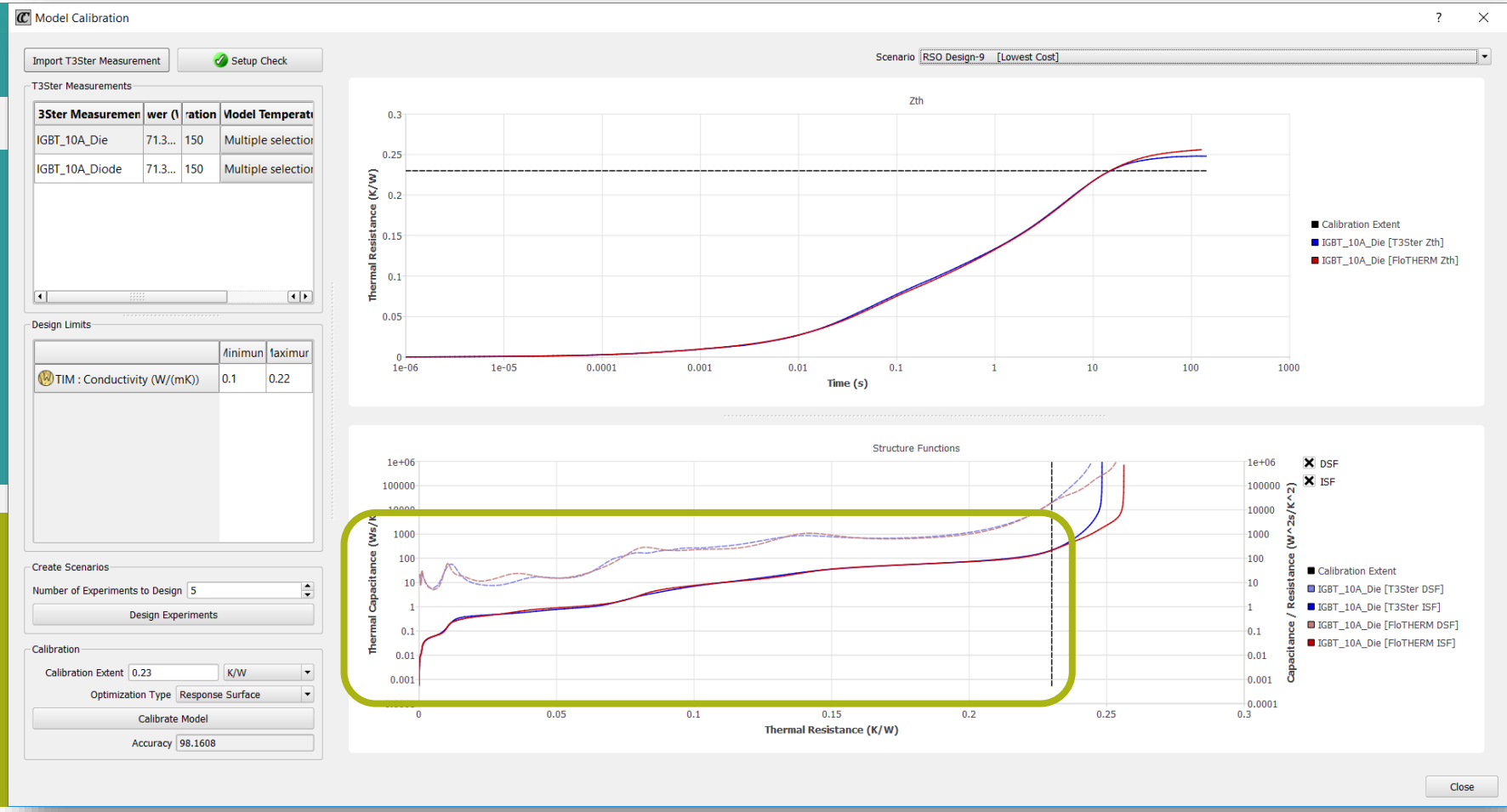
SIEMENS
Ingenuity for life

Kalibrierumfang [K/W]: 0,23

<u>Ergebnisse:</u>

TIM [W/mK]: 0,18
Genauigkeit [%]: 98.16

<u>Gesamtergebniss:</u>
Simulationsmodell ist bis zum Kühlkörper kalibriert und kann folgend genaue Simulations-ergebnisse liefern.

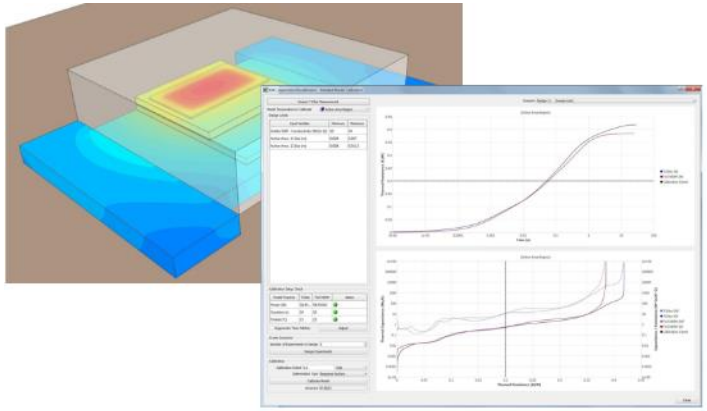


Unrestricted © Siemens AG 2019

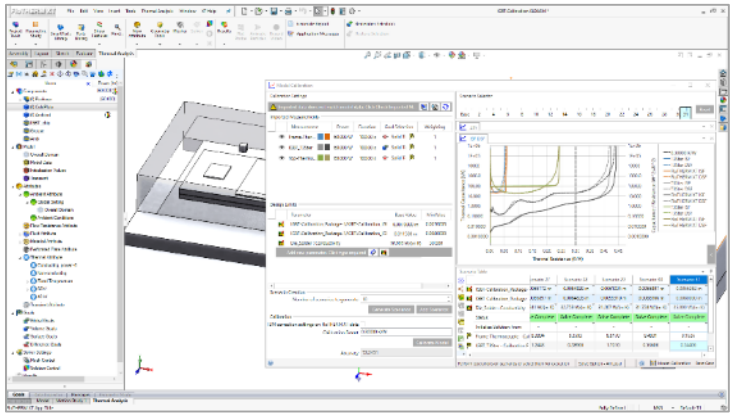
Die automatische Kalibrierung des thermischen Modells ist in drei CFD-Simulationswerkzeugen verfügbar

