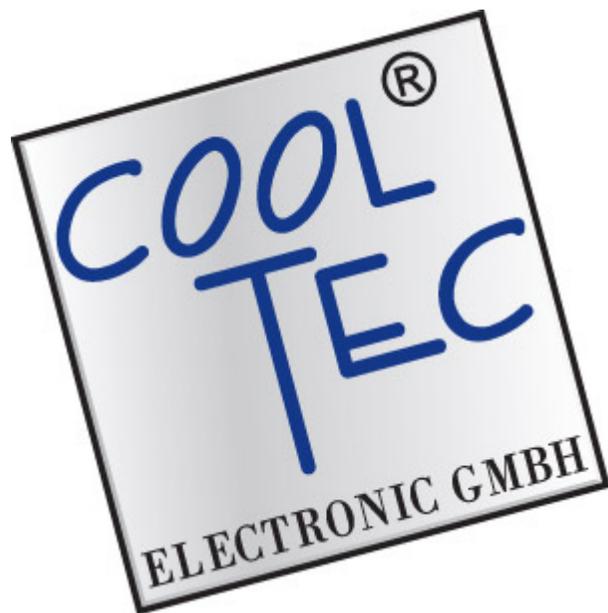




Cool Tec
Electronic GmbH

DIE SIEDEKÜHLUNG FÜR LEISTUNGSBAUTEILE

Andreas Ludwig / Fa. Cool Tec Electronic GmbH
Dr. Andreas Schulz / Fa. Strukturtechnik





Cool Tec[®]
Electronic GmbH



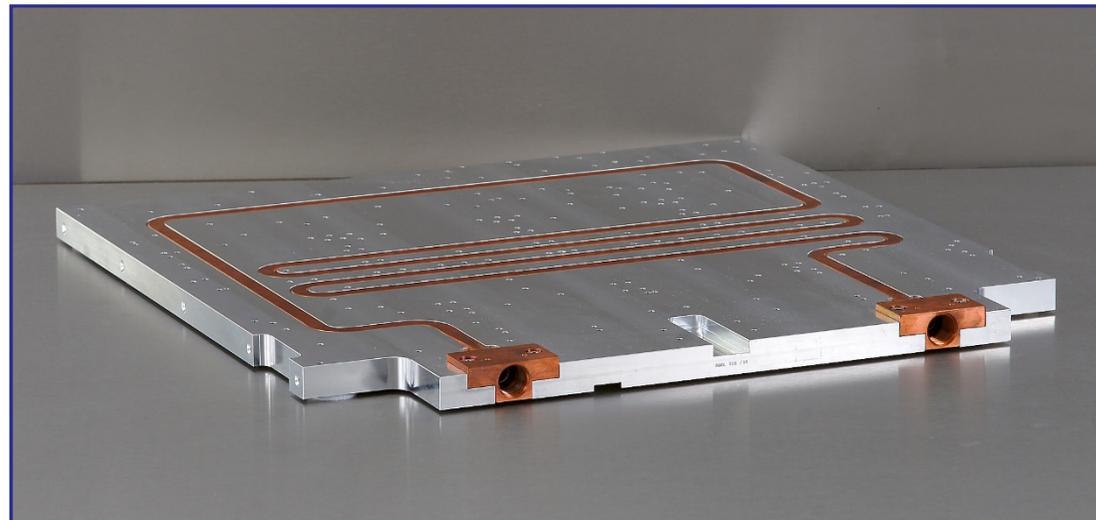
Cool Tec
Electronic GmbH

Kühlen bevor es
zu spät ist





Flüssigkeitskühlkörper mit eingepresstem Cu-Rohr



Durch die Positionierung des Cu-Rohres möglichst unterhalb der Hotspots wird eine effektive Kühlung erreicht.



Flüssigkeitskühlkörper mit eingepresstem Cu-Rohr

Formschlüssig eingepresstes Cu-Rohr ohne Fremdmedien.



