Cybenetics Prüfprotokoll für Gehäuse

Revision 1.6

Autor: Aristeidis Bitziopoulos

Nikosia, Zypern

August 2026

Revisionshistorie

Version	Veröffentlichungsdatum	Anmerkungen
1.0	September 2020	Erster Entwurf
1.1	Mai 2021	Wesentliche Änderungen an der Prüfmethodik
1.2	Juni 2022	Änderungen an den Schalldämmstufen
1.3	September 2023	Umfangreiche Änderungen an der Methodik
1.4	Juni 2024	Verschiedene kleinere Änderungen
1.5	August 2026	Messunsicherheiten auf die aktuellen gelenkten Budgets (P19) aktualisiert.
1.6	August 2026	Beschreibung und Abbildungen der abgelösten, speziell angefertigten Lasteinheit entfernt; Abbildungen des Testsystems in der Klimakammer ergänzt; Software-Screenshots aus der aktuellen Version (v6.94) neu aufgenommen – die vorherigen waren beschnitten.

Table of Contents

Prolog 4
Ausrüstung für Geräuschmessungen und Aufbau des Prüflings 4
Ablauf der Geräuschmessungen 5
Geräuschmessungen der Gehäuselüfter 6
Aufbau und Ablauf der Prüfung der thermischen Leistung 7
Datenauswertung 11
Epilog 12
Literaturverzeichnis 13

Prolog

Genaue Geräusch- und Thermomessungen an Gehäusen (PC-Gehäusen) durchzuführen ist eine Herausforderung und erfordert neben Erfahrung auch spezialisierte Ausrüstung sowie geeignete Räumlichkeiten, insbesondere für Geräuschmessungen. Nach umfangreicher Recherche zu diesem Thema haben wir die Methoden entwickelt, die wir in den folgenden Abschnitten erläutern. Es handelt sich um eine fortlaufende Arbeit, das heißt, wir werden die entsprechenden Verfahren ständig aktualisieren, bis wir die perfekten Methoden entwickelt haben. Da nichts auf dieser Welt perfekt ist, werden wir uns nie zufriedengeben. Im Gegenteil, wir werden stets versuchen, die optimalen Prüfverfahren zu finden, um jeden Aspekt des Prüflings (Device Under Test, DUT) offenzulegen.

Ausrüstung für Geräuschmessungen und Aufbau des Prüflings

Vor der Durchführung unserer Geräuschmessungen müssen wir ein komplettes System in das Gehäuse einbauen. Das tun wir aus zwei Gründen: um den Einbauvorgang gründlich zu prüfen und zweitens, weil die Komponenten Echos im Inneren des Gehäuses minimieren. Ein leeres Gehäuse weist Echos ähnlich denen eines leeren Raums auf, was die Geräuschmessungen deutlich beeinflusst.

Das Testsystem, das wir für die Geräuschmessungen verwenden, finden Sie in der folgenden Tabelle. Für kleinere Gehäuse verwenden wir ein mini-ITX-Mainboard.

Spezifikationen des Testsystems für Geräuschmessungen	
Mainboard	MSI B760-Plus WIFI-D4
CPU	Intel i9-12900K
GPU	Galax GeForce RTX 4060 EX Ti
NVMe	XPG GAMMIX S50 Lite 1TB
RAM	XPG Lancer DDR5 (2 x 16GB) @ 6000MHz
Netzteil	EVGA SuperNOVA 1000 G7
CPU-Kühler	be quiet! Pure Power 2 FX 240mm
Gehäuse	Prüfling (Device Under Test)
Umgebungstemperatur	25oC ± 0.1oC

Für alle Geräuschmessungen verwenden wir einen halbschalltoten Raum mit einem extrem niedrigen Grundgeräuschpegel von etwa 6 dBA. Der Prüfling wird in der Kammer installiert. Bild 1 gibt einen detaillierten Überblick über die Positionen des Mikrofons und des Prüflings innerhalb der Kammer.