SIEMENS
Ingenuity for life

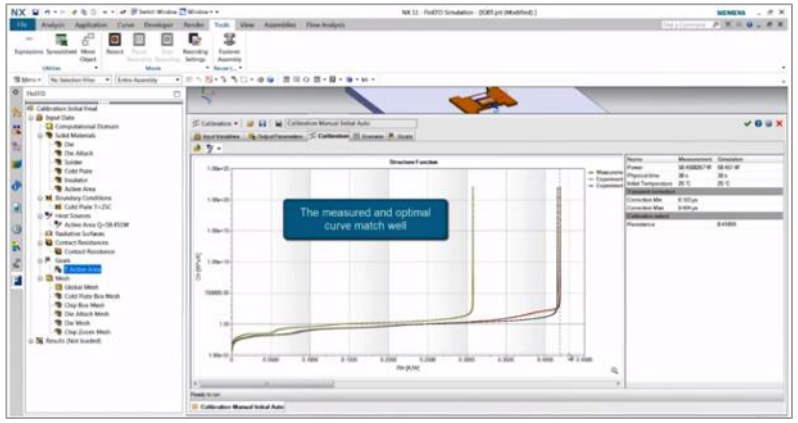
Simcenter Flotherm



Simcenter Flotherm XT



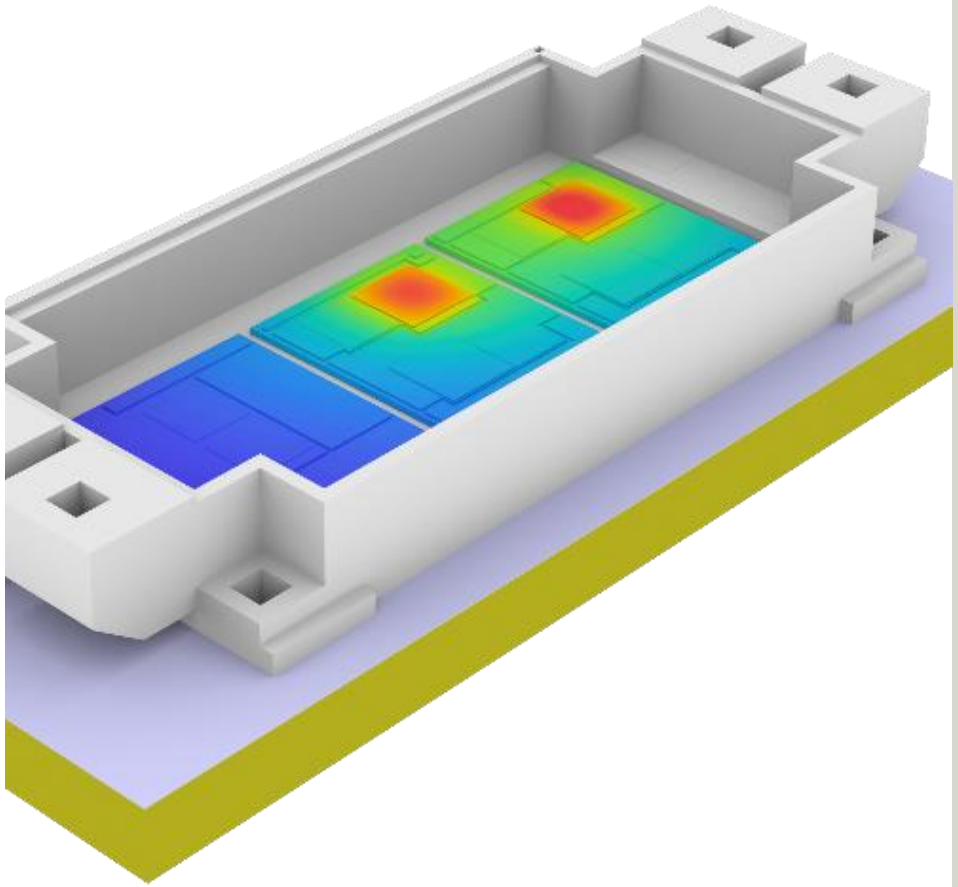
Simcenter FLOEFD



Intuitive Schnittstellen in den Simcenter-Tools FloTHERM, FloTHERM XT und FLOEFD verfügen über einen Schritt-für-Schritt Prozess zur automatischen Anpassung der Modelleingaben, um sicherzustellen, dass die transiente Leistung eng mit den importierten Simcenter T3STER Strukturfunktionsmessdaten übereinstimmt, um höchste Genauigkeit zu erreichen.

Unrestricted © Siemens AG 2019

Agenda



- Thermisch-transiente Messungmethode
- Automatische Kalibrierung für die thermische Simulation
- Lastwechselprüfung und Fehlerdiagnose zur Zuverlässigkeitsbewertung
- Fragen und Antworten

