

(Bild: Oksana Shufrych – Shutterstock)

Praktische Tipps fürs Kühlmanagement:

# Aktivkühlkörper korrekt entwerfen

**SEPA Europe musste in einem Kundenprojekt die Aufgabe lösen, die Verlustleistung eines FPGAs abzuführen. Bei festgelegtem Boarddesign sollte ein Kühlsystem entworfen werden, das wenigstens 15 W Verlustleistung zuverlässig ableiten kann.**

Von Stephan Bachmann

**D**er Kühlmanagement-Experte SEPA Europe wurde mit dem Projekt eines Kunden konfrontiert, bei dem auf einer bildverarbeitenden PCI-Express-Karte ein FPGA wirksam gekühlt werden musste. Es handelte sich dabei um die Weiterentwicklung eines laufenden Projekts, bei dem das FPGA und das gesamte Boarddesign unverändert blieb, jedoch die Taktfrequenz gesteigert werden musste. Als Folge dessen stieg die Verlustleistung des Bausteins von circa 7 W auf 15 W.

Zu Beginn der Arbeit musste der Kunde erst einmal all jene technischen Zeichnungen und Rahmenbedingungen zur Verfügung stellen, die für eine Anpassung des – bereits vom Vorgängermodell – bestehenden Wärmemanagements genutzt werden konnten. Als nächstes wurden Tests mit dem beste-

henden Kühlkonzept durchgeführt. Es war schnell klar, dass der bestehende Ansatz nicht zu einer zufriedenstellenden Lösung führen würde. Der Kühlkörper hätte, wollte man an dem bisherigen Konzept festhalten, deutlich vergrößert werden müssen. Dem aber widersprachen die Rahmenbedingungen hinsichtlich der Einhaltung des PCI-Express-Standards in Bezug auf Abmessungen und Mindestabstände. Eine passive Lösung wie bisher war hinfällig; vielmehr war ein Anblasen des Kühlkörpers unabdingbar.

Erste Tests mit provisorischen Laboraufbauten zeigten eine deutliche Reduzierung der Chiptemperatur schon bei moderaten Strömungsgeschwindigkeiten unter 3 m/s. Zum Einsatz kam dabei ein Axiallüfter in der Größe 40 × 40 × 10 mm<sup>3</sup>, der mit Blasrichtung Kühlkörper auf diesem befestigt worden war.

## Lösungsansatz mit mehreren Optionen

Da wegen der bereits erwähnten Beschränkungen der Abmaße ein aufgesetzter Axiallüfter nicht in Frage kam (**Bild 1**), mussten andere Möglichkeiten getestet werden. Letztlich blieben nur zwei Ansätze offen:

- Die seitliche Anordnung eines Radiallüfters in superflacher Bauweise
- Das Versenken eines rahmenlosen Lüfters im Kühlkörper

Im vorliegenden Fall war für die seitliche Positionierung des Radiallüfters kein Platz. Die Lösung bestand vielmehr darin, den rahmenlosen Lüfter im Kühlkörper zu versenken. Hierzu erschien es sinnvoll, nicht komplett neu zu konstruieren, sondern bestehende Artikel zu verwenden und diese entsprechend zu adaptieren.

Ausgangspunkt war der bestehende Lüfter der SEPA-HFB44-Serie (**Bild 2**); der Kühlkörper aus Aluminium indes musste neu konstruiert und ausgetauscht werden. Ein Kühligel-Stiftkühlkörper bot sich hervorragend für dieses Fallbeispiel an, da er in nahezu jeder Form herstellbar ist. Durch das verwendete Reinaluminium besitzt

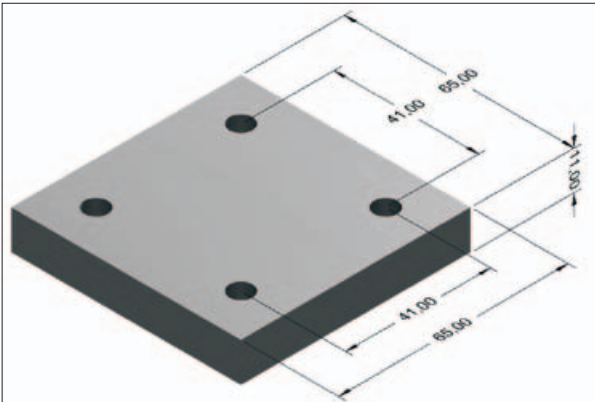


Bild 1. Der für die Applikation verwendete Kühlkörper musste wegen des gegebenen Boardlayouts exakt festgelegte Maße einhalten.

