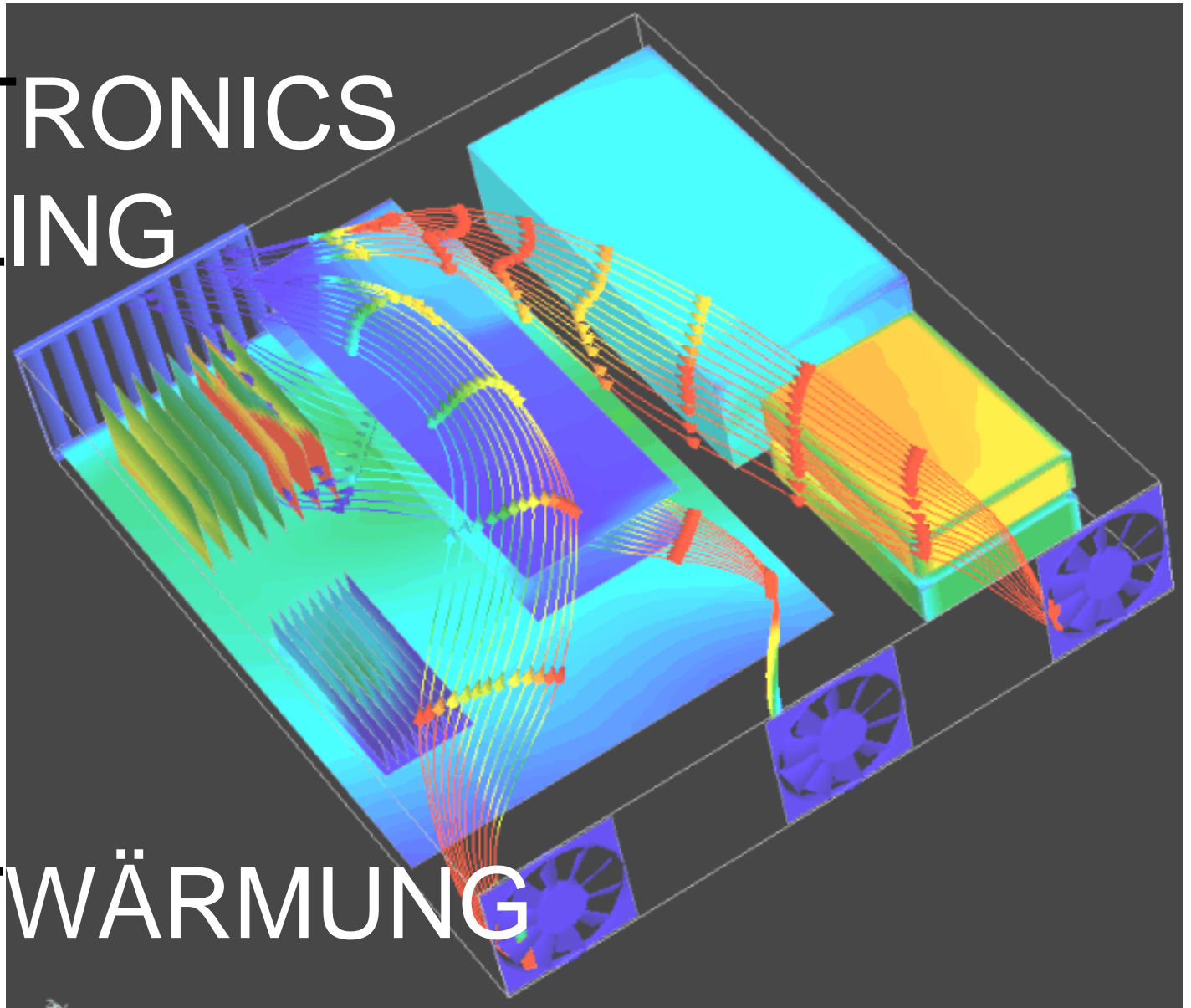


# Praxisorientierte Entwärmung

bei elektronischen  
Bauteilen  
Komponenten  
und Systemen

# ELECTRONICS COOLING



# ENTWÄRMUNG

Gegründet 1. Januar 1969

Fertigungsfläche 14.000 m<sup>2</sup>

Beschäftigte 340

**QMS** ISO 9001: 2008

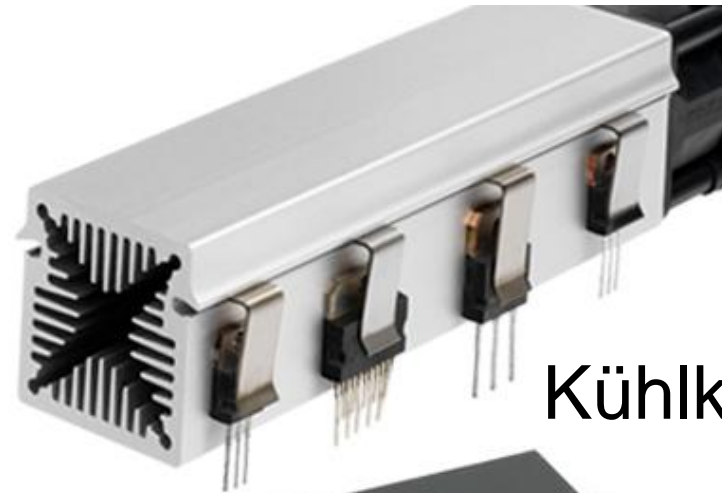
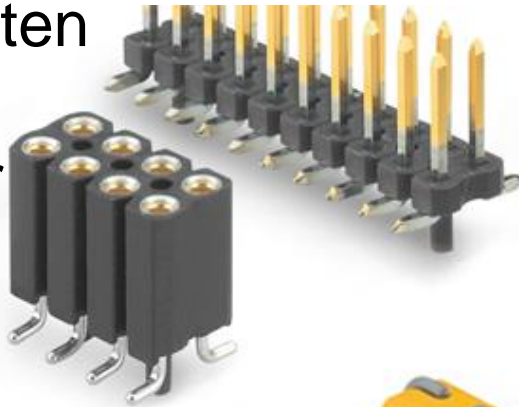
**UMS** ISO 14001: 2004

**IT** IEC/ISO 27001: 2008



# Geschäftsfelder

Leiterplatten  
Steck-  
verbinder



Kühlkörper

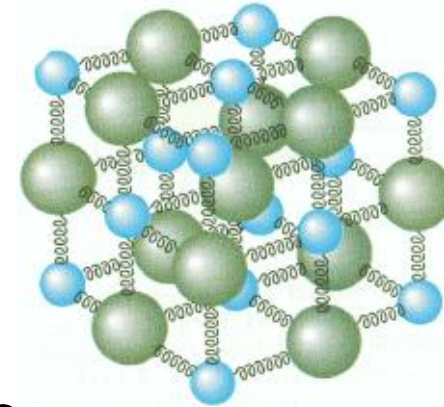


Gehäusetechnik  
für die Elektronik



# Was ist Wärme

Wärme ist die permanente Teilchenbewegung in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen



Drei Wirkungen des Wärmetransportes:

*Wärmeleitung*

Molekülbewegung innerhalb eines Systems

*Konvektion*

Dichteunterschiede in fluiden Medien  
( schwerkraftabhängig )

*Wärmestrahlung*

Räumliche Änderung geladener Teilchen  
( Dipolmoment )

# Temperatur

ist eine Meßgröße  
der inneren Energie  
oder Enthalpie ( Wärmehalt )

das ist der Gehalt  
der Teilchenbewegung  
welche eine Wärmemenge  
abgeben können.



# Geschichte der Erkenntnis zu Wärme

Johann Joachim Becher

1669 Phlogiston / Caloricum Theorem



Friedrich Wilhelm Herschel

1800 Infrarotstrahlung ( gen. Ultrarot )



Robert Brown

1827 Brownsche Molekularbewegung



# Eine sehr kurze Geschichte der Elektronik

600 v Z Thales v Milet

elektrisierende Wirkung des Bernstein (gr.Elektron)

1897 K-F. Braun „Braunsche Röhre“

( erste Kathodenstrahlröhre )

1904 John Ambrose Fleming

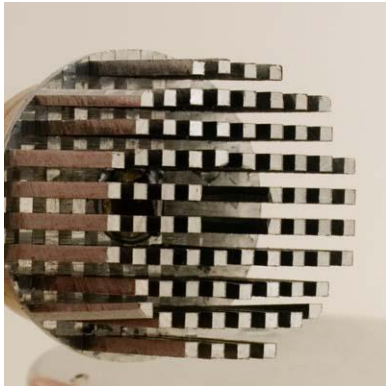
Patent für Vakuum - Elektronenröhre

1947 Bardeen, Brattain, Shockley

Erfindung des Halbleiter-Transistors



# Die Elektronenröhre als das erste „elektronische“ Bauteil



und auch schon mit „Kühlkörper“



# Halbleiterbauelemente

Transistoren, IC,  
Leistungshalbleiter



# Thermisches Management

- Warum thermisches Management
- Physikalische und mathematische Zusammenhänge
- Was ist eigentlich ein Kühlkörper
- Auswahl und Gebrauch von Kühlkörpern

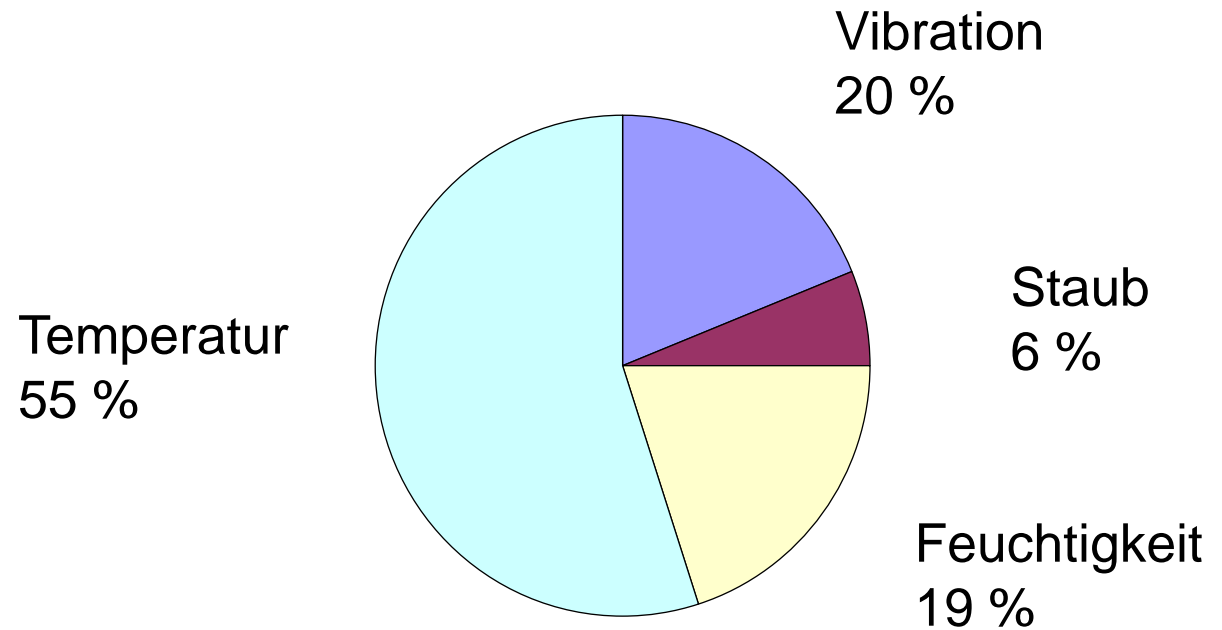
# Warum thermisches Management ? !

- **Lebensdauer** elektronischer Bauteile im Zusammenhang mit deren **Temperatur**

Für jede 10 °C Temperaturerhöhung, **reduziert** sich die anzunehmende Lebensdauer des Bauteiles um

ca. **50 %**

# Hauptursachen von Ausfällen bei elektronischen Systemen



Quelle: US Air Force Avionics

## Wie *entsteht* die Wärme im Halbleiter

Der stromdurchflossene Leiter / Halbleiter erzeugt „Abwärme“ durch elektrischen Widerstand

Elektrischer Widerstand entsteht durch Zusammenstöße der Elektronen und Atome und bei der Schaltung binärer Zustände (Ein/Aus)

Frequenzbedingte Ladungsverschiebungen erhöhen den Energiebedarf und erzeugen mehr „Abwärme“

Je häufiger geschaltet wird, umso mehr Wärme entsteht

# Wie *schadet* die Wärme dem Halbleiter

**Leistung, Lebensdauer und Zuverlässigkeit** elektronischer (Halbleiter) - Bauteile werden **maßgeblich**

von der thermischen Belastung bestimmt, denen die einzelnen Elemente ausgesetzt sind.

- > *Überschreitung* der maximalen *Betriebstemperatur* führt zu *Fehlfunktionen*.
- > *Überschreitung* der zulässigen *Grenztemperatur* führt zur *Zerstörung* des Halbleiters.

# Auch die LED ist ein Halbleiter



und hat damit ein temperaturabhängiges Verhalten.

Strahlungsleistung und Lichtleistung sind stark temperaturabhängig.

Umgebungs- **und** Chiptemperatur beeinflussen die Effizienz.





# Power LED

## High Power LED

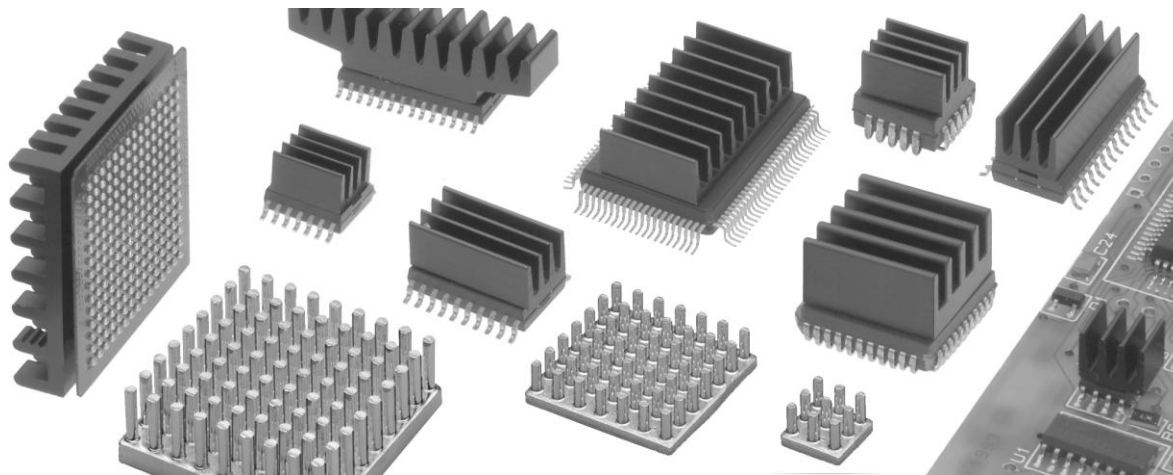
## High Brightness LED



- > Elektromagnetische Strahlung als Photonen ( Licht )  
auf Basis eines Halbleiterbauteiles
- > Elektrischer Strom wird direkt in Licht umgewandelt
- > Lichtausbeute ca. 20 ...40 % (Jahr 2010) der Leistungsaufnahme
- > Restliche Leistung ist Verlustwärme  
und **muss** entwärmt werden ( Analogie zur Halbleiterkühlung )  
zum Beispiel mittels KÜHLKÖRPER

# Wofür ist eine Wärmesenke ( Kühlkörper )

Der Hauptgrund für den Einsatz von **Kühlkörpern** ist der, eine hinreichend niedrige Bauteiletemperatur in der Umgebung zu erreichen, in der die Halbleiter funktionieren müssen

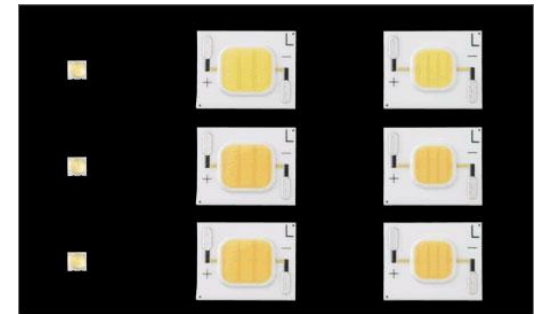


**Reduzierung** der Sperrschichttemperatur um 10 K kann die Lebensdauer der LED in etwa verdoppeln

Entwärmung ist daher die wichtigste Aufgabe

Mehr Wärme bedeutet:

- > schlechtere Betriebseigenschaften
- > frühzeitige Abschaltung
- > sogar möglicher Systemausfall



Anmerkung:

In vielen LED Datenblättern sind die Angaben zu photometrischen Werten basierend auf  $< 23 \dots 25^{\circ}\text{C}$  Umgebungstemperatur !!

