

Optimierung von Halbleitermodulen - LoPak

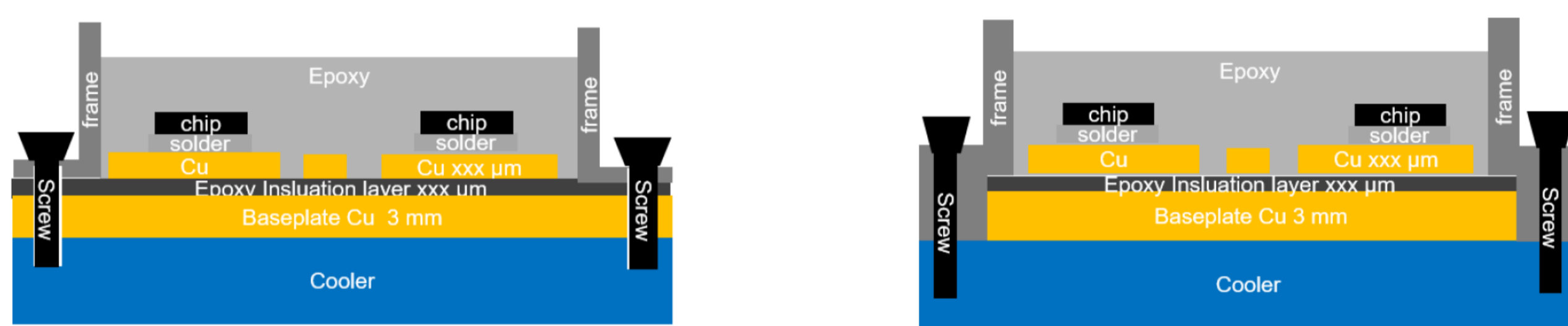
In vielen verschiedenen Gebieten der Leistungselektronik werden Halbleitermodule als Schalter eingesetzt. Die hohen Ströme und Leistungen produzieren Wärme und führen zur Verformung der Module. Um die Lebensdauer dieser Bauteile zu verlängern, muss die entstehende Wärme optimal abgeführt und die, durch die mechanischen Spannungen, entstehende Verformung reduziert werden.

Aufgabenstellung & Zielsetzung

Beim LoPak handelt es sich um ein Halbleitermodul, für welches zwei neue Konzepte entwickelt werden (s. Abb. 1). Einerseits wird zur Erhöhung der Steifigkeit der Module ein Duroplast als Vergussmaterial verwendet und andererseits soll eine neue kleinere Base-Plate mit rechteckiger Geometrie, welche dadurch deutlich einfacher herstellbar ist, eingesetzt werden. Die kleine Base-Plate wird dadurch nicht mehr direkt mit dem Kühler verschraubt, sondern wird indirekt über den Rahmen fixiert.

Concept 1: Large Base plate size

Concept 2: Small Base plate size



(a) Base-Plate direkt angeschraubt

(b) Base-Plate über Rahmen fixiert

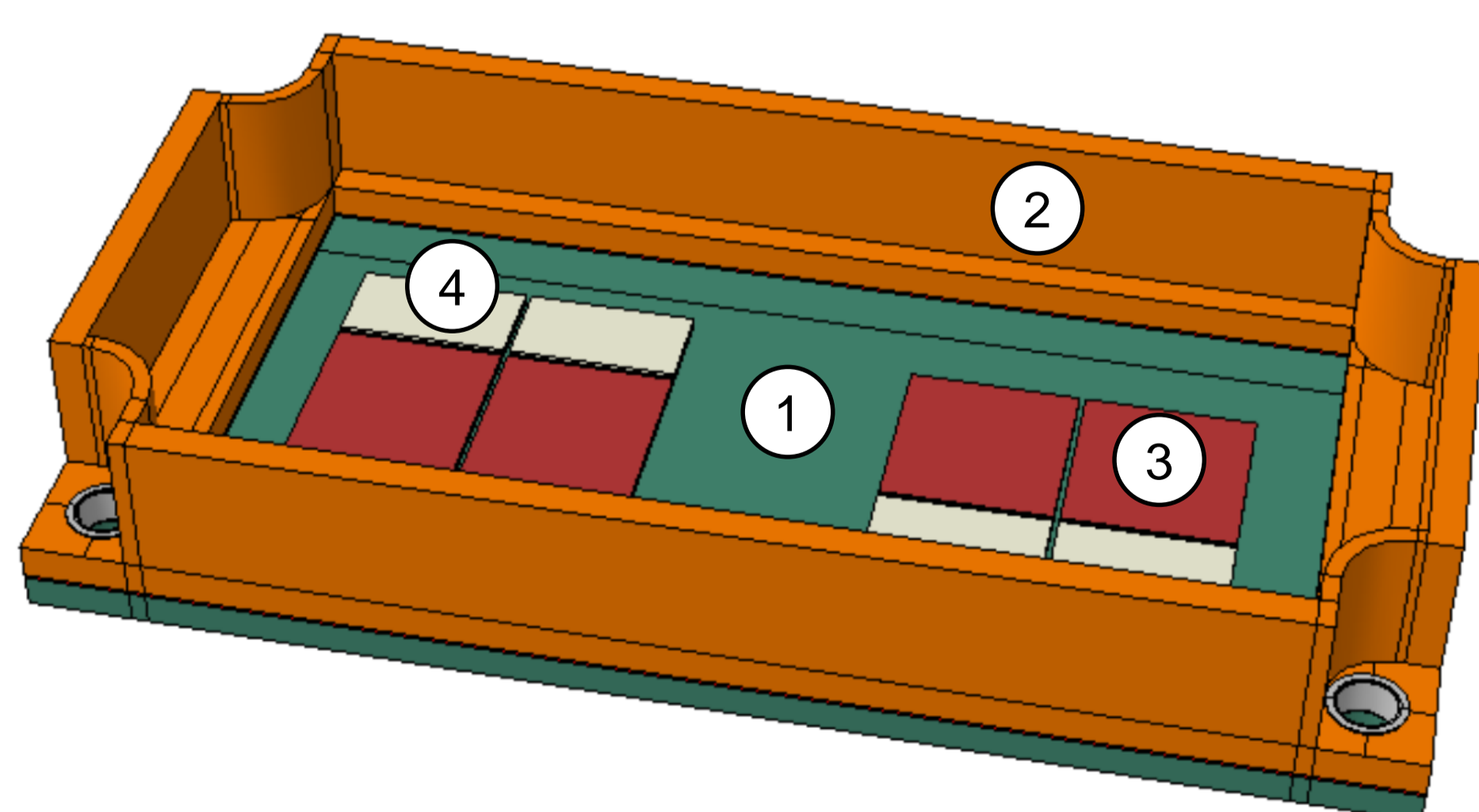
Abb. 1 Konzepte für die Befestigung des LoPak Moduls auf dem Kühler

