Wahrnehmung, Entstehung und Vermeidung von Lüftergeräuschen

Lärm von Lüftern ist oft ein unangenehmer Störfaktor am Arbeitsplatz. Der Artikel beschreibt, wodurch diese Geräusche beeinflusst werden und Maßnahmen, wie man Lüftergeräusche verringern kann.

HEINRICH CAP *

Weltweit arbeiten immer mehr Menschen im Büro. An Büroarbeitsplätzen ist Lärm, der nur allzu oft von Lüftern stammt, der Störfaktor Nummer eins. Geräusche werden von allen Menschen, die hoch konzentriert arbeiten müssen, als unangenehm und stressig empfunden. Das leise Geräusch von Lüftern in Büros, Laboratorien, Krankenstationen usw. können die Gesundheit der Menschen beeinträchtigen. Wie kann man diese Störung mildern?

Der Begriff belästigender Lärm lässt sich nicht objektiv definieren. Schallmessungen und vorgegebene Richtwerte geben lediglich einen Anhaltspunkt für den Grad der Belästigung, denn der Mensch reagiert sehr subjektiv auf Lärm.

*** Heinrich Cap**
... ist Gründer und Senior-Geschäftsführer der Firma SEPA EUROPE GmbH in Eschbach.

Bild: ©adam121 - stock.adobe.com

Lüfter als Störquelle: *Wie man die Geräusche von Lüftern minimiert.*

Geräusch ist nicht gleich Geräusch

Ob ein Geräusch als störend empfunden wird, hängt neben der Lautstärke von einer Reihe weiterer Faktoren ab. Maßgebend sind die Art des Geräusches und vor allem die Situation und die Einstellung der Betroffenen zur Lärmquelle. Es ist also wenig sinnvoll mit Akribie Messdaten zu erheben und die persönliche Einschätzung außer Acht zu lassen. In der Praxis haben sich jedoch die psychoakustischen Messgrößen (noch) nicht durchgesetzt, deshalb erfolgt die Lärmbeurteilung nach wie vor in dB(A).

Das menschliche Ohr ist ein hochsensibles Sinnesorgan. Es funktioniert wie ein sehr schnelles, nichtlineares, parallel verarbeitendes Filtersystem mit einer hohen Auflösung im Frequenz- und Zeitbereich. Es empfindet bei gleichem Schalldruckpegel breitbandige Geräusche als wesentlich lauter als schmalbandige. Die frequenzabhängige Empfindlichkeit ist zudem pegelabhängig (Bild 1).

Die subjektiv empfundene Lautstärke eines Schalls ist nicht nur vom Schalldruck, sondern auch von der Schallfrequenz abhängig: niedere Frequenzen werden wesentlich weniger laut empfunden als hohe. Die Hörempfindung lässt sich am Besten in Form von Kurven gleicher Lautstärke (Isophonen) darstellen (Bild 1).

Bei der Schallmessung berücksichtigt man dies mit dem genormten A-Filter, der tiefe Frequenzen abschwächt (Bild 2). Dieser Filter ist aber ein Kompromiss, da sich die subjektiv empfundene Empfindlichkeit verschiedener Frequenzen mit dem Schalldruck ändert. Weitere Parameter wie z.B. Entfernungshören, Verdeckung, Schwankungsstärke, Rauigkeit, Schärfe, Tonhaltigkeit usw. verändern auch das subjektive Lärmempfinden.

Die Reaktion auf Lärm ist individuell sehr unterschiedlich und weniger von der Intensität als von der Art des Lärms abhängig. Die physikalischen Eigenschaften von Geräuschen, wie Dauer, Häufigkeit, zeitlicher Verlauf, Frequenzzusammensetzung und Impulshaltigkeit genügen nicht, um die Lästigkeit beurteilen zu können.