# Thermisches Management

## Abhängigkeiten von Temperatur und Verlustleistung Verdeutlichung durch Wärmewiderstandsberechnung

$$R_{thja} \cdot P = \frac{T_j - T_a}{P}$$
$$= \frac{(\Delta T_j + T_a) - T_a}{P} = \frac{\Delta T_j}{P}$$

Dabei ist :  $T_j = \Delta T_j + T_a$

|            |   |
|------------|---|
| $R_{thja}$ | Wärmewiderstand<br>junction / ambient         |
| $T_j$      | Junction Temperatur                           |
| $T_a$      | Umgebungstemperatur<br>( ambient )            |
| $P$        | Gesamtleistung der LED<br>( $I_f \cdot V_f$ ) |

Der in der Praxis relevante Wert der Junction-Temperatur errechnet sich nach:

$$T_j = R_{thja} \cdot P + T_a$$

LED Entwärmung ist sehr komplex.  
temperaturabhängiges Verhalten beeinflusst  
Lichtausbeute, Farbwiedergabe und Lebensdauer

Summation der Wärmewiderstände der Materialien  
und der thermischen Übergänge.

Thermische Einbaubedingungen sind oftmals  
schwierig.

Drei Entwärmungspfade ( *Entwärmungsgrad* )

- > LED - Gehäuse und Anschlussdrähte ( *gering* )
- > Leiterkarte auf der die LED montiert ist ( *moderat* )
- > Kühlkörper ( *effektiv* )

# Wärmeableitung **Halbleiter** und **LED**

Drei Arten der Wärmeübertragung



## **Konduktion**

Molekülbewegung innerhalb eines Systems

## **Konvektion**

Dichteunterschiede in fluiden Medien

## **Radiation**

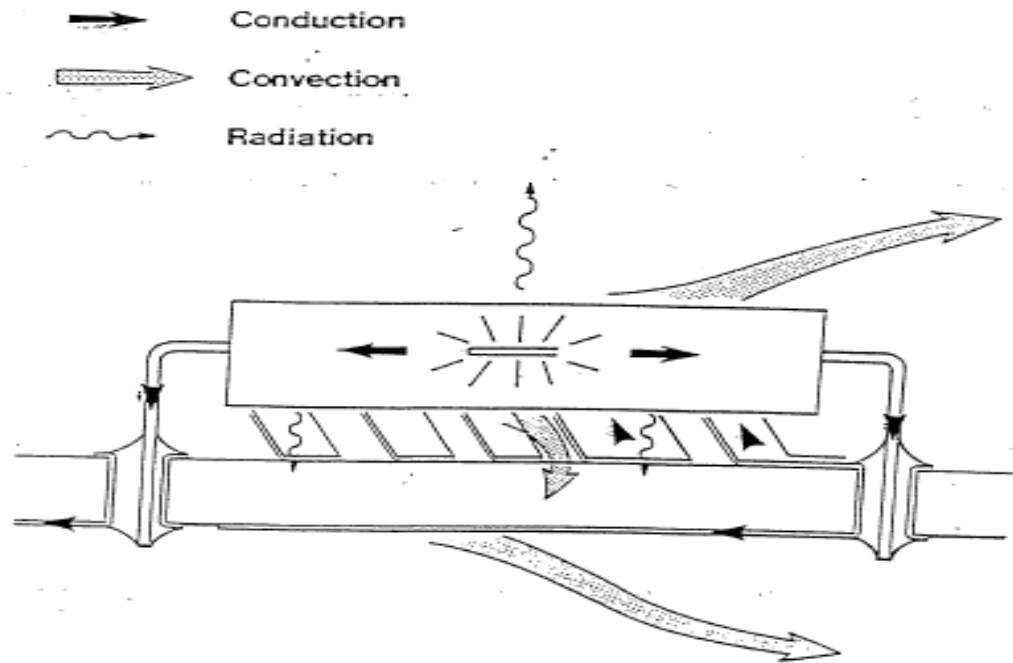
Räumliche Veränderung geladener Partikel

# Zusammenhänge des Wärmetransportes

Konduktion

Konvektion

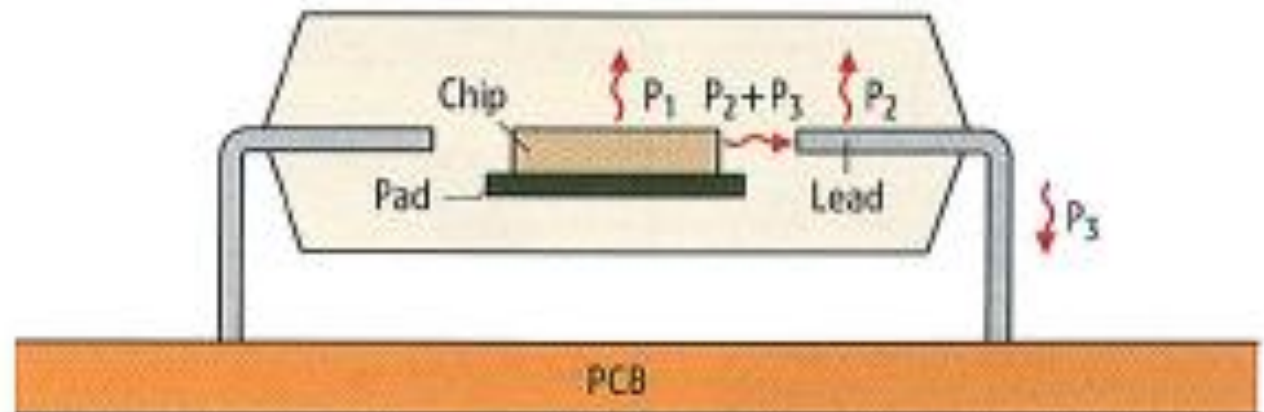
Radiation



# Wärmeleitung in elektronischen Komponenten

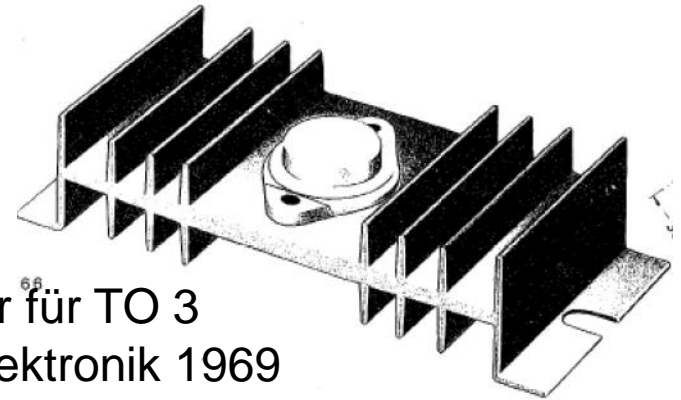
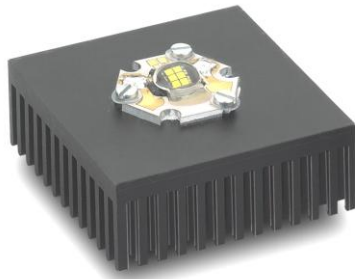
## Thermischer Pfad

- in den Bauteilen
- in den Leiterplatten
- durch den mechanischen Aufbau





# Was ist ein Kühlkörper



Kühlkörper für TO 3  
Fischer Elektronik 1969

Ein Kühlkörper ist ein mechanisches Teil, welches wärme-leitend mit einem wärmeproduzierenden elektronischen Bauteil verbunden ist, um die Wärme vom Bauteil abzuleiten.

Die meisten Kühlkörper sind aus Aluminium und haben Rippen um die Oberfläche zu vergrößern; und unterstützen dadurch einen guten Wärmübergang an die Umgebungsluft.

Wie funktioniert ein Kühlkörper

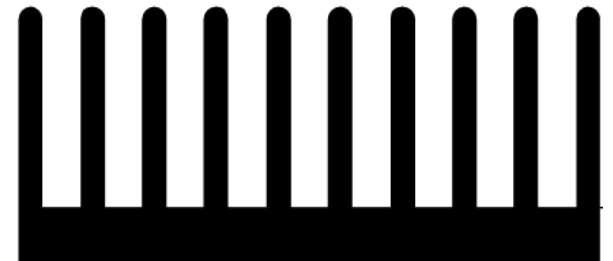
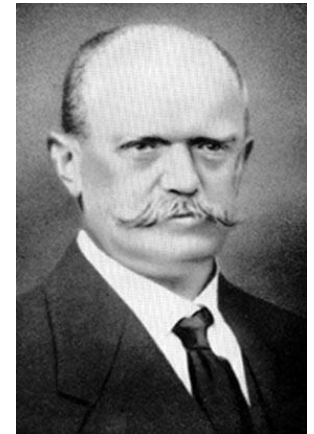
Die „Kühlrippe“ -  
der erste Schritt zum Kühlkörper



**Franz Pichler**

**erfindet die „Kühlrippe“ ( Patent 1892 )**

Er FINDET das Prinzip  
der *Oberflächenvergrößerung*,  
eine gefaltete Ebene  
wird zum Rippenkühlkörper



# Kühlkörperauswahlprozess

## Charakterisierung der benötigten Kriterien

- > Thermische Sachverhalte
- > Volumen und / oder Platzbedarf
- > Gehäuseform des Bauteiles
- > Einbaubedingungen
- > Luftvolumen und Luftgeschwindigkeit

# Charakterisierung der benötigten Ausführung

Die **Temperaturdifferenz** Kühlkörper zu Umgebung

ist die Temperatur der Halbleitersperrschicht

( semiconductor junction )  $T_j$  minus

der Temperatur der Umgebung  $T_u$

und damit die Temperaturdifferenz  $dT$  or  $\Delta T$

$$\Delta T = T_j - T_u$$

# Charakterisierung der benötigten Ausführung

> Die **Wärmemenge**

die abgeleitet werden muss:

( **Q** oder **P<sub>v</sub>** )

wird gemessen in

**W** ( Watt )

# Charakterisierung der benötigten Ausführung

> Die thermische Kalkulation **WÄRMEWIDERSTAND**

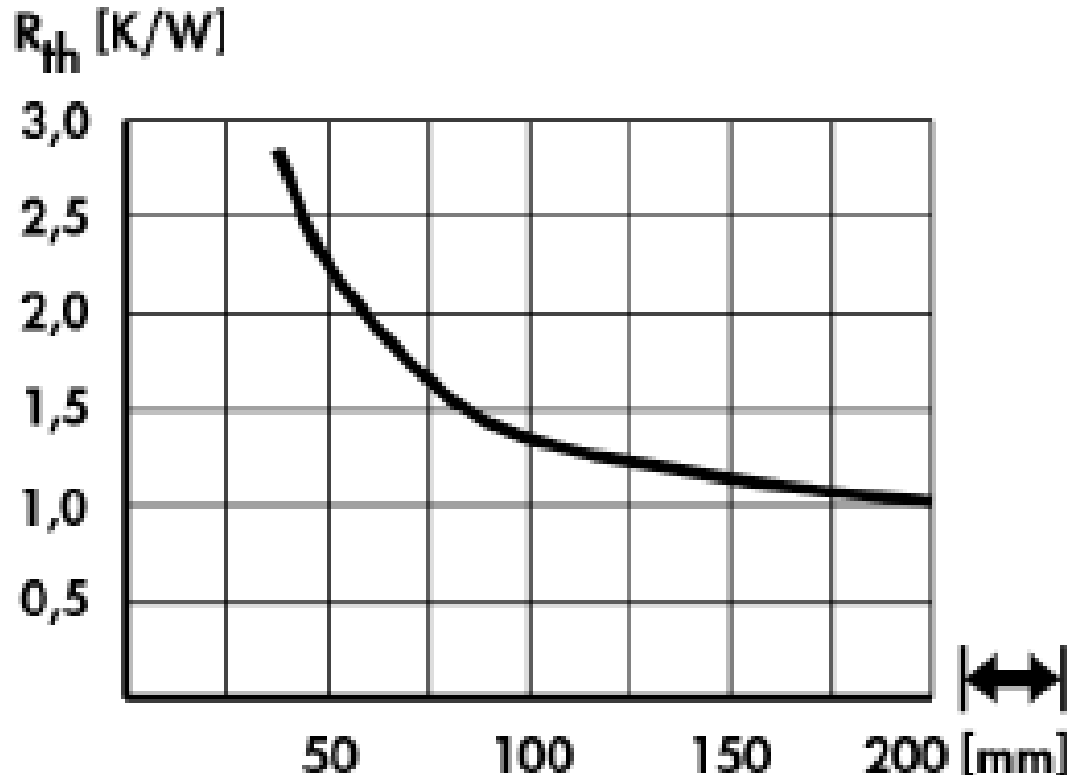
Temperaturdifferenz  $\Delta T$  K or °C

geteilt durch

abzuleitende Verlustwärme  $Q$  W

ergibt  $R_{th} [ K/W ] = \frac{\Delta T [ K ]}{Q [ W ]}$

# Wärmewiderstandsdiagramm Kühlkörper



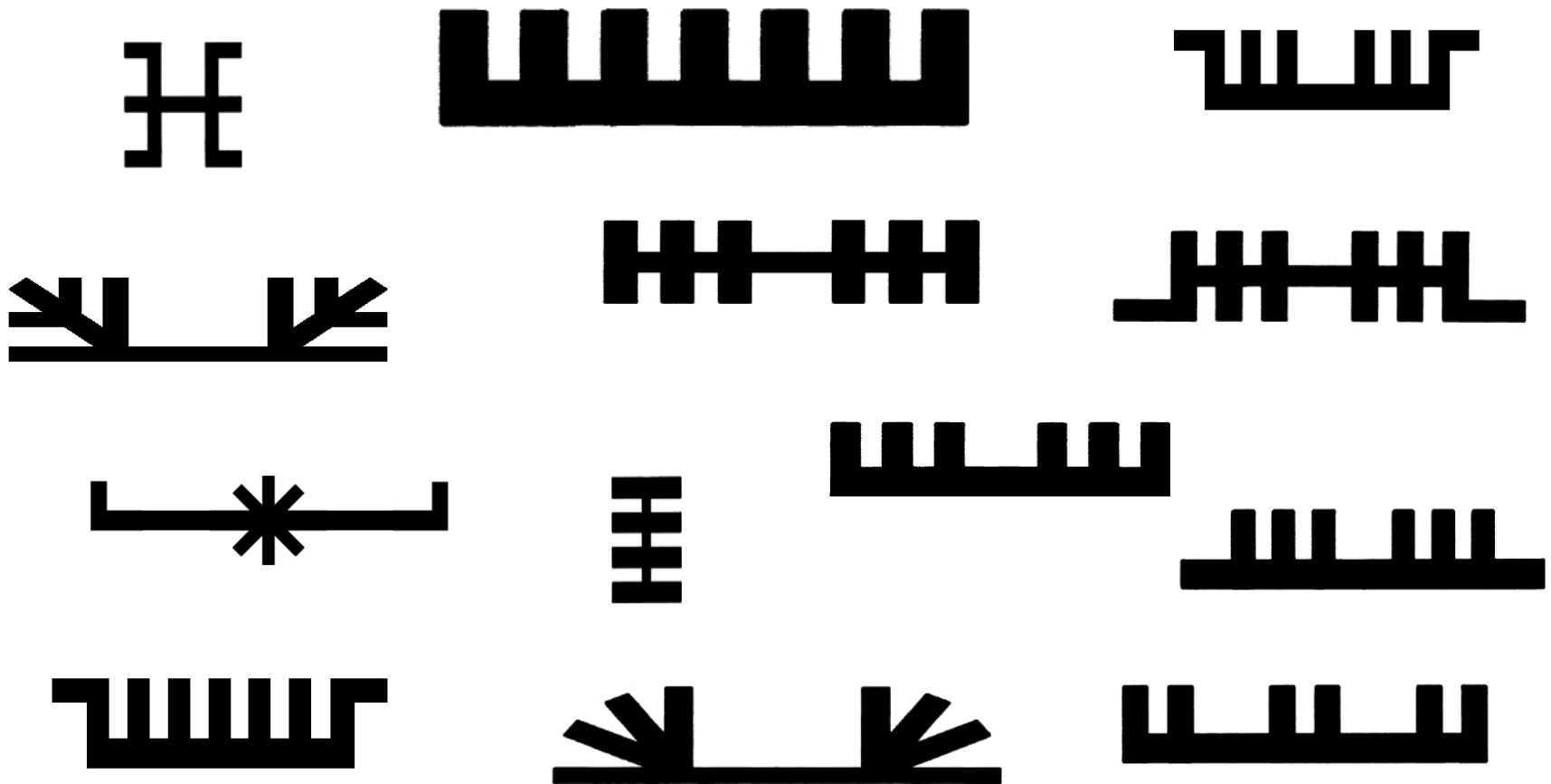
Der Graph zeigt den Wärmewiderstand  **$R_{th}$**  eines Kühlkörpers in Abhängigkeit von dessen Länge und bezogen auf die Geometrie des Profils

