

## Inhalt

- 1) Wärmeübertragung
- 2) Kühlkörper – Definition
- 3) Verlustleistung
- 4) Wärmewiderstand
- 5) Kühlarten
- 6) Berechnung eines Kühlkörpers
- 7) Einflüsse auf den Wärmewiderstand
- 8) Rechenbeispiel
- 9) Verringerung durch Fremdlüftung

# 1.) Wärmeübertragung

- Wärmeleitung: von Molekül zu Molekül
- Wärmestrahlung: durch elektromagnetische Wellen
- Konvektion: Strömung von Teilchen
  - Eigenkonvektion (Strömung durch Dichteunterschiede)
  - Fremdkonvektion (Strömung durch ext. Quellen)

## 2.) Kühlkörper

### Definition

Ein Kühlkörper ist ein Bauteil zur Verbesserung der Wärmeableitung und damit zur Temperaturabsenkung einer Wärmequelle. Gleichzeitig kann ein Kühlkörper auch als mechanisches Element dienen.

## 3.) Verlustleistung

- Wenn Strom durch Leiterbahnen fließt wird unter anderem elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt.
- Die in Wärmeleistung umgesetzte Verlustleistung errechnet sich wie folgt:

$$P_{tot} = U * I$$

## 4.) Wärmewiderstand

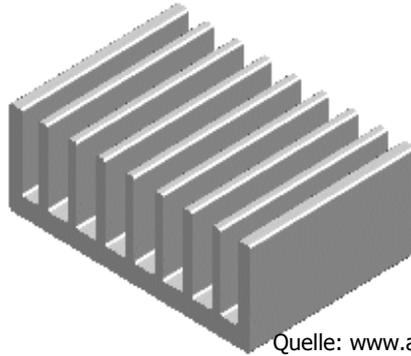
- Ist das Verhältnis des Temperaturanstiegs zur zugeführten Leistung
- Dient als Maß des Wärmeabgabevermögens von Kühlkörpern
- Je kleiner der Wärmewiderstand desto geringer ist der zu erwartende Temperaturanstieg  
→ desto besser ist der Kühlkörper
- Einheit: K/W [Kelvin/Watt]

## 5.) Kühlarten

- 5.1) Passive Kühlung
- 5.2) Aktive Kühlung
- 5.3) Siedekühlung
- 5.4) Peltiereffekt

## 5.) Kühlarten

### 5.1) Natürliche Kühlung



Quelle: [www.alutronic.de](http://www.alutronic.de)

- Kühlung durch natürlichen Luftzug
- Kühlkörper gibt Verlustwärme durch Konvektion und Strahlung ab
- Da Konvektion und Strahlung temperaturabhängig → nimmt der Wärmewiderstand bei steigender Temperatur zu

## 5.) Kühlarten

### 5.2) Verstärkte Kühlung

- Unterteilt in zwei Arten:
  - 1) Fremdlüftung
  - 2) Wasserkühlung

## 5.) Kühlarten

### 5.2) Verstärkte Kühlung

#### 5.2.1) Fremdlüftung



Quelle: [www.alutronic.de](http://www.alutronic.de)

- Kühlluft wird mit Lüfter durch Kühlrippen durchgesaugt
- Der Wärmewiderstand hängt von der Geschwindigkeit der durchströmenden Luft ab (je schneller desto mehr Verlustleistung kann abtransportiert werden)

## 5.) Kühlarten

### 5.2) Verstärkte Kühlung

#### 5.2.2) Wasserkühlung

- Hat einen wesentlich geringeren Wärmewiderstand als die Fremdlüftung
- Wärmewiderstand nimmt mit zunehmender Kühlmittelgeschwindigkeit ab
- Verlustwärme wird durch Wasser abgeführt
- Das Wasser kann sich sowohl durch den natürlich thermischen Auftrieb als auch durch eine Pumpe durch den Kreislauf bewegen



