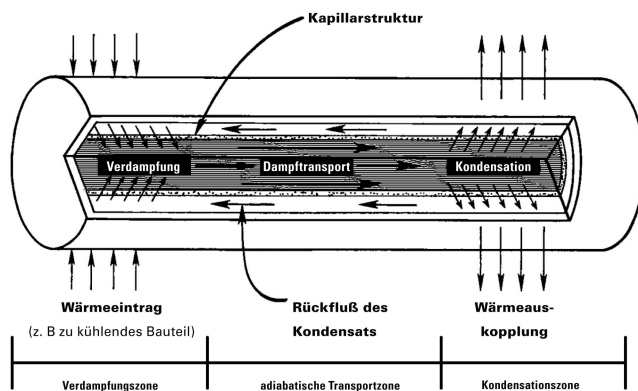


HEATPIPES (WÄRMELEITROHRE)

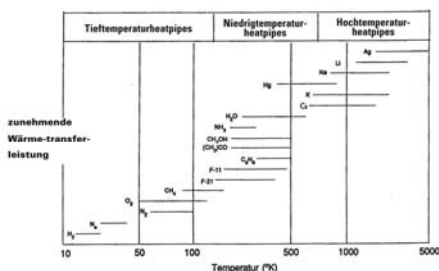
Aufbau

Eine Heatpipe oder ein Wärmeleitrohr ist ein Bauteil, mit dem Wärme sehr effizient von einem Ort zu einem anderen transportiert werden kann. Es kann eine um 2 bis 3 Größenordnungen (100 bis 1000 mal) höhere Wärmemenge transportieren als ein Bauteil gleicher geometrischer Abmessungen aus massivem Kupfer. Die Heatpipe nutzt den physikalischen Effekt, daß beim Verdampfen und Kondensieren einer Flüssigkeit sehr hohe Energiemengen umgesetzt werden. Bekannt ist dieser physikalische Vorgang auch als Thermosyphon.



Arbeitsmittel

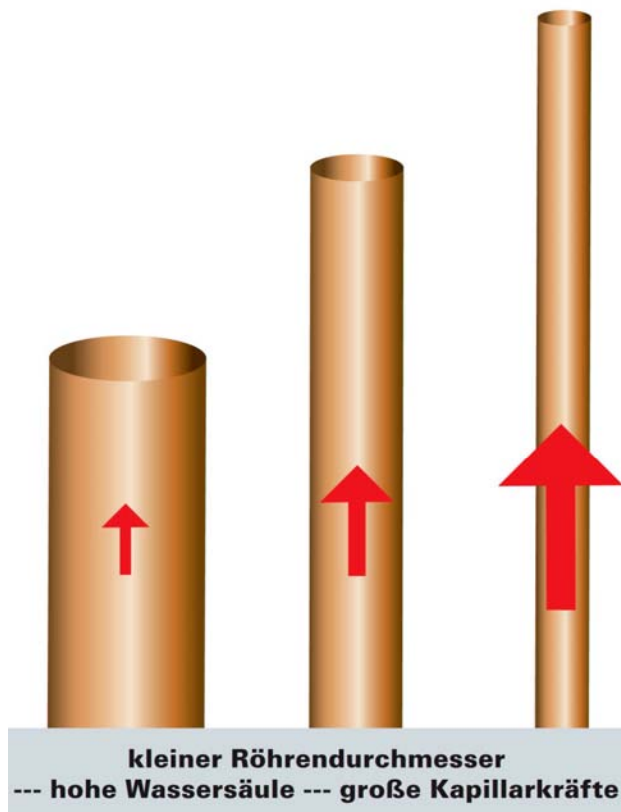
Die Wahl der Flüssigkeit (Arbeitsmittel) in der Heatpipe richtet sich nach dem Temperaturbereich, in dem Wärme transportiert wird. In der Heatpipe herrscht ein Unterdruck (ca. 10 hoch minus 5 bar), so daß das Arbeitsmittel bereits bei niedrigen Temperaturen verdampft. So kann z. B. eine Heatpipe mit Wasser als Arbeitsmittel bereits bei einer Temperatur von 2 - 3°C arbeiten.



Kapillarkraft

Das Arbeitsmedium verdampft an der heißen Seite und kondensiert an der kalten Seite. Das Kondensat wird durch die Kapillarkräfte der inneren Struktur an den Ort der Verdampfung zurücktransportiert. Je feiner die Struktur desto größer sind die Kapillarkräfte.