# Kühlkörperauswahlprozess ( Typisierung )

- Strangpressprofile
- Gestanzte Kühlkörper
- Druckgusskühlkörper
- Flüssigkeitskühler
- Blechrippenkühlkörper



# Strang-Kühlkörpergeometrien



# Extrusion

## Strang-Kühlkörper Herstellungsprozess

### Produktionsschritte

- Schmelzen des Rohaluminiums
- Stranggießen der Pressbolzen
- Werkzeugherstellung
- Strangpressen ( Extrusion ) der Profile
- Recken der Profile
- Warmauslagerung ( Alterung / Festigkeit )

# Merkmale Strangkühlkörper

- Geringe Stückkosten
- Einfach zu bearbeiten
- Relativ niedrige Werkzeugkosten
- Kurze Reaktions- und Bearbeitungszeiten
- Prototypen durch Drahterodieren
- Viele Anbieter                      NUR FISCHER 😊
- Gute thermische Leitfähigkeit
- Relativ geringes Gewicht ( 1/ 3 von Kupfer )
- Guter allgemeiner thermischer Widerstand
- Große Variantenanzahl vorhanden

# Mechanische Profilbearbeitungen

- Sägen ( auf gewünschte Länge bringen )
- Bohrungen ( Löcher einbringen )
- Fräsungen ( in die gewünschte Form bringen)
- Gewinden ( Gewinde einschneiden )
- Entgraten ( Bürsten, Schleifen etc. )

Alle Bearbeitungen, wenn nicht anders vereinbart,  
sind üblicherweise nach **DIN ISO 2768 m**

# Kühlkörper mit eingeschäumter Dichtung



IP-  
und  
EMV-Schutz

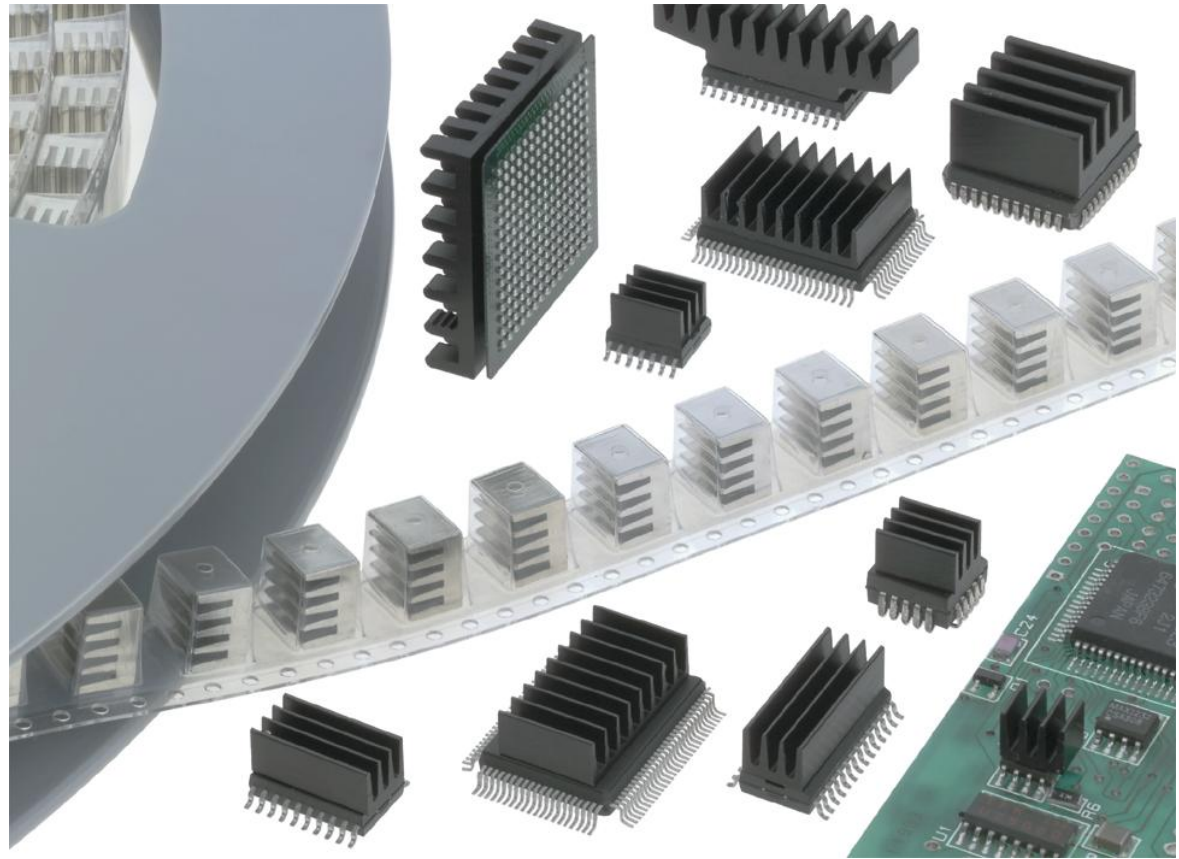
„form in place  
sealing“

auch  
„mould in place“

# Strangprofil - Kühlkörper für SMD

Gegurtet  
und auf  
Spule“

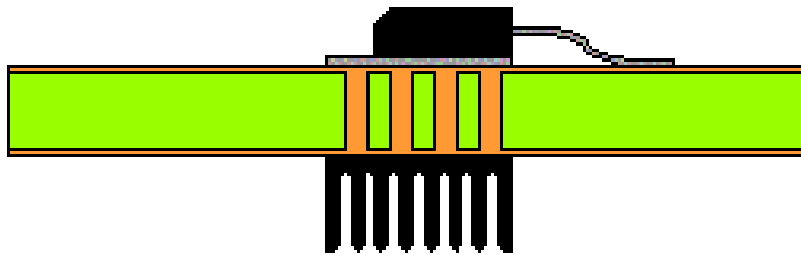
„Tape and Reel“



# Kühlkörper auf Leiterplatte montiert

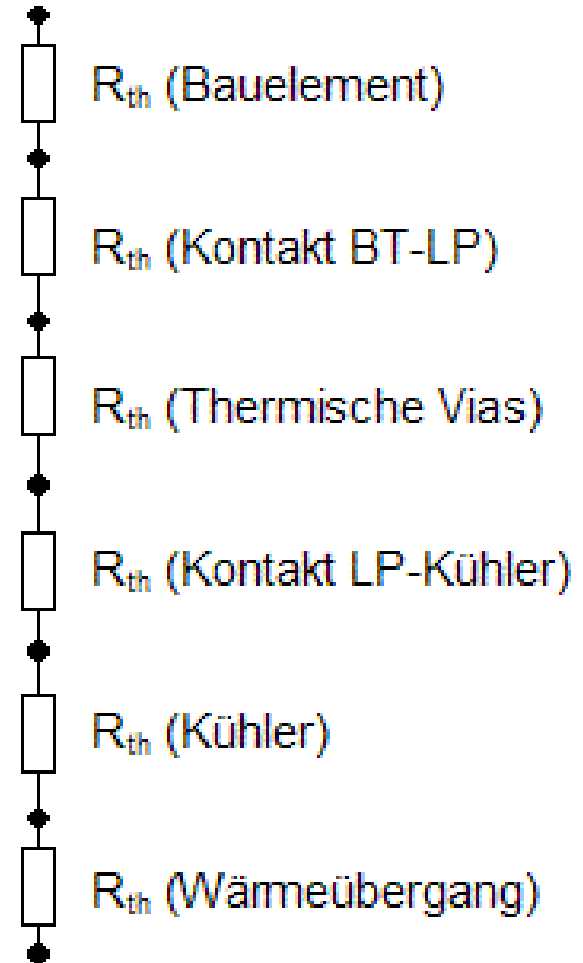
Aufbau:

Thermische Verbindung  
Bauteil Leiterplatte mittels  
thermische Durchkontaktierungen



Leiterplatte mit  
Leistungsbaulement  
und Kühler

Ersatzschaltbild:



# Gestanzte Fingerkühlkörper

Kupfer und Aluminium wird durch ausstanzen und biegen in die gewünschte Form gebracht.

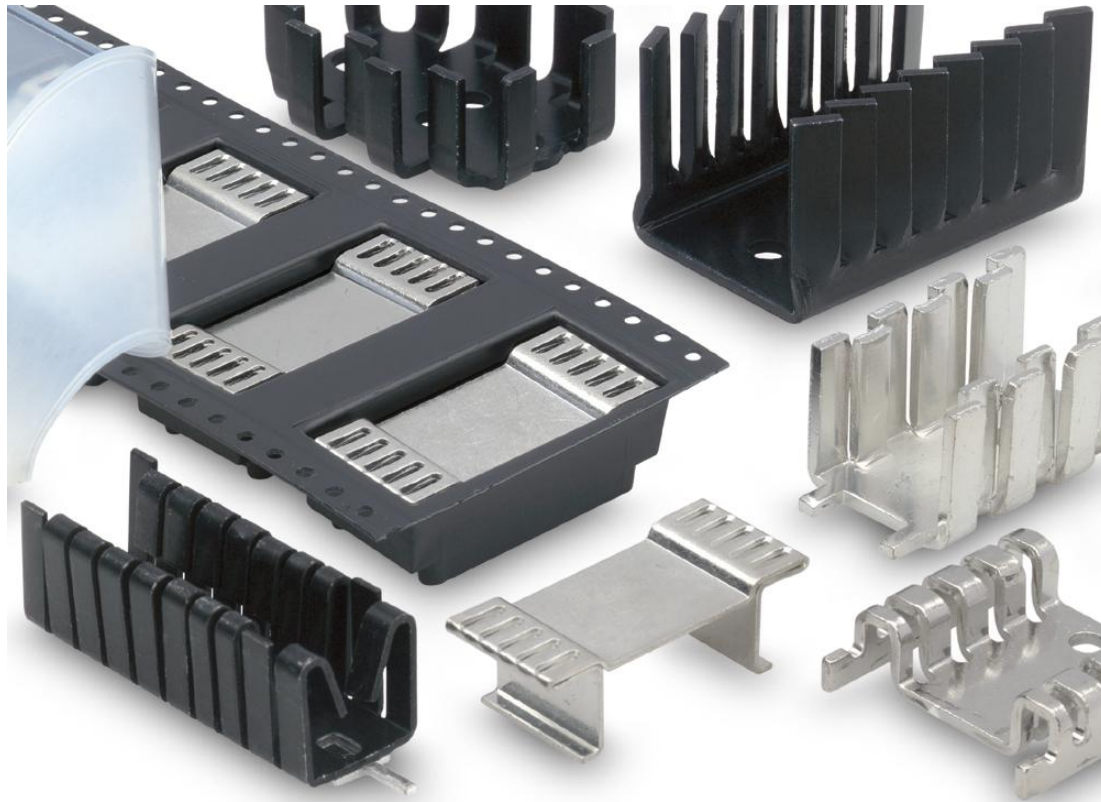
Preiswerte Lösung für geringe Kühlleistungen.

Fortschrittliche Werkzeuge und schnelle Stanzvorgänge ergeben niedrige Stückkosten.

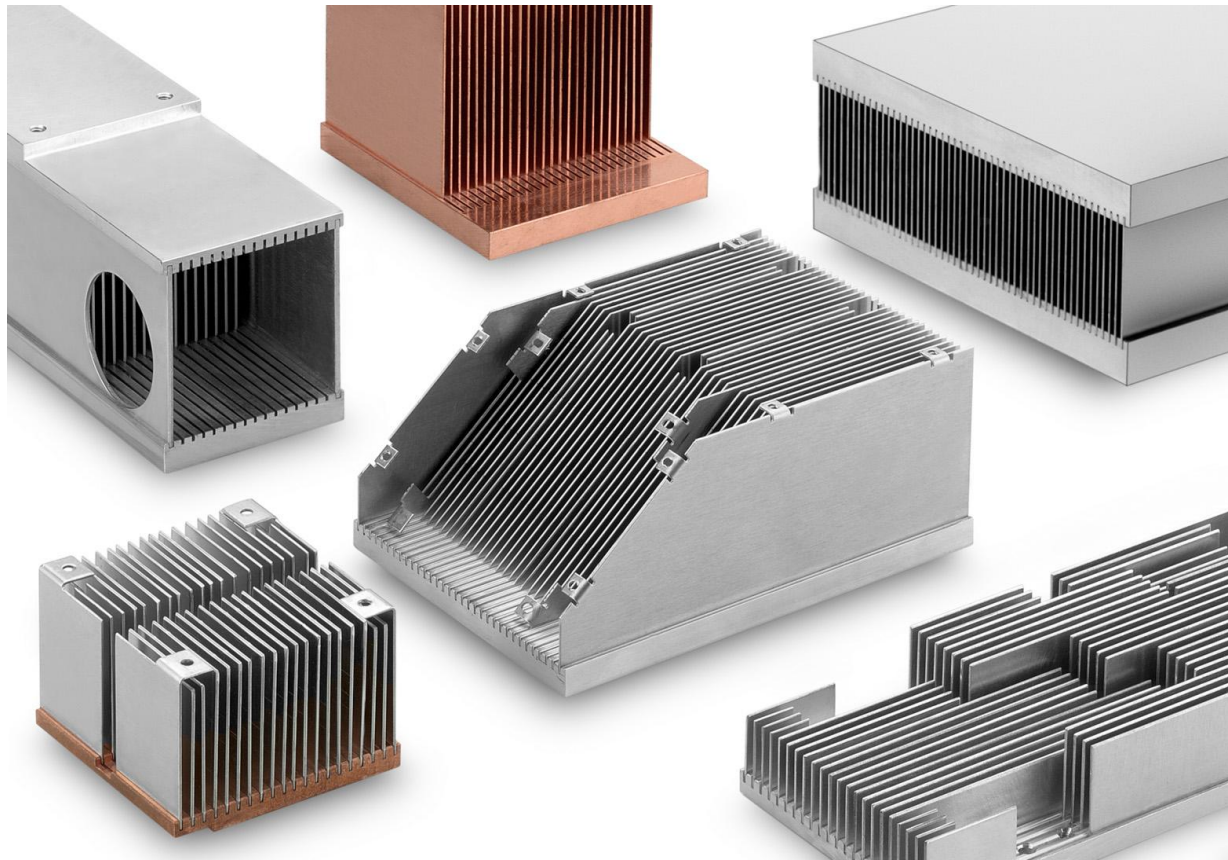
Spezielle Eigenschaften erbringen deutliche Arbeitersparnisse bei der Bestückung auf der Leiterkarte, und senken dadurch die Kosten