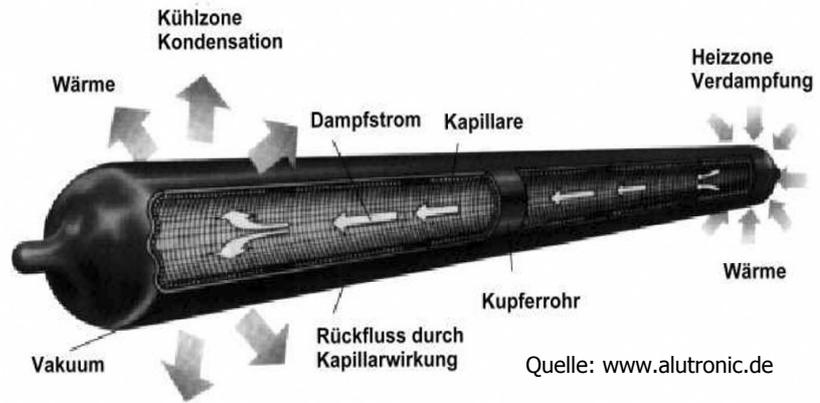
Quelle: Wikipedia

## 5.) Kühlarten

### 5.3) Siedekühlung

Erklärt am Beispiel einer Heatpipe

- Wasser verdunstet auf der einen Seite und kondensiert auf der anderen wieder
- Das kondensierte Wasser wird mittels Kapillarwirkung wieder zurückgeführt
- Sehr effektiver Wärmetransport
- Die Heatpipe dient aber nur zum Wärmetransport und arbeitet nur in einem bestimmten Temperaturbereich



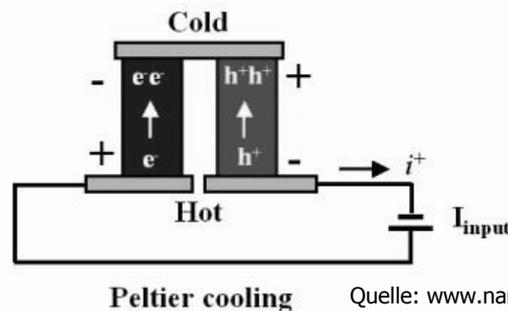
02.02.06

Florian Unverferth

12

## 5.) Kühlarten

### 5.4) Peltiereffekt



- Tritt auf wenn in zwei unterschiedlichen Metalle bzw. Halbleitern Strom fließt → an der Kontaktstelle kühlt sich der eine Leiter ab während der andere sich erwärmt
- Können auch Temperaturen unterhalb der Raumtemperatur erzeugen

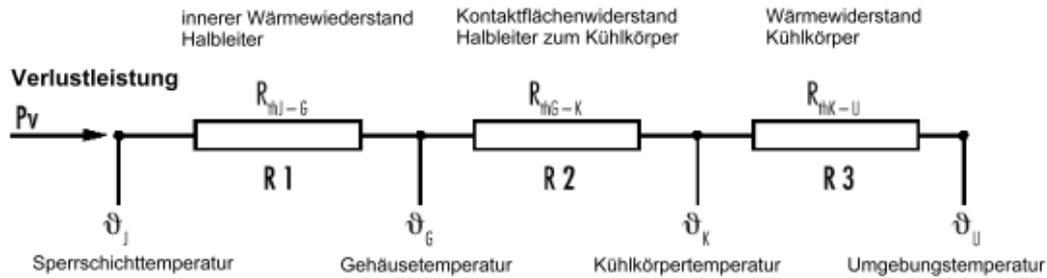
02.02.06

Florian Unverferth

13

## 6.) Berechnung eines Kühlkörpers

## 6.1) Thermisches Ersatzschaltbild



Quelle: Projektlaborhomepage/Alte Projekte

- $R_{thK}$  ist der Wärmewiderstand
- $\vartheta_{jmax}$  ist die maximale Sperrschichttemperatur des Halbleiters
- $R_{thG-K}$  kann durch Wärmeleitpaste verringert werden
- $\vartheta_u$  ist die Umgebungstemperatur (evtl. 10°-30° mehr)

$$R_{thK} = \frac{\vartheta_{jmax} - \vartheta_u}{P_v} - (R_{thJ-G} + R_{thG-K}) = \frac{\Delta \vartheta}{P_v} - (R_{thJ-G} + R_{thG-K})$$