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

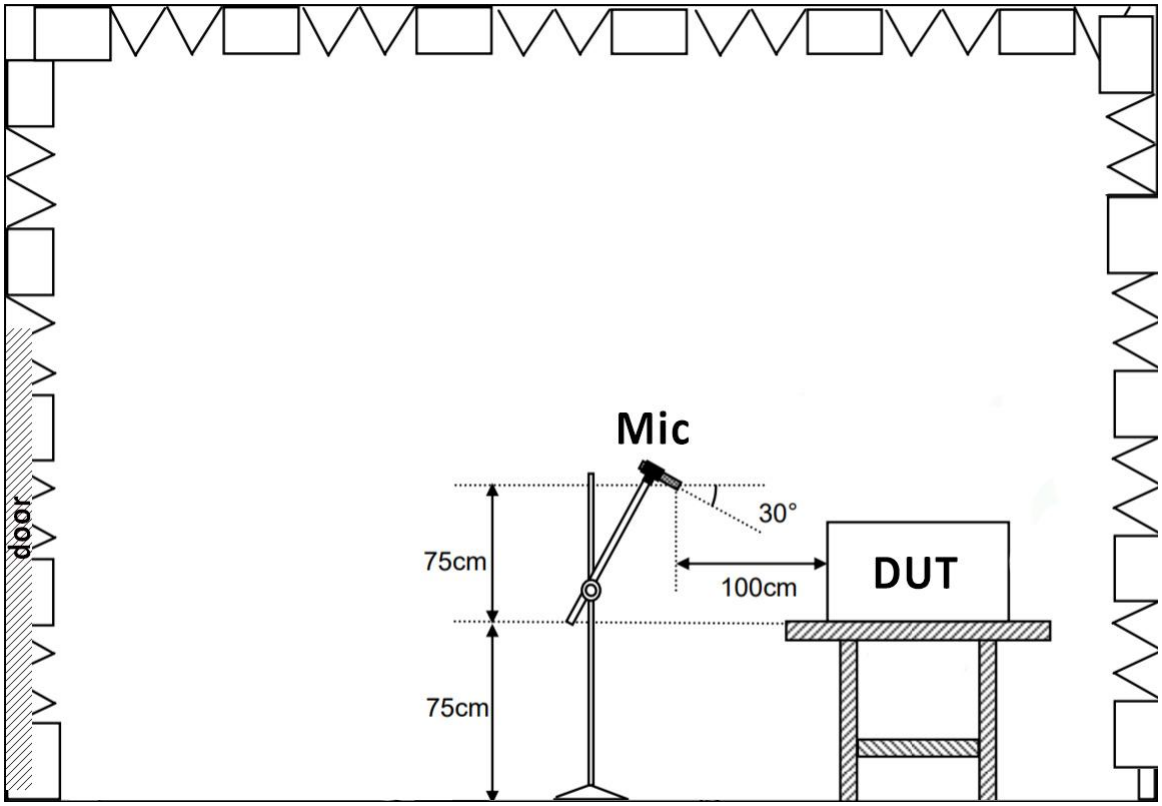


Bild 1

Ablauf der Geräuschmessungen

Wir schalten den Schallpegelmesser Bruel & Kjaer G-4 Type 2270 [1] 15 bis 30 Minuten vor Beginn der Messungen ein, damit er seine Betriebstemperatur erreicht. Vor Beginn der Messungen kalibrieren wir den Schallpegelmesser mit dem Bruel & Kjaer Sound Calibrator Type 4231 [2].

Wir platzieren einen Lautsprecher in der Messposition, in der wir seine Intensität bei den in Tabelle 1 angegebenen Frequenzen messen. Außerdem messen wir das Chirp-Signal [3] sowie rosa [4] und weißes [5] Rauschen. Die obigen Messungen verwenden wir als Referenz für die Lautstärke des Lautsprechers im Freifeld.

Geprüfte Frequenzen	
100 Hz	10 KHz
250 Hz	11 KHz
500 Hz	12 KHz
1 KHz	13 KHz
2 KHz	14 KHz
3 KHz	15 KHz
4 KHz	16 KHz
5 KHz	17 KHz
6 KHz	18 KHz
7 KHz	19 KHz
8 KHz	19.5 KHz
9 KHz	20 KHz

Tabelle 1

Wir stellen das Gehäuse in der Kammer senkrecht zum Mikrofon in der vorgesehenen Position auf, um bei jeder Messung dieselben Bedingungen zu haben. Anschließend bauen wir den zuvor im Freifeld vermessenen Lautsprecher in das Gehäuse ein. Wir versuchen, ihn so nah wie möglich an der Seite zu platzieren, auf die das Mikrofon zeigt, ohne das Seitenteil zu berühren. Gleichzeitig achten wir genau darauf, den Lautsprecher so nah wie möglich am Gehäuseboden zu platzieren (siehe Bild 2).

