

Zuverlässigkeit und Lebenserwartung von Lüftern

S. Harmsen, E.-C. Reiff

Elektronik wird meist zwangsbelüftet, um die Erwärmung der Bauteile zu begrenzen. Dafür werden Lüfter eingesetzt, nicht nur in der Elektronikindustrie, sondern auch in vielen anderen Branchen. Dazu gehören z.B. Medizintechnik ebenso wie der Automobil- und Druckmaschinenbau. So unterschiedlich wie die Einsatzbedingungen sind dabei auch die Ausführungen der Lüfter.

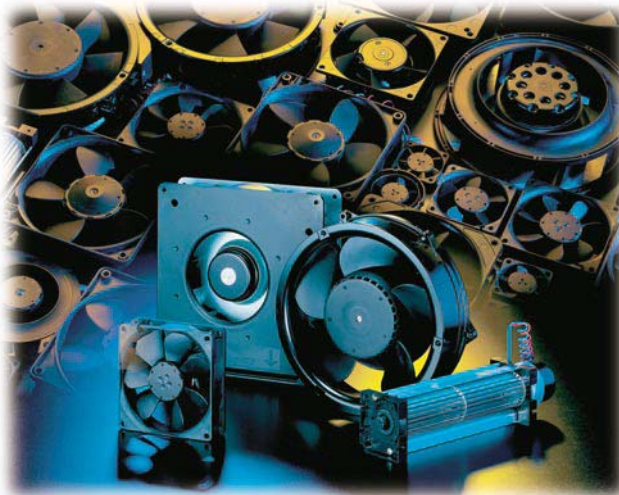


Bild 1: Lüfter unterschiedlicher Funktionsprinzipien: Axiallüfter (hoher Volumenstrom bei mittlerem Druckaufbau), Radiallüfter (hoher Druckaufbau bei geringem Volumenstrom), Diagonal-Lüfter (bei gleichen Außenabmessungen und gleicher Drehzahl größere Druckerhöhung als Axiallüfter), Querstromgebläse (hoher Volumenstrom bei geringem Druckaufbau)

Sie unterscheiden sich hauptsächlich im physikalischen Prinzip der Energieübertragung auf das Medium Gas. Man unterscheidet hier Axial-, Radial- oder Diagonallüfter (Bild 1). Weitere Unterscheidungskriterien sind der gewählte Antrieb oder die Tatsache, ob eine Steuerelektronik im Lüfter integriert ist oder nicht.

Alle Lüfterausführungen haben gemeinsam, dass sie hohe Anforderungen an Qualität und Zuverlässigkeit erfüllen müssen, denn nur so ist eine langfristig sichere Funktion der ihnen anvertrauten Elektronik gewährleistet. Der Anwender versteht also unter Zuverlässigkeit, dass die von ihm eingesetzten Geräte einwandfrei funktionieren und das möglichst über einen langen Zeitraum. Interessant ist es jedoch durchaus, wie die Hersteller überhaupt dazu kommen, Aussagen über die zu erwartende Zuverlässigkeit und Lebensdauer machen zu können. Für die Praxis kann sich durchaus lohnen, wenn man sich mit den entsprechenden Hintergründen beschäftigt.

Statistische Zuverlässigkeitsaussagen: FIT oder MBTF

Unter Zuverlässigkeit versteht man ganz allgemein die Wahrscheinlichkeit, dass ein Produkt – in diesem Fall ein Lüfter – während einer definierten Zeitdauer unter festgelegten Einsatz- und Umge-

bungsbedingungen einen bestimmten Funktionsumfang erfüllt, also die gewünschte Kühlleistung liefert. Zuverlässigkeitsaussagen sind dabei immer statistische Werte. Als gebräuchliche Kenngrößen dienen die Ausfallrate und die Lebensdauer, die eine bestimmte Prozentzahl aller Lüfter erreicht. Eine Ausfallrate von $5 \times 10^{-6}/h$ heißt dann im Klartext, dass pro Mio. Betriebsstunden fünf Ausfälle zu erwarten sind. Dabei muss man die Betriebsstunden aller beteiligten Lüfter zusammenzählen. D.h. in diesem Fall, dass z.B. bei 200 Lüftern jeweils nach 1000 Betriebsstunden einer ausfallen würde.

