

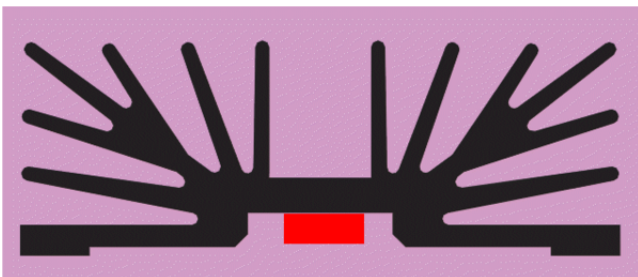
Willkommen in der Mikrocontroller.net Artikelsammlung. Alle Artikel hier können nach dem Wiki-Prinzip von jedem bearbeitet werden. [Zur Hauptseite der Artikelsammlung](#)

# Kühlkörper

*Aus der Mikrocontroller.net Artikelsammlung, mit Beiträgen verschiedener Autoren (siehe Versionsgeschichte)*

Dieser Artikel versteht sich als Unterpunkt zum Artikel [Leistungselektronik](#).

Ein Kühlkörper (engl. *heat sink*) vergrößert die zur Wärmeabgabe vorhandene Oberfläche elektronischer Bauteile. Er wird immer dann benötigt, wenn die Verlustleistung so hoch ist, dass die sich aufgrund der herrschenden Randbedingungen wie Wärmeleitfähigkeit, Luftkonvektion und Umgebungstemperatur, einstellende Bauteiltemperatur den maximal zulässigen Wert übersteigen würde. Ein Kühlkörper kann durch die vergrößerte Oberfläche die Kühlwirkung durch freie Konvektion verbessern oder eine aktive Kühlung durch Belüftung oder Flüssigkeitskühlung ermöglichen. Durch die Verwendung eines Kühlkörpers sinkt der effektive Wärmewiderstand, was die Temperaturerhöhung pro eingetragter Leistung reduziert.



Rippenkühlkörper, Schnittdarstellung

## Inhaltsverzeichnis

- 1 Prinzip
- 2 Wärmewiderstand
- 3 Berechnung des Wärmewiderstands
  - 3.1 Bauteil ohne Kühlkörper
  - 3.2 Bauteil mit Kühlkörper
  - 3.3 Zwangskühlung
- 4 Die Platine als Kühlkörper
- 5 Peltierelement
- 6 Heat pipe
- 7 Flüssigkeitskühlung
- 8 Bauteilmontage auf dem Kühlkörper
- 9 Weitere Hinweise
- 10 Links
- 11 Weblinks
- 12 Quellen

## Prinzip

Das grundlegende Prinzip sieht man an jedem Rippenkühlkörper: An der Stelle, an der das zu kühlende Objekt kontaktieren soll (*auf Skizze rot markiert*), befindet sich eine größere Menge Material, um die punktuell eingeprägte Wärme möglichst verlustarm auf die Fläche des Kühlkörpers zu verteilen. In Computer-Kühlkörpern ist dort oft Kupfer eingepresst (*oft als heat-spreader, Wärmespreizer bezeichnet*), da dessen thermischer Widerstand nochmals günstiger ausfällt als der von Aluminium. Danach folgen viele, nach außen dünner verlaufende Rippen. Nahe der Wärmequelle befindet sich dickeres Material, um einen möglichst hohen Wärmestrom zu ermöglichen (*vgl. höherer Kabelquerschnitt bei Strom*). Ein idealer Kühlkörper besitzt eine unendlich große Oberfläche, bei unendlich kleiner Masse. Grundsätzlich wird bei der Herstellung versucht eine möglichst gute Wärmeabgabe an die Umgebung zu ermöglichen. Viele Kühlkörper werden aus preiswerten **Strangpressprofilen** hergestellt.

## Wärmewiderstand

Die wichtigste Kennzahl eines Kühlkörpers ist der Wärmewiderstand. Er gibt an, um wie viel Kelvin sich die Temperatur zwischen Wärmequelle und Umgebung unterscheidet, wenn eine bestimmte Wärmeleistung abgeführt werden muss. Die Einheit ist **K/W, Kelvin pro Watt**.