Kapillarkräfte wirken z. B. in einem Schwamm oder sorgen dafür, daß die Äste an der Spitzen eines hohen Baumes noch mit Wasser versorgt werden. Hohe Oberflächenspannung + kleiner Radius = große Kapillarkräfte



Die Kapillarkräfte beeinflussen die Leistungsfähigkeit und Grenzen der Heatpipe entscheidend.

Es ist vorteilhaft, Kapillarstrukturen mit kleinen Radien zu nutzen, also kleine Maschenweite oder geringe Korngröße bei Sintermaterial.

Das Arbeitsmedium sollte folgende Eigenschaften aufweisen:

- hohe Oberflächenspannung
- niedrige Viskosität
- gute Wärmeleitfähigkeit
- große Verdampfungsenthalpie
- weder extrem niedrige noch extrem hohe Dampfdrücke
- gute Benetzungsfähigkeit

Auslegung

Eine korrekte Definition der Auslegungsparameter setzt die Kenntnis folgender Einflußfaktoren voraus:

- Leistung, die übertragen werden muß
- Verdampfungstemperatur
(Temperatur der warmen Seite)
- Kondensationstemperatur
(Temperatur der kalten Seite)
- Einbaulage (Gravitationseinfluß)
- Entfernung, über die die Wärme transportiert werden soll
- Verdampfer und Kondensatorgröße
- in einigen Fällen mechanische Belastungen wie Beschleunigung und Vibration

Lageabhängigkeit

Die Wirkung der Heatpipe wird von der Gravitation beeinflusst. Das an der kalten Stelle einer Heatpipe entstehende Kondensat wird von der Schwerkraft angezogen. Deshalb arbeitet die Heatpipe dann am effektivsten, wenn die warme Stelle (Verdampfungszone) unten und die kalte Stelle (Kondensationszone) oben ist. Die Kapillarstruktur innerhalb der Heatpipe kann so große Kräfte erzeugen, daß das Kondensat gegen die Richtung der Schwerkraft gefördert wird. Das bedeutet, daß die Verdampfungszone oberhalb der Kondensationszone liegen kann. In diesem Fall ist allerdings die Leistungsfähigkeit der Heatpipe deutlich reduziert. Durch richtige Dimensionierung und Wahl einer geeigneten Kapillarstruktur ist es in den meisten Fällen möglich, auch für diesen Fall ein geeignetes System zu konfektionieren.

Heatpipe als System

Die Heatpipe ist Bestandteil eines Systems zum Wärmetransfer.

Die Heatpipe wird so ausgelegt, daß sie ihre Aufgabe hinreichend erfüllt. Sie sollte aber aus Kosten- und Platzgründen nicht unnötig groß dimensioniert werden.

In den meisten Fällen sind die Anschlußflächen die leistungsbegrenzenden Faktoren.

Die Heatpipe kann nur soviel Wärme transferieren wie aufgrund der herrschenden Temperaturdifferenzen an der Kondensations- und Verdampferseite ausgetauscht werden kann.

Montage

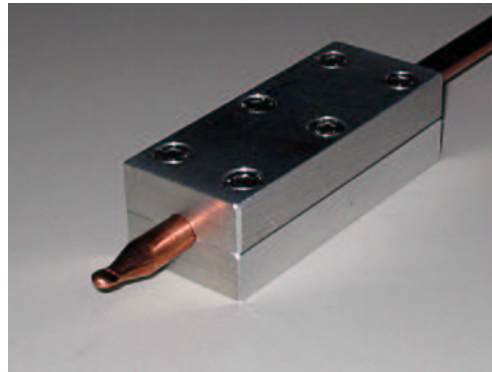
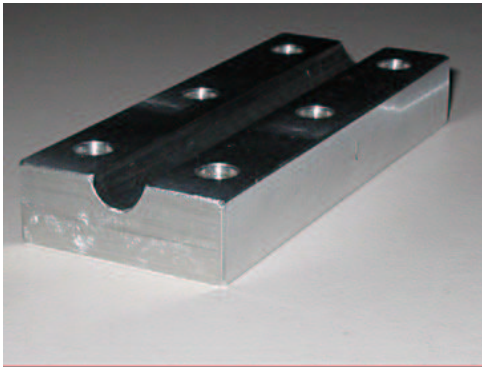
Häufig besteht der Wunsch, Heatpipes auf eine bestehende Konfiguration zu montieren und in bestimmte Richtungen zu biegen. Dies ist in begrenztem Umfang auch möglich, dabei sind jedoch einige Rahmenbedingungen zu beachten wie:

- Kapillarstruktur
- Material
- Durchmesser

Nachfolgend sind einige Hinweise zu Montage aufgeführt. Dabei sind die für die einzelnen Heatpipes festgelegten Mindestbiegeradien zu beachten.

