

# Referat Kühlkörper

Projektlabor SS 2002

1	Wärmeübertragung .....	2
1.1	Allgemeines .....	2
1.2	Konvektion .....	2
1.2.1	Eigenkonvektion .....	2
1.2.2	Fremdkonvektion .....	2
2	Kühlkörper .....	3
2.1	Definition.....	3
2.2	Kühlarten .....	4
2.2.1	Natürliche Kühlung .....	4
2.2.2	Verstärkte Kühlung .....	4
2.2.3	Siedekühlung.....	5
2.2.4	Peltierelement .....	6
2.3	Berechnung eines Kühlkörpers.....	7
2.3.1	Verlustleistung .....	7
2.3.2	Der Wärmewiderstand.....	7
2.3.3	Thermisches Ersatzschaltbild .....	7
2.3.4	Der transiente thermische Widerstand .....	8
2.3.5	Einflüsse auf den Wärmewiderstand .....	9
2.3.6	Beispiel: FET BUZ11 .....	10
2.3.7	Alutronics Rechner .....	11
3	Quellen .....	12

# 1 Wärmeübertragung

## 1.1 Allgemeines

Die Wärmeübertragung in einem Kühlsystem kann als Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Konvektion vor sich gehen.

Bei der Wärmeleitung (in Gasen, Flüssigkeiten und in festen Stoffen) wird die Wärme von Molekül zu Molekül weitergeleitet.

Bei der Wärmestrahlung wird die Wärme ohne materiellen Träger durch elektromagnetische Wellen (vorwiegend im infraroten Bereich) übertragen. Wärmestrahlung ist die einzige Wärmeübertragungsart, die Vakuum durchdringen kann.

## 1.2 Konvektion

Bei der Konvektion erfolgt der Wärmetransport mittels Strömung, also bewegten Materieteilchen, von Flüssigkeiten und Gasen.

### 1.2.1 Eigenkonvektion

Die Eigenkonvektion entsteht durch die Bewegung eines Mediums z.B. Luft, Wasser aufgrund von Dichteunterschieden ohne fremde Einwirkung (Konvektion durch Auftrieb).

### 1.2.2 Fremdkonvektion

Bei der Fremdkonvektion oder der erzwungenen Konvektion wird die Luftbewegung von einem Lüfter/Ventilator oder bei Flüssigkeiten von einer Pumpe erzeugt. Damit lassen sich in der Regel höhere Strömungsgeschwindigkeiten und damit eine bessere Wärmeableitung erreichen. Besonders bei geringer Fremdbelüftung sollte die Fremdkonvektion die Eigenkonvektion unterstützen.

## 2 Kühlkörper

### 2.1 Definition

Ein Kühlkörper ist ein Bauteil zur Verbesserung der Wärmeableitung und damit der Temperaturabsenkung einer Wärmequelle, z.B. ein Halbleiter oder ein Leistungswiderstand. Es gibt unterschiedliche Arten von Kühlkörpern entsprechend der verwendeten Halbleiter und der jeweiligen Applikation.

Gleichzeitig kann ein Kühlkörper auch als mechanisches Element, z.B. als ein Gehäuse dienen. Ein Maß für das Wärmeableitvermögen eines Kühlkörpers ist der thermische Widerstand  $R_{TH}$ .

## 2.2 Kühlarten

### 2.2.1 Natürliche Kühlung

Bei der natürlichen Kühlung wird die Verlustwärme durch natürlichen Luftzug abgeführt (Luftselbstkühlung). Der Kühlkörper gibt die Wärme durch (freie) Konvektion und Strahlung an die Umgebung ab. Konvektion und Strahlung sind temperaturabhängig. Deshalb nimmt der Wärmewiderstand eines Kühlkörpers bei Luftselbstkühlung mit steigender Verlustleistung ab. Eine möglichst ungehinderte Zu- und Abströmung der Kühlluft muß gegeben sein (möglichst senkrechte Kühlkörper).

Ein Beispiel für die natürliche Kühlung ist der Lamellenkühlkörper.