Schnitt durch eine Platte mit eingepressten Cu-Rohr



Flüssigkeitskühlkörper mit Innenstruktur



Die Innenstruktur sorgt für eine größere Oberfläche sowie für die Verwirbelung des Fluids. Somit kann mehr Verlustwärme aufgenommen und effektiver gekühlt werden.



Funktionsweise der Siedekühlung

Die Siedekühlung arbeitet nach dem heat pipe Prinzip.

Durch intensives Sieden bzw. Verdampfen des Kältemittels (ab ca. 35°C) wird die Bauteilwärme in Dampf umgewandelt.

Der Dampf steigt mit hoher Geschwindigkeit in den luft- oder wassergekühlten Kondensator auf, wird abgekühlt und fließt als Fluid in die Siedekammer zurück.

Durch eine speziell von Cool Tec entwickelte Mikrostruktur auf der Trägerplatte im Inneren der Siedekammer, erzeugen wir extrem hohe Siederaten. Somit können sehr hohe Verlustwärmemengen am Bauteil abgeführt werden.



Betriebsarten

Wir unterscheiden zwei Betriebsarten der Siedekühlung:

1. Naturumlauf ohne Fluidpumpe
2. Zwangsumlauf mit Pumpe.

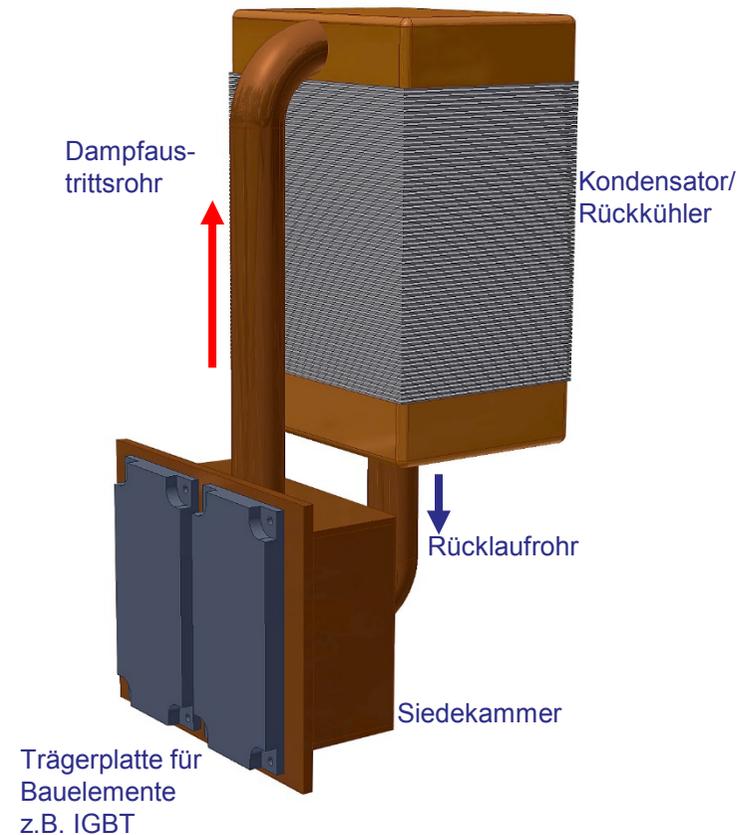
Naturumlauf:

Befindet sich der Kondensator/Rückkühler oberhalb des Siedemoduls, kann die Siedekühlung im Naturumlauf betrieben werden.

Vorteil:

Das Modul ist durch sein geschlossenes System wartungsfrei.

Keine Förderpumpe notwendig.

