Der Phi Fan Performance Standard (PFPS)

Revision 1.5

Autor: Aristeidis Bitziopoulos

Nikosia, Zypern

August 2026

Änderungshistorie

Version	Veröffentlichungsdatum	Anmerkungen
1.0	Mai 2024	Erster Entwurf
1.1	Juni 2024	Änderung der Abzeichen. Der Lüfterdurchmesser wurde weggelassen.
1.2	August 2026	Messunsicherheiten auf die aktuellen gelenkten Budgets (P19) aktualisiert.
1.3	August 2026	Messunsicherheiten korrigiert: Typ-B-Beiträge, die bereits im Typ-A-Term enthalten waren, wurden als Doppelzählung entfernt (P19 rev.05, 07-08-2026).
1.4	August 2026	Entscheidungsregel für die Vergabe der PFPS-Auszeichnungen festgelegt: einfache Annahme, mit einer Wiederholungs- und Mittelwertregel an den Stufengrenzen.
1.5	August 2026	Grundgeräuschpegel der Kammer nun mit etwa 6 dB(A) statt < 6 dB(A) angegeben, zur Übereinstimmung mit den übrigen Cybenetics-Prüfdokumenten.

Inhaltsverzeichnis

Prolog 3

Lüfter sind überall anzutreffen und kühlen wärmeempfindliche elektronische Geräte. Sie werden häufig übersehen, sofern sie nicht laut sind, denn sie verrichten über lange Zeiträume einfach ihre Arbeit, bis sie sich nicht mehr drehen. Dieser Artikel soll ausführlich erläutern, wie wir Kühllüfter bewerten und wie wir sie entsprechend ihrer Leistung einstufen. 3

Lüfterbetrieb & Lagertypen 3

Prüfausrüstung 5

Lüfterleistung: P-Q-Kurve 7

Normalisierte Geräuschprüfung 8

Ablauf der Geräuschmessungen 10

Der Phi Fan Performance Standard - PFPS 11

Leistungsabzeichen & Einstufungen 12

Messunsicherheit 13

Entscheidungsregel 14

Epilog 14

Literaturverzeichnis 15

Prolog

Lüfter sind überall anzutreffen und kühlen wärmeempfindliche elektronische Geräte. Sie werden häufig übersehen, sofern sie nicht laut sind, denn sie verrichten über lange Zeiträume einfach ihre Arbeit, bis sie sich nicht mehr drehen. Dieser Artikel soll ausführlich erläutern, wie wir Kühllüfter bewerten und wie wir sie entsprechend ihrer Leistung einstufen.

Lüfterbetrieb & Lagertypen

Die wichtigsten Bauteile jedes Lüfters sind sein Lager und seine Welle, an der das Lüfterrad befestigt ist. Das Lager ist ein feststehender Zylinder, in dessen Innerem sich die Welle dreht. Um eine hohe Zuverlässigkeit und eine geringere Geräuschentwicklung zu erreichen, muss die Reibung zwischen Welle und Lager minimiert werden. In den meisten Fällen wird Öl als Schmiermittel verwendet. Es können jedoch auch andere Verfahren zum Einsatz kommen (zum Beispiel teflonbeschichtete Oberflächen). Ist das Öl nicht ordnungsgemäß im Lager

abgedichtet, nimmt seine Menge im Laufe der Zeit ab, wodurch die Reibung zunimmt, was zu einer langsameren Lüfterdrehzahl und erhöhten Geräuschen führt, bis der Lüfter ausfällt und sich nicht mehr dreht.

Die gängigsten Lagertypen in PC-Kühllüftern sind die folgenden:

- Gleitlager (Sleeve Bearing)
- Rifle-Lager (Rifle Bearing)
- Doppelkugellager (DBB)
- Fluiddynamisches Lager (FDB) und hydrodynamisches Lager (HDB)
- Magnetlager

Es würde den Rahmen dieses Artikels sprengen, die verschiedenen Lagertypen im Detail zu erläutern; kurz gesagt sind Lüfter mit Gleitlager jedoch die am wenigsten zuverlässigen. Lüfter mit Rifle-Lager bieten eine höhere Zuverlässigkeit, während FDB- und HDB-Lüfter noch zuverlässiger sind.

Lüfter mit Doppelkugellager sind sehr tolerant gegenüber erhöhten Temperaturen, weisen bei niedrigen Drehzahlen jedoch typischerweise Lagergeräusche auf, während Lüfter mit Magnetlager dieselbe Toleranz gegenüber hohen Temperaturen besitzen wie DBB-Lüfter, ohne bei niedrigen Drehzahlen Lagergeräusche zu erzeugen.

Es existieren weitere Lagertypen, doch dabei handelt es sich in der Regel um verbesserte Versionen der oben aufgeführten Lager unter einer anderen Bezeichnung.

