

Thermoelektrischer Effekt

Bei Berührung zweier unterschiedlicher Metalle diffundieren in der Berührungsschicht Elektronen. Dadurch wird eines der Metalle gegenüber dem anderen positiv geladen, das andere negativ. Es entsteht also eine Kontaktspannung.

Elektrothermischer Effekt

Peltier hat 1834 festgestellt, daß eine Umkehrung des Thermoelektrischen Effekts möglich ist. Durch Anlegen einer Spannung an ein Thermoelektrisches Element, erwärmt der durch das Element fließende Strom die eine Kontaktstelle, während die andere abgekühlt wird.

Die Ursache für die Abkühlung liegt in der Paarerzeugung von n- und p-Teilchen, da hierzu der Umgebung die benötigte Energie entzogen wird.

In der warmen Lötstelle tritt eine Trägerrekombination der p- und n- Teilchen ein, wobei die Rekombinationsenergie zu einer Erwärmung dieser Lötstelle führt.

Aufbau

Peltierelemente bestehen aus zwei Keramikplatten, zwischen denen p- und n-dotierte Wismuttelluridstäbchen elektrisch in Reihe und thermisch parallel geschaltet sind. Dieser Halbleiter hat bessere α -Werte (α ist die Thermokraft, gemessen in Volt / Grad) , als Isolatoren oder Metalle.

Die Keramikplatten sind elektrisch gute Isolatoren und thermisch gute Leiter, die hohem mechanischem Druck standhalten.

Wärmeabfuhr

Das Peltierelement ist kein Kälte produzierendes Aggregat, sondern eine elektrische Wärmepumpe. Da eine Wärmepumpe Wärme transportiert, muß diese an der warmen Seite abgeführt werden. Andernfalls würde sich die warme Seite soweit aufheizen, bis das Peltierelement nicht mehr als kühlendes Element arbeitet, sondern die kalte Seite erwärmt wird. Die Wärmeabfuhr kann zum Beispiel mit Kühlkörpern und Lüftern geschehen. Bei der Auswahl der Wärmeabfuhrvorrichtung muß die Eigenwärme des zu kühlenden Objekts, die Joulesche Wärme des Peltierelements sowie die Konvektions- und Strahlenwärme von außen berücksichtigt werden.

Im allgemeinen ist eine Erwärmung des Kühlkörpers von 5°C - 15°C über Umgebungstemperatur akzeptabel.

Leistung

Peltierelemente können parallel montiert werden, um die Kälteleistung zu vergrößern. Durch Verwendung von Kaskaden kann die Temperaturdifferenz der warmen und kalten Seite vergrößert werden.

ΔT , Q_c und die Stromstärke I bestimmen den Betriebspunkt des Peltierelements.

Die Kühlleistung steigt zunächst mit zunehmendem Strom bis zum Maximum bei I_{\max} .

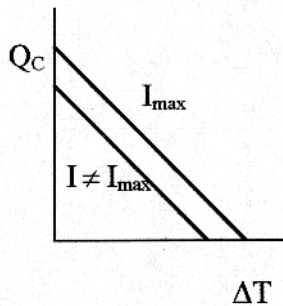
I_{\max} berechnet sich folgendermaßen :

$$I_{\max} = \frac{2\alpha T_c}{R}$$

wobei α = Thermokraft (Volt / Grad)