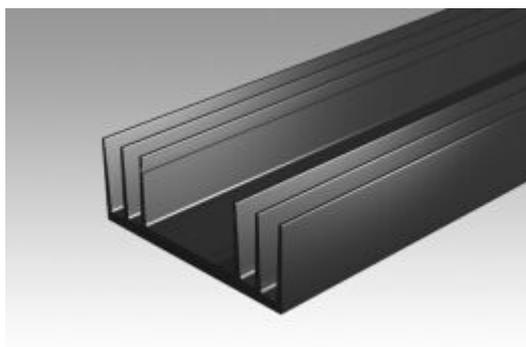


Abbildung 1

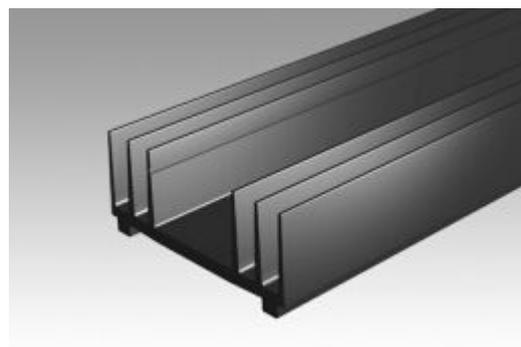


Abbildung 2

### 2.2.2 Verstärkte Kühlung

Bei der verstärkten Kühlung wird zwischen Fremdlüftung und Wasserkühlung unterschieden. Bei der Fremdlüftung wird die Kühlluft durch einen Lüfter bewegt (meist zwischen den Kühlrippen durchgesaugt). Der Wärmewiderstand des Kühlkörpers hängt von der Geschwindigkeit der an den Kühlkörpern vorbeiströmenden Kühlluft ab. Höhere Luftgeschwindigkeit (bis 12 m/s) ermöglicht die Ableitung einer höheren Verlustleistung.

Mit Wasserkühlung wird ein wesentlich niedrigerer äußerer Wärmewiderstand erreicht. Auch bei Wasserkühlung nimmt der Wärmewiderstand des Kühlers mit zunehmender Kühlmittelgeschwindigkeit ab. Das Kühlwasser wird durch Kühldosen (bei Parallelbetrieb mehrerer Halbleiterventile auch durch langgestreckte

Kupfer- oder Aluminium-Hohlschienen) zugeführt, auf die Siliziumdioden oder Thyristoren montiert sind.

Bei Wasserkühlung wird die Verlustwärme unmittelbar durch Frischwasser abgeführt. Bei mittelbarer Kühlung überträgt ein Wärmeträger (Luft, Öl oder andere isolierende Flüssigkeit, Wasser) die Verlustwärme in einem geschlossenen Kreislauf über einen

Wärmeaustauscher oder über das Gehäuse des Stromrichtergerätes an das Kühlmittel. Der Wärmeträger kann sich durch natürlichen thermischen Auftrieb bewegen oder er wird durch einen Lüfter oder eine Pumpe umgewälzt.

### 2.2.3 Siedekühlung

Als Möglichkeit zur Kühlung bzw. zum Wärmetransport wird auch die Siedekühlung eingesetzt.

Dabei wird eine Sonderform der Konvektion, der an eine bewegte Masse gebundene Wärmetransport aufgrund von Änderungen des Aggregatzustandes, benutzt.

Als Beispiel für eine solche Kühlung dient die sogenannte Heat Pipe

#### Heat Pipe

Hier wird in einem geschlossenen Rohr auf einer Seite eine Flüssigkeit (z.B. Wasser) verdunstet und auf der anderen Seite wieder kondensiert. Der Rücktransport der Flüssigkeit erfolgt mittels Kapillarwirkung mit einem Maschennetz oder einer entsprechenden Innenverrippung des Rohres. Dabei wird die Verdunstungswärme transportiert.

Es ergibt sich ein sehr effektiver Wärmetransport im Vergleich zu einer Wärmeleitung in einem festen Material. Eine heatpipe arbeitet nur in einem ganz bestimmten Temperaturbereich und muss für diese Anwendung ausgelegt werden.

Eine heatpipe ersetzt keinen Kühlkörper, sondern dient dem Wärmetransport bzw. verbessert die Wärmeverteilung und das dynamische Verhalten.