(Hinweis: Oft wird fälschlicherweise die Einheit °C/W angegeben, doch Temperaturdifferenzen werden in Kelvin angegeben). Je niedriger der Wärmewiderstand, desto besser der Kühlkörper. Er kann somit die gleiche Wärmeleistung mit einem kleineren Temperaturunterschied abführen. Dadurch bleibt das Bauteil kühler, was der Lebensdauer und Funktionssicherheit zu Gute kommt.

Allgemein gilt die Formel:

$$\Delta T = P_{\theta} \cdot R_{\theta}$$

- $\Delta T$  - Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Umgebung in K
- $P_{\theta}$  - Wärmeleistung in W
- $R_{\theta}$  - Wärmewiderstand in K/W

Der griechische Buchstabe Theta wird als Symbol für Wärmekenngrößen verwendet, denn es geht bei diesen Rechnungen um Wärmewiderstände und Wärmeleistungen, keine elektrischen Widerstände und elektrische Leistungen.

## Berechnung des Wärmewiderstands

Für einen Kühlkörper ist der Wärmewiderstand im Datenblatt angegeben. Diesen rein aus dem Aufbau zu berechnen ist sehr schwierig, auch das Messen ist nicht so einfach. Was man jedoch berechnen kann und muss ist der Wärmewiderstand eines Gesamtaufbaus, d.h. Bauteil + Kühlkörper. Dazu muss man im Wesentlichen zwei Fälle unterscheiden.

### Bauteil ohne Kühlkörper

Ohne Kühlkörper kann ein Bauteil seine Wärme über zwei Wege abgeben. Über das Gehäuse direkt an die Luft (Abstrahlung und Konvektion) oder über die Anschlüsse auf die Platine (Wärmeleitung). Dies alles findet parallel statt, aber je nach Gehäusotyp und Platinengestaltung ist die Verteilung auf die Kühlwege verschieden. Transistoren im Metallgehäuse (z. B. TO-3) oder mit Metallfahne (z. B. TO-220) können recht viel Wärme über das Gehäuse abgeben (Konvektion). Effektive Abstrahlung braucht immer recht hohe Temperaturdifferenzen von 100K und mehr, wie sie meist nur von Leistungswiderständen und Elektronenröhren erreicht werden. Leistungsdioden im Plastikgehäuse hingegen können den Großteil der Wärme nur über die Anschlüsse abgeben. Deshalb sollten diese möglichst kurz sein, und auf der Platine an dicke Leiterbahnen oder gar Kupferflächen angeschlossen werden. Ähnliches gilt für leistungsverstärkte DIL- oder SOIC- [Gehäuse](#), welche oft für [Leistungstreiber](#) oder [MOSFETs](#) verwendet werden. In diesen Fällen sollten die Pins direkt an Kupferflächen **ohne** Wärmefallen ([Thermal Pad](#)) angeschlossen werden, auch wenn

dadurch das **Löten** erschwert wird.

Für die meisten Bauteile ist im Datenblatt der Wärmewiderstand zwischen dem eigentlichen Chip und der Umgebung angegeben.

- $R_{\theta JA}$  - Wärmewiderstand (griechisches Zeichen **Groß-Theta**) zwischen Sperrschicht und Umgebung ohne zusätzlichen Kühlkörper in K/W

Damit kann man direkt in die oben genannte Formel gehen und die Temperaturdifferenz ausrechnen. Die Temperatur der Sperrschicht errechnet sich einfach aus der maximalen Umgebungstemperatur (meist Luft) und dem errechneten Temperaturunterschied.

$$T_J = T_A + \Delta T$$

- $T_J$  - Temperatur der Sperrschicht in °C (engl. "junction")
- $T_A$  - Temperatur der Umgebung in °C (engl. "ambient")
- $\Delta T$  - Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Umgebung in K