Die Störwirkung von Geräuschen

Nicht alle Geräusche sind eine Belästigung. Naturgeräusche, beispielsweise das Blätterrauschen oder das Plätschern eines Baches, empfinden wir allgemein als angenehm. Dagegen gibt es eine Vielzahl von Geräuschen und Lärmsituationen, die vom Menschen subjektiv als unangenehm und

Bilder: SEPA

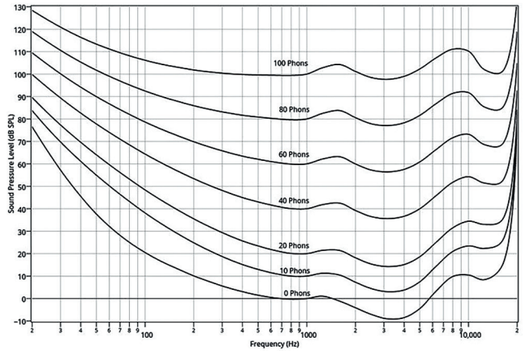

Bild 1: *Schalldruck in Abhängigkeit von der Frequenz.*

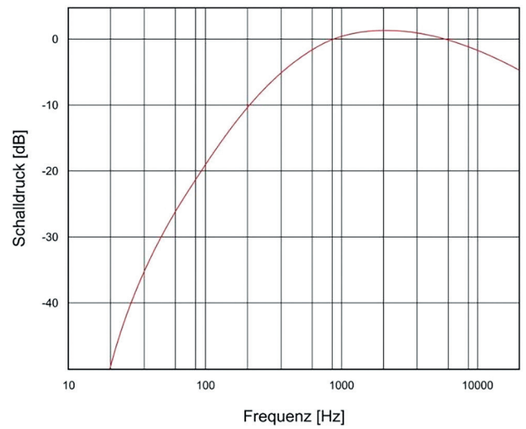

Bild 2: *Bewertung der Schallmessung mit genormten A-Filtern.*

lästig beurteilt werden. Die Störwirkung erhöht sich, wenn das Geräusch:

- einen großen Störabstand zum Grundpegel darstellt (sehr leiser Raum),
- auffällig ist (besondere Ton- oder Impulshaltigkeit, z.B. Sirene),
- in seiner Umgebung fremd ist (Lüfter),
- als vermeidbar gilt (z.B. tropfender Wasserhahn),
- im ungünstigen Zeitpunkt (Arbeits- oder Freizeit) auftritt,
- nicht lokalisierbar ist.

Die Lärmempfindlichkeit ist sehr stark von der Tätigkeit, dem psychosozialen Umfeld und den individuellen Neigungen der lärmexponierten Person beeinflusst. Krankheit, Ermüdung, Nervosität, Kopfschmerz, Ärger und Hörvermögen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Lärmwirkung.

Aus den vorherigen Ausführungen erkennt man, dass es keine allgemeine Richtlinie für einen leisen, also im Betrieb nicht als störend empfundenen Lüfter geben kann. Wir werden uns im Folgenden mit Lüftern beschäftigen, die in Geräten im nahen Einflussbereich der Anwender stehen, also in Computern, Mess- und Diagnosegeräten, Raumbelüftungen und Beleuchtungen zu finden sind.

Der Lüfter als Störquelle in der Arbeitsumgebung

Die Anforderungen sind durchaus unterschiedlich und zwar aus folgenden Gründen: Computer befinden sich in der Regel im mittleren Entfernungsbereich zur betroffenen Person, meist sogar unter einem Tisch. Der Raum, Büro o.ä. (wenn man von einem Großraumbüro absieht), weist ein niedriges Grundgeräusch (30 bis 40 dB(A)) auf, welches ein mittleres Lüftergeräusch durchaus verdecken kann. Allerdings erhöht sich mit der Anzahl der im Raum betriebenen Geräte der Geräuschpegel. Die Anforderungen an Lüfter in PCs können trotzdem als mittel eingestuft werden.

