

Projekt-Abschlussbericht

Projekt FBH 9264

Wachstumskern Berlin WideBaSe

Verbundprojekt 8: Entwicklung und Evaluierung von Gehäusen und optischen Systemen für UV-LED

Teilprojekt 8.C: Thermomechanische Optimierung von Chip- und Modulmontage

Projekttitel:

Thermomechanische Optimierung von Chip- und Modulmontage

Zuwendungsgeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung	
Förderkennzeichen:	03 WKBT 08C	
Projektlaufzeit:	01.07.2010 bis 31.06.2013	

Freigabe:

Projektleitung:	Dr. M. Weyers
Institutsleiter:	Prof. Dr. G. Tränkle

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

I.1. Aufgabenstellung

Aufgabenstellung war die thermomechanische Modellierung von UV-LED-Modulen, deren Design von den Projektpartnern stammt.

I.2. Voraussetzungen zur Vorhabensdurchführung

Erfahrung und Software für die thermische Simulation waren vor Projektbeginn vorhanden. Für die thermomechanische Simulation wurde ein kombiniertes Softwarepaket angeschafft und nach entsprechender Einarbeitung für die Bearbeitung dieses Vorhabens eingesetzt.

I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Da als Eingangsdaten für die Simulation die Modulkonstruktion (Geometrie und Materialien) der Projektpartner benötigt wurde, wurde das Vorhaben auch gemeinsam mit den Partnern geplant. Nach der Einarbeitung in das Softwarepaket wurde die Gültigkeit von vereinfachenden Annahmen zur Geometrie der LED-Chips in Hinblick auf die thermische Simulation geprüft und anschließend wurde eine komplette thermomechanische Simulation des Modulaufbaus durchgeführt. Die Ergebnisse dienten dann den Partnern zur Verifikation des Moduldesigns sowie Identifikation von Optimierungsbedarf und -potential.

I.4. Wissenschaftlich-technische Ausgangsstand

Module mit vielen Chips und einer hohen abzuführenden Wärmeleistung mit für UV geeigneten Optiken waren zu Projektbeginn nicht verfügbar. Da mit der gesamten Konstruktion eines solchen Moduls Neuland betreten wurde, war die thermomechanische Simulation unabdingbare Voraussetzung für den Aufbau der Demonstratoren durch die Partner.

I.5. Zusammenarbeit

Wie bereits bei der Projektplanung vorgesehen, erfolgte die Bearbeitung in enger Abstimmung mit den Projektpartnern. Sonstige externe Partner wurden durch das FBH nicht in die Arbeiten mit einbezogen.

II.1. Verwendung der Zuwendung und des Ergebnisses

Aus der Zuwendung wurde die für die Simulationsrechnungen zuständige Mitarbeiterin anteilig bezahlt. Die angestrebten Ziele wurden erreicht. Das Moduldesign der Partner wurde simuliert und Möglichkeiten der Optimierung wurden identifiziert. Die Ergebnisse der thermomechanischen Modellierung wurden auf der einen Seite von den Partnern für die Verifikation des Moduldesigns sowie dessen Optimierung eingesetzt. Dies ist im ausführlichen Fachbericht (Anlage I) dargelegt. Auf der anderen werden die Erfahrungen in der thermomechanischen Modellierung in weiteren Projekten des FBH genutzt.

II.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Es wurden hauptsächlich Personalkosten aus der Zuwendung bestritten. Investitionen wurden nicht getätigt.

II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten waren notwendig als Input für die Modulkonstruktion der Partner. Sie waren angemessen und im Rahmen des geplanten, relativ niedrigen Projektbudgets.

II.4. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Ergebnis wurde auf der einen Seite von den Partnern für die Verifikation des Moduldesigns sowie dessen Optimierung eingesetzt, auf der anderen werden die Erfahrungen in weiteren Projekten des FBH genutzt. Dies betrifft insbesondere die thermomechanische Optimierung von Modulen mit Leistungslasern oder Leistungstransistoren, wo Wärmeabfuhr ebenfalls wichtig ist.