Prüfausrüstung

Das wichtigste Gerät, das wir für Lüftermessungen einsetzen, ist ein LW-9266 Fan PQ Performance Measurement Apparatus [1]. Dabei handelt es sich um ein hochentwickeltes wissenschaftliches Messgerät, das in Taiwan von Long Win hergestellt wird.

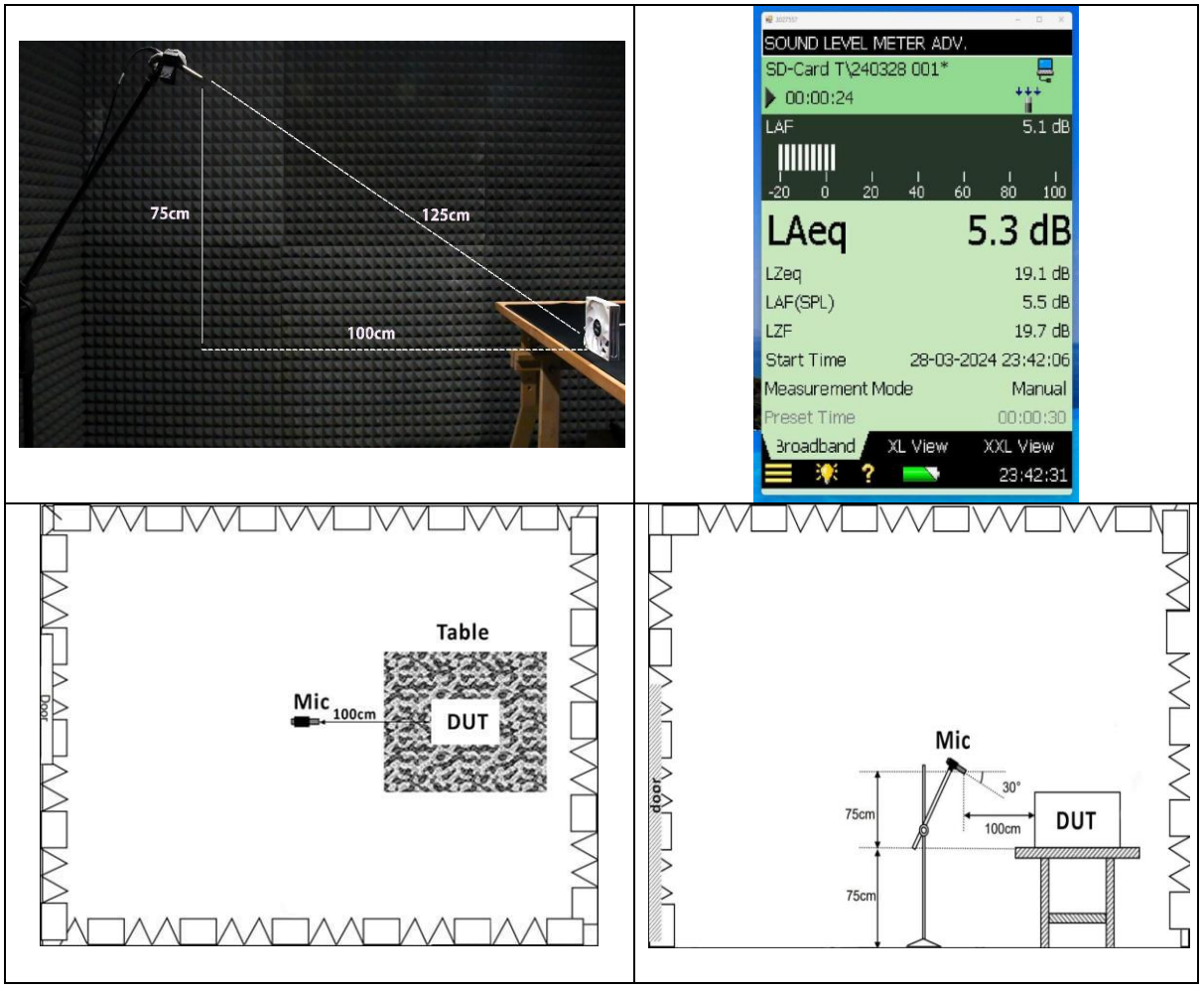
LW-9266 Technische Daten

- Hersteller: Long Win Science & Technology Corporation
- Luftvolumenstrom: 2.4 – 250 CFM
- Genauigkeit des Luftvolumenstroms: <3.5% INFS
- Fehler der Wiederholpräzision: < 2%
- Statischer Druck: 0-20mmAq (100mmAq mit der Drosselvorrichtung für hohen statischen Druck)
- Gesamtabmessungen: 0.7 (B) x 2.2 (L) x 1.6 (H) m
- Stromversorgung: 220VAC, 5A, einphasig, 50/60Hz
- Basierend auf Normen: ISO 5801-2007, AMCA 210-0, ASHRAE 51-2007, IEC 61591-2005, GB/T 1236-200

Neben dem Gerät von Long Win verwenden wir außerdem die folgende Ausrüstung.

