COM-HPC richtig entwärmen

COM-HPC sind hochperformante Computer im Modulformat. Ursprünglich für Server-Anwendungen entwickelt, finden sie zunehmend Einsatz in der industriellen Bildverarbeitung und bei der Automation komplexer Prozesse.

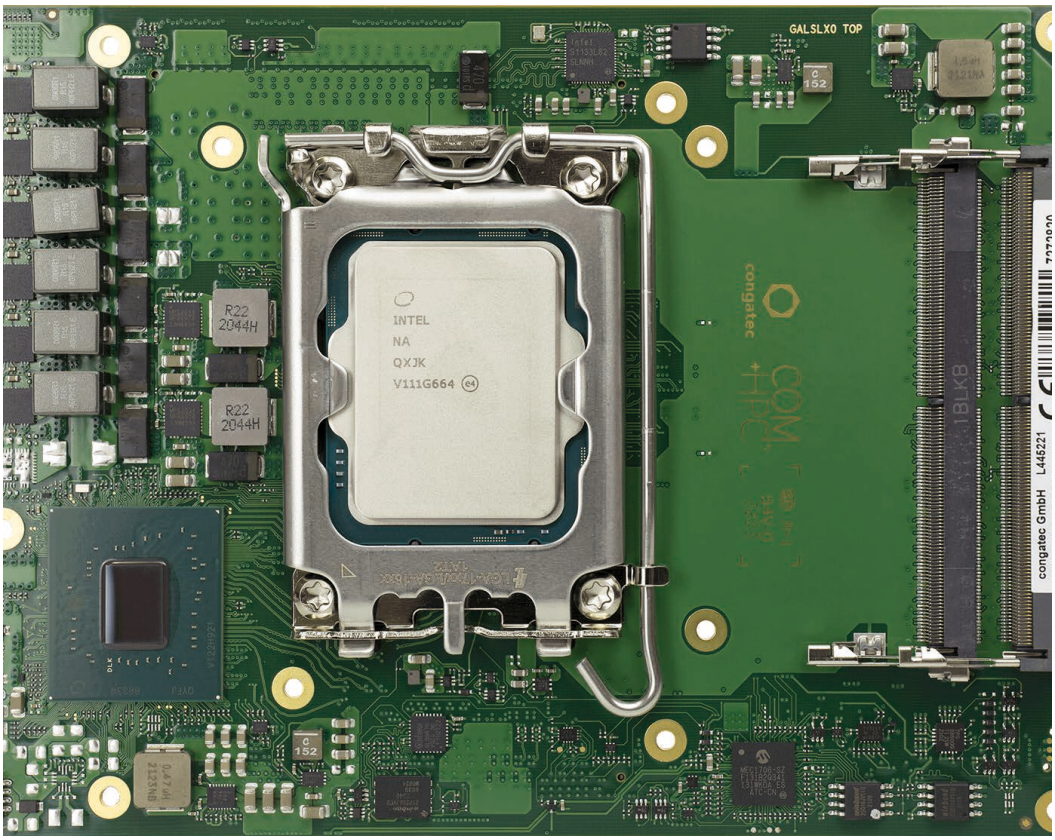

Bild 1: Typischer COM-HPC-Modulcomputer mit Intel-CPU © congatec

Wie bei allen Hochleistungsanwendungen kommt es auch bei COM-HPC auf die richtige Entwärmung an, damit der Modulcomputer seinen Leistungsvorteil auch dauerhaft ausspielen kann. COM-HPC sind echte Hochleistungs-Rechner (Bild 1), die schon mal einen Leistungsbedarf von 200 W haben können - dauerhaft. Und das bei gerade einmal der Größe eines Smartphones. Zudem fällt die Verlustwärme in wenigen Bauteilen an, wie etwa der CPU. Diese Hotspots müssen im Dauerbetrieb entwärmt werden, sonst setzt unweigerlich der Selbstschutz des Prozessors ein - und der kostet einfach Rechenleistung.