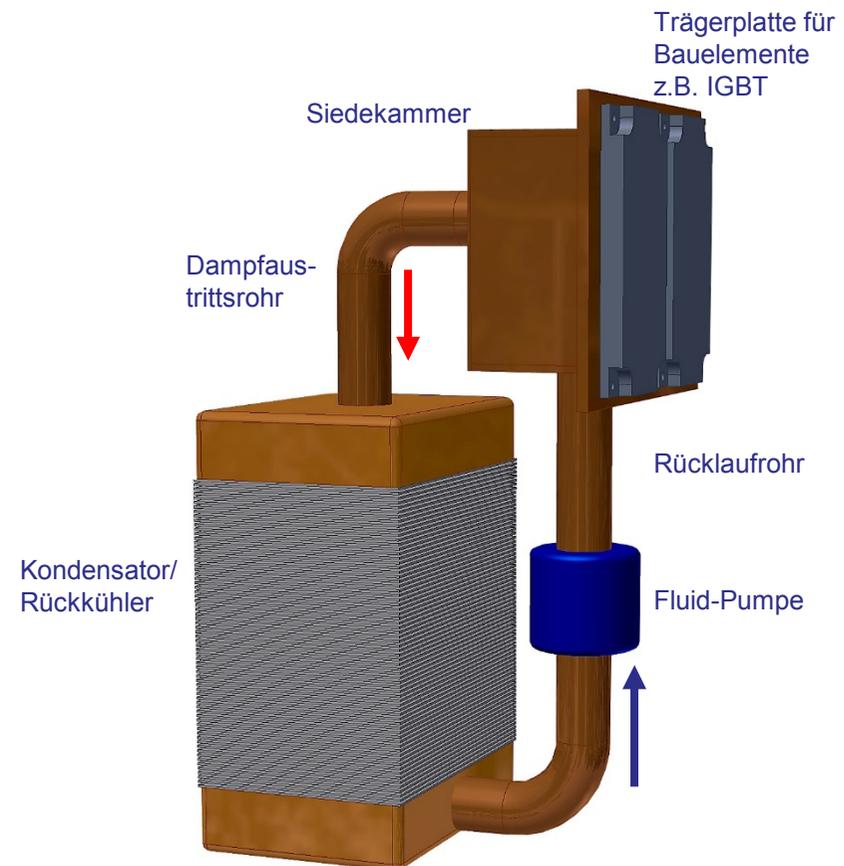




Betriebsarten

Zwangsumlauf:

Anders verhält sich die Siedekühlung, wenn der Rückkühler unterhalb oder weit entfernt von der Siedekammer positioniert werden kann. Hier ist eine Pumpe nötig, die für eine ausreichende Benetzung der Kühlplatte mit Kältemittel sorgt.



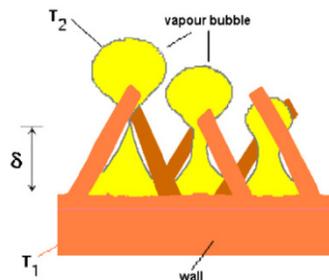


Der Siedeeffekt

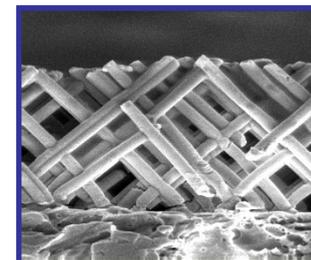
Eine mikrostrukturierte Oberfläche im Inneren des Moduls auf der Trägerplatte sorgt für eine erhebliche Verbesserung des Siedeprozesses.

Mikrostrukturen können durch unterschiedliche Techniken erzeugt werden.

Dazu wurden umfangreiche Untersuchungen und Tests in Zusammenarbeit mit der Strukturtechnik Quedlinburg sowie der Technischen Universität Chemnitz durchgeführt. Dadurch konnte eine optimale Struktur gefunden werden.