- Umgebung der Geräuschmessung: Halbschalltoter Raum mit einem Grundgeräuschpegel von etwa 6 dB(A)
- Bedingungen: 25 (+-2) Grad Celsius, 40-50% Luftfeuchtigkeit
- Schallanalysator: Bruel & Kjaer 2270-S G4

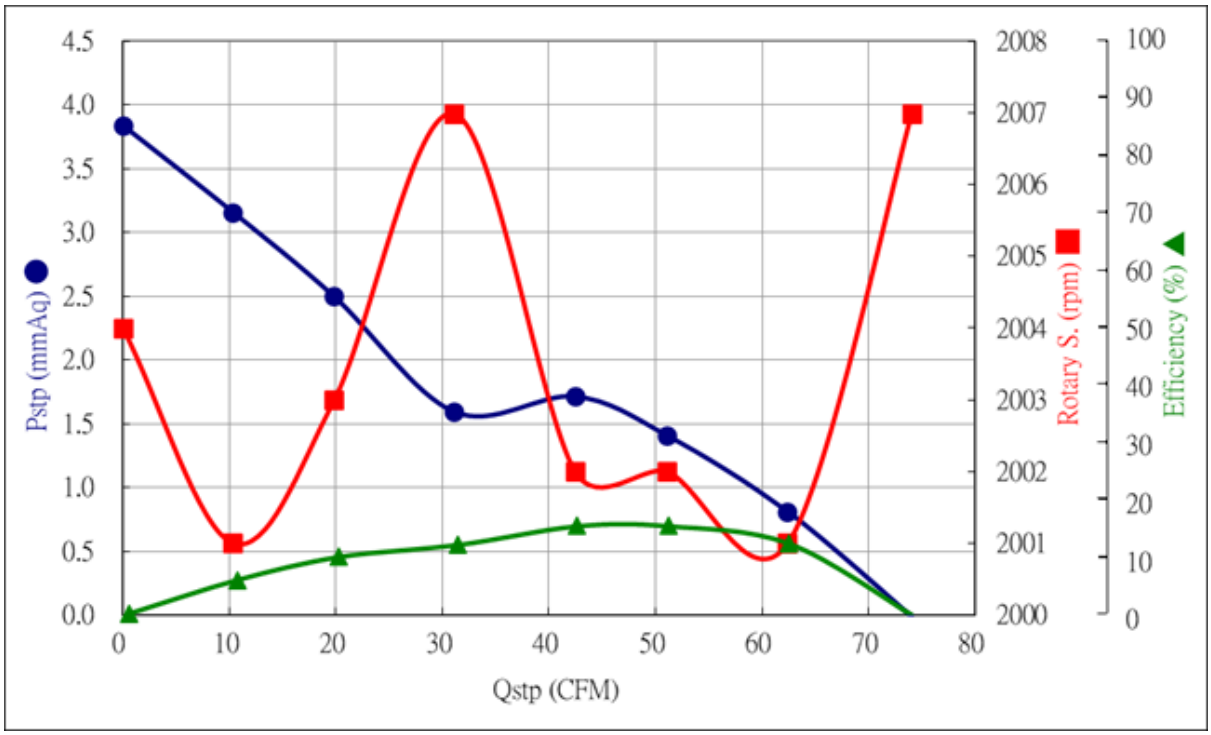
- Mikrofon: Bruel & Kjaer Type 4955-A
- Mikrofonkalibrator: Bruel & Kjaer Type 4231
- Datenlogger: Picoscope TC-08 [2]



Das Messmikrofon wird so positioniert, dass es einen Winkel von 30o bis 45o Grad zur Horizontalachse bildet, und sein vertikaler Abstand zum Prüfling (Device Under Test, DUT) beträgt einen Meter.

Lüfterleistung: P-Q-Kurve

Unabhängig von seinen Abmessungen besitzt jeder Lüfter, ob gleich- oder wechselstrombetrieben, eine Kennlinie, die als P-Q bezeichnet wird. Diese Kurve zeigt den Zusammenhang zwischen dem Luftvolumenstrom des Lüfters und seinem statischen Druck. Mit dem Buchstaben „P“ beschreiben wir den statischen Druck und mit „Q“ den Luftvolumenstrom.



Wenn wir vom Luftvolumenstrom eines Lüfters sprechen, meinen wir die gesamte Luftmenge, die der Lüfter pro Zeiteinheit fördert bzw. erzeugt. Der Luftvolumenstrom wird üblicherweise in Kubikfuß pro Minute (CFM) gemessen. Lüfterhersteller messen die CFM eines Lüfters in einer offenen Umgebung ohne jegliche Hindernisse davor, und das spielt eine große Rolle, wie Sie in unseren Tests bald feststellen werden. Wenn sich vor einem Lüfter kein Widerstand befindet, ist sein Luftvolumenstrom maximal; bei den meisten Lüftern ist dies jedoch nicht der Fall, insbesondere bei jenen, die in Kühlkörpern und AIO-Radiatoren eingesetzt werden. Die meisten Lüfter, die in Gehäusen verwendet werden, sind keinem nennenswerten Widerstand ausgesetzt.

