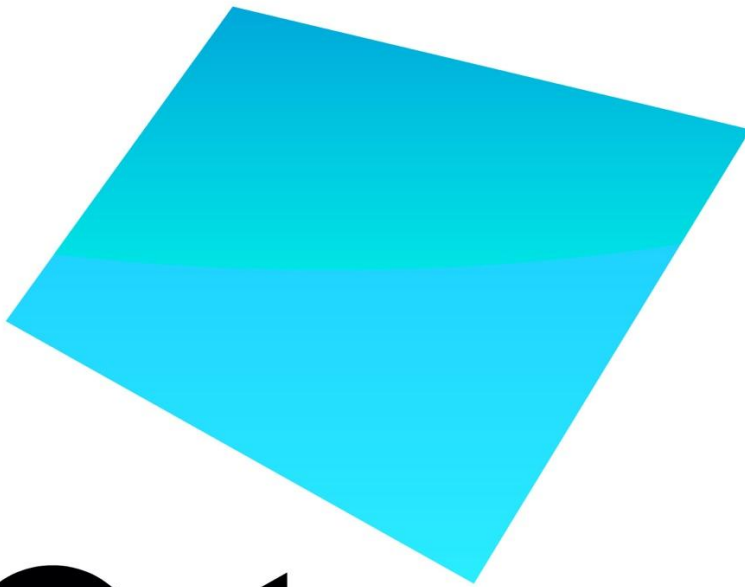


Cybenetics Prüfprotokoll für Kühllösungen

Revision 2.2

Autor: Aristeidis Bitziopoulos



Cybenetics

Nikosia, Zypern

Oktober 2026

Revisionshistorie

Version	Veröffentlichungsdatum	Anmerkungen
1.0	Dezember 2020	Erster Entwurf
1.1	Mai 2021	Grammatikalische Korrekturen
1.2	Juni 2021	Kleinere Korrekturen
1.3	Dezember 2023	Umfangreiche Überarbeitung
1.4	Januar 2025	Umfangreiche Überarbeitung
1.5	August 2026	Abschnitt zur Klimakammer hinzugefügt, einschließlich der Begründung, warum die Umgebungstemperatur konstant gehalten wird, anstatt eine Delta-Korrektur anzuwenden. Die Wiederholpräzision (mindestens zwei Sitzungen, gemittelt), der Zustand der AIO-Pumpe, die Berichterstattung über die durchschnittliche CPU-Frequenz und die Messunsicherheit der Geräuschmessung werden nun ausdrücklich angegeben.
1.6	September 2026	Testsysteme als leistungshungrig statt als High-End beschrieben. Die Spezifikationen der Klimakammer werden in einer Tabelle dargestellt. Ein versehentlich eingefügter Seitenwechsel, der den Großteil einer Seite leer ließ, wurde entfernt.
1.7	September 2026	Die Spezifikationen der Klimakammer wurden aus dem Datenblatt des Herstellers vervollständigt; der doppelte Screenshot desselben Datenblatts wurde entfernt.
1.8	September 2026	Ein unvollständiger Satz, der aus der Bearbeitung übrig blieb, wurde entfernt; das Beispiel, das er einleitete, wird im folgenden Absatz vollständig angegeben.
2.0	Oktober 2026	THETA-Kühlleistungsstandard hinzugefügt. Jeder Geräuschpegel läuft mindestens 10 Minuten und wird nur bis zur Stabilität verlängert, mit einer objektiven Stabilitätsregel und einer 20-Minuten-Grenze. Die Abkühlphase dauert mindestens 5 Minuten und enthält eine Stabilitätsprüfung im Leerlauf. Die veröffentlichten Werte je Ausführung verwenden die letzten 4 Minuten. Pro Plattform wird eine Montage verwendet. Die Controller-Bedienung wurde aktualisiert, die Intel-BIOS-Details entfernt und neue Mikrofon- und Zeitdiagramme hinzugefügt. Die gesamte Methode wurde auf Konsistenz und Klarheit überprüft; veraltete Softwaregrafiken wurden entfernt. Referenzen nachgeprüft und aktualisiert.
2.1	Oktober 2026	Die Absatz- und Überschriftenabstände wurden im gesamten Dokument vereinheitlicht. Keine Änderung am Text oder an der Methode.
2.2	Oktober 2026	THETA in zwei Klassen aufgeteilt, Luftkühler und AIO-Flüssigkeitskühler, jede mit eigenen Anforderungen auf jeder Plattform; Diamond etwa 2.5% über dem besten Kühler jeder Klasse festgelegt; das Badge benennt die Klasse, z. B. THETA Gold · Air · AMD AM5; alle bestehenden THETA-Stufen anhand ihrer Messwerte neu beurteilt.

Inhaltsverzeichnis	
Prolog	4
Prüfausrüstung.....	4
Klimakammer	6
Das Verfahren der Geräuschemessung im Detail	7
Bewertung der thermischen Leistung: Verfahren	9
Bewertung der thermischen Leistung: Details.....	12
Bewertung der thermischen Leistung: Dauer & Ergebnisse	12
Thermische Leistung: Datenauswertung	12
Der THETA-Kühlleistungsstandard	13
Epilog.....	17
Literaturverzeichnis	17

Prolog

Wir haben zunächst ein Testsystem namens Jalapeno entwickelt, um Kühllösungen mit einer simulierten Wärmelast zu bewerten. Prüfungen an realer Hardware erlauben es nicht, eine beliebige Wärmelast einzustellen und exakt konstant zu halten, und die Ergebnisse hängen auch von der Hardwareplattform ab. Jalapeno sollte diese Einschränkungen beheben.

