Cybenetics Prüfprotokoll für Gehäuse

Revision 2.3

Autor: Aristeidis Bitziopoulos

Nikosia, Zypern

Oktober 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.
2.0	Oktober 2026	Neues Geräuschdämpfungsverfahren: rosa Rauschen in Terzbändern gemessen (LAeq) von 100 Hz bis 10 kHz, Einfügungsdämmung pro Band, DELTA berechnet auf einem rosa Referenzspektrum, Resonanzhinweis, mit dem Lautsprecher neben dem CPU-Kühler platziert. Prüftöne, Chirp und weißes Rauschen werden nicht mehr verwendet. Unter 2 dB wird keine DELTA-Stufe vergeben. Ein Testsystem dient nun sowohl den Geräusch- als auch den Thermoprüfungen. Lüftergeräusch: normalisierte Geräuschpegel von 20 bis 40 dBA; der 75%-Schritt und der Grafikkartenlüfter-Sweep wurden entfernt. Neue Fotos der Klimakammer und Screenshots der aktuellen Testanwendung. Die veröffentlichten Ergebnisse früherer Bewertungen wurden mit der neuen Berechnung neu bewertet (siehe Datenauswertung).
2.1	Oktober 2026	Gehäuse, die vor der Revision 2.0 geprüft wurden, behalten ihre mit rosa Rauschen gemessenen Ergebnisse, mit Stufen nach den Grenzen der Revision 2.0. Dies ersetzt die in Revision 2.0 beschriebene Neubewertung anhand der Prüftöne.
2.2	Oktober 2026	Referenzen am 3. Oktober 2026 erneut geprüft und aktualisiert (Links und Abrufdaten; Links zu ISO 11546-1 und IEC 61672-1 hinzugefügt). Screenshots der Prüfsoftware durch Version 7.27 ersetzt. Keine Änderungen an Messwerten, Prüfungen oder veröffentlichten Bewertungen.
2.3	Oktober 2026	Bilder 1 und 2 ersetzt: Die Positionen des Mikrofons und des DUT wurden neu gezeichnet und das Aufbaufoto neu beschriftet. Keine Änderung an der Methode.

Table of Contents

Prolog 4
Ausrüstung für Geräuschmessungen und Aufbau des Prüflings 4
Ablauf der Messungen der Geräuschdämpfung 7
Messprinzip 8
Prüfgeometrie 9
Vorbereitung und Prüfungen 11
Messsequenz 12
Geräuschmessungen der Gehäuselüfter 13
Aufbau und Ablauf der Prüfung der thermischen Leistung 14
Datenauswertung 20
Hintergrundkorrektur 20
Einfügungsdämmung pro Band 20
DELTA 20
Resonanzhinweis 21
Gültigkeitskriterien 21
Rechenbeispiel 22
Bericht 23
DELTA-Stufen 24
Vor der Revision 2.0 geprüfte Gehäuse 24
Epilog 25
Literaturverzeichnis 26

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.

Revision 2.0 führt eine neue Methode für die Messungen der Geräuschdämpfung ein, die im entsprechenden Abschnitt beschrieben wird. Die Geräuschmessungen der Gehäuselüfter und die Prüfungen der thermischen Leistung bleiben wie in den früheren Revisionen, mit den in der Revisionshistorie aufgeführten Aktualisierungen.

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 unsere Gehäusebewertungen verwenden, finden Sie in der folgenden Tabelle. Dasselbe System dient den Geräusch- und den thermischen Messungen. Für kleinere Gehäuse verwenden wir ein mini-ITX-Mainboard.

Spezifikationen des Testsystems	
Mainboard	Gigabyte X670E AORUS Master
CPU	AMD Ryzen 9 7950X3D
GPU	Galax GeForce RTX 4060 EX
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	Prüfling (Device Under Test)

Wir installieren das System als typischen Aufbau gemäß der Anleitung des Gehäuses: Das Netzteil wird horizontal montiert und die Grafikkarte horizontal oder vertikal, wie es das Gehäuse zulässt. Dieselben Komponenten werden in jedem Gehäuse installiert, sodass das Innenraum-Layout vergleichbar bleibt.

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 befindet sich an der Position des Frontbeobachters gemäß ECMA-74 [12]. Es ist zentriert auf die Vorderseite des Gehäuses, in einem horizontalen Abstand von einem Meter von der vorderen Fläche des Gehäuseumrisses (die kleinste Box, die das Gehäuse einschließlich Füßen und Griffen umschließt) und 1.50 m über dem Boden. Es zeigt auf die Mitte der Gehäusevorderseite und bildet einen Winkel von 30° bis 45° zur Horizontalachse.

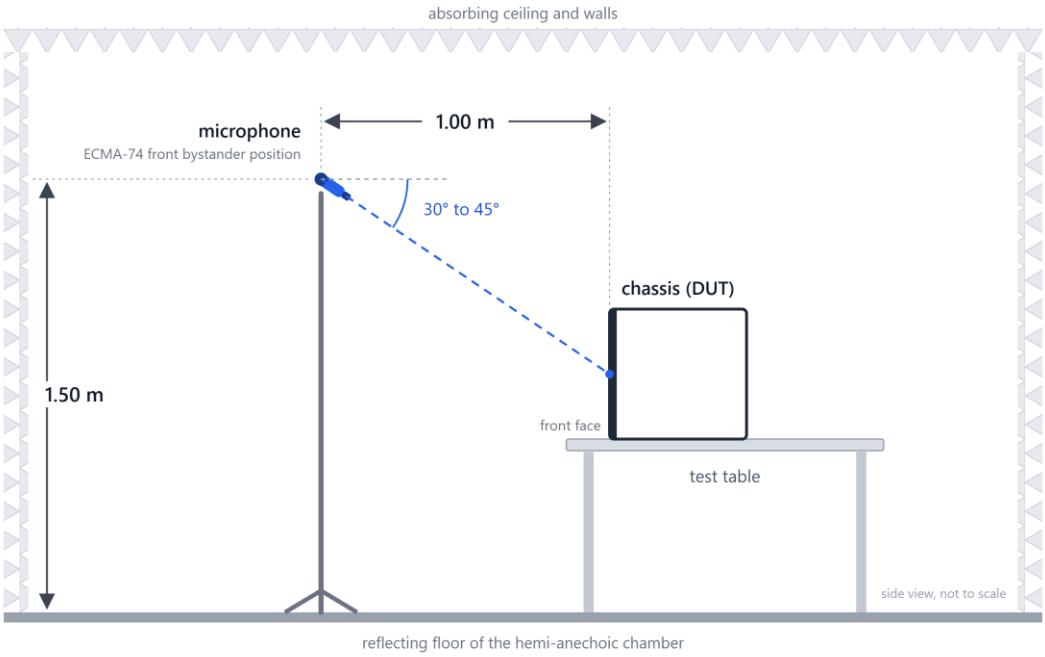

Bild 1

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].

Die Kalibrierung wird am Ende jeder Sitzung erneut überprüft. Bild 2 zeigt ein Gehäuse auf dem Prüftisch der Kammer, mit dem Mikrofon an der Messposition.

