

Heatpipes kühlen nicht! Thermodesign für Elektronik

Heatpipes sind eine elegante Lösung, um Wärme bei wenig Platz effizient abzuführen. Der Artikel diskutiert Aspekte zu Auswahl und Einsatz von Heatpipes und das zugehörige Wärmemanagement.

TOBIAS BEST *

Dieser Artikel thematisiert Wärmeleitrohre, im Fachjargon „Heatpipes“ genannt. Heatpipes sind ein geschlossenes System, das in einem dünnwandigen Rohr aus einem thermisch hochleitfähigen

Material untergebracht ist. Das Rohr hat auf der Innenseite eine spezielle Struktur (Kapillarstruktur) und enthält eine geringe Menge einer verdampfenden Flüssigkeit. Die Aufgabe einer Heatpipe besteht darin, durch eine optimal an die Applikation angepasste Struktur in einem definierten Temperaturbereich eine anfallende Temperatur möglichst schnell aufzunehmen und diese mit möglichst kleinen Verlusten an eine Stelle zu transportieren, die eine Entwärmung ermög-

licht. Hier bieten verschiedene Heatpipe-Aufbauten unterschiedliche Vor- und Nachteile, die in Tabelle 1 aufgeführt sind.

Zuerst möchte ich mit einem großen Missverständnis aufräumen: „Heatpipes kühlen nicht!“. Dazu schauen Sie sich bitte Bild 1 an. Wird Wärme in ein Kupferrohr mit relativ kleiner Kühlfläche eingespeist, trägt dieses kaum zur Kühlung bei. Erst eine Kühllamelle (hier Kühlrippen) am Ende der Heatpipe leitet die Wärme effektiv an die Luft



* Tobias Best
...ist geschäftsführender Gesellschafter der Alpha-Numerics GmbH in Nastätten.



Bild: ©bigguns - stock.adobe.com

Heatpipes: Das Wärmerohr zählt zu den effizientesten Wärmeübertragern, da es bei minimaler Temperaturdifferenz eine hohe Wärmemenge transportieren kann.

Bilder: Alpha-Numerics

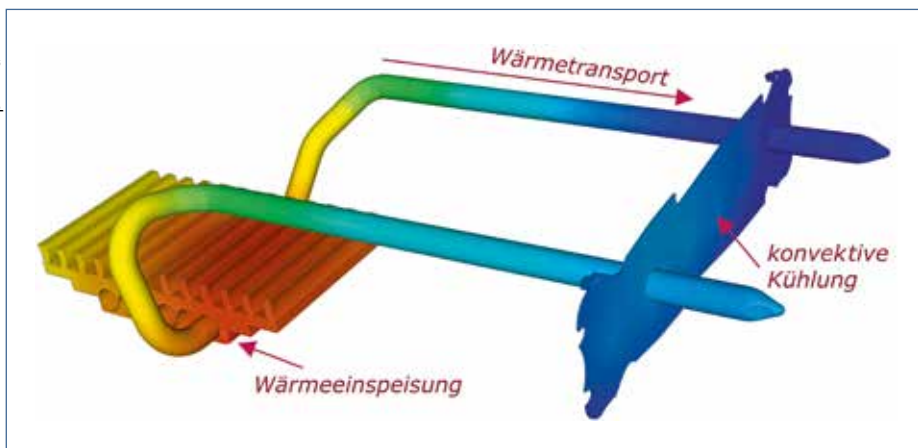


Bild 1: Wärmewege in einem Heatpipe-System.

weiter. Eine Heatpipe würde aber nicht als solche funktionieren, wenn die Kühlflüssigkeit im Inneren des Rohres nicht durch Abkühlen kondensieren würde. Die Heatpipe wäre dann einfach nur ein heißes Kupferrohr.

Damit Sie sich diese Sachverhalte besser vorstellen können, möchte ich dies anhand eines praktischen Beispiels kurz erläutern. Stellen Sie sich vor, dass an einem Leistungshalbleiter, einer CPU oder einer LED hohe Temperaturen anfallen, die in der Applikation nicht erwünscht sind oder dem Baustein schaden. Gleichzeitig befindet sich dieser Baustein in einem Einbauraum, der weder Platz für die direkte Verbindung mit einem Kühlkörper noch eine Möglichkeit zur optimalen Lüftführung bietet. Darüber hinaus sind alle Möglichkeiten erschöpft, die Wärme durch die Leiterplatte abzuführen (Micro-Vias, Metallleiterplatte, Wärmespreizflächen usw.).

Eine elegante Lösung besteht darin, die Wärme auf dem Baustein möglichst gezielt und platzsparend aufzunehmen und diese an einen Punkt zu führen, der durch mehr Platz und eine gute Belüftung (meist forciert) für eine ausreichende Kühlung sorgt. Im Umkehrschluss würde diese Kühlart den Temperaturarbeitspunkt der Komponente senken.