HINWEIS: gebogene Heatpipes sind von der Rückgabe ausgeschlossen.

Beispiel eines selbst gefertigten Wärmekoppelementes:



Einbauhinweise Heatpipes

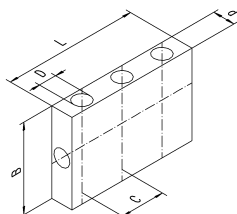
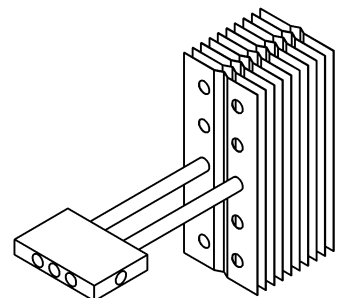
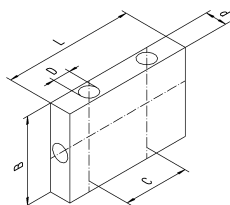
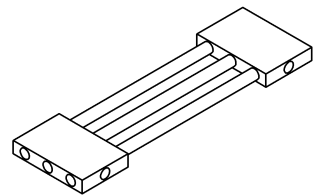
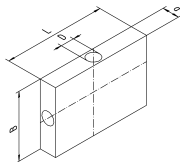
Diese Hinweise sind gültig für Heatpipes aus Kupferrohren!

Die Heatpipe kann über Klemmverbindungen, die als Wärmekoppel-Elemente ausgeführt sind, mit den Anschlußflächen für Wärmeaufnahme (Verdampferzone) und Wärmeabfuhr (Kondensatorzone) verbunden werden. Bei Wahl des geeigneten Materials ist zu beachten, daß Aluminium trotz seiner nur einhalbmal so guten Wärmeleitfähigkeit gegenüber Kupfer Vorteile haben kann, da es mit weniger Aufwand präziser zu bearbeiten ist.

Eine Möglichkeit zur Montage ist die Ausführung in Form von zwei Halbschalen, mit Längsnut und mit Pressung durch Schrauben. Dabei sollte der Radius der Längsnut ca. 0,02 mm kleiner als der Radius der Heatpipes sein.

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.

Fertig erhältliche Wärmekoppelemente:



Beachten Sie bitte auch die 10 Regeln über Heatpipes.

10 wichtige Regeln für die Verwendung von Heatpipes

1. Eine Heatpipe beinhaltet 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 100-1.000fachen 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).
6. 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.

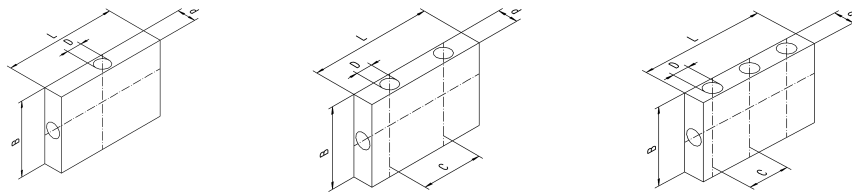
7. **Heatpipes müssen in dem Temperaturbereich und Leistungsbereich betrieben werden, der ihrer Auslegung entspricht. Ansonsten bricht der Wärmetransportvorgang zusammen oder er kann sich erst gar nicht ausbilden.** Je nach Ausgangsbedingung (Temperaturniveau, Temperaturdifferenz, Wärmemenge, Zeitfaktor, Geometrie usw.) muß die Heatpipe unterschiedliche Materialien, Innenbeschichtungen, Durchmesser, Längen, Innenmedien, Vakuumierungen usw. haben. Deshalb ist eine Standardisierung äußerst schwierig.
- **Flüssigkeit**
Heatpipes können auf einen Temperaturbereich von -263°C bis ca. 5.000°C (bei Verwendung von speziellen Materialien) 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.
 - **Temperatur, Temperaturdifferenz**
Die Leistung, die mit einer Heatpipe übertragen werden kann, ist abhängig von der Arbeitstemperatur (Temperatur des warmen Ortes) und der Temperaturdifferenz zwischen dem zu kühlenden Objekt (warmer Ort und Kontaktfläche des Kühlsystems/Wärmetauschers (kühlerer Ort)).
8. Bei Kapillar-Heatpipes (Heatpipes mit spezieller Innenbeschichtung) bester Qualität hat die Einbaulage nahezu keinen Einfluß auf den Wirkungsgrad.
9. Der Wirkungsgrad von Nicht-Kapillar-Heatpipes verringert sich mit der Abweichung von der vertikalen Einbaulage.
10. Zu kleine Biegungsradien können, je nach Technologie, das Innenleben von Heatpipes beschädigen. Bei bestimmten Ausführungen ist selber biegen nicht erlaubt. Biegung von Heatpipes um sehr große Winkel kann den Wirkungsgrad verringern bzw. führt zur Wirkungslosigkeit. Hier besteht eine zusätzliche Abhängigkeit zur Einbaulage.