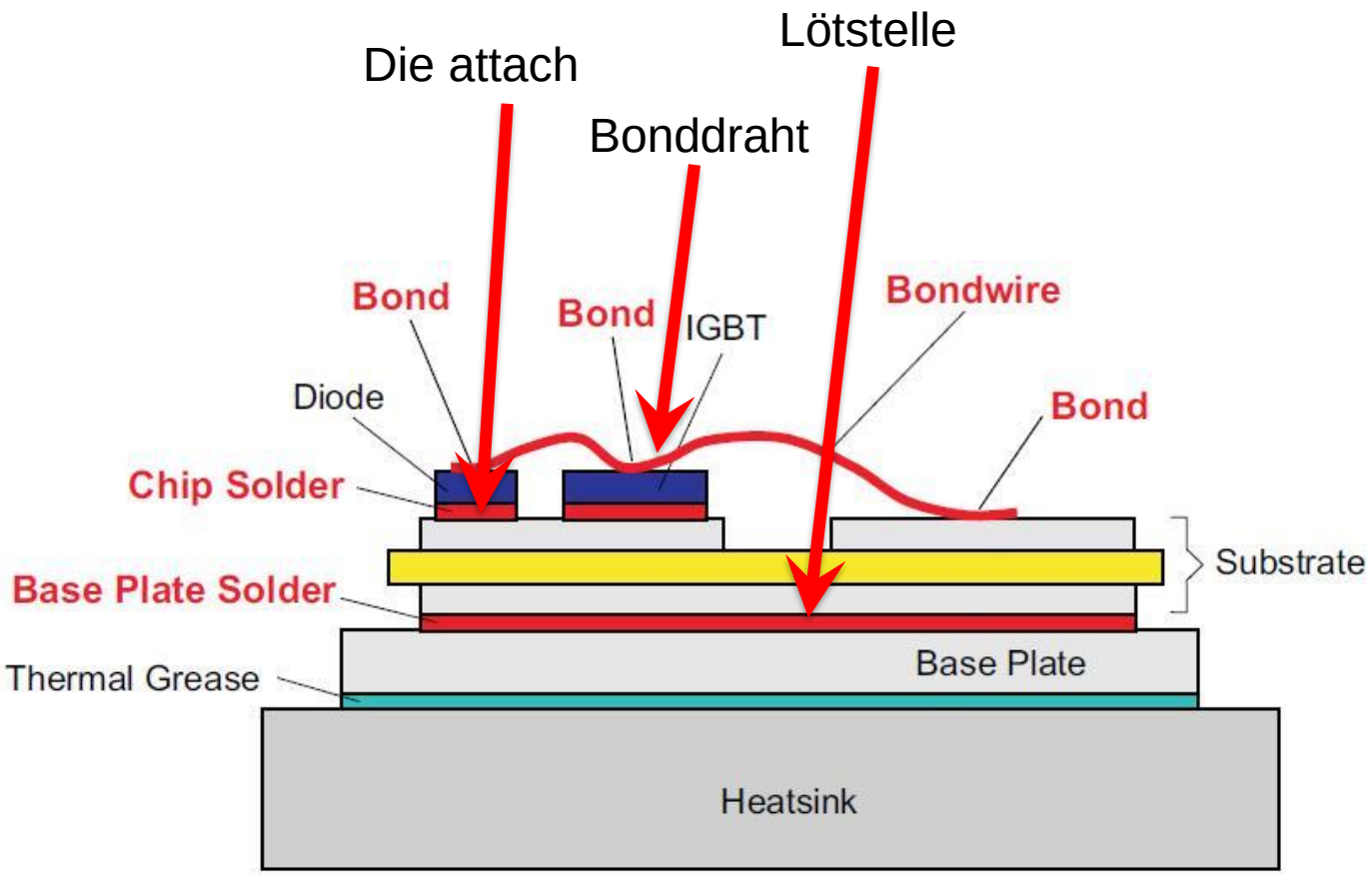
Unrestricted © Siemens AG 2019

Temperturanfällige Strukturen in der Leistungselektronik

SIEMENS
Ingenuity for life

Je größer die Temperaturunterschiede und Kontaktflächen, umso größer die thermomechanische Beanspruchung, z.B.:

- Lötstelle - zwischen PCB und Substrat
- Die attach – verschiedene Materialien möglich
- Bonddrähte - Kleine Bereiche mit hoher Temperaturschwankung

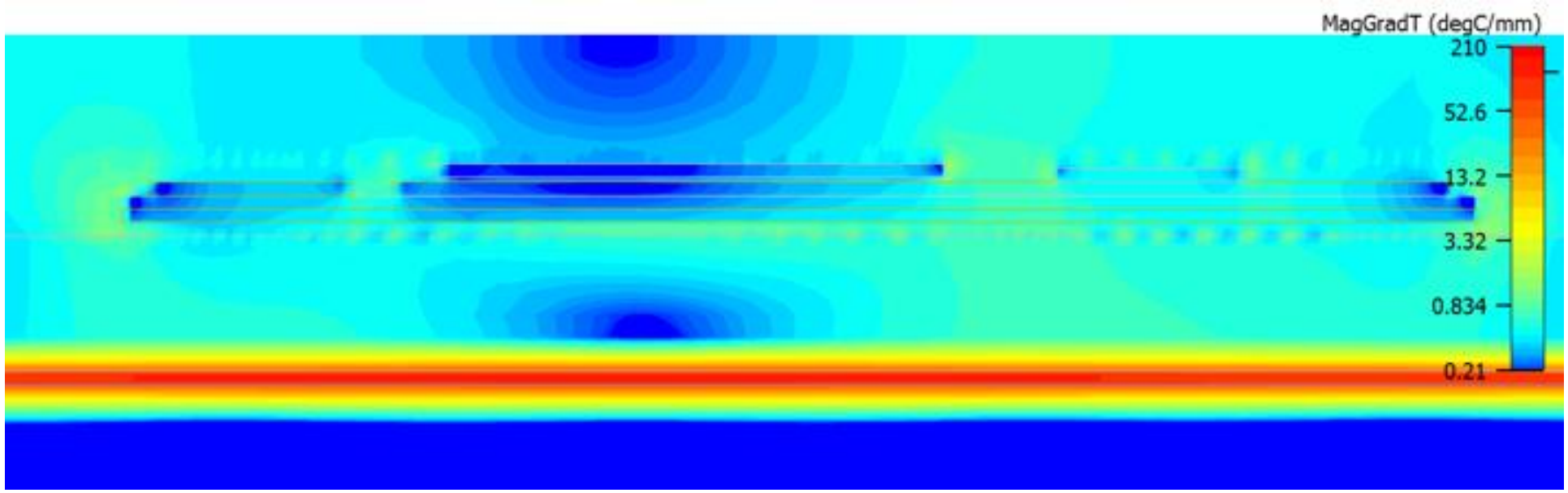


Unrestricted © Siemens AG 2019

Was ist Power cycling?