Bild 2

Wir wiederholen exakt dieselben Messungen, das heißt, wir messen die Geräuschentwicklung des Lautsprechers bei den oben genannten Frequenzen. Unser Ziel ist es, die Unterschiede zwischen den Freifeldmessungen und dem Lautsprecher im Inneren des Gehäuses zu ermitteln. Diese Unterschiede liefern zusammen mit rosa, weißem und Chirp-Rauschen ein detailliertes Bild der Schalldämmleistung des Gehäuses über einen weiten Frequenzbereich.

Rosa Rauschen ist ein Zufallsrauschen mit gleicher Energie pro Oktave und wird daher häufig zum Entzerren von Lautsprechern in Räumen und Sälen eingesetzt. Aus diesem Grund haben wir es als primären Leistungsfaktor für unseren Schalldämmstandard bei Gehäusen, DELTA genannt, ausgewählt. Rosa und weißes Rauschen (Rauschen, das viele Frequenzen mit gleicher Intensität enthält) liefern nach unserer Erfahrung exakt dieselben Ergebnisse zur Schalldämmleistung.

Geräuschmessungen der Gehäuselüfter

Wir verwenden Corsairs Commander Pro [6], um die Gehäuselüfter mit einer von unserem Team entwickelten eigenen Software zu steuern. Zudem wird der Commander Pro von einem weiteren passiv gekühlten System angesteuert, das den Grundgeräuschpegel der Kammer nicht beeinflusst.

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

Wir messen das Geräusch, das die Lüfter bei 40%, 50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 90% und 100% ihrer Maximaldrehzahl erzeugen. Anschließend ändern wir die Lüfterdrehzahl, indem wir die Logik der Messungen umkehren, um eine Geräuschentwicklung von 35, 30 und 25 dBA zu erreichen, und wir zeichnen die entsprechenden Lüfterdrehzahlen für die spätere Verwendung auf.

Die letzte Geräuschmessung betrifft die Grafikkarte. Bei dieser Prüfung nehmen wir das System in Betrieb, bauen es in das Gehäuse ein und schalten alle Lüfter ab, mit Ausnahme derjenigen der CPU- und GPU-Kühlsysteme. Wir halten die Drehzahl des CPU-Lüfters auf der niedrigsten Stufe, um unsere Messungen nicht zu verfälschen, und ändern die Drehzahl der GPU-Lüfter auf 40%, 50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 90% und 100%, während wir die Geräuschentwicklung messen und aufzeichnen.

Aufbau und Ablauf der Prüfung der thermischen Leistung

Die thermische Leistung wird an einem realen System bewertet, das in einer Giant Force Klimakammer installiert ist, welche die Umgebungstemperatur während des gesamten Tests konstant hält. Die folgenden Abbildungen zeigen die Klimakammer und ein darin installiertes Testsystem.