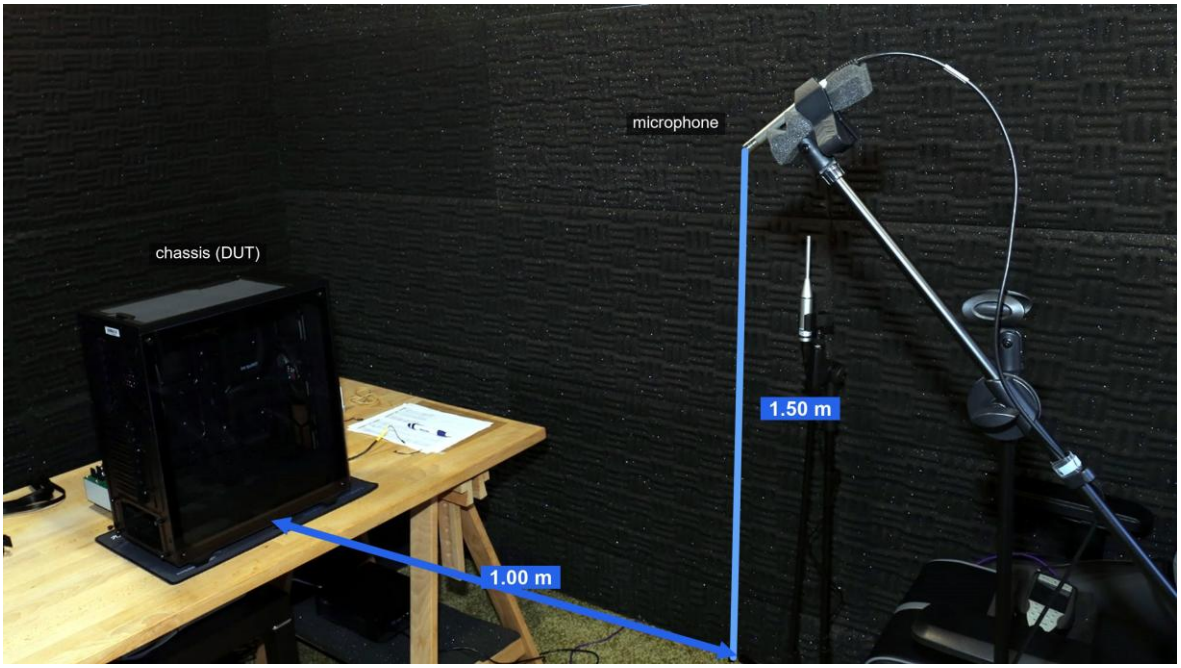

Bild 2

Für die Messungen der Geräuschdämpfung benötigen wir außerdem eine Schallquelle und die Mittel zu ihrer Positionierung. Diese Ausrüstung bleibt von Gehäuse zu Gehäuse gleich. Jede Änderung der Quellenkette (Lautsprecher, Verstärker, Verstärkung oder Signaldatei) erfordert eine neue Referenzmessung der Quelle und eine neue Linearitätsprüfung; beide werden im nächsten Abschnitt beschrieben.

Ausrüstung für die Prüfung der Geräuschdämpfung		
Gruppe	**Punkt**	**Anforderung**
Raum	Halbschalltoter Raum und Prüftisch	Hintergrundgeräusch von etwa 6 dBA. Der Tisch, die Bodenmarkierungen und der Mikrofonständer bleiben für die gesamte Prüfreihe an ihrem Platz
Quelle	Miniatur-Dodekaeder-Lautsprecher	Passt in den freien Raum neben dem CPU-Kühler, ohne etwas zu berühren. Eine Seite ist mit „1“ markiert und zeigt immer zum Mikrofon
Quelle	Verstärker und rosa-Rauschen-Quelle	Fest eingestellte Verstärkung und ein gespeichertes Rosa-Rauschen-Signal auf einem festen Pegel. Batteriestrom wird bevorzugt, da Netzbrummen als Linie bei 100 Hz auftreten kann
Quelle	Weiche Unterlage (Schaumstoffblock)	Der einzige Kontakt des Lautsprechers im Inneren des Gehäuses, damit er das Gehäuse nicht zum Schwingen bringt
Quelle	Kleiner Lautsprecherständer	Hält den Lautsprecher im Freifeld auf demselben Abstand zum Mikrofon und auf dem Kontrollpunkt
Quelle	Ersatz-Steckplatzabdeckung, gebohrt, mit Dichtungsring und abnehmbarem Dichtmaterial	Ausgang des Lautsprecherkabels, beidseitig abgedichtet. Wird nur während der Prüfung verwendet
Messung	Bruel & Kjaer Type 2270 [1] mit seinem Mikrofon auf einem Auslegerstativ	1/3-Oktav-LAeq, 30 Sekunden pro Messung; die Bänder von 12.5 Hz bis 20 kHz werden gespeichert
Messung	Bruel & Kjaer Type 4231 Kalibrator [2]	Vor und nach jeder Sitzung geprüft
Positionierung	Laser-Entfernungsmesser und Kreuzlinienlaser	±2 mm. Misst den Abstand vom Mikrofon zum Lautsprecher in beiden Läufen
Aufzeichnungen	Thermometer, Hygrometer und Kamera	Die Bedingungen werden protokolliert, und der Lautsprecher wird in jedem Gehäuse fotografiert

Ablauf der Messungen der Geräuschdämpfung

Dieser Test misst, in welchem Maße ein Gehäuse das Geräusch der darin installierten Komponenten reduziert oder verstärkt. Ein Miniatur-Dodekaeder-Lautsprecher im Inneren des Gehäuses gibt rosa Rauschen [4] ab, und das Mikrofon vor dem Gehäuse vergleicht den Schallpegel mit und ohne Gehäuse. Das Ergebnis ist eine Einfügungsdämmung (IL) für jedes Terzband von 100 Hz bis 10 kHz, insgesamt 21 Bänder, sowie eine einzelne Zahl, DELTA, die die DELTA-Stufe des Gehäuses bestimmt.

Der Frequenzbereich von Interesse und die Mikrofonposition folgen ECMA-74 [12]. Die Einfügungsdämmung ist definiert wie in ISO 11546-1 [14]: der Pegel ohne Gehäuse minus der Pegel mit Gehäuse. Wir verwenden diese Definition mit einer Quellenposition und einer Mikrofonposition, sodass die Methode eine hauseigene Methode von Cybenetics und keine Deklaration gemäß ISO 11546-1 ist.

Bis Revision 1.6 haben wir einzelne Prüftöne, ein Chirp-Signal [3], rosa Rauschen und weißes Rauschen [5] mit dem Lautsprecher auf dem Gehäuseboden gemessen, und DELTA war die Differenz der beiden breitbandigen rosa-Rauschen-Messungen. Eine einzelne breitbandige

Zahl folgt dem Spektrum des Lautsprechers und verdeckt die Resonanzen des Gehäuses bei niedrigen Frequenzen, bei denen ein Gehäuse das Geräusch oft verstärkt. Lüfter und die Grafikkarte erregen diese Resonanzen auf dieselbe Weise wie der Lautsprecher, daher sind sie Teil dessen, was ein Benutzer hört. Revision 2.0 behält sie im Ergebnis bei: Sie erscheinen im Diagramm der Einfügungsdämmung pro Band und im Resonanzhinweis und verzerren die einzelne Zahl nicht mehr. Die folgende Tabelle fasst die Änderungen zusammen.