Der maximale statische Druck ist der Winddruck des Lüfters in einem vollständig geschlossenen Kanal. Der statische Druck ist der Luftdruck, den der Lüfter in einem geschlossenen Raum erzeugen kann. Er wird in Pascal (Pa), Zoll Wassersäule (inH2O) oder Millimeter Wassersäule (mmAq) gemessen. Wir verwenden Letzteres. Das Wichtigste, was Sie wissen müssen, ist, dass der Lüfter nicht gleichzeitig maximale Werte für

Luftvolumenstrom und statischen Druck liefert. Luftvolumenstrom und statischer Druck stehen in einem negativen Zusammenhang. Steigt der Luftvolumenstrom, sinkt der statische Druck, und steigt der statische Druck, sinkt der Luftvolumenstrom.

Sowohl der Luftvolumenstrom als auch der statische Druck hängen mit dem Strömungswiderstand zusammen, der als Impedanz bezeichnet wird. Wenn Bauteile den Luftvolumenstrom des Lüfters behindern, entsteht Impedanz; um die vollständigen P-Q-Kurven eines Lüfters zu ermitteln, müssen wir daher in der Lage sein, diese Impedanz auf irgendeine Weise zu simulieren. Manche Anwender verwenden selbst gefertigte Filter oder AIO-Radiatoren, doch diese Verfahren simulieren nur ein einzelnes Impedanzszenario und können daher keine vollständigen P-Q-Kurven liefern. Die einzige Möglichkeit, die gesamte P-Q-Kurve eines Lüfters zu erhalten, besteht in einer variablen Impedanz, und genau das leistet ein Gerät wie das LW-9266 – auf Grundlage etablierter Messnormen und mit vollständigen Kalibrierberichten.

Normalisierte Geräuschprüfung

Eine Prüfung des Lüfters bzw. der Lüfter ausschließlich bei voller Drehzahl zeigt nur einen kleinen Teil ihrer Leistungsfähigkeit, da Kühllüfter in den meisten Fällen nicht mit voller Drehzahl betrieben werden. Ist dies doch der Fall, wird neben der hohen Geräuschentwicklung auch ihre Lebensdauer stark beeinträchtigt. Folglich wird die Lüfterdrehzahl typischerweise entsprechend der thermischen Last geregelt. Deshalb ist es zwingend erforderlich, jeden Lüfter unter denselben Bedingungen zu prüfen und zu vergleichen. Es wäre unfair, einen Lüfter, der mit 3000 RPM dreht, mit einem Lüfter zu vergleichen, der mit 1500 RPM dreht. Zudem muss der Parameter der Geräuschentwicklung in den Vergleich einbezogen werden, da auch die Drehzahl des Lüfters kein stabiler Parameter ist. So ist beispielsweise auch der Vergleich zweier Lüfter, die mit 1500 RPM drehen, nicht fair, da der eine 30 dBA und der andere 33 dBA Geräusch abgeben kann. Die Geräuschentwicklung hängt auch vom Design des Lüfters ab, nicht nur von seiner Drehzahl.

Bevor wir eine vollständige Bewertung der Lüfterleistung durchführen, müssen wir die Geräuschentwicklung des Lüfters messen, da die wichtigste Leistungsangabe jedes Lüfters seine Leistung bei normalisierter Geräuschentwicklung ist. Für die Tests bei normalisierter Geräuschentwicklung stellen wir den Lüfter auf Drehzahlen mit einer Geräuschentwicklung auf den folgenden vordefinierten Pegeln ein: 20/25/30/35/40/45 dBA. Erreicht der geprüfte Lüfter bestimmte Geräuschpegel nicht, entfallen die entsprechenden Tests. Die im untenstehenden Beispieldiagramm gezeigten Drehzahlen werden mit dem Lüfter in einem freien Raum innerhalb unseres halbschalltoten Raums ohne jegliche Hindernisse gemessen. Diese Drehzahleinstellungen nehmen wir am Gerät von Long Win vor, doch die Ergebnisse können aufgrund externer, nicht kontrollierbarer Parameter und geringfügiger Unterschiede im Betrieb des Geräts leichte Abweichungen aufweisen – stets innerhalb der Fehlergrenzen.

