

PCGH

PC Games Hardware

Heimnetzwerk

Teil 3

Praxis



S. 74

Perfekter PC

Clever Strom sparen 18 Seiten zu GPUs & CPUs

Kühler-Test 19 Seiten zu Luft- & Wasserkühlern



Gaming-Duo unter 350 Watt: 7800X3D + 4090

S. 8

480 Grafikkarten im PCGH-Vergleich

Rangliste & Effizienz: Wie viel Strom schlucken Grafikkarten seit 2009? S. 34

Bereit für die Unreal Engine 5?

Next-Gen-Spiele: PCGH klärt, ob Ihre Grafikkarte für neue Spiele reicht S. 14

CPU-Kühler im Test: 9x Luft und 10x Wasser



Showdown: Diese Kühler sind die besten fürs Geld S. 52 / 62

€ 6,99 | Ausgabe 01/2024
Österreich € 7,50 | Schweiz sfr. 10,80 |
Benelux € 8,20 | Italien, Spanien € 9,00



S. 88

16x ATX-3-Netzteile

Vergleich

Praxis

Bilder mit KI erzeugen

S. 46

Wissen

Daten via Glasfaser

S. 82

LINUX MAGAZIN



SICHERN SIE SICH JETZT IHR GESCHENK!

EIN AMAZON-GUTSCHEIN ÜBER 5,00 €

LINUX MAGAZIN
Mit DVD

DELUG-DVD
Doppelseitiger Datenträger s. 33

Devuan 5.0.0
Debian-Abieger ohne Systemd mit Kernel 5.14.8, SysVinit, OpenRC, Plank, Bootless Startx und mehr

FOSS-Security
Vergleichsstelle der Uni Bonn über die Sicherheit von proprietärer und freier Software als F-Book (PDF)

Software & Tools
Kivy s. 74
Frees Python-Framework

Managed Service & Support
Linux Server • Desktop, OpenStack, Ceph, Kubernetes, OpenShift, Rancher, Ansible, Puppet & vieles mehr

Lohnenswertes Update: Neues in Java 21 s. 74

Firecracker s. 52
Mit Vollvirtualisierung kurzfristig auftretende Lasten effizient auffangen

Software Design Patterns
Mit Entwurfsmustern bei der Softwareentwicklung wertvolle Erfahrungen speichern und immer wieder nutzen ab s. 16

Slack-Alternativen für mehr Privacy s. 58
Fünf handliche Open-Source-Lösungen, mit denen Sie beim Firmen-Chat volle Kontrolle über Ihre Daten behalten

Infotainment
Datenträger enthält nur Lehr- oder Infoprogramme

Deutschland € 10,99 Österreich € 11,90 Schweiz sfr 16,80 Benelux € 12,50 Spanien € 13,00 Italien € 13,00

4 196892 710991 1 2

**33%
Rabatt**

**TESTEN SIE
3 AUSGABEN
FÜR 21,00 €**

OHNE DVD 17,00 €

ABO-VORTEILE

- Günstiger als am Kiosk
- Versandkostenfrei bequem per Post
- Pünktlich und aktuell
- Keine Ausgabe verpassen

Telefon: 0911 / 9939 90 98

E-Mail: computec@dpv.de

Einfach bequem online bestellen: shop.linux-magazin.de

Logbuch #279: Von Gurken und Juwelen, Ausblick auf 2024



Thilo Bayer
Chefredakteur
PC Games Hardware

Von Gurken und Juwelen: Es fällt mir schwer, das bald ablaufende PC-Spielejahr 2023 zu bewerten. Das Problem ist, dass ich einfach keine Konstanz erkennen kann. Es gibt unzweifelhaft wirklich gute Titel, auch von großen Publishern. Dazu zähle ich unter anderem Hogwarts Legacy, das Resident Evil 4 Remake, Baldur's Gate 3, Cyberpunk 2077 Phantom Liberty oder auch Alan Wake 2. Es gab aber auch einige PC-Spiele, die ich eher als Enttäuschung einordnen würde. Mir fallen spontan Cities Skylines 2, Starfield, Call of Duty Modern Warfare 3, Redfall oder auch Der Herr der Ringe Gollum ein. Die Enttäuschungen rühren dabei nicht nur von technischen Problemen her, sondern auch von fragwürdigen Gameplay-Entscheidungen. Mein persönliches Spiel des Jahres habe ich noch nicht genannt: Mir hat als alter Jagged-Alliance-Fan das Reboot der Serie mit JA3 sehr gut gefallen, vor allem im Koop. Wenn ich mir für 2024 eine Sache wünschen würde, dann, dass vor allem die großen Publisher wieder mehr auf ihre Fans hören und vor allem keine halbgaren Spiele final für 70 Euro veröffentlichen, weil es der Zeitplan so will. Es wäre natürlich naiv zu glauben, dass 2024 keine Spielegurken mehr erscheinen, aber ich finde, dass 2023 einfach zu viele davon erschienen sind. Das schadet letztendlich auch dem PC als Spieleplattform. Was sagen Sie zum Spielejahr 2023? Schreiben Sie mir Ihre Meinung an post@pcgh.de.

Ausblick auf 2024: Der Produktionskalender will es so, dass die vor Ihnen liegende PCGH 01/24 die letzte Ausgabe des Jahres 2023 am Kiosk ist. Sprich: In der kommenden Ausgabe ist schon das Jahr 2024 eingeläutet worden. Ich wünsche Ihnen deshalb schon jetzt besinnliche und ruhige Feiertage und einen guten Rutsch ins neue Jahr. Hardware-technisch startet 2024 wohl direkt mit einer Neuauflage bei Nvidia-GPUs, dem Super-Refresh. Auch wenn diese RTX-40-Varianten das Rad nicht neu erfinden werden, es besteht eine gewisse Chance, dass Nvidia mit vernünftigen Preisen auf die Spieler zugeht und damit auch mir Argumente liefert, meine bisherige RTX 2070 Super vielleicht gegen eine RTX 4070 Super zu tauschen. Ich bin sehr gespannt darauf, auch auf AMDs weitere Pläne für den Sockel AM4. Was erwarten Sie von 2024? Schreiben Sie mir Ihre Meinung an post@pcgh.de.