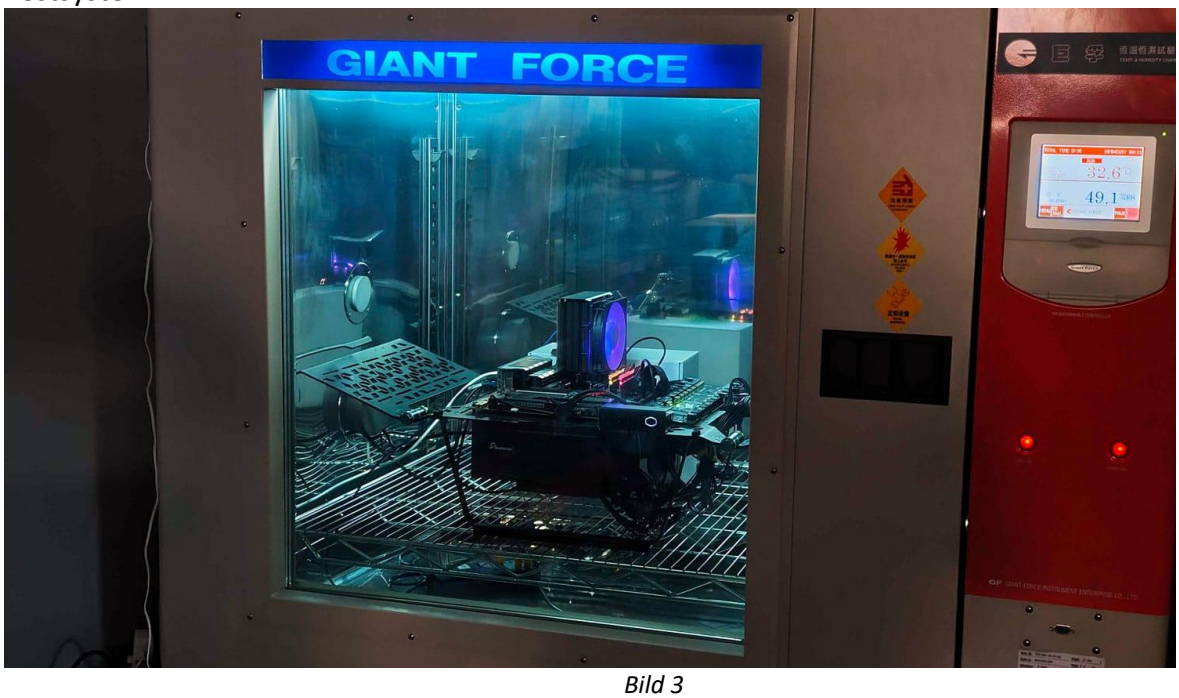


Bild 3

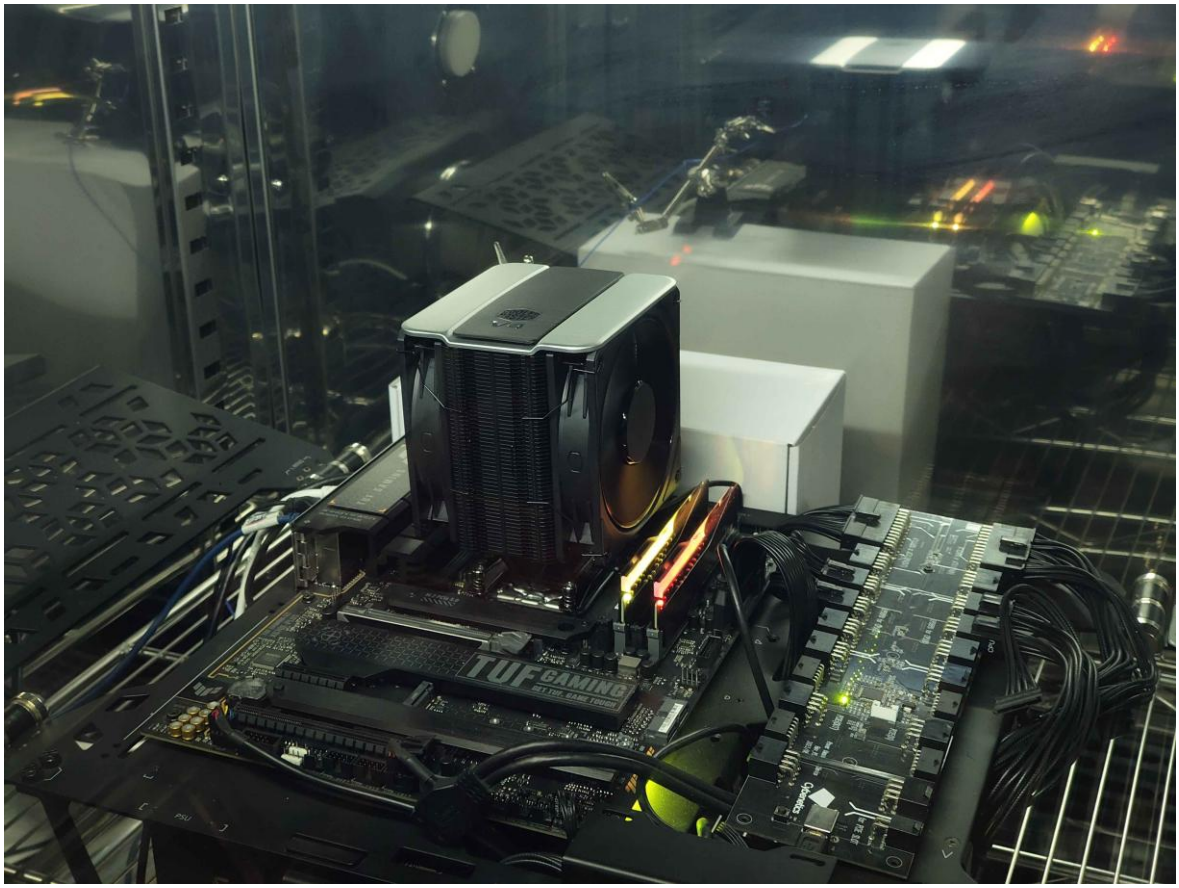


Bild 4

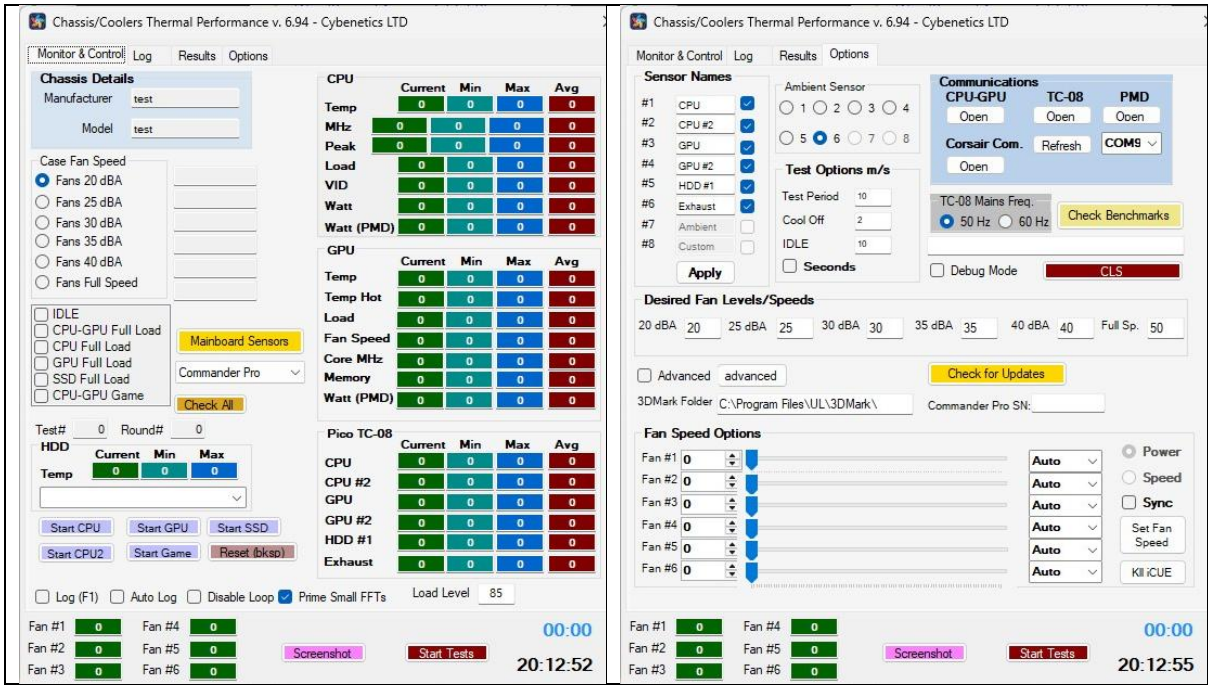
Die folgende Tabelle zeigt die Konfiguration des Testsystems für die Bewertung der thermischen Leistung. Wir haben Temperaturfühler (Typ K) am Chipsatz des Mainboards, an den VRMs und am NVMe-Laufwerk angebracht, um genaue Temperaturwerte zu erhalten. Die übrigen Temperaturwerte beziehen wir aus den Sensoren des Mainboards. Wir verwenden keine zusätzlichen Lüfter, sondern ausschließlich die im Gehäuse mitgelieferten.

Spezifikationen des Testsystems für Thermomessungen	
Mainboard	Gigabyte X670E AORUS Master BIOS-Version: F10a
CPU	AMD Ryzen 9 7950X 3D
GPU	Galax GeForce RTX 4060 EX Ti
NVMe	XPG GAMMIX S50 Lite 1TB
RAM	XPG Lancer DDR5 (2 x 16GB) @ 6000MHz
Netzteil	EVGA SuperNOVA 1000 G7
CPU-Kühler	Noctua NH-D15S chromax.black
Gehäuse	DimasTech Bench
Umgebungstemperatur	25oC ± 0.1oC
Treiber	AMD Chipsatz: 5.02.19.2221 NVIDIA: 537.13

Zunächst stellen wir das Gehäuse in einer kontrollierten Umgebung auf, einer Giant Force [7] Klimakammer, in der die Temperatur auf 25o C (77o F) eingestellt ist. Anschließend schließen wir den Thermoelement-Datenlogger Pico TC-08 [8] an, um Daten von allen Temperaturfühlern zu erhalten, die an festgelegten Stellen innerhalb und außerhalb des Gehäuses angebracht sind. Konkret befinden sich Fühler am VRM des Mainboards, am Chipsatz, am NVMe-Laufwerk, am Gehäuseauslass und am Auslass des Netzteils. Schließlich haben wir zur Redundanz einen zusätzlichen Fühler, der die Umgebungstemperatur misst.