SIEMENS
Ingenuity for life

- Simulation des Power Cycling Prozesses auf einem IGBT
- Hohe interne Temperaturgradienten markieren Bereiche, die eher ausfallgefährdet sind



Unrestricted © Siemens AG 2019

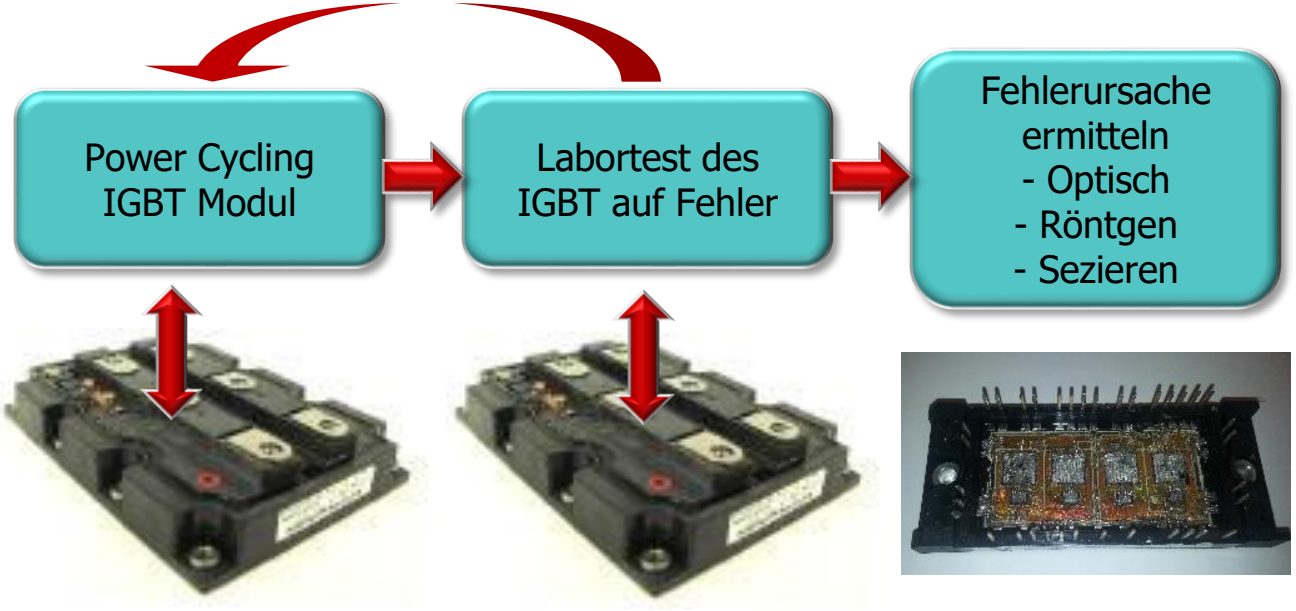
Traditionelle Power cycling Untersuchung

SIEMENS
Ingenuity for life

Traditionaler Prozess:

1. Aufbau und ausführen der eingestellten Anzahl von Lastwechsel
2. Ins Labor bringen und auf Fehler testen
3. Wiederholen der Schritte 1 und 2 bis zum Ausfall
4. Ins Labor bringen und Fehlerursache ermitteln

Wiederholung des Prozesses



Issues:

- Arbeitsintensiv durch wiederholtes Power Cycling /Labortestprozess
- Keine "Echtzeit"-Anzeige für einen laufenden Fehler - nur post mortem
- Die Fehlerursache erfordert Laboranalyse

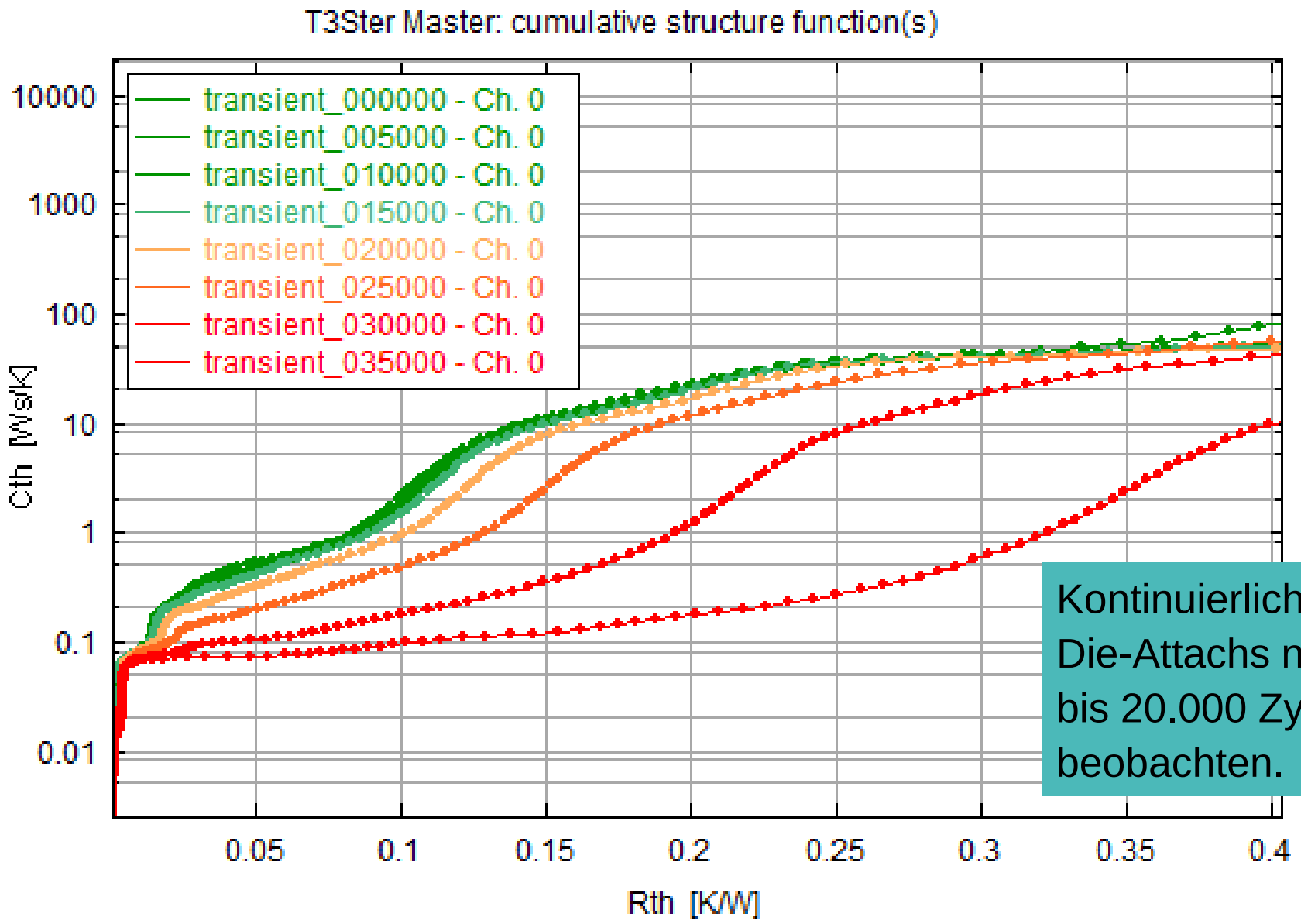
Wie wäre es, Power Cycling und Fehleranalyse in einem einzigen Testaufbau zu kombinieren?

