

## Heat-Pipe Explorer



### Lieferumfang

- 1 Stk. Heatpipe, d=6mm, l= 300 mm, Sinterstruktur, vernickelt
- 1 Stk. Aluminiumrundstab, d=6mm, l= 300 mm
- 1 Stk. Kupferrundstab, d=6mm, l= 300 mm
- 1 Stk. Wärmekoppelement

### Einleitung

Wasser nimmt beim Verdunsten Energie auf. Spürbar wird der Effekt bei körperlicher Betätigung, und man nach dem Schwitzen zu frieren beginnt. Hierbei verdunstet der Schweiß von der Haut in die Umgebung, das Wasser geht von der flüssigen in die dampfförmige Phase über. Die hierfür nötige Energie wird der Haut entnommen, was wir als Abkühlung empfinden. Da Luft jedoch nur eine geringe, von Luftdruck und Lufttemperatur abhängige Menge Wasser aufnehmen kann (maximale Luftfeuchtigkeit), hat dieser Prozess Grenzen. Die Verdunstung läuft auf einem geringen Energieniveau ab und betreibt sich selbst, unter geringer Energieaufnahme bis die Luft im jeweiligen Sättigungszustand ist. Bei höherer Luftfeuchtigkeit (bspw. Dampfbad) kann weniger Schweiß verdampfen als bei geringer Luftfeuchtigkeit (Hochsommer in Südeuropa), obwohl die Temperaturen gleich sind. Durch die Zufuhr von mehr Energie bspw. einer Flamme, kann man Wasser jedoch verdampfen und damit mehr Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand überführen, als die Luft eigentlich aufnehmen kann. Die so vom Wasser aufgenommene Energie nennt sich Verdampfungsenthalpie oder auch Latente Wärme. Für Wasser beträgt sie 2257 kJ/kg bei 100°C. Diese Energie muss einem Kilogramm Wasser zugeführt werden, um es zu verdampfen. Wie viel das ist, wird deutlich, wenn man betrachtet, dass man mit derselben Menge an Energie 10kg Wasser um 54°C erwärmen kann. Wenn das Wasser kondensiert, gibt es die gleiche Menge an Energie wieder ab. Man kann also durch Verdampfen und Kondensieren von Wasser sehr einfach gewisse Mengen Energie speichern und verlustfrei wieder abgeben. Dieses physikalische Phänomen macht sich eine Heatpipe zu nutze. Da Heatpipes nicht nur wie Nudelwasser bei 100°C kochen und somit funktionieren, kommt eine weitere physikalische Eigenschaft des Wassers zu Pass. Die Siedetemperatur hängt vom absoluten Luftdruck ab. So siedet Wasser auf Meereshöhe bei etwa 100.000Pa bei 100°C, auf der Zugspitze

aufgrund der großen Höhe bei nur noch etwa 70.000Pa bei etwa 90°C (vgl. Abb.1a). Aus diesem Grund müssen Eier „dort oben“ etwas länger im kochenden Wasser liegen um hart zu werden. Die Verdampfungsenthalpie ist zwar auch temperaturabhängig, allerdings diesem Temperaturfenster nur im geringen Maße (vgl. Abb. 1b). Heatpipes sind Kupferrohre, die vor dem Befüllen mit dem Arbeitsmedium Wasser evakuiert werden. Es herrscht ein sehr kleiner Druck in der Heatpipe, etwa 0,001-0,00001 Pa. Sobald Wasser in die Heatpipe gefüllt wird, steigt der Druck in der Heatpipe auf den Sättigungsdruck bei der vorherrschenden Temperatur. Es ist nur Wasser und Wasserdampf in der Heatpipe.

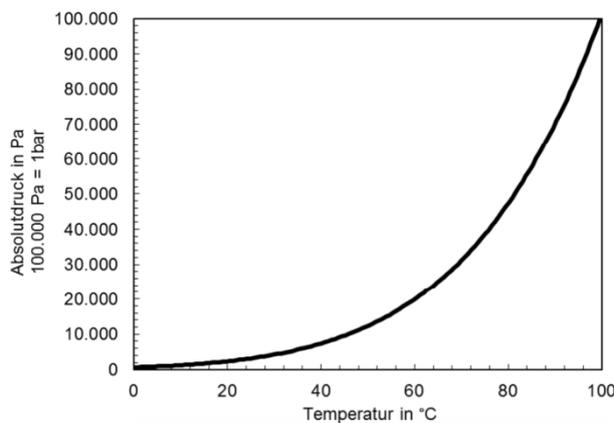


Abb. 1 a : Sättigungs (Siede-) druck über der Temperatur [1]