II.5. Fortschritt bei anderen Stellen

Die Fortschritte bei den Leistungs-LED-Modulen im UV werden in den Berichten der Partner dargestellt. Auf dem Gebiet der thermomechanischen Optimierung werden Detailverbesserungen in der Regel nicht publiziert und insofern kann auch nicht beurteilt werden, ob es in dieser Hinsicht wesentliche Fortschritte gegeben hat.

II.6. Veröffentlichung der Ergebnisse

Die Arbeitsergebnisse wurden auf der WideBaSe-Anwendertagung im September 2013 im Rahmen der Präsentation von Dr. Rotsch (OSA) vorgestellt. Die Ergebnisse liegen den Partnern OSA und OSRAM für entsprechende interne und externe Präsentationen vor. Veröffentlichung in Fachzeitschriften nur der erzielten Simulationsergebnisse ist nicht möglich. Gemeinsame Veröffentlichungen mit den Partnern obliegen ggf. den Partnern, die das Moduldesign verantworten.

Anlage 1: Fachlicher Bericht "Thermomechanische Optimierung von Chip- und Modulmontage"

Rimma Zhytnytska

AP 8.1.6 Thermomechanische Analyse

Ein von OSA zur Verfügung gestelltes CAD-Modell eines Moduls mit vier Chips wurde thermisch simuliert. Dabei wurden die Chips und ihre Verbindung zum Board angenähert durch eine Wärmequelle und einen Wärmewiderstand. Da sich bei der Generierung des Gitters für die Berechnungen bereits zeigte, dass die Berechnung der realen Geometrie mit mehreren Chips trotz dieser Vereinfachung zu sehr langen Rechenzeiten führt, wurde eine weitere Vereinfachung untersucht. Das thermische Verhalten eines Arrays von vier Chips von 1 mm x 1 mm und 0,1 mm Abstand wurde verglichen mit dem Verhalten nur eines Chips von 2,1 mm x 2,1 mm. Abb. 1 zeigt beide Anordnungen auf einem Board mit den Befestigungslöchern für die Optikkomponenten montiert auf einen Kühlkörper.

