

3 Lüfter und Zubehör

Der in der Umgangssprache verwendete Ausdruck Lüfter, englisch Fan, beschreibt definitionsgemäß eigentlich einen kleinen Ventilator. Als Ventilator hingegen wird umgangssprachlich ein eigenständiges, meist größeres Gerät zur Luftbewegung bezeichnet.

Ein Ventilator oder Lüfter besteht aus einem Rotor, der mit Schaufeln zur Luftförderung besetzt ist, dem Motor und einem Gehäuse, das auch die Motorlagerung enthält. Das Gehäuse bestimmt die Strömungsrichtung der bewegten Luft. DC Lüfter enthalten einen Gleichstrommotor mit elektronischer Kommutierung und sind sehr sparsam im Gebrauch. Dort wo keine Gleichspannung zur Verfügung steht werden Wechselspannungslüfter eingesetzt, die jedoch wegen des schlechten Wirkungsgrades unwirtschaftlich arbeiten. Nur modernste AC Lüfter der Baureihe EC enthalten ebenfalls einen DC-Motor mit entsprechend niederem Stromverbrauch.

3.1 Axiallüfter

Axiallüfter enthalten ein propellerähnliches Laufrad. Die Bewegung der Luft erfolgt weitgehend axial, also parallel zur Rotorachse. Die Formgebung der Rotorschaukeln ist nicht symmetrisch. Durch eine aerodynamisch gerichtete Formgebung wird eine Optimierung in Richtung einer Förderrichtung erreicht. Die Schaufelgeometrie beeinflusst wesentliche Parameter des Lüfters wie Volumenstrom, Druck und Geräusch. Eine Drehrichtungs-/Förderrichtungsumkehr ist für den normalen Betrieb nicht vorgesehen. In manchen Applikationen wird aber eine Drehrichtungs-umkehr zur Reinigung (Entstaubung) der Ansauggeometrie verwendet.

Die abströmende Luft enthält einen oft unerwünschten Drall. Durch so genannte Leitschaufeln lässt sich der Drall in eine weitgehend achsparallele Strömung umformen, wobei der Geräuschpegel allerdings deutlich ansteigt.

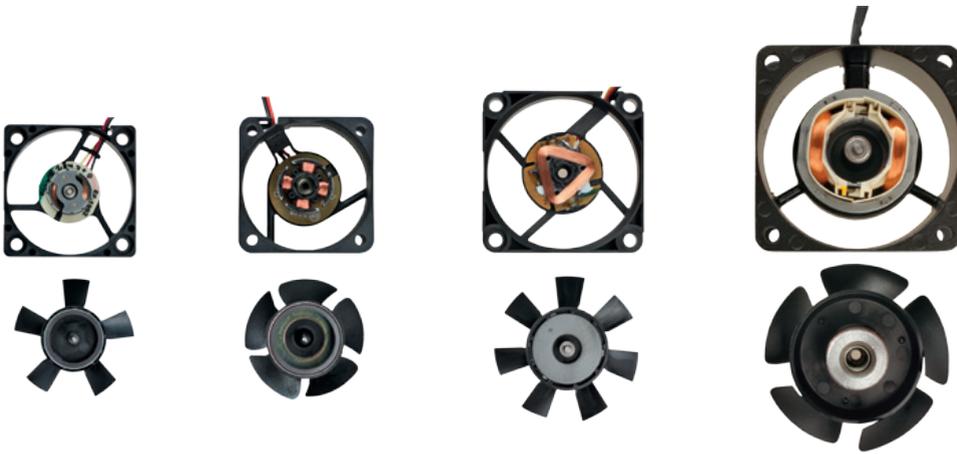


Abb. 8: In der vorliegenden Abbildung werden die wichtigsten Motorkonstruktionen gezeigt:
 v.l.n.r. DC Klauenpolmotor, DC Motor mit Statorpaket aus Blechlamellen, DC Scheibenläufermotor und
 AC Kurzschlussläufermotor.

Bei allen Varianten ist der Rotor des Antriebsmotors mit dem Propeller des Lüfters verbunden. Häufig findet man DC Motoren mit radialem Luftspalt. Der Stator besteht meist aus 2 x 2 Polen, die durch entsprechende Wicklungen magnetisch erregt werden. Der Rotor enthält einen Magnetring aus Kunststoff, der von einem Eisenring oder -topf umgeben ist, auf dem der Rotor sitzt. Wechselstrommotoren enthalten eine außen angeordnete Wicklung auf einem Blechpaket aus mehreren gestanzten Blechen.