Um die neuen Konzepte zu entwickeln und deren Verhalten zu analysieren, wurden zwei voll gekoppelte thermisch-mechanische Simulationen erstellt. In einer ersten Simulation wird die Verformung untersucht, welche durch den Abkühlprozess des bei hohen Temperaturen gehärteten Duroplasten entsteht. In einer zweiten Simulation wird der Betriebszustand des Moduls analysiert. Dabei werden Lastwechsel mit ein- und ausgeschalteten IGBT-Chips simuliert und die entstehenden Verformungen und Spannungen untersucht.

Methode

Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung und zum Erreichen der Zielsetzung wurden diverse Simulationen erstellt. Die wichtigsten Einstellungen sind nachfolgend aufgelistet:

- **Simulationsprogramm:** ABAQUS FAE 2020
- **Modul-Geometrie:** idealisiert / vereinfacht (s. Abb. 2)
- **Vernetzung:**
 - Hexaeder
 - thermisch-mechanisch gekoppelt
 - mind. 3 Elemente über Bauteildicke
- **Zeitabhängigkeit:** transient
- **Abkühlung nach Härteprozess:** freie Konvektion
- **Kühlung während Betrieb:** erzwungene Konvektion



Legende

1. Base-Plate
2. Rahmen
3. IGBT-Chip
4. Dioden

Abb. 2 Vereinfachte Bauteilgeometrie aus ABAQUS

Studiengang / Semester: Maschinenbau FS20

Diplomand: Philip Schoass

Auftraggeber: Hitachi ABB Power Grids

Experte: Robert Leuch, SBB CFF FFS

Dozent: Prof. Dr. Norbert Hofmann, norbert.hofmann@fhnw.ch

Resultate & Diskussion

Das Halbleitermodul LoPak weist nach dem Härtingsprozess des Vergussmaterials und der anschliessenden Abkühlung auf Raumtemperatur (25° C) eine Verformung auf. Die Simulationen zeigten, dass diese Verformung hauptsächlich von drei Parametern abhängt.

- thermischer Expansionskoeffizient (CTE) des Duroplasten
- Dicke der Base-Plate
- Base-Plate Geometrie (Konzept 1 & 2)

Der thermische Expansionskoeffizient ist stark temperaturabhängig. Zudem ist er verantwortlich, wie stark sich das Isolationsmaterial bei der Abkühlung zusammenzieht. Die Abbildung 3 zeigt, dass die maximale Verformung (Ecke zu Mittelpunkt des Moduls) mit grösser werdendem CTE deutlich zunimmt.

Der Einfluss der Dicke ist dabei deutlich kleiner. Hier nimmt die Verformung bei dünnerer Base-Plate ab. Der Grund für die Abnahme ist die Steifigkeit des Rahmenmaterials, welche durch die dünnere Base-Plate einen bedeutenderen Einfluss erhält.