Wärme verteilen

Die einfachste Art, Abwärme in den Griff zu bekommen, ist diese am heißen Punkt oder Hotspot aufzunehmen und dann zu verteilen. Die einfachste denkbare Lösung dafür ist ein mehrere Millimeter starker Heatspreader (Bild 2) aus einem Wärme gut leitenden Metall, z. B. Kupfer. Wegen der hohen Kosten weicht man allerdings meist auf Aluminium aus, das nur rund 10 % von Kupfer kostet.

Bindet man diese Platte mit einem möglichst geringen Wärme-Übergangswiderstand an die heißeste Stelle - meist der Prozessor - an, kann die lokale Wärme in den Heatspreader „fließen" und sich dort verteilen. Liegt die Platte im Luftstrom einer großen Zwangsbelüftung, wie das bei Servern in aller Regel der Fall ist, ist man meist auch schon fertig.

Gelegentliche Herausforderung dabei: In Grenzbereichen muss man die Wärmespreizung in x- und y-Richtung in Metall betrachten, also den Temperaturunterschied zwischen den heißesten und den kühlsten Stellen des Heatspreaders. Je größer diese ist, desto schlechter wird ein heißer Prozessor gekühlt, weil z. B. die Wärme nicht gut fließen kann, etwa wenn das Material des Heatspreaders nicht dickwandig genug ist.

Leiterplatte mit entwärmen

Prozessoren strahlen ihre Abwärme nicht nur nach oben ab, sondern auch in die Leiterplatte hinein. Bei SMARC-Modulcomputern nutzt man dies zusätzlich zur Entwärmung des Prozessors. Dazu werden Kupferflächen in die Leiterplatte eingebracht, welche am seitlichen Rand herausgeführt sind. Dort koppeln diese Kupferflächen an einen entsprechend profilierten Heatspreader an (Bild 3).

Kühlschale - Möglichkeiten und Grenzen

Man kann einen Heatspreader auch in noch mehr Raumrichtungen an die Platine des Rechners anpassen oder etwa auch eine Gehäuseschale aus Aluminium-Druckguss zum Abführen der Wärme nutzen. In diesen Fällen spricht man dann eher von einer Kühlschale, als von einem Heatspreader. Eine Kühlschale kann Vorteile mit sich bringen, wenn sie richtig dimensioniert ist. Sie kann aber auch zu unerwünschten Wärmenestern neben den Hotspots wegen ungenügender Luftzirkulation führen.

Gerade dickere Heatspreader bedeuten in aller Regel, unabhängig von der Bauform, zusätzliches Gewicht. Wird eine glatte Seite eines Heatspreaders zudem genutzt, um diesen selbst an einen weiteren Kühlkörper oder einen durchströmten Kanal anzubinden, handelt man sich auf jeden Fall einen zusätzlichen Übergang ein, dessen Wärmewiderstand dazu führen kann, dass die Kombination Heatspreader und zusätzlicher Kühlkörper weniger gut funktioniert, als ein Kühlkörper aus einem Stück.

Kühlkörper

Reicht die Oberfläche des Heatspreaders nicht mehr aus, um die Verlustwärme abzuführen, bleibt als erster Ausweg, dessen Oberfläche zu vergrößern, damit die gespeicherte Wärme leichter an die umgebende Luft abgegeben werden kann. Die klassische Lösung dafür sind Kühlfinnen bzw.

Autor:
Helmut Artmeier
Geschäftsführer
EFCO Electronics GmbH
https://efcotec.de

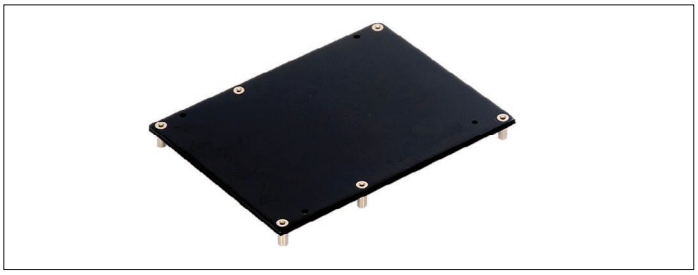

Bild 2: Typischer, einbaufertig vorkonfektionierter flacher Heatspreader für COM-HPC. Deutlich erkennt man die sechs Abstandshülsen sowie kundenspezifische Bohrungen © EFCO

Bild 3: Dieser Heatspreader ist für SMARC-Module ausgelegt, welche auch die Platine zum Abtransport der Verlustleistung des Prozessors nutzen. Passt man einen Heatspreader in mehreren Raumrichtungen an die Platine an, spricht man von einer Kühlschale © EFCO

Kühlrippen (Bild 4). Um die Oberfläche weiter zu vergrößern, ist deren Oberfläche meist nicht glatt, sondern strukturiert (geriffelt).