# Gestanzte Fingerkühlkörper



# Blechrippenkühlkörper ( Bonded-fin )



aus  
Kupfer  
und  
Aluminium

# Befestigungsmethoden Kühlkörper und elektronisches Bauteil

35 mm DIN Tragschiene

Schraube

Federklammer

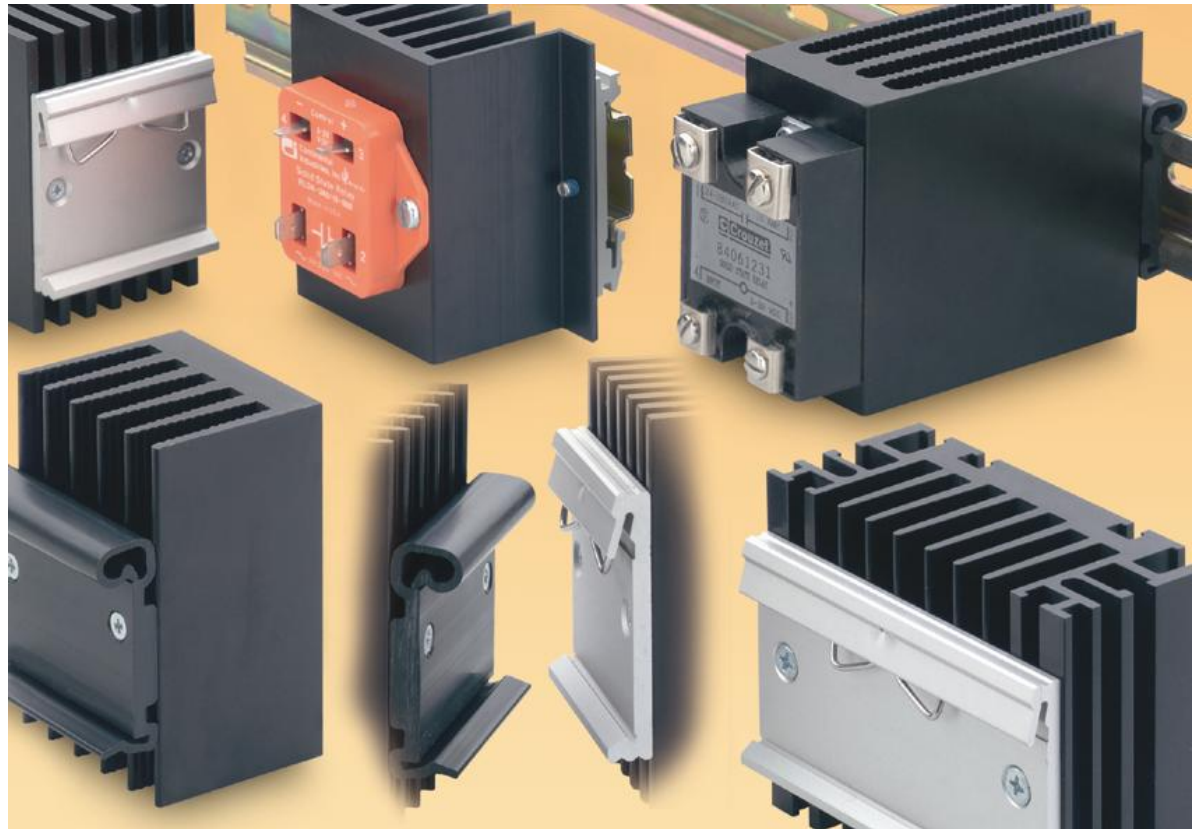
Integrierte Klammer

Wärmeleitendes 2-K Epoxydharz

Doppelseitig klebende Wärmeleitfolie

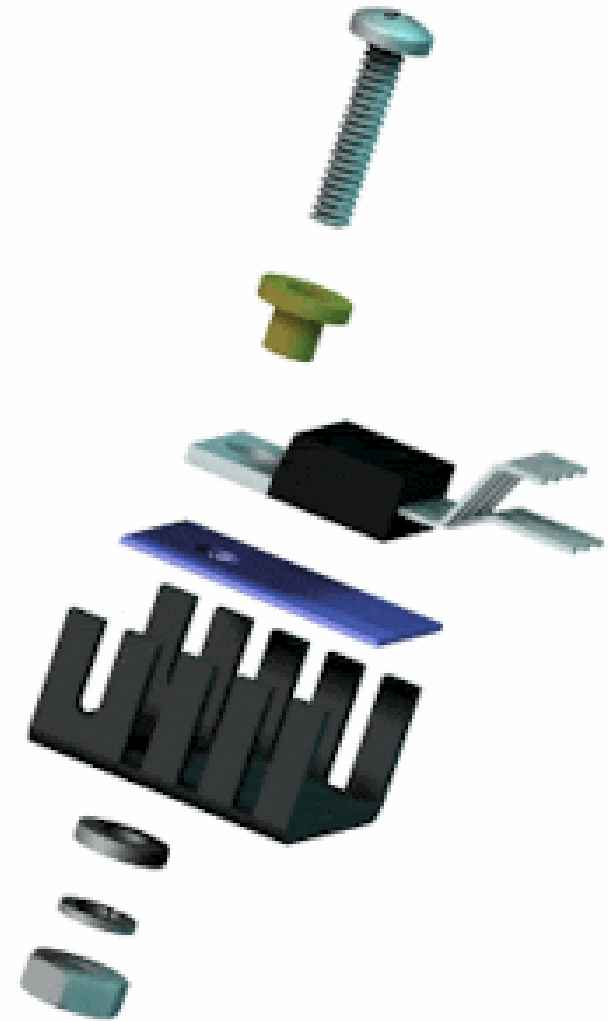
Befestigung auf der Leiterplatte

# Kühlkörper für 35 mm DIN Tragschiene



# Schraubbefestigung mit Isolierbuchse

„Klassische“  
Schraubbefestigung  
mit Isolierbuchse



Federklammerbefestigungen

Sattelklammer

U - Klammer

Drahtformklammer

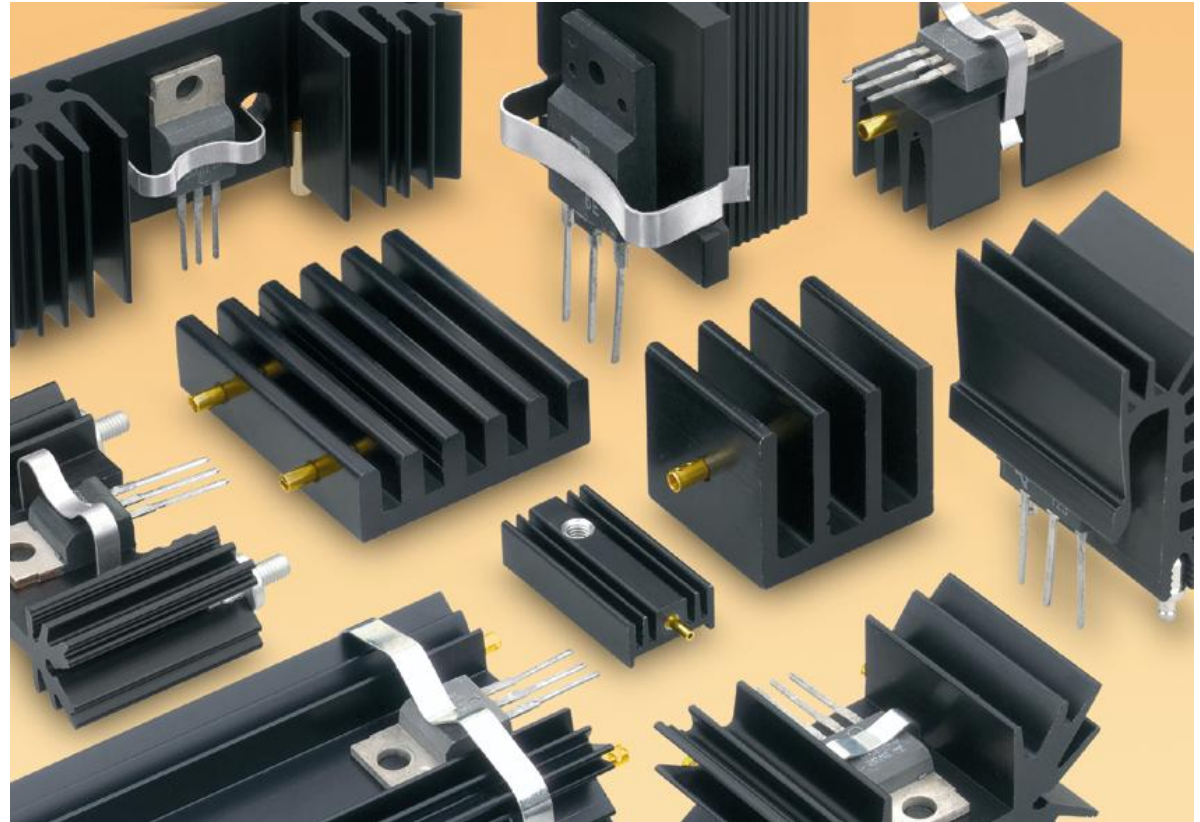
Strangpress-Profilmontageklammer

Integrierte Halteklammer

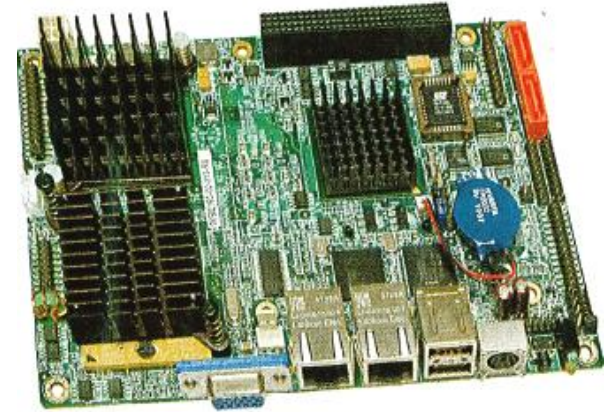


# Sattelklammer

innen  
außen

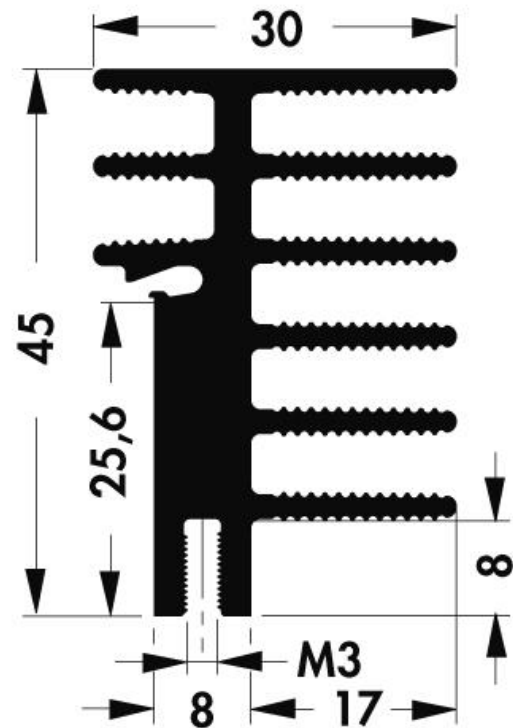
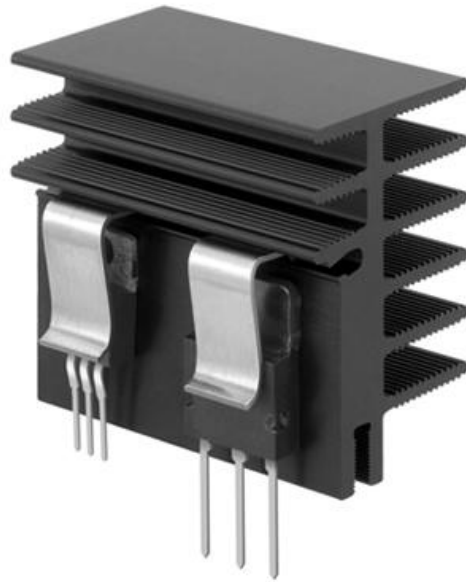


# Kühlkörper montiert auf IC auf Leiterplatte

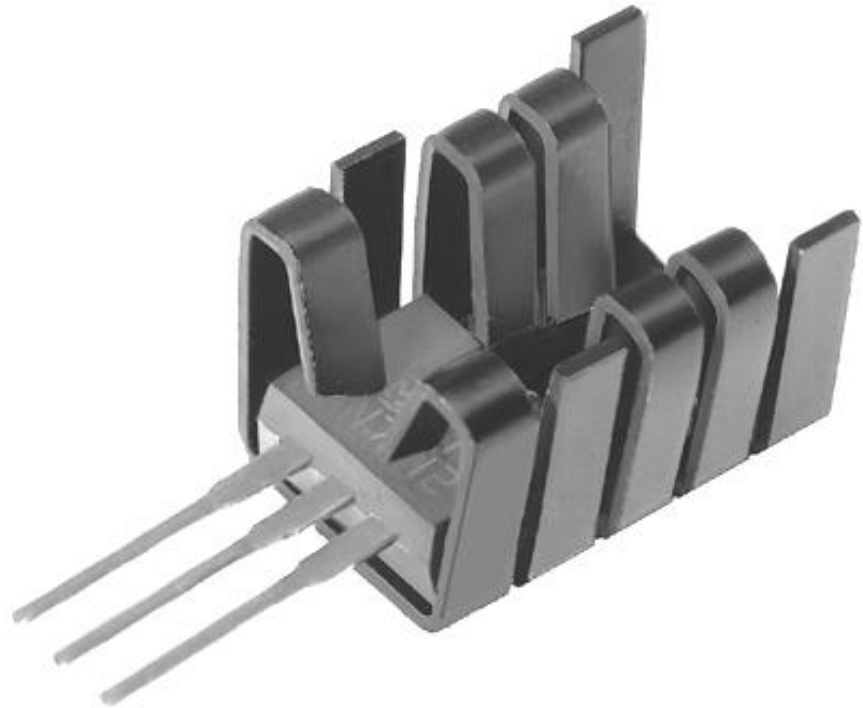




# Strangpress-Profilmontageklammer



# Integrierte Klammer - Fingerkühlkörper



# IMT – Kühlkörper

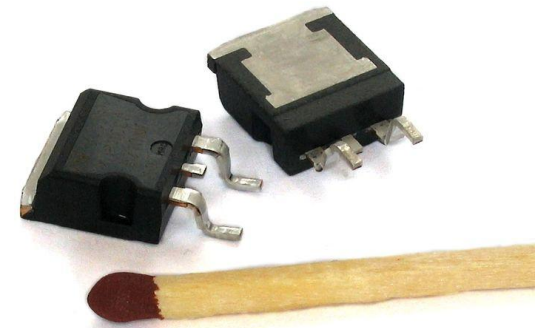
## Befestigung auf der Leiterkarte mittels Lötstiften