(Bilder: SEPA Europe)

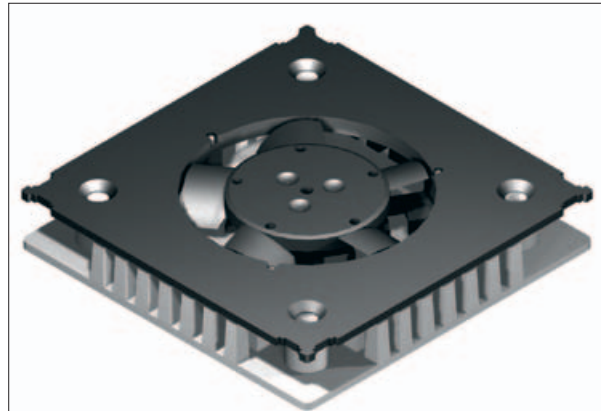


Bild 2. Der für die Applikation geeignete Lüfter stammt aus dem Portfolio von SEPA Europe – genau aus der HFB44-Serie. Er wurde in einen projektspezifisch angepassten Stiftkühlkörper eingefügt.

dieser eine hohe Wärmeleitfähigkeit und erreicht bei entsprechender Anströmung hervorragende Wärmewiderstandswerte.

Bei vorgegebenen Bohrungen für die Befestigung auf der Leiterplatte ergab sich unter Berücksichtigung aller Restriktionen das in Bild 3 dargestellte Kühlkörperdesign; links mit und rechts ohne Lüfter.

### Wärmewiderstands-Berechnungen

Im Vorfeld sollte ermittelt werden, welchen Wärmewiderstand der Aktivkühlkörper haben sollte, damit das Gesamtsystem, trotz Wärmewiderstand des Interface-Materials und einer Sicherheit von 10 K, noch zuverlässig unter der maximal erlaubten Chipgehäusetemperatur blieb. Die maximale Chipgehäusetemperatur war mit 85 °C vorgegeben und daraus folgte bei

maximaler Umgebungstemperatur von 40 °C ein  $\Delta T = 45$  K für das Gesamtsystem. Abzüglich 10 K Sicherheit und abzüglich 0,4 K/W für das Interface-Material errechnete sich ein  $R_{th}$  für den Aktivkühlkörper von 1,93 K/W (Gleichung).

### Thermosimulation liefert erste Erkenntnisse

Im Vorfeld der Musterfertigung und der experimentellen Überprüfung sollte eine CFD-Analyse (Computational Fluid Dynamics) des Aktivkühlkörpers Aufschluss über die Erfolgsaussichten der Kühllösung geben. Das 3D-Modell des gesamten Aktivkühlkörpers wurde unter Rahmenbedingungen simuliert, die später auch im Labor leicht nachzustellen sind. Bei einer Umgebungstemperatur von 26 °C ergab die Analyse eine maximale Chip-

gehäusetemperatur von 60 °C und somit einen thermischen Gesamtwiderstand von 2,27 K/W. Abzüglich der 0,4 K/W für das Interfacematerial lag der theoretische Wert für den Gesamtkühlkörper bei 1,87 K/W und somit unterhalb des errechneten Wertes. Damit war eine Übererfüllung der

### Gleichung

$$R_{th,aktivkühlk.} = \frac{\vartheta_c - \vartheta_U - \vartheta_s}{P_v} - R_{th,interface}$$

mit  $\vartheta_c = \vartheta_{Chipgehäuse}$   
 $\vartheta_U = \vartheta_{Umgebung}$   
 $\vartheta_s = \vartheta_{Sicherheit}$

$$R_{th,aktivkühlk.} = \frac{85^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}{15\text{W}} - 0,4 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{th,aktivkühlk.} \leq 1,93 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