Eine weitere Option ist der Einsatz von Heatpipes; dazu kommen wir noch.

Wärme-Übergangswiderstand

Damit die Wärme vom Prozessor, der häufig deswegen schon in ein Metallgehäuse eingebettet ist, abfließen kann, muss sie möglichst leicht auf den Kühlkörper gelangen. Der Übergangswiderstand für die Wärme muss also möglichst gering sein. Dies erreicht man in erster Näherung dadurch, dass sich im Übergangsbereich möglichst wenig Luft befindet, denn Luft ist ein schlechter Wärmeleiter. Deshalb ist es wichtig, dass sowohl das Metallgehäuse des Prozessors als auch die Koppelfläche des Kühlkörpers möglichst plan sind.

Um fertigungsbedingte Hohlräume zwischen den beiden Metallteilen vollständig aufzufüllen und damit den Wärmeübergang weiter zu verbessern, verwendet man wärmeleitende Medien dazwischen, also z. B. Wärmeleitpasten oder Wärmeleit-Pads. Gerade Wärmeleitpaste ist dann richtig aufgetragen, wenn sie den Abstand zwischen Prozessor und Kühlkörper nicht vergrößert. „Viel hilft viel" ist an dieser Stelle nicht hilfreich.

Wärmeleit-Pad statt -paste

Weil das Auftragen von Wärmeleitpaste immer einen gewissen Grad an Verschmutzung mit sich bringt, werden zunehmend Wärmeleitpads eingesetzt (Bild 6). Diese erfüllen den gleichen Zweck, sind aber geschlossen. Entsprechend ausgeführte Wärmeleitpads (aufgrund ihrer physikalischen Funktion im Speziellen auch Phase-Change-Materialien genannt) kann man zudem verwenden, um die Distanz zwischen Prozessorgehäuse und Kühlkörper gezielt zu vergrößern, etwa um mechanische Toleranzen auszugleichen (Bild 6). Ein Wärmeleitpad kann man entsprechend auch verwenden, um die Vibrationen einer größeren, zentralen Zwangskühlung, welche sich zwangsweise mechanisch in den Kühlkörper einkoppeln, vom Prozessor fernzuhalten.

Wärmeabfuhr steigern

Reicht auch ein Kühlkörper mit Kühlrippen nicht mehr aus, die Wärme abzuführen, bleibt als nächstes die Möglichkeit, den Übergang der Wärme vom Kühlkörper zur Umgebungsluft mit einem Lüfter zu verbessern (Bild 5). Durch den Lüfter erhöht sich das Volumen der am Kühlkörper vorbei streichenden Luft, sowie deren Geschwindigkeit. Beide Faktoren erleichtern den Wärmeübergang.

Da die Wärmeaufnahmefähigkeit von Luft vergleichsweise überschaubar ist, müssen entsprechend große Mengen bewegt werden. Mit deutlich weniger bewegter Menge wäre eine Wasserkühlung realisierbar: 4.000 l Luft nehmen genauso viel Wärme auf wie ein Liter Wasser. Während flüssigkeitsgekühlte Rechner in Server-Farmen durchaus verbreitet sind, kommen diese in industriellen Anwendungen eher selten vor und sollen daher hier nicht näher betrachtet werden.

Wie viel Luftdurchsatz brauche ich?

Dazu eine einfache Formel: 1 Wh = 3,6 kJ und eine Faustregel: um 1 m³ Luft um ein Grad zu erwärmen, benötigt man ca. 1,2 kJ.

