

Thermisch-mechanische Optimierung von Halbleitermodulen für die nächste Generation der Antriebstechnik

Halbleitermodule sind in der heutigen digitalisierten Welt kaum wegzudenken. Sie werden in Lokomotiven, der Stromübertragung, der Photovoltaik sowie Elektrofahrzeugen eingesetzt. Halbleitermodule generieren viele Verluste in Form von Wärme, welche möglichst effizient abgeführt werden müssen. Dies erfordert sowohl in Zusammenhang mit der Langlebigkeit, als auch mit der Kosteneffizienz eine kontinuierliche Optimierung dieser essenziellen Komponenten. Um verschiedenste Anpassungen speditiv zu untersuchen und deren Vor- und Nachteile abzuwägen, werden heutzutage vermehrt thermo-mechanische Simulationen verwendet.

Aufgabenstellung & Zielsetzung

Die Auftraggeberin sieht zum jetzigen Zeitpunkt verschiedenste Verbesserungsansätze für eines ihrer Hochleistungs-Halbleiter-Module LoPak vor. Da die Entwicklung und Herstellung dieser Prototypen zeit- und kostenaufwendig ist, setzt die Hitachi ABB Power Grids auf eine thermo-mechanische Simulation, mit welcher verschiedenste Materialien und andere Anpassungen schnell vorab getestet werden können. Diese Simulation galt es zu optimieren, sodass die Eigenspannungen, welche in Experimenten beobachtet wurden, wahrheitsgetreu repliziert werden können. Nämlich traten durch die Herstellung unter Verwendung einer neuen Isolierungsfüllung nebst Schäden auch unerwünschte Durchbiegungen auf. Diese Biegung und die Schadensbildung galt es mittels der thermo-mechanischen Simulation zu untersuchen und deren Herkunft zu klären.

Methode

Um die Zielsetzung einer realitätsnahen Fertigungssimulation zu erreichen, wurden verschiedenste Material- und Simulationsparameter untersucht, wie auch simplifizierte zweidimensionale Simulationen gefertigt. Dies hat das Verständnis der auftretenden Erscheinungen immens unterstützt und hat viel zur Lösungsfindung beigetragen.