Änderungen gegenüber Revision 1.6		
Punkt	**Revision 1.6**	**Revision 2.0**
Lautsprecher im Gehäuse	Auf dem Gehäuseboden, nah am Seitenteil	Neben dem CPU-Kühler, ohne ein Gehäuseteil, eine Komponente oder ein Kabel zu berühren
Referenz	Lautsprecher im Freifeld an der Messposition	Derselbe Lautsprecher im Freifeld im selben Abstand zum Mikrofon, bei weggehobenem Gehäuse
Mikrofon	1.00 m vor dem Gehäuse, 1.50 m über dem Boden	Unverändert
Signal	Prüftöne, Chirp, rosa und weißes Rauschen	Nur rosa Rauschen
Auswertung	Prüftöne von 100 Hz bis 20 kHz	1/3-Oktavbänder von 100 Hz bis 10 kHz; die Bänder von 12.5 kHz bis 20 kHz sind informativ
DELTA	Differenz der beiden breitbandigen Rosa-Rauschen-Messungen	Einfügungsdämmung pro Band, angewendet auf ein festes rosa Referenzspektrum und A-bewertet
Resonanzen	Versteckt in der einzelnen Zahl	Gemeldet als Resonanzhinweis

Für jedes Gehäuse berichten wir:

- die Einfügungsdämmung pro Terzband von 100 Hz bis 10 kHz; negative Werte, die eine Verstärkung bedeuten, werden angezeigt;
- DELTA, berechnet aus der Einfügungsdämmung der Bänder;
- die DELTA-Stufe;
- einen Resonanzhinweis, der jedes Band auflistet, in dem das Gehäuse um 3 dB oder mehr verstärkt;
- zur Information die Einfügungsdämmung von 12.5 kHz bis 20 kHz, wo das Signal mindestens 10 dB über dem Hintergrundgeräusch liegt.

Messprinzip

Derselbe Lautsprecher gibt dasselbe rosa Rauschen zweimal ab, in demselben Abstand vom Mikrofon: einmal im geschlossenen Gehäuse (Run C) und einmal im Freifeld, mit weggehobenem Gehäuse (Run R). Das Mikrofon bewegt sich zwischen den beiden Durchgängen nicht, sodass die Differenz in jedem Band ausschließlich durch das Gehäuse verursacht wird (Bild 3).

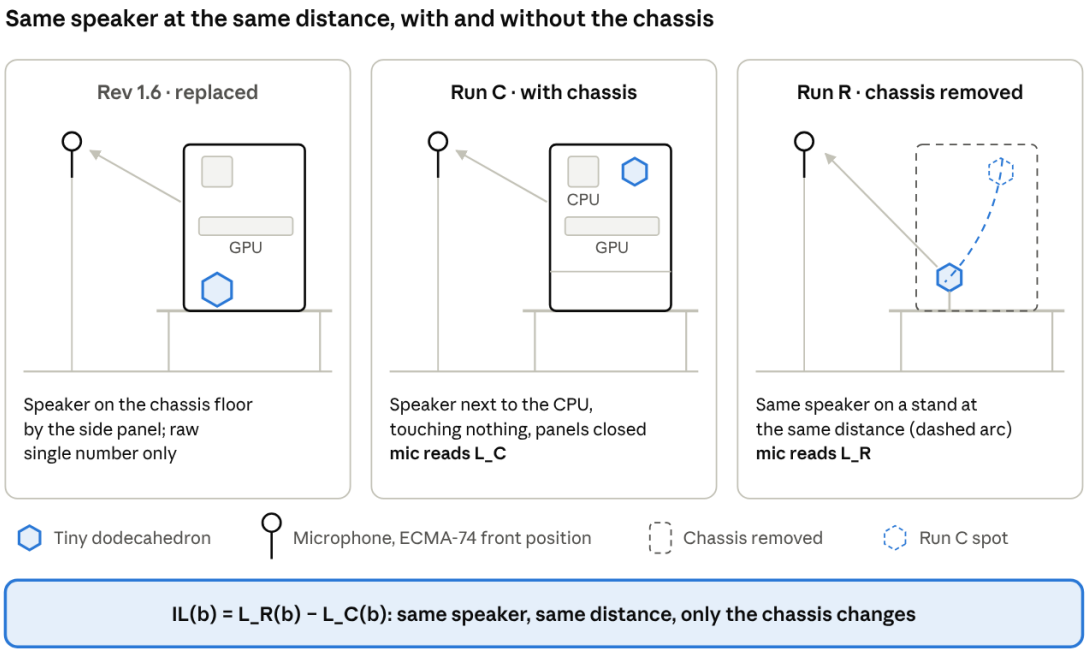

Bild 3

Der Lautsprecher befindet sich im freien Raum neben dem CPU-Kühler und berührt nichts, wie eine weitere Schallquelle neben den realen Komponenten. Alles außer dem Gehäuse bleibt zwischen den beiden Durchgängen fest: der Abstand vom Lautsprecher zum Mikrofon, die Ausrichtung des Lautsprechers, das Signal, die Verstärkung und die Mikrofonposition. Der Lautsprecher sitzt im Inneren des Gehäuses in der Regel etwas höher als im Freifeld; nur der Abstand muss übereinstimmen. Das Spektrum des Lautsprechers hebt sich in jedem Band auf, und das feste rosa Referenzspektrum, das wir für DELTA verwenden, hält es auch aus der einzelnen Zahl heraus.

Prüfgeometrie

Das Gehäuse steht auf dem Prüftisch mit der Vorderseite zum Mikrofon. Das Mikrofon bleibt an der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Position (Bilder 1 und 4), und der Lautsprecher befindet sich im freien Raum neben dem CPU-Kühler (Bild 5).

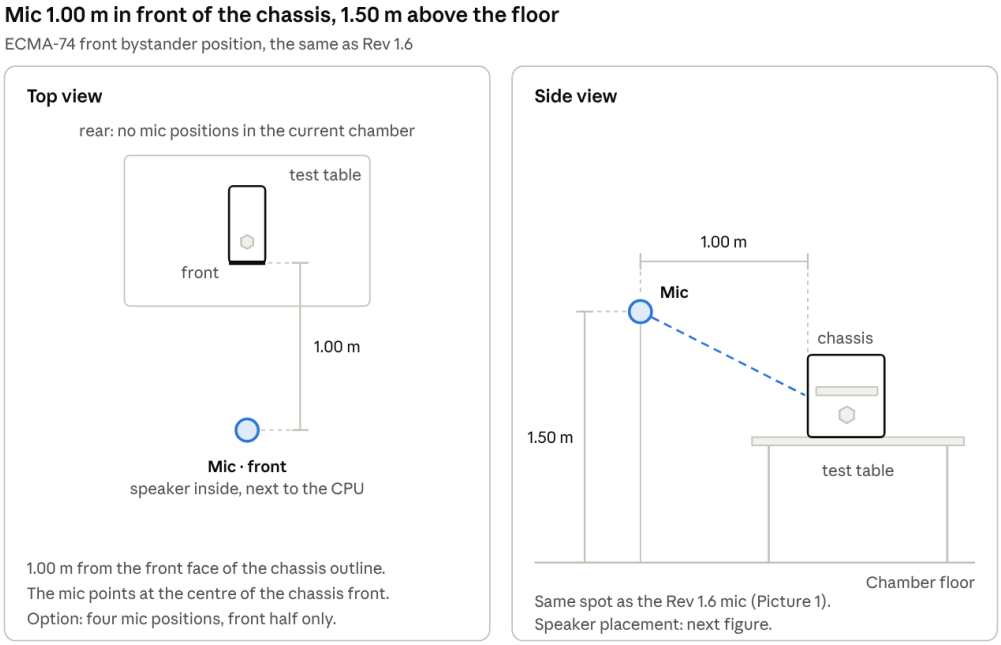
Mic 1.00 m in front of the chassis, 1.50 m above the floor
ECMA-74 front bystander position, the same as Rev 1.6
Top view
rear: no mic positions in the current chamber
test table
front
1.00 m
Mic · front
speaker inside, next to the CPU
1.00 m from the front face of the chassis outline.
The mic points at the centre of the chassis front.
Option: four mic positions, front half only.
Side view
1.00 m
Mic
chassis
1.50 m
test table
Chamber floor
Same spot as the Rev 1.6 mic (Picture 1).
Speaker placement: next figure.