Mess- und Diagnosegeräte werden vom Anwender stets in unmittelbarer Nähe, also

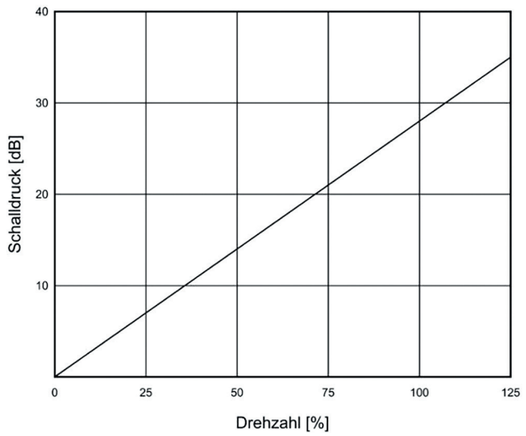

Bild 3: *Die Geräuschentwicklung ist stark drehzahlabhängig.*

in einem Abstand von weniger als 1 m zum Ohr betrieben. Befindet sich der Anwender in einer Werkstatt, ist mit relativ hohem Geräuschpegel (50 bis 80 dB(A)) zu rechnen, das Lüftergeräusch wird völlig verdeckt, da hier meist kleine, also sowieso leise Lüfter eingesetzt werden.

Findet die Tätigkeit in einem Labor oder OP statt, werden sehr hohe Anforderungen an die Geräuschentwicklung der Lüfter gestellt. Der Grundgeräuschpegel wird extrem niedrig (<30 dB(A)) sein.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Anwender meist hoch konzentriert arbeiten müssen und auf Fremdgeräusche sehr sensibel reagieren werden.

Lüfter, die in diesem Umfeld betrieben werden, sollen nicht nur einen niedrigen Geräuschpegel aufweisen, sondern auch möglichst wenig hohe Frequenzen (geringe Schärfe) entwickeln.

Bei Lüftern für Raumbelüftung und Kühlung von Leuchtmitteln (LED) muss man ebenfalls von einem niederen Grundgeräuschpegel (ca. 30 dB(A)) ausgehen. Andererseits ist die Entfernung Störschallquelle-Ohr mit 2 bis 4 m so groß, dass die störende Lautstärke nicht mit voller Intensität eintrifft. Allerdings darf die Raumakustik (Hall) nicht unberücksichtigt bleiben. Zwar könnte die Geräuschentwicklung dieser Lüfter etwas höher als bei Geräten im Nahbereich sein, aber der Anspruch an Entspannung und Erholung in diesen Räumen ist hoch, so dass auch diese Lüfter kein scharfes, also obertonreiches Geräusch entwickeln sollen.

Lüfter sind Geräte zum forcierten Bewegen von Luft. Dabei entstehen zwangsläufig Geräusche, die der Lüfter selbst abstrahlt (Luftschall) und solche, die vom Lüfter zwar generiert werden, aber über ein anderes Medium, beispielsweise eine Gehäusewand abgegeben werden (Körperschall).

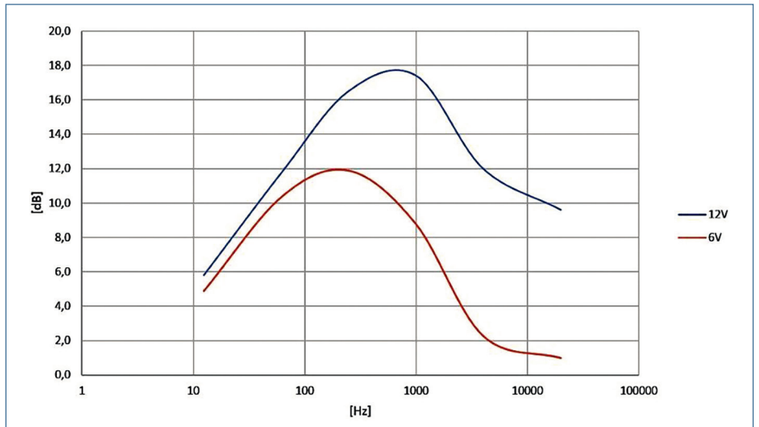

Bild 4: *Geräuschpegel in Abhängigkeit von Spannung und Frequenz.*

Welche Geräusche erzeugt ein Lüfter?

