

11 Technischer Anhang

11.1 Formelsammlung

Maximaler Wärmewiderstand eines Kühlkörpers:

$$\Sigma R = \frac{T_{Cmax} + T_{amax}}{P_V}$$

$$\Sigma R = R_H + R_I$$

ΣR = Summe aller Wärmewiderstände vom Chipgehäuse bis zur umgebenden Luft [K/W]

T_{Cmax} = maximale Temperatur am Chipgehäuse [°C]

T_{amax} = maximale Umgebungstemperatur [°C]

P_V = Verlustleistung [W]

R_H = Wärmewiderstand Kühlkörper [K/W]

R_I = Wärmewiderstand Interfacefolie/Wärmeleitpaste

Volumenstrom im Gerät bei gegebener Verlustleistung:

$$V \approx \frac{50 \cdot P_V}{\Delta T}$$

V = Volumenstrom [l/min],

ΔT = Temperaturdifferenz [K]

Änderung von Druck und Volumenstrom bei Drehzahländerung:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{P_1}{P_2} = \left\{ \frac{n_1}{n_2} \right\}^2 = \left\{ \frac{V_1}{V_2} \right\}^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left\{ \frac{n_1}{n_2} \right\}^3 = \left\{ \frac{V_1}{V_2} \right\}^3$$

Änderung der Drehzahl von DC Lüftern bei Spannungsänderung:

n = Drehzahl [U/min]

$$n \approx f[U - 1]$$

p = Gesamtdruck

U = Betriebsspannung [VDC]

Weibull-Gleichungen

$$R_{(t)} = e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b}$$

$R(t)$ = Überlebenswahrscheinlichkeit,

$$F_{(t)} = 1 - R_{(t)}$$

$F(t)$ = Ausfallwahrscheinlichkeit

$$\lambda(t) = \frac{b}{T} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{b-1}$$

T = Charakteristische Lebensdauer

b = Ausfallsteilheit

t = Betriebsdauer

$\lambda(t)$ = Ausfallrate

11.2 Begriffe und Kurzbezeichnungen

0 dB	Bezugsgröße für den Schallpegel, entspricht einem Schalldruck von $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Ist der Schalldruck geringer, wird der Schallpegel negativ zur Bezugsgröße.
AC/DC Konverter	Spezialnetzteil, welches eine Gleichspannung aus dem Wechselspannungsnetz zum Betreiben von Standard DC Lüftern am AC Netz erzeugt.
Alarmsignal	Elektrisches Ausgangssignal, welches beim Blockieren des Lüfters von einem logischen Zustand (z.B. H) in einen anderen logischen Zustand wechselt (z.B. L).
Anlaufstromaufnahme	Maximale Stromaufnahme beim Starten mit der Drehzahl 0, oder dem Blockieren des Lüftermotors. Dieser Strom sinkt mit steigender Drehzahl bis auf den Nennstrom bei Nenndrehzahl ab.
Arbeitspunkt	Der Arbeitspunkt eines Lüfters ist der Schnittpunkt von Lüfterkennlinie und Gerätekenlinie. (Druckerhöhung = Druckverlust)
Arrhenius-Gesetz	Die Ausfallwahrscheinlichkeit von Bauteilen steigt um den Faktor 10 je 25° Temperaturerhöhung.
Auswuchten	Unter dynamischem Auswuchten wird die Verbesserung der Masseverteilung eines rotierenden Körpers verstanden, so dass die freien Fliehkräfte des um seine geometrische, konstruktiv erzwungene Drehachse umlaufenden Rotors die zulässigen Toleranzen nicht übersteigt. Dies geschieht mittels Wuchtgewichten (additiv) oder durch Abbohren/Abfräsen (subtraktiv). Bei Drehkörpern mit sehr großem Verhältnis Durchmesser zu Länge wird in einer Ebene, mittig zur Länge gemessen. Längere Drehkörper werden an jedem Ende gewuchtet (Wuchtung auf 2 Ebenen).
Automotive	Der Zusatz Automotive beschreibt spezielle, für die Automobilindustrie geltende Mindestanforderungen, die in der Regel einen deutlich erweiterten Temperaturbereich und sehr hohe Anforderungen an die Anliefer- und Betriebszuverlässigkeit einschließen, während die Lebensdaueran-