Bild 4

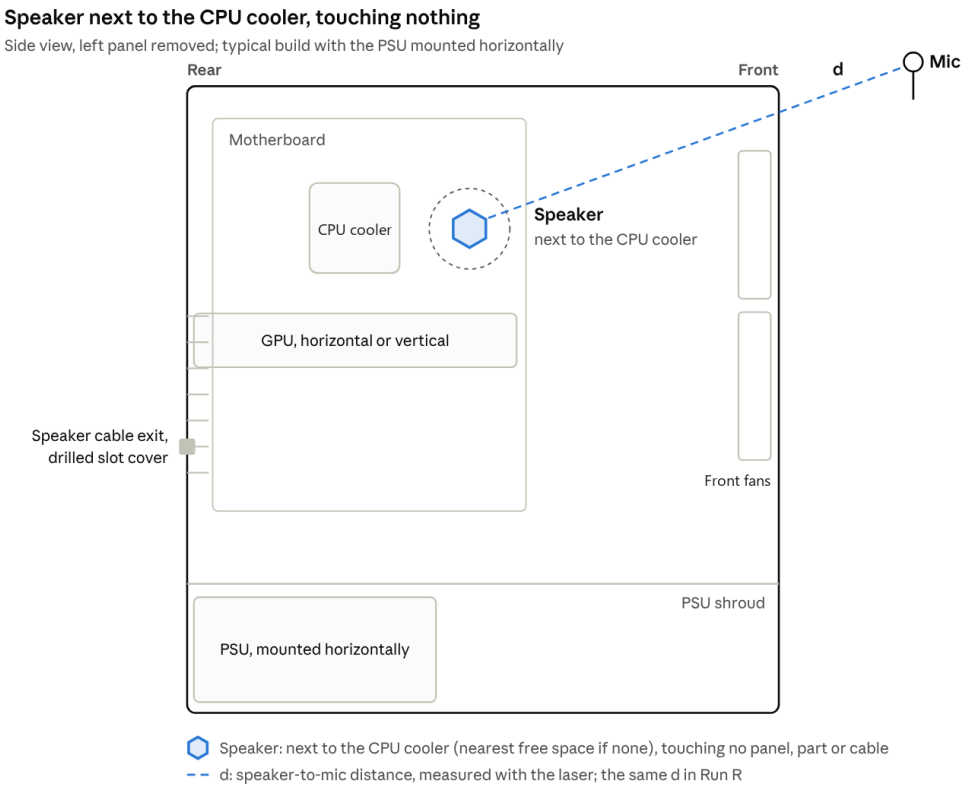
Speaker next to the CPU cooler, touching nothing
Side view, left panel removed; typical build with the PSU mounted horizontally
Rear
Front
d
Mic
Motherboard
CPU cooler
Speaker
next to the CPU cooler
GPU, horizontal or vertical
Speaker cable exit,
drilled slot cover
Front fans
PSU shroud
PSU, mounted horizontally
Speaker: next to the CPU cooler (nearest free space if none), touching no panel, part or cable
d: speaker-to-mic distance, measured with the laser; the same d in Run R

Bild 5

Die Verwendung derselben Stelle in jedem Gehäuse hält die Ergebnisse vergleichbar, weil der Ort des Lautsprechers beeinflusst, wie stark er die Resonanzen des Gehäuses erregt. Die Regeln für die Platzierung sind die folgenden:

- Wo: neben dem CPU-Kühler, wo in der Regel freier Raum vorhanden ist. Falls nicht, der nächste freie Raum im Hauptfach.
- Kontakt: Der Lautsprecher berührt kein Gehäuseteil, keine Komponente und kein Kabel; er ruht nur auf seiner weichen Unterlage.
- Ausrichtung: Fläche 1 zeigt zum Mikrofon.
- Abstand: vom akustischen Zentrum des Lautsprechers zur Mikrofonkapsel, gemessen mit dem Laser auf ±2 mm.
- Aufzeichnung: der Abstand und ein Foto des Lautsprechers im Inneren des Gehäuses.

Wir halten die folgenden Toleranzen ein:

- das Gehäuse steht auf seinem markierten Stellplatz innerhalb von ±5 mm, mit der Vorderseite senkrecht zum Mikrofon;
- das Mikrofon ist innerhalb von ±10 mm von seiner Position, horizontal und in der Höhe;
- der Abstand vom Lautsprecher zum Mikrofon wird in beiden Durchgängen auf ±2 mm gemessen, und der Abstand in Run R entspricht dem Abstand in Run C innerhalb von 10 mm. Die Höhe des Lautsprechers darf zwischen den beiden Durchgängen abweichen.

Vorbereitung und Prüfungen

Jede Sitzung beginnt mit der Kalibrierung des Schallpegelmessers, einer Prüfung auf Brummen und Hintergrundgeräusch sowie einer Quellenprüfung. Wenn eine Prüfung fehlschlägt, messen wir nicht, bis die Ursache gefunden und behoben ist.

Der Kontrollpunkt ist die Mitte des Stellplatzes des Gehäuses auf dem Prüftisch, ohne dass ein Gehäuse vorhanden ist. Der Lautsprecher befindet sich dort auf seinem Ständer, 0.25 m über der Tischplatte, mit Fläche 1 zum Mikrofon. Das Spektrum des Lautsprechers am Kontrollpunkt ist der Fingerabdruck der Quelle.

Einmal pro Testreihe:

1. Wir markieren den Stellplatz des Gehäuses auf dem Prüftisch und die Mikrofonposition auf dem Boden. Der Tisch, die Markierungen und der Mikrofonständer bewegen sich während der Reihe nicht.
2. Wir stellen den Pegel ein: Mit dem Lautsprecher am Kontrollpunkt und aktiviertem rosa Rauschen stellen wir den Verstärker so ein, dass das Mikrofon 60.0 ± 0.5 dBA anzeigt, und sperren dann die Verstärkung.
3. Wir speichern die Quellenreferenz: drei Messungen von 30 Sekunden am Kontrollpunkt, energetisch gemittelt pro Band.
4. Wir prüfen die Linearität an einem Gehäuse in Run C: Wir messen bei der gesperrten Verstärkung und 10 dB niedriger. Jedes Band von 100 Hz bis 10 kHz muss um 10.0 ± 0.5 dB abfallen. Ein größerer Fehler bedeutet, dass etwas klappert, und wir beheben es vor der Prüfung.