Wie wäre eine Automatisierung des Workflows?

Unrestricted © Siemens AG 2019

Power Cycling und Fehleranalyse in einem Testaufbau

SIEMENS
Ingenuity for life

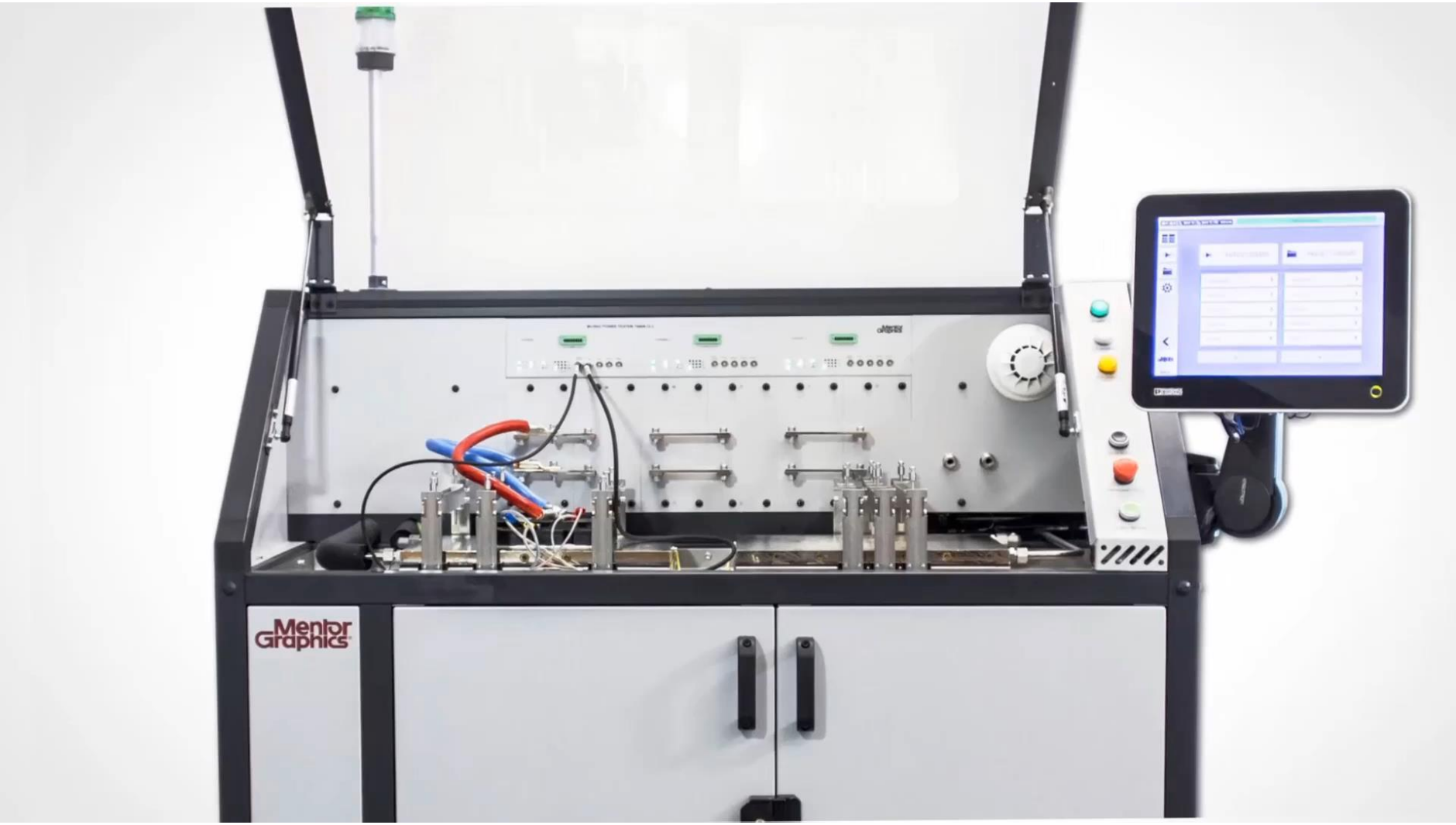


Kontinuierlicher Abbau des Die-Attachs nach ~15.000 bis 20.000 Zyklen zu beobachten.