	forderung im Vergleich zu industriellen Applikationen viel geringer ist.
AWG	American Wire Gauge, amerikanische Norm für den Drahtquerschnitt. Wichtig, wenn die Lüfterlitzen mit Steckern versehen werden. Bei den meisten Lüftern ist AWG24 der größte und AWG30 der kleinste Querschnitt.
Badewannenkurve	Stellt die Ausfallhäufigkeit in Abhängigkeit von der Betriebszeit dar.
Betriebsspannung	Nennspannungsbereich mit dem zulässigen Toleranzbereich für Unter- und Überspannung. Übliche Nennspannungen sind: 3,3; 5; 12; 24 und 48 VDC, 24, 115, 230 und 400 VAC. Der Standardtoleranzbereich ist $\pm 10\%$, kann aber bis -50% spezifiziert sein.
Bewertungskurve (A-Kurve)	Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass das menschliche Ohr Töne mit gleichem Schalldruck in unterschiedlichen Tonhöhen unterschiedlich laut empfindet, werden so genannte Frequenzbewertungskurven verwendet. Für leise Geräusche von unter 40 Phon, wie sie Lüfter erzeugen, wurde die A-Kurve definiert.
Blockierschutz	Elektrische Schutzeinrichtung eines Lüfters gegen Blockieren des Rotors. Kleine Lüfter sind impedanzgeschützt, d.h., die Leistungsaufnahme eines blockierten Lüfters führt nicht zu einer schädlichen Überhitzung. Andere Lüfter haben eine elektronische Überlastabschaltung, die beim Blockieren den Lüfter zunächst abschaltet. In regelmäßigen Abständen prüft diese Einrichtung durch kurzes Einschalten, ob die Blockierung noch weiter besteht.
Burn-in	Verfahren zum Feststellen und Abstellen von Frühausfällen durch mehrstündigen oder mehrtägigen Probeauf, teilweise unter erschwerten Betriebsbedingungen.
CE	Abkürzung für Communauté Européenne. Die CE-Kennzeichnung eines Produktes weist auf die Übereinstimmung mit allen EU-Richtlinien hin, von denen das gekennzeichnete Produkt erfasst wird.

CFM	Abkürzung für Cubic Feet per Minute. In den USA noch häufig anzutreffende Angabe des Volumenstroms von Lüftern. 1 CFM = 28 l/min (1,7 m ³ /h)
Chip Cooler	Kühlkörper, oft mit aufgesetztem oder integriertem Lüfter zur Kühlung planer Oberflächen von integrierten Schaltungen (CPUs).
dB(A)	Angabe des Schallpegels (Lautstärke) in Dezibel, wobei die Messung mit einem der Empfindlichkeit des menschlichen Ohres angenäherten Filters (A) bewertet wird. 1 BEL = 10 dB. 0 dB(A) entsprechen einem Schalldruck von $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.
Druckerhöhung	Der Strömungswiderstand in einem Gerät muss durch Druckerhöhung, die der Lüfter aufbaut, überwunden werden, damit ein Volumenstrom entstehen kann. Die Lüfterkennlinie beschreibt den Zusammenhang zwischen Druckerhöhung und Volumenstrom.
EC	Abkürzung für Electronic Commutation (elektrische Kommutierung). Die Motorwicklungen werden durch die Kommutierung immer so erregt, dass sie eine dem Rotormagnetpol entgegengesetzte magnetische Kraft generieren. Die Drehung des Rotormagneten erfordert eine ständige Änderung der Polrichtung in den Spulen, damit eine Drehwirkung entsteht. Einfach Gleichstrommotoren, z.B. Akkuschrauber, enthalten einen mechanischen Kommutator (Kollektor), der jedoch hohem Verschleiß ausgesetzt ist und stark verschmutzt („Bürstenmotor“). Schalteinrichtungen sorgen im Lüftermotor für die Umpolung (Kommutierung) der Spulen.
EC Lüfter	Dieser Begriff steht für elektronisch kommutierte Netzspannungslüfter, also AC Lüfter mit DC Motoren und einem integrierten AC/DC Wandler. Diese Lüfter benötigen nur 1/4 der Leistung vergleichbarer AC Lüfter der älteren Generation.
Elektrostatische Entladung	Korrekt: Entladung statischer Elektrizität. Die Festigkeit gegen elektrostatische Entladungen bei Lüftern wird bei der CE-Prüfung erfasst.