Nach mehreren Jahren des Einsatzes von Jalapeno stellten wir fest, dass die von ihm aufgezeigten Leistungsunterschiede sich im realen Einsatz nicht widerspiegelten. Wir kehrten daher für unsere Kühlerbewertungen zu realer Hardware zurück; Jalapeno wird für diese Methode nicht mehr verwendet.

Prüfausrüstung

Wir verwenden leistungshungrige Intel- und AMD-Systeme für alle unsere Bewertungen von Kühllösungen, mit Wärmelasten, die die meisten Kühler an ihre Grenzen bringen. Die Ergebnisse gehören zur Plattform, auf der sie gemessen wurden, daher sind Ergebnisse von verschiedenen Plattformen nicht direkt austauschbar. Wir behalten die früheren Ergebnisse mit ihrer Plattformidentifikation bei. Der THETA-Abschnitt erklärt, wie wir neue Anforderungen festlegen, wenn sich die Plattform ändert.

Spezifikationen des Intel-Testsystems

Mainboard

ASRock Z890 Taichi

CPU

Intel Core Ultra 9 285K (Intel Default Mode)

GPU

-

NVMe

XPB GAMMIX S50 Lite 1TB

RAM

Gskill Ripjaws S5 DDR5 (2 x 16GB) 6000MHz

Netzteil

Seasonic Vertex 1200W (Cybenetics Platinum)

Gehäuse

DimasTech Bench

Umgebungstemperatur

25°C ±0.5°C

Luftfeuchtigkeit

30% ±4%RH

Lastaufbringung

Prime95 (Small FFTs) läuft 10 Minuten pro Prüfung
(oder bis sich die Temperatur stabilisiert hat)
5 min Abkühlphase zwischen den einzelnen
Prüfungen

ATE-Software

Chassis/Coolers Thermal Performance v7.27 oder
neuer – Cybenetics LTD

Spezifikationen des AMD-Testsystems	
Mainboard	Asus TUF GAMING X670E-PLUS
CPU	AMD Ryzen 9 7900X (PBO aktiviert)
GPU	-
NVMe	XPG GAMMIX S50 Lite 1TB
RAM	XPG Lancer DDR5 (2 x 16GB) 6000MHz
Netzteil	Seasonic Vertex 1200W (Cybenetics Platinum)
Gehäuse	Cooler Master Test Bench
Umgebungstemperatur	25°C ±0.5°C
Luftfeuchtigkeit	30% ±4%RH
Lastaufbringung	Prime95 (Small FFTs) läuft 10 Minuten pro Prüfung (oder bis sich die Temperatur stabilisiert hat) 5 min Abkühlphase zwischen den einzelnen Prüfungen
ATE-Software	Chassis/Coolers Thermal Performance v7.27 oder neuer – Cybenetics LTD

Neben den oben beschriebenen Testsystemen verwenden wir auch die folgende Ausrüstung.

- Lüftersteuerung durch den Corsair Commander Pro [1] oder durch den eigenen Controller des Kühlers, direkt von unserer Software angesteuert
- Pico TC-08 (Thermoelement-Datenlogger) [2]
- Giant Force Klimakammer (GTH-800-20-CP-AR)
- Cybenetics Powerenetics v2 PMD (Power Measurements Device) [3]

Wir messen die Geräuschentwicklung in einem halbschalltoten Raum mit einem Grundgeräuschpegel von etwa 6 dBA. Wir installieren den Prüfling (Device Under Test, DUT) in einer festen Position, sodass Kühler und Mikrofon bei jeder Messung dieselbe Geometrie aufweisen, wie in Abbildung 1 gezeigt.

Wir positionieren das Messmikrofon in einem Winkel von 30° bis 45° zur Horizontalen, mit einem vertikalen Abstand von 1 m zwischen dem Mikrofon und dem Messobjekt. Der Luftstrom des Kühlers steht senkrecht zur Mikrofonachse.

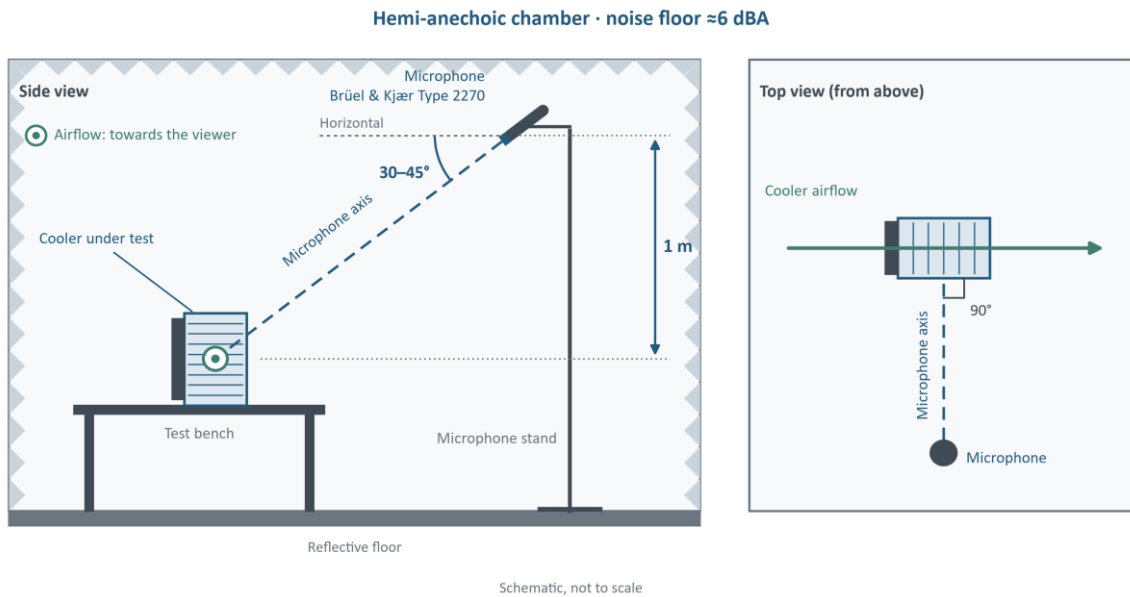


Abbildung 1: Geometrie von Mikrofon und Kühler im halbschalltoten Raum (schematisch, nicht maßstabsgetreu).