Luftschall ist meist die überwiegende Störquelle, die den Körperschall überdeckt. Gleichmäßig bewegte Luft verursacht kein Geräusch. Ein Lüfter bewegt die Luft aber nicht gleichmäßig. An den Kanten der Propellerflügel entstehen Verwirbelungen durch die unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten zwischen den weiter innen liegenden und den äußeren Flügelsegmenten, sowie zwischen der saugenden und der blasenden Seite des Propellers. An den abströmenden Kanten, besonders am äußeren Rand, sind diese Wirbel besonders groß. Trifft die bewegte Luft auf ein Hindernis, z.B. auf Rippen eines Kühlkörpers oder ein Schutzgitter, treten ebenfalls Verwirbelungen auf, die zwar den Kühleffekt eines Kühlkörpers fördern, aber eben auch ein obertonreiches und damit unangenehmes Geräusch verursachen. Konstruktive Verbesserungen an der Flügelgeometrie können den Effekt mildern, aber nicht beseitigen.

Körperschall entsteht oft im Lagersystem des Motors. Axial aufgebaute Motoren, sogenannte Scheibenläufer, erzeugen ebenfalls durch zu hartes Umschalten der Motorwicklungen Vibrationen. Kugellager generieren Rollgeräusche, die mechanisch über das Lüftergehäuse weitergeleitet werden. Gleitlagersysteme erzeugen kein Rollgeräusch und sind daher leiser, zumindest so lange der hydrodynamische Effekt nicht gestört wird, die Welle auf einem Ölfilm schwimmt und axial fixiert ist. Schlecht gewuchtete Propeller erzeugen ebenfalls Vibrationen, die über den Lüfterrahmen abgegeben werden. Die Umsetzung in Luftschall erfolgt dann durch mechanische Ankopplung an Fremdteile, die das Geräusch umso stärker abstrahlen, je größer deren Fläche ist. Dazu kommt, dass Resonanzen der angeregten Teile bestimmte Störfrequenzen verstärken oder dämpfen können.

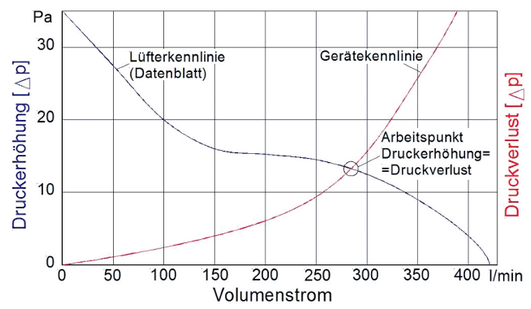

Bild 5: *Optimaler Arbeitspunkt mit Gleichgewicht zwischen Druck und Gegendruck.*

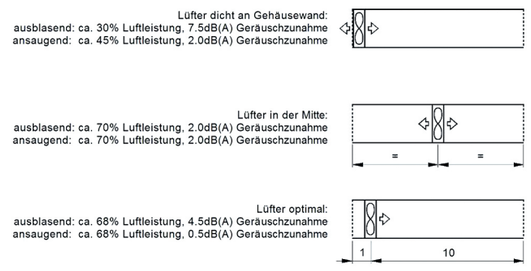

Bild 6: *Auswirkung der Lüfterposition auf den Geräuschpegel.*

Einige Maßnahmen zur Geräuschreduzierung

Der Anwender hat kaum eine Möglichkeit die Konstruktion von Lüftern zu beeinflussen. Außerdem gibt es keine generelle Maßnahme zur Geräuschreduzierung, die für alle Applikationen gleichermaßen wirksam ist. Eine Auswahl der Lüfter nach den publizierten Geräuschdaten kann höchstens eine grobe Hilfe darstellen, da deren tatsächliches Geräuschverhalten in jedem Gerät anders ist. So kann ein laut Datenblatt sehr leiser Lüfter in bestimmten Applikationen ein stärkeres, eventuell unangenehmeres Geräusch entwickeln als ein vermeintlich lauter und umgekehrt.

Für den Gerätedesigner werden nachstehend mehrere Maßnahmen vorgestellt, die sich zur Geräuschoptimierung von Geräten bewährt haben. Falls nicht schon im Vorfeld professionelle externe Hilfe in Anspruch ge-

nommen wird, sollten bereits bei der Entwicklung nachstehend beschriebene Richtlinien beachtet werden.

