

## Kühlen mit Luft – axial, radial oder diagonal?

***Zu allen elektronischen Geräten, die viel Abwärme erzeugen, gehört eine entsprechende Kühlung, die in fast allen Fällen per Luftströmung vorgenommen wird. Setzt man eine aktive Kühlung, sprich einen Lüfter, ein, steht man immer wieder vor dem Problem, sich für eine bestimmte Bauform, Größe und ein Arbeitsprinzip zu entscheiden. Wir wollen hier einmal verschiedene Lüftertypen, die dazugehörige Physik und die Auswirkungen der Bauweise in der Praxis betrachten.***

### Durchzug ja, aber leise!

Insbesondere Computernutzer, aber zunehmend auch Besitzer von digitalen Videorecordern oder Sat-Receivern, leistungsfähigen Netzteilen, Funkgeräten usw. kennen das Problem: Rauschende, surrende und im Gehäuse dröhnende Lüfter vermiesen den Spaß am Gerät. Denn oft genug setzt die Industrie billige Exemplare von der Stange ein, die sich bei ihren nominellen Drehzahlen lautstark bemerkbar machen. Und dies nicht nur, weil man zum Lüfter gegriffen hat, der auf billigen Plastiklagern läuft, sondern vielfach auch, weil falsche Größen, Wirkungsprinzipien, Flügelgeometrien und andere falsche Kriterien eingesetzt wurden. Der erfahrene Computerbesitzer

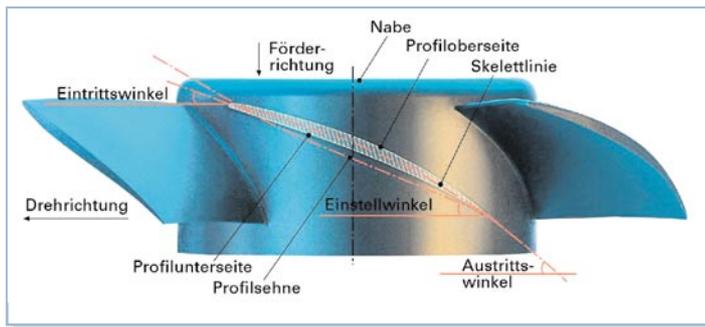
schreitet dann bald zur Optimierung des Geräuschpegels, an deren Beginn fast immer der Austausch gegen geeigneterer Lüfter, deren Regelung und Geräuschminimierung steht. Wohl jeder, der sich mit dieser Thematik beschäftigt, kennt einige Grundregeln. So ist es etwa besser, einen großen, langsam laufenden Lüfter einzusetzen als einen kleinen, schnell laufenden Lüfter.

Lüfter stehen uns heute in einer großen Vielzahl an Ausführungen zur Verfügung, die sämtlich an die verschiedenen zu bewältigenden Aufgaben angepasst sind. Um die gängigsten Bauformen von Kleinlüftern entsprechend der Aufgabe einsetzen zu können, ist das im Folgenden vermittelte theoretische Wissen über die Wirkungs- und Arbeitsweise dieser Lüfter Voraussetzung für den praktischen Einsatz.

### Bewegte Luft

Bewegte Luft enthält kinetische Energie. Diese muss der ruhenden Umgebungsluft zugeführt werden, um einen Luftstrom zu erzeugen. Das bekannteste Beispiel hierfür ist wohl der Flugzeugpropeller. Ein profilierter Drehflügel überträgt die Wellenleistung in die Luft, ein gerichteter Luftstrom entsteht. Aber auch Laufräder mit radialen Flügeln und Walzen mit Längslamellen sowie Bauarten mit Übergängen zwischen diesen Ausführungen eignen sich für die Gasförderung.

Für den Einsatz sind Leistung, also Luftdurchsatz und die (vom mechanischen Laufgeräusch des Antriebs unabhängige) Geräuschentwicklung, die durch die Luft-



**Bild 1: Das Schnittbild des Schaufelprofils eines Axiallüfters**

bewegung im Ansaug- und Abluftbereich des Lüfters entsteht, entscheidend.