Anwendungen bieten sich an bei:

- Platzmangel unmittelbar an der Wärmequelle
- punktförmigen Wärmequellen um eine effektive Wärmeverteilung zu erreichen
- geschlossen Gehäusen um die Wärme durch entsprechende Dichtungen nach aussen zu bringen
- kurzzeitigen Wärmepulsen -bewegten Teilen oder Montagen
- Gewichtsproblemen /Leichtbauweisen

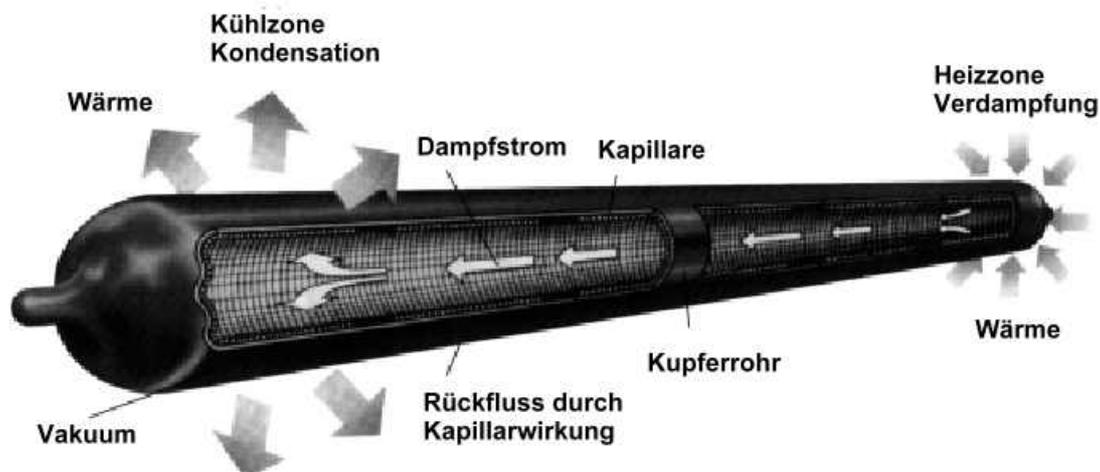


Abbildung 3

### **2.2.4 Peltierelement**

Ein Peltierelement erzeugt aus einem elektrischen Strom ein Temperaturgefälle, d.h. eine Seite des Elementes erwärmt sich gegenüber der Umgebung, die andere Seite kühlt sich ab. Es können Temperaturen auch unterhalb der Umgebungstemperatur (Kühlschrank) erzeugt werden.

Für diese „Wärmetrennung“ muß eine zusätzliche elektrische Energie in das Peltier-Element gesteckt werden, die an der Warmseite mit abgeführt werden muß. Der Peltiereffekt stellt die Umkehrung des Thermoeffektes dar: Zwischen zwei Kontaktstellen unterschiedlicher Metalle und unterschiedlicher Temperatur entsteht eine Thermospannung.

## 2.3 Berechnung eines Kühlkörpers

### 2.3.1 Verlustleistung

Beim Stromdurchgang durch den Kanal und die anderen Kristallbahnen wird elektrische Energie in Wärme umgesetzt.

Die in Wärmeleistung umgesetzte Verlustleistung  $P_{TOT}$  z.B. eines Feldeffekttransistors ist das Produkt aus Drainspannung  $U_{DS}$  und Drainstrom  $I_D$ .

$$P_{TOT} = U_{DS} \cdot I_D \quad (1)$$

### 2.3.2 Der Wärmewiderstand

Der Wärmewiderstand ist definiert als das Verhältnis des Temperaturanstieges bei einer zugeführten Leistung und dient als Mass für das Wärmeabgabevermögen von Kühlkörpern und deren Vergleichbarkeit.

Je kleiner der Wärmewiderstand, je geringer ist der zu erwartende Temperaturanstieg und je „besser“ ist ein Kühlkörper. Der Wärmewiderstand wird angegeben in K/W [Kelvin /Watt]. Kühlkörper und Halbleiter bilden eine Funktionseinheit, die analog zum Ohmschen Gesetz in der Elektrotechnik dargestellt werden kann als thermisches Ersatzschaltbild.