Klimakammer

Alle Prüfungen der thermischen Leistung werden in einer Giant Force GTH-800-20-CP-AR-Klimakammer durchgeführt, die die Umgebungstemperatur während der gesamten Dauer jeder Prüfung konstant hält. Dies ist wichtiger, als es auf den ersten Blick erscheinen mag. Die gängige Alternative besteht darin, die Differenz zwischen der CPU-Temperatur und der Raumtemperatur, den sogenannten Delta-Wert, zu berichten und diese Differenz als unabhängig vom Raum zu behandeln. Aus unserer Erfahrung heraus ist das nicht der Fall. Als wir begannen, in einer kontrollierten Kammer zu testen, wurde deutlich, dass delta-korrigierte Ergebnisse, die bei verschiedenen Raumtemperaturen aufgenommen wurden, nicht übereinstimmen. Das Halten der Umgebungstemperatur konstant eliminiert die Korrektur vollständig, sodass jeder Kühler in unserer Datenbank unter denselben Bedingungen gemessen wird, anstatt mathematisch darauf abgestimmt zu werden.

Spezifikationen der Klimakammer

Hersteller	Giant Force
Modellnummer	GTH-800-20-CP-AR
Temperaturbereich	-20 °C bis +100 °C
Feuchtigkeitsbereich	20 % bis 98 % RH
Temperatur- und Feuchtigkeitskonstanz	±0.2 °C, ±2.5 % RH
Temperatur- und Feuchtigkeitsgleichmäßigkeit in der Mitte	±0.5 °C, ±4 % RH
Innenmaße (B x H x T)	100 x 100 x 80 cm
Außenmaße (B x H x T)	145 x 190 x 135 cm
Nettogewicht (ca.)	450 kg
Aufheizzeit (ohne Last)	20 °C bis +100 °C in 30 min
Abkühlzeit (ohne Last)	20 °C bis -20 °C in 50 min
Kühlsystem	Hermetisch geschlossener Kompressor, Verdampferlamellen, luftgekühlter Kondensator
Stromquelle	3Φ AC 380 V ±5 %, 50 Hz ±1 %, 10 kW
Basierend auf Normen	ISO 5801:2007, AMCA 210, ASHRAE 51-2007, IEC 61591:2005, GB/T 1236

Die Kammer wird für alle Kühlerprüfungen auf 25 °C und 30 % relative Luftfeuchtigkeit eingestellt. Die Geräuschmessungen werden separat im halbschalltoten Raum bei 25 °C ±2 °C und 40 % bis 50 % relativer Luftfeuchtigkeit durchgeführt.

Das Verfahren der Geräuschmessung im Detail

Wir schalten den Schallpegelmesser Bruel & Kjaer G-4 Type 2270 [4] 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 [5].

Wir installieren die Kühllösung in der in Abbildung 1 gezeigten festen Position. Bei jeder Geräuschprüfung halten wir den Luftstrom des Kühlers senkrecht zur Mikrofonachse.

Unsere eigene Software steuert jeden Lüfter und jede Pumpe. Wir steuern Standardlüfter über den Corsair Commander Pro [1]. Wenn die Lüfter und die Pumpe eines Kühlers an dessen eigenen Controller angeschlossen sind, steuern wir diesen Controller direkt über dessen USB-Protokoll, das wir selbst entschlüsselt haben. Die Software des Herstellers läuft während der Prüfung nicht. Beispiele sind be quiet!-Kühler mit dem IO Center Hub, wie Light Loop IO, und Corsair iCUE LINK-Kühler mit dem iCUE LINK System Hub, wie iCUE LINK TITAN. Der steuernde PC wird passiv gekühlt und beeinflusst den Grundgeräuschpegel der Kammer nicht.

Unsere Software passt die Lüftereinstellungen in RPM oder PWM-Prozent an, wie vom Controller unterstützt. Wir erfassen die tatsächliche Drehzahl jedes Lüfters und halten die Pumpeneinstellung während jeder Bewertung fest.

Der Bediener wählt die Kühler-Testmethode unter Options (Optionen), und unsere Software wendet die im Verfahren beschriebene Stabilitätsregel und Abkühlphase an (Abbildungen 2 und 3).

Text size12LightDarkFit windowCooling sourceCommander ProFind controllersImport Excel levels...

Test & fan controlLive telemetryLogResultsOptions

ManufacturerExampleModelExample 360 mm AIO

Tests to run

☐ IDLE☐ CPU-GPU Full Load☒ CPU Full Load☐ GPU Full Load☐ SSD Full Load☐ CPU-GPU Game

Check All

Fan profileExample 360 mm AIOMethod: Cooler

Tick the tests and the levels to run, type or check the fan settings in the table, then press Start tests.

Run	Fan level	Fan setting	Progress
☒	20 dBA	30%	Ready
☒	25 dBA	40%	Ready
☒	30 dBA	50%	Ready
☒	35 dBA	65%	Ready
☒	40 dBA	80%	Ready
☒	Full speed	100%	Ready

RPM: unavailable until a sensor is selected.☐ Custom result names

Manual tests

Start CPUStart CPU2Start GPUStart SSDStart Game

Reset (bksp)

Edit profile...New...Start testsConnect CommanderStop iCUE services

Fan 10000Fan 20000Fan 30000Fan 40000Fan 50000Fan 60000

CPU PMD (W)N/ACPU Temp (°C)N/ATest0

CPU Power (W)N/ACPU Freq (MHz)N/A

CPU Load (%)N/AAmbient (°C)N/ARound0

Start TestsScreenshotCheck UpdatesElapsed00:0014:04:09

Abbildung 2: Die Test-Software (v7.27): Test- und Lüftersteuerung, einschließlich der auszuführenden Geräuschpegel.