## 6.) Berechnung eines Kühlkörpers

## 6.1) Thermisches Ersatzschaltbild

- $\vartheta_{jmax}$  ist die maximale Sperrschichttemperatur des Halbleiters lässt sich für die Praxis durch folgende Gleichung ausreichend berechnen:

$$\vartheta_{jmax} = \vartheta_G + P_v * R_{thG}$$

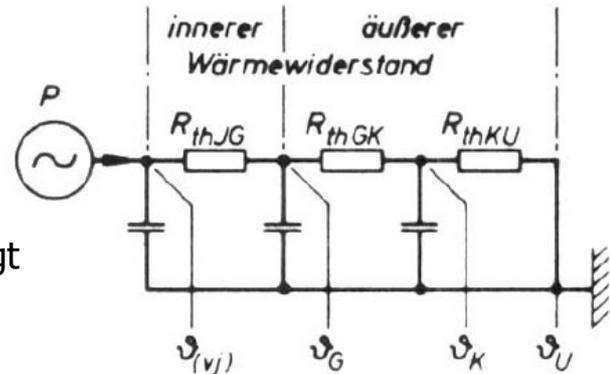
- Für  $\vartheta_{jmax}$  sollte man einen Abschlag von 20°-30° machen

## 6.) Berechnung eines Kühlkörpers

## 6.2) Transienter thermischer Widerstand

- Berücksichtigt jetzt auch das Wärmespeichungsvermögen  
→ geeignet für den Impulsbetrieb
- Wärmespeichungsvermögen wird durch Kapazitäten berücksichtigt
- Kette von RC-Gliedern mit:

$$\tau_n = R_{thn} C_{thn}$$



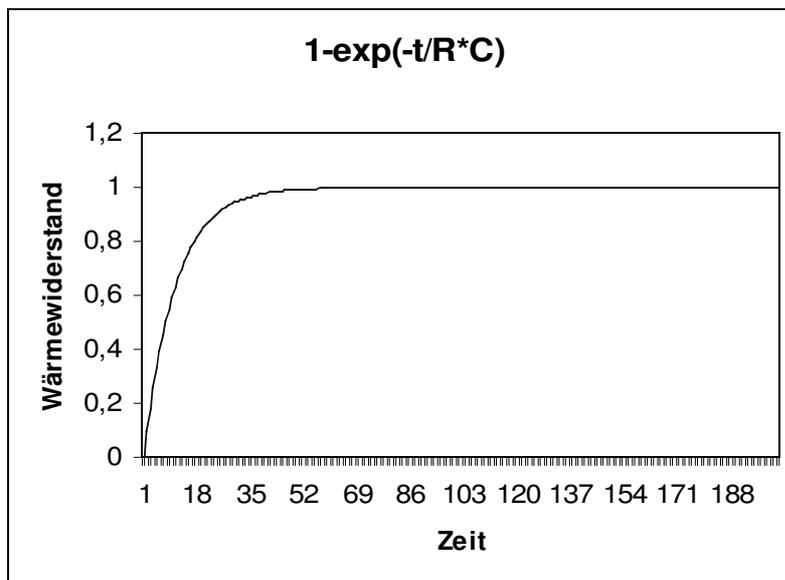
Quelle: Projektlaborhomepage/Alte Projekte

- Der gesamte thermische Widerstand lässt sich wie folgt berechnen:

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

## 6.) Berechnung eines Kühlkörpers

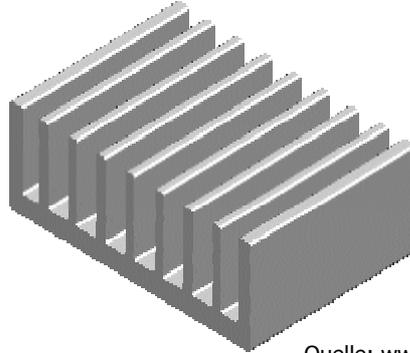
## 6.2) Transienter thermischer Widerstand



## 7.) Einflüsse auf den Wärmewiderstand

### Einfluss des thermischen Übergangswiderstandes

- Abhängig von der Oberfläche, Anpressdruck und Füllmaterialien



Quelle: [www.alutronic.de](http://www.alutronic.de)

### Einfluss von Kühlrippen

- Strahlt im wesentlichen nur seine Umrisswärme ab
- Da Rippen zu eng → strahlt nicht nach Außen, nur an die nächste Rippenfläche → geringe Wärmestrahlung
- Rippenkühlkörper sind optimiert für Konvektion

02.02.06

Florian Unverferth

18

## 7.) Einflüsse auf den Wärmewiderstand

### Effektive Rippenhöhe

- Rippenhöhen, die über die effektive Rippenhöhe hinausgeht trägt nicht mehr wesentlich zur Wärmeableitung bei

$$h_{eff} \approx \frac{\lambda}{\alpha_k * b}$$

- $h_{eff}$  effektive Rippenhöhe
- $\lambda$  spezifische Wärmeleitfähigkeit
- $\alpha_k$  Wärmeübergangskoeffizient aufgrund von Konvektion (entspricht dem Wärmeleitwert pro Flächeneinheit)
- $b$  Rippenbreite