## Bauteil mit Kühlkörper

Will man mit einem IC größere Verlustleistungen umsetzen (Linearer Spannungsregler, **Transistor**, etc.) muss meist ein Kühlkörper her. Die jeweiligen Gehäuse besitzen dazu meist eine Kühlfahne, an die man den Kühlkörper anschrauben kann. Bei anderen gibt es Klemmen, die den Kühlkörper fest klemmen. Hier gibt es einiges zu beachten. Der Kühlkörper darf nicht zu schwach angeschraubt werden, sonst ist der Wärmewiderstand zwischen Gehäuse und Kühlkörper zu groß. Er darf aber auch nicht zu stark angeschraubt/angepresst werden, um das Gehäuse nicht zu deformieren. Wichtig ist der Übergang zwischen IC und Kühlkörper. Hier muss bei größeren Leistungen ( $> \approx 5W$ ) Wärmeleitpaste verwendet werden. Ihre Aufgabe ist es, die Luft zwischen den Oberflächen zu verdrängen, welche sich in den mikroskopischen Unebenheiten befindet und den Wärmewiderstand **deutlich** erhöht. Dabei sollte die Schicht möglichst dünn sein, denn die Wärmeleitpaste ist im Vergleich zu Aluminium oder Kupfer ein schlechter Wärmeleiter (trotzdem deutlich besser als Luft). Ein oft verwendetes TO-220 Gehäuse hat eine Kühlfläche von ca.  $1 \text{ cm}^2$ . Wird ein Kühlkörper ohne Wärmeleitpaste aufgeschraubt, und angenommen es entsteht dabei ein **Luftspalt von nur 10µm Breite**, hat dieser einen Wärmewiderstand von **ca. 4K/W**! Mit Wärmeleitpaste wird dieser 150 mal kleiner, also etwa 0,026 K/W groß. In der Praxis ohne Ideale Bedingungen würde dieser Wert schätzungsweise eher in ein Bereich von  $0,75K/W \pm 0,25K/W$  fallen.

	<b>Wärmeleitfähigkeit</b>
--	---------------------------

Material	[W/(m*K)]
Luft	0,026
Wärmeleitpaste	4 - 10
Aluminium	221*
ALMg3	140 - 160
ALMg4,5Mn	120 - 140
ALMgSi1	170 - 220
ALCuMg1	160 - 200
ALCu6,5Mn0,3	95 - 130
Kupfer	370*
Messing MS60	90 - 113
Cu Be 2	92 - 125
Cu Co 2 Be	192 - 239
Cu Cr 1 Zr	167 - 320
Cu Ni 2 Si	67 - 120
Stahl 0,2%C	50
Stahl 8%Cr	21
Zinn	65
Blei	35

- Werte DIN V 4108-4, Achtung: bei den verfügbaren Legierungen sind weit geringere Wärmeleitfähigkeiten zu erwarten!

Für die Berechnung des gesamten Wärmewiderstandes müssen hier drei Widerstände in Reihe betrachtet werden. Der Erste ist im Datenblatt zwischen Chip und Gehäuse angeben (engl. junction to case). Danach kommt der Übergang Gehäuse-Kühlkörper. Dieser ist von der Oberflächengüte und der Wärmeleitpaste abhängig und ist bei einigen Leistungsbauteilen im Datenblatt angegeben, manchmal kann er nur abgeschätzt werden. Ein TO220 Gehäuse mit dünner Schicht Wärmeleitpaste hat hier ca. 0,5-1K/W. Zum Schluss muss noch der Wärmewiderstand des Kühlkörpers addiert werden, dieser ist im Datenblatt

angegeben. Vorsicht, bei größeren Kühlkörpern mit großen Rippen ist die Einbaulage wichtig, damit der Luftstrom frei strömen und gut kühlen kann (freie Konvektion, warme Luft strömt nach oben und kalte strömt unten nach). Die drei Wärmewiderstände werden addiert und über die oben angegebene Formel der Gesamtwärmewiderstand und damit die Temperaturerhöhung der Sperrschicht berechnet. Dabei muss man aufpassen, dass man nicht aus Versehen den Wärmewiderstand ohne Kühlkörper ( $R_{\theta JA}$ ) in die Formel einsetzt!

$$R_{\theta} = R_{\theta JC} + R_{\theta CS} + R_{\theta S}$$

- $R_{\theta}$  - Gesamtwärmewiderstand in K/W
- $R_{\theta JC}$  - Wärmewiderstand zwischen Sperrschicht und Gehäuse (engl. **j**unction - **c**ase)
- $R_{\theta CS}$  - Wärmewiderstand zwischen Gehäuse und Kühlkörper (engl. **c**ase - **h**eat **s**ink)
- $R_{\theta S}$  - Wärmewiderstand des Kühlkörpers (engl. **h**eat **s**ink)

Wird eine Schaltung in einem Gehäuse eingesetzt, muss man dafür sorgen dass die warme Luft abgeführt wird, vor allem in Kunststoffgehäusen. Ansonsten gibt es einen Wärmestau und die Temperatur steigt deutlich!