T_c = Temperatur an der kalten Seite

R = ohmscher Widerstand



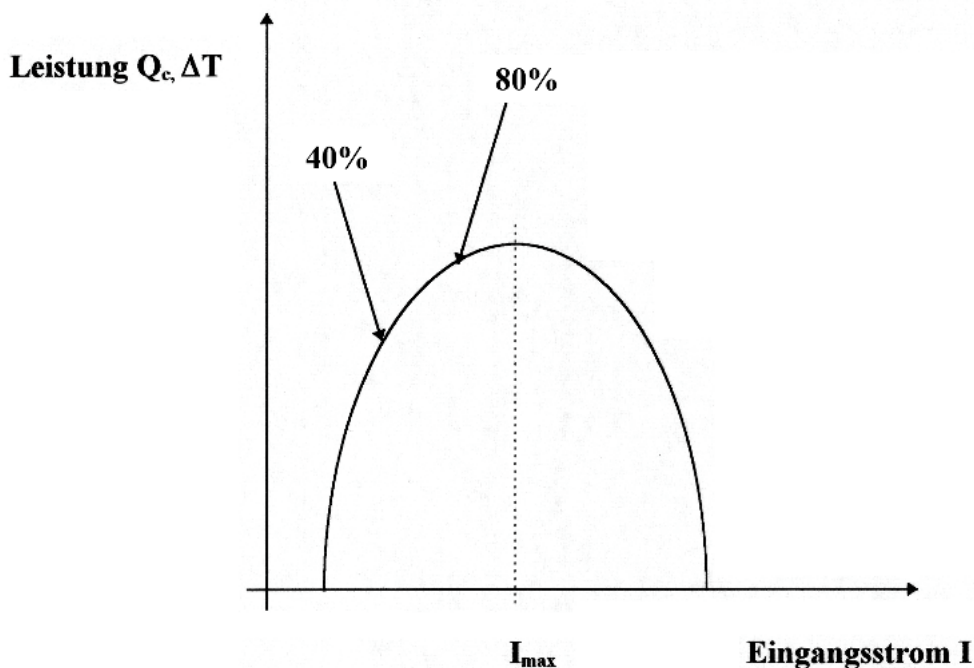
Es besteht eine umgekehrte Proportionalität zwischen Q_C und ΔT , so daß:

$$Q_C = \max \Leftrightarrow \Delta T = 0$$

$$\Delta T = \max \Leftrightarrow Q_C = 0$$

Nach Überschreiten von I_{\max} , geht die Leistung des Peltierelements wieder zurück.

Da der Betrieb in der Nähe des Maximums relativ ineffizient ist, wird meist bei einem Eingangsstrom der 40% - 80% von I_{\max} betragt, gearbeitet.



$\Delta T = T_H - T_C$ wobei T_H = Temperatur an der heißen Seite, T_C = Temperatur an der kalten Seite.
 Q_C = Kälteleistung

Weitere Merkmale

Aufgrund des Diffusionseffekts werden Peltierelemente mit der Zeit hochohmig.

Die Peltierelemente werden mit Gleichstrom (möglichst oberwellenfrei) versorgt. Ein Umpolen der Stromrichtung bewirkt einen Wechsel von Kühlen auf Heizen. Sie ermöglichen eine exakt regulierbare Temperaturstabilität.

Q und U sind direkt proportional zur Anzahl N der n/p-Paare.

Beispiel : Das Peltierelement RO6.0-51.4 hat 127 n/p-Paare, $Q_{\max} = 51.4W$, $U=15.4V$.

RO 6.0-28.7 hat nur 71 n/p-Paare, $Q_{\max} = 28.7W$, $U=8.6V$.

Sind T_h , T_c und Q_c bekannt, dann ergibt sich I aus den Kurven von ΔT und Q_c .

Man hat nun ΔT und I und kann U mit den Graphen von ΔT und U bestimmen.

Zur Auswahl des geeigneten Peltierelements benötigte Parameter

Es müssen die Temperatur an der warmen und an der kalten Seite, sowie die Wärmepumpleistung bestimmt werden.

Wärmepumpleistung :

Um die Temperatur eines Objekts zu senken, muß die Wärme davon schneller entfernt werden, als Wärme eintritt. Um diese zu beseitigende Wärme festzustellen, müssen die aktiven Wärmeelemente (Das sind alle Komponenten der kalten Seite, die Leistung aufnehmen. Dieser Leistungsverbrauch wird in Wärme umgewandelt.) und die Wärmeableitung betrachtet werden. Sie wird beeinflußt vom Temperaturunterschied zwischen Umgebung und Objekt, Wärmeleitung von elektrischen Leitungen usw.