Die Ausfallrate gibt man oft auch als FIT (»Failure In Time«) an, wobei 1 FIT = 10^{-9} Fehler pro Betriebsstunde bzw. einem Ausfall je 10^9 Betriebsstunden entspricht. Beim obigen Beispiel würde der FIT-Wert damit bei 5000 liegen. Eine

ebenfalls gebräuchliche Größe für die Zuverlässigkeit ist der so genannte MTBF-Wert. Das Kürzel steht für »Mean Time Between Failures« und entspricht dem Quotienten aus der Summe aller Betriebsstunden geteilt durch die Summe der beobachteten Ausfälle. Bezogen auf unser Beispiel liegt der Wert für die MTBF dann bei 200000 h, was dem Kehrwert der Ausfallrate entspricht.

Ausfallraten im Lüfterleben: Badewannenkurve und Weibullverteilung

Ebenso wie bei vielen anderen Produkten auch kann man die Ausfallrate von Lüftern bezogen auf ihre Lebensdauer in drei Phasen unterteilen. Dieser zeitliche Verlauf lässt sich anhand einer durch Erfahrungswerte bestätigten Kurve, der so genannten Badewannenkurve (Bild 2),

Beispiel einer Zuverlässigkeitsberechnung

Zeit [h]	Lambda FIT	MTBF [h]	R(t) [%]	F(t) [%]
10 000	269	3725021	99,80	0,20
20 000	340	2943724	99,50	0,50
30 000	395	2532794	99,15	0,85
40 000	441	2267849	98,47	1,26
50 000	482	2074539	98,30	1,70
60 000	519	1926743	97,81	2,19

Bis zu einer Betriebsdauer von 99 900 h ergeben sich: eine mittlere Ausfallrate von 448,5 FIT sowie eine mittlere MTBF von 2,23 Mio. h

**Bemerkung: R (t) = Überlebenswahrscheinlichkeit
F (t) = Ausfallwahrscheinlichkeit**

Dr.-Ing. Siegfried Harmsen, Ebm-Papst, St. Georgen, und Ellen-Christine Reiff, M.A., Redaktionsbüro Stutensee

KUGELLAGER ODER GLEITLAGER?

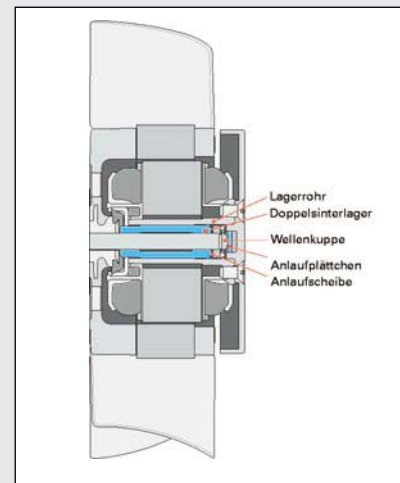
Die Qualität des Lagersystems bestimmt entscheidend die Lebensdauer und Laufruhe von Gerätelüftern. Weit verbreitet sind deshalb die anspruchslosen, wartungsfreien Kugellager. Hier kommen vorwiegend Rillenkugellager mit Deckscheiben zum Einsatz, die üblicherweise als Paar angeordnet und durch eine Feder verspannt sind. Die Lebenserwartung liegt nach Berechnungen gemäß ISO 281 bei mehreren 100 000 Betriebsstunden.

Das ist jedoch nur Theorie, denn in der Praxis beeinflusst die Auswahl des Schmierstoffes die Lebenserwartung sehr stark. Sie lässt sich nur mit Dauerlauftests ermitteln. Typische Werte für einen kugelgelagerten DC-Lüfter sind dann bei 40 °C Umgebungstemperatur etwa 100 000 Betriebsstunden (L10 nach DIN 622). Bei steigenden Umgebungstemperaturen nimmt die Lebenserwartung deutlich ab. Sie beträgt bei 70 °C beispielsweise nur noch 50 000 Stunden, weil die Gebrauchsdauer der Schmierstoffe aufgrund der schnelleren Alterung bei höheren Temperaturen abnimmt. Ihre

prinzipbedingte Langlebigkeit können Kugellager darum bei Lüfteranwendungen kaum ausspielen. Sie haben darüber hinaus aber auch noch andere Nachteile: So sind Kugellager relativ stoßempfindlich und verhältnismäßig laut, nicht nur zu Beginn der Betriebszeit, sondern stärker noch gegen Ende.