In jeder Sitzung:

1. Wir protokollieren die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit.

2. Wir schalten den Schallpegelmesser 15 bis 30 Minuten vor den Messungen ein, kalibrieren ihn mit dem Kalibrator Typ 4231 und notieren die Messung.
3. Wir stellen den Schallpegelmesser auf Terzbänder, LAeq, 30 Sekunden ein. Wenn Audio aufgezeichnet wird, verwenden wir einen festen Aufnahmepegel.
4. Wir wärmen den Lautsprecher 15 Minuten lang mit rosa Rauschen bei fest eingestellter Verstärkung auf.
5. Brummen und Hintergrundprüfung: Mit dem Lautsprecher am Kontrollpunkt, dem Verstärker eingeschaltet und dem Signal stummgeschaltet, führen wir eine Messung von 30 Sekunden durch. Dies ist das Hintergrundspektrum. Keine Linie bei 50 Hz oder 100 Hz darf mehr als 3 dB über den benachbarten Bändern liegen; für diesen Vergleich wird die A-Bewertung jedes Bands entfernt.
6. Quellenprüfung: Mit eingeschaltetem Signal und dem Lautsprecher am Kontrollpunkt führen wir eine Messung von 30 Sekunden durch. Jedes Band von 100 Hz bis 10 kHz muss innerhalb von ±0.5 dB der Quellenreferenz liegen.

Für jedes Gehäuse:

1. Wir installieren das Testsystem als typischer Aufbau und montieren alle Gehäuseteile, Frontabdeckungen, Staubfilter und Laufwerkseinschübe wie ausgeliefert.
2. Wir lassen das System ausgeschaltet und ziehen alle Lüfterstecker.
3. Wir stellen das Gehäuse auf seinen markierten Stellplatz, mit der Frontseite zum Mikrofon gerichtet.
4. Wir setzen den Lautsprecher auf seine weiche Unterlage im freien Raum neben dem CPU-Kühler, mit Fläche 1 zum Mikrofon gerichtet.
5. Wir führen das Lautsprecherkabel durch die gebohrte Abdeckung und dichten die Lücke mit Kitt auf beiden Seiten ab.
6. Wir messen den Abstand vom akustischen Zentrum des Lautsprechers zur Mikrofonkapsel mit dem Laser und fotografieren den Lautsprecher.
7. Wir schließen die Gehäuseteile mit allen Schrauben, jedes Mal in derselben Reihenfolge.

Messsequenz

Ein vollständiger Test besteht aus einem Durchgang mit dem Gehäuse (Run C) und einer Messung ohne es (Run R). Alles geschieht in einer Sitzung, und die Quellenkette wird vom Anfang bis zum Ende nicht berührt (Bild 6).

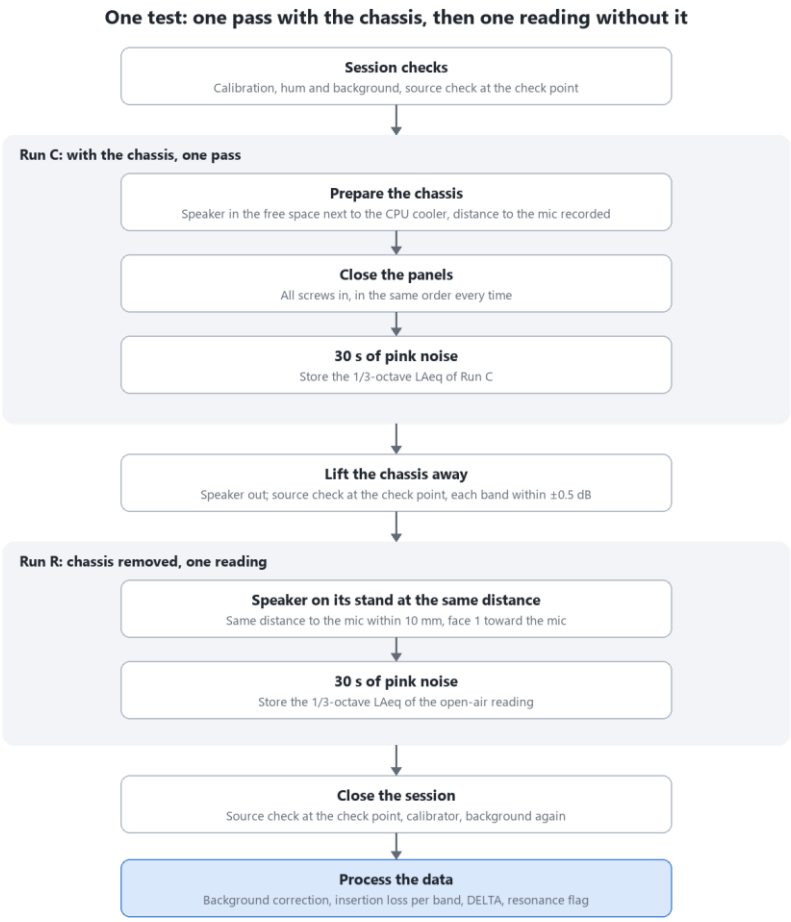

Bild 6

Nach Run C heben wir das Gehäuse ab, wiederholen die Quellenprüfung am Kontrollpunkt und stellen den Lautsprecher auf seinen Ständer im Freifeld, auf den Abstand zum Mikrofon, den wir in Run C aufgezeichnet haben. Run R ist eine einzelne Messung von 30 Sekunden. Wir beenden die Sitzung mit einer weiteren Quellenprüfung, dem Kalibrator und einer zweiten Hintergrundmessung.

Während der Messungen gelten die folgenden Regeln:

- der Operator bleibt während jeder Messung von 30 Sekunden außerhalb der Kammer oder mindestens 2 m hinter dem Mikrofon, und die Kammertür bleibt geschlossen;
- die Gehäuseteile werden für jedes Gehäuse auf dieselbe Weise geschlossen, mit allen Schrauben, in derselben Reihenfolge;
- Run R folgt auf Run C in derselben Sitzung;
- wenn eine Quellenprüfung fehlschlägt, stoppen wir, beheben die Ursache und beginnen die Sitzung erneut.

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%, 80%, 90% und 100% ihrer Maximaldrehzahl erzeugen. Anschließend ändern wir die Lüfterdrehzahl, indem wir die Logik der Messungen umkehren, um normalisierte Geräuschpegel von 20, 25, 30, 35 und 40 dBA zu erreichen, soweit die Lüfter sie erreichen können, und wir zeichnen die entsprechende Drehzahl jedes Lüfters für die spätere Verwendung auf.

Der Schritt bei 75% und die Geräuschmessung der Lüfter der Grafikkarte, die Teil der früheren Revisionen waren, werden nicht mehr durchgeführt.

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.

Bilder 7 und 8 zeigen die Kammer mit einem Gehäuse unter Prüfung. Dieselbe Kammer beherbergt unsere Kühlerbewertungen, bei denen das Testsystem auf einem offenen Prüftisch installiert ist (Bild 9).

Bild 7

Bild 8

Bild 9

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
CPU	AMD Ryzen 9 7950X3D
GPU	Galax GeForce RTX 4060 EX
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	Prüfling (Device Under Test)
Umgebungstemperatur	25oC ± 0.1oC

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.

Bild 10 zeigt die Thermoelemente und den Datenlogger neben einem Gehäuse unter Prüfung.

Bild 10

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, der Anwendung für die thermische Leistung von Gehäusen/Kühlern (Bilder 11 bis 13); die gezeigten Lüftereinstellungen sind Beispielwerte. Die Gehäuselüfter drehen mit den in der vorherigen Sektion aufgezeichneten Drehzahlen, um die normalisierten Geräuschpegel von 20, 25, 30, 35 und 40 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.