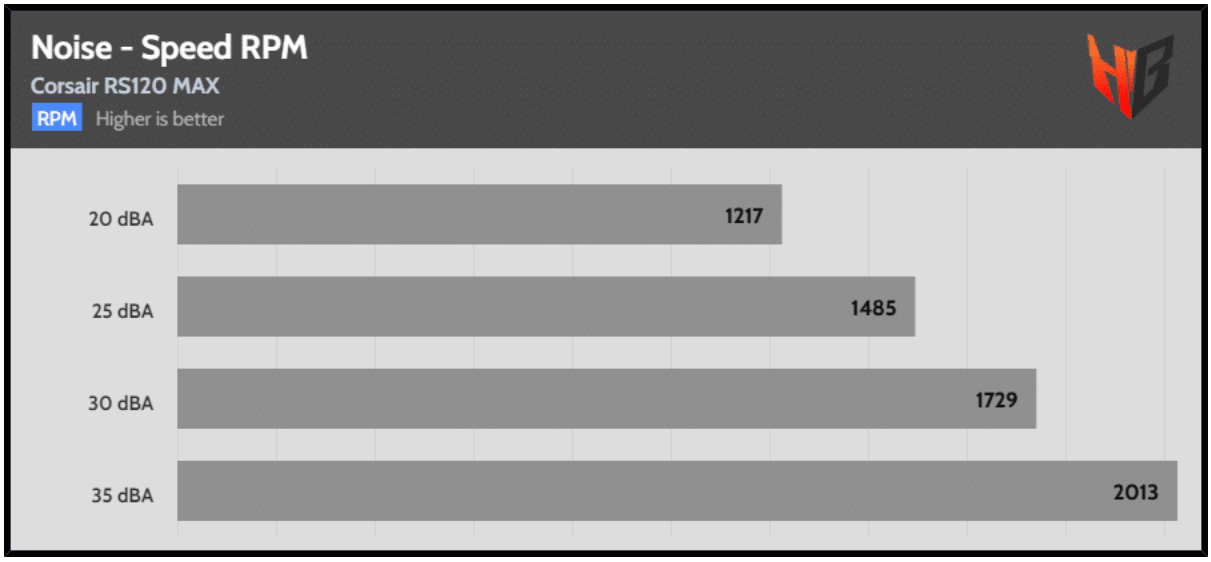

Noise - Speed RPM
Corsair RS120 MAX
RPM
Higher is better
20 dBA
1217
25 dBA
1485
30 dBA
1729
35 dBA
2013

Abbildung 1

Ablauf der Geräuschmessungen

Wir schalten den Schallpegelmesser Bruel & Kjaer G-4 Type 2270 [3] 15 bis 30 Minuten vor Beginn der Messungen ein, damit er seine Betriebstemperatur erreichen kann. Vor Beginn der Messungen kalibrieren wir den Schallpegelmesser mit dem Bruel & Kjaer Sound Calibrator Type 4231 [4].

Wir montieren den Lüfter im Raum in einer solchen Position, dass sein Luftvolumenstrom in die entgegengesetzte Richtung zum Mikrofon verläuft. Wir stellen sicher, dass das Mikrofon korrekt installiert ist, und befolgen generell sämtliche Anforderungen an Geräuschmessungen gemäß den Normen ECMA-74 und ISO 9296 [5][6].

Zur Steuerung der Gehäuselüfter verwenden wir den Commander Pro [7] von Corsair zusammen mit einer von unserem Team entwickelten eigenen Software. Zudem wird der Commander Pro von einem weiteren, passiv gekühlten System angesteuert, das den Grundgeräuschpegel des Raums nicht beeinflusst.

Unsere Software ermöglicht präzise Einstellungen der Lüfterdrehzahl sowohl in RPM als auch in Prozent. Somit können wir für jeden Lüfter individuell einen Anteil der Drehzahl festlegen; wird beispielsweise bei einem Lüfter mit einer Maximaldrehzahl von 1000 RPM die Lüfterdrehzahl auf 50% eingestellt, ergibt sich eine Drehzahl von 500 RPM (±1%).

Wir messen das von den Lüftern erzeugte Geräusch von ihrer niedrigsten bis zu ihrer maximalen Drehzahl in Schritten von 10%. Anschließend ändern wir die Lüfterdrehzahl, indem wir die Logik der Messungen umkehren, um die entsprechenden Geräuschpegel für unsere normalisierten Geräuschtests zu erreichen, und wir erfassen die zugehörigen Lüfterdrehzahlen zur späteren Verwendung.