Viel Spaß mit der Ausgabe Nummer 279 wünscht Ihr

Thilo Bayer

PCGH
WLP



<http://www.pcgh-gear.de>

Sonder-
heft #2



www.pcgh.de/sohe



WTF: Advent Advent, kaputte Hardware brennt. PCGH feiert Jesu Geburt im eigenen Stil.



Stö und Phil: Um die Reviere der Redakteure zu trennen, wurde eine Schrebergartenhecke aufgestellt.



Virtual Hacker Felix bei seinem Nebenjob nachts in der Redaktion mit der Quest 3.

Die Redaktion im November 2023

+++ **Torsten** testet endlich wieder CPU-Wasserkühler +++ **Raff** möchte ins Guinness-Buch der Rekorde mit einer ausgedehnten Watt-Wanderung +++ **Phil** spielt die Spiele der Zukunft +++ **Richie** ist elektrisiert von den neuen ATX-3-Netzteilen +++ **Dave** zeigt effizient, was kaum einer glauben kann +++ **Manu** verkabelt noch immer sein Heim +++ **Jan** testet endlich Luftkühler +++ **Tristan** erklärt als Edel-Praktikant, wie man aktuell geschmeidig KI-Bilder erstellt

Heftinhalt

SPECIALS

Der flüsterleise Mega-Effizienz-PC 08

Sie suchen einen High-End-Spiele-PC, der nur rund 350 Watt schluckt? Hohe Leistung ist tatsächlich auch sparsam und leise möglich.

Praxis: Next-Gen-Games eingestellt 14

Wir zeigen, wie Sie aktuelle UE5-Grafikkacher optimieren, um auch mit Mittelklasse-Hardware solide Performance zu erzielen. Darunter:

- Ark: Survival Ascended
- Lords of the Fallen
- Robocop: Rogue City
- The Talos Principle 2

GRAFIKKARTEN

Startseite 30

XXL-Ranglisten mit 30 Rasterizing- und 40 Raytracing-Grafikkarten.

Stromverbrauch von 480 Modellen 34

Unser großer Vergleichstest der Leistungsaufnahme von Grafikkarten seit 2009 bis heute.

Praxis: KI-Bildgenerierung – Teil 1 46

Sie möchten die ersten Schritte in der KI-Bilderstellung machen? Wir haben den passenden Einsteiger-Guide.

PROZESSOREN

Startseite 50

Kommentar: CPU-Flüsterer Dave zum Thema Hardware-Kauf, Leaks zu AMD Zen 5 & 6 und CPU-Index 2023 mit 30 CPUs im Vergleich.

Vergleichstest: CPU-Wasserblöcke 52

Wir geben Kaufempfehlungen für aktuelle CPU-Waterblocks. Dabei sind 10 Modelle:

- Alphacool Core 1 White
- Alphacool Eisblock XPX Deep Black
- Aquacomputer Cuplex Kryos Next Nickel/Nickel
- Bykski CPU-XPR-I-V3
- Corsair XC7 RGB Elite LCD stealth grey
- EK Water Blocks EK-Pro CPU WB LGA 1700
- EK Water Blocks Quantum Velocity² DRGB Nickel/Plexi
- Granzon GAIO.1 Silber
- Thermaltake Pacific MX2 Ultra
- Watercool Heatkiller IV Pro

Vergleichstest: High-End Luftkühler 62

Im Testlabor messen sich 9 High-End-Luftküh-

Vollgepackt bis oben hin

Zwischen Strom und Kühlung: Wie bekommt man einen High-End-Rechner mit GeForce RTX 4090 und Ryzen 7 7800X3D auch in Cyberpunk 2077 auf angenehme 350 Watt? Wie viel Strom schlucken Grafikkarten seit 2009 und welche Netzteilserien lohnen sich für wen? Welcher CPU-Wasserblock und -Kühler rentiert sich? Das und vieles mehr liegt in Ihren Händen!



ler für CPUs miteinander. Spannend: Ein Kühler lässt alle hinter sich. Vertreten sind:

- Alpenföhn Brocken 4 Max
- Arctic 34 Esports Duo
- Be Quiet Dark Rock Elite
- Be Quiet Dark Rock Pro 5
- Cooler Master MA824
- Deepcool Assassin IV
- Jonsbo HX7280
- Montech Metal DT 24 Premium
- Noctua NH-D15

- Be Quiet Dark Power 13 – Titanium
- Be Quiet Straight Power 12 – Platinum
- Corsair HX1000i 2023 – Platinum
- Corsair RM1000e – Gold
- Enermax Revolution D.F. 2 – Gold
- Enermax Revolution D.F. X – Gold
- FSP Hydro Ti Pro – Titanium
- Seasonic Focus GX – Gold

INFRASTRUKTUR

Startseite 72

Im Einzeltest: Corsairs höhenverstellbarer Tisch Platform: 6, Razers Cobra Pro Gaming-Maus. Außerdem: sparsame Ryzen-Notebooks.

Wissen: Heimverkabelung – Teil 3 74

Der dritte Artikel zum Thema Heimnetzwerk, diesmal mit Fokus Home Server.

Basiswissen: Glasfaserleitungen 82

Alles, was Sie schon immer über Glasfaserkabel wissen wollten.

Test: Netzteile mit ATX 3.0 – Teil 2 88

ATX 3.1 ist nicht zu kaufen und ATX 3.0 gibt es in Massen. Was taugen die 1.000-Watt-Modelle? Unter anderem im Test enthalten:

EINKAUFSFÜHRER

Projekt-PCs.....	104
EKF-Startseite	105
Grafikkarten	106
Prozessoren & RAM.....	107
Kühlung	108
Kompakt-Wasserkühlung & Mainboards.....	109
Monitore & Eingabegeräte.....	110
Festplatten & SSDs	111
Gehäuse, Netzteile & Sound.....	112

SERVICE

Editorial	03
Inhalt Heft.....	04
DVD-Inhalt	06
PCGH-Produkte.....	61, 95, 115
Teamseite	102
Vorschau & Impressum	114

1&1 Glasfaser

Dauerhaft günstiges Highspeed-Internet
mit bis zu 1 GBit/s.*

1&1 – Immer wieder besser.