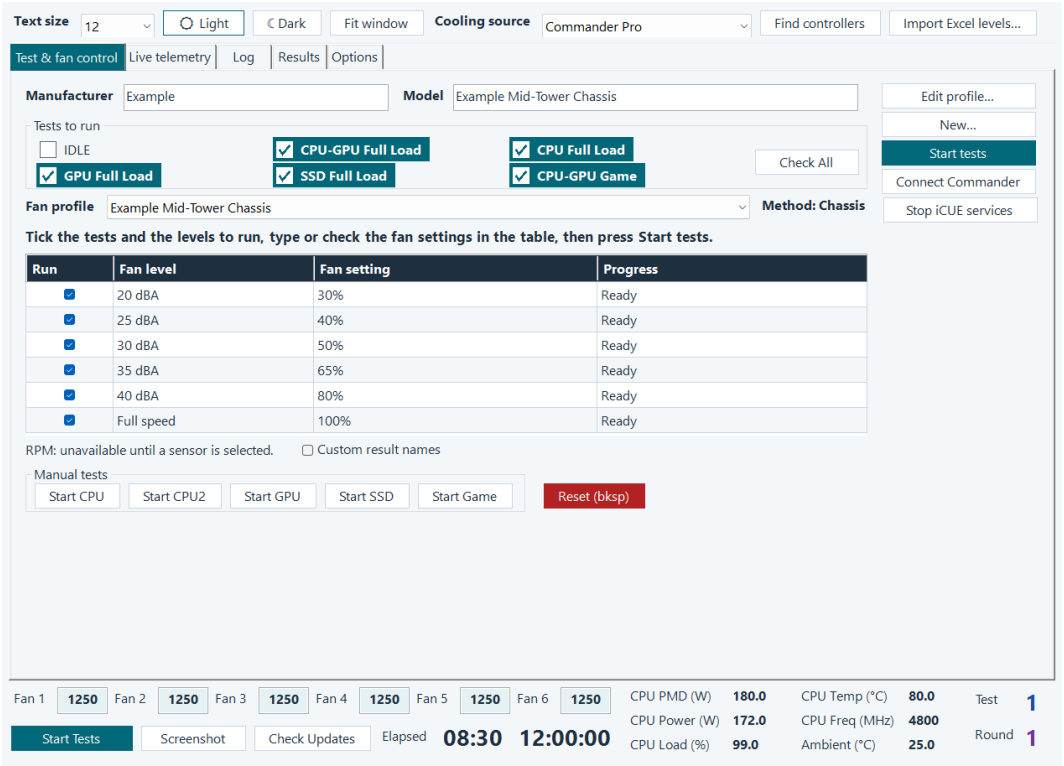

Bild 11

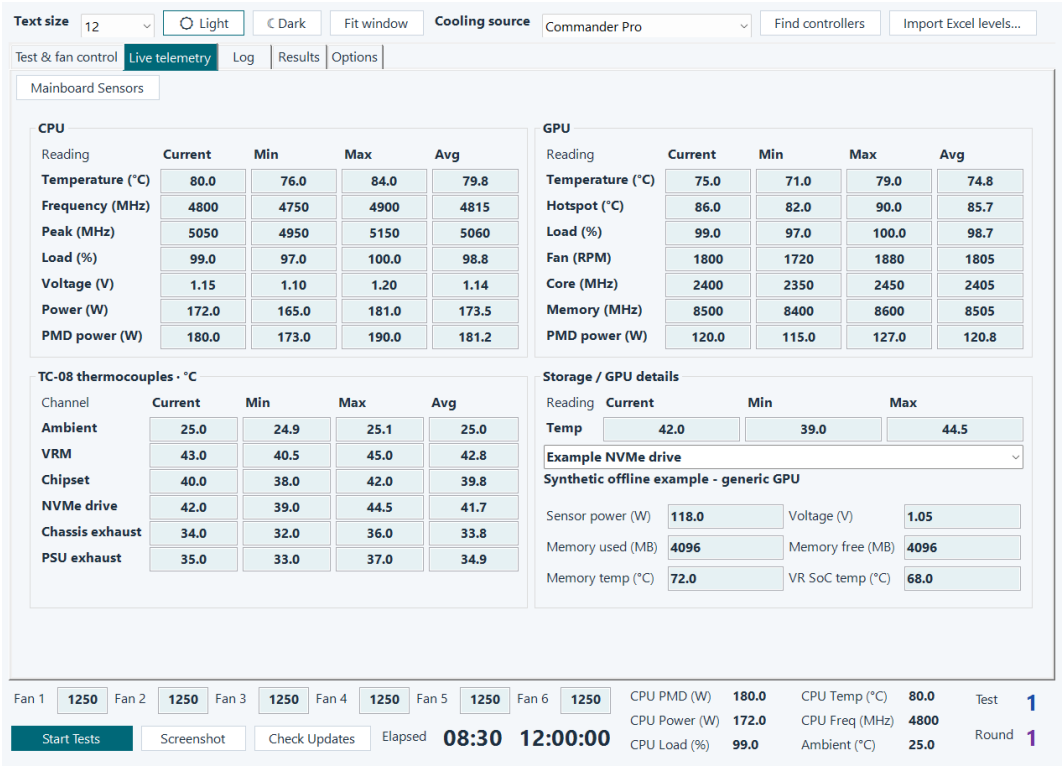

Bild 12

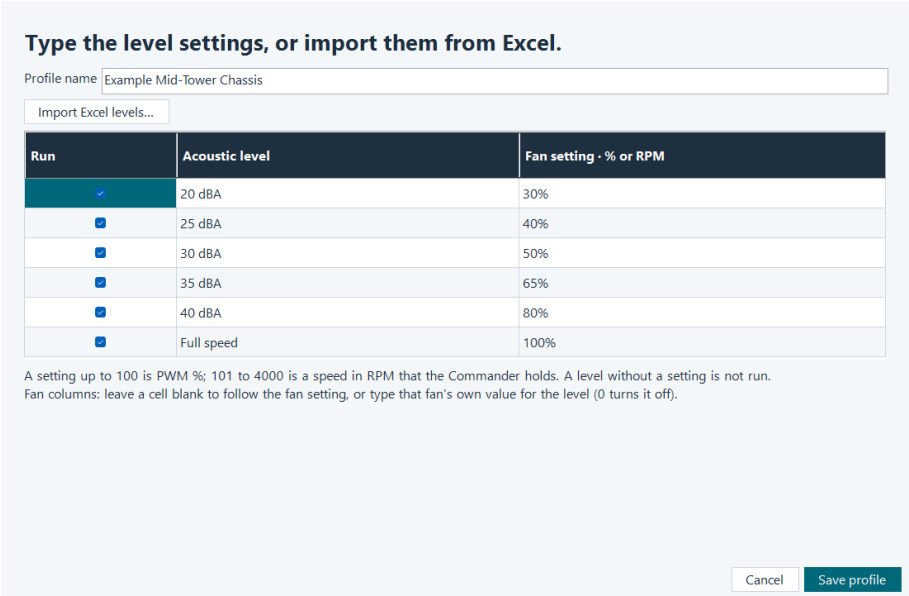

Bild 13

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 den normalisierten Geräuschpegeln (20, 25, 30, 35 und 40 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.