## Beispiel

Gesucht:

- $R_{\theta S}$  - max. Wärmewiderstand des Kühlkörpers

Gegeben:

- $P_{\theta}$  : 10 W
- $R_{\theta JC}$  : 3 K/W
- $R_{\theta CS}$  : 0,5 K/W
- $T_J$  : 130 °C
- $T_A$  : 40 °C

Rechnung:

Um die Berechnung durchführen zu können, müssen wir zuerst die maximal zulässige Temperaturdifferenz zwischen Sperrschicht und Umgebung festlegen. Je größer man diesen Wert wählt, umso kleiner kann der Kühlkörper sein, aber umso heißer wird auch das Bauteil im Inneren betrieben. Eine Angabe dazu findet man manchmal im Datenblatt (Operating junction temperature). Achtung, manchmal wird nur die zulässige Umgebungstemperatur genannt (Operationg temperature)! Wenn nicht, kann man sich an folgenden Angaben orientieren

- Leistungsbauteile wie **Transistoren**, **TRIACs** etc. sind meist bis 150°C Sperrschichttemperatur ausgelegt, teilweise auch bis 200°C
- Leistungs-LEDs verkraften dauerhaft nur um die 80°C
- Man sollte die maximalen Betriebstemperaturen nicht ausreizen, wenn man eine hohe Lebensdauer und Funktionssicherheit anstrebt und 10-30K unter den Maximalwerten bleiben

$$\Delta T = T_J - T_A = 130^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C} = 90\text{K}$$

$$R_{\theta} = \frac{\Delta T}{P_{\theta}} = \frac{90\text{K}}{10\text{W}} = 9\text{K/W}$$

$$R_{\theta S} = R_{\theta} - R_{\theta JC} - R_{\theta CS} = 9\text{K/W} - 3\text{K/W} - 0,5\text{K/W} = 5,5\text{K/W}$$

Ergebnis:

$$R_{\theta S} \leq 5,5\text{K/W}$$

Der Kühlkörper darf einen maximalen Wärmewiderstand von 5,5 K/W haben, wenn die oben genannten Bedingungen eingehalten werden sollen. Ein Kühlkörper mit einem kleineren Wärmewiderstand hält das Bauteil kühler.

Für eine Reihe von Bauteilen und Kühlkörpern sind die thermischen Werte online verfügbar und berechenbar.<sup>[1]</sup>

## Zwangskühlung

Natürlich muss der Kühlkörper die Wärme auch abführen können. Was aber, wenn der für den Wärmeabtransport benötigte Kühlkörper mechanisch nicht ins Gehäuse paßt oder die entstehende Eigenkonvektion zu gering ist?

Hier kommen die Lüfter zum Einsatz, das Ganze nennt sich dann Zwangskühlung. Der Effekt beruht darauf, dass wesentlich mehr Luft am Kühlkörper vorbeiströmen kann und damit (bei gleicher Temperaturerhöhung des Luftvolumenelementes) insgesamt mehr Wärme abgegeben werden kann.

Durch den Einsatz eines Lüfters lässt sich der effektive Wärmewiderstand eines Kühlkörpers etwa um mehrere Faktoren verbessern, bzw. der Kühlkörper kann in der Größe entsprechend reduziert werden. Dabei sind je nach Einbausituation des Kühlers und des Lüfters Faktoren zwischen 3-10 möglich. Ein typischer Wert, der sich bei durchschnittlich dimensionierten Kühlkörpern ergibt, ist ein Faktor 4-5. Die Temperaturüberhöhung

schrumpft dabei z.B. von 80 Grad auf 20 Grad zusammen. Dies sind jedoch nur Richtwerte für den ersten Entwurf, eine Prüfung durch Messung ist unbedingt erforderlich.