Text size 12
Light
Dark
Fit window
Cooling source Commander Pro
Find controllers
Import Excel levels...

Test & fan control
Live telemetry
Log
Results
Options

Connections and timing
Cooler stability and cooldown

Test method Cooler
Cooler: load 10-20 min; average last 4 min; idle 5-15 min. Exhaust: TC-08 channel 1.

Named setting	Value	Units
LoadMinimumSeconds	600	seconds
LoadMaximumSeconds	1200	seconds
CheckSeconds	15	seconds
HoldSeconds	60	seconds
ComparisonSeconds	120	seconds
AverageSeconds	240	seconds
CpuChangeC	0.5	deg C
ExhaustChangeC	0.5	deg C
AmbientChangeC	0.3	deg C
PowerChangePercent	1	%
FrequencyChangePercent	0.5	%
LoadMeanMinimum	95	%
LoadSampleMinimum	90	%
LoadSamplesPercent	98	%
IdleMinimumSeconds	300	seconds
IdleMaximumSeconds	900	seconds
IdleLoadMaximum	20	%

Fan 1 0000 Fan 2 0000 Fan 3 0000 Fan 4 0000 Fan 5 0000 Fan 6 0000
CPU PMD (W) N/A CPU Temp (°C) N/A Test 0
CPU Power (W) N/A CPU Freq (MHz) N/A Round 0
CPU Load (%) N/A Ambient (°C) N/A
Start Tests Screenshot Check Updates Elapsed 00:00 14:04:10

Abbildung 3: Die Test-Software (v7.27): Die Stabilitäts- und Abkühlseinstellungen der Kühler-Testmethode.

Wir messen zunächst das Lüftergeräusch von 40 % bis 100 % der maximalen Lüfterdrehzahl in Schritten von 10 %. Anschließend passen wir die Lüftereinstellungen an, um eine normalisierte Geräuschentwicklung von 20, 25, 30, 35 und 40 dBA zu erreichen, sofern der Kühler diese Pegel erreichen kann, und erfassen die entsprechenden Drehzahlen jedes Lüfters. Diese gemessenen Einstellungen sowie die volle Lüfterdrehzahl werden in den thermischen Prüfungen verwendet.

Die erweiterte Messunsicherheit unserer Geräuschmessungen beträgt ± 1.23 dB ($k = 2$, ca. 95 % Vertrauensniveau), ermittelt in unseren kontrollierten Aufzeichnungen zur Messunsicherheit und auf alle Cybenetics-Geräuschprüfungen angewendet. Thermische Messungen sind von dieser Angabe nicht abgedeckt; sie werden wie gemessen unter den oben genannten Kammerbedingungen berichtet.

Bewertung der thermischen Leistung: Verfahren

Wir führen die Geräuschprüfung vor der thermischen Prüfung durch, damit wir die gemessenen Lüftereinstellungen für die normalisierte Geräuschentwicklung von 20, 25, 30, 35 und 40 dBA und für die volle Lüfterdrehzahl verwenden können. Wir führen nur die Geräuschpegel durch, die der Kühler erreichen kann. Verfügt der Kühler über mehr als einen Lüfter, erfassen wir die Drehzahl jedes Lüfters.

Wir installieren den DUT in der Klimakammer und stellen die Umgebungstemperatur auf 25 °C (77 °F) und die relative Luftfeuchtigkeit auf 30 % ein. Wir schließen den Thermoelement-Datenlogger Pico TC-08 [2] an zwei Fühler an, einer misst die Umgebungstemperatur, der andere die Ablufttemperatur des Kühlers.

Wir testen jeden Kühler mit einer Montage pro Plattform, unter Verwendung der vom Hersteller als leistungsfähigsten angegebenen Montage: der Standardmontage oder einer Offset-Montage, falls eine solche bereitgestellt wird. Wir geben die Montage im Bericht an und behalten sie für die Wiederholungsprüfungen bei. Wir befestigen das Montagesystem vollständig und prüfen den Kontakt nach den Prüfungen, indem wir untersuchen, ob die Wärmeleitpaste die Kontaktfläche gleichmäßig bedeckt.

Für vergleichbare Ergebnisse verwenden wir bei allen unseren Prüfungen dieselbe Wärmeleitpaste. Unsere Wahl ist Arctic Cooling MX-4.