EMC/EMV	Abk. für Electro Magnetic Compatibility/Elektromagnetische Verträglichkeit. Die Festigkeit eines Lüfters gegen elektromagnetische Strahlung wird bei der CE-Prüfung erfasst.
EME	Abk. für Electro Magnetic Emission/Elektromagnetische Umgebung. Die Größe der Aussendung elektromagnetischer Störungen wird bei der CE-Prüfung erfasst.
FFT	Abkürzung für Fast Fourier Transform, ist ein Schmalbandfrequenzfilter, der frequenzunabhängig (in Terzbandbreiten) das Geräusch eines Prüflings darstellt. Die Auswertung gestattet Rückschlüsse auf eventuelle Fehler oder Störquellen.
Frühausfälle	Fehler, die nach relativ kurzer Zeit auftreten, bedingt durch Konstruktions-, Fertigungs-, oder Materialfehler, sowie unsachgemäße Handhabung. Siehe auch → Badewannenkurve.
Geräuschangabe	In den Datenblättern wird das Luftgeräusch eines unter Nennbedingungen betriebenen, elastisch (in Gummiseilen) in einem Schallmessraum aufgehängten Lüfters angegeben. Bei der Messung des Geräusches wird die Ohrempfindlichkeit (→ A-Kurve) berücksichtigt. Aus diesem Wert ist nur bedingt auf die Geräuscentwicklung im Gerät zu schließen.
GeräteKennlinie	Stellt den Volumenstrom in Abhängigkeit des Druckverlusts eines Gerätes dar.
Gleitlager	Zur Aufnahme und radialen Fixierung der (drehenden) Welle. Besteht bei Lüftern aus porösem (gesinterten) Material mit Langzeit-Schmierstoff-Füllung. Günstiger Lageraufbau. Sonderformen (z.B. Hyprolager) verbessern den Aufbau des Schmierfilms.
Hall-IC	Als Hall-Effekt wird die Widerstandsänderung eines Halbleiterelementes in Abhängigkeit eines magnetischen Feldes bezeichnet. Das so genannte Hall-Element er-

	zeugt in einem Magnetfeld proportional Spannungen, wenn ein Strom angelegt wird. Zusammen mit einem Schwellspannungsverstärker werden im Hall-IC logische Ausgangssignale generiert, welche die Stärke oder Polarität eines Magnetfeldes zeigen. Mit Hilfe dieser Signale werden die Spulen eines bürstenlos kommutierten Motors gesteuert.
Heatpipe/Wärmerohr	Ein Wärmeübertrager, der unter Nutzung von Verdampfungswärme eines Mediums eine hohe Wärmestromdichte erlaubt, d. h. auf kleiner Querschnittsfläche können große Wärmemengen transportiert werden. Der Wärmewiderstand eines Wärmerohrs ist bei Arbeitstemperatur deutlich kleiner als der von Metallen.
Hotspot	Hier: begrenzter Bereich, innerhalb dessen eine hohe Erwärmung auftritt.
Hydrodynamischer Effekt	Bewirkt bei einer sich schnell drehenden Welle mit geringer Oberflächenunebenheit in einem mit Öl gefüllten porösen Lager (Sinterlager), dass das Öl auf der ablaufenden Seite aus dem Lager gesaugt wird und sich auf der auflaufenden Seite in der Druckzone zu einem Keil aufstaut. Im Idealfall schwimmt die Welle so im Lager auf einem Ölfilm und es kommt zu keiner metallischen Berührung zwischen Lager und Welle.
Integrated Circuit (IC)	Integrierte Schaltung, die auf einem Halbleiterchip mehrere Hundert bis mehrere Millionen aktive (Dioden, Transistoren) und passive (R, C) elektrische Bauteile vereint.
Ingress Protection (IP)	Schutzart nach DIN, deren Zahl den Grad des Schutzes angibt.
Junction	hier: Halbleiterkristall, Sperrschicht. Aktive Zone eines Halbleiterbauelementes.
Kommutierung	Elektrisches Umschalten von Magnetspulen im Stator eines Motors, sodass beim Drehen des Rotors ständig Kräfte entstehen, die ein Drehmoment aufrecht erhalten. Die Lage der Rotormagnetpole wird durch einen internen Sensor (Hall-IC) festgestellt, der die Umschaltung über Transistoren steuert.