29,99 €/Monat*

DAUERHAFT GÜNSTIG

1&1 Glasfaser 50

AKTION

**1&1 trägt die
Baukosten***



1und1.de
0721 / 960 6060

1&1

*1&1 Glasfaser 50 für 29,99 €/Monat. Dauerpreis: Kein Preissprung während der gesamten Laufzeit. Internet-Flat: Unbegrenzt surfen bis zu 50 MBit/s. Glasfaser-Tarife bis 1.000 MBit/s in vielen Regionen möglich. Sofern keine Glasfaserleitung vorhanden: Ausbau und Eigentümergenehmigung erforderlich. Aktion: Baumaßnahmen kostenfrei. Für alle Tarife gilt: Telefon-Flat ins dt. Festnetz. Anrufe in dt. Mobilfunknetze 19,9 ct/Min. Mögliche Hardware: z. B. 1&1 HomeServer+ für 6,99 €/Monat. Versand: einmalig 9,90 €. Bereitstellung: einmalig 69,95 €. Mindestlaufzeit: 24 Monate. Abbildung ähnlich, Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Preise inkl. MwSt. 1&1 Telecom GmbH, 56403 Montabaur. WEEE-Reg.-Nr. DE13470330





Hefte-DVD

Spiele-Vollversion

■ The Ascent

4 Videos aus der Redaktion

- Grafikpracht Alan Wake 2: GPU-Anforderungen beleuchtet
- Raptor Lake Refresh im Test: 14900K, 14700K und 14600K
- Unreal Engine 5: Ist Ihre Grafikkarte gewappnet?
- Cities Skylines 2: Der holprige Performance-Start

Specials

- DVD-Inlay zum Ausdrucken
- PDF-Artikel: Praxistipps für Geforce RTX 4080/4090 mit Stromverbrauch, Wärme und Tuning; Aufrüstbericht Geforce RTX 4090; Netzteile mit ATX 3.0 im Test – Teil 1; Tuning von AMD Ryzen 7 7800X3D; Aufrüstbericht zum Ryzen 7 7800X3D; ATX 3.1 und 12V-2×6 erklärt

Aktuelle Tools & Grafikkartentreiber

- GPU-Z 2.55.0, Nvidia Inspector 1.9.8.1, PCGH-„Furmark“ VGA-Tool 1.0.1, Sapphire Trixx 9.5.0
- AS-SSD Benchmark 2.0.7316, CapFrameX 1.7.2.17, Cinebench R20 & R15, Fraps 3.5.99, Prime 95 30.8, Super Pi 2.1
- CPU-Z 2.08, Core Temp 1.18, HD-Tune 2.55/5.75 Trial, Speedfan 4.52, Sysinternals Suite (September 2023)

Feedback im PCGH-Forum

Im Online-Forum von PC Games Hardware können Sie uns bequem Rückmeldung geben, welche Inhalte von Heft und DVD Ihnen gefallen haben. Dazu starten wir jeden Monat Umfragen und ein Feedback-Sammelthema. Durch Ihre Teilnahme helfen Sie uns, die Themenauswahl von PCGH besser auf die Wünsche der Leser abzustimmen – die einzige Voraussetzung ist ein kostenloser Foren-Account, der mit wenigen Mausklicks eingerichtet ist.

www.pcgh.de/feedback



Alan Wake 2 Grafik-Traum

Grafikpracht Alan Wake 2: Welche GPUs packen's?
Nach 10 Jahren liefert Remedy den zweiten Teil des Horror-Spiels. Unsere Benchmarks zeigen, wie hungrig die Grafikerle ist.



CPU-Härtetest 14700K oder 7800X3D?

Intel Raptor Lake Refresh: 14900K, 14700K und 14600K
Die frisch aufgebrihte Raptor-Lake-Generation wirkt unnötig, da die Specs mit der 13. Generation übereinstimmen. PCGH macht den Test.



Grafikkarte bereit Für Unreal Engine 5?

Unreal Engine 5 macht sich breit
Welche Ansprüche bringt die Unreal Engine 5 mit sich? Im Technik-Test von Lords of the Fallen und Immortals of Aveum finden wir es heraus!



Cities: Skylines 2 Hardware-Sprenger?!

Cities Skylines 2: Noch ein Hardware-Fresser
Fans von Aufbau-Spielen wird es mit dem Start von Cities Skylines 2 nicht einfach gemacht. So sieht die Performance derzeit aus.

Die DVD läuft nicht? Kein Problem! Schreiben Sie eine E-Mail mit Ihrer genauen Anschrift (Name, Straße, PLZ, Wohnort) und der Ausgabennummer unter dem Betreff „PC Games Hardware: DVD-Reklamation“ an computer@pvh.de.

The Ascent

Installation

Bei unserer Vollversion zu The Ascent handelt es sich um einen Gratis-Code für Gamesplanet.com. Dazu geben Sie den Code auf unserer Codekarte unter www.pcg.de/codes ein. Den Code, den Sie dort erhalten, geben Sie dann bei Gamesplanet als Rabatt-Code an, nachdem Sie das Spiel in Ihren Warenkorb gelegt haben, und erhalten dann dort einen Steam-Code für das Spiel.