Für den Geräuschdämpfungstest ist jede Messung ein Spektrum der Terzbandpegel (LAeq). Im Folgenden ist b ein Band von 100 Hz bis 10 kHz, $L_C(b)$ ist der Pegel von Run C, $L_R(b)$ ist der Pegel von Run R und $L_{bg}(b)$ ist der Pegel des Hintergrundgeräuschs.

Hintergrundkorrektur

Die Messung von Run R liegt in fast jedem Band weit über dem Hintergrundgeräusch, daher benötigt nur Run C eine Korrektur. Mit $\Delta L(b) = L_C(b) - L_{bg}(b)$ für jedes Band:

- wenn ΔL 15 dB oder mehr beträgt, wird keine Korrektur angewendet;
- wenn ΔL von 10 dB bis weniger als 15 dB beträgt, wird die Messung mit der folgenden Formel korrigiert;
- wenn ΔL weniger als 10 dB beträgt, wird die Messung ohne Korrektur beibehalten. Die Einfügungsdämmung dieses Bands ist dann eine untere Schranke, und das Band wird im Bericht mit „≥“ markiert.

$$L_{C,\mathrm{corr}}(b) = 10\lg\left(10^{0.1\,L_C(b)} - 10^{0.1\,L_{bg}(b)}\right)$$

Wenn die Messung von Run R selbst weniger als 10 dB über dem Hintergrundgeräusch liegt, ist der Lautsprecher zu schwach, um in diesem Band gemessen zu werden. Wir berichten keine Einfügungsdämmung für das Band, und es zählt als 0 dB in DELTA.

Die Quellenprüfungen zu Beginn der Sitzung, zwischen Run C und Run R und am Ende müssen jeweils in jedem Band innerhalb von ±0.5 dB der Quellenreferenz bleiben. Wenn eine davon fehlschlägt, ist die Sitzung nicht gültig. Wir korrigieren die Messungen nicht für eine Drift der Quelle.

Einfügungsdämmung pro Band

Die Einfügungsdämmung eines Bands ist der Pegel ohne das Gehäuse minus der Pegel mit ihm, wobei $L_C(b)$ in einem korrigierten Band der korrigierte Pegel $L_{C,corr}(b)$ ist:

$$IL(b) = L_R(b) - L_C(b)$$

Eine positive Einfügungsdämmung bedeutet, dass das Gehäuse das Band dämpft, und eine negative, dass es es verstärkt.

DELTA

DELTA wendet die Einfügungsdämmung jedes Bands auf ein festes rosa Referenzspektrum an, das in jedem Terzband dieselbe Energie aufweist, und gewichtet das Ergebnis mit der A-

Bewertungskurve. Auf diese Weise beeinflusst das Spektrum des Lautsprechers die einzelne Kennzahl nicht.

$$\Delta = 10\lg\sum_{b} 10^{0.1\left[L_{ref}(b)+A(b)\right]} \; - \; 10\lg\sum_{b} 10^{0.1\left[L_{ref}(b)+A(b)-IL(b)\right]}$$

Δ ist DELTA. L_{ref}(b) ist das rosa Referenzspektrum, das in jedem Band 0 dB beträgt, und die Summen laufen über die 21 Bänder. A(b) ist die A-Bewertung des Bands gemäß IEC 61672-1 [15], entnommen aus der Tabelle der Norm (von −19.1 dB bei 100 Hz bis −2.5 dB bei 10 kHz). Die Einfügungsdämmung fließt mit voller Genauigkeit in die Berechnung ein, und DELTA wird einmalig auf 0.1 dB gerundet. DELTA ist positiv, wenn das Gehäuse dämpft, wie in den früheren Revisionen. Es zeigt, um wie viele dBA eine Quelle für rosa Rauschen im Inneren des Gehäuses aufgrund des Gehäuses leiser wird.

Resonanzhinweis

Der Resonanzhinweis listet jedes Band mit einer Einfügungsdämmung von −3 dB oder niedriger auf, zusammen mit dem schlechtesten Band und dessen Wert.

Gültigkeitskriterien

Ein Test ist nur dann gültig, wenn jede Kontrolle in der folgenden Tabelle bestanden wird. Die einzige Ausnahme ist die Kontrolle des Signals von Run C über dem Hintergrundgeräusch: Ein Band, das diese Kontrolle nicht besteht, wird mit „≥“ markiert und der Test bleibt gültig.

Gültigkeitskriterien		
Kontrolle	**Grenzwert**	**Wenn sie nicht erfüllt ist**
Kalibrierungsmessung, vor und nach der Sitzung	Innerhalb von 0.2 dB	Die Sitzung wird wiederholt
Quellenprüfung gegen die Quellenreferenz (jedes Band, 100 Hz bis 10 kHz)	Innerhalb von ±0.5 dB	Die Ursache wird festgestellt, die Quellenreferenz wird erneut gespeichert und die Sitzung wird wiederholt
Brummen bei 50 Hz und 100 Hz	Nicht mehr als 3 dB über den benachbarten Bändern	Die Erdung oder die Verkabelung wird korrigiert, oder die Quelle wird mit Batterie betrieben
Signal von Run C über dem Hintergrundgeräusch (jedes Band)	10 dB oder mehr	Das Band wird mit „≥“ markiert
Linearität (jedes Band)	10.0 ± 0.5 dB pro 10-dB-Schritt	Klappergeräusche werden gefunden und behoben
Abstand vom Lautsprecher zum Mikrofon, Run R gegenüber Run C	Innerhalb von 10 mm	Der Lautsprecher wird neu positioniert und Run R wird wiederholt

Rechenbeispiel

Die Messung des Sharkoon S25 V2 vom 28. September 2026 zeigt, wie die Berechnung funktioniert. Sie wurde mit dem Lautsprecher auf dem Gehäuseboden und mit einem Durchgang durchgeführt, bevor die Platzierung der Revision 2.0 eingeführt wurde.

Sharkoon S25 V2, 28. September 2026	
Größe	**Wert**
Lautsprecher im Freifeld (Referenz), LAeq	59.9 dBA
Lautsprecher im Gehäuse, LAeq	61.6 dBA
Differenz der beiden breitbandigen Messungen (Revision 1.6)	1.7 dB lauter im Inneren
DELTA, rosa Referenz, 100 Hz bis 10 kHz (Revision 2.0)	2.4 dB (Standard)
Resonanzhinweis	160, 200, 250, 400 und 800 Hz; schlechtestes Band 250 Hz bei −6.0 dB
Dämpfung oberhalb von 1 kHz	3.5 dB bis 12.9 dB pro Band

Oberhalb von 1 kHz dämpft das Gehäuse jedes Band um 3.5 dB bis 12.9 dB. Unterhalb von 1 kHz verstärkt es sieben Bänder, fünf davon um 3 dB oder mehr, wobei das schlechteste Band bei 250 Hz liegt (6.0 dB). DELTA wird in drei Schritten berechnet:

1. Das rosa Referenzspektrum, A-bewertet und über die 21 Bänder summiert, ergibt 11.731 dB.
2. Dieselbe Summe, nach Abzug der Einfügungsdämmung jedes Bands, ergibt 9.283 dB.
3. DELTA = 11.731 − 9.283 = 2.448 dB, was als 2.4 dB berichtet wird.

Würden nur die Bänder von 1 kHz bis 10 kHz verwendet, würde das Ergebnis 5.7 dB betragen, eine Stufe höher, und jedes markierte Band würde verborgen bleiben. Bild 14 zeigt die Einfügungsdämmung pro Band dieser Messung.

