

Alfred Molnar

# Hitzefrei für alle

Mit ausgeklügelten Kühlkonzepten wollen Entwickler die Betriebstemperaturen ihrer Industrie-PCs niedrig halten – und damit die Lebensdauer von CPU und Co. erhöhen. Der Aufwand ist aber umsonst, wenn bei der Montage die Grundregeln des Wärme-Managements missachtet werden.

**E**in PC leistet keine mechanische Arbeit. Daher wird die gesamte zugeführte Energie zwangsläufig in Wärme umgewandelt. Ohne Gegenmaßnahmen würde die Temperatur des Systems stetig steigen und letztlich die Rechnerkomponenten zerstören. Die Basis für den Wärmetransport aus dem Industrie-PC bilden drei physikalische Grundprinzipien (siehe *Kasten* „Die Theorie“):

- ▷ Wärmeleitung (Konduktion),
- ▷ Wärmeströmung (Konvektion) und
- ▷ Wärmestrahlung.

Bei Industrie- und Desktop-PCs beruht die Wärmeabfuhr im Wesentlichen auf Wärmeleitung und Konvektion: Der Prozessor ist mit einem Kühlkörper versehen, der die entstehende Wärme von der Oberfläche des Halbleiters abführt. Der Kühl-

körper wiederum gibt die Wärme an die Umgebungsluft im Rechnergehäuse ab, die durch einen Lüfter an der Oberfläche des CPU-Kühlkörpers vorbeiströmt (erzwungene Konvektion). Der Einsatz eines Lüfters ist allerdings unter zwei Gesichtspunkten kritisch: Verschleiß und Verschmutzung.

Als mechanisches Bauteil altert auch ein hochwertiger Lüfter. Zudem sinkt wie

bei jedem Elektronikbauteil dessen Lebensdauer (MTBF: Mean Time Between Failures) mit steigenden Betriebstemperaturen, von beispielsweise 45 000 Stunden bei 20 °C auf etwa 15 000 Stunden bei 60 °C. Dieses Temperaturniveau kann bei ungünstigen Bedingungen durchaus im Gehäuse-Inneren auftreten. Außerdem spielt die Staubbelastung eine große Rolle. Der Lüfter saugt durch die Lüftungsschlitze Schmutz an, der sich auf den Komponenten absetzt und deren Kühlung reduziert. Zudem führt der Staub langfristig zu Lagerschäden am Lüfter. Abhilfe schaffen zwar Filtermatten vor

den Lüftungsschlitzen des Gehäuses, bedeuten aber einen erhöhten Wartungsaufwand.

Lüfterlose Industrie-PCs erhalten daher in vielen Applikationen den Vorzug. Bei diesen durch freie Konvektion gekühlten Systemen sorgt nur noch der Dichteunterschied von warmer (aufsteigender) und kalter (sinkender) Luft für die Luftbewegung. Die Wärmeleitung von der CPU zum Kühlkörper erfolgt kostengünstig über einen Wärmeleiter aus Kupfer oder Aluminium. Aufwendiger aber auch wesentlich effizienter (Faktor 100 bis 1000) ist eine Heatpipe. Die Heatpipe ist

mit einem Kühlmittel gefüllt, das an der Wärmequelle (CPU) verdampft, zur Wärmesenke (Kühler) aufsteigt, dort kondensiert und die Wärme abgibt. Der Transport des Kühlmittels funktioniert ausschließlich über Kapillarkräfte und Gravitation.

## Die Tücken der lüfterlosen Industrie-PCs

Generell haben lüfterlose Rechner eine wesentlich geringere Kühlleistung als zwangsbelüftete Systeme. Deswegen sind Maßnahmen bei der Montage zu treffen, um eine Überhitzung des Systems zu verhindern.

## Wärme-Management

### Die Theorie

Für die Wärme-Abführung in einem PC stehen drei Prinzipien zur Verfügung: Wärmeleitung (Konduktion), Wärmeströmung (Konvektion) und Wärmestrahlung.

Die *Wärmeleitung* beschreibt den Wärmefluss innerhalb eines Stoffes, zum Beispiel eines Kühlkörpers. Wichtig sind Materialien mit einer guten Wärmeleitfähigkeit wie Kupfer und Aluminium. Eine Alternative sind effizientere „Heatpipes“.