Kugellager	Zur Aufnahme sowie radialen und axialen Lagefixierung der (drehenden) Welle. Mit großem Betriebstemperaturbereich und hoher Zuverlässigkeit.
L ₁₀	Lebensdauererwartung, gemittelt über eine große Stückzahl. Nach n Stunden dürfen 10% der Bauteile ausgefallen sein (90% überleben). Bei SEPA [®] Lüftern ist der Ausfall mit dem Über- bzw. Unterschreiten des Toleranzbereichs definiert. Neben L ₁₀ kann auch L ₁ , L ₂ oder L ₅ angegeben sein.
Lebensdauererwartung	Kennzahl, die eine unter Nennbedingungen zu erwartende Lebensdauer angibt. Diese statistische Zahl wird aus einer großen Zahl an Prüflingen ermittelt. Die Lebensdauererwartung kann bei Raumtemperatur, bei 40 °C oder bei max. zulässiger Temperatur angegeben werden. Üblicherweise werden → L ₁₀ und (oder) → MTBF angegeben.
Lüfterkennlinie	Stellt den Volumenstrom eines Lüfters in Abhängigkeit von der Druckerhöhung dar.
MagFix	Gleitlagersystem mit axialer, magnetischer Positionierung der Welle im Lager. Vorteil: lageunabhängiger Einbau des Lüfters möglich.
Montagedämpfung	Montagehilfen aus Gummi, deren Eigenschaften Schock- und Vibrationsbelastung auf ungefährliche Werte für den Lüfter dämpft. Außerdem wird durch diese Montagehilfen der vom Lüfter erzeugte Körperschall um bis zu 10 dB(A) gedämpft.
Mooresches Gesetz (Moore's Law)	Moores Gesetz ist kein wissenschaftliches Naturgesetz, sondern eine Faustregel, die auf empirische Beobachtungen zurückgeht. Gordon Moore veröffentlichte im April 1965, dass sich die Zahl der Transistoren auf einem handelsüblichen Prozessor jährlich verdoppelt, korrigierte jedoch seine Aussage 1975 auf eine Verdopplung alle zwei Jahre. In den Medien ist auch oft von einer Verdopplung der Integrationsdichte alle 18 Monate die Rede, woher die Zahl stammt, ist unbekannt.

MTBF / MTTF	Abkürzung Für Mean Time Between Failures (mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen). Die Angabe bei Lüftern ist unkorrekt, da ein Lüfter bereits nach dem ersten Fehler ausfällt und nicht repariert wird. Gemeint ist eigentlich MTTF, Mean Time To Failure. Bei konstanter Ausfallrate sind bis zum MTTF 63,2% der Teile ausgefallen.
Nennndrehzahl	Typische Rotordrehzahl eines Lüfters unter Nennbedingungen. Die Drehzahl bestimmt Förderleistung und Geräusch bei gleicher Konstruktion und ist nicht zum Vergleich verschiedener Lüftermodelle geeignet.
Nennstromaufnahme	Typische Stromaufnahme (eines Lüfters) unter Nennbedingungen.
NTC	Abkürzung für einen Widerstand mit negativem Temperaturkoeffizient (Heißleiter). Der Widerstand sinkt exponentiell mit steigender Temperatur. Der NTC wird u. a. als Temperatursensor bei Temperatursteuerungen von Lüftern verwendet.
PBT	Abkürzung für Polybutylenterephthalat (auch PBTP genannt). Aufgrund des hohen Glasfaseranteils von 30% wird PBT für Gehäuse und Propeller von Lüftern eingesetzt. PBT besitzt hervorragende Eigenschaften für präzise Spritzgussteile und ist beständig gegen Schmierstoffe, schwache Säuren und Alkohole. Außerdem erfüllt es die UL Brandschutzklasse V0.
PCB	Abkürzung für Printed Circuit Board, Leiterplatte mit geätzten Leiterbahnen, ein- oder mehrlagig. Das isolierende Trägermaterial ist in verschiedenen Qualitätsstufen und Preisklassen zu finden.
PPM	Abkürzung für Parts per Million. Anzahl von Teilen aus einer Stichprobe aus einer Million Teilen.
PWM	Abkürzung für Pulsweitenmodulation. Bei Lüftern mit PWM-Eingang erhalten die Spulen die gepulste Betriebsspannung, während die übrige Elektronik ständig mit Nennspannung versorgt wird.