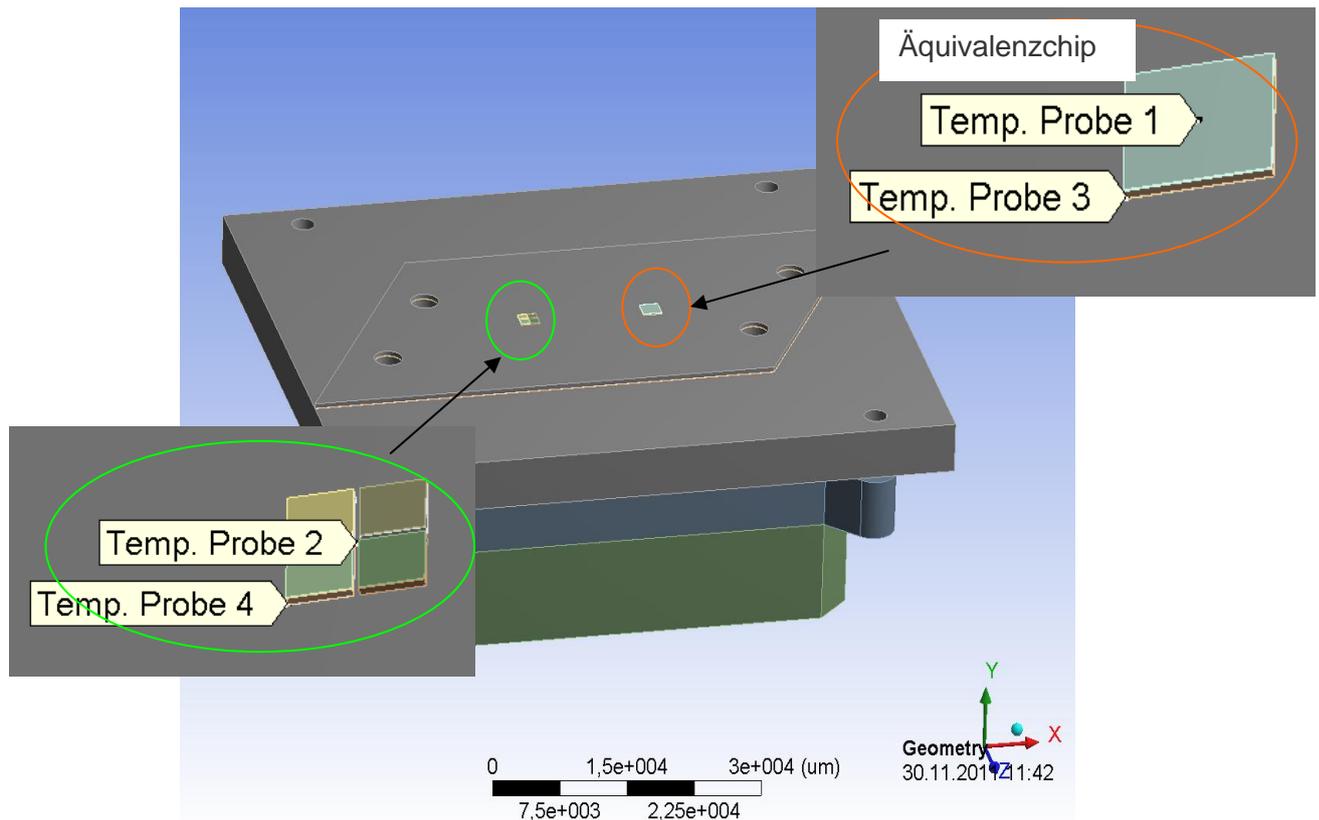


Abb. 1: Modulaufbau Chip auf Keramikboard auf Kühlkörper.
links: Array aus 4 Chips (je 1 mm x 1 mm, 0,1, mm Abstand);
rechts: Äquivalenzchip gleicher Grundfläche (2,1 mm x 2,1 mm).

Es wurde eine Montage der Komponenten mit Wärmeleitpaste mit einer thermischen Leitfähigkeit von $10,2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und einer Dicke von $20 \mu\text{m}$ angenommen. Für das 4-Chip Array wurde ein Strom von 500 mA bei einer Spannung von $3,7 \text{ V}$ angenommen. Damit werden in den Chips $92,5 \text{ W}/\text{mm}^3$ als Abwärme erzeugt. Die sich für beide Varianten bei gleicher Leistung ergebenden Temperaturprofile sind in Abb. 2 dargestellt. Die Unterschiede sind nur gering und auf die Umgebung der Chips beschränkt.