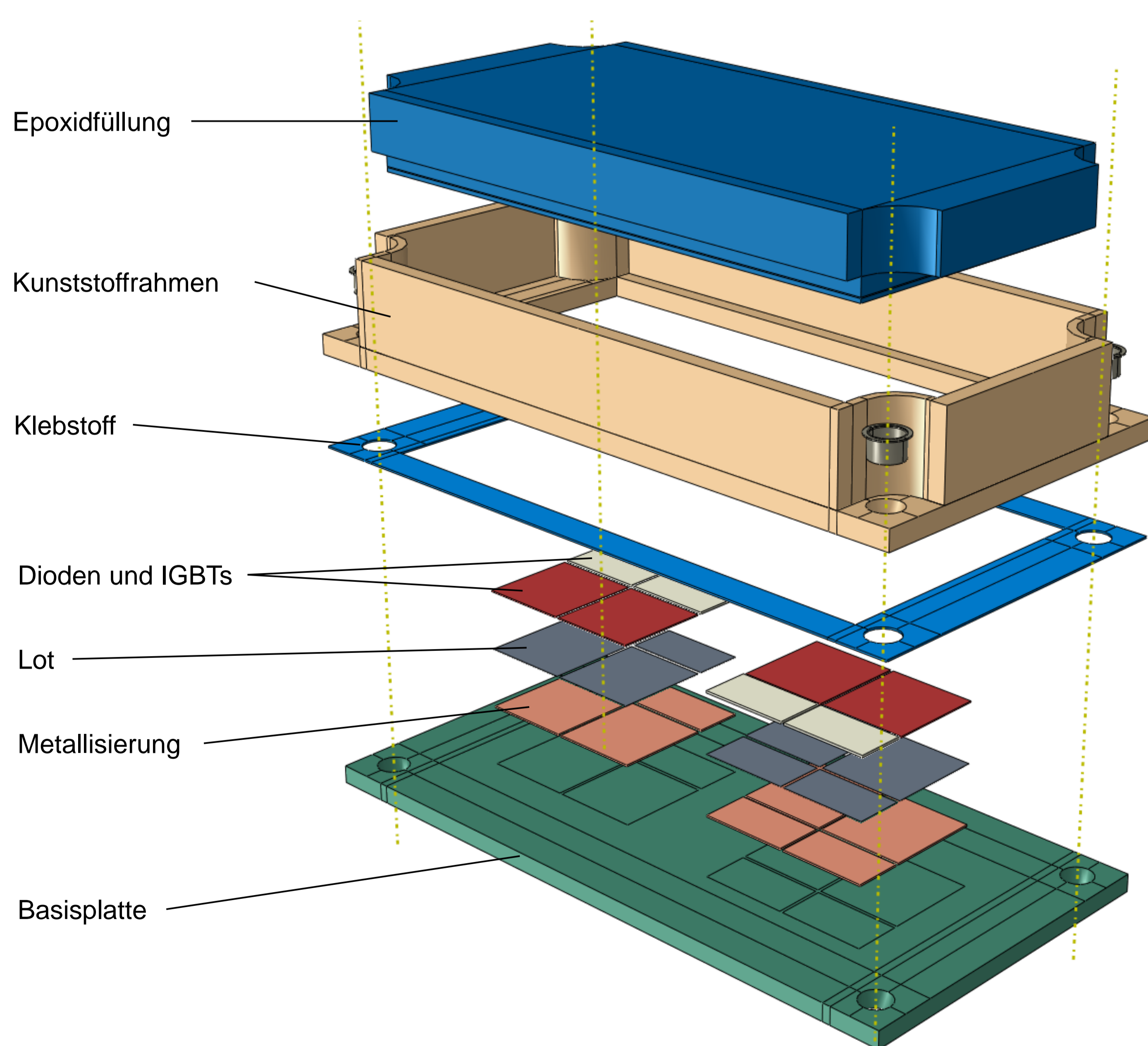


Abb. 1 – Explosionsansicht des Simulationsaufbaus

Das zu optimierende Modell simuliert den Abkühlprozess auf Raumtemperatur, welcher in Realität nach dem Aushärten der Epoxidfüllung im Inneren des Kunststoffrahmens stattfindet. Um realistischere Spannungszustände wie auch Durchbiegungsergebnisse zu erhalten, wurde zudem der Aufheizprozess der Einheit vor dem Befüllen des Epoxids simuliert und mit der Abkühlsimulation kombiniert.

Ein weiterer Fokus wurde auf die rissanfällige/delaminierende Isolationsschicht zwischen der Metallisierung und der Basisplatte gelegt. Hierzu wurde mittels weiteren Simulationen untersucht, wie Delamination modelliert werden kann und woher diese auftretenden Schäden in der Isolationsschicht stammen und wie diese mitigiert werden können.