Um Bauhöhe zu sparen, werden kleine, flach gebaute Lüfter mit axialem Luftspalt, mit einem scheibenförmigen Permanentmagneten und einer dreieckigen Flachspule aufgebaut. Die bei diesem Motor intern auftretenden axialen Kräfte werden zu Lagerverspannung bzw. -positionierung genutzt.

Die Wicklungen werden so bestromt, dass die Pole eine zum gegenüberliegenden Rotormagneten anziehende Wirkung haben. Bei jedem Polwechsel entsteht bei dem einfach herzustellenden Zweipolmotor eine kleine Winkelzone mit neutraler elektromagnetischer Wirkung. Hier sind die links und rechts drehenden Kräfte gleich groß. Ein Motor könnte aus dieser Stellung nicht, oder nur mit unbestimmter Drehrichtung anlaufen. Asymmetrisch gestaltete Pole überlagern die elektromagnetisch neutrale

Zone durch eine permanentmagnetische Wirkung (Reluktanzmoment). Der Motor pendelt sich beim Auslauf in eine permanentmagnetisch bestimmte Lage ein, aus der nicht nur ein sicheres Anlaufen möglich ist, sondern auch das elektromagnetisch entstehende Drehmoment unterstützt wird. Diese Konstruktion findet sich bei allen DC Lüftermotoren. Ein über den gesamten Betriebstemperaturbereich und während der gesamten Lebensdauer reibungsarm funktionierendes Lagersystem ist sehr wichtig, damit die Lüfter nach dem Abschalten ungebremst auspendeln, um wieder sicher starten zu können.

ECO Lüfter sind eine Weiterentwicklung von Axiallüftern mit dem Ziel eines besseren Wirkungsgrades. Die wesentlichen Unterschiede zu den Lüftern älterer Generation sind das Statorpaket aus Blechlammellen und die wesentlich dünneren Lüfterflügel mit konstanter Wandstärke (Abbildung 9 unten).



Abb. 9: Lüfterflügel im Vergleich

AC Lüfter sind sehr verbreitet, obwohl der Wirkungsgrad wegen des verwendeten Rohrläufermotors oder Kurzschlussläufers ziemlich schlecht und die Leistungsaufnahme dementsprechend hoch ist. Wegen der deutlich höheren Wärmebeanspruchung werden AC Lüfter fast ausschließlich mit Alu-Druckgussrahmen angeboten und sind teuer. Lüfterflügel aus Metall sind sinnvoll, wenn die AC Lüfter bei Betriebstemperaturen über 60°C eingesetzt werden. Nur sehr große Lüfter werden mit Einphasen-Kondensatormotoren oder Dreiphasenmotoren ausgestattet, die einen höheren Wirkungsgrad haben.

Da in vielen Applikationen nur eine Versorgung mit AC Netzspannung zur Verfügung steht, kann der mit einem Bruchteil der Leistungsaufnahme arbeitende DC Lüfter nicht ohne weiteres eingesetzt werden. Die heutige Forderung nach Verringerung der Leistungsaufnahme (ErP-Richtlinie) zwingt hier zum Umdenken: Es ist möglich, einen AC/DC Wandler in Lüftern zu integrieren, ohne dass die äußeren Abmessungen verändert werden. Diese sogenannten EC Lüfter benötigen nur rund 25%

der Betriebsleistung eines vergleichbaren AC Lüfters. Außerdem sind die meisten EC Lüfter ohne Umschalten an allen weltweit vorkommenden Netzspannungen und -Frequenzen einsetzbar. EC Lüfter sind etwas teurer als gleichwertige AC Lüfter. Für den gleichen Volumenstrom werden jedoch weniger Lüfter benötigt, was den Mehrpreis kompensiert. Darüber hinaus ergibt sich im Betrieb eine deutliche Senkung der Stromkosten. Fazit: Es profitiert der Betreiber und die Umwelt.



Abb. 10: EC Lüfter

3.2 Radiallüfter

Bei dieser Lüfterbauart wird die Luft axial angesaugt und die Durchströmung des Laufrades erfolgt in radialer Richtung. Durch die 90° Umlenkung des Luftstromes haben Radiallüfter (Abbildung 11) einen anderen Einsatzbereich als die Axiallüfter. Aufgrund der besonderen Konstruktion des einem Mühlrad ähnlichen Laufrades, kann der Lüfter größere Druckerhöhungen als ein Axiallüfter mit nahezu linearer Kennlinie erzeugen. Durch Veränderung der Lüfterschaufeln und des Gehäuses gelingt es, die Lüfter für das Ausblasen in eine oder in alle Richtungen zu optimieren.