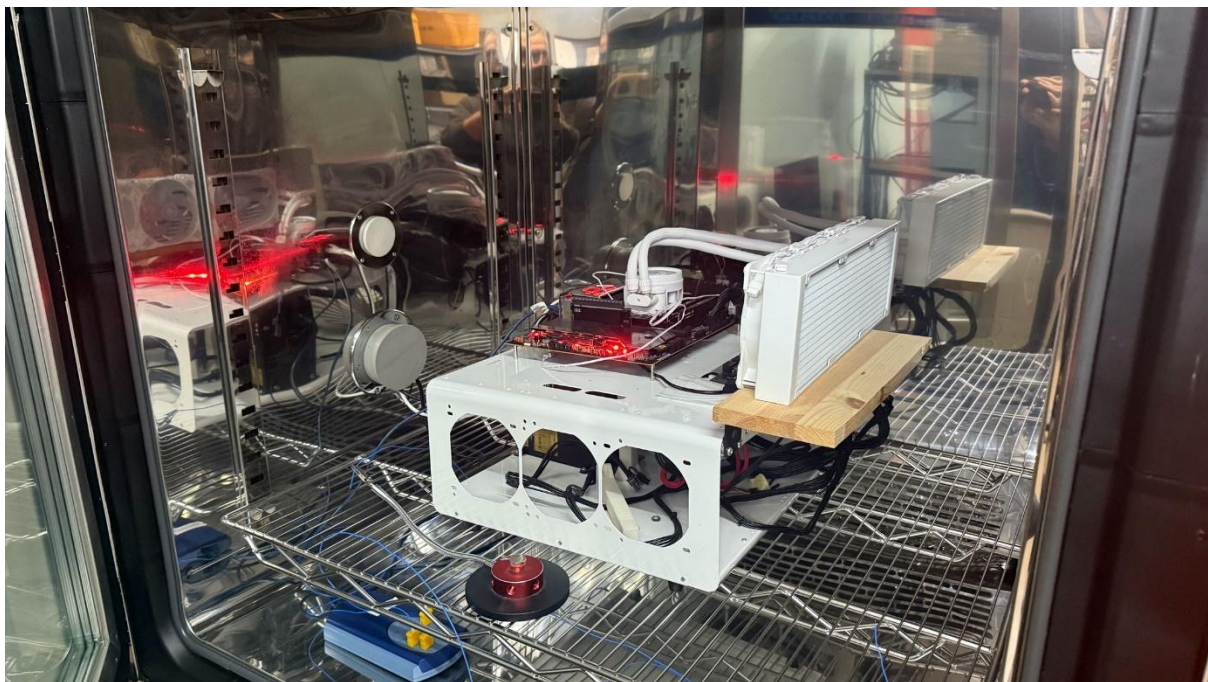


Foto 1

Unsere Software steuert die Lüfter und die Pumpe des DUT über den Corsair Commander Pro oder den eigenen Controller des Kühlers, wie im Geräuschverfahren beschrieben. Sie erfasst auch die mit dem Pico TC-08 gemessenen Umgebungs- und Ablufttemperaturen sowie die von Powenetics v2 an den EPS-Anschlüssen gemessene CPU-Leistung. Die CPU-Temperatur und die Taktfrequenz werden vom Testsystem erfasst; Powenetics v2 misst die elektrische Leistung, nicht die CPU-Taktfrequenz oder -temperatur.

Nach der initialen Einrichtung führt unsere Software die Prüfungen automatisch durch. Jeder Geräuschpegel wird unter kontinuierlicher voller CPU-Last für mindestens 10 Minuten ausgeführt und nur bis zur Stabilität verlängert. Alle 15 s vergleichen wir den Mittelwert der letzten 2 Minuten mit dem Mittelwert der vorherigen 2 Minuten. Wir betrachten die Ausführung als stabil, wenn sich die CPU-Temperatur und die Ablufttemperatur jeweils um nicht mehr als 0.5 °C ändern, die gemessene CPU-Leistung an den EPS-Anschlüssen (Pownetics v2) um nicht mehr als 1 %, die CPU-Taktfrequenz um nicht mehr als 0.5 % und die Umgebungstemperatur um nicht mehr als 0.3 °C, wobei alle diese Bedingungen kontinuierlich für 60 s erfüllt sein müssen. Die Leistungs- und Frequenzänderungen werden als Prozentsatz des früheren der beiden 2-Minuten-Mittelwerte ausgedrückt. Wir stoppen nicht vor 10 Minuten. Wenn eine Ausführung nach 20 Minuten nicht stabil geworden ist, stoppen wir und markieren sie und untersuchen sie, bevor ein Ergebnis veröffentlicht wird.

Für jede gültige Ausführung sind die veröffentlichten Werte die Mittelwerte der letzten 4 Minuten vor dem Stopp. Wir wenden dieses gleiche Fenster auf die Komponentenmittelwerte an, die für die Gesamtleistung verwendet werden.

Zwischen den Geräuschpegeln lassen wir mindestens 5 Minuten Abkühlphase unter Leerlaufbedingungen zu. Wir verlängern diesen Zeitraum, bis die Leerlauftemperaturen stabil sind: Der Mittelwert der letzten 2 Minuten weicht vom Mittelwert der vorherigen 2 Minuten um nicht mehr als 0.5 °C für die CPU-Temperatur und die Ablufttemperatur und um nicht mehr als 0.3 °C für die Umgebungstemperatur ab. Abbildung 4 fasst die Sequenz zusammen.

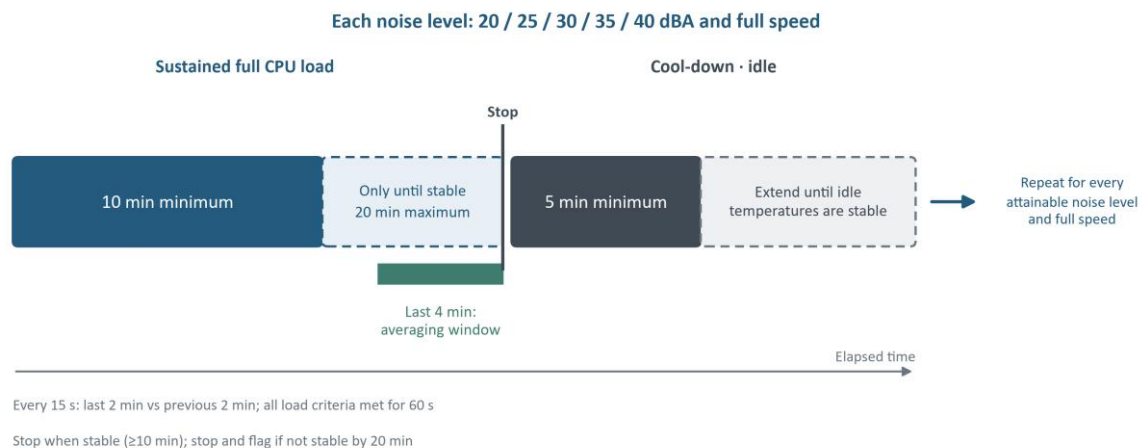


Abbildung 4: Last, Mittelung der letzten 4 Minuten und Leerlauf-Abkühlsequenz, wiederholt für jeden erreichbaren Geräuschpegel und volle Drehzahl. Die Blockbreiten sind schematisch; das Mittelungsfenster endet am tatsächlichen Stopp.