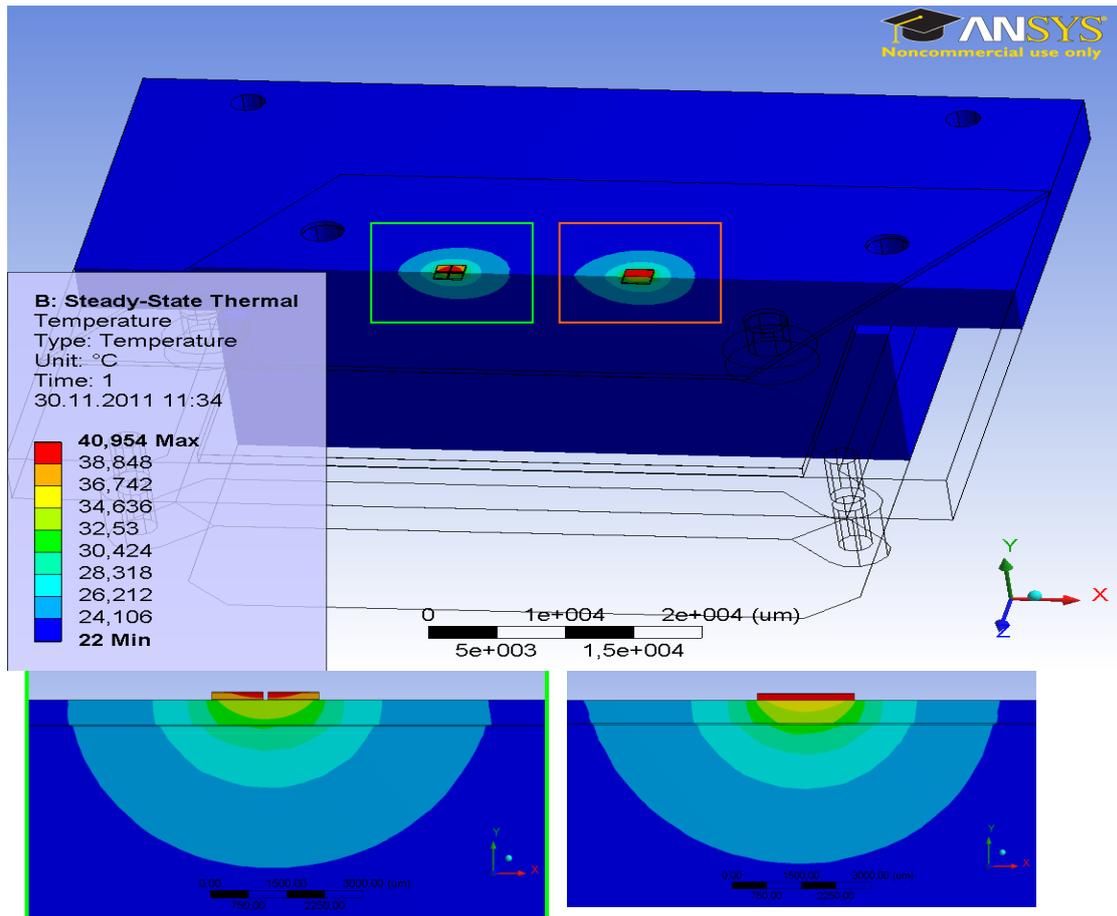


Abb. 2: Berechnete Temperaturverteilung über das Gesamtmodul (oben) sowie Ausschnitt aus der Umgebung des 4-Chip-Arrays (links) und des Äquivalenzchips (rechts). (Farbskala gleich für alle Bilder)

Die sich ergebende Temperatur (bei Raumtemperaturumgebung) an den Stellen 1 und 3 (Mitte zwischen den Chips bzw. Mitte des Äquivalenzchips) und 2 und 4 (Chipecke) für diesen Fall sind in Tabelle 1 links aufgetragen.

Tabelle 1: Temperaturen an den Stellen 1; 3 und 2, 4 sowie relative Abweichung

Position	T [°C] bei gleicher Leistungsdichte	ΔT (%)	T [°C] bei angepasster Leistungsdichte	ΔT (%)
1	36,5	7	35,1	3,2
2	34,1	-	34,1	-
3	30,6	3	29,8	0,3
4	29,7	-	29,7	-

Die Abweichung zwischen beiden Varianten ist mit 3% an der Ecke bereits relativ gering. In der Mitte ergibt sich eine Abweichung von 7%. Abb. 3 zeigt den sich ergebenden Wärmefluss für diesen Fall. Die Abweichung in der Mitte wird primär durch den Spalt zwischen den Chips im Array bedingt, der dort zu einer besseren Wärmeabfuhr als beim Äquivalenzchip führt. Dies sollte für die sich ergebenden mechanischen Spannungen außerhalb der Chips nicht sonderlich relevant sein.