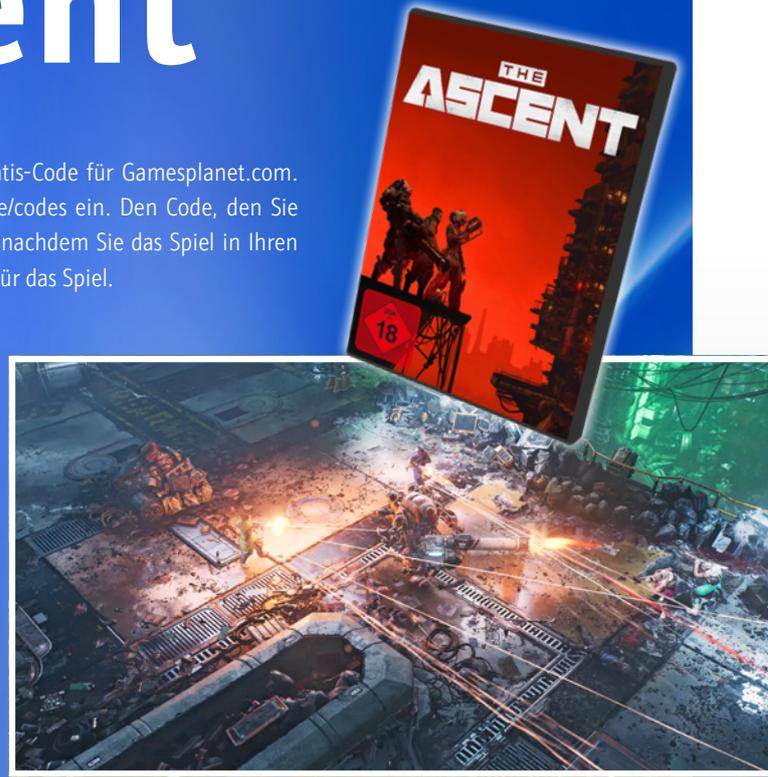
Fakten zum Spiel

- Genre: Action-Rollenspiel
- Publisher: Curve Games
- Veröffentlichung: 29. Juli 2021

Systemvoraussetzungen

Mindestens: Windows 10 64-bit, Intel Core i5-3470/AMD FX-8350, 8 GB RAM, Geforce GTX 660/Radeon R9 390X, 35 GB freier Festplattenspeicher (Herstellerangaben)

Empfohlen: Windows 10 64-bit, Intel Core i7-6700K/AMD Ryzen 5 2600, 16 GB RAM, Geforce GTX 1070/Radeon RX 5700, 35 GB freier Festplattenspeicher (Herstellerangaben)



Bitte beachten Sie, dass wir aus rechtlichen Gründen im Heft keinen direkten Installationsschlüssel abdrucken. Den Key erhalten Sie, indem Sie die Ziffernfolge auf der Codekarte (S. 66/67) auf www.pcg.de/codes (NICHT: pcgames.de) umwandeln. Der Key, den Sie dort bekommen, läuft aus rechtlichen und/oder technischen Gründen nach rund 6-7 Monaten ab. Bei dieser Vollversion lautet das Enddatum 30.04.2024. Bitte lösen Sie den Code daher rechtzeitig bei Gamesplanet ein.



High End geht sparsam!

Der geliebte Gaming-Rechner schluckt zu viel Strom? PCGH beweist: Selbst mit einer GeForce RTX 4090 und einem Ryzen 7 7800X3D können Sie weit unter 400 Watt bleiben. Wir zeigen, wie Sie effizienter spielen.

Es ist nicht immer ganz einfach bei einem Neukauf von PC-Hardware zu entscheiden, wie groß das neue Netzteil ausfallen soll. Reichen 600 Watt oder investiert man doch lieber in ein Polster von 850 oder gar 1.000 Watt? Die Vergangenheit zeigt schließlich, dass neue Grafikkarten und Prozessoren, jene Teile, welche den Löwenanteil an der Leistungsaufnahme eines Spiele-PCs ausmachen, immer höhere TDP-Limits erhalten. Doch bevor wir jetzt zum Hauptteil kommen, müssen wir erst über die verschiedenen Begriffe sprechen, die sich unter dem Banner des „Power Limit“ vereinen. Wenn wir von TDP im Kontext der Leistungsaufnahme sprechen, dann meinen wir dabei eigentlich nicht die Thermal Design Power, mit der in der

Elektronikindustrie ein maximaler Wert für die thermische Verlustleistung elektrischer Bauteile bezeichnet wird. AMD, Intel und Nvidia nutzen verschiedene Angaben, um den typischen Verbrauch ihrer Produkte zu beschreiben: Total Board Power (TBP), Total Graphics Power (TGP), Package Power Tracking (PPT) oder ganz schlicht Power

Limit 1 und 2 (PL1/PL2), ab Alder Lake Processor Base Power und Maximum Turbo Power (PBP/MTP). TBP (AMD Radeon) und TGP (Nvidia GeForce) bezeichnen dabei die Leistungsaufnahme der gesamten Grafikkarte inklusive Lüfter, Beleuchtung und weiteren Posten, welche mit dem PCB verkabelt oder verlötet sind. PPT (AMD-Prozesso-

ren) beschreibt die maximale Leistung, die eine CPU verbrauchen kann und wird in Watt angegeben. PPT liegt bei Ryzen-Prozessoren immer über der TDP. Intel löst die Sache wieder anders: Das PL1 entspricht dabei der TDP, das PL2 ist dagegen der Wert, der bei Intel je nach CPU-Klasse für zwei bis 56 Sekunden anliegen darf, bevor auf PL1 limitiert wird. PBP und MTP ersetzen ab Alder Lake PL1 und PL2 und es gilt bei K-CPU: PL1=PL2, also PBP=MTP. So beschreibt Intel bei einem Core i9-12900K als Beispiel zwar die TDP mit 125 Watt, die CPU besitzt jedoch eine MTP von 253 Watt. Die TDP beträgt somit eigentlich 253 Watt. AMD ist auch nicht besser: Ein Ryzen 9 7950X wird mit einer TDP von 170 Watt angegeben. Der Kunde denkt,

Artikelpaket auf der Heft-DVD



Mehr Daten, mehr Infos, mehr Tuning: Auf der Heft-DVD finden Sie nicht nur die Aufrüstberichte unserer Fachredakteure zu den hier verbauten Komponenten, sondern auch Praxistipps sowie Tuning-Guides über mehrere Artikel hinweg. Reinschauen lohnt sich!



dass die CPU nun 170 Watt verbrauchen würde. Tatsächlich liegt die PPT jedoch bei 230 Watt. Das ist das, was sich die CPU-Kerne tatsächlich genehmigen dürfen. Bei AMD Ryzen müssen Sie die TDP mit 1,35 multiplizieren, dann wissen Sie den PPT-Wert Ihrer CPU.