Jede Kühllösung wird in mindestens zwei vollständigen Sitzungen geprüft, und die veröffentlichten Zahlen sind der Durchschnitt dieser Sitzungen. Eine einzelne Sitzung wird nie allein veröffentlicht. Wenn ein Kühler in zwei Sitzungen getestet wird, sind die veröffentlichten Werte die Mittelwerte der beiden Sitzungen, und die Gesamtleistung wird aus diesen gemittelten Werten für W, F und T berechnet.

Bei All-in-One-Wasserkühlern halten wir die Pumpe während jeder Prüfung auf voller Drehzahl und variieren nur die Lüfter. Das eigene Geräusch der Pumpe ist nicht Teil der normalisierten Lüftergeräuschpegel; es ist typischerweise zu niedrig, um das Ergebnis zu beeinflussen, insbesondere bei 30 dBA. Das Halten der Pumpe auf voller Drehzahl verhindert, dass ihre Einstellung zu einer weiteren Variable zwischen den Geräuschpegeln wird.

Bewertung der thermischen Leistung: Details

Einige Kühler können in einem Meter Abstand 40 dBA nicht erreichen, und andere können nicht einmal 35 dBA oder sogar 30 dBA erreichen. Der Vergleich von Kühlern bei derselben erreichbaren Geräuschentwicklung ermöglicht es uns, ihre thermische Leistung unter vergleichbaren akustischen Bedingungen zu bewerten. Ergebnisse bei voller Drehzahl bleiben nützlich, aber ein Kühler mit lauterem Lüftern kann eine niedrigere Temperatur erzielen, indem er einfach mehr Geräusch erzeugt. Der THETA-Abschnitt erklärt, wie wir leise Kühler an ihrem eigenen gemessenen 25 dBA-Punkt bewerten.

Bewertung der thermischen Leistung: Dauer & Ergebnisse

Eine vollständige thermische Sitzung dauert etwa zwei Stunden, abhängig davon, wie viele Geräuschpegel der Kühler erreichen kann und wie schnell sich die Temperaturen stabilisieren. Für sechs Pegel beträgt der Planungsbereich $6 \times (10\text{--}20 \text{ Minuten unter Last} + 5\text{--}15 \text{ Minuten Abkühlphase})$. Die 15-minütige Abkühlphase ist eine Planungsannahme, keine Grenze: Wir verlängern die Abkühlphase, bis die Leerlauftemperaturen stabil sind. Ein Kühler, der jeden normalisierten Pegel erreicht, wird bei 20, 25, 30, 35 und 40 dBA und bei voller Lüfterdrehzahl geprüft.

Sobald alle Prüfungen abgeschlossen sind, tragen wir die Ergebnisse zur weiteren Auswertung in unsere Datenbank ein. Alle Ergebnisse werden automatisch erfasst und können in verschiedenen Formaten exportiert werden.

Thermische Leistung: Datenauswertung

Wir vergleichen Kühler unter voller CPU-Last sowohl bei voller Lüfterdrehzahl als auch bei den erreichbaren normalisierten Geräuschpegeln. Geräuschnormierte Prüfungen zeigen, welche Kühler die beste thermische Leistung bei derselben Geräuschentwicklung aufrechterhalten. Die Lüfterdrehzahl, die ein Kühler bei einem bestimmten Geräuschpegel verwenden kann, ist ein Faktor für diese Leistung, neben dem Lüfterdesign, dem Kühlkörper oder Radiator, der Pumpe und der Montage.

Zum Beispiel kann bei 30 dBA ein Kühler seine Lüfter mit 1000 RPM und ein anderer mit 1400 RPM betreiben. Wenn die Lüfter ähnliche Eigenschaften haben, kann die höhere Drehzahl

mehr Luftstrom und statischen Druck bereitstellen, was bei dicht stehenden Lamellen helfen kann. Die Lüfterdrehzahl allein stellt jedoch die Gesamtleistung des Kühlers nicht fest; wir vergleichen die gemessene Leistung, Frequenz und Temperatur zusammen.

Wir erfassen die CPU-Leistung, die Taktfrequenz und die Temperatur während jeder Ausführung und verwenden die Mittelwerte der letzten 4 Minuten für die berichteten Werte. Moderne Prozessoren passen ihre Frequenz an Last und Chiptemperatur an, sodass die Temperatur allein einen Unterschied in der Dauerleistung verbergen kann. Powenetics v2 misst die CPU-Leistung an den EPS-Anschlüssen kontinuierlich mit bis zu 250 Messungen pro Sekunde; wir interpretieren die erfasste Frequenz zusammen mit dieser gemessenen Leistung.

Wir definieren die Gesamtleistung (OP) als $OP = W \times F / T$. W ist die durchschnittliche CPU-Leistung in Watt, gemessen an den EPS-Anschlüssen durch Powenetics v2, F ist die durchschnittliche CPU-Taktfrequenz in MHz und T ist die durchschnittliche CPU-Temperatur in °C. Wir berechnen OP aus diesen Komponentenmittelwerten über die letzten 4 Minuten, anstatt momentane OP-Werte zu mitteln.