Saugt der Lüfter die Luft von beiden Seiten an, spricht man von doppelflutiger Ausföhrung. Solche AC Radiallüfter mit walzenförmigen Propellerflügeln werden zur Gerätebelüftung eingesetzt. Flache DC Radiallüfter hingegen werden verstärkt in der Elektronikkühlung verwendet, da sich mit dieser Bauart in Verbindung mit Kühlkörpern sehr platzsparende Aktivkühlösungen realisieren lassen. Radiallüfter mit sternförmiger Ausblasrichtung sind oft in CPU- oder Chipkühlern integriert.



Abb. 11: Bauformen von Radiallüftern

3.3 Gehäuselose Lüfter

Wie oben erwähnt, benötigen Lüfter einen, den Propeller umschließenden, zylindrischen Kanal, um zu funktionieren. Beim Lüfter ohne Gehäuse (Rahmen) enthält der Stator nur Elemente zur Befestigung, während die aerodynamische Funktion erst durch den Einbau in ein Multifunktionsteil, welches den Propeller zylindrisch umschließt, erreicht wird. Diese Bauform ermöglicht besonders platz sparende und preiswerte Konstruktionen, wenn der Lüfterrahmen in ein Bauteil integriert wird, das auch andere Funktionen erfüllt. Allerdings können die Lüftereigenschaften nur mit einem Gehäuseadapter gemessen werden. Rückschlüsse auf die einmal für eine bestimmte Konstruktion festgestellte Förderleistung sind im eingebauten Zustand über die Messung der Drehzahl möglich.

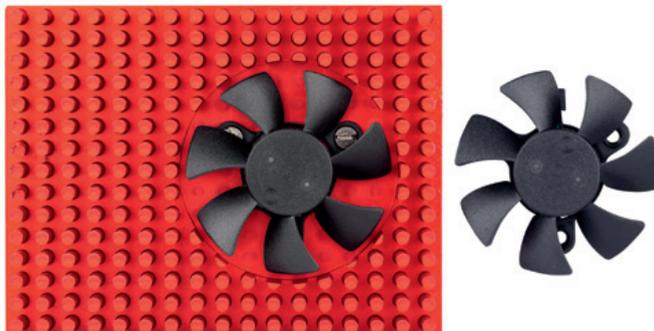


Abb. 12: Rahmenloser Lüfter, montiert und lose

3.4 Diagonallüfter

Diagonallüfter sind ähnlich aufgebaut wie Axiallüfter. Sie saugen die Luft axial an, die Ausströmung erfolgt jedoch diagonal. Der Ausströmwinkel kann durch die Form von Nabe und Luftführung im Gehäuse in weiten Grenzen verändert werden. Der Einsatz kann bei größeren Lüftern sinnvoll sein, besonders wenn das Gerät einen großen Strömungswiderstand aufweist. Durch die nicht achsparallele Ausströmrichtung darf die Ausblasseite nicht durch in der Nähe der Lüfteraußenkante befindliche Teile oder Gehäusewände behindert werden.

3.5 Flachlüfter

Auf Leiterplatten-Steckkarten werden oft Halbleiter-Chips verbaut die aktiv gekühlt werden müssen. Die Karten in den Normgehäusen sind sehr eng bestückt, so dass wenig Höhe zur Verfügung steht. **SEPA**® bietet für diesen Anwendungsbereich sehr flache Radiallüfter (Bauhöhe ab 4 mm) an, die seitlich zum Kühlkörper montiert werden.



Abb. 13: Flachlüfter

3.6 Sonderlüfter

Als Sonderlüfter bezeichnen wir Konstruktionen von Lüftern, deren Gehäuse oder Elektronik vom Standarddesign abweichen, jedoch durchaus Einzelteile oder komplette Baugruppen aus Standardlüftern enthalten können. In der Regel werden dabei spezielle Anforderungen des Kunden an die Mechanik und Elektronik des Lüfters berücksichtigt. Sonderlüfter werden ausschließlich für eine bestimmte Applikation entwickelt und es sind eigene Werkzeuge erforderlich. Durch die hohen Anfangskosten sind Sonderlüfter nur bei hohen Fertigungsstückzahlen wirtschaftlich.

3.7 Chip Cooler

Vorrichtungen zur Wärmeabfuhr an relativ kleinen Halbleiterbauelementen (Hot Spots) werden Chip Cooler genannt. Diese bestehen aus einem Kühlkörper, der die Wärme über die obere Fläche des Halbleitergehäuses (Chip) aufnimmt und an die Umgebung abgibt. Mit passiven Kühlkörpern stößt man rasch an mechanische und thermische Grenzen. Sehr viel effektiver sind aktive Kühler (Kühler mit einem Lüfter ausgestattet).