Befestigungsmöglichkeiten

Festklammern (evtl. mit Wärmeleitpaste zur Verbesserung der Wärmeleitung)

Festkleben (Epoxyd)

Festlöten (bei metallisierter oder verzinnter Oberfläche des Peltierelements)

Festschrauben (Viele Elemente können auch mit Loch in der Mitte geliefert werden.)

Die mechanischen Fügstellen (zwischen zu kühlendem Objekt, Peltierelement und Kühlkörper) sind thermische Widerstände beim Wärmetransport. Es gilt daher Luftspalte möglichst gering zu halten. Ist der thermische Widerstand zwischen dem Objekt und der kalten Seite des Peltierelements groß, dann wird die Kühlleistung entsprechend geringer. Ein schlechter Wärmeübergang von der warmen Seite des Peltierelements zum Kühlkörper kann zur Überhitzung führen und das Peltierelement zerstören.

Durch Lappen kann die Oberfläche des Elements verbessert werden. Wärmeleitpaste trägt ebenfalls zu einer besseren Wärmeleitung bei.

Anwendungsbeispiele

Es können sowohl feste als auch flüssige Objekte gekühlt werden.

Hier einige Anwendungen :

Luftfahrt (z.B. Kühlung der elektronischen Ausrüstung)

Konsumgüter (z.B. tragbare Kühlboxen, Weinkühler, tragbare Insulinkühler)

Labor/Wissenschaft (z.B. Infrarotdetektoren, Laserdiodenkühlung, IC-Kühler, Osmometer, konstante Temperaturbäder, Nullpunktkonstanthaltung)

Temperaturkontrolle in der Industrie (z.B. PC-Mikroprozessoren)

Medizinische Geräte (z.B. Pharmazeutische Kühlschränke, Blutanalysatoren)

Restaurants (z.B. Sahne- und Butterportionierer, Kühltheken)

Sonstige (z.B. Kühlboxen für Hotelzimmer, Mini-Kühlboxen für Autos, Sitzkühlung in

Autos, Trinkwasserkühlung in Flugzeugen)

Vorteile

hohe Zuverlässigkeit (keine beweglichen Teile), geringe Größe und Gewicht, genaue Temperaturkontrolle, geringe Kosten, geringe Leistungsaufnahme, geräuschlos, lageunabhängig, durch Wahl der Stromrichtung für die Temperaturkonstanthaltung oberhalb und unterhalb der Umgebungstemperatur verwendbar, einfache elektrische Regelung durch Ändern der Betriebsstromstärke

Temperaturbereich

Unsere Peltierelemente sind in der Standardausführung für Temperaturen von -150°C bis $+70^{\circ}\text{C}$ (mit Speziallot bis 120°C) einsetzbar. Sondertypen können aber auch für Temperaturen bis $+200^{\circ}\text{C}$ geliefert werden.

Sonderausführungen

Die Keramikplatten sind metallisiert, verzinkt oder normal geläppt verfügbar. Außerdem sind Kombinationen davon möglich (z.B. verzinkt-metallisiert, geläppt-verzinkt, usw.)

Weitere Kaskaden und einstufige Peltierelemente, sowie runde Ausführungen sind auf Anfrage ebenfalls erhältlich.

Viele Elemente können, wie bereits unter "Befestigungsmöglichkeiten" erwähnt, mit Mittelloch geliefert werden.

Peltierelemente können auch mit Silikon vergossen werden. Dies ist bei Anwendungen, bei denen das Element feucht werden kann (z.B. Kondensat) angebracht, um Korrosion und elektrischen wie thermischen Kurzschluß zu verhindern. Versiegelung der Wismuttelluridstäbchen mit Epoxyd schützt ebenfalls vor Korrosion.

Beispiel :

Es werden 30 Watt Kälteleistung bei einer Umgebungstemperatur von 30°C benötigt.

Die Konstruktion verlangt $T_c = -4^{\circ}\text{C}$ und $T_H = +35^{\circ}\text{C}$. Es gilt also $\Delta T = 39^{\circ}\text{C}$.