Doch niemand nimmt es Ihnen übel, wenn Sie da nicht mehr durchblicken. Wir halten es daher einfach: Die für diesen Artikel relevanten Parameter für die Leistungsaufnahme sind nur PPT für den Ryzen-Prozessor und TGP für die Nvidia-Grafikkarte. Wir schlagen jedoch zwei Fliegen mit einer Klappe und geben einfach die Gesamt-Leistungsaufnahme des gesamten Systems in Watt an, direkt gemessen an der Steckdose. Anhand der Benchmarks und Tests beschreiben wir später, welches Bauteil welchen Anteil daran trägt. Das Ziel für diesen Artikel war es schließlich einen PC zu bauen, der mit maximal möglicher Effizienz aufwartet. Da wir ein Spiele-Hardware-Magazin sind, meinen wir damit natürlich die Leistung (Fps) pro Watt. Wir vergleichen zwei Profile miteinander: Die Ausgangsbasis, wo alles auf „Automatisch“ konfiguriert ist, und unsere handgeschmiedete, in jeder Hinsicht optimierte Konfiguration für Prozessor, Mainboard, Arbeitsspeicher, Grafikkarte und Kühlung. Wir zeigen Ihnen anhand von UEFI-Bildern, welche Änderungen wir im Einzelnen vorgenommen haben und gehen auch andere Optimierungen Schritt für Schritt durch, sodass Sie sie nachstellen können.

Das Ziel: maximale Effizienz

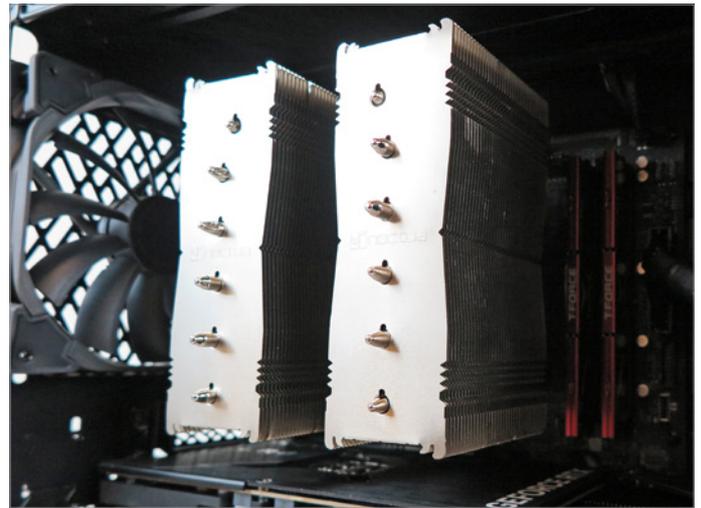
Wir haben Ihnen unter 400 Watt mit High-End-Hardware versprochen. Um das einzulösen, gibt es zwei Komponenten, auf die wir dafür zurückgreifen müssen: Ryzen 7 7800X3D und RTX 4090, bei uns durch die PNY Geforce RTX 4090 XLR8 Gaming Verto Epic-X RGB verkörpert. Die Auswahl der restlichen Hardware ist dabei schmuckes Beiwerk. Das Board, ein Asrock B650E Phantom Gaming Riptide WiFi, hat sich im Test in Ausgabe 02/2023 als besonders sparsam herausgestellt, wohingegen die Wahl des Arbeitsspeichers für unser Vorhaben so gut wie keinen Einfluss auf die Leistungsaufnahme hat. Den Prozessor kühlen wir passiv,

mit dem mächtigen Kühlkörper des Noctua NH-D15S, und im Gehäuse, ein Fractal Design Define 7 in der PCGH-Edition, befinden sich hinten ein und vorn zwei 140er-Lüfter. Die Rolle des Netzteils übernimmt das durchweg effiziente Seasonic Prime TX-1000 (80 Plus Titanium), mit vorbildlichen Messergebnissen im Vergleichstest der Ausgabe 11/2022. Das TX-1000 bleibt in unserem Test auch bei niedrigen Lastszenarien von 25 Watt bei stolzen ca. 81 Prozent. Bei 90 Watt wären es bereits ca. 92 Prozent. Kurzum: Das Modell eignet sich als ruhiges, effizientes Beispiel dieses Projekts, auch wenn die 600er-Wattklasse in der Praxis völlig ausreichen würde. Ein Puffer ermöglicht hingegen später auch andere Hardware- und Tuning-Vorhaben und ist je nach Marktlage keine schlechte Entscheidung. Die Nennleistung hat zwar einen Einfluss auf den Wirkungsgrad, jedoch fällt dieser Effekt bei qualitativen Stromherzen kaum ins Gewicht. Zum Vergleich: Das EVGA Supernova GT 1000 liegt bei 25-Watt-Last bei tatsächlich nur ca. 59 Prozent Effizienz.

Das System muss sich mit den beiden Profilen in drei unterschiedlichen Tests beweisen. Als Referenz-Test verwenden wir den 3DMark Time Spy Extreme CPU-Benchmark, der Vollast beim Prozessor erzeugt. Beim zweiten Benchmark in Anno 1800 muss der Computer eine riesige Stadt mit über 100.000 Einwohnern berechnen. In Cyberpunk 2077 schließlich stellen wir mit höchster Raytracing-Konfiguration sicher, dass Prozessor und Grafikkarte kombiniert möglichst hoch ausgelastet werden. Jeder Test wurde mit einer vorherigen Aufheizphase von 45 Minuten getestet, da sich das Gehäuse und die Kühlkörper erst aufwärmen müssen, damit wir valide Daten erhalten. Eine Beobachtung der Lautheit, auch im Idle, rundet die Beobachtungen ab.

Erste Haltestelle: Grafikkarte

Das größte Einsparpotenzial finden Sie bei der Grafikkarte. Dabei spielt sie keine Rolle, auf welches Design Sie bei der RTX 4090 setzen. Des Weiteren können Sie unsere Optimierungen im Grunde auf jede andere Geforce-Grafikkarte ab der GTX-1000-Generation übertragen.



AMD empfiehlt zwar eine AiO, doch mit dem wuchtigen Doppel-Turm-Kühlkörper des NH-D15 kühlen wir unseren Ryzen 7 7800X3D einfach passiv.