direktes  
Einlöten  
in die  
Leiterkarte

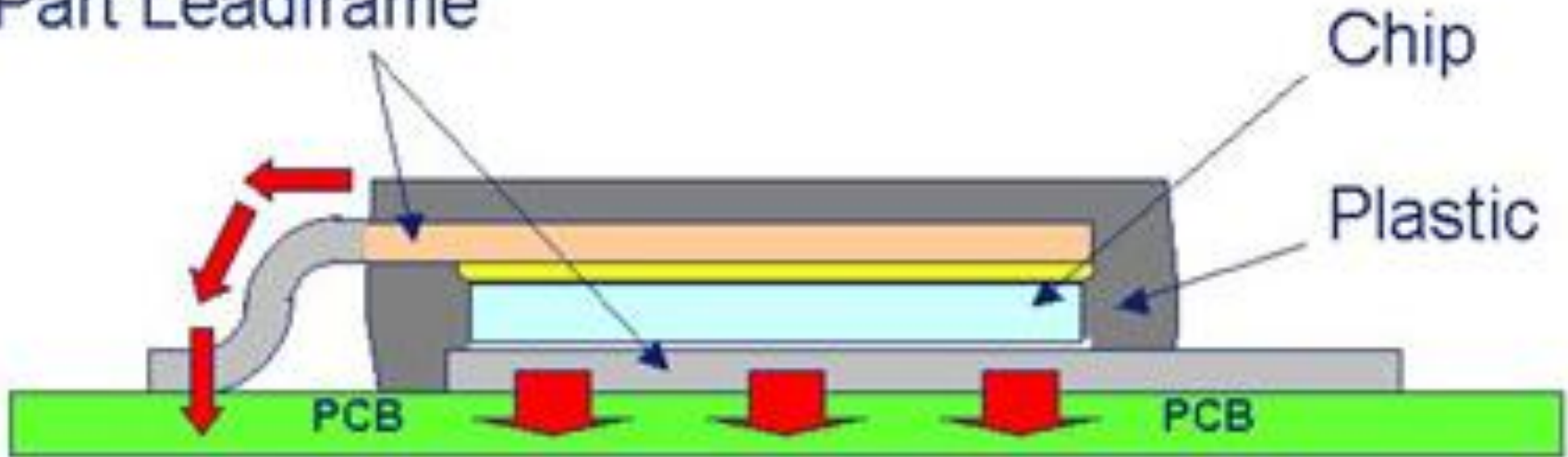


# SMD-Kühlkörper auf Leiterplatte aufgelötet

D PAK      Discrete **PAcKaging**  
LF PAK     Loss**F**ree **PAcKage**

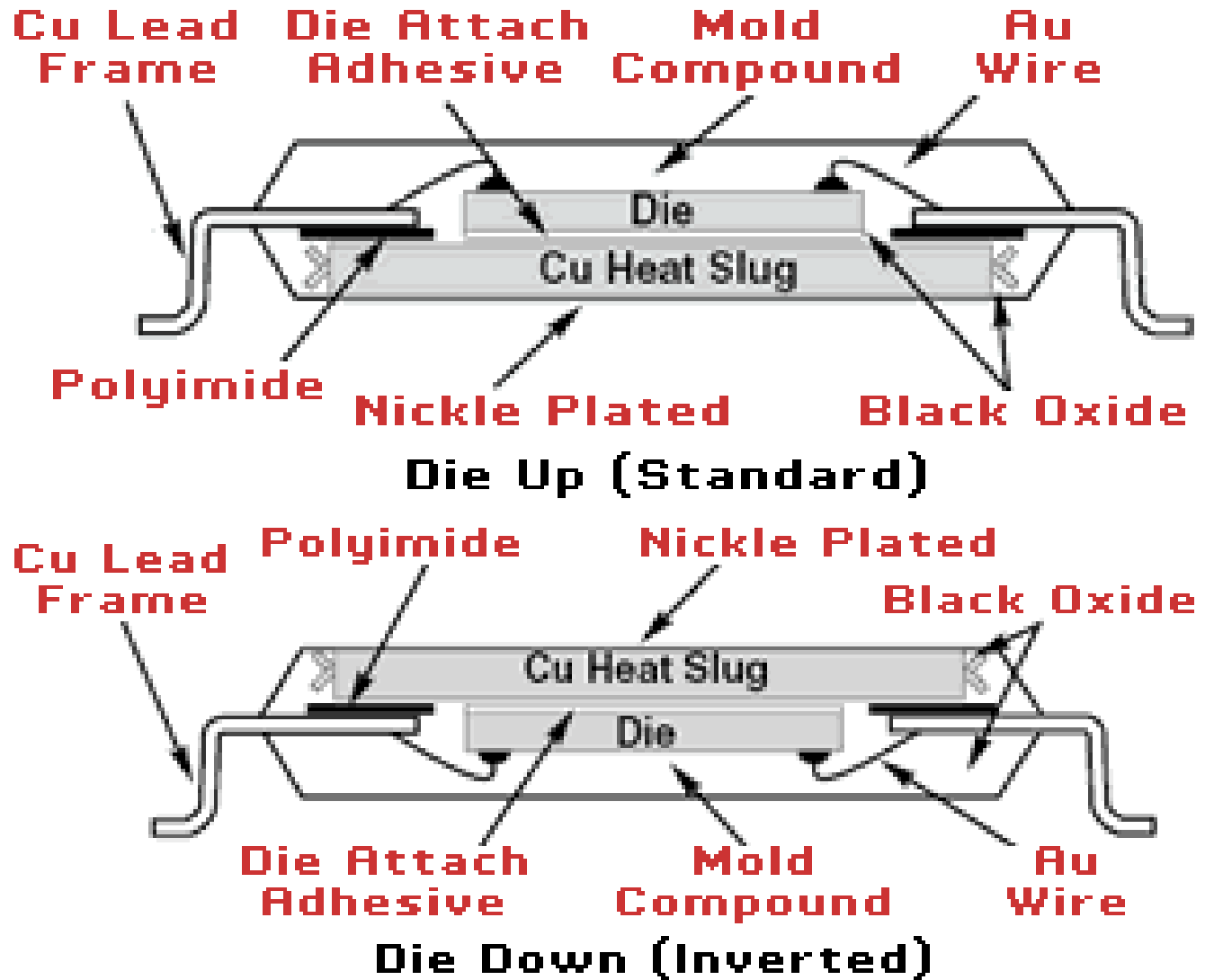


2 Part Leadframe



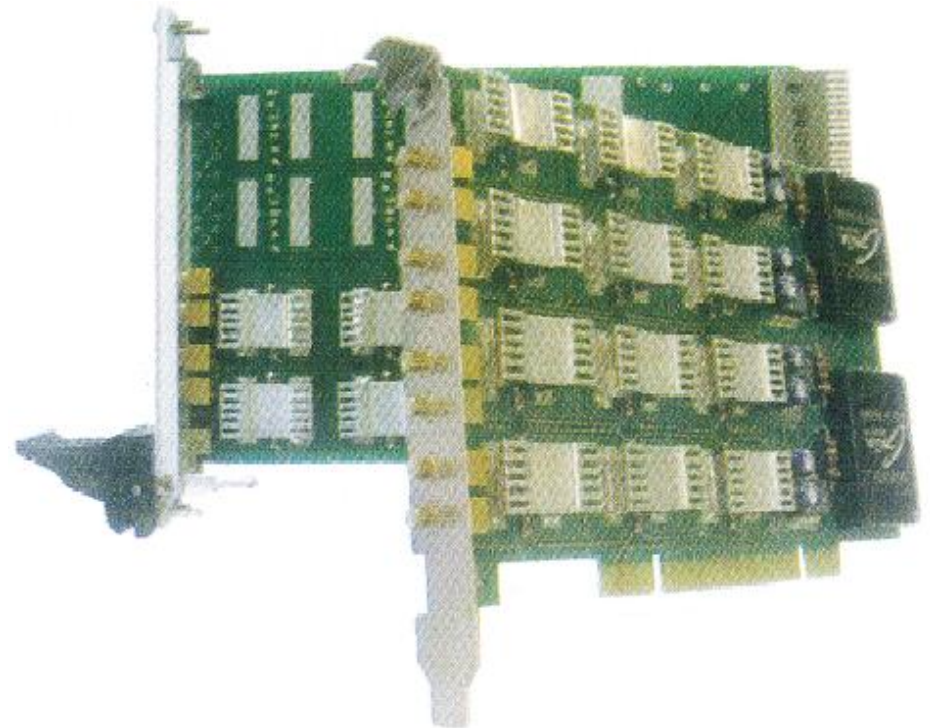
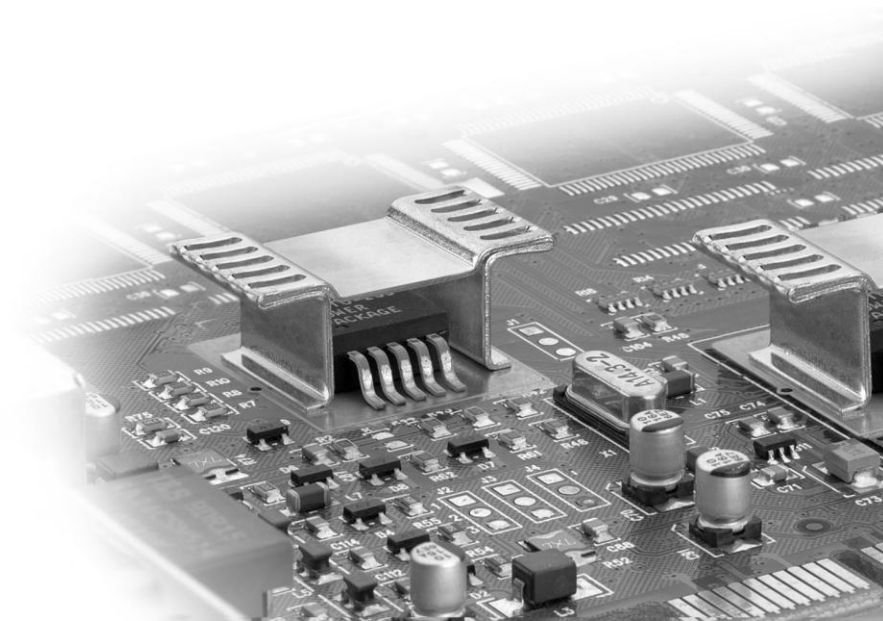
# SMD-Kühlkörper auf Leiterplatte aufgelötet

SMD  
Kühlkörper  
mit  
„Heat Slug“  
als  
Wärme -  
übertrager



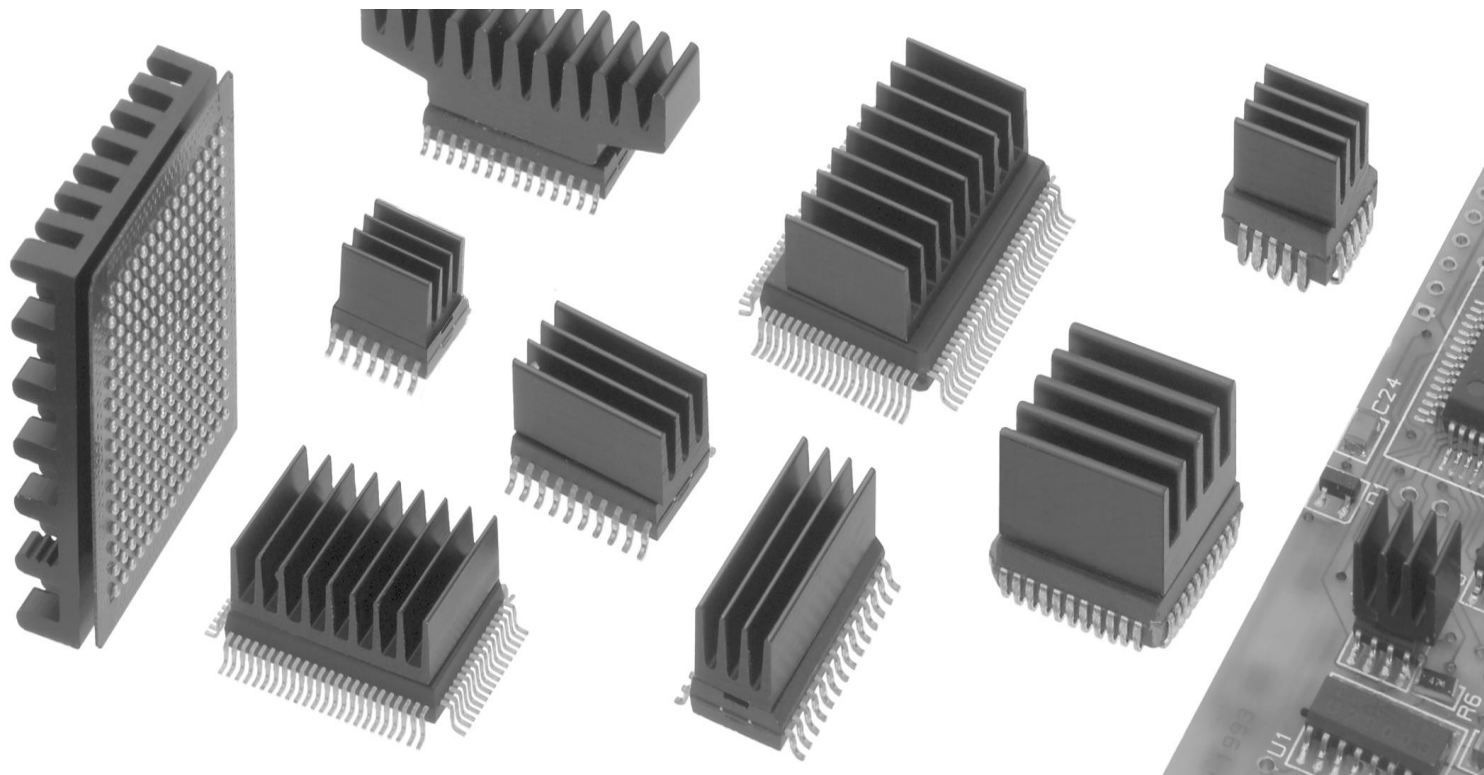
# SMD-Kühlkörper auf Leiterplatte aufgelötet

Beispiel:  
FK 244 D<sup>2</sup> PAK





# SMD-Kühlkörper auf elektronischen Bauteilen fixiert mittels thermisch leitenden Klebstoffen



# Lüfteraggregate

Spezielle Rippengeometrien für forcierte Konvektion.

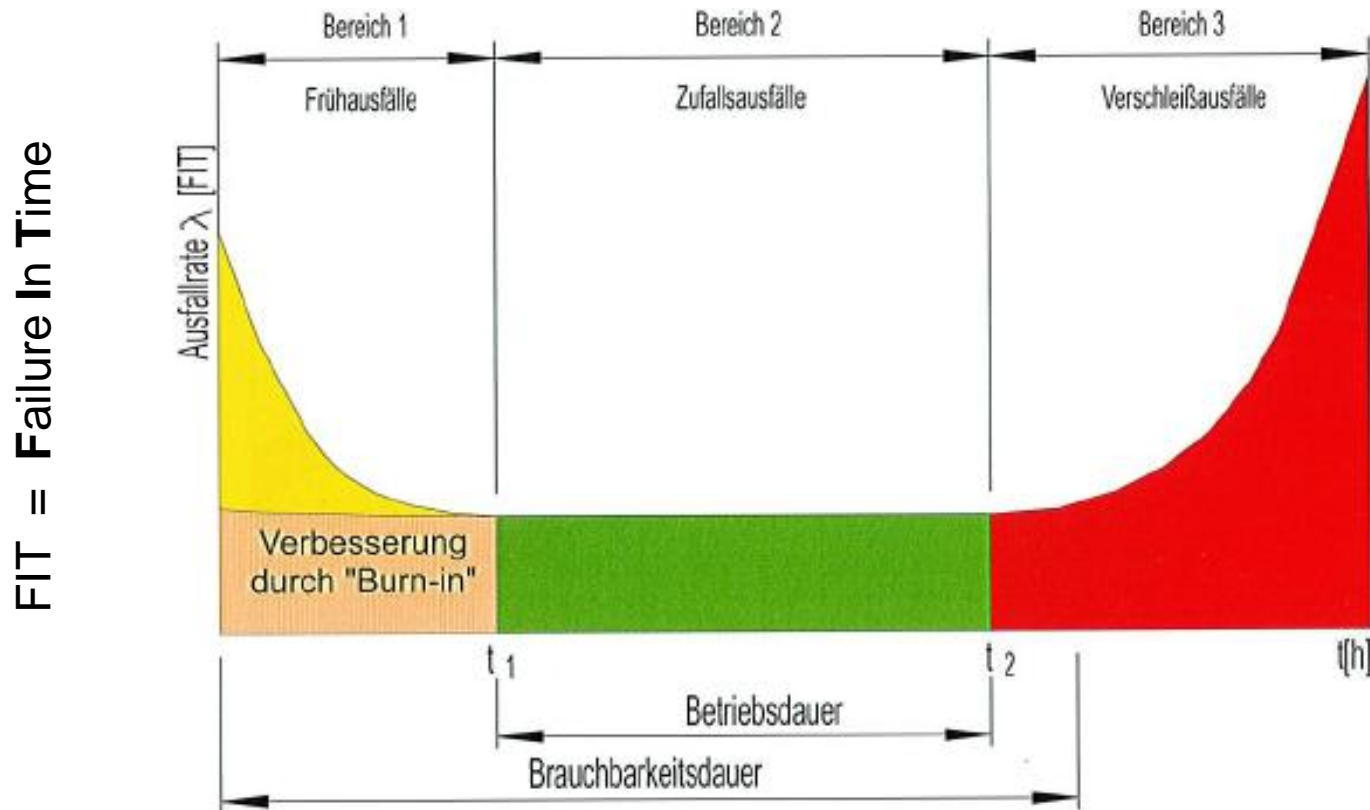
Großflächige Wärmetauschbereiche für beste interne Wärmeverteilung und geringen Luftwiderstand.

Geometrie / Struktur an die jeweilige Lüfterart Axial-Diagonal- und Radiallüftermotoren angepasst, ergibt die beste, volumenbezogene Leistungsfähigkeit.