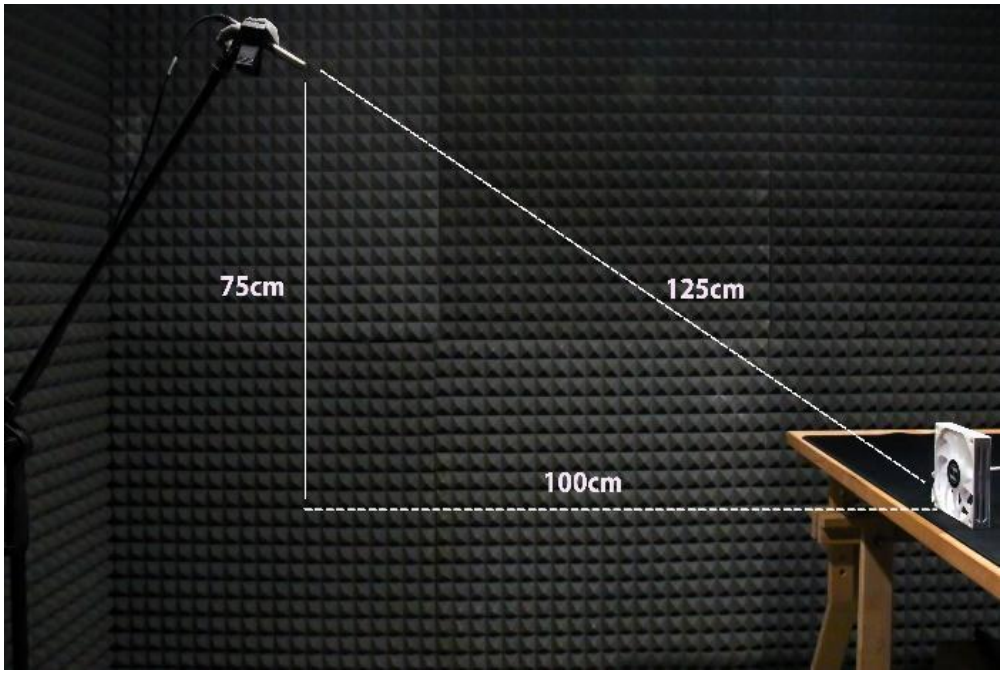


Abbildung 2

Der Phi Fan Performance Standard - PFPS

Wir haben unseren Lüfterleistungsstandard Phi nach dem griechischen Buchstaben «Φ» benannt, der unter anderem den [8] darstellt.Golden ratio

Der Phi Fan Performance Standard, kurz PFPS, umfasst sowohl 120mm- als auch 135-140mm-Lüfter, jedoch mit unterschiedlichen Anforderungen für jede Stufe. Die Anforderungen sind sowohl für den Luftvolumenstrom als auch für den statischen Druck festgelegt, da diese beiden die entscheidenden Leistungsfaktoren jedes Lüfters sind.

Alle Lüfter werden bei einer normalisierten Geräuschentwicklung von 25 dBA geprüft, und wir ziehen diese Ergebnisse heran, um sie in die folgenden Kategorien einzustufen. Warum haben wir genau diesen Geräuschpegel für unseren Standard gewählt? Weil ein Lüfter bei 25 dBA schnell genug drehen kann, um eine ordentliche Leistung zu erzielen, während dieser Geräuschpegel nicht hoch genug ist, um die Mehrheit der Anwender zu stören. Alles, was über oder unter diesem Geräuschpegel liegt, wäre zu laut, oder die Leistung wäre erheblich beeinträchtigt.

Und was ist mit den Lüftern, die nicht einmal eine Geräuschentwicklung von 25 dBA erreichen? Leider können wir sie nicht einstufen, und diese Lüfter sind ohnehin nicht leistungsorientiert, sodass kein Bedarf an einem Leistungsabzeichen besteht. Derzeit enthält unsere Lüfterdatenbank nur eine Handvoll Lüfter, die eine Geräuschentwicklung von 25 dBA nicht erreichen können.

PFPS – Luftvolumenstrom-Stufen/Anforderungen für 120mm-Lüfter – 25 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufen	Anforderungen
Bronze	≥34 CFM & <38 CFM
Silver	≥38 CFM & <42 CFM
Gold	≥42 CFM & <46 CFM
Platinum	≥46 CFM & <50 CFM
Titanium	≥50 CFM & <55 CFM
Diamond	≥55 CFM

PFPS – Stufen/Anforderungen für den statischen Druck bei 120mm-Lüftern – 25 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufen	Anforderungen
Bronze	≥0.8 mmAq & <1.0 mmAq
Silver	≥1.0 mmAq & <1.25 mmAq
Gold	≥1.25 mmAq & <1.5 mmAq
Platinum	≥1.5 mmAq & <1.75 mmAq
Titanium	≥1.75 mmAq & <2.0 mmAq
Diamond	≥2 mmAq

PFPS – Luftvolumenstrom-Stufen/Anforderungen für 135/140mm-Lüfter – 25 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufen	Anforderungen
Bronze	≥45 CFM & <50 CFM
Silver	≥50 CFM & <55 CFM
Gold	≥55 CFM & <60 CFM
Platinum	≥60 CFM & <65 CFM
Titanium	≥65 CFM & <70 CFM
Diamond	≥70 CFM