### 2.3.3 Thermisches Ersatzschaltbild

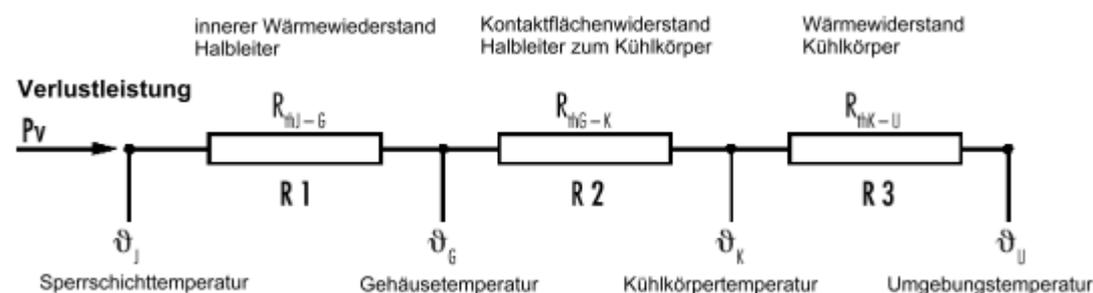


Abbildung 4

#### Gliederung in folgende Bereiche:

- Einspeisung der Verlustleistung ( $P_v$ ) wird umgesetzt in den Wärmestrom ( $Q$ ).
- Wärmeleitung von der Sperrschicht auf die Montagefläche des Bauteils.
- Wärmeübergabe von der Montagefläche des Bauteils auf die Montagefläche des Kühlkörpers.
- Wärmeabgabe des Kühlkörpers an das umgebene Medium.

### Berechnung des erforderlichen Wärmewiderstandes bei gegebener Verlustleistung und dem zulässigen Temperaturgefälle:

$$R_{thK} = \frac{\vartheta_{jmax} - \vartheta_u}{P_V} - (R_{thjG} + R_{thGK}) = \frac{\Delta\vartheta}{P_V} - (R_{thjG} + R_{thGK}) \quad (2)$$

$R_{thK}$  = Wärmewiderstand Kühlkörper in K/W

$\vartheta_{max}$  = Maximale Sperrschicht (junction)Temperatur des Halbleiters in °C (aus Datenblatt)

$\vartheta_u$  = Umgebungstemperatur in °C

$P_V$  = der Wärmequelle zugeführte Verlustleistung in W

$R_{thG}$  = Innerer Wärmewiderstand Sperrschicht (junction) zum Gehäuse des Halbleiters in K/W

$R_{thGK}$  = Wärmeübergangswiderstand an den Montageflächen in K/W (läßt sich mittels Wärmeleitpaste auf einen minimalen Wert verringern). Bei isolierter Montage sind die spez. Wärmewiderstände der Isoliermaterialien zu berücksichtigen

$\Delta\vartheta$  = Temperaturdifferenz in K

### 2.3.4 Der transiente thermische Widerstand

Die oben gezeigte Ersatzschaltung und Gleichung (2) berücksichtigt nicht das Wärmespeichervermögen. Sie ist daher für den Impulsbetrieb nur bedingt anwendbar.

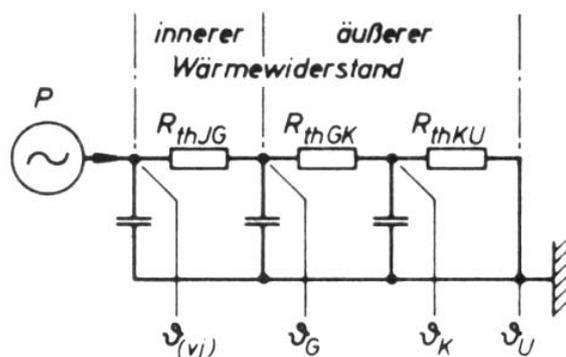


Abbildung 5

Die Abbildung 5 zeigt das Ersatzschaltbild für den Impulsbetrieb, wobei das Wärmespeichervermögen durch Wärmekapazitäten berücksichtigt wird. Es

ergibt sich ein Kettenleiter mit thermischen RC-Gliedern. Jedes RC-Glied hat eine eigene thermische Zeitkonstante:

$$\tau_n = R_{(th)n} C_{(th)n} \quad (3)$$

Ein solcher thermischer Kettenleiter aus RC-Gliedern kann ähnlich wie in elektrischen Schaltkreisen berechnet werden. Dazu wird die in Abbildung 3 dargestellte thermische Ersatzschaltung meist in eine Reihenschaltung von thermischen RC-Gliedern umgeformt.