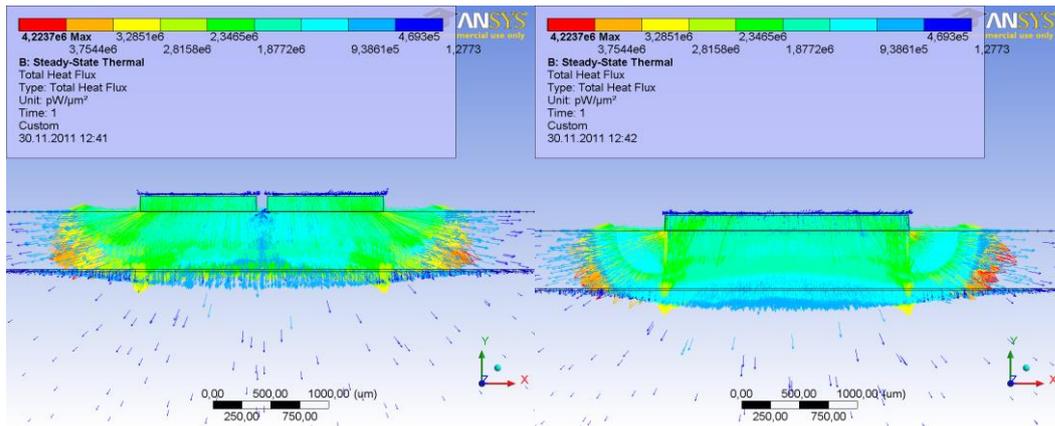


Abb. 3: Wärmefluss bei gleicher Leistungsdichte von $92,5 \text{ W/cm}^2$ für 4-Chip-Array (links) und Äquivalenzchip (rechts).

Die Abweichung an den Chipecken 3, 4 und außerhalb der Chips lässt sich verringern, indem die Leistungsdichte beim Äquivalenzchip reduziert wird auf $83,9 \text{ W/cm}^2$. Der Restfehler ist ausreichend gering, so dass in den sich anschließenden thermomechanischen Berechnungen mit einem Äquivalenzchip gearbeitet werden kann.

Unter Nutzung der Vereinfachung durch ein Äquivalenzchip wurde ein komplettes Multi-Chip-Modul auf Leiterplatte, mit Kühlkörper und aufgesetzter Optik in verschiedenen Montagevarianten thermomechanisch simuliert. Diese nach den Berechnungen zulässige Vereinfachung des Aufbaus ist nötig, um Konvergenzproblem bei zu stark unterschiedlichen Geometrien (Spalt zwischen den Einzelchips $0,1 \text{ mm}$, Leiterplatte ca. 10 cm) zu vermeiden.