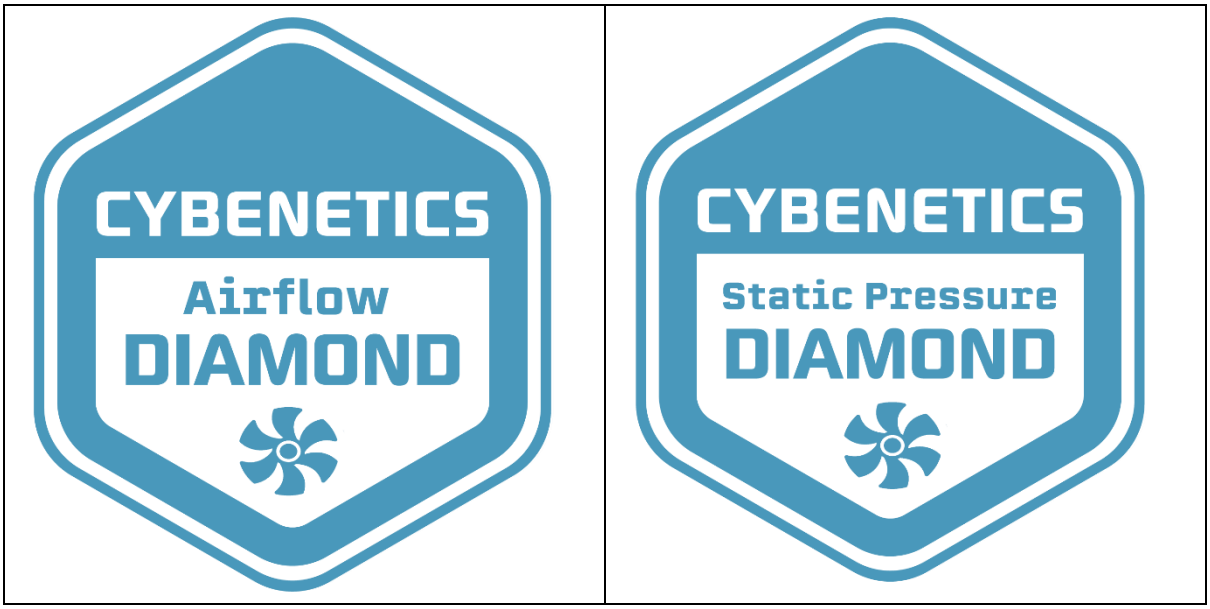
PFPS – Stufen/Anforderungen für den statischen Druck bei 135/140mm-Lüftern – 25 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufen	Anforderungen
Bronze	≥0.7 mmAq & <0.9 mmAq
Silver	≥0.9 mmAq & <1.1 mmAq
Gold	≥1.1 mmAq & <1.3 mmAq
Platinum	≥1.3 mmAq & <1.5 mmAq
Titanium	≥1.5 mmAq & <1.7 mmAq
Diamond	≥1.7 mmAq

Leistungsabzeichen & Einstufungen

Da wir die Anwender nicht verwirren möchten, haben wir die bestens bekannten Metall- und Kohlenstoff-Einstufungen verwendet, die wir bereits für unsere Wirkungsgrad-Einstufungen von Netzteilen einsetzen: Bronze, Silver, Gold, Platinum, Titanium und Diamond.

Es gibt zwei Lüfterkategorien, die beliebtesten: 120mm und 135/140mm. Ebenso gibt es zwei Abzeichen für die wichtigsten Leistungsfaktoren des Lüfters: Luftvolumenstrom und statischer Druck.



Messunsicherheit

Die Messunsicherheit ist der quantifizierte Zweifel an einem Messergebnis. Sie gibt den Bereich an, in dem der wahre Wert erwartungsgemäß liegt. Die Messunsicherheit der aerodynamischen Lüftermessungen wurde in Übereinstimmung mit JCGM 100:2008 (GUM) und ISO/IEC 17025:2017 ermittelt.

Die angegebene erweiterte Messunsicherheit U ist die kombinierte Standardmessunsicherheit multipliziert mit einem Erweiterungsfaktor k = 2, was einem Vertrauensniveau von etwa 95 % entspricht.

Die Messunsicherheit der Luftvolumenstrommessung beträgt ±5.00 CFM (at 89 CFM; relative 1.9296 %: $U(Q) = 2 \cdot \sqrt{[(1.8200)^2 + (0.019296 \cdot Q)^2]}$ CFM, ±10.31 CFM at 250 CFM) und gilt über den angegebenen Messbereich 2.4 – 250 CFM.

Die Messunsicherheit der Messung des statischen Drucks beträgt ±2.422 Pa und gilt über den standardmäßigen Messbereich 0 – 20 mmAq (0 – 196.1 Pa). Das Gerät kann mithilfe der Drosselvorrichtung für hohen statischen Druck auf 100 mmAq (981 Pa) erweitert werden; dieser erweiterte Bereich wird nur selten genutzt und seine Messunsicherheit wurde bisher nicht gesondert verifiziert — siehe die Verifizierungsmaßnahme im gelenkten Nachweisdokument P19-F01 rev.05, 07-08-2026.

Die Messunsicherheit wird über die angegebenen Messbereiche hinweg und nicht für einen einzelnen Betriebspunkt angegeben, da das Ergebnis dieses Standards eine vollständige P–Q-Kennlinie ist, die bei jeder Prüfung den gesamten Bereich durchläuft.