Lüfter mit den größten möglichen Abmessungen und der kleinsten, für den benötigten Volumenstrom noch ausreichenden Drehzahl wählen: Die Geräuschentwicklung eines Lüfters ist sehr stark drehzahlabhängig. Bei halbierter Drehzahl verringert sich das Lüftergeräusch um bis zu 15 dB(A)! Darüber hinaus verringert sich bei niederer Drehzahl auch der Anteil höherer Störfrequenzen, das Geräusch wird weniger „scharf" und wirkt daher angenehmer. Mehrere parallel angeordnete Lüfter mit geringerer Drehzahl sind daher besser als ein Lüfter mit höherer Drehzahl (Bilder 3 und 4).

Beispiel: Ein Lüfter, mit einem Volumenstrom von 160 l/min entwickelt ein Geräusch von 35 dB(A). Zwei ähnliche Lüfter mit nur 60% Drehzahl haben zusammen einen Volumenstrom von ebenfalls ca. 160 l/min, das Geräusch pro Lüfter sinkt aber um 10 dB(A) auf nur 25 dB(A). Das Summengeräusch der beiden, parallel betriebenen Lüfter erhöht sich um 3 dB(A) auf 28 dB(A). Die Geräuschreduzierung von 7 dB(A) ist sehr deutlich hörbar.

Lüfter so dimensionieren, dass sie im optimalen Arbeitsbereich betrieben werden können: Die Kennlinie eines Axiallüfters zeigt den Zusammenhang zwischen der Menge an bewegter Luft, dem Volumenstrom, und der Druckerhöhung. Die Luft, die der Lüfter fördert, muss diverse Hindernisse (Reibung durch Verengungen, Umwege usw.) im Gerät überwinden, wodurch ein Gegendruck entsteht. Ein Gleichgewicht = Arbeitspunkt stellt sich ein, wenn der vom Lüfter erzeugte Druck gleich dem Gegendruck im Gerät ist. Der Volumenstrom nimmt bei zunehmendem Gegendruck nicht linear ab (Bild 5).

Die Kennlinie eines Axiallüfters kennt drei typische Bereiche: Den Bereich von 0 (frei ausblasend), dann stetig ansteigendem Druck, den Bereich mit nicht oder kaum ansteigendem oder sogar leicht abfallendem Druck und schließlich den Bereich mit hohem Druck, der kontinuierlich bis zum Maximum ansteigt.

Der Arbeitsbereich darf den mittleren Bereich nicht erreichen. Hier kann ein zu schwach dimensionierter Lüfter den Druck aufgrund von Strömungsabrissen an den Propellerflügeln nicht erhöhen, der Volumenstrom steigt kaum oder nimmt sogar wieder ab. Dabei werden sehr starke Luftgeräusche erzeugt. Ein zu hoher Gegendruck in einem belüfteten Gehäuse kann auch entstehen, wenn die Abluftöffnung(en) einen zu geringen Querschnitt aufweisen. Wichtig ist auch, dass Radial-Lüfter, also jene, die den Luftstrom axial ansaugen und um 90° gedreht radial ausblasen, wegen der völlig anderen Schaufelgeometrie fast keine Einsattelung in der Kennlinie zeigen und daher in einem weiteren Bereich betrieben werden können. Das Geräusch nimmt aber auch bei diesen Lüftern mit der Druckerhöhung stetig zu.

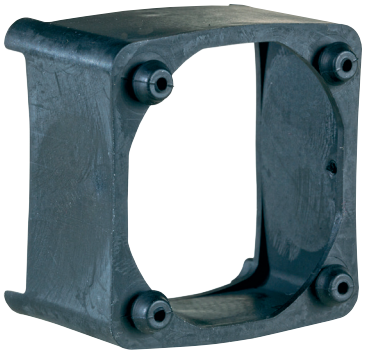

Bild 7:
Elastische Manschetten zur Lüfterbefestigung.

Das vom Lüfter erzeugte Geräusch kann auch durch die Wahl einer geeigneten Einbaulage optimiert werden. Die klassische Methode, Lüfter dicht an der Gehäusewand anzuordnen, führt leider zu einem relativ ungünstigen Geräuschpegel. In der Zeichnung in Bild 6 sind drei konstruktive Möglichkeiten der Lüfteranordnung mit den jeweiligen Auswirkungen auf den Geräuschpegel skizziert.