Unsere Software ermöglicht es uns, mehrere Benchmarks über längere Zeiträume vollautomatisch auszuführen, um die thermische Leistung des Gehäuses bei unterschiedlichen Laststufen zu prüfen. Die härteste Prüfung ist diejenige, bei der Prime95 und FurMark gleichzeitig laufen.

Nachfolgend finden Sie Screenshots unserer hauseigenen Software (Bilder 5 und 6). Die Gehäuselüfter drehen mit den zuvor aufgezeichneten Drehzahlen, um die gewünschten Geräuschpegel von 25, 30 und 35 dBA zu erzeugen, sowie mit ihrer maximalen Drehzahl. Daher ist es notwendig, zuerst die Geräuschmessungen durchzuführen. Die Lüfter von CPU und GPU arbeiten mit ihren Standard-Drehzahlprofilen, die für jedes von uns bewertete Gehäuse identisch sind.



Bilder 5, 6

Alle Gehäuselüfter sind an den Corsair Commander Pro angeschlossen, sodass wir sie vollständig kontrollieren können. Zudem werden sowohl der Corsair Commander Pro als auch der Pico TC-08 von unserer Software gesteuert und überwacht.

Alle Prüfungen werden über unsere eigene Software automatisch und ohne Eingriff eines Prüfingenieurs durchgeführt, mit Ausnahme der Grundeinstellungen, die ganz zu Beginn des Verfahrens vorgenommen werden. Die Thermoprüfungen bestehen aus sechs Einzelprüfungen, die jeweils fünfzehn Minuten dauern. Zwischen den einzelnen Prüfungen liegt eine zwischengeschaltete Abkühlphase von 10 Minuten, wobei wir das System zehn Minuten im Leerlauf belassen, bevor wir alle Temperaturdaten erfassen.

Um das von uns angewandte Verfahren ausführlich zu erläutern: Zunächst geben wir die Gehäuselüfterdrehzahlen ein, die einer Geräuschentwicklung von 35, 30 und 25 dBA entsprechen, wie sie bei den Geräuschmessungen ermittelt wurden. Zusätzlich betrachten wir ein Szenario, bei dem die Lüfter mit voller Drehzahl (100%) arbeiten.

Durch die Verwendung standardisierter Geräuschpegel für alle Gehäuse können wir alle relevanten Produkte denselben strengen Betriebsbedingungen unterwerfen. Es wäre unfair, Gehäuse mit vorinstallierten Lüftern unterschiedlicher Eigenschaften und folglich unterschiedlicher Geräuschentwicklung zu vergleichen. Für diejenigen, denen die Geräuschentwicklung gleichgültig ist und die nur die thermische Leistung im besten Fall wissen möchten, gibt es stets die Prüfung bei voller Lüfterdrehzahl.

Die Prüfungen der thermischen Leistung laufen über mehrere Stunden. Sobald alles abgeschlossen ist, sammeln wir die Ergebnisse und tragen sie zur weiteren Auswertung in unsere Datenbank ein. Alle Ergebnisse werden automatisch erfasst und können in verschiedenen Formaten exportiert werden.

Datenauswertung

Die Daten werden auf Grundlage der wissenschaftlichen Literatur zum Thema Schall [12] [13] sowie der Erfahrung ausgewertet, die wir nach Dutzenden von Prüfungen an PC-Gehäusen gewonnen haben.

Wie im ersten Teil erwähnt, messen wir bei der Bestimmung der Schalldämmleistung des Gehäuses dessen Verhalten bei vielen Frequenzen. Wir tun dies, weil wir sehen möchten, bei welchen Frequenzen das Gehäuse in Resonanz geraten und als Geräuschverstärker wirken kann und bei welchen es als Dämpfer wirkt. Die Materialwahl eines Gehäuses spielt eine wesentliche Rolle, da sich verschiedene Materialien unterschiedlich verhalten können. Zudem messen wir die Dämpfung des Gehäuses bei drei notwendigen Signalen: Chirp, rosa Rauschen und weißes Rauschen.