Dies hört sich alles leicht an, ist es aber leider nicht. Denn zum einen wird das Wärmerohr von vielen Händlern noch immer als eine Art Blackbox verkauft und der Kunde meist unzureichend beraten. Zum anderen wird der „Systemgedanke“ zu oft außer Acht gelassen. Dies führt meist zu einer völlig überdimensionierten Kühlung und am Ende zu sehr hohen Heatpipe-Preisen. Die meisten Heatpipe-Systeme funktionieren oft auch nur, weil die Maximallast sehr selten erreicht wird und der Zulieferer zu selten die Beweispflicht antreten muss.



Bild 2: Beim Biegen einer Heatpipe gelten Mindest- und Maximalmaße, die vom Durchmesser und der Art der Heatpipe abhängen.

Eine genaue Abhandlung über die physikalischen Abläufe in einem Wärmerohr und welche dieses zum „thermischen Supraleiter“ machen, finden Sie in der Fachliteratur. Der Fokus dieses Artikels soll nicht darauf liegen. Ich möchte mich mit den praxisnahen Belangen beschäftigen und Ihnen einen besseren Einblick in das Auswahlverfahren der richtigen Heatpipe und dem angegliederten Wärmemanagement geben.

Eine sinnvolle und kosteneffiziente Kühlung kann nur erfolgen, wenn Sie das gesamte System betrachten. Folgende Punkte sind dabei maßgeblich:

Position der Wärmequelle: Wenn Sie die Wahl haben, sollte die Heatpipe senkrecht stehen und die Wärmequelle unten liegen. Die Wärme „fließt“ dann nach oben, also entgegen der Schwerkraft. Der Rückfluss der kondensierten Flüssigkeit wird durch die Schwerkraft unterstützt. Im Prinzip funktioniert eine Heatpipe aber in jeder Einbaulage (außer Groove, siehe unten).

Die zu transportierende Leistung: Die zu transportierende Wärmeleistung bestimmt,

Austerlitz Electronic GmbH
00326440-001
72.0 mm x 297.0 mm (Format:
13A1)

Wissenswertes zu Wärmerohren (Heatpipes)

Heatpipes oder Wärmeleitrohre (vereinfacht oft als Wärmerohr bezeichnet) nutzen zum Wärmetransport Verdampfungs- und Kondensationswärme.

An der heißen Grenzfläche eines Wärmerohrs verdampft eine Flüssigkeit. Dabei wird Verdampfungswärme freigesetzt und der Druck nimmt ab. Aufgrund des Druckgefälles strömt der Dampf zur Kaltstelle und kondensiert dort. Dabei entsteht Kondensationswärme. Die Flüssigkeit fließt durch die Kapillarwirkung oder Schwerkraft zur heißen Grenzfläche zurück und der Zyklus wiederholt sich. Aufgrund der sehr hohen Wärmeübertra-

gungskoeffizienten für Verdampfen und Kondensation arbeiten Wärmerohre sehr effizient. Die effektive Wärmeleitfähigkeit ist abhängig von der Länge und dem Durchmesser des Rohrs und kann bis zu 100 kW/mK betragen (zum Vergleich Kupfer: 0,4 kW/mK).

Das Prinzip der Heatpipe ließ sich der amerikanische GM-Ingenieur Richard S. Gaugler 1944 patentieren. Die Entwicklung wurde 1963 von George M. Grover et al. wiederentdeckt, als man für das amerikanische Raumfahrtprogramm nach effizienten passiven Wärmetransportmöglichkeiten suchte.

arbeitet, durch ein Parallelsystem, das entgegen der Schwerkraft arbeitet, kompensieren. Eine Kombination von Wärmerohren kann eine größere Leistung bewegen und gleichzeitig richtungsunabhängig(er) arbeiten (Bild 3).

Optimale Wärmeaufnahme von der Leistungskomponente zur Heatpipe: Hier sollten Sie darauf achten, dass möglichst wenige thermische Widerstände den thermischen Weg beschreiben. Beispiele sind die Oberfläche der Leistungskomponente, Wärmeleitpaste, Wärmeaufnahme am Heatpipe-System sowie das Lot und die Heatpipe selbst.