Fallen in einer Beispielrechnung kontinuierlich 20 W Verlustleistung an, entspricht dies 72 kJ. Mit dieser Energie kann man in der Stunde 60 m³ Luft um ein Grad erwärmen. Darf sich die Kühlluft um maximal 15 °C erwärmen, also z. B. von 20 auf 35 °C, müssen rechnerisch pro Stunde also mindestens 4 m³ Luft am Kühlkörper vorbei fließen.

Beträgt die Umgebungstemperatur bereits 35 °C, kann man der Kühlluft keine 50 °C gestatten, da dies ggf. bereits die Betriebstemperatur empfindlicher elektronischer Komponenten in der unmittelbaren Nachbarschaft überschreitet. Die Kühlluft darf sich z. B. nur um 5 °C aufheizen; dann benötigt man entsprechend einen Luftstrom von 12 m³/h.

Dieser Zusammenhang lässt sich als einfache Faustregel-Formel ausdrücken:

Luftvolumen [m³/h] = Verlustleistung [W] * 3 / Temperaturdifferenz

Regelung, Überwachung und weitere Optionen

Üblicherweise wird die Förderleistung von Ventilatoren in m³/h angegeben. Übliche Werte bei voller Leistung liegen meist zwischen 60…100 m³/h. In Verbindung mit dem Beispiel oben wird sofort deutlich, dass der Lüfter nicht den ganzen Tag volle Kanne laufen muss, um die Baugruppe zu entwärmen. Man kann seine Drehzahl reduzieren. Das hat den

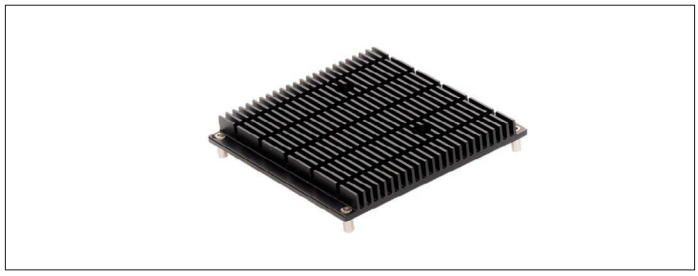

Bild 4: Kühlkörper für erhöhte Wärmeabgabe. In diesem Beispiel ist er schwarz eloxiert. Dieser Kühlkörper ist bereits konfektioniert und kundenspezifisch. © EFCO

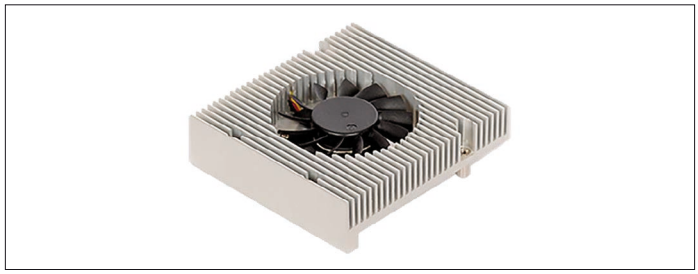

Bild 5: Kühlkörper mit forcierter Kühlung bzw. Zwangskühlung - damit umschreibt man gerne das Vorhandensein eines Lüfters. Die Temperaturregelung der Lüfterdrehzahl kann auch direkt auf dem Kühlkörper realisiert werden © EFCO

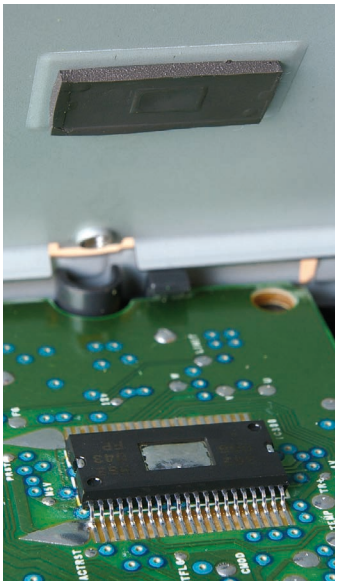

Bild 6: Dieses Bild stammt nicht aus einem Industrie-PC, sondern aus einem CD-Spieler. Es zeigt aber gut, wie ein Wärmeleit-Pad (oben) genutzt wird, um den Prozessor (unten) über das Gehäuse zu kühlen und gleichzeitig Lage- und sonstige Toleranzen auszugleichen © Wikipedia / Smial

angenehmen Effekt, dass damit auch die Geräuschentwicklung sinkt. Auch hier eine Faustregel: Lieber einen größeren Lüfter mit kleineren Drehzahlen einsetzen, als einen kleineren Lüfter mit hoher Drehzahl.