Beim Einsatz eines Lüfters ist auch daran zu denken, daß sowohl die Ansaugöffnung als auch der Kühlkörper verschmutzen und regelmäßig gereinigt werden müssen. Weiterhin erzeugt ein Lüfter natürlich auch Lärm. Je kleiner der Lüfter und je größer die benötigte Luftlieferleistung, umso lauter wird der Lüfter. Umgekehrt kann man aber mit einem großen, eher langsam laufenden Lüfter den Geräuschpegel stark absenken. Letztendlich kann ein Lüfter auch kaputt gehen, womit die Kühlung deutlich verschlechtert wird und das Bauteil überhitzt. Hier empfiehlt sich bei wertvolleren Objekten eine Lüfterüberwachung, wie sie seit längerem bei PCs eingesetzt wird oder das Verbauen mehrerer Lüfter, sodass der Ausfall eines einzigen nicht sofort zu einem Geräteausfall führt.

### **Physikalischer Hintergrund der Zwangskühlung mit Luft**

Luft hat eine Wärmekapazität von ungefähr  $1\text{kJ/kg/K}$  was bedeutet, daß für die Erwärmung von  $1\text{kg}$  Luft um  $1\text{K}$  eine Energiemenge von  $1\text{kJ} = 1000\text{Ws}$  erforderlich ist. D.h. für den kontinuierlichen Abtransport von  $100\text{W}$  Wärme werden mindestens  $100\text{g}$  Luft pro Sekunde benötigt, wenn man diese nur um  $1\text{K}$  erwärmen will. Um also  $100\text{W}$  von einem Kühlkörper abzuführen, der sich hier im Beispiel um  $8\text{K}$  erwärmen darf, sind  $100\text{W} / 8\text{K} = 12,5\text{g}$  Luft pro Sekunde erforderlich. Ein Gramm Luft hat ein Volumen von etwa  $0,77\text{l}$ , d.h. bei  $12,5\text{g}$  muss der Lüfter  $9,6\text{ l/s}$  bzw.  $34,5\text{ m}^3/\text{h}$  liefern, die dann auch durch den gesamten Kühlkörper geblasen werden müssen.

Diese Werte sind jedoch nur theoretisch von Interesse, da die Praxis gezeigt hat, dass die effektive Kühlwirkung sehr stark von den sich einstellenden Mikroturbulenzen am Bauteil abhängt. Diese sind für den Wärmegradienten zwischen Kühloberfläche und Umgebungsluft verantwortlich. Durch eine stark laminare = gleichförmig strömende Luft wird ein Bauteil eher schlecht gekühlt. Bestimmte Bauformen von Bauelementen und Kühlern begünstigen die Turbulenzbildung, behindern damit zwar den Luftstrom, da der Widerstand steigt, kühlen aber letztlich besser. So ist es zu erklären, dass manche Bauteile ohne Kühlung auskommen, da sie die Eigenkonvektion fördern und günstig im Luftstrom sitzen und von einem Kühler weniger profitieren, als andere Problembauteile.

Generell kann man sagen, dass flache, breite Bauteile zunehmend schlechter selbstkühlend sind, je größer sie werden und damit eher einen KK brauchen. FPGAs und Grafikchips sind solche Kandidaten. Hier empfehlen sich teilweise eigene Chipkühler. Auch RAM-Riegel mit sehr flachen Chips können so sehr effektiv kühl gehalten werden.