Sie sollten bedenken, dass Wärmeleitpaste lediglich Luft mit einem weitaus schlechteren thermischen Leitwert verdrängt, aber verglichen mit Metall trotzdem nicht besonders gut Wärme leitet. Da Wärmeleitpaste dünn aufgetragen werden muss, sollte eine möglichst plane Oberfläche zur Verfügung stehen. Zum einen auf der Komponente, zum anderen auf der Wärmeaufnahmeplatte des Heatpipe-Systems. Durch die Montage (Schrauben, klemmen, kleben) erzeugen Sie unterschiedliche Oberflächenspannungen, die zu einem Verbiegen führen können. Hartlöten der Basisplatte an die Heatpipe bietet den bestmöglichen Wärmeübergang, birgt aber Gefahren, da zu hohe Temperaturen die Kapselung der Heatpipe schädigen und den Unterdruck abbauen können. Alternativ können Sie auch hier kleben oder klemmen und die Luft durch eine Zwischenschicht, ein TIM (thermal interface material), verdrängen.

Geometrie / Wegstrecke: Jede Biegung einer Heatpipe erzeugt einen Temperaturunterschied ΔT . Dies ist ein Faktum und nicht schön zu reden. Die Leistungsfähigkeit der Heatpipe hängt ebenfalls von der Wegstrecke ab, die ein Heatpipe-System überbrücken muss. Es gibt hier Mindest- und Maximalmaße, die vom Durchmesser und der Art der Heatpipe abhängen. Sie müssen ebenfalls den thermischen Widerstand an der Übergabestelle Heatpipe/Kühlfläche bedenken. Sei es eine aufgesprezte Finne oder ein Kühlkörper mit Presspassung für die Heatpipe – jeder Oberflächenkontakt erzeugt einen thermischen Widerstand, der von der Oberflächenrauigkeit, dem Stoffeinschluss (Paste oder Luft), der Einpressstärke und somit der Materialhärte abhängt (Bild 3).

Temperaturunterschied ΔT : Auch wenn Sie noch so gut geplant haben, dieses Wärmetransportsystem funktioniert nur, wenn ein Temperaturunterschied ΔT von mindestens 5°C zur Verfügung steht. Dies bedeutet einerseits, dass man bei einer Wärmeabgabe von beispielsweise 85°C und einer Umgebungstemperatur auf der Kühlseite von 83°C keine

welche Heatpipe Sie brauchen. Sie können die Auswahl mithilfe von Tabellen und Erfahrungswerten treffen. Das heißt aber „nur“, dass das „Rohr“ entgegen der Gravitation (Wärmetransport von unten nach oben) mit einem Wirkungsgrad von 100% diese Wärmeleistung bewegen könnte!

Je nach System werden oft auch Heatpipe-Kombinationen genutzt, um die Leistung zu steigern.

Transportrichtung mit der oder gegen die Schwerkraft: Aufgrund der inneren Struktur arbeiten Wärmerohre mehr oder weniger gut mit bzw. gegen die Schwerkraft. Man unterscheidet die drei Heatpipe-Varianten Groove, Mesh und Sintered. Groove bezeichnet Innenstrukturen in Form von Längsrillen und kann nur senkrecht verwendet werden. Bei den anderen Varianten wird eine Kapillar-

wirkung durch feinmaschige Kupfergeflechte (Mesh) oder gesinterte Kupferkugeln erzeugt.

Die Varianten bieten Vor- und Nachteile in der Verarbeitung (z.B. beim Biegen) sowie in der Reaktionszeit (Wärmeaufnahme, Aggregatzustandswechsel, Wärmeabgabe), dem Wirkungsgrad und insbesondere in ihrer Funktionsfähigkeit in Bezug auf die Schwerkraft (Tabelle 1 und Bild 2).

Da zum einen „Wärme aufsteigt“ und zum anderen die Gravitation die Flüssigkeit in einer Heatpipe nach unten zieht, bietet die gesinterte Variante die besten Voraussetzungen mit der Schwerkraft funktionsfähig zu bleiben und trotzdem leistungsstark zu arbeiten.

Oft können Sie auch einen Leistungsverlust einer Heatpipe, die mit der Schwerkraft

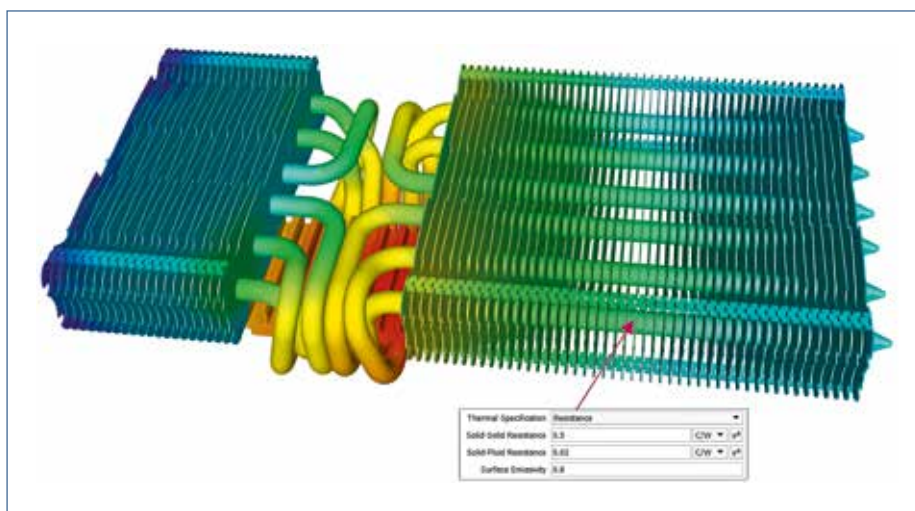


Bild 3: Parallel verschaltetes Heatpipe-System, um den Leistungstransport in dieser waagrechten Applikation sicherzustellen.