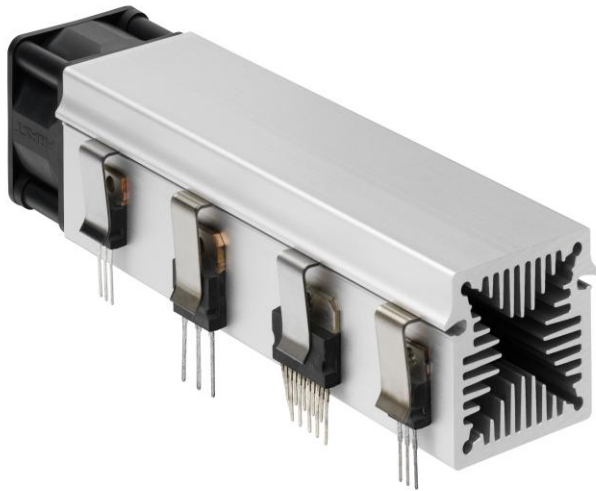


# Lebensdauer elektronischer Bauteile Gerätelebensdauer etc

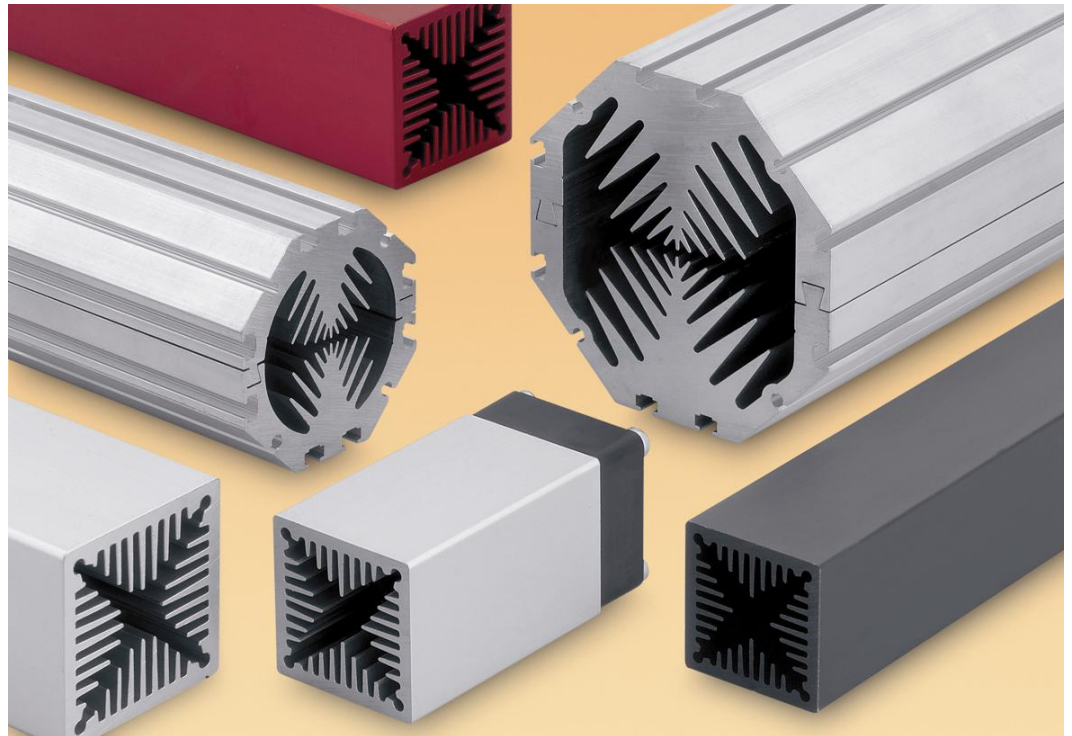
## Weibull Verteilung



# Miniatur - Lüfteraggregate



mit integrierter Nut  
für Halteklammern

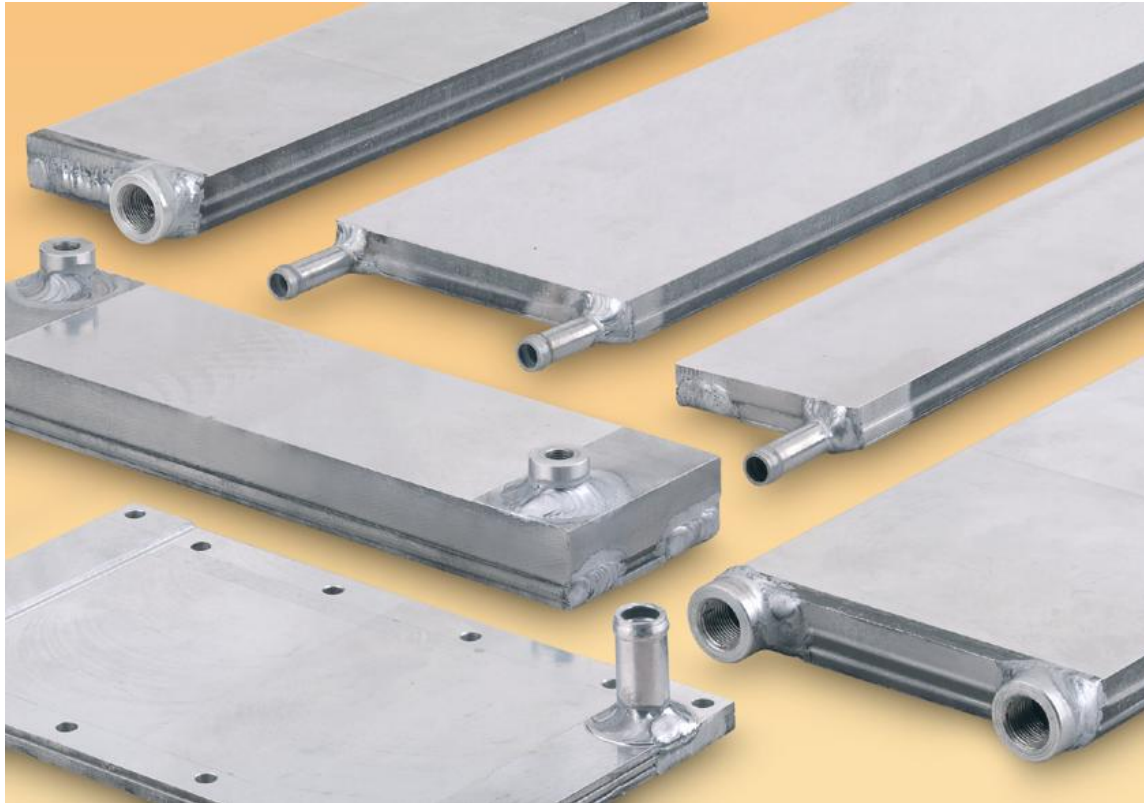


# Auswirkung der Luftdichte zur Lüfterleistung

| <b>Altitude Derating Factors</b> |               |
|----------------------------------|---------------|
| <b>Altitude</b><br><i>m (ft)</i> | <b>Factor</b> |
| <b>0, Sea Level</b>              | <b>1.00</b>   |
| <b>1000 (3000)</b>               | <b>0.95</b>   |
| <b>1500 (5000)</b>               | <b>0.90</b>   |
| <b>2000 (7000)</b>               | <b>0.86</b>   |
| <b>3000 (10000)</b>              | <b>0.80</b>   |
| <b>3500 (12000)</b>              | <b>0.75</b>   |

Lee:  
"How  
to..."  
1995

# Flüssigkeitskühler



Längs und  
U- durchströmt

Anschlüsse als  
Schlauchstutzen  
Gewindemuffe

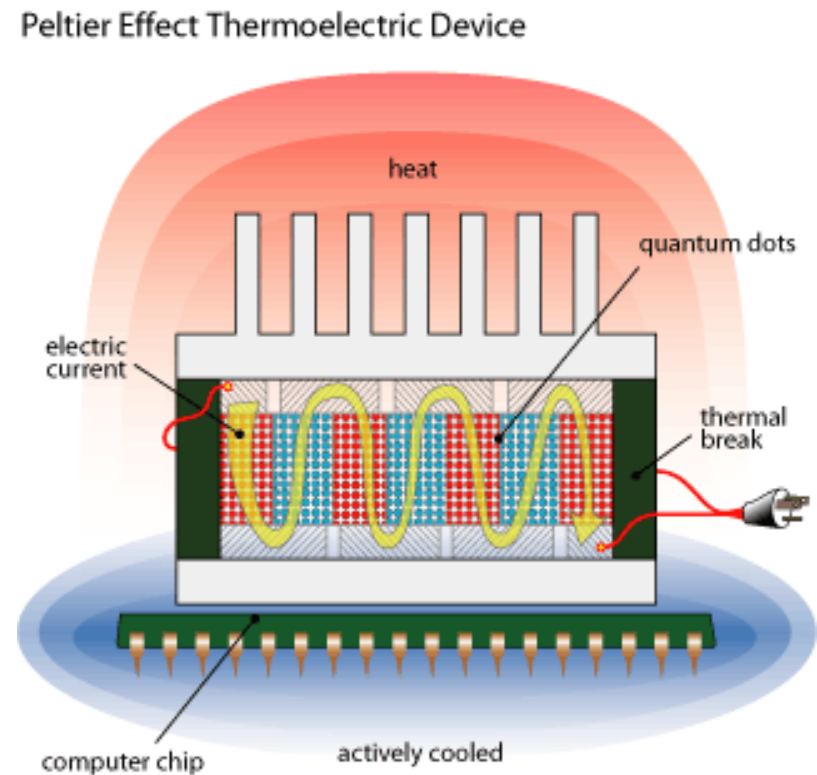
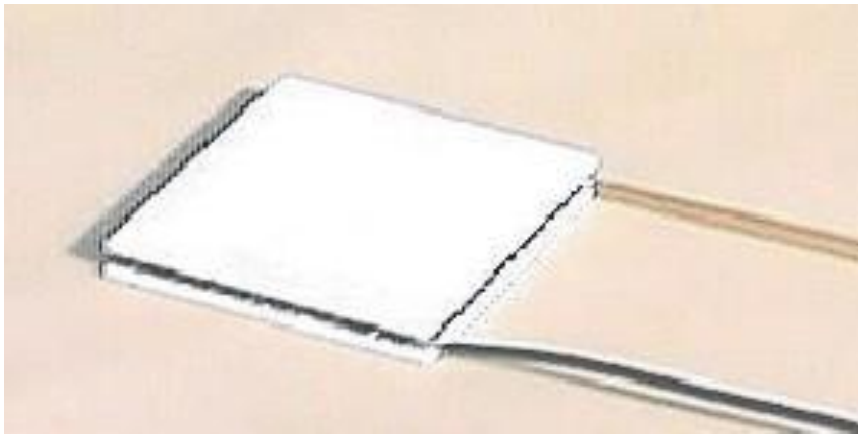
# Flüssigkeitskühler

Thermische  
Verlustleistung  
> 6000 Watt



# Wärmetransport und Kühlkörper, PELTIER Element

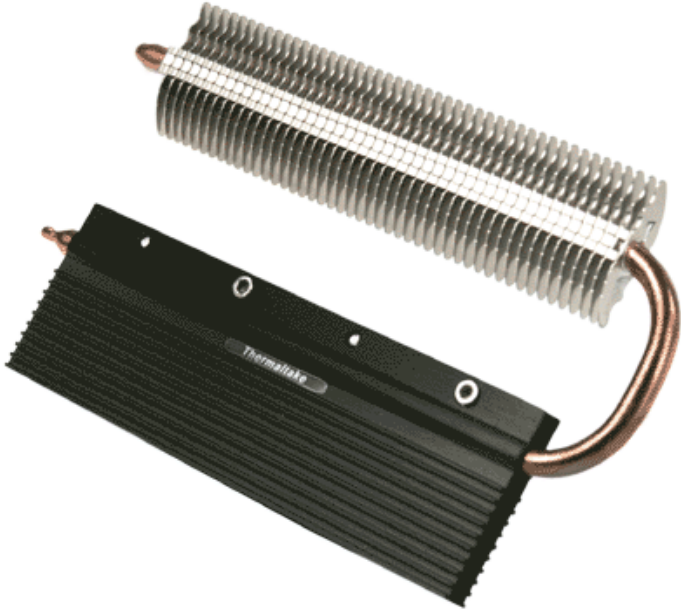
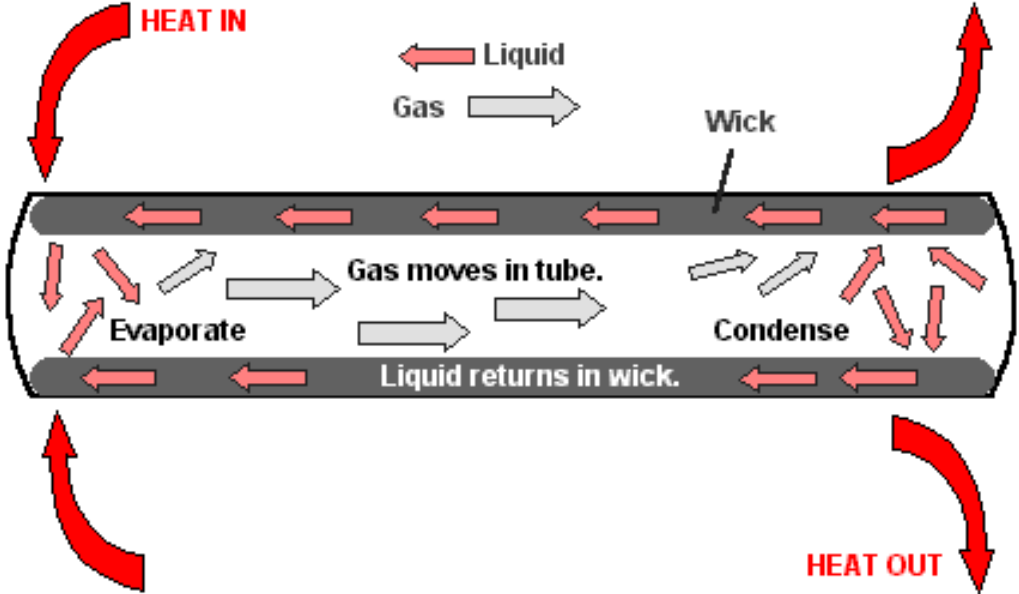
Thermoelektrisches Element ( TE )  
auch Peltier Element,  
ab 1965 Verwendung  
in der Elektronik





# Wärmetransport und Kühlkörper, HEATPIPE

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2004 The Computer Language Co. Inc.

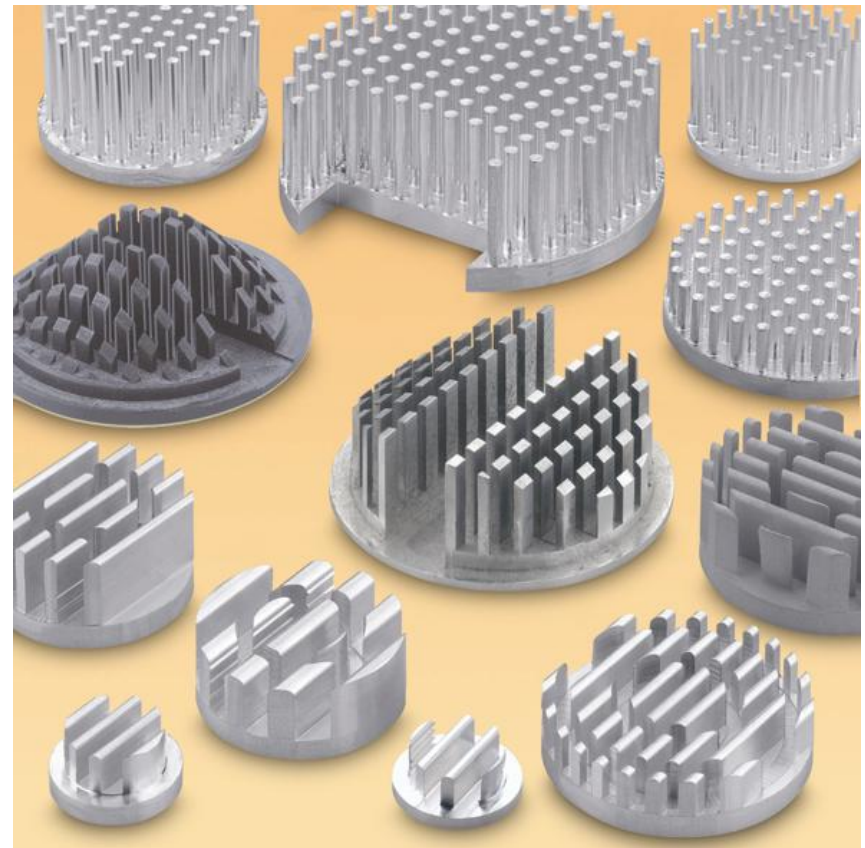
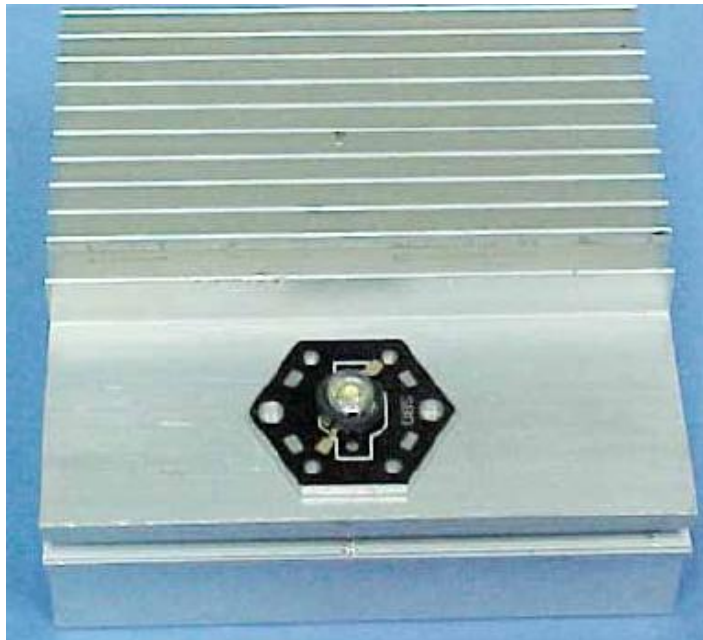