Wärmeleitrohre „Heatpipes“ mit Mesh (Gewebe) – Übersicht



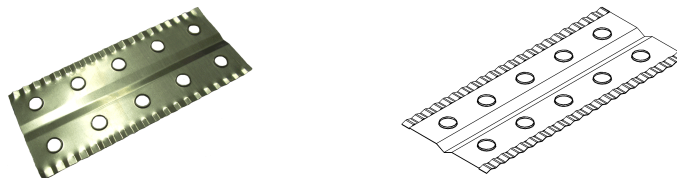
Best.-Nr.	Typ	Wärme- transp.- menge Q_{max} bei $T_a = 70^\circ C$	Wärme- wider- stand ($^\circ K/W$)	$\varnothing \times L$ (mm)	Verschluss- längen (mm)
18 91 51-99	QG-SHP-D3-150G	ca. 18	0,60 - 0,80	3 x 150	Kopfende: 5mm
18 91 65-99	QG-SHP-D3-200G	ca. 18	0,60 - 0,80	3 x 200	Hinterende: 1mm
18 91 78-99	QG-SHP-D6-200G	ca. 45	0,05 - 0,10	6 x 200	Kopfende: 9mm
18 91 91-99	QG-SHP-D6-250G	ca. 45	0,05 - 0,10	6 x 250	Hinterende: 5mm
18 92 05-99	QG-SHP-D8-200G	ca. 55	0,10 - 0,20	8 x 200	Kopfende: 12mm
18 92 17-99	QG-SHP-D8-300G	ca. 55	0,10 - 0,20	8 x 300	Hinterende: 6mm
18 92 31-99	QG-SHP-D8-400G	ca. 55	0,10 - 0,20	8 x 400	-

Wärmekoppelemente für Wärmeleitrohre (Heatpipes) – Übersicht



Best.-Nr.	Typ	für Heat- pipe- $\varnothing$	Bohr- ungen Kante B	Bohr- ungen Kante L	Abm. B	Abm. L	Abm. d	Abm. c
18 92 45-99	QG-IF-A3-1X3	3 mm	1	3	40	60	10	20
18 92 58-99	QG-IF-A6-1X3	6 mm	1	3	40	60	10	20
18 92 84-99	QG-IF-A8-1X2	8 mm	1	2	40	60	12	26
18 92 71-99	QG-IF-A8-1X1	8 mm	1	1	40	60	12	zent.

Kühl lamellen (Finnen) – Übersicht



Best.-Nr.	Typ	Abm. (B x H x T)	Bohrungen/ $\varnothing$
18 92 98-99	QV-FI-130-10-8	55 x 130 x 0,2 mm	10/8 mm

Wärmeleitro hre HEATPIPES " mit Grooves (Rillen)

Produkt-bezeichnung	Wärmetrans- portmenge	Wärmewider stand	Durch- messer	Länge	Verschuß- längen	kleinster erlaubter	Material:	Oberfläche	Te	T diff
	Qmax (W)	(°K/W)	(mm)	(mm)	(mm)	Biegeradius	a:Hohlkörper b:Flüssigkeit	innen	(°C)	(°C)
QG-SHP-D3-150G	~ 18	0,60~0,80	3	150	Kopfende: 5mm	9 mm	a:Kupfer	GROOVE=	70	-1 bis -2
QG-SHP-D3-200G	~ 18	0,60~0,80	3	200	Hinterende: 1mm	9 mm	b:Wasser	Längsrillen	70	-1 bis -2
QG-SHP-D6-200G	~ 45	0,05~010	6	200	Kopfende: 9mm	24mm	a:Kupfer	GROOVE=	70	-1 bis -2
QG-SHP-D6-250G	~ 45	0,05~010	6	250	Hinterende: 5mm	24mm	b:Wasser	Längsrillen	70	-1 bis -2
QG-SHP-D8-200G	~ 55	0,10~0,20	8	200	Kopfende: 12mm	40mm	a:Kupfer	GROOVE=	70	-1 bis -2
QG-SHP-D8-300G	~ 55	0,10~0,20	8	300	Hinterende: 6mm	40mm	b:Wasser	Längsrillen	70	-1 bis -2
QG-SHP-D8-400G	~ 55	0,10~0,20	8	400		40mm		GROOVE=	70	-1 bis -2