Unrestricted © Siem

Simcenter POWERTESTER Überblick

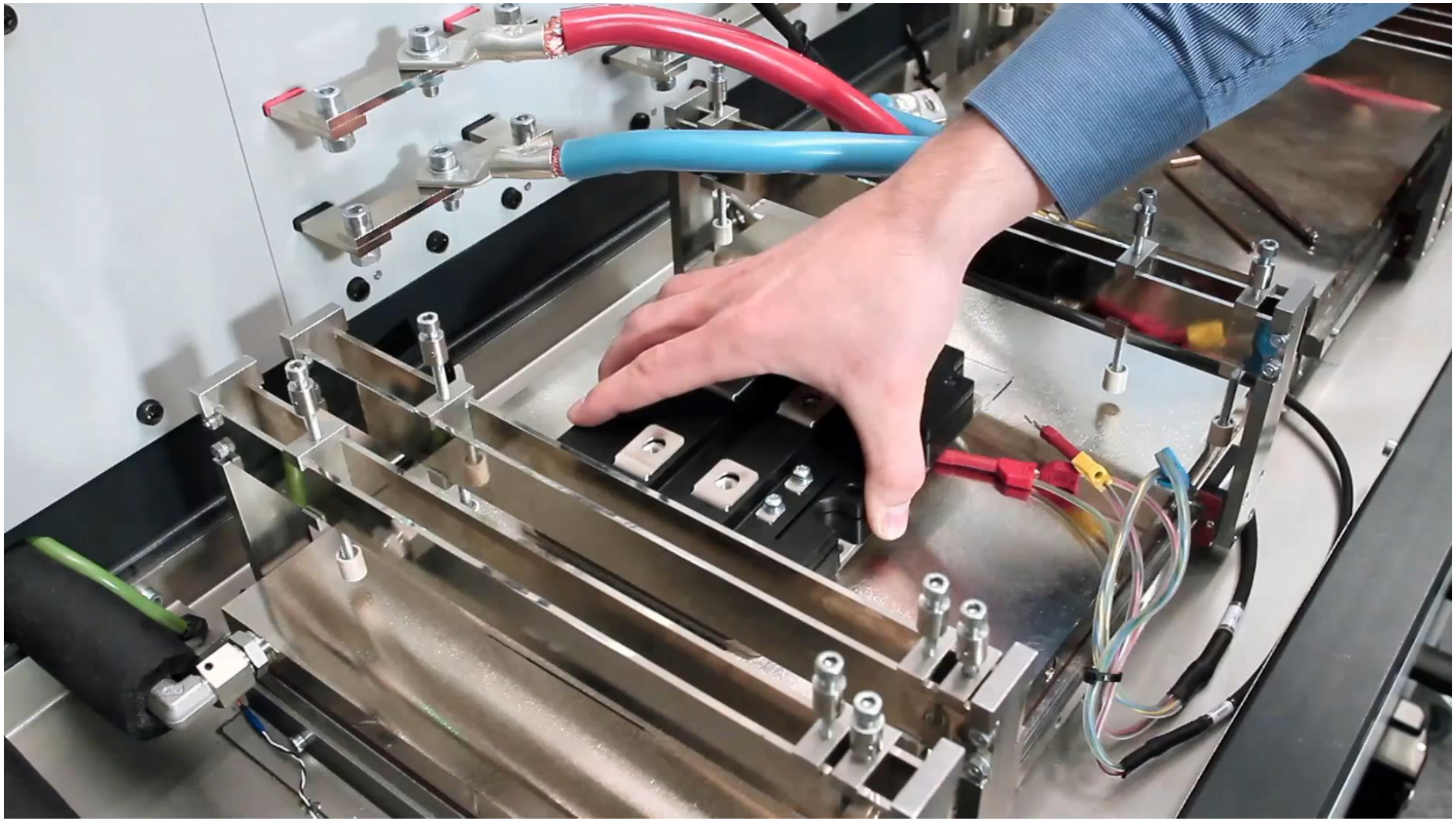
SIEMENS
Ingenuity for life



Unrestricted © Siemens AG 2019

Simcenter POWERTESTER Einbau der Komponente

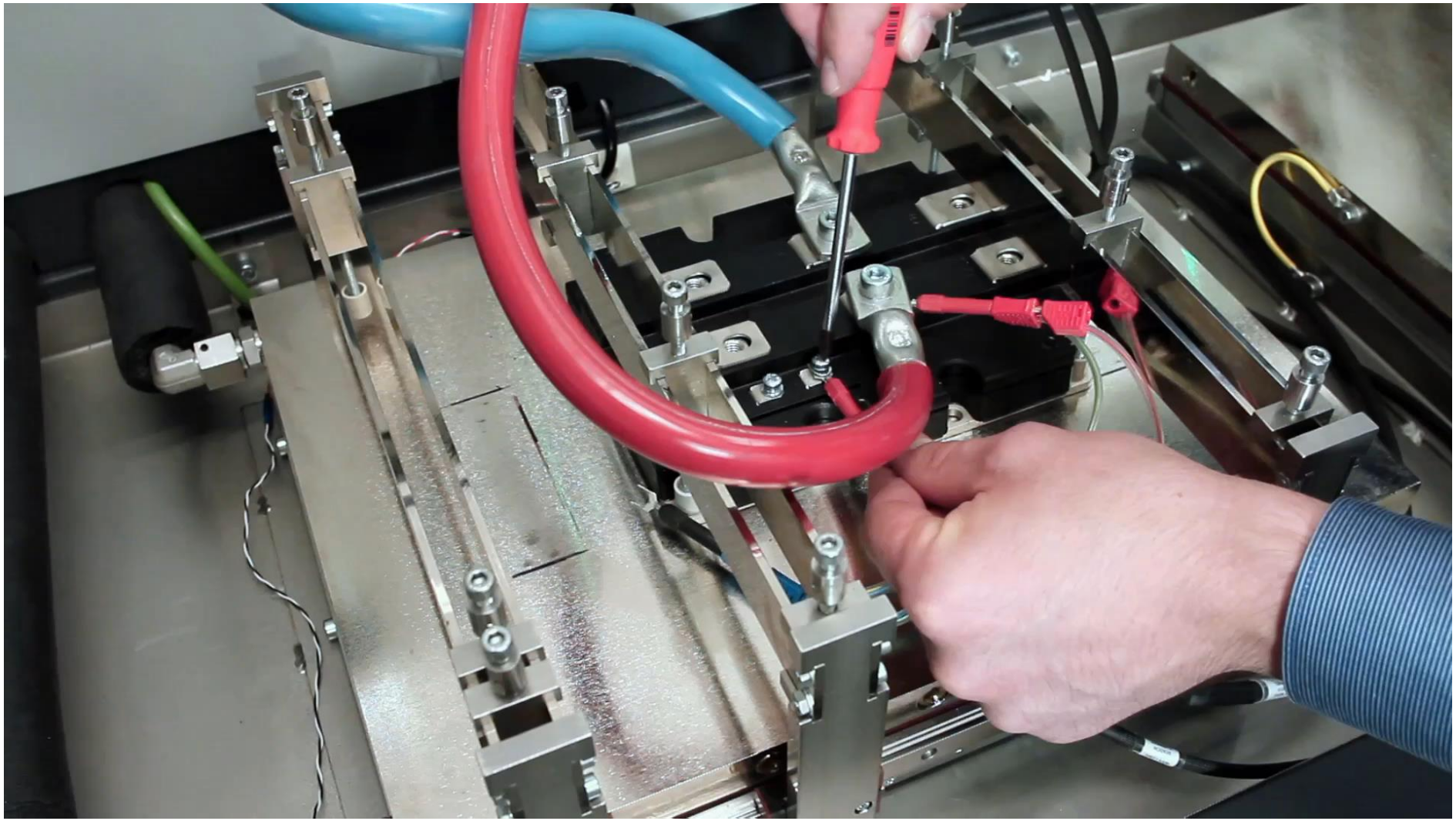
SIEMENS
Ingenuity for life



Unrestricted © Siemens AG 2019

Simcenter POWERTESTER Einbau der Komponente

SIEMENS
Ingenuity for life



Unrestricted © Siemens AG 2019

Simcenter POWERTESTER Messung

SIEMENS
Ingenuity for life

Unrestricted © Siemens AG 2019

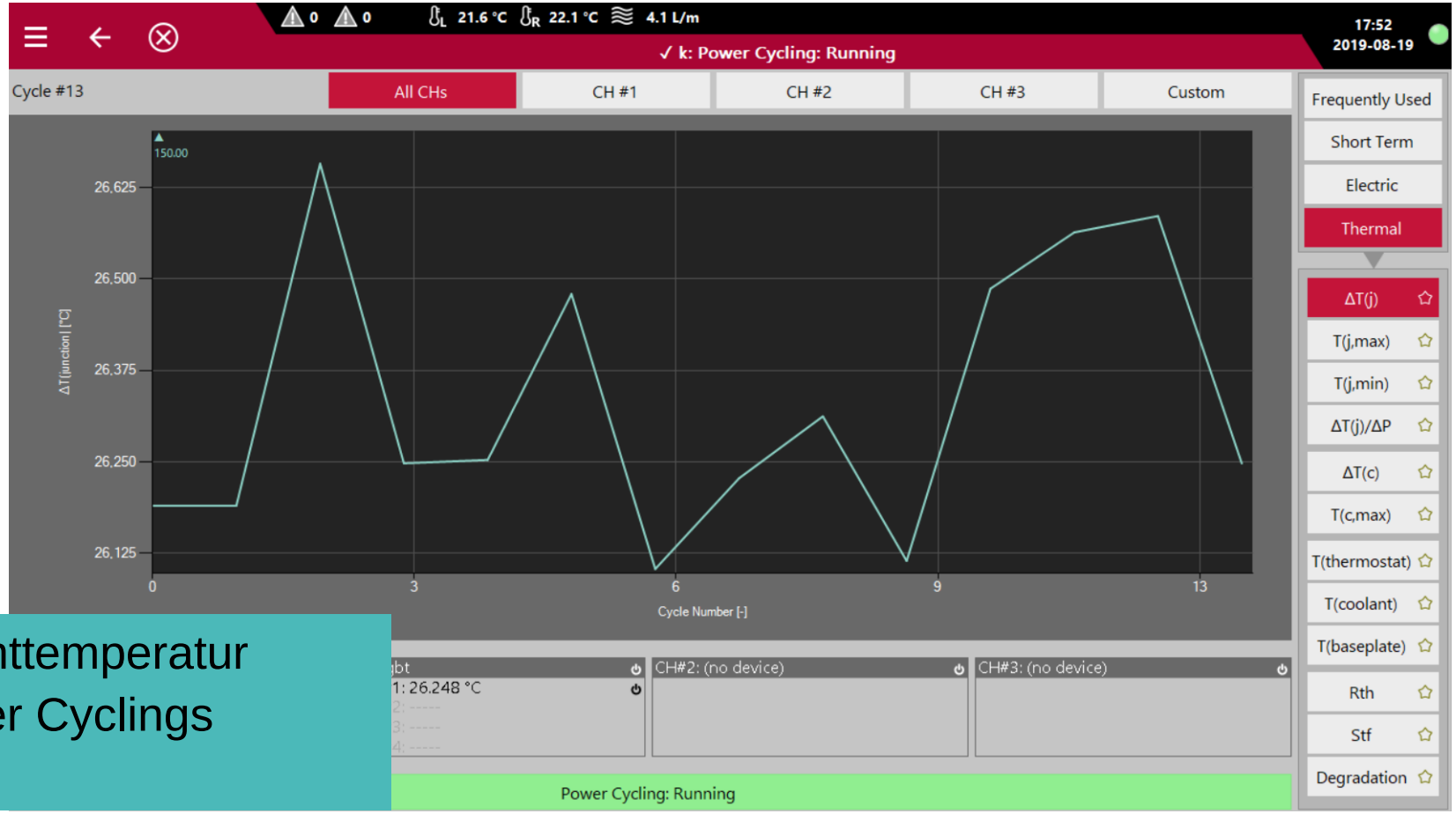
Simcenter POWERTESTER Messung

SIEMENS
Ingenuity for life

Unrestricted © Siemens AG 2019

Simcenter POWERTESTER Messung

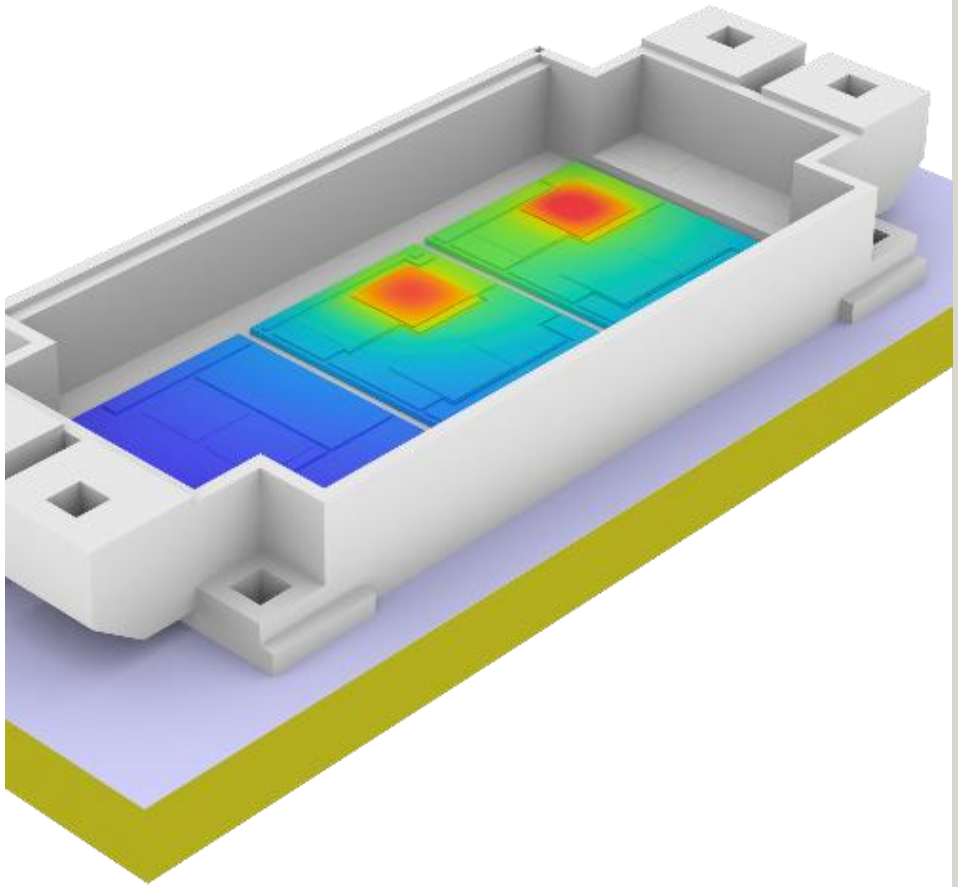
SIEMENS
Ingenuity for life