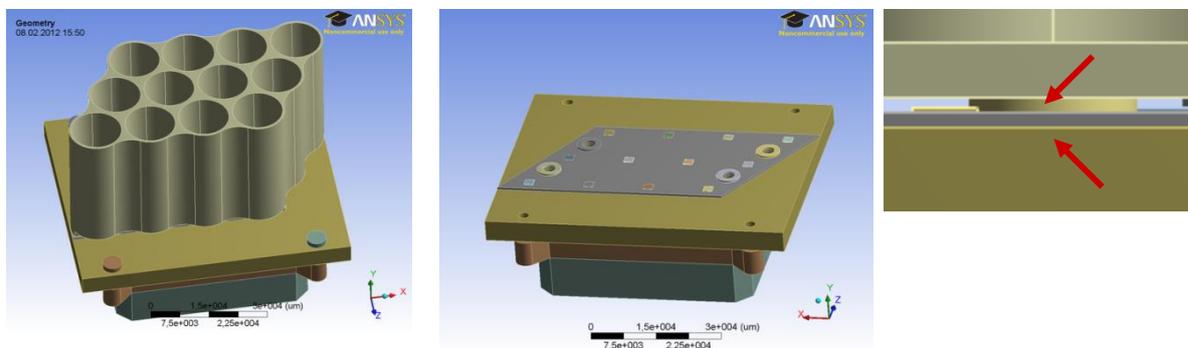
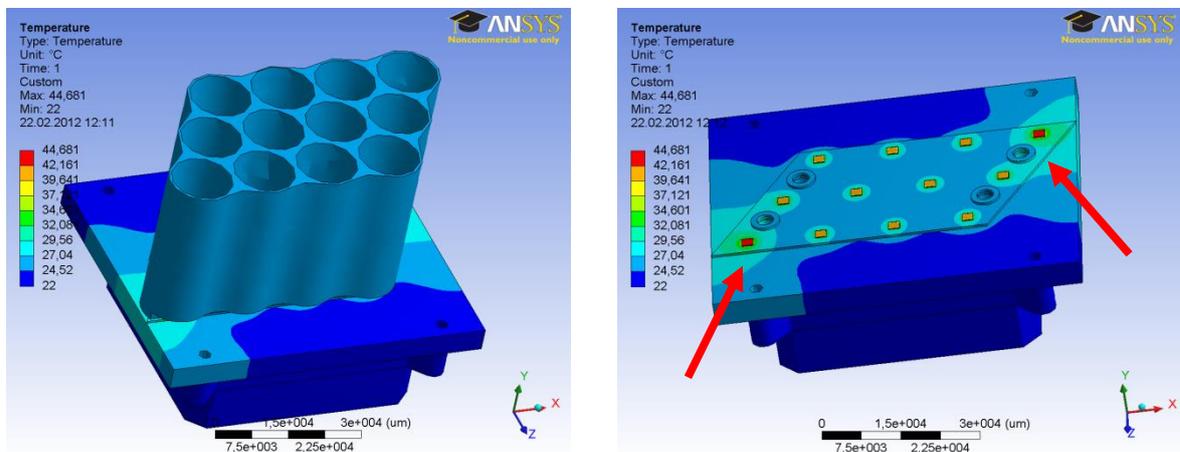


Abb. 4: Modul komplett mit (links) und ohne (mitte) Strahlformungsoptik. Die Optik ist mit einer Kunststoff-Unterlegscheibe fest mit der Leiterplatte verbunden

Abb. 4 zeigt das komplette Modul einschließlich Optik (links) und in der Mitte die Leiterplatte mit den Chips auf Adapterplatte und Kühlkörper. Die Optik ist mit der Leiterplatte

fest verschraubt. Die Chips sind auf die Leiterplatte geklebt und der Adapter ist mit dem Kühler mit SnBi-Lot verbunden. In Modell 1 ist die Leiterplatte mit dem Adapter mit einem Luftspalt mit einer angenommenen Wärmeleitfähigkeit von $0,5 \text{ W/mm}^2\text{K}$ reibungslos verbunden, so dass keine Spannungen übertragen werden. In Modell 2 ist diese Verbindung kraftschlüssig mit SnBi-Lot ausgeführt.

Abb. 5 zeigt die sich ergebender Temperaturverteilung für Modell 1. Die Wärmeabfuhr durch die Optik ist mit berücksichtigt, die Optik erwärmt sich aber nur um ca. 2 K. In Abb. 5b ist die Optik ausgeblendet, um die Temperaturverteilung auf der Leiterplatte darstellen zu können. Die beiden Randchips sind ca. 3 K heißer als die anderen Chips auf der Leiterplatte. Dies liegt daran, dass diese beiden Chips schon außerhalb der Abmessungen des Kühlkörpers liegen und die laterale Wärmespreizung des Adapters anscheinend nicht ausreichend ist. Hier besteht also Optimierungspotential.