Regelbare Lüfter

Es bietet sich daher an, regelbare Lüfter einzusetzen, deren Drehzahl sich der abzuführenden Wärme anpasst (Bild 7). Das macht den Ventilator nicht nur leiser, sondern erhöht in aller Regel auch dessen Lebensdauer.

Hat das Rechnermodul selbst keine integrierte Steuerung für den Lüfter, macht es Sinn, diese auf dem Kühlkörper zu realisieren. Im Idealfall greift man dazu die Temperatur auf dem Kühlkörper mit einem Sensor ab und steuert die Drehzahl des Lüfters entsprechend so, dass der Kühlkörper im vorgegebenen Temperaturband bleibt und dabei die Drehzahl des Lüfters und damit auch sein Stromverbrauch minimiert wird.

Mittels des Sensors lässt sich auch eine drohende Überhitzung bzw. ein Ausfall des Lüfters erkennen: Steigt die Temperatur weiter an, obwohl der Lüfter mit maximaler Drehzahl läuft, bzw. laufen sollte, stimmt etwas nicht.

MTBF-Werte

Moderne, durchdachte Elektroniken erreichen MTBF-Werte von 200.000 und mehr Stunden (rechnerisch also mehr als 22 Jahre Dauerbetrieb bis zu einem Ausfall). Beim Einkauf von Lüftern sollte man also nicht nur auf den Preis achten, sondern auf eine vergleichbare MTBF. Sonst besteht die Gefahr, dass der Rechner einen vorzeitigen Hitzetod stirbt. Ebenso sollte der Hersteller der gesamten Kühllösung nach ISO 9001 zertifiziert sein - für Medizingeräte zusätzlich nach ISO 13485.

Heatpipe

Wenn auch eine Zwangskühlung nicht ausreicht - oder nicht eingesetzt werden kann, etwa weil ein drehender Antrieb mit seinen Lagern immer ein potentielles Ausfallrisiko ist - dann bleibt nur noch eine Heatpipe (Bild 7), um die Abwärme einzelnen Bausteine nach draußen zu bekommen und so eine Überhitzung des oder der Prozessoren zu vermeiden.

Eine Heatpipe funktioniert so ähnlich wie ein Absorber-Kühlschrank und ist ebenfalls ein geschlossenes System. Gefüllt ist es mit einem Medium, das große Wärmemengen aufnehmen kann.

Funktionsprinzip

An der heißen Stelle der Heatpipe, also z. B. am Prozessor, verdampft das Medium. Die Energie, die es dafür benötigt, entzieht es dem zu kühlenden Bauteil. Durch das Verdampfen dehnt sich das Medium stark aus und strömt durch ein Metallrohr (die eigentliche Heatpipe) zum Kühlkörper. Dort kühlt sich das Medium wieder ab und kondensiert aus. Der nachströmende Dampf drückt das flüssige Medium in den Rückkanal, bis es an der heißen Stelle wieder verdampft.

Für den Wärmetransport wird also ein Medium in einer Rohrleitung eingesetzt. Dies erlaubt eine räumliche Trennung des oder der Hotspots vom eigentlichen Kühlkörper. Entsprechend dimensioniert lässt sich so z. B. ein Alu-Gehäuse als Kühlkörper für den Prozessor nutzen, ohne dass es eines Lüfters oder anderer drehender Teile bedarf.

