

Heatpipes

Einleitung

Heatpipes sind bestmögliche Wärmeleiter, mit denen es möglich ist, Wärme dauerhaft, wartungsfrei und ohne äußere Energiezufuhr zu übertragen. Die Heatpipe ist dabei um ein vielfaches besser als Kupfer, einem Material mit einer sehr guten thermischen Leitfähigkeit. Ermöglicht wird dieses Leistungsverhalten durch einen zweiphasigen Wärmetransport. Während in einem Vollmaterial die Wärmeleitung über Gitterschwingungen und Ladungen erfolgt, ist die Heatpipe ein evakuiertes, mit einer kleinen Menge Flüssigkeit befülltes, Kupferrohr. Wenn die Heatpipe an einer Seite erwärmt wird, verdampft an dieser Stelle das Arbeitsmedium und der Dampf steigt zum kalten Ende, wo er kondensiert. Dampf kann schneller größere Mengen Wärme transportieren als ein Feststoff. Der kondensierte Dampf, nun wieder als Flüssigkeit, muss vom kalten Ende zurück zum heißen Ende transportiert werden, damit der Kreislauf erhalten bleibt. Hierfür wird im Idealfall die Schwerkraft genutzt, was aber voraussetzt, dass die heiße Seite unterhalb der kalten Seite ist und auch der Transportbereich frei von Siphonen ist. Soll ein lageunabhängiger Betrieb ermöglicht werden, werden auf die Innenoberfläche Kapillarstrukturen aufgebracht, die Flüssigkeiten gegen die Schwerkraft transportieren können. Üblich sind hier feine Drahtgewebe (sog. Mesh) oder eine poröse Sinterstruktur. Das gebräuchlichste Arbeitsmedium ist Wasser, da die meisten Anwendungsfälle im Temperaturbereich zwischen 20 °C und 200 °C liegen und Wasser im diesem Temperaturbereich die besten Eigenschaften für das Heatpipeprinzip besitzt.

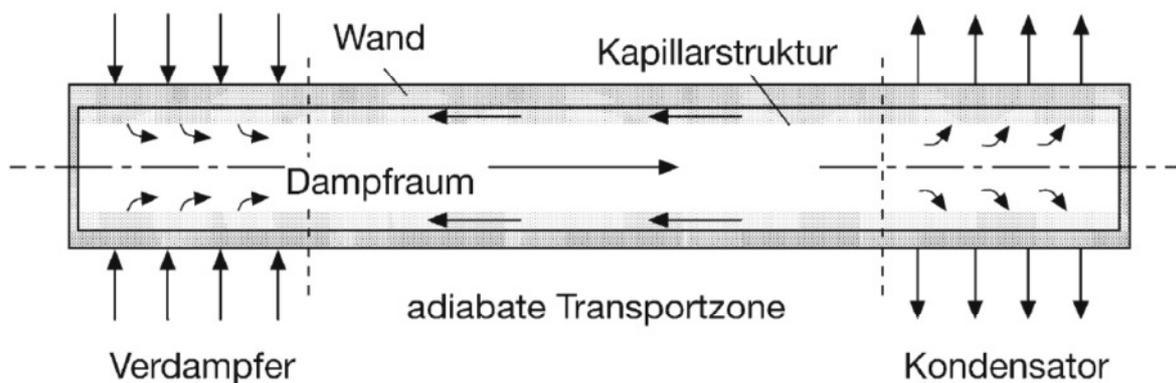


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau einer Heatpipe [1]

Anwendung

Leistung

Heatpipes haben keine konstante Maximalleistung. Das Betriebsverhalten ist Temperatur- und Leistungsabhängig. So können Heatpipes bei geringen Temperaturen, bezogen auf den Temperaturbereich, weniger Leistung übertragen als bei mittleren und höheren Temperaturen. Wassergefüllte Heatpipes (Temperaturbereich 3°C - 250°C) können bei 200°C deutlich mehr Leistung übertragen als bei 10°C das hängt im Wesentlichen an den temperaturabhängigen physikalischen Eigenschaften des Wassers. So nimmt bspw. die Viskosität mit steigender Temperatur ab. Die von QUICK-OHM angegebenen Leistungen gelten bei einer Temperatur von etwa 70°C, das bedeutet, dass die Heatpipes bei höheren Temperaturen mehr Leistung übertragen können, wohingegen bei Temperaturen unterhalb von 70°C mit einem leichten Leistungsverlust kalkuliert werden muss.