Das Produkt aus Leistung und Frequenz, geteilt durch die Temperatur, belohnt einen besseren Kühler auf beiden Plattformen: AMD läuft an seiner Temperaturgrenze von 95 °C, daher zeigt sich die Verbesserung als höhere Dauerleistung und höhere Taktfrequenzen, während Intel leistungsbegrenzt ist, sodass sich die Verbesserung als niedrigere Temperatur zeigt.

Der THETA-Kühlleistungsstandard

Wir haben THETA nach dem griechischen Buchstaben Theta benannt, dem Symbol, das Ingenieure für den thermischen Widerstand verwenden. Dieser Cybenetics-Standard bewertet die Gesamtleistung eines Kühlers bei einer normierten Geräuscentwicklung von 30 dBA, wobei die OP-Definition im Abschnitt zur Datenauswertung verwendet wird.

Wir haben 30 dBA gewählt, weil zwei Lüfter auf dem Referenzpegel von 25 dBA bei PHI zusammen etwa 28 dBA ergeben, während drei Lüfter etwa 30 dBA ergeben. Jeder Kühler, den wir bisher getestet haben, hat ein gemessenes Ergebnis auf diesem Pegel oder bei 25 dBA über den unten beschriebenen Weg für Kühler, die 30 dBA nicht erreichen können. Eine Leistungsstufe wird nur vergeben, wenn dieses Ergebnis mindestens die Bronze-Anforderung der Klasse des Kühlers erfüllt.

Luftkühler und AIO-Flüssigkeitskühler werden in zwei getrennten Klassen bewertet, jede mit eigenen Anforderungen, und jede Klasse hat ein Schema für jede Testplattform: insgesamt vier Schemata. Das Badge benennt die Klasse sowie den CPU-Hersteller und den Sockel, beispielsweise THETA Gold · Air · AMD AM5 oder THETA Gold · AIO · Intel LGA1851. Der Bericht benennt auch die Test-CPU: AMD Ryzen 9 7900X oder Intel Core Ultra 9 285K, entsprechend. Das Badge trägt kein Jahr.

Ein Kühler, der 30 dBA nicht erreichen kann, wird anhand seines eigenen gemessenen 25 dBA-Punktes gegenüber den 25 dBA-Anforderungen bewertet. Der Bericht gibt an: „bei 25 dBA bewertet“. Dieser Weg erfordert einen gemessenen 25 dBA-Punkt; wir schätzen die Leistung des Kühlers bei 30 dBA nicht. Ein Kühler, der nicht so leise wie 30 dBA laufen kann, erhält keine Leistungsstufe.

Die 25 dBA-Anforderungen drücken dieselben Leistungsstufen bei der geringeren Geräuschentwicklung aus. Wir haben sie abgeleitet, indem wir jeden 30 dBA-Schwellenwert durch das Median-Verhältnis OP30/OP25 der Kühler geteilt haben, die bei der Festlegung dieser Anforderungen an beiden Punkten gemessen worden waren, 1.0140 für AMD (45 Kühler) und 1.0212 für Intel (11 Kühler), und das Ergebnis auf das nächstgelegene Vielfache von 50 gerundet haben. Diese Verhältnisse und die aufgeführten Anforderungen sind für diese Revision festgelegt. Die Verhältnisse legen nur die Anforderungen fest; die Bewertung verwendet immer die eigene 25 dBA-Messung des Kühlers.

Ein AIO-Flüssigkeitskühler mit großem Radiator führt bei gleicher Geräuschentwicklung erheblich mehr Wärme ab als ein Luftkühler, daher wird jeder Kühler mit Kühlern seiner eigenen Art verglichen. Wir haben die Diamond-Anforderung jeder Klasse etwa 2.5% über dem besten Kühler dieser Klasse festgelegt, den wir bei der Veröffentlichung dieser Revision getestet hatten, sodass Diamond ein Ziel für die allerbesten Kühler ist. Bei AMD folgen die niedrigeren Stufen der gemessenen Streuung jeder Klasse.

THETA – Air · AMD AM5 Leistungsstufen/Anforderungen – 30 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufe	Anforderung
Bronze	≥9,000 & <9,500
Silver	≥9,500 & <10,000
Gold	≥10,000 & <10,250
Platinum	≥10,250 & <10,500
Titanium	≥10,500 & <11,000
Diamond	≥11,000

THETA – Air · AMD AM5 Leistungsstufen/Anforderungen – 25 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufe	Anforderung
Bronze	≥8,900 & <9,350
Silver	≥9,350 & <9,850
Gold	≥9,850 & <10,100
Platinum	≥10,100 & <10,350
Titanium	≥10,350 & <10,850
Diamond	≥10,850

THETA – AIO · AMD AM5 Leistungsstufen/Anforderungen – 30 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufe	Anforderung
Bronze	≥10,050 & <10,500
Silver	≥10,500 & <11,000
Gold	≥11,000 & <11,550
Platinum	≥11,550 & <11,900
Titanium	≥11,900 & <12,350
Diamond	≥12,350

THETA – AIO · AMD AM5 Leistungsstufen/Anforderungen – 25 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufe	Anforderung
Bronze	≥9,900 & <10,350
Silver	≥10,350 & <10,850
Gold	≥10,850 & <11,400
Platinum	≥11,400 & <11,750
Titanium	≥11,750 & <12,200
Diamond	≥12,200

THETA – Air · Intel LGA1851 Leistungsstufen/Anforderungen – 30 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufe	Anforderung
Bronze	≥12,000 & <12,650
Silver	≥12,650 & <13,350
Gold	≥13,350 & <13,700
Platinum	≥13,700 & <14,050
Titanium	≥14,050 & <14,350
Diamond	≥14,350