Die PNY Geforce RTX 4090 XLR8 Gaming Verto Epic-X RGB kommt zum Einsatz, weil sie eines der leisesten Custom-Designs ist (siehe PCGH 01/2023).



Die „Phantom Gaming“-Serie von Asrock fand ihren Ursprung bei Grafikkarten, inzwischen gibt es auch viele ansprechende Mainboards dieser Marke.

Am Ende entscheidet die Güte des Grafikchips darüber, wie viel Takt Sie mit einer geringeren Spannung noch stabil in Spielen nutzen können. Um die folgenden Einsparmaßnahmen mit dem Curve-Editor durchzuführen, benötigen Sie den MSI Afterburner.

Nach einer Aufheizphase im Spiel Ihrer Wahl sollten Sie sich folgende Werte notieren: Taktfrequenz, Temperatur, Lüfterdrehzahl, Leistungsaufnahme und die Spannung. Ist das gemästert, schalten Sie bei offenem MSI-Afterburner-Fenster den Curve-Editor mit STRG+F frei. Die x-



Diese Änderungen im UEFI haben wir vorgenommen, um aus der regulären Maschine ein echtes Effizienz-Wunder zu machen. Wir erreichen damit sowohl im Idle als auch unter Last einen deutlich leiseren und sparsameren PC.

Achse ist die Spannung in Millivolt, die y-Achse die Taktfrequenz. Wählen Sie Ihre Wunschspannung und ziehen Sie den zugehörigen Block mit der linken Maustaste + Shift weit nach unten. Sie bewegen damit alle Blöcke. Nun lassen Sie Shift los und ziehen den einzelnen Block mit der gewünschten Spannung so weit nach oben, bis Sie links die gewünschte Taktfrequenz erreichen. Dann klicken Sie auf „Apply“ im Hauptfenster. Die Blöcke auf der rechten Seite sollten jetzt eine gerade Linie bilden, bis zum rechten Ende der Kurve. Sie erreichen damit unter Last eine feste Taktfrequenz bei fixer Spannung. Andernfalls würde die Grafikkarte zu jeder Zeit dafür sorgen, dass der Takt möglichst hoch ausfällt – auf Kosten der Effizienz. Wie das aussieht, können Sie auf der Seite gegenüber sehen.

In unserem Beispiel haben wir rund 2,3 GHz bei 0,860 Volt angepeilt. Ab Werk läuft die Grafikkarte bei 2,75 GHz und 1,050 Volt. Das mögen „nur“ 190 Millivolt sein, doch das Potenzial ist enorm: Die TGP beträgt statt 396 jetzt nur noch 251 Watt, während die Leistung nur um rund 14 Prozent geringer ausfällt. Allein diese Maßnahme sorgt für fast 36 Prozent höhere Fps pro Watt. Obendrein ist der Gesamt-PC nun mit extrem starken 0,3 statt 1,9 Sone (Abstand von 50 cm im frontalen 45-Grad-Winkel zur Systemseite) im Cyberpunk-Benchmark nach 45 Minuten beinahe unhörbar und die Grafikkarte befördert weniger Abwärme ins Gehäuse, was den CPU-Kühler und alle Elemente auf dem Mainboard ebenfalls entlastet. Die Lautheits- und Verbrauchswerte beschreiben bereits das vollständig optimierte Profil. Die Lautheitsdifferenz vom Faktor sechs ist im Alltag mit derselben Hardware ein gigantischer Unterschied, den man definitiv bemerken wird.

CPU-Tuning leicht gemacht

Um den Ryzen 7 7800X3D mit samt Mainboard zu optimieren, haben wir uns an den Erfahrungen aus dem Tuning-Artikel zur CPU der Ausgabe 10/2023 orientiert. Reines Übertakten kann jeder, das Meisterstück ist jedoch eine Optimierung „nach unten“, die auf die Bedürfnisse des Nutzers angepasst ist. Um die Leistungsaufnahme der CPU zu reduzieren, bedarf es