Es sei ein Strom von ca. 10A verfügbar. Dann kann die Kurve von RO14.0-29.2 (siehe nächste Seite) verwendet werden.

Liest man bei der unteren Kurve (Q in Abhängigkeit von ΔT) den zu $\Delta T = 39^{\circ}\text{C}$ gehörigen Wert von Q ab, so erhält man $Q \approx 11 \text{ W}$.

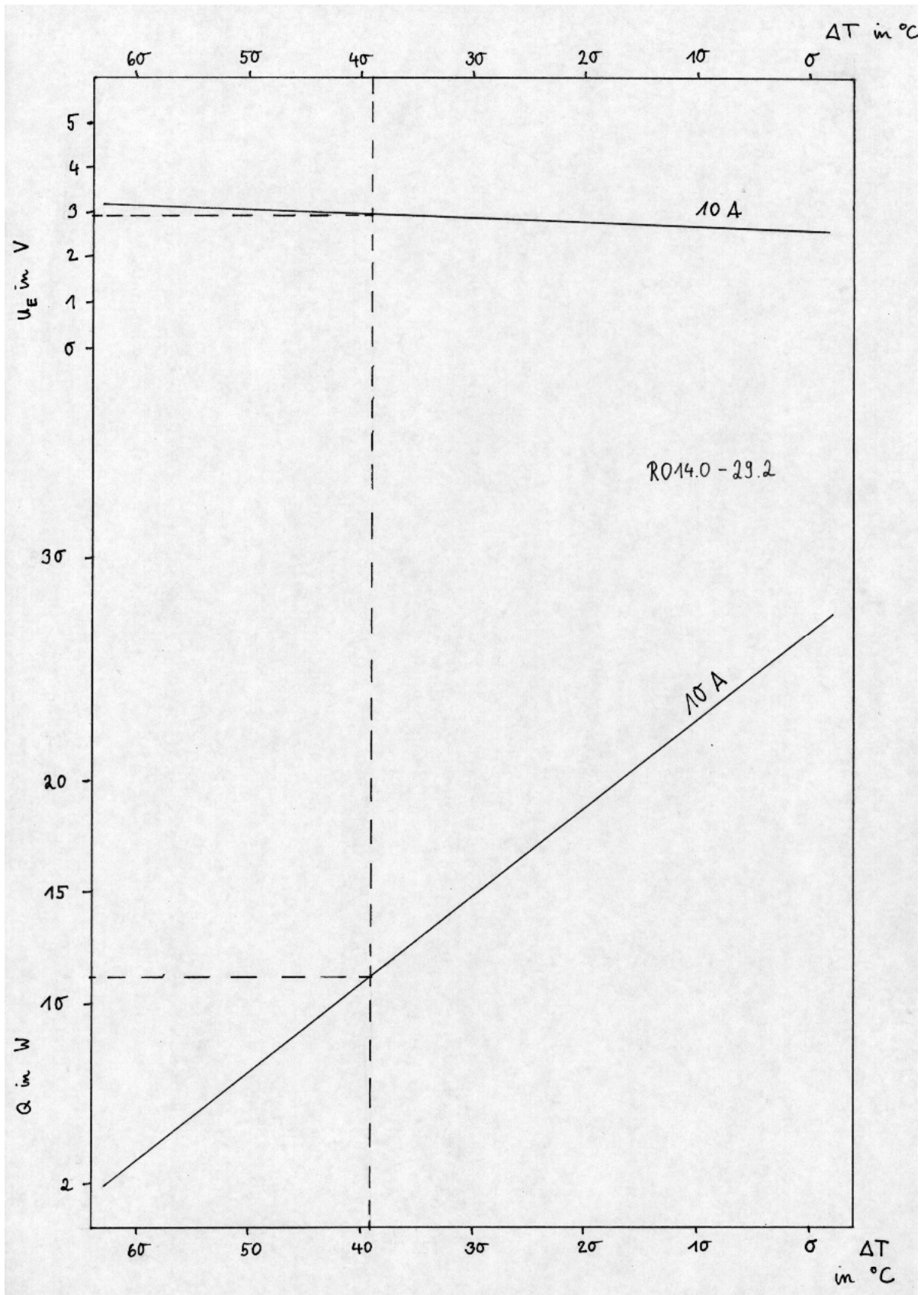
Das heißt, daß RO14.0-29.2 unter obigen Bedingungen ungefähr 11 Watt pumpt. Um die benötigten 30 Watt Kälteleistung zu pumpen, müssen also drei RO14.0-29.2 verwendet werden.