Die günstigste Anordnung ist, den Lüfter möglichst mittig zwischen Ansaug- und Ausblasseite zu montieren. Dabei muss unbedingt sichergestellt werden, dass die Unterdruckseite (saugend) von der Überdruckseite (blasend) abgedichtet ist. Fehlt diese Trennung, wird der Lüfter im aerodynamischen Kurzschluss betrieben und kann kaum Luft durch das Gerät ziehen.

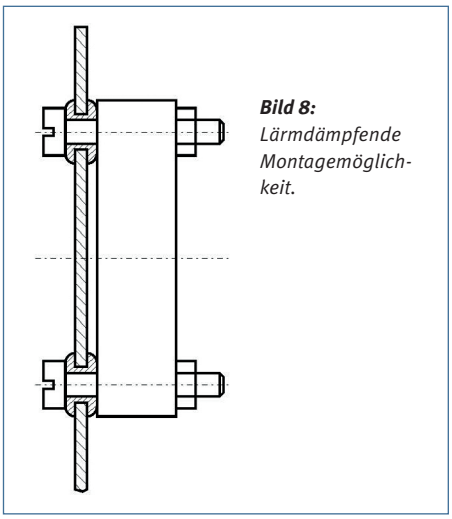

Bild 8:
Lärmdämpfende Montagemöglichkeit.

Bei der Montage Dämpfungselemente verwenden: Die Abstrahlung von Vibrationsgeräuschen kann durch dämpfende Montageelemente deutlich gesenkt werden. Mechanisch und akustisch hervorragend und relativ preiswert ist die Montage der Lüfter mittels dämpfender Montagehilfen wie beispielsweise mit kundenspezifisch gefertigten Schaumstoffkörpern. Diese konstruktiv optimierten Teile können sogar gekrümmte Luftkanäle enthalten und so den Luftstrom gezielt auf die kritischen Bauteile leiten. Dadurch kann eventuell ein langsam drehender, leiser Lüfter gewählt werden. Das Einbringen des Formteils und des Lüfters im Gerät erfolgt einfach durch montage- und demontagefreundliches Stecken. Mit elastisch befestigten Lüftern wird nicht nur der Körperschall wesentlich gedämpft, sondern der Lüfter ist auch besser gegen Schock und Vibrationen geschützt.

Kleine und leichte Lüfter lassen sich mit Gumminieten (EAR440) befestigen, die durch die Montagebohrungen von Lüfter und Gerätewand gezogen werden.

Wesentlich stabiler sind elastische Manschetten (SLM; Bild 7), die für Lüftergrößen von 30 mm x 30 mm bis 120 mm x 120 mm angeboten werden. Lüfter kleinerer Abmessungen unter 40 mm x 40 mm können auch gut durch doppelseitig klebende Schaumstoffstanzteile montiert werden.

Eine einfache und günstige, aber dennoch gute Entkopplung ergibt sich, wenn die Befestigungsschrauben nicht direkt an der Gehäusewand, sondern mit Hilfe von Kabeldurchführungen, wie in Bild 8 gezeigt, montiert werden.

Keine Hindernisse im Strömungsfeld von Zu- und Abluft: Trifft bewegte Luft auf ein Hindernis (Wand, Kante, Draht usw.) entstehen Wirbel, die mit zunehmender Luftgeschwindigkeit, also in der Nähe des Lüfters steigen. Besonders die scharfkantigen Hindernisse, wie aus Blech gestanzte Schutzgitter, sind oft Ursache für vermeidbare Geräusche. Als Faustregel gilt, das Hindernis ist geräuschlich vernachlässigbar ab einer Entfernung von 0,5 * Kantenlänge des Lüfters.

Fazit: Lüftergeräusche werden, abhängig von Person, Umgebung, Zeitpunkt usw. unterschiedlich störend empfunden. Es lässt sich nie völlig vermeiden, aber fast immer durch sorgfältige Auswahl der Komponenten und durch konstruktive Maßnahmen auf ein erträgliches Maß dämpfen. Da der Gerätedesigner oft mit dieser Aufgabe überfordert ist, sollte er schon im Vorfeld kompetente Hilfe in Anspruch nehmen. // **KR**

SEPA