# Strangprofil Kühlkörper und Gehäuse als Wärmesenke für LED



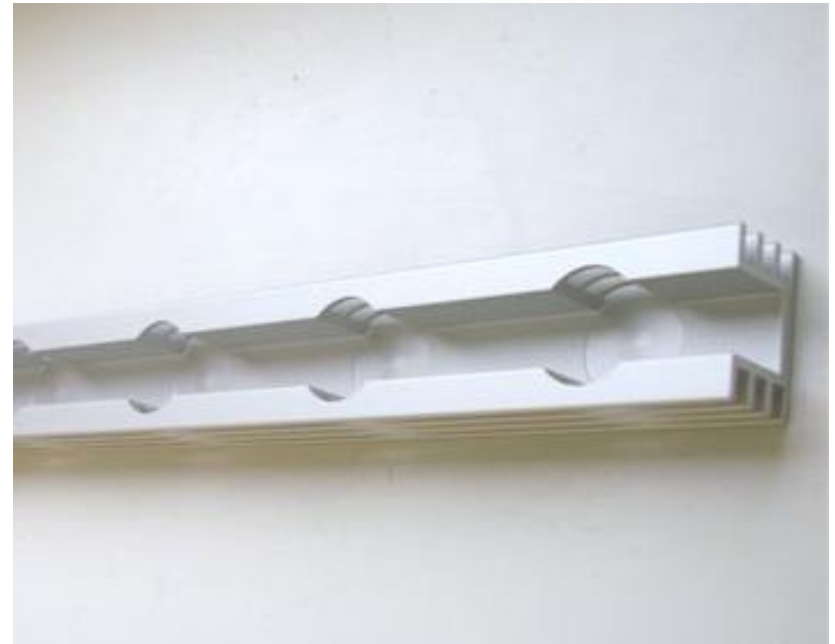
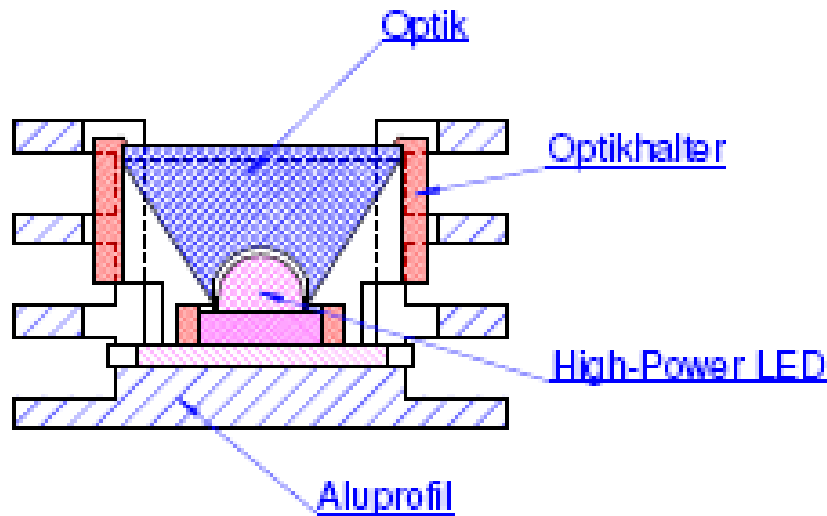


# Strangprofil-Kühlkörper für LED

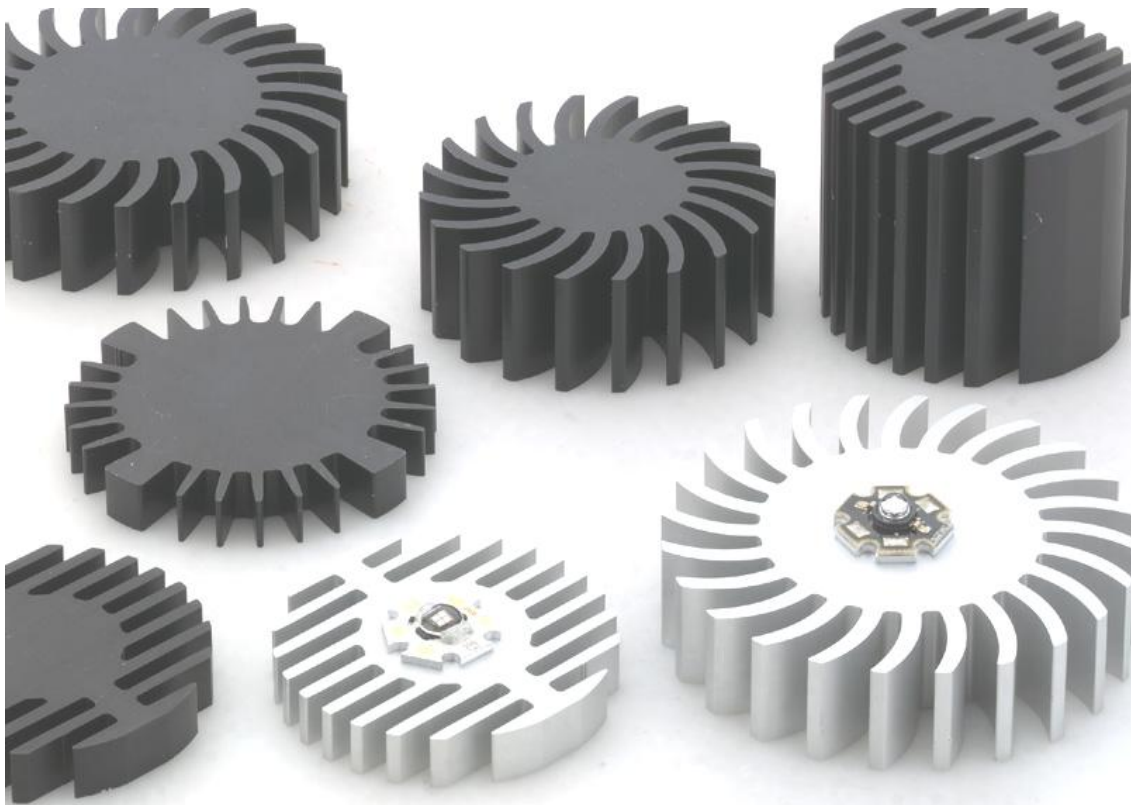


# Applikationsspezifische Kühlkörper

Standard Kühlkörper  
bearbeitet nach Kundenvorgaben



# Standard Kühlkörper für LED Entwärmung



LED  
platziert  
auf  
„Stern“ -  
Kühlkörper

# Applikationsspezifische Kühlkörper

Fischer Standard Kühlkörper SK 572  
modifiziert nach Kundenanforderung



# Applikationsspezifische Kühlkörper

Standard Kühlkörper SK 578  
und Drehteil aus Aluminium  
mit spezieller  
Oberflächenbeschichtung

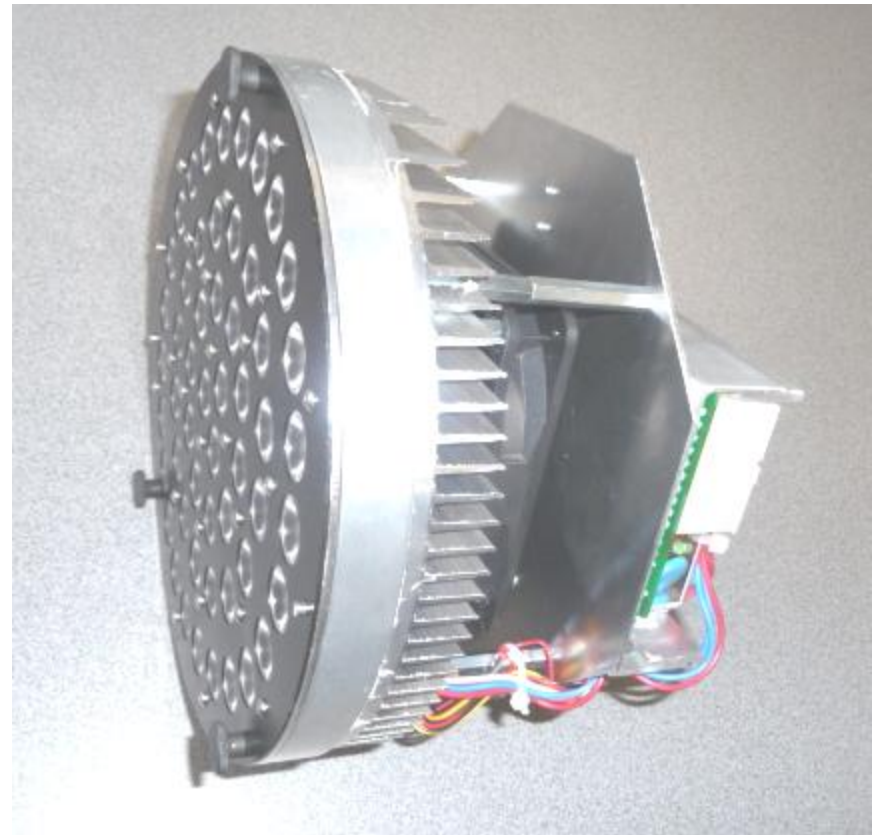




# LED Kühlkörper mit Ventilator

Standard Kühlkörper  
Strangprofil

Kundenspezifische  
Ausfertigung  
ergibt Individuelles Design



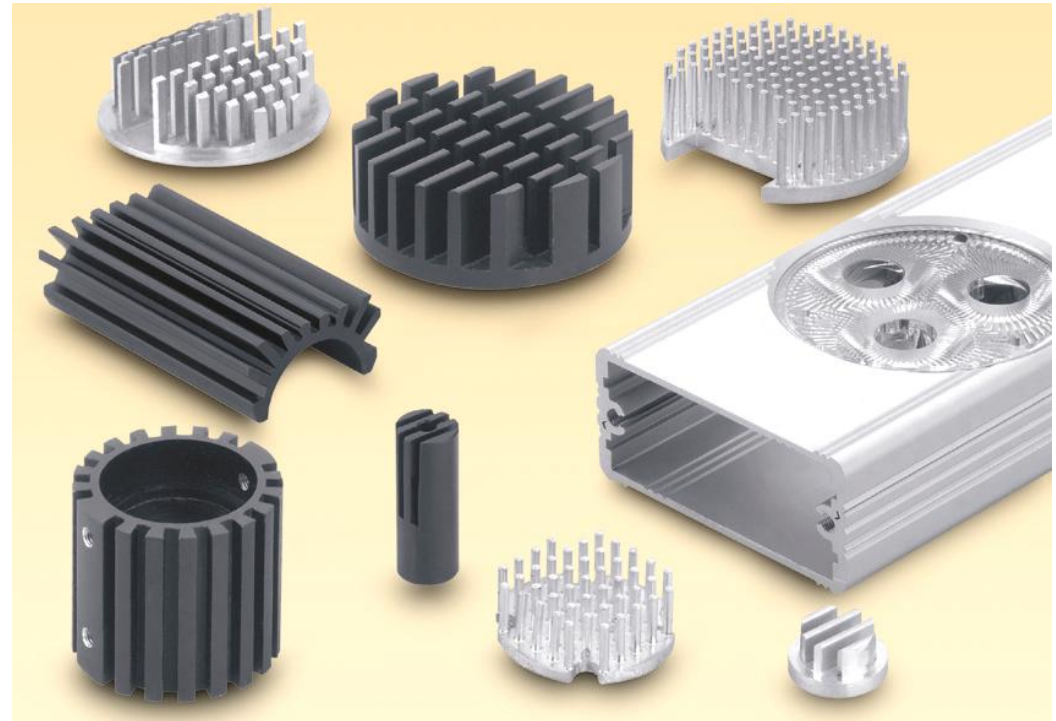
Beispiel: LED – Scheinwerfer aus Fischer Kühlkörper mit Ventilator

# Kühlkörper für passive Entwärmung natürliche Konvektion

Gebräuchlich  
und akzeptiert

Keine beweglichen Teile,  
keine Geräusche

Geringe bis mittlere  
Wärmeableitung

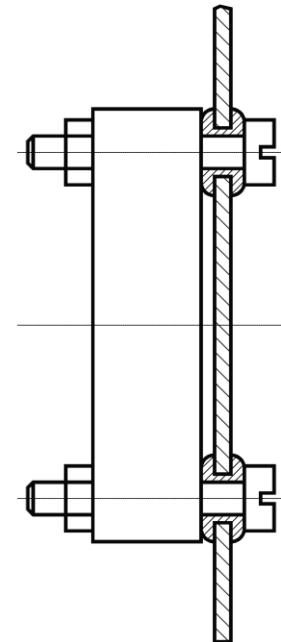
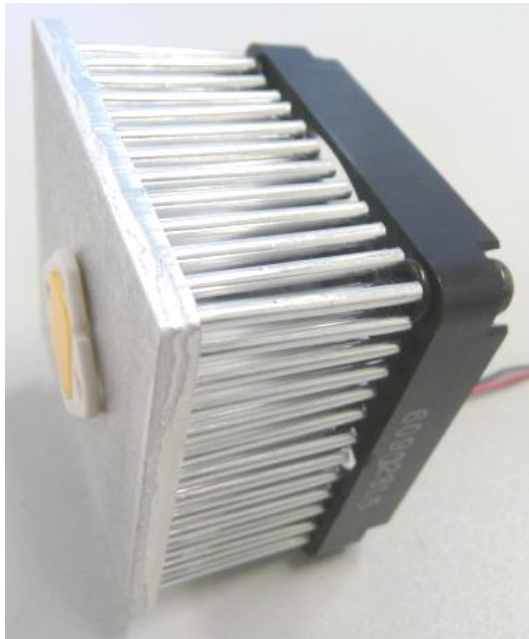


# Kühlkörper für aktive Entwärmung forcierte Konvektion

Geringere Akzeptanz

Bewegliche Teile ( Ventilator ) erzeugen Geräusche  
Und Vibrationen

Mittlere bis sehr hohe Wärmeableitung





# Kühlkörper für aktive Entwärmung Ventilatoren

## Hochwertige Ventilatoren

- Burn-in getestet  
Geringe Fehlerrate ( FIT )
- Zweifach Kugellagerung  
MTTF / MTBF > 250.000 h



Photo:  
SEPA EUROPE

# Kühlkörper für aktive Entwärmung

## Geräuschverminderung

- Langsam laufende Ventilatoren reduzieren den Luftschall
- Geräuschkopplung durch weiche Ventilatoraufhängung reduziert den Körperschall.  
Schraubverbindungen mit Gummibuchsen, Gummilagerung oder Gummistiften, etc.