02.02.06

Florian Unverferth

19

## 8.) Rechenbeispiel anhand eines TO 3-Leistungstransistors

Gegeben aus Datenblatt:

- $P_v = 60W$
- $\vartheta_{jmax} = 180^\circ C$  ( $-20^\circ C = 160K$ )
- $\vartheta_u = 40^\circ C$  ( $= 40K$ )
- $R_{thJ-G} = 0,6K/W$
- $R_{thG-K} = 0,4K/W$  (Mittelwert)



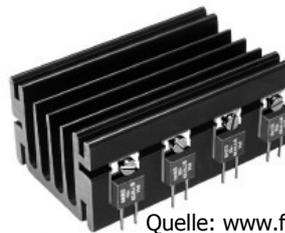
Quelle: www.fischerelektronik.de

$$R_{thK} = \frac{\vartheta_{jmax} - \vartheta_u}{P_v} - (R_{thJ-G} + R_{thG-K}) = \frac{160K - 40K}{60W} - (0,6 K/W + 0,4 K/W) = 1,0 K/W$$

## 8.) Rechenbeispiel anhand von 3 TO 3-Leistungstransistoren

Gegeben aus Datenblatt:

- $P_v = 60W$
- $\vartheta_{jmax} = 180^\circ C$  ( $-20^\circ C = 160K$ )
- $\vartheta_u = 40^\circ C$  ( $= 40K$ )
- $R_{thJ-G} = 0,6K/W$
- $R_{thG-K} = 0,4K/W$  (Mittelwert)



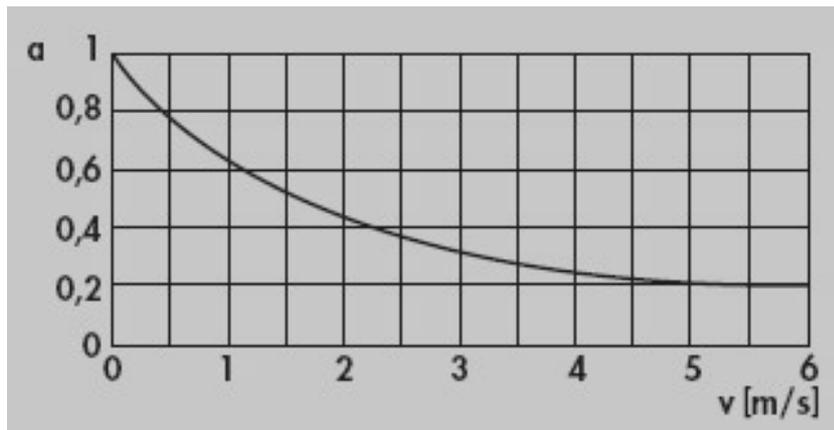
Quelle: www.fischerelektronik.de

$$\frac{1}{(R_{thJ-G} + R_{thG-K})} = \frac{1}{(0,6 K/W + 0,4 K/W)} + \frac{1}{(0,6 K/W + 0,4 K/W)} + \frac{1}{(0,6 K/W + 0,4 K/W)} = 3K/W$$

$$\Rightarrow (R_{thJ-G} + R_{thG-K}) = 0,33 K/W$$

$$R_{thK} = \frac{\vartheta_{jmax} - \vartheta_u}{P_v} - (R_{thJ-G} + R_{thG-K}) = \frac{160K - 40K}{60W} - (0,33 K/W) = 1,67 K/W$$

## 9.) Verringerung durch Fremdlüftung



Quelle: [www.fischerelektronik.de](http://www.fischerelektronik.de)

$$R_{thKf} = a * R_{thK}$$

- $R_{thKf}$  : Wärmewiderstand mit Fremdlüftung
- $R_{thK}$  : Wärmewiderstand ohne Fremdlüftung
- a : Proportionalitätsfaktor

## Quellen:

- [www.fischerelektronik.de](http://www.fischerelektronik.de)
- [Projektlaborhomepage/Alte Projekte](http://Projektlaborhomepage/Alte%20Projekte)
- [www.alutronic.de](http://www.alutronic.de)
- Wikipedia
- [www.nanomikado.de/projects.html](http://www.nanomikado.de/projects.html)