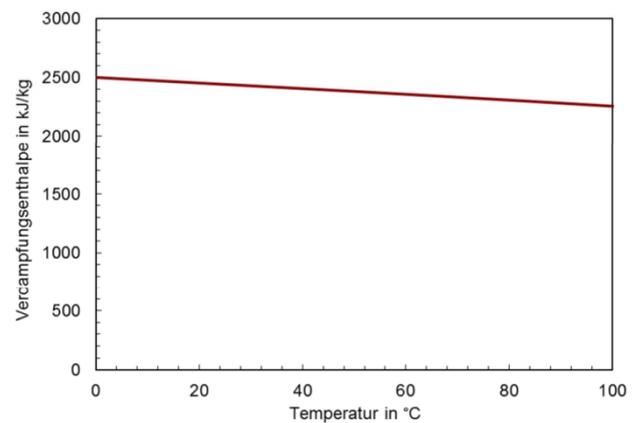


Abb. 1b : Abhängigkeit der Verdampfungsenthalpie von der Temperatur [1]

## Funktionsweise

Sobald die Heatpipe komplett erwärmt wird, steigt der Druck analog zu Abb. 1 an, da sich Wasser und Dampf immer im Sättigungszustand befinden, das heißt, in der Heatpipe ist etwas flüssiges Wasser (etwa 0,5ml) und der Rest des Volumens ist Wasserdampf, keine Luft (vgl. Abb. A1 im Anhang). Erhitzt man die Heatpipe jedoch nur an einem Ende, steigt der Druck an dem Ende an, weil etwas Wasser verdampft. Da dem anderen Ende keine Energie zugeführt wird bleibt der Druck dort konstant. Der Wasserdampf am warmen Ende strömt nun zum kalten Ende um den Druck wieder auszugleichen. Da die Temperatur am kalten Ende jedoch geringer ist, kondensiert der Dampf dort und gibt so seine Energie an die kalte Rohrwand ab. Somit erwärmt sich das kalte Ende der Heatpipe auch und eine Leistung wird übertragen. Die kalte Seite kann nie die Temperatur der heißen Seite erreichen, da auf der heißen Seite die Energie zugeführt wird und kleine innere Verluste hat. Damit dieser Zyklus permanent ablaufen kann, muss das kondensierte Wasser zurück zur heißen Seite der Heatpipe transportiert werden. Hierfür wird in der vorliegenden Heatpipe eine Sinterstruktur aus Kupferpulver genutzt, die das Kondensat sogar gegen die Schwerkraft zurück in den heißen Bereich fördert. Der hierfür verantwortliche Effekt ist die Kapillarkraft, die es ermöglicht, wie bspw. bei Bäumen gewisse Mengen Wasser ohne mechanische Energie gegen die Schwerkraft zu fördern. In Abb. 3 ist die prinzipielle Funktionsweise einer Heatpipe dargestellt.

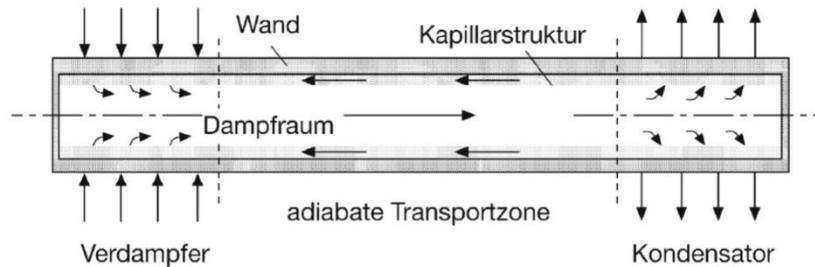


Abb. 3: Prinzipieller Aufbau eines Wärmerohrs [1]

### Versuchsaufbau

Mit dem Versuch kann schnell die Leistungsfähigkeit einer Heatpipe gegenüber sehr gut leitenden Metallen veranschaulicht werden. Es werden zwei massive Stäbe aus Kupfer und Aluminium mit 6mm Durchmesser und eine Heatpipe mit den gleichen Dimensionen in ein Wärmekoppelement gesteckt. Der Ganze Aufbau ist an einem Stativ zu befestigen, so dass das Koppelement frei zugänglich und die freien Enden antastbar sind. Unter das Koppelement wird ein Teelicht gestellt, eine Höhe von 5 cm zwischen Flamme und Koppelement und Flamme sollte nicht unterschritten werden. Nach Entzünden des Teelichtes ist kann man sehr schnell ertasten, wie schnell das kalte Ende der Heatpipe warm wird. Die Heatpipe hat eine etwa 1000 mal höhere Wärmetransportfähigkeit als Kupfer und etwa 1800 mal höhere Wärmeleitfähigkeit als Aluminium.