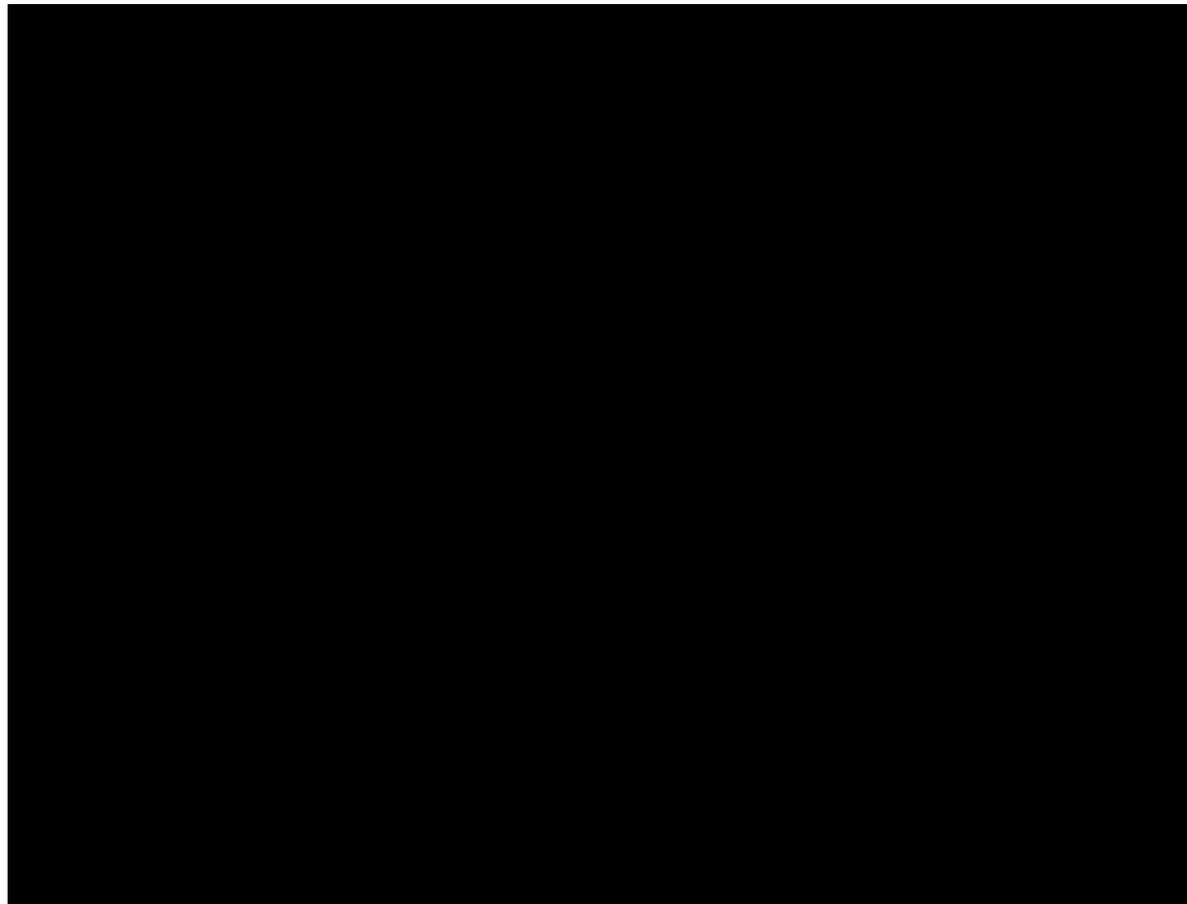
Dampfreste zwischen den Strukturelementen bilden die Keimzellen, aus denen neue Siedebällchen herauswachsen und in schneller Abfolge abreisen können.



Aufnahme einer pinartigen Mikrostruktur aus Kupfer mit Pindurchmesser 3 μm , erzeugt durch einen galvanischen Abscheidungsprozess