Leicht machbar und preiswert sind Kühlkörper mit nadelförmigen Stiften zur Vergrößerung der Oberfläche (Kühligel®). Diese durch Pressen in nahezu beliebigen Abmessungen und Formen herstellbare Kühlkörper aus Reinaluminium haben bessere thermische Eigenschaften als gefräste Kühler. Lüfter können aufgesetzt, versenkt oder seitlich montiert werden. Neben kundenspezifischen Größen sind mehrere Standardabmessungen von 25 x 25 mm bis 50 x 50 mm verfügbar.



Abb. 14: Kühligel

3.8 Zubehör

Lüfter oder Kühler benötigen in der Regel ergänzende Komponenten um sie sinnvoll einsetzen zu können. Solche Komponenten werden zur Montage oder zum Schutz gegen Berührung oder Eindringen von Fremdkörpern oder Wasser benötigt. Nachstehend sind diese Zubehörteile beschrieben.

3.8.1 Mechanische und elektromagnetische Schutzvorrichtungen

Schutzgitter haben die Aufgabe, unbeabsichtigtes Berühren der Rotorflügel (Verletzungsgefahr!) zu verhindern. Im einfachsten Fall wird dies durch Gitter aus verchromten Stahldrähten, Edelstahl oder Kunststoffmaterial erreicht. Durch Kombinationen mit Filtermatten, Filterrahmen oder Schirmblechen erreicht man zusätzlichen Schutz gegen Staub, Spritzwasser oder EMV Strahlung.

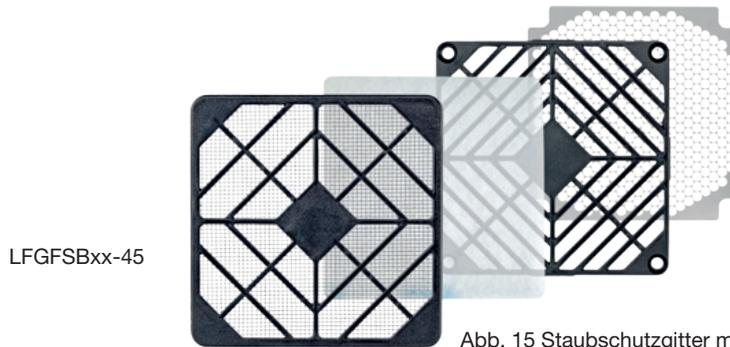


Abb. 15 Staubschutzgitter mit EMV Abschirmung

3.8.2 Montage- und Wärmeleitkomponenten

Wärmeleitpasten gewährleisten eine thermische Verbindung zwischen dem zu entwärmenden Bauteil (z.B. CPU, GPU) und dem Lüfter. Sie ist meist fett- oder silikonhaltig und mit keramischem Material oder Graphit angereicht. Neuere Wärmeleitpasten (z.B. SWP9 SEPA Silver Compound) sind silikonfrei und haben eine höhere Wärmeleitfähigkeit. Darüber hinaus sind silikonhaltige Materialien in vielen Anwendungen wegen Verschmutzungsgefahr nicht zulässig. Wärmeleitpasten sind günstig und einfach anzuwenden.



Abb. 16: Wärmeleitmaterialien

Mit *beidseitig klebenden Wärmeleitfolien* lassen sich Kühlkörper direkt auf die zu kühlenden Bauteile kleben. Diese schraubenlose Montageart ist bei großflächigen Verbindungen und flachen, leichten Kühlkörpern eine sehr preiswerte und effektive Methode. Wärmeleitende Klebefolien haben entweder einen Kunststoffkern mit keramischem Füllstoff und isolieren elektrisch (nur bei Kleinspannung), einen Kunststoffkern mit graphitartigem Füllstoff oder einen Metallkern aus Aluminium, wenn keine elektrische Isolation gefordert ist. Vorteile: Für Montage und Wärmeableitung ist nur ein einziges Teil erforderlich und die Verbindung ist lösbar, wobei die Klebefolie zerstört wird. Diese Klebeverbindungen eignen sich für relativ leichte Kühlkörper und sind bei sorgfältiger Verarbeitung und absolut sauberen Oberflächen sehr sicher. Die Klebefolien werden in mehreren Standardabmessungen oder in kundenspezifischen Größen angeboten.