RoHs	Abkürzung für Restriction of Hazardous Substances. Die aktuelle EU-Richtlinie schränkt die Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe (z.B. Blei) stark ein oder verbietet sie.
Rotor	Drehender Teil eines Motors. Beim Lüfter meist auch das das Teil, das die Permanentmagnete, den Rückschluss und die Schaufeln zur Luftbewegung enthält.
RPM	Englisch für Rotation Per Minute, Umdrehungen pro Minute (U/min)
Schallmessraum	Besonders gut gegen von außen einwirkende Fremdgeräusche isolierter Messraum zur Geräuschmessung (von Lüftern). Das Grundgeräusch bei sehr guten Schallmessräumen liegt bei 5 dB(A).
Schmierfilm	Dünne Schicht eines flüssigen Schmiermittels zwischen drehender Welle und Lagerinnenwand. Erst ab Erreichen einer Mindestdrehzahl kann sich durch den hydrodynamischen Effekt ein Schmierfilm im Lager aufbauen, auf dem die Welle „schwimmt“. Temperatur, Wellenoberfläche, Porosität des Lagers und Viskosität des Schmierstoffes beeinflussen die Stabilität des Schmierfilmes. Siehe auch → Hydrodynamischer Effekt.
Schock	Stoßbelastung bei Lüftern, wobei ein Vielfaches der Erdbeschleunigung auftritt. Die Schockbelastung wird meist in 3 Richtungen (X, Y, Z) mit einer Beschleunigung von 196 m/s^2 (ca. 20 G) getestet, wobei der Prüfling keinen Schaden nehmen darf. Automotive Lüfter haben eine Schockfestigkeit bis zu $490,5 \text{ m/s}^2$ (50 G).
Sensordlüfter	Lüfter, bei dem ein integrierter NTC (Sensor) die Temperatur der angesaugten Luft misst. Hauptapplikation: Kfz-Klimaanlagen.
Spurlager	Ein Gleitlager, das eine in Spurlagerrichtung vorgespannte Motorwelle axial fixiert. Das Spurlager ist bei den meisten Gleitlagerlüftern zusammen mit einer magnetischen Vorspannung wirksam. Die Berührung der Wellenkuppe mit einem ebenen Lagerteil ist nahezu punktförmig. Siehe auch → MagFix.

Stator	Feststehender Teil des Motors. Enthält beim Lüfter die magnetischen Spulen mit dem Statorblechpaket und das Lagersystem. Der äußere Teil des Stators bildet den Rahmen bzw. das Gehäuse.
Tachosignal	Ausgangssignal, welches Impulse liefert, deren Frequenz proportional mit der Drehzahl ist. Bei Lüftern werden, je nach Motorkonzept, zwei oder drei Pulse pro Umdrehung abgegeben. Höhere Tachofrequenzen werden durch spezielle Tachokonstruktionen erreicht.
Temperatursteuerung	Im Lüfter eingebaute oder externe Schaltung zum Steuern der Lüfterdrehzahl in Abhängigkeit von der Temperatur an einer definierten Messstelle.
Thermal Management	Betrachtung der elektrischen und mechanischen Auswirkungen, denen das Bauteil bei thermischer Belastung ausgesetzt sein kann.
Thermal Vias	Durchkontaktierungen, die eine vertikal elektrisch und thermisch leitfähige Verbindung zwischen den Leiterbahnebenen einer Leiterplatte herstellen. Die Verbindung wird meist durch eine innen metallisierte Bohrung im Trägermaterial der Leiterplatte realisiert. Der thermische Widerstand des isolierenden Trägermaterials einer Leiterplatte kann mit einer entsprechend großen Zahl an solchen Durchkontaktierungen auf engem Raum deutlich gesenkt werden. Dadurch kann beispielsweise die Entwärmung eines auf einer Seite angebrachten Bauteils durch die Leiterplatte zu einem auf der gegenüberliegenden Seite angebrachten Kühlkörpers erfolgen.
Turbulenz	An den Flügelenden und an scharfkantigen Gebilden entsteht eine ungeordnete (chaotische) Luftströmung, die den geordneten Luftstrom behindert. Turbulenzen verschlechtern die Förderleistung eines Lüfters und erhöhen das Geräusch. Luftkanäle mit sanften Abrundungen verbessern die Turbulenzen.
Unwucht	Abweichung der Schwerpunktschwerachse zur Rotationsachse. Unwucht führt zu Radialbelastung von Lagern und damit zu erhöhtem Verschleiß und zu Geräuschentwicklung. Optimierung erfolgt durch Auswuchten.

Ventilator Kennlinie	Stellt den Volumenstrom eines Lüfters in Abhängigkeit der Druckerhöhung dar.
Verpolungsschutz	Elektrische Schutzeinrichtung (Diode) eines Lüfters gegen Falschpolung, die die Elektronik zerstören würde.
Vibration	Permanente Stöße mit gleich bleibender oder variabler Frequenz. Die Vibrationssicherheit wird mit Beschleunigung von z.B. $14,7 \text{ m/s}^2$ (1,5 G) unterschiedlicher Frequenz und Richtung geprüft. Meist wird in drei Richtungen getestet und dabei wird die Frequenz drei Mal im Bereich 10-500-10 Hz geändert.
Viskosität	Messgröße, welche die Zähigkeit (Reibungswiderstand $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$) eines Schmierstoffes angibt. Die Viskosität bei Schmierstoffen nimmt mit steigender Temperatur ab (dünnflüssiger).
Volumenstrom	Fördermenge eines Lüfters von Luft normaler Dichte und Temperatur in Volumen/Zeiteinheit. Angaben meist in m^3/h , l/min oder CFM.