Cool Tec
Electronic GmbH





Vorteile der Siedekühlung

2 bis 3- fach bessere Kühlleistung bei gleicher Baugröße gegenüber der Kühlung mit Wasser

geschlossener Kreislauf im Niederdruckbereich

stabile Temperaturen an den Bauteilen

kein Wasser im Kreislauf

das verwendete Kältemittel ist

nicht entflammbar

nicht toxisch

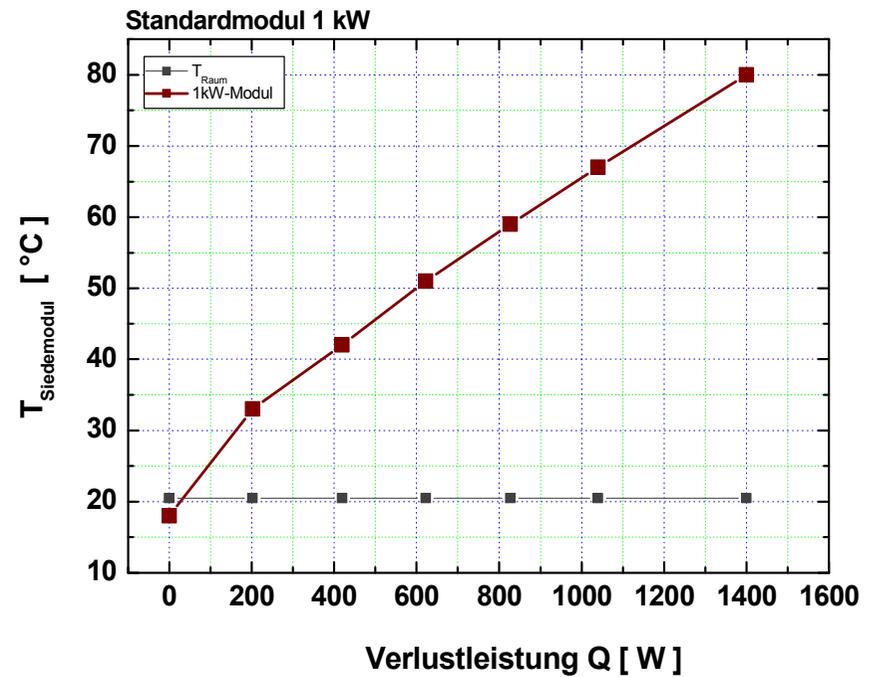
elektrisch hoch isolierend (Kurzschluß ausgeschlossen)

arbeitet bis -45°C

Testmodul für Verlustleistung 1.000 Watt



Luftstrom: 2 Lüfter ~ 300 m³/h
 Raumtemperatur: 20-21 °C
 Heizplatte: 0 – 1.400 Watt

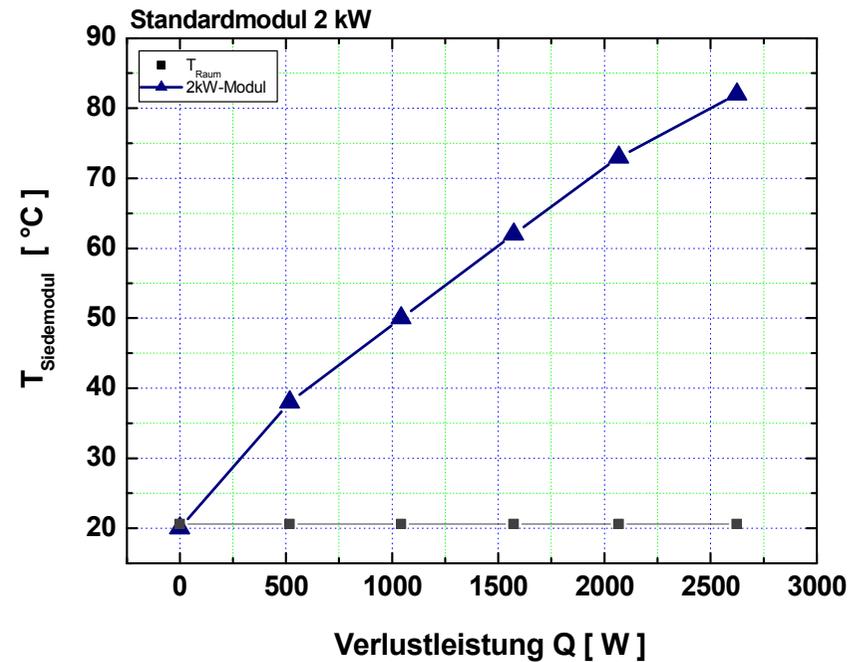




Testmodul für Verlustleistung 2.000 Watt



Luftstrom: 3 Lüfter ~ 400 m³/h
Raumtemperatur: 20-21 °C
Heizplatte: 0 – 2.500 Watt