Gleitlager dagegen, wie sie z.B. Ebm-Papst, St. Georgen, in Gerätelüftern als Alternative zu Kugellagern einsetzt, zeichnen sich besonders durch eine extreme Laufruhe aus, die über die gesamte Lebensdauer erhalten bleibt (Bild). Bei langsam laufenden, leisen Gerätelüftern kann dies ein entscheidender Vorteil sein.

Außerdem sind Gleitlager unempfindlicher gegen Schock- und Vibrationsbelastungen und liegen in den Herstellungskosten um mehr als die Hälfte niedriger, was sich natürlich auch auf den Geräteendpreis positiv auswirkt. Die Lebenserwartung dieser Lüfter ist hoch und erreicht die Werte vergleichbarer Kugellager-Ausführungen.



Lüfter mit Sintec-Kompaktlager sind in den Drehzahlbereichen, auf die es bei der Kühlung moderner Geräte ankommt, hörbar leiser als Kugellagerlüfter

darstellen, verläuft also keineswegs linear. Die mathematische Beschreibung liefert die Weibull-Verteilung. Der schwedi-

sche Ingenieur Weibull beschäftigte sich bereits in den 40er Jahren mit der Verteilung bei Zuverlässigkeitsuntersuchungen.

- In die erste Phase fallen Frühausfälle – bedingt durch Konstruktionsfehler, Material- und Herstellungsmängel

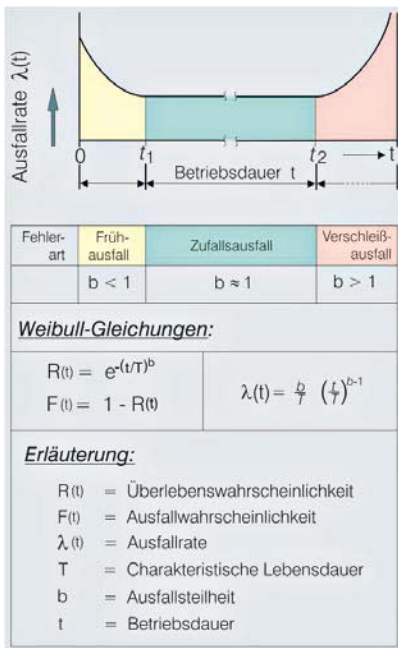


Bild 2: Badewannenkurve und Weibull-Verteilung

oder unsachgemäße Handhabung. Die Ausfallrate nimmt hier mit der Zeit ab, und der Exponent der Weibull-Verteilung ist kleiner als 1.

- Die zweite Phase bildet die Zeit der normalen Nutzung eines Produktes, also seine Brauchbarkeitsphase. Die Ausfallrate ist hier relativ niedrig und konstant. Der Weibull-Exponent hat den Wert 1.
- In der dritten Phase gibt es dann Ausfälle durch Verschleiß, also typische Abnutzungserscheinungen, wie sie z.B. in mechanischen Lagerungen vorkommen. Mit Beginn dieser Phase steigt die Ausfallrate stark an, der Weibull-Exponent liegt über 1. Damit ist das Ende der Brauchbarkeits- und akzeptablen Nutzungsdauer eines Pro-