Die notwendige Spannung kann an der oberen Kurve (U_E in Abhängigkeit von ΔT) bei $\Delta T = 39^{\circ}\text{C}$ abgelesen werden. Man erhält den Wert 2.9 V.

Drei Peltierelemente des obigen Typs benötigen in Reihe geschaltet $3 \times 2.9 \text{ V} = 8.7 \text{ V}$.

Bei Reihenschaltung mehrerer Elemente können diese auch selektiert bestellt werden.

Leistungskurve von RO14.0-29.2



Montage - Hinweise

Die Bauelemente können durch die unter "Befestigungsmöglichkeiten" aufgeführten Verfahren auf die Kühlkörper aufgebracht werden.

Die Elemente werden bereits serienmäßig mit Isolationsplatten geliefert (die wie erwähnt auch verzinkt sein können).

Dadurch können sie sofort, ohne besondere Vorkehrungen auf Kühlkörper aufgebracht werden, wobei zum guten Temperaturübergang die nachfolgenden Punkte beachtet werden sollten.

Sollen Peltierelemente mit verzinkten Isolationsplatten verwendet werden, so muß die Oberfläche des Kühlkörpers lötbar sein und es sollte nur ein Element, je Kühlkörper verwendet werden (s. Anmerkung).

Montage mittels Lötverbindung :

Der Kühlkörper wird auf 120°C erwärmt und mit dem mitgelieferten Lot verzinkt und Flußmittel hinzugegeben (Verhütung der Oxydationshaut).

Mit dem Kontaktieren soll solange gewartet werden, bis sich das Flußmittel fest verflüchtigt hat. Es darf sich noch keine Oxydationshaut gebildet haben.

Jetzt wird das Element mit der kalten Seite auf die vorbereitete Kontaktstelle gelegt.

Nach einigen Sekunden schmilzt das Lot am Peltierelement und das Bauelement schwimmt auf dem Lot des Kühlkörpers.

Durch leichtes Andrücken wird der Kristallisationsvorgang beschleunigt.

Sobald die Einheit abgekühlt ist, muß der Kühlkörper gründlich vom Flußmittel gereinigt werden.

Anmerkung :

Zeigt sich vor dem Kontaktieren eine graue Schicht auf dem flüssigen Lot, so darf der Kontaktvorgang nicht durchgeführt werden.

Die Vorbereitungen müssen wiederholt werden.

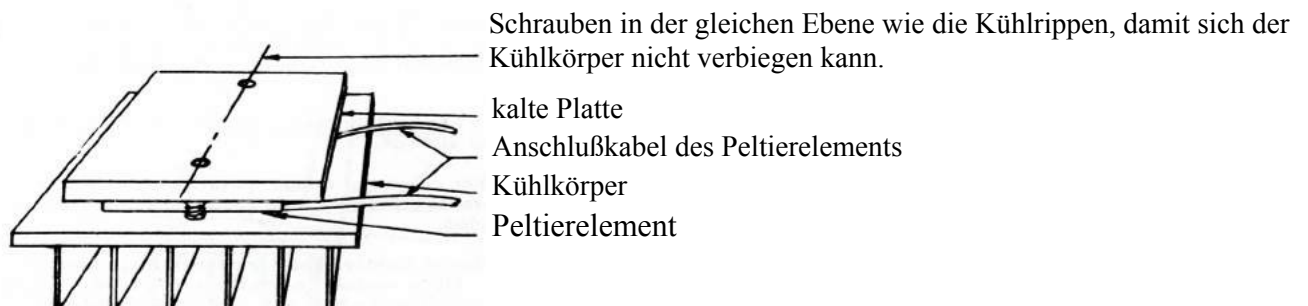
Müssen zwei oder mehr Peltierelemente im Lötverfahren auf einen Kühlkörper aufgebracht werden, dann sollten die Bauelemente ungelötet mit zweiseitigem Klebeband auf einer Basisplatte aus Metall oder Graphit befestigt werden. Dadurch ist gewährleistet, daß die Peltierelemente gleichzeitig und plan auf den Kühlkörper aufgebracht werden.