Im Einzelnen:
• Das Chirp-Signal wird üblicherweise in Radar- und Sonaranwendungen eingesetzt.
• Rosa Rauschen ist ein Signal, das in biologischen Systemen am häufigsten vorkommt. Es umfasst alle Audiofrequenzen (20 Hz – 20 KHz), und seine Leistung ist umgekehrt proportional zu seiner Frequenz, d. h. je höher die Signalfrequenz, desto geringer ihre Intensität.
• Weißes Rauschen ist das Zufallsrauschen mit kontinuierlichem Spektrum, dessen spektrale Leistungsdichte frequenzunabhängig ist.

Wir verwenden die Differenz zwischen dem Freifeld und den bei jedem Gehäuse ermittelten Werten (Delta), um die Ergebnisse verschiedener PC-Gehäuse zu vergleichen. Cybenetics hat zu diesem Zweck spezielle Auszeichnungen geschaffen, die Delta Badges, mit denen wir die Gehäuse hinsichtlich der von ihnen erreichten Geräuschdämpfung einfach kategorisieren können.

Wir haben uns entschieden, für die obige Kategorisierung das Delta des rosa Rauschens zu verwenden, da es alle Audiofrequenzen (20 Hz – 20 KHz) umfasst; somit erhalten wir die Gesamtdämpfung für den uns interessierenden Bereich sowie die gleichmäßige Leistung, die es zwischen den Oktaven aufweist.

Stufen	Anforderungen an die Schalldämmung

A+	≥8 dB(A)
A	≥5 dB(A) bis <8 dB(A)
Standard	≥2 dB(A) bis <5 dB(A)

Epilog

In diesem Artikel haben wir versucht, die Methodik, der wir bei unseren Gehäusebewertungen folgen, so verständlich wie möglich zu erläutern. Einige Dinge sind bei jedem Schallprüfverfahren erforderlich: Zuverlässigkeit, Genauigkeit, kalibrierte Ausrüstung, das Wissen, wie diese ordnungsgemäß zu bedienen ist, und die Erfahrung, Probleme und Messfehler so früh wie möglich zu erkennen. Leider stellt sich Erfahrung erst nach einer erheblichen Anzahl von Prüfsitzungen ein. Glücklicherweise befassen sich die Mitglieder des Cybenetics-Teams seit mehr als einem Jahrzehnt mit Gehäusen, und ihr gebündeltes Wissen zu diesem Thema führte zu dem vollständigen Prüfprotokoll, dem wir folgen. Da wir nach Perfektion streben, obwohl wir wissen, dass nichts auf dieser Welt perfekt ist (Katzen natürlich ausgenommen), werden wir weiterhin nach neuen Methoden und Wegen suchen, die es uns erlauben, weitere Aspekte dieses Themas zu erschließen.

Literaturverzeichnis

[1] (last accessed on 18 June 2020) https://www.bksv.com/en/products/sound-and-vibration-meters/sound-level-meters-and-vibration-meters/2270-series/Type-2270-S
[2] https://www.bksv.com/en/products/transducers/acoustic/calibrators/4231
(last accessed on 18 June 2020)
[3] https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/chirp-signal
(last accessed on 18 June 2020)
[4] http://www.acoustic-glossary.co.uk/definitions-p.htm#pink-noise
(last accessed on 18 June 2020)
[5] http://www.acoustic-glossary.co.uk/definitions-w.htm#white-noise
(last accessed on 18 June 2020)
[6] (last accessed on 18 June 2020)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
[7] http://www.giant-force.com.tw/en/HOMEPAGE.htm
[8] https://www.picotech.com/data-logger/tc-08/thermocouple-data-logger
(last accessed on 18 June 2020)
[9] (last accessed on 18 June 2020)https://www.mersenne.org/
[10] (last accessed on 18 June 2020)https://geeks3d.com/furmark/
[11] (last accessed on 18 June 2020)https://www.3dmark.com/
[12] 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 18 June 2020)
[13] ISO 9296:2017 Acoustics - Declared noise emission values of information technology and telecommunications equipment https://www.iso.org/standard/32303.html
(last accessed on 18 June 2020)