Es ergibt sich für den sogenannten transienten Wärmewiderstand:

$$Z_{(th)t} = \sum_{n=1}^{n=m} R_{(th)n} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}} \right) \quad (4)$$

### 2.3.5 Einflüsse auf den Wärmewiderstand

#### Einfluss des thermischen Übergangswiderstandes

Dem thermischen Kontakt zwischen Halbleitergehäuse und Montagefläche des Kühlkörpers ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Er ist abhängig von den Oberflächengüten (Rauhtiefe), Ebenheiten, Anpressdruck und verwendeten Isolier- und Füllmaterialien. Lufteinschlüsse zwischen den Montageflächen können durch die Verwendung von Wärmeleitpaste beseitigt werden. Dadurch lässt sich der Wärmeübergangswiderstand ( $R_{thGK}$ ) verringern. Die Paste darf aber nur so dick wie unbedingt nötig (Vermeidung von Lufteinschlüssen) aufgetragen werden.

#### Einfluss der Oberflächenfarbe eines Kühlkörpers

Der Einfluss des Strahlungsanteils (schwarze Oberfläche) eines Kühlkörpers auf dessen Wärmewiderstand wird oft falsch eingeschätzt. Eine allgemeine Regel lässt sich nicht ableiten. Ein Rippenkühlkörper strahlt im wesentlichen nur über seine Umrissfläche Wärme ab. Die Rippenzwischenräume sind meist zu eng, als dass hier Strahlung nach aussen dringt und es findet nur ein Strahlungsaustausch zwischen den gegenüberliegenden Rippenflächen statt.

Der Strahlungsanteil steigt also nicht proportional mit der für die Konvektion zur Verfügung stehenden Fläche an. Der prozentuale Strahlungsanteil an der Wärmeabgabe ist bei einer einfachen Kühlfläche wesentlich höher als bei einem vollverrippen Kühlkörper.

Die gängigen Kühlkörper sind optimiert für Konvektion und nicht für Strahlung.

#### Einfluss der Konvektionseigenschaften

Mittels Fremdbelüftung kann der Wärmewiderstand eines Kühlkörpers verringert werden. Ist der Wärmewiderstand für freie Konvektion bekannt, so kann für eine bestimmte überströmte Kühlkörperlänge bei unverändertem

Temperaturgefälle der Wärmewiderstand bei unterschiedlichen Anströmgeschwindigkeiten errechnet werden.

### 2.3.6 Beispiel: FET BUZ11

Gesucht Wärmewiderstand  $R_{thK}$  für den Kühlkörper in K/W.

Aus dem Datenblatt erfahren wir:

$$\vartheta_{max} = 150 \text{ °C}$$

$$\vartheta_u = 25 \text{ °C}$$

$P_v$  = unsere Verlustleistung in W

$$R_{thG} = \leq 1.67 \text{ K/W}$$

$$R_{thGK} = 1 \text{ K/W}$$

Daraus ergibt sich folgende Rechnung:

$$R_{thK} = \frac{150^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{P_v} - 1,67 \text{ K/W} - 0,5 \text{ K/W}$$

Interessant ist auch dieser Wert:

$$R_{thja} \leq 75 \text{ K/W}$$

Dass heisst, ohne entsprechenden Kühlkörper beträgt der Wärmewiderstand zur Umgebung 75 K/W – ein extrem hoher Wert. Hierin ist auch die Notwendigkeit eines Kühlkörpers begründet.

### 2.3.7 Alutronics Rechner

Der von der Firma Alutronics programmierte Rechner erleichtert wesentlich die Dimensionierung eines Kühlkörpers.

**RthK-Rechner**

**ALUTRONIC** Solutions for cool results

$\theta_j$   80 100 120 140 160

$R_{thjG}$   0 1 2 3 4

$P_v$   -20 0 +20

$\theta_u$   0 10 20 30 40 50 60 70 80

$R_{thGK}$   0 1 2 3 4

Benötigter max. Wärmewiderstand des Kühlkörpers  **K/W**

Temperaturerhöhung des Kühlkörpers   **$\Delta\theta$**

Maximale Kühlkörpertemperatur   **$^{\circ}\text{C}$**

Abbildung 6

### 3 Quellen

1. [www.alutronics.de](http://www.alutronics.de)
2. Grundlagen der Leistungselektronik, Dr.-Ing. Klemens Heumann, Professor an der TU Berlin, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1989
3. Bauelemente (Elektronik 2) Klaus Beuth, Vogel Buchverlag, 1997
4. Grundlagen der Elektrotechnik 1A, Prof. Dr.-Ing. D. Naunin, 2000