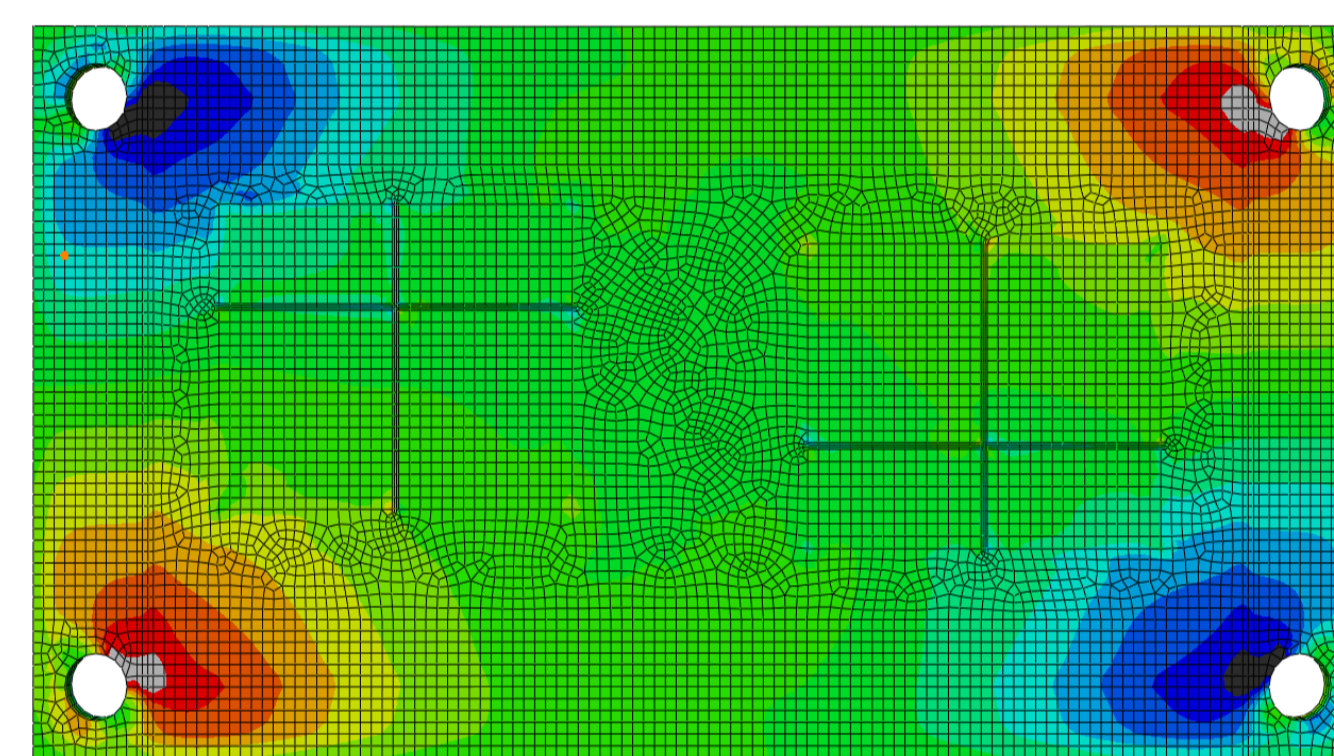


Abb. 2 – Scherspannungen auf Basisplatte während Abkühlen

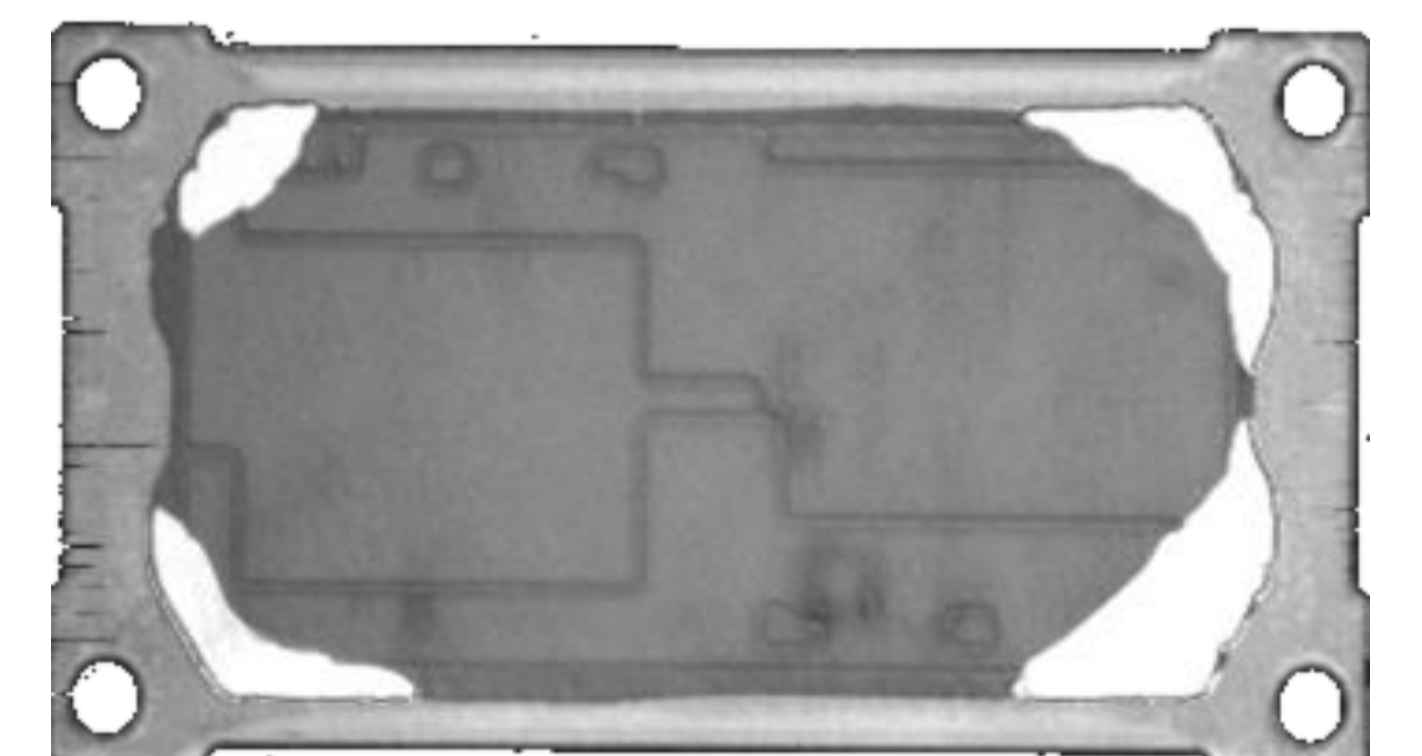


Abb. 3 – Delamination der Isolationsschicht aus Experimentenserie nach Abkühlvorgang und Aushärtung der Epoxidfüllung

Resultate

Gefunden wurde, dass die Biegung des Moduls sowie die Schadensbildung in der Isolationsschicht, grösstenteils von den unterschiedlichen thermischen Expansionskoeffizienten der Füllung, verglichen zu den umliegenden Materialien, stammen muss. Das in der Messreihe verwendete Epoxid durchschreitet dessen Glastemperatur im Abkühlprozess. Dies führt zu starken Materialparameteränderungen über die Abkühlperiode, worunter auch die thermische Expansion fällt. Durch die unterschiedliche Kontraktion über gewisse Temperaturbereiche entstehen hohe Scherkräfte, die für die Schadensbilder aus der Experimentenserie hauptverantwortlich sind.

Weiter wurde gefunden, dass die Füllhöhe der Epoxidfüllung eine negative Korrelation mit der Durchbiegungsstärke aufweist – je höher die Füllung, desto weniger Durchbiegung. Diese hergeleitete Beziehung kann künftig verwendet werden, um mit dem jetzigen Befestigungskonzept zur Kühleinheit die Gravität der Durchbiegung bewusst zu justieren um somit den Kontakt zu homogenisieren.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen kann eine fundierte Empfehlung bezüglich den Materialeigenschaften der zu verwendenden Epoxidfüllung und deren Füllhöhe abgegeben werden. Die Glastemperatur des Epoxids sollte idealerweise oberhalb der Aushärtungstemperatur liegen. Gekoppelt mit einem leicht höheren thermischen Expansionskoeffizienten, verglichen zu den umliegenden Materialien, führt dies mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer geringeren Durchbiegung mit einem kleineren Risiko der Schadensbildung in der Isolationsschicht.

Studiengang / Semester: Maschinenbau FS21

Diplomandin: Raphael Gloor

Auftraggeber: Hitachi ABB Power Grids

Experte: Robert Leuch, SBB CFF FFS

Dozent: Prof. Dr. Norbert Hofmann