Vergleich beider Module, 1.000 und 2.000 Watt

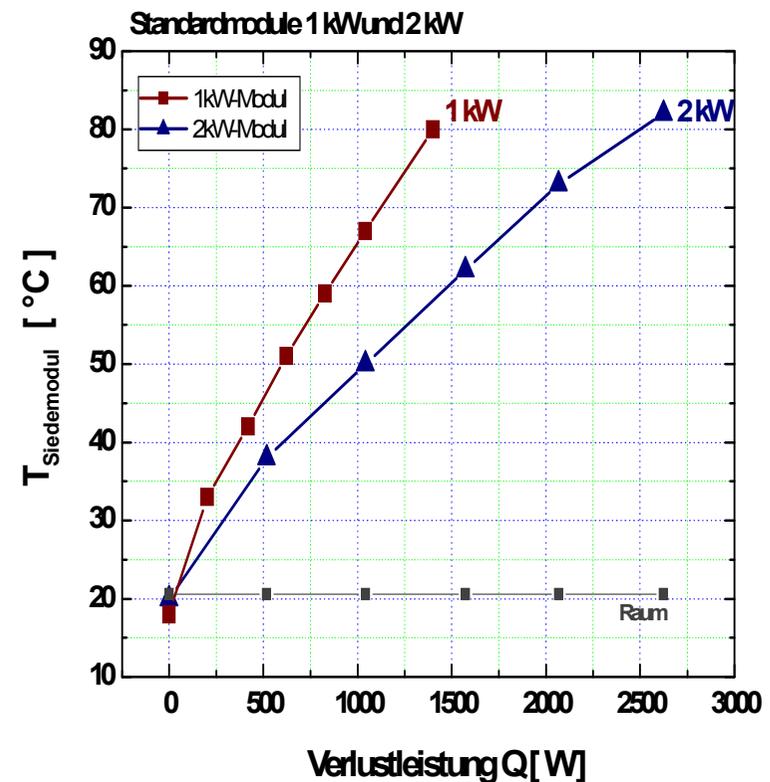
Im Vergleich ist erkennbar, dass die Temperatur am Siedemodul bei 1.000 Watt ähnlich dem Modul mit 2.000 Watt ist.

Der Unterschied beider Module ist die Auslegung des Rückkühlers/ Kondensators.

Der Rückkühler am 1.000 Watt-Modul ist kleiner und wird von 2 Lüftern gekühlt.

Der Rückkühler am 2.000 Watt-Modul ist größer und hat 3 Lüfter.

Der Vergleich zeigt, dass die Dimensionierung des Rückkühlers für die Temperatur am Bauteil ausschlaggebend ist.