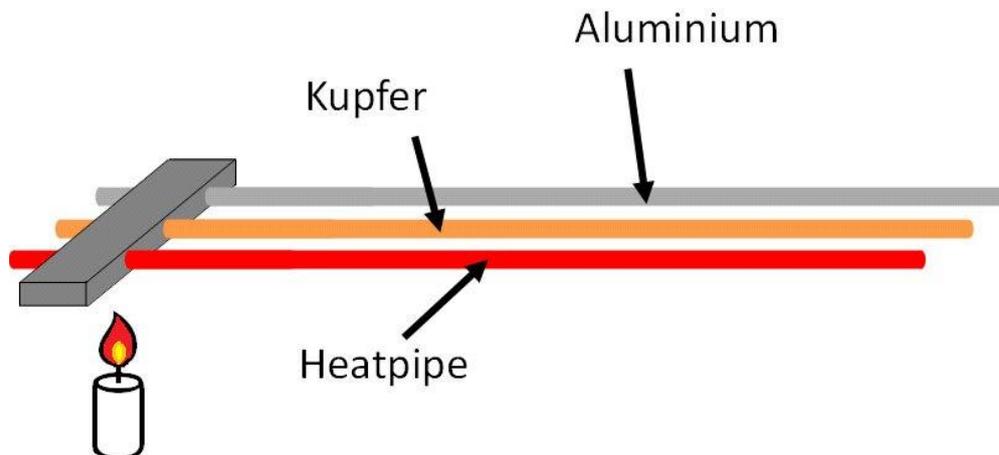


Abb. 4: Aufbau des Heat-Pipe Explorers

### Übersicht

Wie bereits anfangs erwähnt muss das kondensierte Arbeitsmedium im Betrieb zurück zur heißen Zone transportiert werden. Hierfür gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten, zum einen kann die Schwerkraft genutzt werden, zum anderen, wie in diesem Fall, eine Kapillarstruktur. Es gibt unterschiedliche Kapillarstrukturen, die verbreitetsten sind ein

Innenberippung, sogenannte Grooves, ein feines Drahtgeflecht, das sogenannte Mesh, und eine Sinterstruktur. Groove-Heatpipes sind nicht gegen die Schwerkraft einsetzbar, bei Mesh-Heatpipes muss mit höheren Leistungseinbußen gerechnet werden, Sinter-Heatpipes eignen sich erfahrungsgemäß am besten für den lageunabhängigen Einsatz.

Kapillarwärmerohre eignen sich ebenfalls für den Einsatz in der Schwerelosigkeit, da die Kapillarkraft gravitationsunabhängig ist.

Aufgrund der großen Temperaturabhängigkeit des Dampfdruckes des Wassers (vgl. Abb. A1) sind Heatpipes nur bis 250°C einsetzbar. Darüber hinaus wird der Druck so groß, dass das Rohr platzen kann. Heatpipes gibt es Standardmäßig in Durchmessern von 3, 4, 5, 6, 8 und 10 mm und in Längen bis 500mm. Heatpipes von Quick-Ohm sind RoHS-konform und können in den vielfältigsten Anwendungsfällen zum Wärmemanagement eingesetzt werden

## Anhang

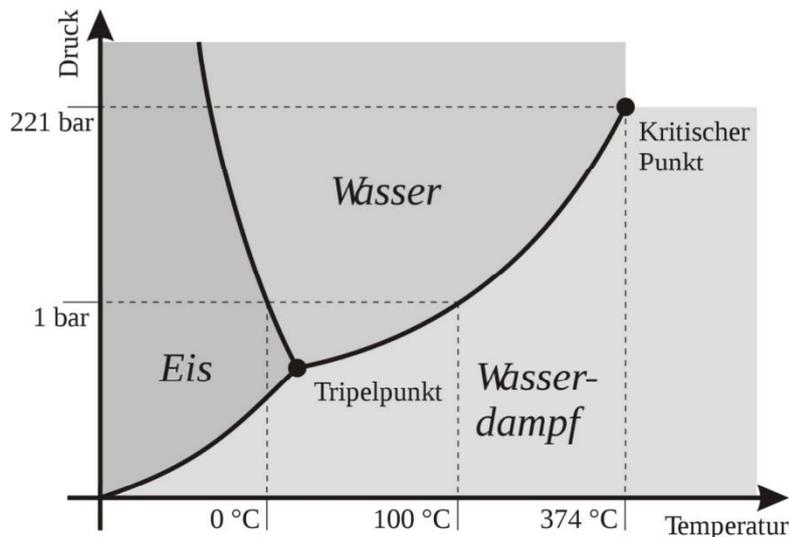


Abb. A1: Phasendiagramm von Wasser [2]

## Quellen

[1] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2006): VDI – WÄRMEATLAS . 10. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer

[2] [http://de.wikipedia.org/wiki/Eigenschaften\\_des\\_Wassers](http://de.wikipedia.org/wiki/Eigenschaften_des_Wassers), 15.02.2013, 14:34Uhr