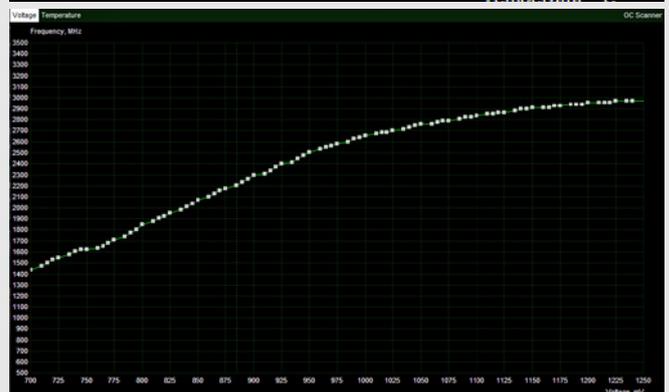
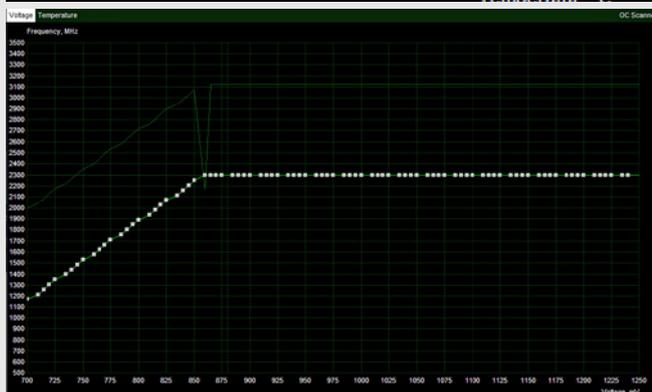
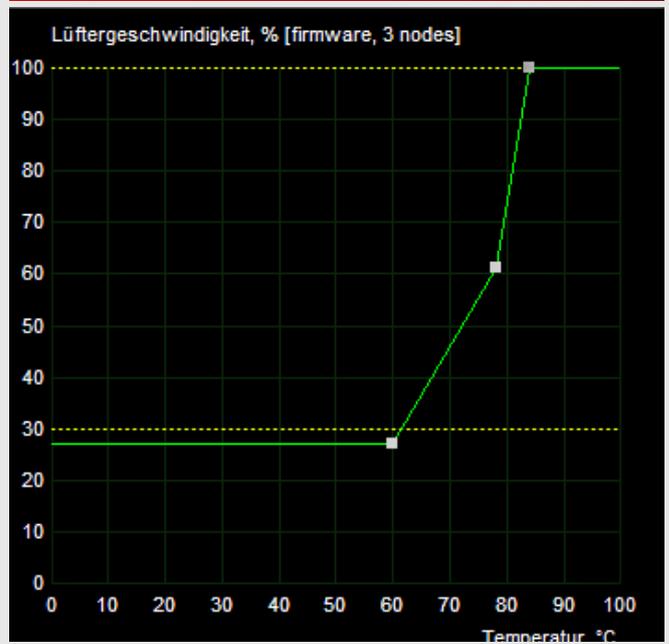
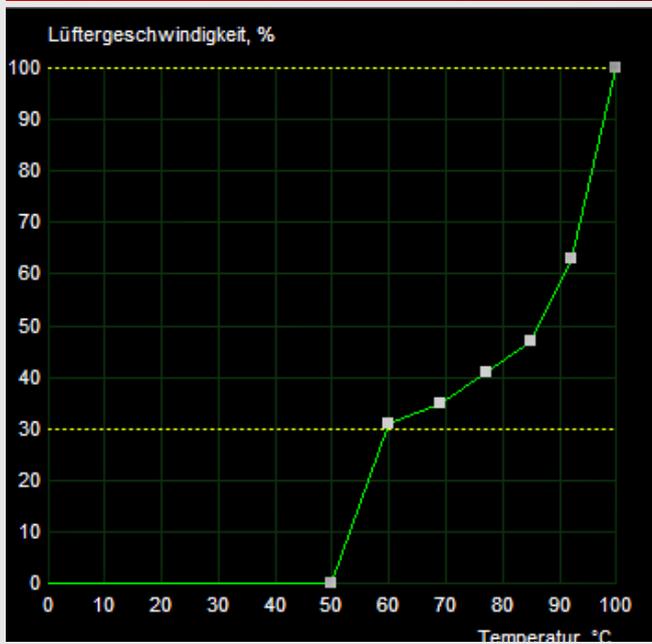
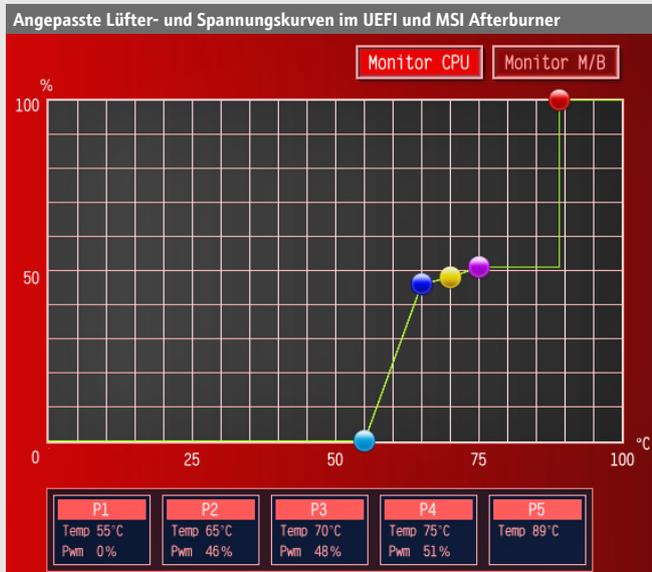
neben Stellschrauben beim Prozessor auch Handgriffe bezüglich des Mainboards. Diese muss auf Sie abgestimmt sein, da wir nicht wissen können, welche Schnittstellen Sie privat nutzen. Wie Sie im großen Bild mit all den Änderungen erkennen können, haben wir alles abgeschaltet, was wir nicht benötigen: Bluetooth, WLAN, die SATA-Ports, sämtliche RGB-Beleuchtung, den Core-Performance-Boost, SMT, den SoC/Uncore-OC-Modus und des Weiteren Sparoptionen aktiviert, wie den Power-Down-Mode beim Arbeitsspeicher, die PCI-E-Power-Management-Funktionen und deutlich niedrigere Spannungen für den SoC sowie die CPU-Kerne (mithilfe des Curve Optimizers) konfiguriert. Beim RAM haben wir den JEDEC-Standard mit DDR5-4800 geladen. Da der verbaute Ryzen-Prozessor auf den 3D-V-Cache setzt, ist schneller Arbeitsspeicher nicht so wichtig für eine hohe CPU-Leistung – der L3-Cache fängt Abfragen an den Speicher einfach ab.

Achtung: Sie können leider nicht einfach unsere Einstellungen 1:1 übernehmen. Gerade die Spannungen müssen vorher behutsam mit Teil- und Vollast auf Stabilität getestet werden, auch der Curve Optimizer. Das gilt ebenso für die Grafikkarte und den Arbeitsspeicher. Aber die Arbeit lohnt sich, wie unsere Werte Ihnen zeigen. Denn der Prozessor zeigt bei Anno 1800 immer noch eine sehr hohe Leistung. Wir verlieren zwar fast 16 Prozent der durchschnittlichen Bildrate, können die viel wichtigeren Frametimes (Perzentile) jedoch auf hohem Niveau halten.

Die reine CPU-Effizienz steigt im Benchmark um satte 33 Prozent. Die Leistungsaufnahme des Gesamtrechners beträgt bei Anno 1800 statt 167 nur noch 140 Watt, während die Lautheit von 1,6 auf unglaubliche 0,2 Sone sinkt. Das ist nahe an flüsterleiser Perfektion und nur in stiller Umgebung mit guten Ohren zu hören. So können Sie ganz ohne Störgeräusche die Stadt Ihrer Träume in Anno 1800 aufbauen und müssen sich obendrein weniger Gedanken um die Stromrechnung oder zu heiße Hardware machen. Und haben Sie keine Angst davor, einen Ryzen-Prozessor passiv

Mit angepassten Kurven sparsam und leise durch den Alltag

Wer sein eigenes System im ausgelieferten Zustand ohne weitere Tuning-Maßnahmen belässt, lässt immer Potenzial liegen – entweder im Bereich der Leistung (OC), der Effizienz (Undervolting/Abschalten nicht benötigter Dinge) oder insbesondere bei der Lautstärke. Es macht einen großen Unterschied, ob Sie während der Arbeit oder beim Spielen ständig vom Lüftergeräusch gestört werden oder nicht. Auch ein „Aufheulen“ der Lüfter lässt sich mittels korrekter Konfiguration verhindern.



zu kühlen. Selbst ohne Lüfter auf dem Kühlkörper brauchen Sie sich keine Sorgen über eine Überhitzung zu machen. Im 3DMark Time Spy Extreme Benchmark, der Volllast erzeugt, haben wir im Schnitt nicht mehr als 80 °C auf den CPU-Kernen gesehen. Im Eco-Profil liegt die Temperatur der CPU sogar dauerhaft im Bereich von maximal 60 °C. Das erreicht manch anderer Kühler nicht einmal mit Lüftern.