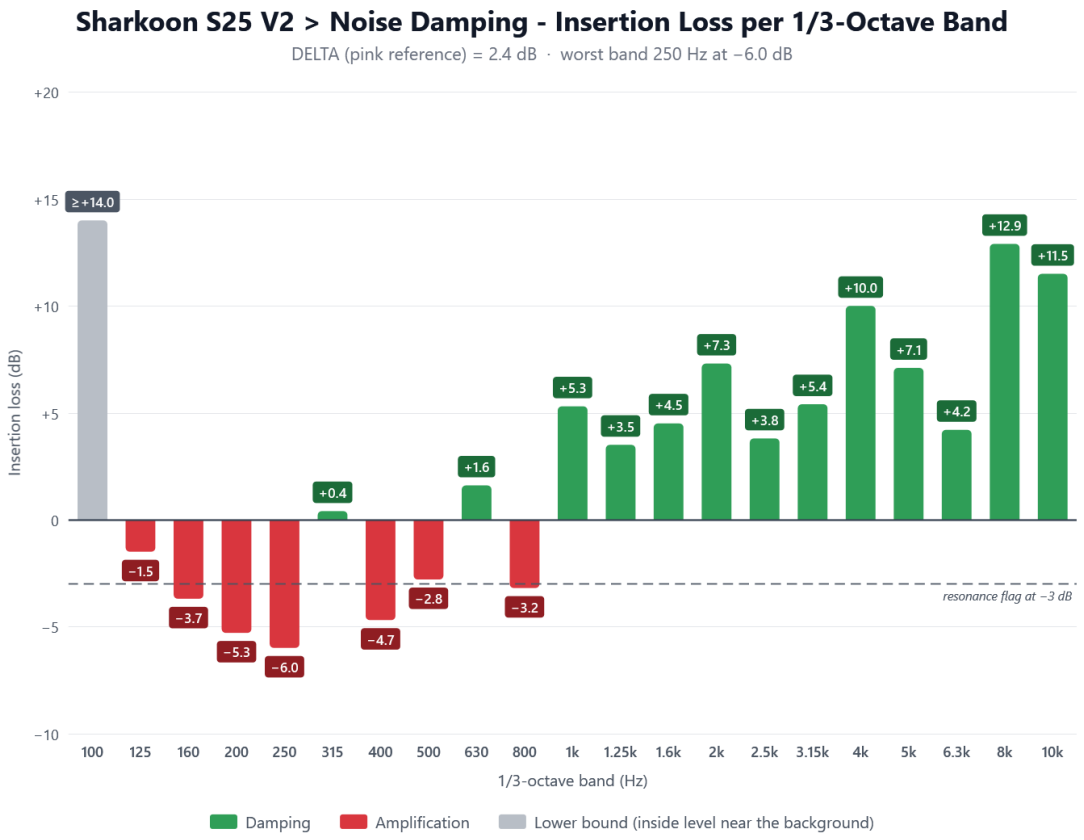

Bild 14

Bericht

Jeder Bericht stellt zuerst die Einfügungsdämmung pro Band als Balken mit Vorzeichen dar (Bild 14), gefolgt von DELTA, der DELTA-Stufe und dem Resonanzhinweis.

Inhalt des Berichts	
Punkt	**Inhalt**
Diagramm der Einfügungsdämmung	Terzbänder von 100 Hz bis 10 kHz, vorzeichenbehaftete Balken; ein Band, das eine untere Schranke darstellt, wird auf seinem Balken mit „≥“ markiert
DELTA	DELTA, rosa Referenz
DELTA-Stufe	A+, A oder Standard; keine Stufe unter 2 dB
Resonanzhinweis	Jedes Band bei −3 dB oder niedriger, mit dem schlechtesten Band und dessen Wert
Informative Bänder	12.5 kHz bis 20 kHz, wo das Signal 10 dB oder mehr über dem Hintergrundgeräusch liegt
Prüfaufzeichnungen	Datum, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Kalibratormessungen, Quellenprüfungen, Abstand vom Lautsprecher zum Mikrofon, Foto des Lautsprechers im Inneren des Gehäuses

DELTA-Stufen

Wir verwenden DELTA, um die Ergebnisse verschiedener 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.

Die Stufe wird anhand des DELTA-Werts festgelegt, wie er veröffentlicht wird, gerundet auf eine Dezimalstelle. Ein Gehäuse mit einem DELTA-Wert unter 2 dB erhält keine Stufe.

Stufen	Anforderungen an die Schalldämmung
A+	≥8 dB
A	≥5 dB bis <8 dB
Standard	≥2 dB bis <5 dB

Wir werden die Grenzen der Stufen überprüfen, sobald eine ausreichende Anzahl von Gehäusen mit dieser Revision geprüft wurde.

Vor der Revision 2.0 geprüfte Gehäuse

Die Gehäuse, die wir vor Oktober 2026 geprüft haben, wurden mit dem Verfahren der früheren Revisionen gemessen: einzelne Prüftöne, ein Chirp-Signal, rosa Rauschen und weißes Rauschen, mit dem Lautsprecher auf dem Gehäuseboden. Ihr veröffentlichtes Ergebnis war die Differenz der beiden breitbandigen rosa-Rauschen-Messungen.

Ihre veröffentlichten Ergebnisse bleiben so, wie sie gemessen wurden. Ihre Stufen wurden mit den Grenzen der Revision 2.0 erneut zugewiesen: A+ ab 8 dB, A ab 5 dB und Standard ab 2 dB; unter 2 dB wird keine Stufe vergeben.

Diese Gehäuse wurden nicht erneut gemessen, und das frühere Verfahren ist nicht identisch mit dem Verfahren der Revision 2.0. Ihre Ergebnisse sind daher bei einem Vergleich mit unter Revision 2.0 geprüften Gehäusen nur indikativ. Der Bericht jedes solchen Gehäuses enthält eine Anmerkung, die auch die ursprünglich veröffentlichte Stufe benennt, wo sie sich geändert hat.

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] https://www.hbkworld.com/en/products/instruments/handheld/hand-held-software/sound-level-meter-apps-2250-2270/pre-packaged-software-2270-bz-7222 (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[2] https://www.hbkworld.com/en/products/transducers/acoustic/acoustic-calibrators/microphone/4231 (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[3] https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/chirp-signal (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[4] https://www.acoustic-glossary.co.uk/definitions-p.htm#pink-noise (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[5] https://www.acoustic-glossary.co.uk/definitions-w.htm#white-noise (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[6] https://www.corsair.com/eu/en/p/accessories/cl-9011110-ww/icue-commander-pro-smart-rgb-lighting-and-fan-speed-controller-cl-9011110-ww (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[7] https://www.giant-force.com.tw/en/homepage.htm (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[8] https://www.picotech.com/data-logger/picolog-tc-08-thermocouple-data-logger (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[9] https://www.mersenne.org/ (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[10] https://geeks3d.com/furmark/ (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[11] https://www.3dmark.com/ (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[12] Standard ECMA-74 Measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment
https://ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-74/ (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[13] ISO 9296:2017 Acoustics - Declared noise emission values of information technology and telecommunications equipment https://www.iso.org/standard/32303.html (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[14] ISO 11546-1 Acoustics – Determination of sound insulation performances of enclosures – Part 1: Measurements under laboratory conditions (for declaration purposes)
https://www.iso.org/standard/19500.html (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
[15] IEC 61672-1 Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications
https://webstore.iec.ch/en/publication/5708 (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)