*Auch für die  
Entkopplung  
von  
Vibrationen*

# Kühlkörper für aktive Entwärmung

$$Q = \frac{P_v}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta T}$$

Berechnung  
der Luftmenge  
zur Kühlung  
eines Bauteiles

|                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| Q              | Luftmenge                           |
| P <sub>v</sub> | Verlustwärmemenge                   |
| C <sub>p</sub> | Spezifische Wärmekapazität der Luft |
| ρ              | Luftdichte                          |
| ΔT             | Zulässiger Temperaturanstieg        |

# Befestigung der LED auf dem Kühlkörper

Schraubbefestigung  
( Wärmeleitpaste erforderlich )

Thermisch leitende,  
doppelseitig klebende Folie

Thermisch leitender Klebstoff  
( 2-K Epoxydharz )

Lötverbindung  
( lötfähige Beschichtung erforderlich )

## Kühlkörperauswahl – Möglichkeiten

### **Standardkühlkörper** ( Katalogware )

die aufgrund der Eignung  
für die gewünschte Anwendung tauglich sind

### **Applikationsspezifische** Kühlkörper

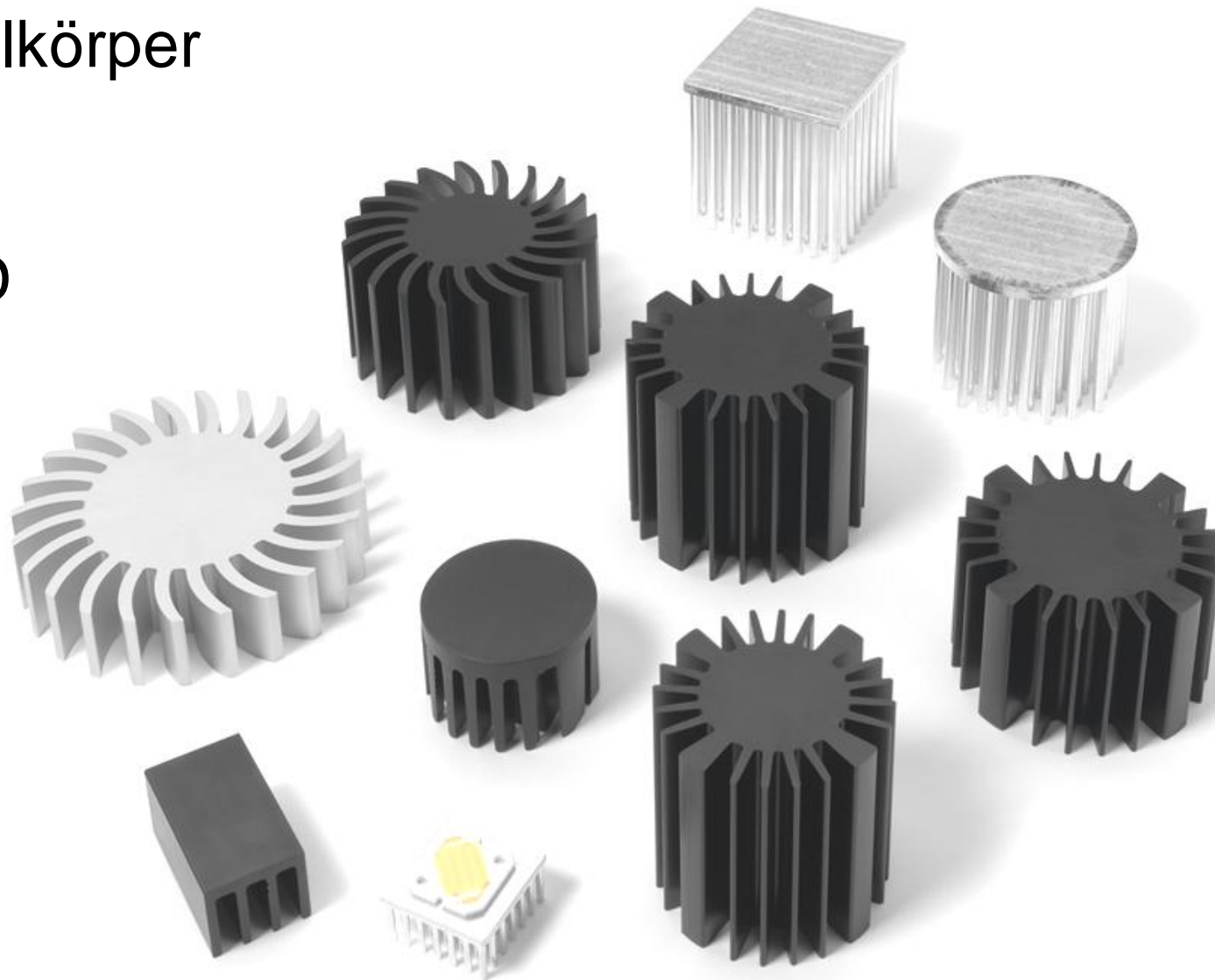
aus Standardkühlkörpern hervorgehend

( z.B. mit Bearbeitung: Ausfräsung, Löcher, Gewinde )

### **Kundenspezifische** Kühlkörper

Kundenapplikation mit komplett neuem Design

# Kühlkörper für LED



# Oberflächengestaltung der Kühlkörper

- Anodisieren ( Eloxieren, Eloxal)
- Lackieren, Nassbeschichten ( Nextel 2K-Lack)
- ( Pulverbeschichten )
- Bedrucken und Gravieren
- Beschichten ( diverses )
- EMV – gerechte Beschichtung

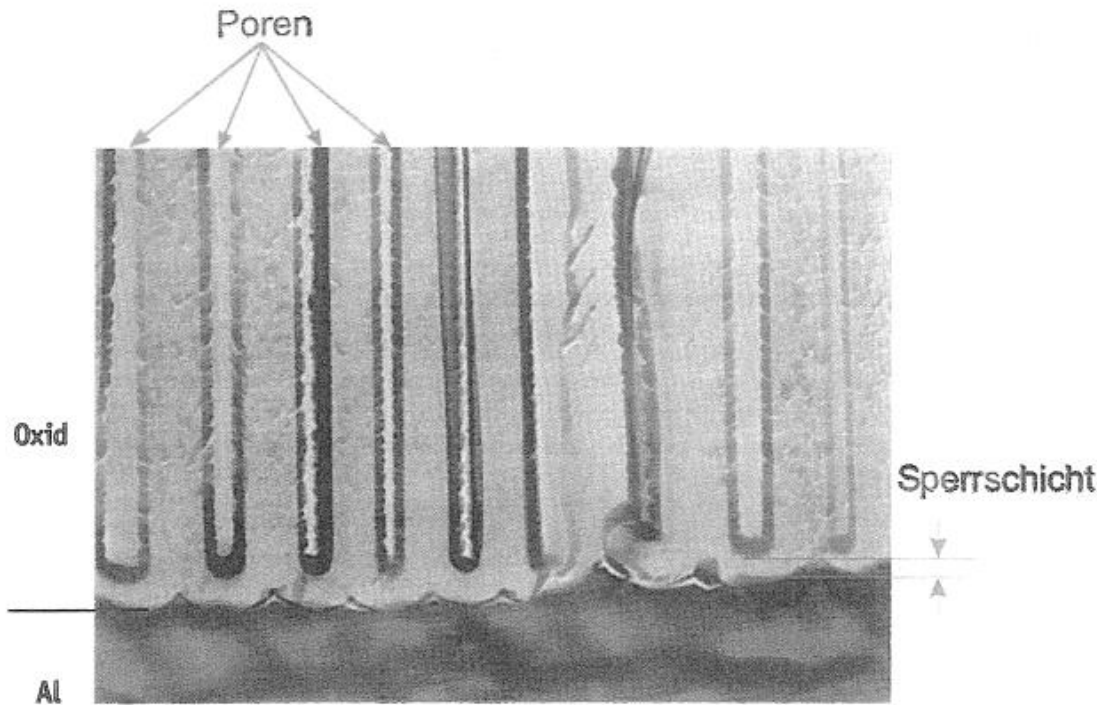
# Anodisieren ( Eloxal )

(**E**lektrisch **o**xidiertes **A**luminium )

- feste Verbindung mit dem Grundmetall
- Korrosionsschutzwirkung
- dekorative Wirkung
- Einfärbbarkeit
- gute mechanische Beanspruchbarkeit
- Isolationswirkung
- toxische Unbedenklichkeit



# Anodische Oxydation, Prinzipdarstellung



REM-Aufnahme eines Querschnitts durch eloxiertes Aluminium (x 80 000)

Struktur  
einer  
im GS-Verfahren  
( Gleichstrom -  
Schwefelsäure )  
erzeugten  
Oxydschicht

# Anodisierung ( Eloxal )

## Thermische Eigenschaften

Die Wärmeleitfähigkeit der Eloxalschicht

ist ca. **10-fach geringer**

als die des Grundmaterials

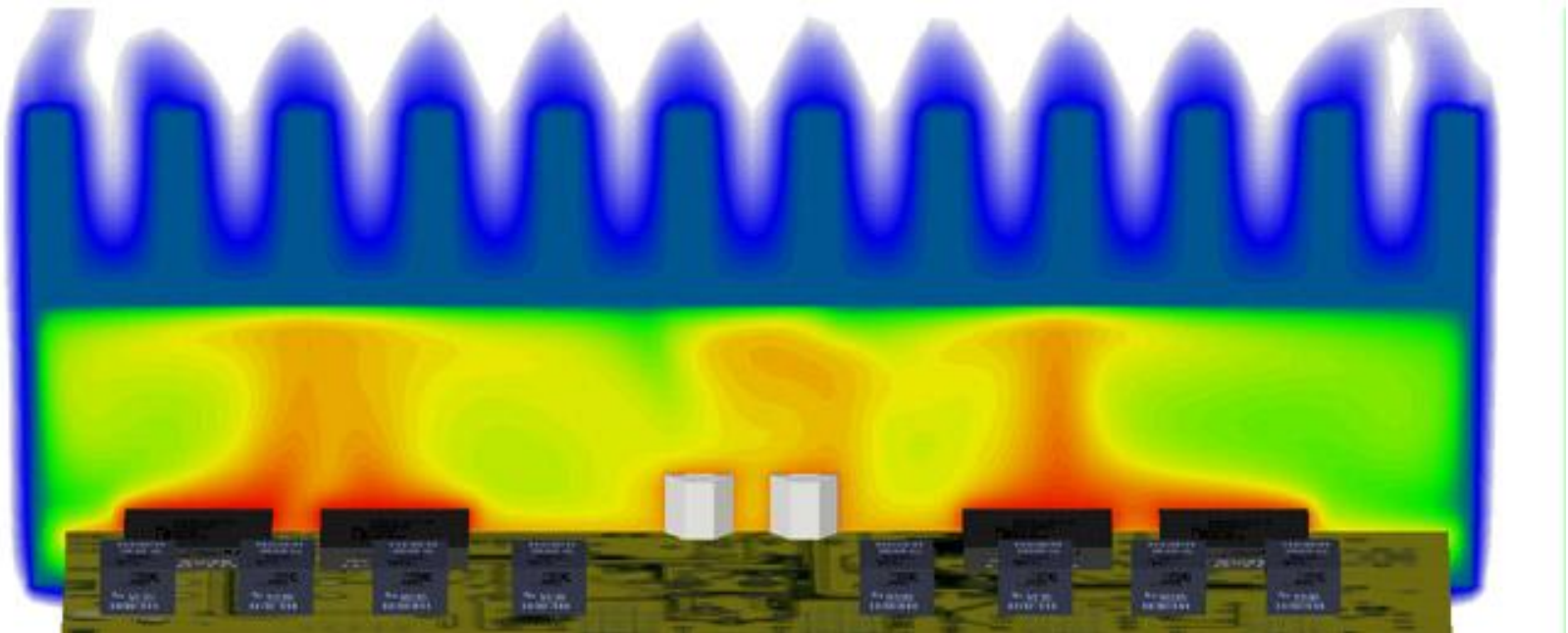
# Trends in der Elektronikindustrie

- Schnellere Entwicklungszyklen
- Größere Verlustleistungen & Bauteiledichte
- Wettbewerbsproduktentwicklungen  
& Herstellkosten
- Abnehmende Gerätelebensdauer
- Zunehmende Produktvielfalt
- Geringer werdende Produktionsmengen
- Zunehmende Produktkomplexität

# Ausblick Elektronikindustrie, Entwärmung

Thermische Optimierung, gleichförmige Wärmeverteilung

Thermosiphon nach dem Prinzip eines Wärmerohres

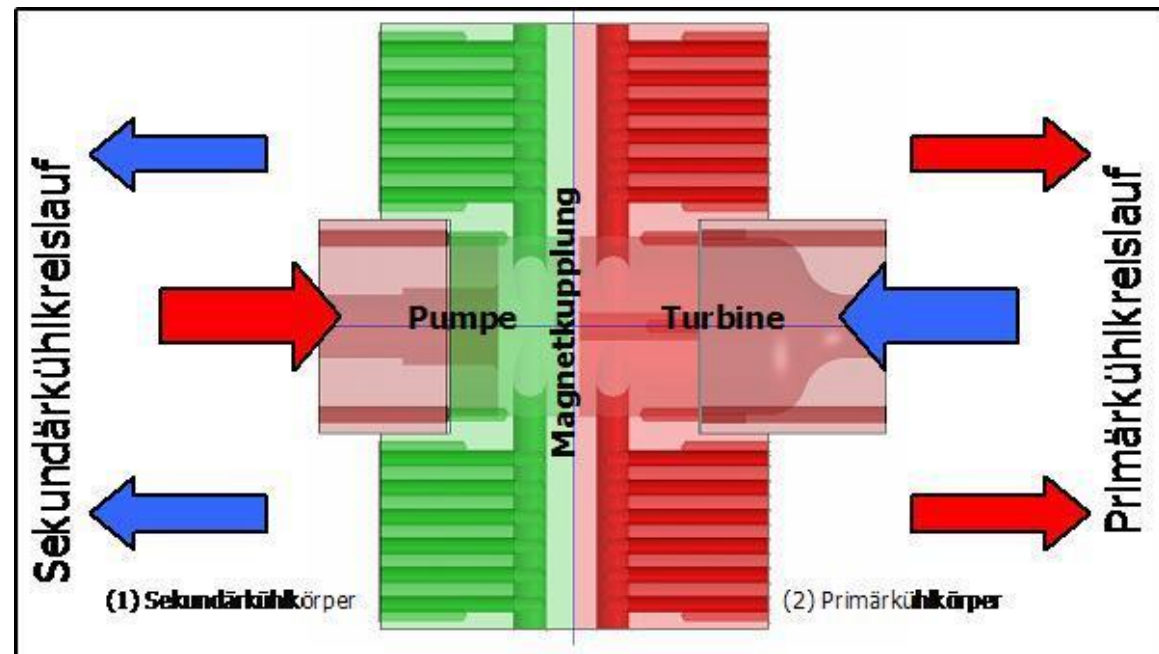


# Ausblick Elektronikindustrie, Entwärmung

Flüssigkeitskühlung, passiv

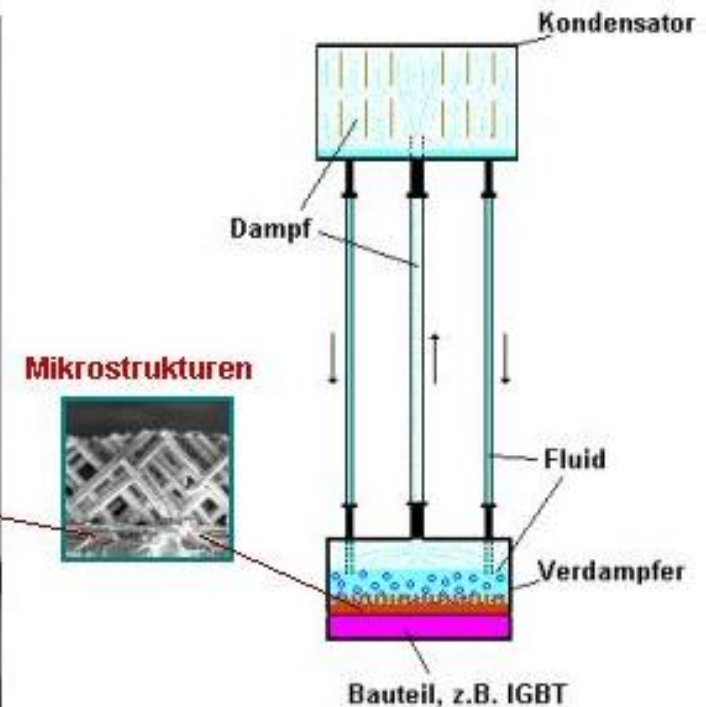
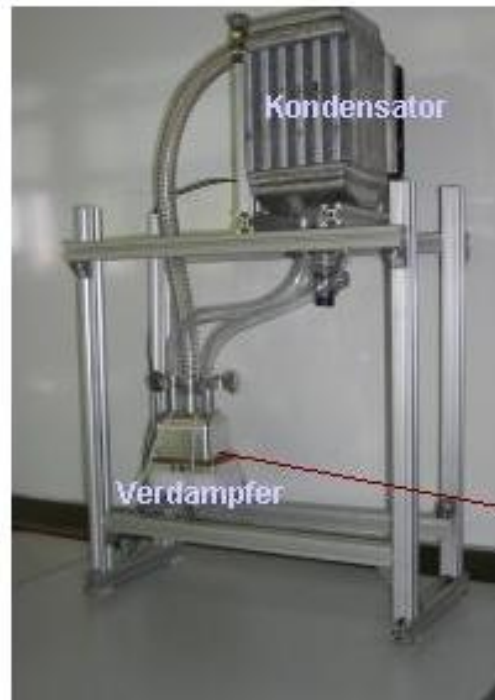
Beispiel: Blade-Server Kühlung

System Hertweck



# Ausblick Elektronikindustrie, Entwärmung

## Siedekühlung System Micryon



# Ausblick Elektronikindustrie, Thermal Design

Low Power Device, Reduzierung der Abwärme

TDP, Thermal Design Power

Mikrokanal-Flüssigkeitskühler DCB -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  /  $\text{AlN}$   
System Electrovac-Ceramik

Schaltschrankentwärmung Fluidkühlung  
Systeme Rittal, Schroff, etc.

Nanostruktur-Wärmetransport

Noch nicht bekannt: TECHNISCHER FORTSCHRITT

# Ausblick Elektronikindustrie und allgemeine Zukunft

„Vorhersagen sind immer dann  
besonders schwierig,  
wenn sie die Zukunft betreffen“

Niels Bohr in: Michael Frayn, „Copenhagen“ 1998

Vielen Dank für Ihr Verständnis