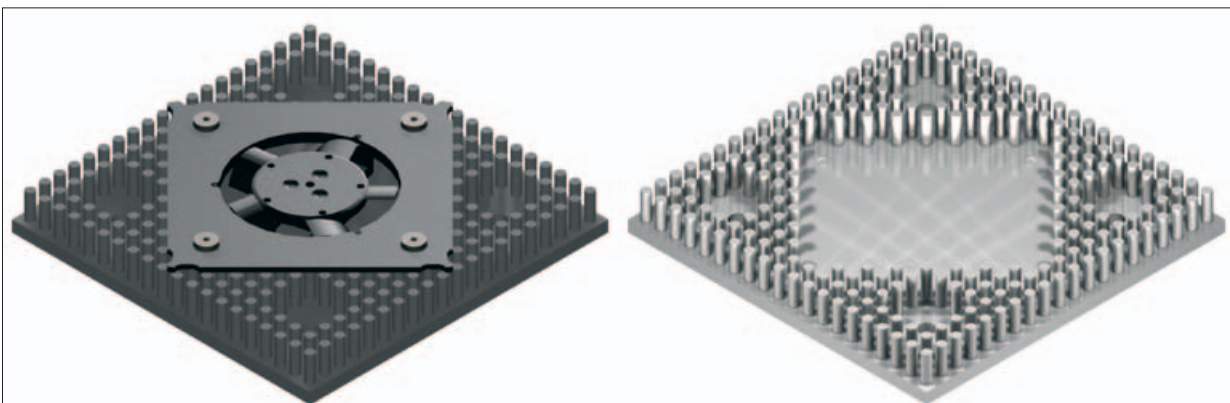


Bild 3. Die Bohrungen und Abmessungen für den Kühlkörper waren vorgegeben. Das Bild links zeigt die Lösung mit integrierten Lüfter, während das Bild rechts den „nackten“ Kühlkörper darstellt.



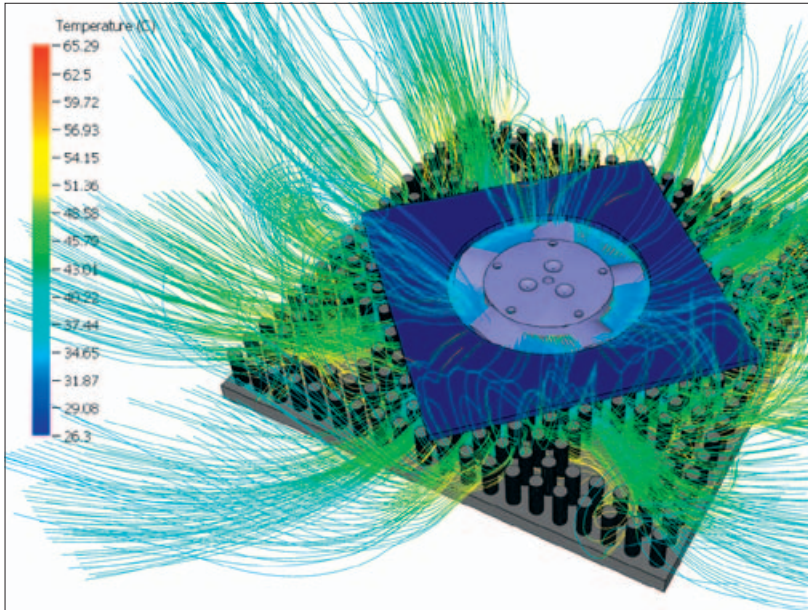


Bild 4. Die Farbverläufe der Thermosimulation lassen erkennen, welche Temperaturen auf der Kühlkörper-Lüfter-Kombination vorherrschen und mit welchen Luftströmungen zu rechnen ist.

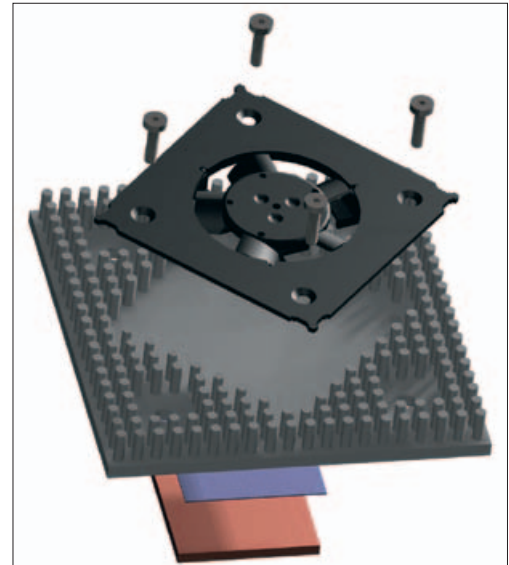


Bild 6. Die vom FPGA erzeugte Verlustleistung wird bei SEPA Europe in einem Experiment nachgebildet, bei dem ein Transistor im TO220-Gehäuse die prognostizierten 15 W an Verlustleistung generiert.

geforderten Kühlleistung sichergestellt. Die **Bilder 4 und 5** visualisieren die Ergebnisse der Simulation.