Heatpipes sind in aller Regel kundenspezifisch

Heatpipes „von der Stange" sind eher ungewöhnlich. Sie sind für die jeweilige Anwendung maßgeschneidert und setzen entsprechende Anwendungsberatung und technische Prüfung voraus. Es macht also Sinn, sich nach einem Lieferanten umzuschauen, der jahrelange Erfahrung in diesem Metier mitbringt, und mit dem man die technischen Herausforderungen in der eigenen Sprache und Zeitzone diskutieren kann.

Kühlkörper müssen nicht immer schwarz sein

Die Physik sagt zwar, dass ein schwarzer Körper optimal für den Wärmeübergang ist; die Auswirkung der Farben auf die Entwärmung ist aber eher überschaubar. Entsprechend kann die Oberfläche in allen gängigen Farben eloxiert werden - von Aluminium natur (Bild 5) über schwarz (Bild 4) bis zu kundenspezifischen Farbtönen. Konfektioniert der Hersteller zudem den Kühlkörper mit Abstandsbolzen, Distanzhülsen oder auch Sensoren einbaufertig vor, verringert sich die Montagezeit im Werk entsprechend.

Wer schreibt

Helmut Artmeier ist Geschäftsführer der EFCO Electronics GmbH in Deggendorf und verfügt über bald zwanzig Jahre Erfahrung im Entwärmen von Industrie-Rechnern. ◄

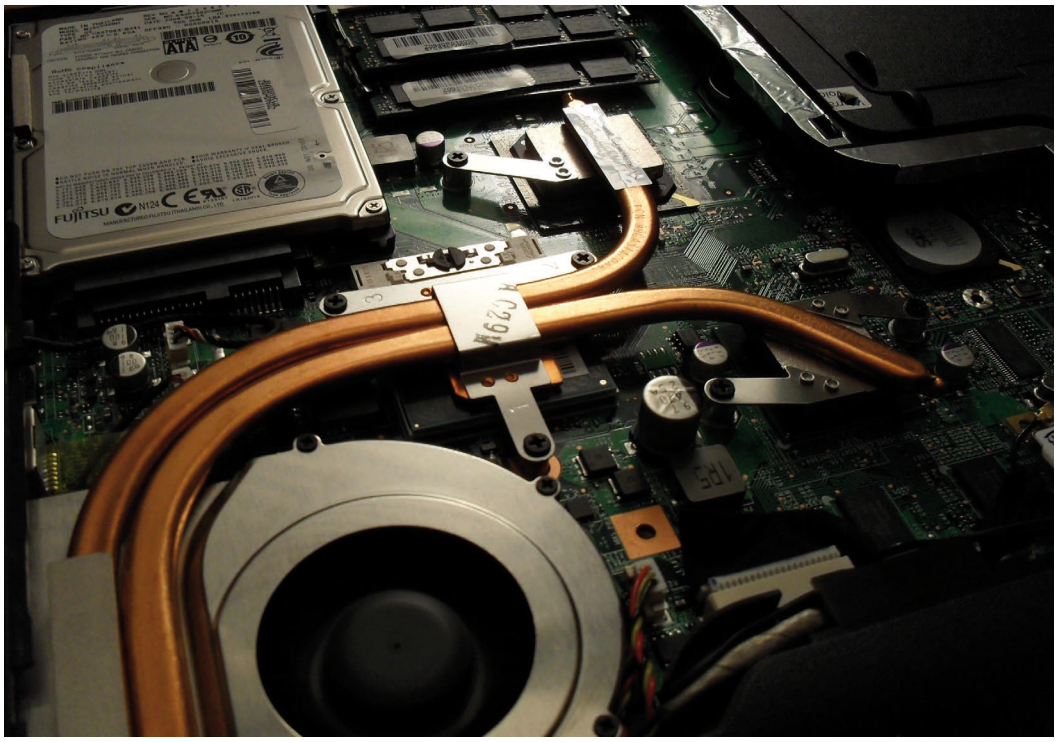

Bild 7: Heatpipe-System in einem Hochleistungs-PC. Gekühlt werden die beiden Prozessoren oben und rechts. Die Wärme wird über die kupferfarbenen Wärmerohre zu einem Kühlkörper geführt (links unten). Dieser ist zudem zwangsgekühlt © Wikipedia / Kristoferb