## Die Platine als Kühlkörper

Bei kleineren Leistungen ( $< 5W$ ) kann man auch die Platine als Kühlkörper benutzen. Dabei muss jedoch die Wärme vom Bauteil möglichst schnell auf eine größere Fläche verteilt werden. Dazu nutzt man große Kupferflächen direkt am Bauteil. Diese werden teilweise beidseitig angebracht. Die Wärme muss man dann jedoch mit vielen Vias von der einen Seite, auf der das Bauteil sitzt, auf die andere geleitet werden. Diese Vias heißen thermische Vias, da sie nicht als elektrische Verbindung sondern als Wärmeleiter dienen. Das funktioniert deshalb so gut, weil die Vias innen mit Kupfer beschichtet sind, welches die Wärme wesentlich besser leitet als das Material der Leiterplatte (FR2, FR4). Verfügt ein SMD-Bauteil über eine sogenannte "heat slug" oder thermal pad auf der Unterseite, muss dieses zur Wärmeableitung unbedingt angelötet werden. Dies ist mit einem normalen Lötkolben möglich, wenn die Platine an dieser Stelle mehrere Durchkontaktierungen mit einem Durchmesser von ca. 1,5mm aufweist. Durch diese Durchkontaktierungen kann genug Lötzinn auf die andere Seite fließen um diese Fläche mit der Platine zu verlöten.

Mit modernen Technologien ist es auch möglich, deutlich größere Wärmeleistungen von der Platine abzuführen. Dazu werden z. B. Platinen mit Aluminium- oder Kupferkern oder auf einen Metallträger laminierte PCBs benutzt (IMS = **I**nsulated **M**etal **S**ubstrat). Diese kommen z. B. bei Hochleistungs-[LEDs](#) zum Einsatz. Für Hobbyzwecke sind sie aber noch wesentlich zu teuer, vor allem bei Einzelstücken.

## Peltierelement

Ein **Peltierelement** arbeitet nach dem **Peltier-Effekt**. Dabei wird in einem Halbleiter durch Stromfluss eine Seite des Elements kalt, die andere heiß. Damit kann man ein kleines Objekt beliebig kühlen oder heizen. Allerdings sind Peltierelemente nur in eher kleinen Abmessungen und Leistung verfügbar (bis einige Dutzend Watt) und deren Effizienz ist auch nicht sonderlich hoch. Die allgemeine Auffassung, die könnten Wärme einfach verschwinden lassen ist falsch. Denn die heiße Seite muss klassisch gekühlt werden, je nach Temperaturunterschied mit mehr als der doppelten Kühlleistung als auf der kalten Seite an Wärme abgeführt wird.

## Heat pipe

Eine **Heat pipe**, auf deutsch Wärmerohr genannt, ist ein Rohr, welches mit einer leicht verdampfenden Flüssigkeit gefüllt ist. Wird ein Ende erhitzt, verdampft die Flüssigkeit und nimmt dabei sehr viel Wärme auf. Der Dampf steigt im Rohr ans andere Ende, kondensiert

dort und gibt dabei seine Wärme wieder ab.

Heat pipes werden auch als Wärmesuperleiter bezeichnet, weil sie Wärme 100-10.000 mal besser leiten als ein massiver Kupferstab mit gleichen Abmessungen.

Auch hier muss gesagt werden, dass eine Heat pipe allein **kein** Kühlsystem ist, denn die Seite, auf der das Wärmetransportmedium wieder kondensiert, muss auch wieder klassisch gekühlt werden. Der grosse Vorteil ist die Abführung großer Wärmemengen auf engstem Raum, wie z. B. bei CPUs in Laptops.

## Flüssigkeitskühlung

Im Bereich der Leistungselektronik werden sehr häufig unterschiedliche Arten von Flüssigkeitskühlungen eingesetzt. Kühlkörper werden dabei entsprechend gestaltet, indem sie von Wasser oder Öl durchflossen werden können oder sie werden mit dem Gehäuse verbunden, welches seinerseits von der Flüssigkeit umgeben ist. Die Flüssigkeit fungiert hierbei oft als Zwischenmedium, das die Wärme in einen Wärmetauscher führt, wo sie dann in die Luft abgegeben wird.

Im PC-Bereich sind seit etwa 20 Jahren Wasserkühlungen erhältlich, wo sie anstelle einer heat pipe eingesetzt werden, um die Wärme am Ort des Entstehens effektiv abzuführen. Dies ist z.B. dann nötig, wenn ein Rechner übertaktet wird, um eine höhere Leistung zu erzielen oder er sehr leise sein soll, um angenehmer arbeiten oder spielen zu können. Dabei wird die sehr hohe Wärmekapazität von Wasser genutzt, um auf kleinem Raum die Wärme von CPU, GPU, Festplatten oder auch dem Netzteil etc. abzuführen und einem Wärmetauscher (Radiator) zuzuführen. Dieser kann sich dann deutlich weiter entfernt vom zu kühlenden Objekt befinden, als ein einfacher, direkt montierter Kühlkörper.