## Experimentelle Überprüfung

Für die experimentelle Ermittlung des Wärmewiderstands für Kühlkörper – gleich ob aktiv oder passiv – existiert im Moment keine geltende Norm, welche den Prüfaufbau oder die Rahmenbedingungen beschreiben würde. Bei SEPA Europe erfolgt die Bestimmung mittels einer Heizplatte aus Kupfer, in die ein Thermoelement eingelassen ist. Die Temperatur im Inneren der Kupferplatte steht stellvertretend für die Verhält-

nisse im Inneren des FPGAs. Erhitzt wird die Kupferplatte durch einen thermisch angekoppelten und isolierten Transistor in TO220-Bauweise. Durch eine strombegrenzte Ansteuerung des Transistors können ca. 15 W Verlustleistung in thermische Energie umgewandelt werden (**Bild 6**).

Nach dem Ankoppeln der Kupferplatte an die Unterseite des Aktivkühlkörpers stellte sich bereits nach einigen Minuten ein Gleichgewicht aus elektrisch eingekoppelter thermischer Energie und abgeführter thermischer Energie in Form von erwärmter Luft ein. Die Luftfeuchtigkeit wurde bei diesem Experiment vernachlässigt. Im vorliegenden Fall er-

gab sich im experimentellen Aufbau bei einer Umgebungstemperatur von 26 °C ein  $\Delta T$  von 34,5 K. Damit lag der ermittelte Wärmewiderstand bei 2,3 K/W inklusive Interfacematerial und somit sehr nahe am simulierten Wert von 2,27 K/W. Beide Werte lagen im errechneten Soll und bestätigten damit die Funktionsfähigkeit der Entwärmung. go



**Thomas Bachmann**

arbeitet als Vertriebsleiter bei SEPA Europe in Eschbach (Baden-Württemberg).  
[sbachmann@sepa-europe.com](mailto:sbachmann@sepa-europe.com)

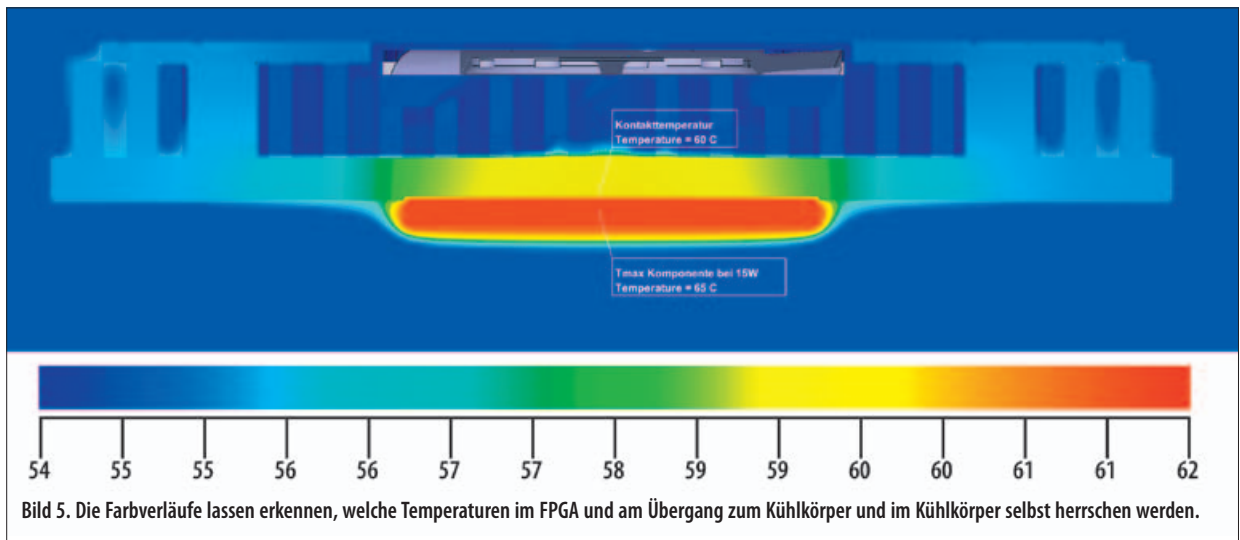


Bild 5. Die Farbverläufe lassen erkennen, welche Temperaturen im FPGA und am Übergang zum Kühlkörper und im Kühlkörper selbst herrschen werden.