### Axiallüfter: viel Wind, wenig Druck

Das Prinzip des bereits erwähnten Propellers wird im Axiallüfter angewandt. Die Durchströmung des Laufrades mit den (Propeller-) Schaufeln erfolgt weitgehend parallel zur Rotorachse, daher auch der Name Axiallüfter. Die rotierenden Schaufeln sind für einen guten Wirkungsgrad komplex geformt. Neben einer Krümmung der ganzen Schaufel (siehe Abbildung 1) ändert sich auch das Profil des Schaufelblatts mit dem Durchmesser. Grund dafür ist die steigende Umfangsgeschwindigkeit der einzelnen Blattabschnitte mit zunehmender Entfernung von der Antriebsachse. Im Wesentlichen kann man das Arbeitsprinzip so darstellen:

Die angesaugte Luft strömt stets allseitig aus dem Raum auf den Einlass zu. Dabei übernimmt das Außengehäuse die Funktion des Ansaugtrichters. Die Einströmkanten sind daher abgerundet. Auf der Förderseite wird die Luft in Achsrichtung ausgestoßen. Dafür sorgen die Schaufeln des Lüfters, die die Luft quasi durch den Lüfter drücken. Angestrebt wird ein möglichst homogener Strömungsverlauf ohne Wirbelbildung. Ein so ausgelegter Lüfter arbeitet sehr leise.

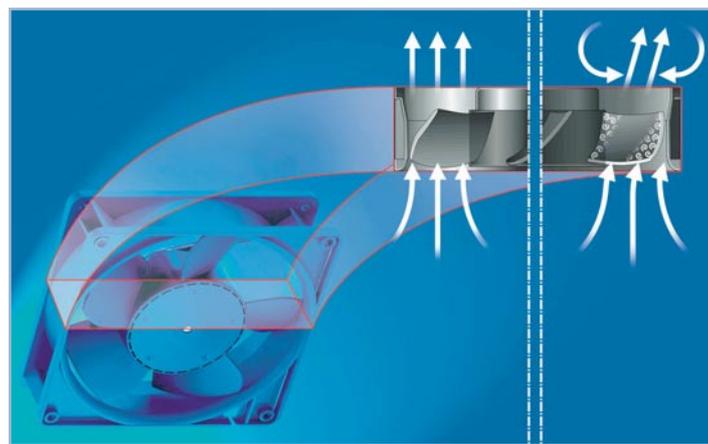
Außerhalb des optimalen Arbeitspunktes, d. h. bei zunehmendem Druckanstieg, ändert sich dies drastisch: Die „Verdrängungsförderung“ wird zunehmend von der Förderung durch Zentrifugalbeschleunigung

der Gasmoleküle überlagert. Denn nur über eine Drehzahlerhöhung kann zusätzliche Energie zugeführt werden. Die auf eine Drehzahl hin optimierte Schaufelgeometrie ist dann überfordert.

Die Förderung durch Zentrifugalbeschleunigung der Gasmoleküle wird mit steigendem Gegendruck aber immer wichtiger. Die Folge hiervon ist, dass sich die Luftströmung zunehmend vom inneren, achsnahen Bereich des Lüfterrades ablöst und nach außen drängt. Im Bereich der abgelösten Strömung nahe der Lüfterachse bilden sich Ablösewirbel (Abbildung 2). Diese erzeugen Turbulenzen und damit Geräusche. Außerdem fehlt diese Wirbelzone für eine weitere Energiezufuhr. Mit steigendem Gegendruck sinkt der Wirkungsgrad des Lüfters, während der Geräuschpegel steigt.

### Flüsterbetrieb erfordert Know-how

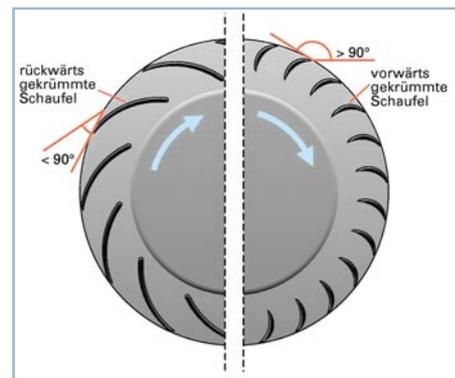
Für die Elektronik Kühlung werden überwiegend Axiallüfter mit komplettem Außengehäuse eingesetzt. Diese Kompaktbauweise mit Montagebohrungen an den Flanschen erlaubt eine platzsparende Befestigung. Ein Nachteil dieser Kompaktlösung sind die unverzichtbaren Streben vom Motorgehäuse zum Außengehäuse. Streichen im Betrieb die Schaufelkanten des Läufers über die Streben, so entstehen zwangsläufig Druckstöße, die das Laufgeräusch eines Lüfters deutlich erhöhen können. Den Effekt kennt jeder aus dem Straßenverkehr: Man sitzt im PKW bei Rot an der Ampel, um abzubiegen. Geradeaus vorbeifahrende LKW erzeugen Druckstöße



**Bild 2: Das Prinzip der Wirbelablösung an der Nabe des Axiallüfters**

ße, die den ganzen Wagen zum Schaukeln bringen und akustisch als Schlag wahrgenommen werden.