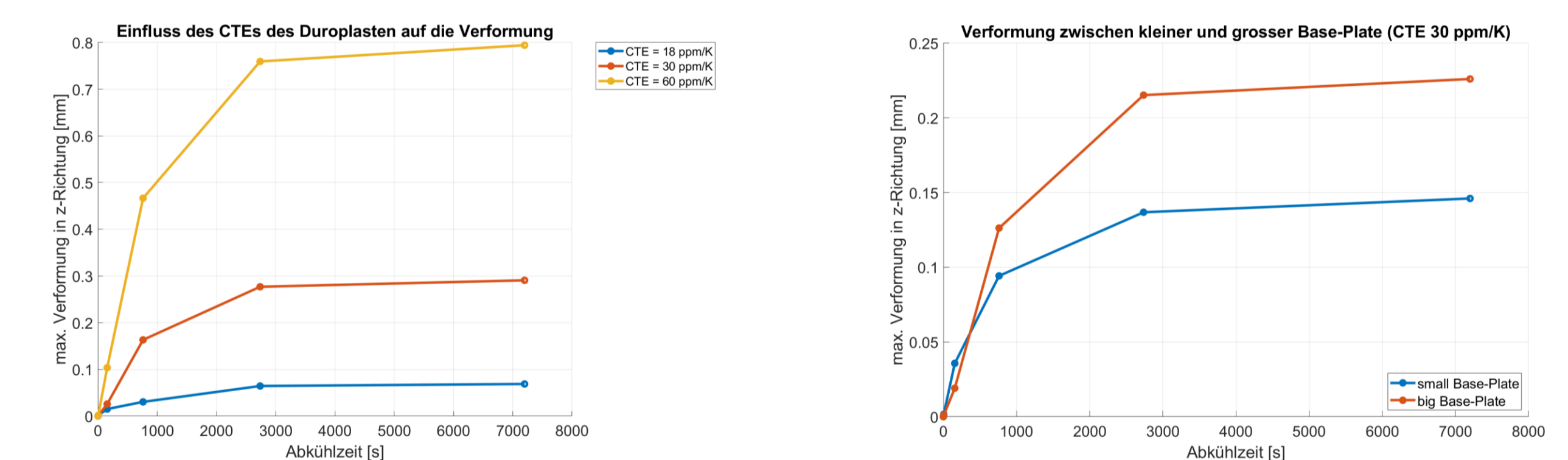


Abb. 3 Einfluss des CTEs (Duroplast) und der Base-Plate-Geometrie auf die Verformung

Den markantesten Unterschied bei der Verformung bildete die Geometrie der Base-Plate. So nahm die Verformung der kleinen Base-Plate aus Abb.1 (b) um ein Drittel gegenüber der grossen Base-Plate aus Abb. 1 (a) ab.

Das verformte Modul wird für den Betrieb auf einen Kühler geschraubt und die IGBT-Chips werden mittels Oberflächenwärmestrom geheizt. Die Simulation zeigte, dass sich das Modul dabei verformt. Dies kann den Alterungsprozess der Wärmeleitpaste deutlich beschleunigen.

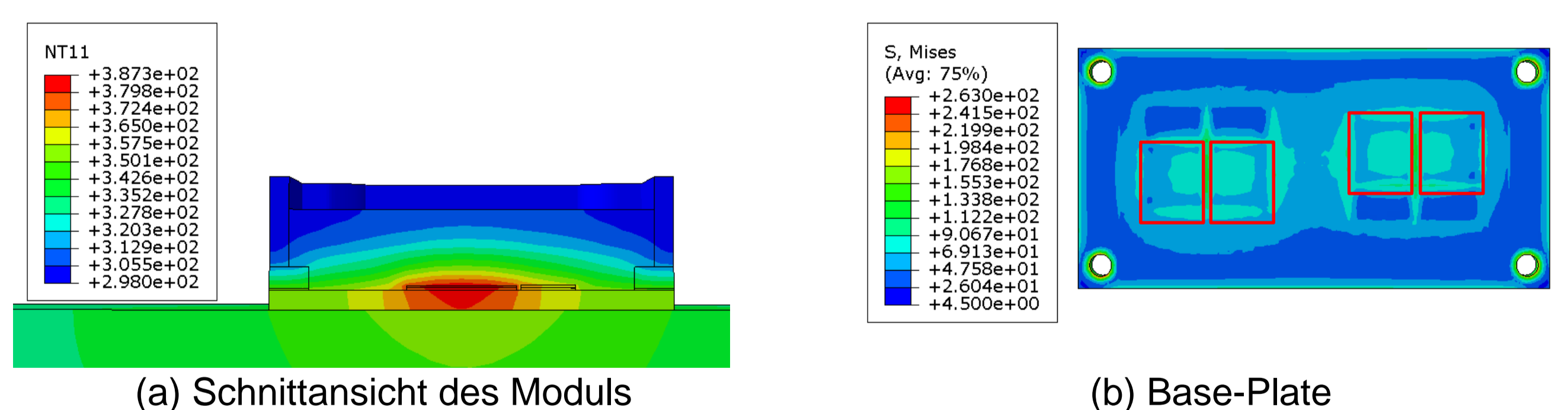


Abb. 4 Temperaturverteilung [K] und der Von-Mises-Spannungen [MPa] während des Aufheizens der IGBT-Chips

In Abbildung 4 (b) sind die durch den Betrieb entstandenen Spannungen dargestellt. Dabei sind die Zonen der IGBT-Chips (rot umrandet) mit 70 MPa stärker belastet als der Rest der Base-Plate.