Eine gut wärmeleitende und mechanisch sehr sichere Verbindung zwischen Bauteil und Kühlkörper stellt der *Wärmeleitkleber* her. In der Regel bestehen Wärmeleitkleber aus zwei Komponenten. So auch der Wärmeleitkleber HERNON 746 von **SEPA**® EUROPE. Hier ist Mischen nicht erforderlich, der Kleber wird auf der einen Oberfläche aufgetragen, mit dem Aktivator wird die andere Oberfläche benetzt. Das Zusammenfügen kann bereits nach einer Minute oder erst nach Stunden erfolgen. Die Verbindung ist, je nach Hersteller, bei Raumtemperatur oder erhöhter Temperatur innerhalb von wenigen Minuten handfest, was die Weiterverarbeitung erleichtert. Die Endfestigkeit wird nach einigen Stunden, ggf. unter Wärmeeinwirkung, erreicht. Preiswerter als Klebefolien, weisen diese sparsam anzuwendenden Kleber hervorragende mechanische und thermische Eigenschaften auf. Nachteil: Kleber und Aktivator müssen aufgetragen werden und die Klebeverbindung lässt sich nicht mehr lösen. Kleber und Aktivator sind in mehreren Gebindegrößen einzeln oder komplett als Set erhältlich.

Oft sind konstruktionsbedingt oder wegen mechanischer Toleranzen auf einer Leiterplatte Luftspalte bis zu mehreren Millimetern thermisch zu überbrücken. Dies kann mit so genannten *Spaltfüllern*, auch Gap-Filler genannt, erreicht werden. Das elektrisch isolierende, mit keramischen Stoffen gefüllte Elastomer wird in Matten unterschiedlicher Dicke angeboten. Um seine optimale Wärmeleitfähigkeit zu erlangen, soll das Spaltfüllmaterial bei der Montage auf etwa 50 Prozent der Anfangsdicke zusammengedrückt werden. Es lassen sich Spalten von ca. 0,15 bis zu mehreren

Millimetern überbrücken und auch bei Bauteilen unterschiedlicher Höhe können die Spaltfüller eingesetzt werden. Allerdings nimmt die Wärmeleitfähigkeit mit zunehmender Dicke des Füllstoffs und bei geringem Zusammenpressen ab. Eine mechanische Druckbefestigung des Kühlkörpers ist bei Gap-Fillern unbedingt erforderlich.

Neben den elastischen Gap-Filler-Matten sind auch pastöse, zweikomponentige Werkstoffe erhältlich. Diese werden mittels Dosierspritze aufgetragen. Diese Paste ist nicht haftend, über einen weiten Temperaturbereich flexibel und kann verschiedene Bauteile mit unterschiedlichen Spaltmaßen zum Kühlkörper wärmeleitend überbrücken. Auch hier ist eine mechanische Befestigung des Kühlkörpers, allerdings ohne Druck, erforderlich.

Thermische Durchkontaktierungen, Thermal Vias, verbessern die Wärmeleitfähigkeit in Z-Richtung (Dicke) der Leiterplatte. Sehr kleine Bauteile (SMD, Surface Mounted Devices) erlauben aus konstruktiven oder optischen (SMD-LED) Gründen oft kein direktes Anbringen eines Kühlkörpers am Gehäuse. Jedoch ist durch die verlöteten Anschlüsse und über den Gehäuseboden bereits ein sehr guter Wärmetransport möglich, der durch eine thermisch leitende Verklebung des Gehäuses an der Leiterplatte noch stark verbessert werden kann. Die Kühlwirkung einer Kupferfläche auf der Bauteilseite einer Leiterplatte ist gering und reicht meist nicht aus. Der Wärmeleitwert einer Leiterplatte in Z-Richtung ist mit etwa $0,3 \text{ W/mK}$ sehr schlecht und kann durch ein Array von Thermal Vias um den Faktor 10 bis 50 verbessert werden. Ein solches Array besteht aus einer möglichst großen Anzahl von Cu-Durchkontaktierungen. Technisch sind bis zu 400 Bohrungen pro cm^2 mit einem Durchmesser von $0,35 \text{ mm}$ möglich. Auf der Rückseite der Leiterplatte wird die über die Vias fließende Wärme über einen Kühlkörper abgeleitet.

Ein *Wärmerohr*, auch *Heatpipe* genannt, ist ein Wärmeübertrager, der unter Nutzung von Verdampfungs- und Kondensationswärme eines Stoffes eine hohe Wärmedichte erlaubt. Die Heatpipe transportiert die Wärme zum Kühlkörper und wird eingesetzt, wenn der Kühlkörper in der erforderlichen Größe nicht direkt am zu entwärmenden Bauteil Platz findet. Der Markt bietet hier eine Vielzahl an Standardprodukten an, jedoch arbeitet eine Lösung, die auf einen konkreten Anwendungsfall ausgerichtet ist, meist besser.