Abhilfe schafft hier eine optimierte Gestaltung der Geometrie von Schaufelendkante und Steg sowie der Anzahl der Schaufeln und Stege. Prinzipiell ist ein gleitender Übergang zwischen Schaufel und Steg günstig. Daher sind spiralförmig gebogene Streben, die nicht symmetrisch über den Umfang des Gehäuses verteilt sind, wegen geringerer Geräuschentwicklung vorzuziehen. Je weniger Wirbelbildung auftritt, um so besser ist auch das akustische Verhalten des Lüfters. Eine ungerade Anzahl von Schaufeln und Stegen ist für das menschliche Ohr im Geräuschempfinden angenehmer als eine gerade Anzahl. Optimale Ergebnisse lassen sich durch kontinuierliche Verbesserungen mit speziellen Software-simulationen erzielen. Deshalb ist manch exotisch anmutender Axiallüfter keine Spielerei, sondern Ergebnis intensiver Geräuschoptimierung.



**Bild 3: Das Laufrad des Radiallüfters, links rückwärts, rechts vorwärts gekrümmt**

### Mit Nachdruck fördern – Radiallüfter

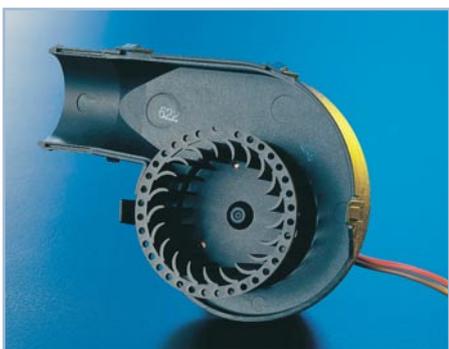
Für Einsätze, die einen hohen Druckaufbau bei geringerem Volumenstrom erfordern, ist der Radiallüfter die bessere Wahl. Bei ihm verlässt der gesamte Luftstrom das Laufrad am Außendurchmesser. Die so mögliche höhere kinetische Energie der Luftmoleküle erzeugt einen höheren Druck als das Axialgebläse, dessen Umfangsgeschwindigkeit an der Radnabe begrenzt ist. Muss beispielsweise ein Luftstrom um 90° umgelenkt werden oder behindern Bauteile, Filter usw. den freien Luftstrom, sind Radiallüfter effektiver. Auch hier gibt es die Ausführung als Radial-Komplettlüfter mit Gehäuse. Daneben enthalten die Programme renommierter Lüfterentwickler und -produzenten aber auch unterschiedliche Motor-Laufrad-Kombinationen für Anwendungen, bei denen die Luftführung für den Druckaufbau in das Gerät integriert werden kann.



**Bild 4: Ein Radiallüfter mit integriertem Spiraldiffusor**

Dabei muss man zwischen zwei unterschiedlichen Laufrädern unterscheiden. Es gibt Laufräder mit in Laufrichtung vorwärts gekrümmten Schaufeln und Laufräder mit rückwärts gekrümmten Schaufeln (Abbildung 3). Vorwärts gekrümmte Schaufeln erlauben eine stärkere Umlenkung der Luftströmung und erreichen so eine höhere Energieumsetzung. Nachteilig ist dabei allerdings der höhere Drall der austretenden Luft. Diesen Drall muss ein nachfolgender Leitapparat in Druck umsetzen. Einfachste Lösung dafür ist ein Spiraldiffusor, den man ins Lüftergehäuse integrieren kann, wie es Abbildung 4 zeigt. Aber auch Leitbleche bzw. Diffusoren im Geräteinneren können dazu herangezogen werden. Im Gegensatz dazu erreichen rückwärts gekrümmte Schaufeln einen nicht ganz so hohen bauraumbezogenen Energieumsetzungsgrad. Ihr Vorteil: Der Druck baut sich bei dieser Anordnung bereits weitgehend im Laufrad selbst auf. Auf ein Spiralgehäuse kann so meist verzichtet werden. Gerade in der Elektronik Kühlung benötigt man oft einen freien Luftstrom, so dass sich hier das Prinzip der rückwärts gekrümmten Schaufeln ohne Leitapparat anbietet.