Werte, z.B. die Sperrschichttemperatur können während des Power Cyclings angezeigt werden.

Unrestricted © Siemens AG 2019

Agenda



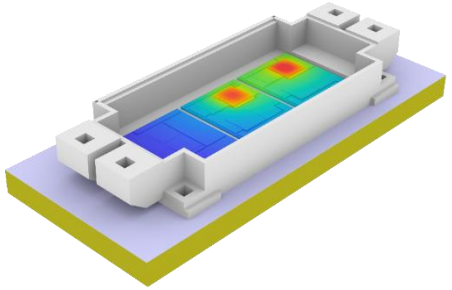
- Thermisch-transiente Messungmethode
- Automatische Kalibrierung für die thermische Simulation
- Lastwechselprüfung und Fehlerdiagnose zur Zuverlässigkeitsbewertung
- Fragen und Antworten

Unrestricted © Siemens AG 2019

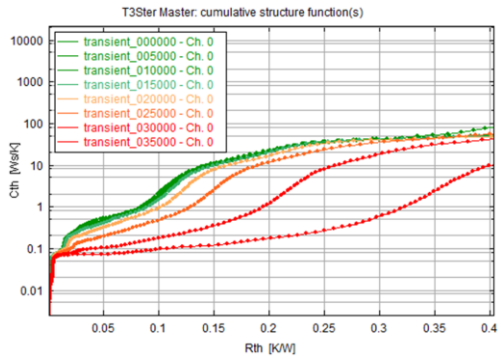
Zusammenfassung

SIEMENS
Ingenuity for life

- Nicht kalibrierte Simulationsmodelle:
  - „Best guess“-Modelle führen zu mehr Feldausfällen und längerer Entwicklung
  - Kosten im Zusammenhang mit Überplanung, wenn die Ungenauigkeit eines Modells erkannt wird



- Die Korrelation eines 3D-Modells mit einer transienten Messung bietet die höchste Genauigkeit für ein besseres Vertrauen in die Leistung des thermischen Designs



- Lebensdauervorhersage und Zuverlässigkeitsstudien der Leistungselektronik unter Verwendung von Lastwechseltests und Fehlerverfolgung über Strukturfunktionen liefern wichtige Einblicke in den Lebenszyklus

Unrestricted © Siemens AG 2019

Kontaktinformationen

SIEMENS
Ingenuity for life

Dr.-Ing. Annika Foydl
Portfolio Development

Siemens Industry Software GmbH
Hanauer Landstr. 114
60314 Frankfurt am Main, Germany
Mobile : +49 172 8260 998
annika.foydl@siemens.com

Dip.-Ing. David Sulyok
Presales Consultant

Siemens Industry Software GmbH
Hanauer Landstr. 114
60314 Frankfurt am Main, Germany
Mobile :+49 172 6699 928
david.sulyok@siemens.com

Unrestricted © Siemens AG 2019