Kriterien	Groove	Mesh	Sintered
Preis	☺☺☺	☺☺	☹ — ☺☺
Leistung	600W-3kW	3W-600W	3W-600W
Wirkungsgrad	☹	☺☺	☺☺
Lagenabhängigkeit	☺	☺	☺☺☺
Reaktionszeit	☺☺☺	☺☺	☺☺
Verarbeitung	☺☺☺	☺☺	☺
Anpassung	☺☺☺	☺	☹

Tabelle 1:
Vor- und Nachteile
der verschiedenen
Heatpipe-Arten.

Wunder erwarten darf. Andererseits muss auch durch eine sinnvoll geplante Wärmeabfuhr gewährleistet werden, dass die gelieferte Leistung an die Luft abgegeben werden kann.

Hierbei wird durch die transportierte Leistung, einem meist aktiven Kühlsystem (aufgepresste Lamellen, Umgebungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, Druckwiderstand etc.) und des Wärmeverlaufes das gesamte Wissen zur Thermodynamik abverlangt. Eine derartig komplexe Aufgabenstellung ist nur durch Spezialisten und durch eine Simulation der Gegebenheiten lösbar. Alternativ natürlich auch durch zeitaufwendiges und teures Prototyping.

An die Elektronikbranche angepasste Heatpipes

Oft sieht man in der Praxis, dass Diagramme zur Leistungsfähigkeit von Heatpipes präsentiert werden, die einen maximalen Wirkungsgrad bei 130°C aufweisen. Aber arbeitet Elektronik noch bei dieser Temperatur? Bei einem an die Elektronikbranche angepassten Wärmerohr liegt der maximale Wirkungsgrad bei 90°C. Dieser Wert kann durch die Flüssigkeit im Inneren des Wärmerohrs sowie den entsprechenden Unterdruck justiert werden. Es ist ebenfalls möglich, die Heatpipe für eine spezielle Applikation auf den optimalen Wirkungsgrad auszulegen und zu produzieren – allerdings lohnt sich dies erst ab Stückzahlen >2000.

Auch Heatpipe-Systeme mit einem optimalem Wirkungsgrad bei 90°C, mit einer der Applikation „und“ den Anforderungen angepassten Formgebung und einer dem thermischen Widerstand entgegenwirkenden Bauweise können zu einem erschwinglichen Preis hergestellt werden. Sie sollten jedoch Abstand davon nehmen, Heatpipes eigenhändig in ihre Endform zu biegen und so ein paar Euro Produktionskosten zu sparen. Dies führt in der Regel zu einem Ausschuss von 30% (entweichender Unterdruck, Leckage,

Leistungsausfall) und erzeugt letztendlich weitaus höhere Kosten bei der Schadensbehebung.

Fazit: Ein Heatpipe-System ist und bleibt ein Fall für den Spezialisten – vom Konzept bis zur Ausführung –, doch ist dieser Lösungsansatz zum Wärmemanagement weit aus günstiger als man glaubt. // KR

Alpha-Numerics

**PRAXIS
WERT**

Vor- und Nachteile von Wärmerohren

Der wesentliche Vorteil der Heatpipe besteht darin, Wärme bei einer geringen Temperaturdifferenz (etwa 5°C) zwischen heißer und kalter Stelle abzuleiten. Physikalisch gesehen nutzt die Heatpipe die Verdampfungs- und die Kondensationsenthalpie eines Arbeitsmediums aus, um hohe Wärmeströme zu bewegen. Deswegen zählt das Wärmeleitrohr zu den effizientesten Wärmeübertragern. Heatpipes lassen sich i.d.R. leicht verformen, sind also flexibel einsetzbar.

Bei der Dimensionierung und Verarbeitung (Löten, Biegen, Klemmen, Kleben etc.) von Wärmerohren sind Fachwissen und Erfahrung notwendig. Beachten sollte man, dass es sich um geschlossene Systeme handelt, bei denen sich der Wärmeeintrag direkt auf den Druck auswirkt. Beim Überschreiten eines kritischen Drucks der Flüssigkeit kann ein Wärmerohr explodieren.

Füller 1/3 hoch
72.0 mm x 270.0 mm