Für größere Luftleistungen können auch



**Bild 5: Spezialausführung des Radiallüfters – ein Trommelläufer für besonders kompakte radiale Abmessungen**

so genannte doppelflüchtige Radialgebläse eingesetzt werden, bei ihnen kann die Luft von beiden Seiten in das Laufrad einströmen. Der Antrieb sitzt dann zwischen beiden Laufrädern.

Eine besondere Ausführung des Radiallüfters ist der so genannte Trommelläufer (Abbildung 5). Eingesetzt wird dieser mit vorwärts gekrümmten Schaufeln versehene Läufer bei Anwendungen, die kleine radiale Abmessungen erfordern.

### Hybridlösung – der Diagonallüfter

Eine Zwischenstellung zwischen den beiden bisher besprochenen Lüfterbauarten nimmt der so genannte Diagonallüfter ein. Bei diesem Prinzip wird sowohl der „Schaufel-effekt“ der Lüfterflügel als auch die Zentrifugalbeschleunigung genutzt. Vorteil einer solchen Anordnung ist ein dem verbreiteten Axiallüfter weitgehend entsprechender Luftstrom bei gleichzeitig höherem möglichen Druckaufbau. So lassen sich auf einfache Weise ohne die sonst für Radiallüfter nötigen Änderungen im Gerätedesign höhere Gegendrücke überwinden. Geräte, bei denen nachträglich weitere strömungsbehindernde Komponenten eingebaut werden, sind so schnell mit einem geeigneten leisen Lüfter ausgestattet.

Wichtigstes Merkmal eines Diagonallüfters ist seine konische Läufer-nabe. Auch der Diagonallüfter saugt die Luft weitgehend axial an. Die als Kegelmantel ausgebildete Nabe hat im Einzugsbereich einen kleinen Querschnitt. Zur Förderseite hin steigt der Durchmesser an. Die damit verbundene höhere Umfangsgeschwindigkeit der Schaufelspitzen am Auslass bedeutet auch eine höhere Zentrifugalbeschleunigung der Luft (Abbildung 6). Der Strömungsweg wird so den aerodynamischen Vorgängen angepasst. Bei identischer Baugröße wird mehr Energie in die Luft übertragen, der erreichbare Druck steigt an und die Wirbelbildung ist durch die Kegelform des Lüfterrades minimiert. Auch bei hoher Drehzahl bzw. hohem Druckaufbau arbeitet der Lüfter daher sehr leise.

Für Anwendungen, die große Luft-Volumina bei geringem Druckaufbau benötigen, eignet sich das Querstromprinzip. Ein walzenförmiges Laufrad mit vielen kleinen Schaufeln wird hier zweimal in radialer Richtung durchströmt (Abbildung 7): im Ansaugbereich von außen nach innen, im Ausströmbereich von innen nach außen. Inner- oder außerhalb der Laufradwalze angeordnete Leitvorrichtungen erzeugen in der Walze Wirbel, die eine stabili-



**Bild 6: Schnittbild durch einen Diagonallüfter. Man erkennt deutlich die kegelförmige Nabe**

le Durchströmung des Laufrades gewährleisten. Das Haupteinsatzfeld für Querstromgebläse liegt bei Geräten, die eine großflächige Luftzuführung benötigen.

Man sieht also, passt man Lüfterausführungen bereits in der Theorie an den vorgesehenen Einsatzzweck an, erlauben diese durch geschickte Ausnutzung der physikalisch vorgegebenen Strömungsverhältnisse eine optimale Luftführung. Damit sind geringstes Laufgeräusch und gleichzeitig auch eine minimale Leistungsaufnahme gewährleistet.



**Bild 7: Fördern große Volumina bei geringer Geräuscentwicklung – Querstromlüfter**

Hat man dieses grundsätzliche Problem gelöst, dienen entsprechende Antriebstechniken, Materialien und Lüftersteuerungen lediglich der Optimierung im praktischen Einsatz. So tragen leise laufende Motoren, eine hochwertige Lagerung des Antriebs, schwingungsoptimierte Materialien und ein bedarfsgerechtes Drehzahlmanagement zur weiteren Geräuschreduzierung, hoher Lebensdauer und dennoch ausreichender Kühlleistung bei. **ELV**

**Dieser Artikel entstand unter Verwendung der Publikation „Kleinflüfter in Theorie und Praxis“ der Firma Papst-Motoren GmbH & Co. KG, St. Georgen.**