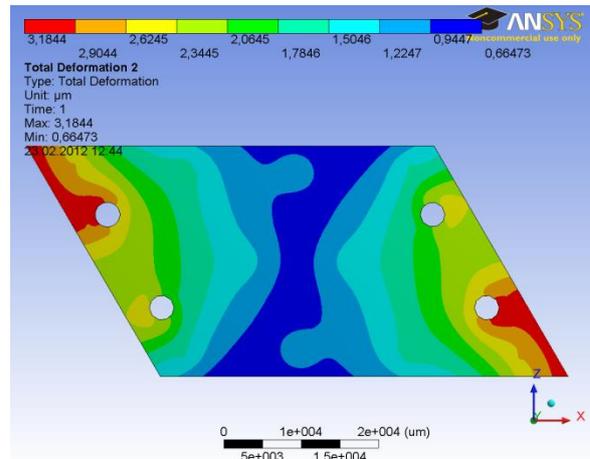
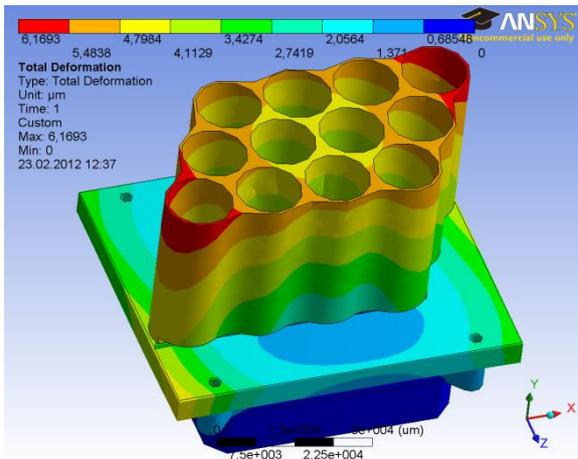
a)

b)

Abb. 5: Temperaturverteilung auf dem Modul mit reibungsloser Verbindung von Leiterplatte und Adapter (Modell 1) a) komplett, b) Optik ausgeblendet, aber in den Rechnungen berücksichtigt. Die Pfeile markieren die beiden heißeren Randchips.

Mit der sich ergebenden Temperaturverteilung kann die Verformung berechnet werden. Abb. 6 zeigt die sich ergebender Gesamtverformung für das Modul mit Optik. Die größte Verformung findet an den Oberkanten der Optik statt, wo sie aber auch nur $6,2 \mu\text{m}$ beträgt (Abb. 6a). In der Leiterplatte (Abb. 6b) findet sich die maximale Verformung an den Ecken, ist aber mit $3,2 \mu\text{m}$ ebenfalls nur gering. In der Mitte ist die Leiterplatte $1,5 \mu\text{m}$ durchgebogen, was ebenfalls unkritisch ist. Die Adapterplatte ist ebenfalls mit ca. $5 \mu\text{m}$ in den Ecken unkritisch verformt.

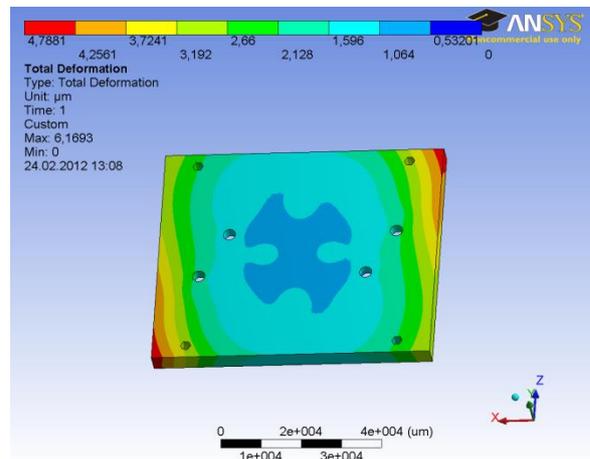
Die mit dieser Verformung verbundene Verspannung ist mit 10 MPa Zugspannung im Chip und 20 MPa Druckspannung im Kleber zwischen Chip und Leiterplatte maximal, aber unkritisch. Insgesamt ist bereits dieses Modell 1 damit so dimensioniert, dass Brüche oder Risse unter den angestrebten Betriebsbedingungen nicht zu befürchten sind.