Bei der Verwendung von Wasser statt Luft als Kühlmedium reduziert sich die Durchflussmenge in etwa um den Faktor 4,2, da die Wärmekapazität von Wasser bei ca. 4,182 kJ/kg/K liegt. Da Wasser aber auch eine deutlich höhere Dichte als Luft besitzt (Wasser = 1g/cm<sup>3</sup>; Luft = 1,3mg/cm<sup>3</sup>) kommt noch der Faktor von ~770 dazu, woraus sich ein Gesamtfaktor für das Durchflussvolumen von ~3230 ergibt. D.h. die Durchflussmenge in unserem oben genannten Beispiel (100W) sinkt auf ca. 2,9 ml/s bzw. 10,7 l/h. Damit ist die Verwendung von sehr langsam und leise laufenden Pumpen und Lüftern möglich.

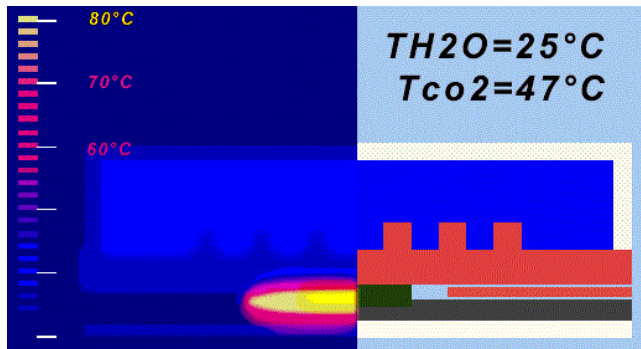
### Vorteile

- Abtransport großer Wärmemengen auf kleinstem Raum

- potenziell lautlos möglich

### Nachteile

- höherer Aufwand und Kosten
- eventuelle Gefahr durch auslaufendes Kühlmittel

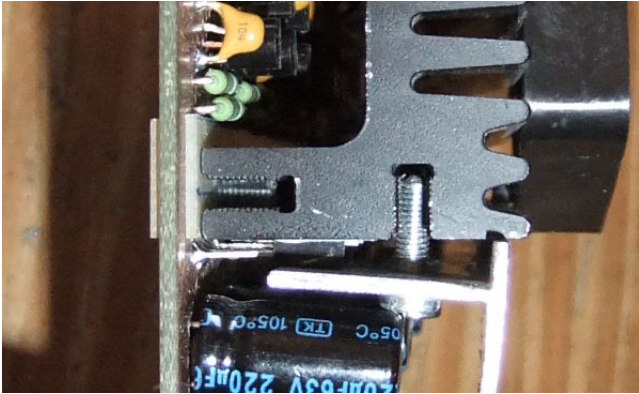


Simulation der Waermeverteilung in einem Wasserkühler<sup>[2]</sup>

## Bauteilmontage auf dem Kühlkörper

Die Montage der klassischen Halbleitergehäuse nach TO220 und ähnlichen gestaltet sich augenscheinlich simpel: Die Kühlfahne hat ein Loch. Da ist es doch sehr verlockend, das Bauteil mit einer Schraube durch ebendieses Loch auf dem Kühlkörper zu befestigen...

Bei fachgerechter Ausführung spricht auch wenig gegen diese Montageweise. Dazu gehört dann auch das richtige Anzugsmoment für die Schraube. Zu lose angezogen und zwischen Bauteilgehäuse und wärmeabführender Oberfläche entsteht ein Luftspalt. Ein Wärmeleitpad oder Wärmeleitpaste schaffen zwar Abhilfe, aber die Wärmeleitfähigkeit dieser Stoffe liegt um Größenordnungen unter der von Aluminium (Kühlkörper) und Kupfer (Kühlfahne). Ein vorhandenes Wärmeleitpad wird mitunter auch nicht weit genug zusammengedrückt, sodass auch noch Optimierung möglich wäre. Nämlich durch festeres Anziehen der Schraube. Zu fest angezogen und die Kühlfahne wölbt sich minimal. Dabei hebt der Bauteilkörper von der Oberfläche des Kühlkörpers ab und es entsteht wieder ein Spalt. Ungünstigerweise liegt aber genau dort der Ursprung des Wärmeflusses (Silizium-Chip). Bei Conrad gibt es **Klammern** zur Befestigung von Transistoren von **Fischer**.