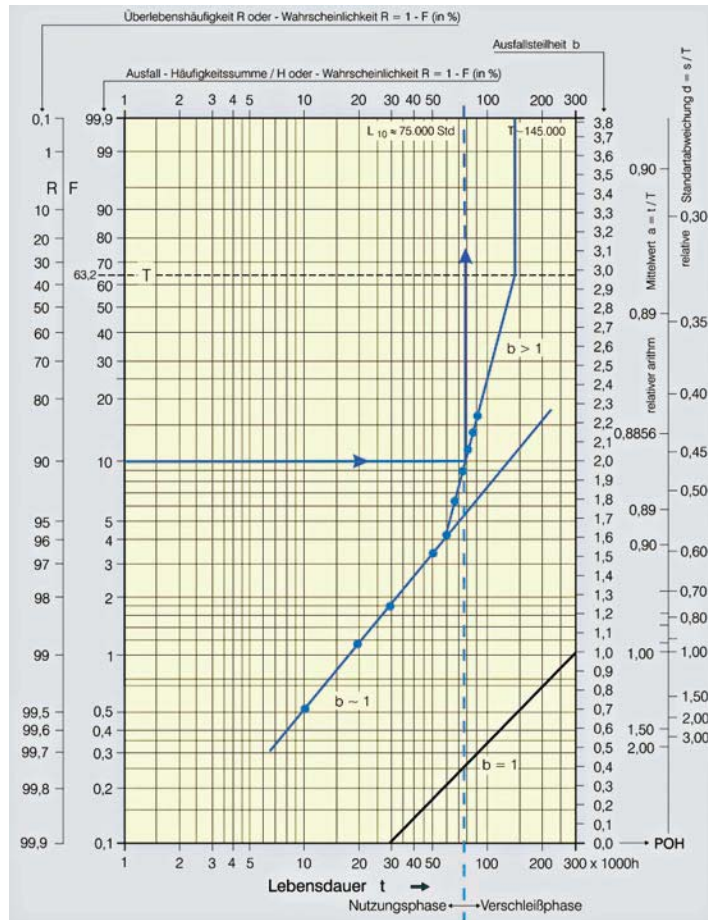


Bild 3: Grafische Auswertung der Dauerlaufversuche

duktes erreicht; man sollte den Lüfter im Rahmen von (geplanten) Servicearbeiten austauschen.

Zuverlässigkeitsberechnungen und Lebensdaueruntersuchungen

Um die Brauchbarkeitsdauer eines Lüfters zu bestimmen, muss man zunächst entsprechende Zuverlässigkeitswerte berechnen: Für einen DC-Lüfter mit Kugellagersystem (siehe Kasten) zeigt die Tabelle eine entsprechende Berechnung. Die Ausfallrate für die Elektronik wurde als konstant angenommen, während für die Kugellager in der Berechnung eine Ausfallsteilheit von 1,5 vorausgesetzt wurde.

Das Berechnungsbeispiel zeigt deutlich, wie mit der Betriebszeit Ausfallrate und Ausfallwahrscheinlichkeit zunehmen.

Berechnungen allein reichen jedoch nicht aus. Ihre Überprüfung erfordert Dauerlaufversuche mit Serienprodukten. Der Lüfterspezialist Ebm-Papst, St. Georgen, z.B. legt darauf großen Wert:

Dazu testet man Stichproben von wenigstens zehn Lüftern einer Baureihe im Dauerbetrieb. Versorgungsspannung, Temperatur und Einbaulage sind dabei genau definiert. Drehzahlabfall, Still-

stand oder Geräuschzunahme werden protokolliert und nach einem grafischen Verfahren, dem so genannten Lebensdaueretz der Deutschen Gesellschaft für Qualität, ausgewertet (Bild 3). Die Grundlage des Verfahrens bildet die Weibull-Verteilung. Die wichtigsten Werte, die man als Ergebnis erhält, sind die mittlere Ausfallrate, die charakteristische Lebensdauer und die Lebensdauer L10, die 90 % einer ausreichend großen Menge des getesteten Produktes erreichen. Diese L10-Werte der Lüfter finden Eingang in die Datenblätter und Kataloge. Sie geben zugleich das Ende der Brauchbarkeitsdauer an.

Dauerlaufuntersuchungen alleine reichen für hohe Zuverlässigkeit der Endprodukte jedoch nicht aus. Ebenso wichtig sind fertigungsbegleitende Zuverlässigkeitstest und Versuche mit Lüftern im Aussetzbetrieb, z.B. 3 min in Betrieb, 1 min abgeschaltet. Außerdem prüft man nicht nur die fertigen Lüfter, sondern auch neue Materialien und Bauweisen schon vor ihrer Einführung. Bei Ebm-Papst gelang es z.B., bei DC-Lüftern bei einer Umgebungstemperatur von 40 °C die Lebensdauererwartung L10 auf 100 000 Betriebsstunden zu steigern. ■