Die *Wärmeströmung* basiert auf dem Prinzip, die Wärme-Energie eines Körpers über eine Grenzfläche an das umgebende Medium – in der Regel Luft – abzugeben. Die Luft wird dann zusammen mit der aufgenommenen Wärme abtransportiert. Für die abgegebene Wärmeleistung bei der Konvektion gilt folgende Gleichung:

$$\Phi = A \cdot (T - T_{\text{Umgebung}}) \cdot \alpha$$

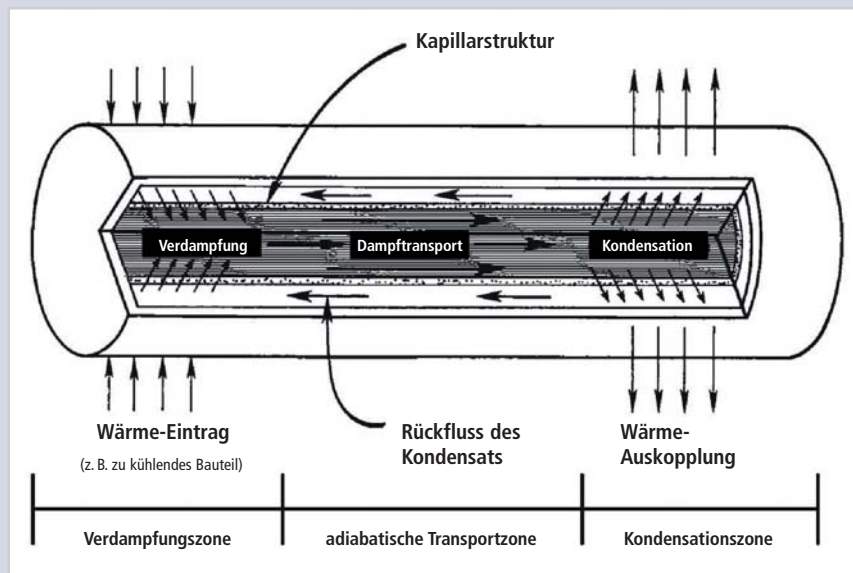
Der Wärmestrom  $\Phi$  in Watt ist proportional zur Kühlkörper-Oberfläche, der Temperaturdifferenz zwischen Kühlkörper und umgebender Luft und dem Wärme-Übergangskoeffizient  $\alpha$ . Bei einer freien Konvektion liegt der Wert für  $\alpha$  bei etwa 20, kann mit einem Lüfter (erzwungene Konvektion) aber auf bis zu 100 erhöht werden. Der Verzicht auf einen Lüfter reduziert die Konvektion deutlich. Eine größere Wärme-Abführung ist dann nur mit einer größeren Grenzfläche zu realisieren. Dies spiegelt sich in der Rippenstruktur von Kühlkörpern wider. Lüfterlose IPCs haben deshalb sehr große gerippte Kühlkörper, die den geringen

Wärme-Übergangskoeffizienten kompensieren sollen.

Bei der *Wärmestrahlung* wird die Wärme in Form von elektromagnetischer Strahlung im Infrarot-Bereich abgegeben. Hier gilt die Gleichung:

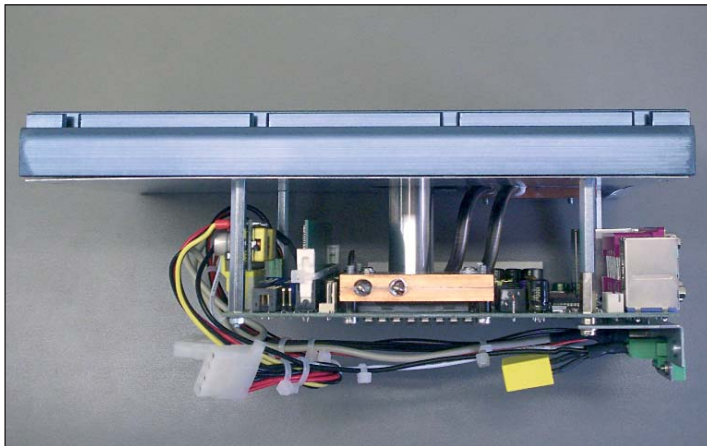
$$\Phi = A \cdot (T^4 - T_{\text{Umgebung}}^4) \cdot \varepsilon \cdot \sigma$$

von der Temperaturdifferenz zwischen Körper und Umgebung an. Allerdings sind die Temperatur-Unterschiede bei der Kühlung eines Industrie-PC relativ gering, weshalb die Wärmestrahlung nur mit 10 % bis maximal 30 % zum Wärmetransport beitragen kann. Neben einer Vergrößerung der strahlenden Fläche durch Kühlrippen lässt sich die Wärmestrahlung durch eine



$\varepsilon$  ist der Emissionskoeffizient der strahlenden Fläche, und  $\sigma$  ist die „Stefan-Boltzmann-Konstante“. Die Wärmestrahlung hängt neben der strahlenden Fläche überproportional – in der vierten Potenz –

höhere Emissionsfähigkeit der Oberfläche verbessern: Bei blankem Metall liegt  $\varepsilon$  bei etwa 0,1 bei dunklen Flächen bei 0,9; ideal schwarz: 1,0. Deshalb sind Kühlkörper meist matt schwarz lackiert.