THETA – Air · Intel LGA1851 Leistungsstufen/Anforderungen – 25 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufe	Anforderung
Bronze	≥11,750 & <12,400
Silver	≥12,400 & <13,050
Gold	≥13,050 & <13,400
Platinum	≥13,400 & <13,750
Titanium	≥13,750 & <14,050
Diamond	≥14,050

THETA – AIO · Intel LGA1851 Leistungsstufen/Anforderungen – 30 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufe	Anforderung
Bronze	≥13,400 & <14,000
Silver	≥14,000 & <14,650
Gold	≥14,650 & <15,400
Platinum	≥15,400 & <15,850
Titanium	≥15,850 & <17,150
Diamond	≥17,150

THETA – AIO · Intel LGA1851 Leistungsstufen/Anforderungen – 25 dBA normalisierte Geräuschentwicklung

Leistungsstufe	Anforderung
Bronze	≥13,100 & <13,700
Silver	≥13,700 & <14,350
Gold	≥14,350 & <15,100
Platinum	≥15,100 & <15,500
Titanium	≥15,500 & <16,800
Diamond	≥16,800

Bei Intel folgt Diamond derselben Regel wie bei AMD. Die niedrigeren Intel-Anforderungen haben wir aus den AMD-Anforderungen mit dem Median des Verhältnisses der Gesamtleistung von Intel zu AMD in jeder Klasse übernommen, 1.336 für Luftkühler und 1.331 für AIO-Kühler, ermittelt an den auf beiden Plattformen getesteten Kühlern. Wir werden die Intel-Anforderungen überprüfen, sobald 25 Kühler Intel-Ergebnisse haben. Jede Änderung wird in einer neuen Revision veröffentlicht.

Die Anforderungen gehören zur Testplattform. Eine Bewertung bleibt für den auf ihrem Badge genannten Hersteller und Sockel gültig. Wenn wir eine Plattform ersetzen, leiten wir neue Anforderungen ab, indem wir eine Reihe von Kühlern auf der alten und der neuen Plattform testen, damit jede Leistungsstufe ihren Stand behält.

Wir behalten einen Kontrollkühler für die Lebensdauer jeder Plattform bei. Wir testen ihn periodisch und nach jeder Plattformänderung, einschließlich BIOS, CPU-Exemplar, Mainboard oder Wärmeleitpaste, und verfolgen seine Ergebnisse auf einer Kontrollkarte.

Wir verleihen THETA-Stufen durch einfache Akzeptanz: Wir vergleichen die gemessene OP direkt mit den entsprechenden Anforderungen. Werte unterhalb der Bronze-Anforderung erhalten keine Leistungsstufe.

THETA ist eine Cybenetics-Leistungsbewertung. Sie ist nicht Teil unserer ISO/IEC 17065-Zertifizierungsschemata und liegt außerhalb unserer Akkreditierung.

Kühler, die vor Revision 2.0 geprüft wurden

Wir wiesen den Kühlern, die wir vor Revision 2.0 geprüft hatten, ebenfalls THETA-Stufen zu, basierend auf ihren veröffentlichten Ergebnissen bei 30 dBA bzw. bei 25 dBA gemäß der obigen Regel. Diese Kühler wurden nicht erneut gemessen. Ihre Ergebnisse stammen aus dem Verfahren der Revision 1.8, bei dem bei jedem Geräuschpegel 20 Minuten lang geprüft wurde und anschließend eine 10-minütige Abkühlphase folgte; das frühere Verfahren ist daher nicht identisch mit dem aktuellen Verfahren. Ihre Bewertungsberichte weisen neben der THETA-Stufe darauf hin.

Mit Revision 2.2 (Oktober 2026) haben wir THETA in die Klassen Luftkühler und AIO aufgeteilt, jede mit neuen Anforderungen. Jeder bereits bewertete Kühler wurde anhand seiner vorhandenen Messwerte nach den neuen Anforderungen neu bewertet; kein Kühler wurde erneut gemessen.

Epilog

Die Bewertung von Kühllösungen erfordert Aufmerksamkeit für die Wärmeleitpaste, den Kontakt des Kühlers mit der CPU, seine vorgesehene Montage, die Lüftereinstellungen und die Montage der Lüfter. Jedes Detail beeinflusst das Ergebnis. Auf einer realen CPU können wir keine beliebige Wärmelast einstellen, daher messen wir die CPU-Leistung an den EPS-Anschlüssen mit Powenetics v2, mit bis zu 250 Messungen pro Sekunde, und bewerten sie zusammen mit der Dauerfrequenz und Temperatur.

Die Geräuschentwicklung ist ebenfalls zentral für eine nützliche Kühlerbewertung. Ein lauter Kühler kann bei voller Drehzahl eine bessere Leistung erzielen als ein leiser, aber viele Benutzer möchten eine effektive Kühlung bei einem niedrigen Geräuschpegel. Wir veröffentlichen daher geräuschnormierte Ergebnisse neben den Ergebnissen bei voller Drehzahl und verwenden THETA, um die gemessene Leistung auf der genannten Testplattform auszudrücken.

Literaturverzeichnis

- [1] <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)
- [2] <https://www.picotech.com/data-logger/picolog-tc-08-thermocouple-data-logger> (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
- [3] <https://www.wsn.gr/shop/powenetics-powenetics-v2-power-measurements-device/> (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)
- [4] <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)
- [5] <https://www.hbkworld.com/en/products/transducers/acoustic/acoustic-calibrators/microphone/4231> (zuletzt abgerufen am 3. Oktober 2026)