Achtung :

Bei den Standard - Peltierelementen dürfen 130°C nicht überschritten werden.

Bitte achten Sie auf eine staubfreie Umgebung. Ein Sandkorn oder Fussel kann großen Schaden anrichten.

Sollen Peltierelemente mittels Wärmeleitpaste montiert werden (schlechterer Temperaturübergang als bei Lötverbindung), so darf nicht einseitig oder zu fest angezogen werden.



Wärmeübergangsgleichungen :

Mit diesen Gleichungen können thermische Anforderungen verschiedener Kühl- und Heizanwendungen **geschätzt** werden. Da der Wärmetübergang jedoch sehr komplex ist, sind die Ergebnisse eben nur Schätzungen.

Wärmeableitung einer offenen Oberfläche zur Umgebung durch Konvektion :

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

wobei : Q Wärmeableitung in W

h Wärmeübergangskoeffizient in $W / (m^2 \cdot ^\circ K)$

A Oberfläche in m^2

ΔT Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Umgebung in $^\circ K$

Wärmeableitung durch die Wände eines isolierten Behälters :

$$Q = (A \cdot \Delta T \cdot K) / \Delta X$$

wobei : Q Wärmeableitung in W

A äußere Oberfläche des Behälters in m^2

ΔT Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenseite des Behälters in $^\circ K$

ΔX Dicke der Isolierung in m

K thermische Leitfähigkeit in $W / (m \cdot ^\circ K)$

Benötigte Zeit zum Ändern der Temperatur eines Objekts :

$$T = \frac{m C_p \Delta T}{Q}$$

wobei : T Zeitintervall in Sekunden

C_p durchschnittliche spezifische Wärme des Materials in $J / (kg \cdot ^\circ K)$

m Gewicht des Objekts in kg

ΔT Temperaturänderung des Materials in $^\circ K$

Q zugeführte bzw. abgeführte Wärme in W

Bemerkung : Wenn ΔT sich ändert, führen thermoelektrische Kühler die Wärme nicht mit einer konstanten Rate ab oder zu. Der durchschnittliche Wert von Q kann folgendermaßen angenähert werden :

$$Q = \frac{Q(\Delta T_{\max}) + Q(\Delta T_{\min})}{2}$$

Verschiedene Umrechnungen :

1 Watt = 3.412 BTU / hr

$$T_{\circ F} = \left(\frac{9}{5} \cdot \frac{t_{\circ C}}{\circ C} + 32\right) \circ F$$

$$T_{\circ C} = \frac{5}{9} \left(\frac{t_{\circ F}}{\circ F} - 32\right) \circ C$$