Die meiste Wärme, die über eine Heatpipe zum Kühlkörper geleitet wird, erzeugen Prozessor und Chipsatz.



Auch bei einem lüfterlosen Industrie-PC kann die Einbau-Situation – hier ein IP65-dichtes Gehäuse – einen zusätzlichen Lüfter erfordern.

Beispielsweise muss darauf geachtet werden, dass die Luft ungehindert an dem Kühlkörper vorbeiströmen kann. Ein häufig anzutreffender Einbau direkt in Wandnischen ist nicht zu empfehlen, da dies die Wärme-Abgabe an die Umgebungsluft extrem behindert oder sogar ganz unterbindet. Ein Industrie-PC sollte, wenn er die Wärme nicht frei in den Raum abgeben kann, zumindest an einer gut durchlüfteten Position in einem Gerät, Schaltschrank oder dem Steuerpult einer Anlage eingebaut sein.

Verlangt die Applikation einen Industrie-PC in Schutzart IP65 lässt sich dies auf zwei Arten erreichen: Mittels eines komplett gekapselten IPC oder mit einem Standard-IPC, der in ein IP65-Gehäuse montiert ist. Oft herrscht das Missverständnis vor, dass geschlossene Oberflächen anspruchsloser hinsichtlich der Entwärmung sind. Gerade bei geschlossenen Systemen ist aber eine ungehinderte Konvektion zwingend notwendig. Eingebaut in einer Nische übersteht auch ein IP65-geschützter Rechner langfristig keine hohen Temperaturen. Gleiches gilt für lüfterlose IPCs, die in ein IP65-dichtes Gehäuse eingebaut werden.

### Der Lüfter im IP65-Gehäuse

Auch wenn es auf den ersten Blick unsinnig erscheint: Der Einbau eines zusätzlichen Lüfters in hermetisch geschlossene Gehäuse macht Sinn. Er wälzt die heiße

Luft um, verhindert Wärmenester und verbessert die Wärme-Abstrahlung und -konvektion an der gesamten Gehäuse-Oberfläche. Messungen haben gezeigt, dass dadurch die Temperatur im Gehäuse-Inneren um 5 bis 10 °C sinkt.

Die bei Lüftern problematische Lebensdauer lässt sich mit einem möglichst großen Lüfter verlängern. Generell gilt: Je größer der Lüfter, umso kleiner die Drehzahl und umso länger die Lebensdauer. Beispielsweise gibt es 80 mm × 80 mm × 25 mm große Lüfter die bei 40 °C eine MTBF von 80 000 Stunden erreichen. Auch sind die Lüfterlager im IP65-dichten Gehäuse keinem Staub ausgesetzt. Zudem lässt sich die Funktion des Lüfters überwachen.

### Betriebs- oder Umgebungstemperatur?

Industrie-PCs werden mit einem Betriebstemperaturbereich spezifiziert, dessen Obergrenze üblicherweise bei +40 °C oder +50 °C liegt. Dies verführt oft zu der Annahme, der Rechner ließe sich bei solchen Umgebungstemperaturen dauerhaft betreiben. Dabei wird die Betriebstemperatur mit der Umgebungstemperatur verwechselt. Eine gute Harddisk hat eine maximale Betriebstemperatur von +55 °C. Dieser Wert wird ohne ausreichende Kühlung durch die Systemerwärmung bald erreicht. Beträgt die Umgebungstemperatur bereits +50 °C,

können sich im Gehäuse-Inneren Temperaturen von über +60 °C einstellen. Das wäre für eine Standard-Harddisk deutlich zu heiß und würde einen vorzeitigen Ausfall verursachen.

Bei hohen Umgebungstemperaturen ist eine zusätzliche Kühlung (Klimatisierung) oder die Reduzierung der Verlustleistung des IPC (andere CPU und Chipsets) notwendig. Alternativ bietet sich an, temperatur-resistente Komponenten zu verwenden, die für Betriebstemperaturen bis zu 85 °C ausgelegt sind.

Eine hohe Rechenleistung, ein lüfterloser Betrieb und die Schutzart IP65 sind Leistungsmerkmale, die immer zu Lasten des Wärmemanagements gehen. *sk*

Nähere Informationen:  
[www.tl-electronic.de](http://www.tl-electronic.de)

Artikel-Download:  
[www.elektroniknet.de/automation](http://www.elektroniknet.de/automation)



**Alfred Molnar**

ist Entwicklungsleiter bei TL Electronic in Garching.