Genauere Aussagen lassen sich dazu aber nicht treffen, da sich die Temperatur der Heatpipe aufgrund der Rahmenbedingungen einstellt. Wir empfehlen deshalb, die Heatpipe immer im konkreten Anwendungsfall experimentell zu untersuchen und die angegebenen Werte nur zur Vorauslegung zu berücksichtigen.

Thermischer Widerstand

Der thermische Widerstand der Heatpipe ist abhängig von der Einbaulage, aber weitestgehend unabhängig von der Leistung. Er bedeutet jedoch, dass sich auf der Heatpipe bei einer bestimmten Leistung eine gewisse Temperaturdifferenz einstellen muss. Gegen die Schwerkraft (heiße Seite liegt geodätisch höher als die kalte Seite) ist der Widerstand etwa 20% größer als in der Waagerechten oder bei Einbau in Richtung der Schwerkraft. Es ist auch möglich, Heatpipes unter Berücksichtigung von durchmesserabhängigen Biegeradien, zu biegen. Die Abnahme des thermischen Leitwertes ist jedoch nicht mit Faustformeln abzuschätzen, sondern sollte wieder von Fall zu Fall untersucht werden.

Andere Temperaturbereiche

Die Standardheatpipe mit Wasserfüllung kann zwar bei Frostbedingungen schadlos gelagert werden, wird jedoch im Bereich unter 3°C nicht arbeiten, da das Wasser gefroren ist und nicht ausreichend verdampfen kann. Auch wenn die Wärmequelle deutlich über 0°C ist, die kalte Seite jedoch unter 0°C wird sich kein Betrieb einstellen, da das Kondensat direkt gefriert. In der Theorie ergeben sich für unterschiedliche Temperaturbereiche folgende Arbeitsmedien:

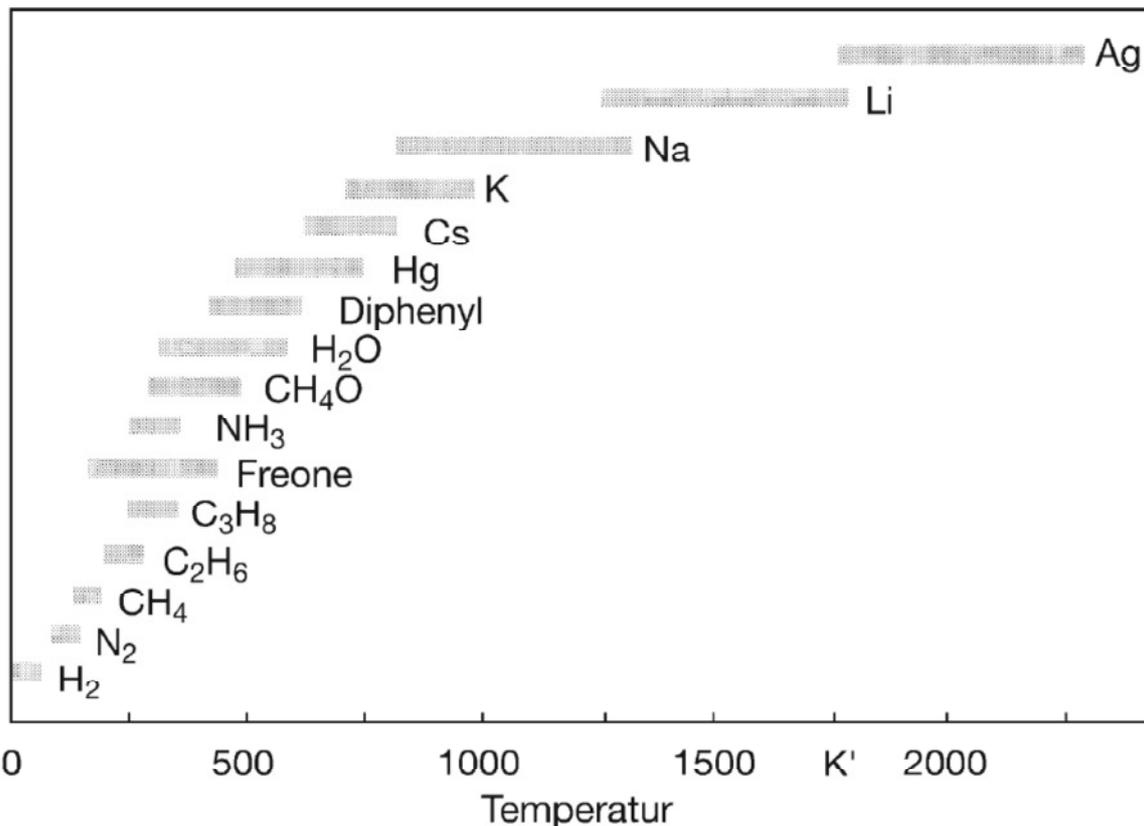


Abb. 2: Verschiedene Wärmeträger in Wärmerohren [1]

QUICK-OHM bietet für frostsichere Anwendungen Heatpipes mit Methanolfüllung an. Aufgrund der Stoffeigenschaften ist dieser Füllstoff auch bei hohen Temperaturen verwendbar und die Heatpipe kann wie eine Wasserheatpipe behandelt werden.

Einbauhinweise

Um die Heatpipes an eine vorhandene Geometrie anzupassen, kann sie mit geeigneten Werkzeugen um einen Winkel von bis zu 120 ° gebogen werden. Der kleinst-mögliche Biegeradius ist den Tabellen in der Website www.quick-ohm.de zu entnehmen. Bei einem Biegewinkel von mehr als 120° kann die Funktionsfähigkeit zu stark beeinträchtigt werden. Auch bei kleineren Biegewinkeln wird die Leistung beeinträchtigt. Die Leistungsminderung kann bis zu 30% betragen.



Ein geeignetes Werkzeug ist z. B. eine Rohrbiegezange, die ein Profil hat, das genau dem Durchmesser der Heatpipe entspricht. Die Verwendung eines Profils mit einem größeren Durchmesser kann zum Knick in der Heatpipe und damit zum möglichen Funktionsverlust führen.

Ebenfalls geeignet ist ein Rohrbieger aus einer Stahldrahtspirale mit dem jeweiligen Durchmesser. Die Stahldrahtspirale wird nach dem Biegevorgang durch

Drehung von der Heatpipe abgenommen.

Die Heatpipe kann über Klemmverbindungen mit den Anschlußflächen für Wärmeaufnahme (Verdampferzone) und Wärmeabfuhr (Kondensatorzone) verbunden werden. Bei Wahl des geeigneten Materials ist zu beachten, dass Aluminium trotz seiner ca. nur 1/2-mal so guten Wärmeleitfähigkeit gegenüber Kupfer Vorteile haben kann, da es mit weniger Aufwand präziser zu bearbeiten ist.

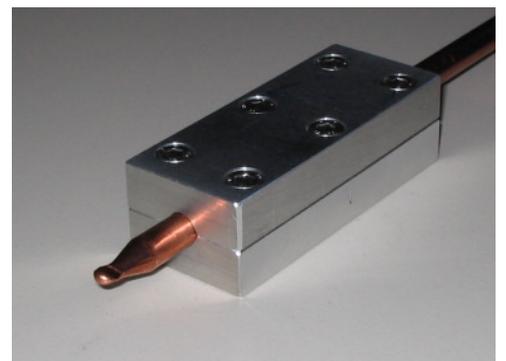


Eine Möglichkeit ist die Ausführung in Form von zwei Halbschalen mit Längsnut und Pressung durch Schrauben.

Dabei sollte der Radius der Längsnut ca. 0,03 mm kleiner als der Radius der Heatpipes sein. So wird immer eine Presspassung gewährleistet.

Die Längsnut wird ganz dünn mit Wärmeleitpaste belegt. Die Wärmeleitpaste hat nur

die Aufgabe, die zwischen den Montageflächen vorhandene Luft zu verdrängen. Anschließend werden die beiden Halbschalen zusammengeschraubt. Die Heatpipe verträgt eine Pressung um einige zehntel mm ohne Beeinträchtigung.