a)

b)

Abb. 6: Thermisch induzierte Verformung
a) des gesamten Moduls (Max. 6,2 μm)
b) der Leiterplatte (Max. 3,2 μm)
c) des Adapters (Max. 4,8 μm).
Die Farbskalierung ist jeweils unterschiedlich.



c)

Wird die Verbindung zwischen Adapter mit SnBi-Lot ausgeführt, so ändern sich Temperaturverteilung und Verformung nicht. Lediglich die Zugspannung in den Chips steigt unwesentlich um ca. 10% an, während die Druckspannung im Kleber minimal abnimmt.

Die entsprechenden Daten sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse für die beiden Modelle

	T_{max} (Randchip) [°C]	T_{max} (Mittenchip) [°C]	Max. Durchbiegung Leiterplatte [μm]	Max. Spannung (Zug) in Chips [MPa]	Max. Spannung (Druck) in Kleber [MPa]
Modell 1	44,6	40,9	1,4	9,4	-18,6
Modell 2	44,3	40,6	1,4	11	-18,4

Die nur geringe Durchbiegung senkrecht zur Leiterplatte deutet bereits an, dass auch bei einer festen Schraubverbindung zwischen Kühler und Optik durch die Leiterplatte hindurch kein Bruch der Leiterplatte zu erwarten ist. Dies wurde durch Berechnung der Ver-

schiebung in der Ebene am Ort der Schrauben (siehe Abb. 7) bestätigt. Die Verschiebung beträgt unter $3\ \mu\text{m}$ und ist damit deutlich kleiner als das Spiel der Bohrungen.

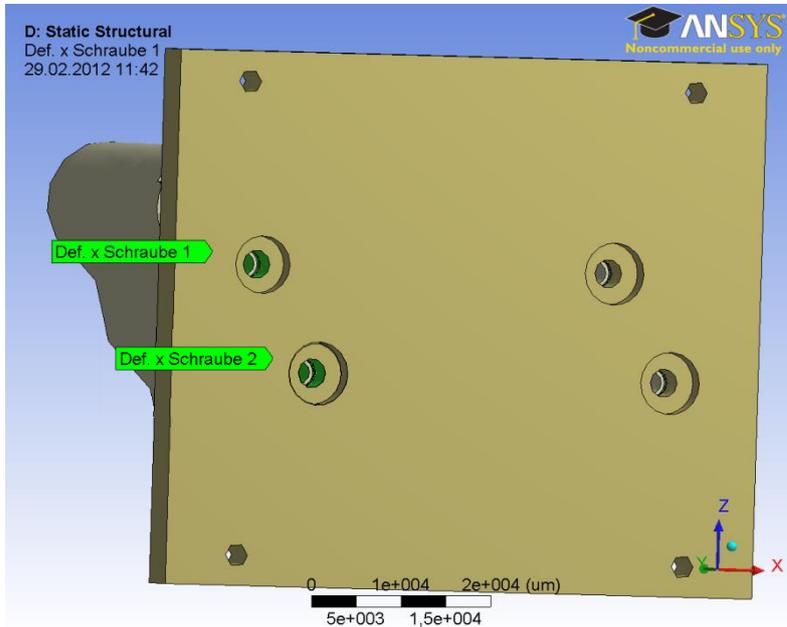


Abb. 7:

Skizze der Verschraubung zwischen Adapterplatte und Optik. Die Verschraubung geht mit einer Unterlegscheibe durch die Leiterplatte hindurch.

Insgesamt konnte damit das vom Partner OSA gemachte Design in thermo-mechanischer Hinsicht verifiziert werden. Die sich ergebenden Verschiebungen und Verspannungen sind sämtlich unkritisch. In thermischer Hinsicht konnte mögliches Verbesserungspotential in Hinblick auf die thermische Ankopplung der beiden Chips in den Ecken der Leiterplatte aufgezeigt werden.