$$T_{\circ K} = \left(\frac{t_{\circ C}}{\circ C} + 273\right) \circ K$$

1 g = 0.002205 lb

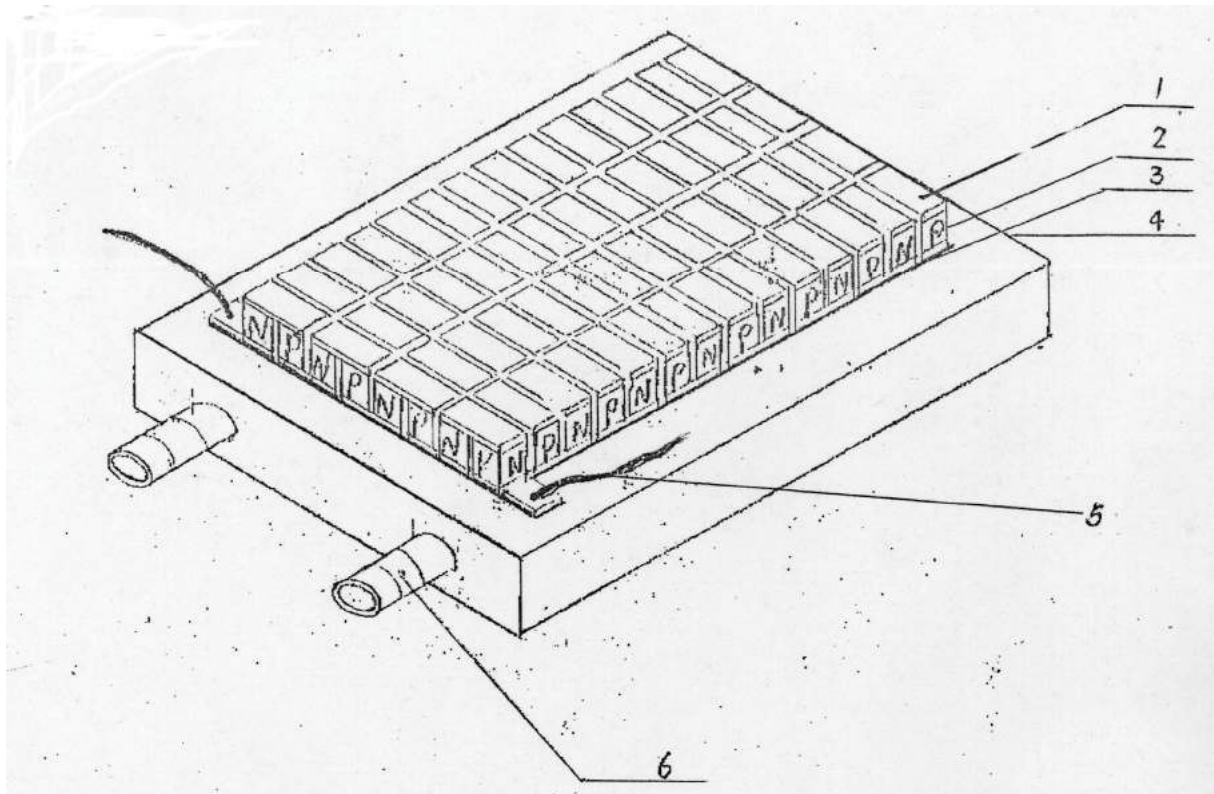
1 m = 3.28 ft

1 BTU/(lb°F) = 4184J/(kg°K)

1BTU/(hr·ft·°F) = 1.73 W/(m°K)

Typische Eigenschaften verschiedener Materialien :

Material	Dichte p in kg / m^3	Wärmeleitfähigkeit K in $W / (m \cdot ^\circ K)$	Spezifische Wärme Cp in $J / (kg \cdot ^\circ K)$
Luft	1.183	0.026	29.709
Aluminium	2701.803	204.14	26.490
Bakelit	1270.967	0.232	47.039
Messing	8473.11	110.72	10.151
Kupfer	8936.733	385.79	11.388
Glaswolle	199.838	0.04	19.806
Eisen / Stahl	7753.695	51.9	13.617
Nickel	8888.772	89.96	13.245
Polyuretanschaum	28.777	0.026	-
Gummi	959.22	0.156	59.418
Rostfreier Stahl	7993.5	17.3	13.617
Zinn	7290.072	64.01	6.684
Wasser	997.589	0.606	123.787



1. Kupferbrücke
2. Thermopaare N.P.
3. Epoxykunstharz
4. Wasserbehälter
5. Kupferdraht
6. Wasseranschluß (Serie TEM1 mit Wasserkühlung,
Serie TEC1 mit Luftkühlung)

TEM1-9525 mit $I_{\max} = 25\text{A}$, $U = 8.5\text{V}$,
 Abmessungen : 150 x 90 x 23mm
 Wasserkühlung