Messunsicherheitsbudget der Luftvolumenstrommessung

Unsicherheitsquelle	Standardmessunsicherheit, u(xi) (CFM)
LW-9266 Gerätegenauigkeit (Typ B)	1.750
Wiederholpräzision, Kontrollprobe (Typ A)	1.714
Kalibrierung (Typ B)	0.500
Kombinierte Standardmessunsicherheit (RSS):	2.500
Erweiterte Messunsicherheit U (k=2, norm):	5.000

Messunsicherheitsbudget der Messung des statischen Drucks

Unsicherheitsquelle	Standardmessunsicherheit, u(xi) (Pa)
Wiederholpräzision, Kontrollprobe (Typ A)	1.209

LW-9266 Kalibrierung (Typ B)	0.075
Kombinierte Standardmessunsicherheit (RSS):	1.211
Erweiterte Messunsicherheit U (k=2, norm):	2.422

Die Wiederholpräzision wird als Typ A aus wiederholten Labormessungen an einer Kontrollprobe ermittelt und über den angegebenen Bereich als absolute Größe behandelt. Die Herstellerspezifikation des LW-9266 wird gesondert als Typ-B-Beitrag zur Gerätegenauigkeit angesetzt.

Entscheidungsregel

Die Auszeichnungen werden nach dem Prinzip der einfachen Annahme vergeben. Der gemessene Luftvolumenstrom und der gemessene statische Druck eines Lüfters bei 25 dBA normalisierter Geräuschentwicklung werden direkt mit den oben aufgeführten Anforderungen der jeweiligen Stufe verglichen; die Messunsicherheit wird vor diesem Vergleich weder zum Messwert addiert noch von ihm abgezogen. Dies ist eine Regel des geteilten Risikos, wie sie ISO/IEC 17025:2017 Abschnitt 7.8.6.2 zulässt, und sie bedeutet, dass bei einem Ergebnis nahe einer Stufengrenze der wahre Wert auf beiden Seiten dieser Grenze liegen kann.
Liegt ein Messwert innerhalb einer erweiterten Messunsicherheit von einer Stufengrenze, wiederholen wir die Bewertung in drei unabhängigen Durchläufen, jeweils mit eigener Geräuschmessung, und vergleichen den Mittelwert der drei Durchläufe mit der Grenze. Liegt der Mittelwert weiterhin innerhalb dieser Spanne, wird die niedrigere Stufe vergeben.

Epilog

Dieser Artikel war eine kurze Einführung in die Welt der Lüfterprüfung und ein erster Einblick in unsere Prüfmethodik. Eine objektive Darstellung der Leistung eines Lüfters zu liefern, ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die Erfahrung sowohl in der Schallmessung als auch in der Aerodynamik erfordert. Die für unsere Prüfungen eingesetzte Ausrüstung entspricht dem Industriestandard, ist von höchster Qualität und wird ordnungsgemäß gewartet und bedient. Darüber hinaus haben wir bislang zahlreiche Lüfter geprüft und dabei unsere Methoden verfeinert. Folglich sind die von uns bereitgestellten Informationen und Prüfergebnisse sowohl genau als auch aussagekräftig für die Leistung in der Praxis.

Literaturverzeichnis

[1] LW-9266 Fan PQ Performance Measurement Apparatus.
http://www.longwin.com/english/product/9266.html (last accessed on 30 May 2024)
[2] Picoscope TC-08. https://www.picotech.com/data-logger/tc-08/thermocouple-data-logger
(last accessed on 30 May 2024)
[3] (last accessed on 30 May 2024) https://www.bksv.com/en/products/sound-and-vibration-meters/sound-level-meters-and-vibration-meters/2270-series/Type-2270-S
[4] https://www.bksv.com/en/products/transducers/acoustic/calibrators/4231
(last accessed on 30 May 2024)
[5] Standard ECMA-74 Measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment
https://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-074.htm
(last accessed on 30 May 2024)
[6] ISO 9296:2017 Acoustics - Declared noise emission values of information technology and telecommunications equipment https://www.iso.org/standard/32303.html
(last accessed on 30 May 2024)
[7] (last accessed on 30 May 2024)https://www.corsair.com/eu/en/Categories/Products/Accessories-%7C-Parts/iCUE-CONTROLLERS/iCUE-Commander-PRO-Smart-RGB-Lighting-and-Fan-Speed-Controller/p/CL-9011110-WW
[8] Golden ratio (last accessed on 30 May 2024)https://en.wikipedia.org/wiki/Golden_ratio
[9] ANSI/AMCA Standard 210-25 / ANSI/ASHRAE Standard 51-25, Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating. Air Movement and Control Association International / ASHRAE. (Supersedes ANSI/AMCA 210-16 / ASHRAE 51-16.)
[10] ISO 5801, Fans – Performance testing using standardized airways.
[11] ISO/IEC 17025:2017, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
[12] JCGM 100:2008 (GUM), Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Committee for Guides in Metrology.
[13] ECMA-74, 22nd edition, December 2025, Measurement of Airborne Noise emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment. ECMA International, Geneva.
[14] ISO 7779:2018, Acoustics – Measurement of airborne noise emitted by information technology and telecommunications equipment.