Montagebeispiel

Weitaus einfacher zu handhaben ist folgende Montageweise: Die Bauteile werden, ungeachtet der Montagebohrung, lose auf den Kühlkörper gelegt. Falls notwendig natürlich mit Isolierstoff dazwischen und in jedem Fall hauchdünn mit einem Wärmeleitmittel bestrichen. Über die Bauteile wird dann ein Aluminiumprofil gelegt und erst dieses wird, weiterhin mit einer Schraube pro Bauteil, auf den Kühlkörper gespannt. Abgesehen davon, dass so auch SMD-Bauteile (IPAK!) auf einem Kühlkörper Platz finden, entsteht Druck genau über dem Hot Spot.

## Weitere Hinweise

- Große Hochlastwiderstände mit Keramikgehäuse werden im Normalbetrieb recht heiß (200-350°C). Diese Temperaturen sollten nicht auf die Platine kommen, denn das macht das Material nicht lange mit. Hier muss genau das Gegenteil von dem gemacht werden, was weiter oben für Bauteile ohne Kühlkörper empfohlen wurde. Die Anschlüsse müssen möglichst lang sein, damit wenig Wärme über sie abgegeben werden kann. Die Kühlung erfolgt nahezu nur über den Keramikkörper durch Wärmestrahlung und Konvektion.
- Ein TO220 Gehäuse kann ca. 1W ohne Kühlkörper abgeben.
- Bei der Dimensionierung des Kühlkörpers sollte man sich nicht an der maximal zulässigen Sperrschichttemperatur orientieren, sondern möglichst um 10..50K kühler bleiben. Das verbessert die Funktionssicherheit und vor allem die Lebensdauer erheblich!
- Merksatz über den dicken Daumen: Pro 10 Grad Temperaturerhöhung halbiert sich die Lebenserwartung eines Bauteils. (Arrheniusgesetz, RGT-Regel, 10-Grad-Gesetz)
- Temperaturzyklen verkürzen die Lebensdauer von Schaltungen erheblich
- Meist sind mehrere kleine Kühlkörper deutlich kleiner und billiger als ein Großer.

## Links

- [Leistungselektronik](#)
- [Forumsbeitrag](#): Beispielrechnung
- [Forumsbeitrag](#): Wärmewiderstand und Sperrschichttemperatur messen
- [Forumsbeitrag](#): Dicker MOSFET, dünnes Anschlusspin?
- [Forumsbeitrag](#): Wärmewiderstand einfacher Bleche
- [Forumsbeitrag](#): Indirekte Temperaturmessung an einer Power-LED mittels Flußspannung
- [Datei:An2012-20.pdf](#) von Infineon, "Electrical safety and isolation in high voltage discrete component applications and design hints."

## Weblinks

- [The Design of Heat sinks](#). Eine ausführliche Seite zum Thema Kühlkörper, englisch
- [Thermal Design](#), englisch
- [Universelle Formelsammlung](#), mit kurzen Erklärungen
- [technische Informationen](#) zur Berechnung bei der Entwärmung elektronischer Systeme, inhaltlich gut
- [DIY Heat Sinks](#)
- [Kühlkörper bei Fischer Elektronik](#)
- [Leiterplatten mit Alukern bei Leiton](#)
- [Berechnung in der Praxis](#): Unter Downloads das Handbuch laden, dann Seite 14
- [Ungewöhnliche Hochlastwiderstände im Eigenbau](#)

## Quellen

1. <http://www.elektronik-bastler.info/stn/kuehl.html>
2. <https://web.archive.org/web/20050319041629/http://home.arcor.de/juergen.schuhmacher/progheatcalc.html>

### Kategorien:

- [Bauteile](#)
- [Leistungselektronik](#)
- [Grundlagen](#)