10 Regeln für die Anwendung von Heatpipes

1. Eine Heatpipe ist ein System, das partiell als Verdampfer der Heatpipe-Flüssigkeit wirkt (warmer Ort) und partiell, an anderer Stelle der Geometrie, als Flüssigkeitskondensator (kühlerer Ort). Das eigentliche Transportmedium ist der Flüssigkeitsdampf.
2. Innerhalb der Heatpipe herrscht überall (nahezu) die gleiche Temperatur, auch wenn die (heiße) Übergangsfläche auf Seiten des zu kühlenden Objektes (warmer Ort) gegenüber der (kalten) Übergangsfläche auf Seiten des Kühlsystems/Wärmetauschers (kühlerer Ort) sehr große Temperaturunterschiede aufweist.
3. Heatpipes sind Bauteile, mit denen sich Wärme sehr effizient und schnell von einem warmen Ort zu einem anderen kühleren Ort transportieren läßt. Sie werden deshalb auch mitunter als thermische Supraleiter bezeichnet. Der Wärmetransport kann bezogen auf Wärmemenge und Geschwindigkeit bis zum 100-10.000fachen betragen verglichen mit einem geometrisch gleichen Bauteil aus massivem Kupfer.
4. Mit Heatpipes können auch absolut gleichmäßig temperierte Arbeitsräume und -flächen geschaffen werden.
5. Entscheidend für die Nutzung der vollen Leistung von Heatpipes sind die Wärmeübergänge, einerseits vom zu kühlenden Objekt (warmer Ort) zum einen Ende der Heatpipe, und andererseits vom anderen Ende der Heatpipe zum folgenden Kühlsystem/Wärmetauscher (kühlerer Ort).

Der Wärmeübergang an diesen Anschlußstellen muß möglichst gut sein. Mit anderen Worten, der Wärmeübergangswiderstand muß besonders klein sein. Es empfiehlt sich deshalb, für den Start von Neuentwicklungen Heatpipe-Systeme mit integrierten Anschlußflächen zu beschaffen.

Der schlechteste Wärmeübergang des Gesamtsystems vom zu kühlenden Objekt bis zum Kühlsystem/Wärmetauscher begrenzt dessen Leistungsfähigkeit. Z. B. kann eine mangelhaft ausgeführte thermische Verbindung (mit einem zu hohen Wärmewiderstand) zwischen warmem Ort über die Heatpipe zum Wärmetauscher (kühlerer Ort) nicht durch eine noch so effiziente Heatpipe ausgeglichen werden.

6. Heatpipes müssen in dem Temperaturbereich und Leistungsbereich betrieben werden, der ihrer Auslegung entspricht. Ansonsten bricht der Wärmetransportvorgang zusammen oder er kann sich erst gar nicht ausbilden.

Je nach Ausgangsbedingung (Temperaturniveau, Temperaturdifferenz, Wärmemenge, Zeitfaktor, Geometrie usw.) muß die Heatpipe unterschiedliche Materialien, Innenbeschichtungen, Durchmesser, Längen, Innenmedien, Vakuumierungen usw. haben. Deshalb ist eine Standardisierung äußerst schwierig.

Flüssigkeit

Rein theoretisch könnten Heatpipes von -263°C bis ca. 5.000°C ausgelegt werden. Je nach Temperaturbereich wird das Arbeitsmedium ausgewählt, z. B. Wasserstoff bei extrem niedrigen und Natrium bei extrem hohen Temperaturen. Wegen seiner hohen Verdampfungswärme wird vorzugsweise Wasser als Arbeitsmedium verwendet. Es ist allerdings nur bei Temperaturen von über 0°C als Arbeitsmedium einsetzbar.

7. Bei Kapillar-Heatpipes (Heatpipes mit spezieller Innenbeschichtung) hat die Einbaulage nur begrenzten Einfluß auf den Wirkungsgrad.
8. Zu kleine Biegungsradien können, je nach Technologie, das Innenleben von Heatpipes beschädigen.

9. Die Biegung von Heatpipes erhöht den Wärmewiderstand bzw. führt zur Wirkungslosigkeit. Hier besteht eine zusätzliche Abhängigkeit zur Einbaulage.
10. Das Abflachen einer Heatpipe ist grundsätzlich ebenso möglich wie das Anpressen an eine Fläche zu einem D-Profil. Auch hier kann sich der Wärmewiderstand vergrößern.

Literaturverzeichnis

- [1] Verein Deutscher Ingenieure VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen. (2006). *VDI-Wärmeatlas*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.