Berechnungs- Modul 1 kW- Modul

Eingabegrößen		Ausgabegrößen	
<u>Siedemodul</u>			
Verlustleistung Q_i [W]	1000	Wärmestromdichte q [kW/m ²]	69
Wärmeübertragungsfläche A_{Bauteil} [m ²]	0.029	Gesamtlamellenfläche A_{Lamellen} [m ²]	1.6
Stärke der Grundplatte s [mm]	5	Luftaustritt T_a [°C]	32
k-Wert k_{Sieden} [W/m²K]	18000	Differenzdruck ΔP [Pa]	98
Siedeverzug-Übertemperatur ΔT_o [K]	7	Übertemperatur Kondensation ΔT_k [K]	24
<u>Kondensator</u>			
Lamellenvolumen $T \times B \times H$ [m ²]		Temperatur SES36 T_{SES36} [°C]	59
Tiefe [mm]	80	Übertemperatur Sieden ΔT_s [K]	13
Höhe [mm]	200	Temp.differenz Grundplatte ΔT_w [K]	1.6
Breite [mm]	100	Temp. Oberfl. Siedemoduls T_o [°C]	69.6
Lamellenstärke [mm]	0.2	Temp.diff. Kontaktfläche $\Delta T_{\text{Kontakt}}$ [K]	9.9
Lamellenabstand [mm]	2	Temperatur am Bauteil T_{Bauteil} [°C]	79.4
Luft Eintritt T_e [°C]	21		
Volumenstrom [m ³ /h]	300		
Wärmekapazität c [kJ/kgK]	1		
Dichte ρ [kg/m ³]	1.2		
k-Wert $k_{\text{Kondensation}}$ [W/m²K]	25		
bei Luftgeschwindigkeit v [m/s]	5		
<u>Kontaktwiderstand / Material</u>			
Wärmeleitfähigkeit λ_{Cu} [W/Km]	399		
k-Wert k_{Kontakt} [W/m ² K]	7000		
r Wärmespreizungsfaktor	0.7		

Teststand mit Siedemodul



Das Siedemodul ist im Schaltschrank platziert.
Der Rückkühler/Kondensator befindet sich auf dem Schaltschrank.

Der gesamte Aufbau steht in einem abgeschlossenen Raum mit einer Innentemperatur von konstant 35°C.

Die Verlustleistung im Schrank ist 3.500 Watt.

Im Dauertest von 240 Stunden wurde eine konstante IGBT-Sperrschichttemperatur von 75 °C gemessen.



Teststand mit 6 Modulen

Die Verlustleistung pro Modul beträgt max. 2.100 Watt.

Bei einer Außentemperatur von 25°C wurden bei max. Leistung von 2.100 Watt an allen Modulen 65°C gemessen.



Vorderseite



Rückseite



Anwendungen – z.B. Schaltschrankentwärmung

Ein industrielles Anwendungspotential der Siedekühlung liegt z.B. in der Entwärmung von Frequenzumrichtern in Schaltschranksystemen.

Eine häufig eingesetzte Methode zur Entwärmung ist die Luftdurchströmung des gesamten Schaltschranks, wobei zusätzliche Filtermodule für eine Reinigung des Luftstromes sorgen.

Bauteile mit sehr hohen Verlustleistungen werden auf Wasserkühler montiert um die Verlustwärme abzuführen, was jedoch eine zusätzliche Förderpumpe voraussetzt.

Durch den Einsatz der Siedekühlung mit dem elektrisch hoch isolierenden Kältemittel können sehr hohe Verlustleistungen der Bauteile abgeführt werden, ohne Wasser oder Außenluft in den Schaltschrank führen zu müssen. Somit ist es möglich, Schaltschränke hermetisch abzuschließen, die Elektronik vor Verunreinigungen zu schützen und gleichzeitig eine stabile Innentemperatur zu gewährleisten.



Zusammenfassung

Es wurden Flüssigkeitskühlkörper mit eingepresstem Cu-Rohr, Kühlkörper mit Innenstrukturen und die Siedekühlung vorgestellt.

Die Siedekühlung arbeitet im Naturumlauf, Verlustleistungen im kW-Bereich können transportiert werden.

2 Standardmodule für 1 kW und 2 kW wurden entwickelt und vorgestellt.

Das Siedemodul bildet zusammen mit dem Kondensator ein hermetisch abgeschlossenes und wartungsfreies System.

Es wurden Siedekühlungen in Schaltschränken eingebaut, um die Verlustwärme von IGBTs effektiv abzuführen.

Durch den Einsatz der Siedekühlung sind neue Ansätze im thermischen Management von Systemen möglich.



Cool Tec
Electronic GmbH

Danke für Ihre Aufmerksamkeit !