Die Optimierungen machen sich dann auch im Idle bemerkbar. Einerseits ist der PC lautlos, weil keine Lüfter drehen, andererseits konnten

wir die Leistungsaufnahme mit den Tuning-Maßnahmen um sieben Watt von 71 auf 64 Watt senken. Ab Werk, mit allen Einstellungen auf Auto, ist der PC mit 0,4 Sone im Idle dagegen in ruhiger Umgebung hörbar.

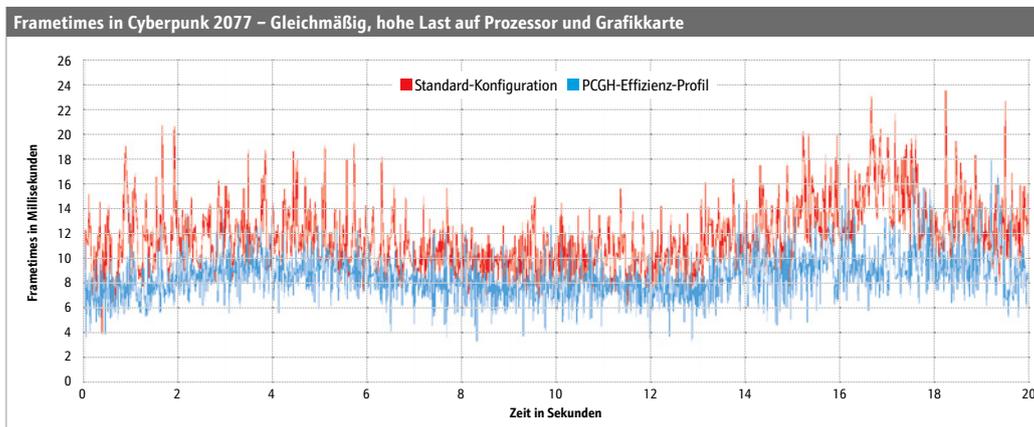
Nachmachen erlaubt – mit großartigem Ergebnis

Wir von der PCGH haben gut reden, nicht wahr? Schließlich wissen wir bereits ganz genau, wo wir ansetzen müssen und wie man so ein Unterfangen in die richtigen Bahnen lenkt. Doch Sie können das auch und wir hoffen, dass Ih-

nen unsere zahlreichen Bilder dabei helfen. Und dafür brauchen Sie auch nicht unbedingt einen Ryzen 7 7800X3D oder eine Geforce RTX 4090. Unser Beispiel soll jedoch aufzeigen, dass es möglich ist, die aktuell schnellste Hardware für Spieler mit (meist deutlich) unter 400 Watt zu betreiben. Tatsächlich beträgt die maximale Leistungsaufnahme, die wir in Cyberpunk 2077 bei sehr guter Auslastung der Hardware gemessen haben, handzahme 345 bis 350 Watt. Der komplette PC wurde dabei auch nach 45 Minuten bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C nicht lauter

als 0,3 Sone. Dies ist nur möglich mit modifizierten Lüfterkurven und deutlich weniger Spannung auf den Bauteilen. Doch die Leistung kümmert das wenig, denn selbst mit diesen Maßnahmen sind Ryzen 7 7800X3D und Geforce RTX 4090 noch performanter als 7700X und RTX 4080 – auch, wenn diese ebenfalls optimiert werden.

Wenn Sie das auch erreichen wollen, dann fangen Sie beim Mainboard an. Durchsuchen Sie das UEFI und schauen sich die ganzen verschiedenen Optionen an. Suchen Sie im Internet nach Tuning-Guides, die zu Ihrer Hardware passen. Gerade aufseiten der Grafikkarten gibt es zu jedem Modell spannende Lektüre zu entdecken. Auch die Qualität der Bauteile ist wichtig: Mit einem PC von der Stange, der im Handel verlockend günstig erscheint, holen Sie sich in der Regel nicht nur günstige, sondern vor allem billige Bauteile ins Haus. Wir konnten unseren PC deshalb so gut optimieren, weil wir ein hohes Mindestmaß an Qualität bestimmt haben. Achten Sie beim Kauf auf Markenprodukte, vor allem das Mainboard und das Netzteil sind am Ende wichtig für die Effizienz. *(dn/re)*



Anno 1800 im CPU-Benchmark nach 45 Minuten Aufwärmphase

1.280 × 720, maximale Details, DX12

7800X3D/4090 @ Standard	43	64,8 (Basis)
PCGH-Effizienz-Konfiguration	40	54,1 (-17%)

CPU GPU	Leistungsaufnahme*	Lautheit*	Temp. CPU GPU	Fps pro Watt, CPU
5,05 2,75 GHz	~170 Watt (Basis)	1,6 Sone (Basis)	82 °C 44 °C	1,270 (Basis)
4,20 2,30 GHz	~140 Watt (-18%)	0,2 Sone (-88%)	62 °C 39 °C	1,690 (+33%)

System: AMD Ryzen 7 7800X3D, Asrock B650E Phantom Gaming Riptide WiFi, PNY Geforce RTX 4090 XLR8 Gaming Verto Epix-X RGB, 32 GiB T-Force DDR5-5200/4800, Noctua NH-D15S (passiv), Seasonic Titanium TX-1000 Prime, 2 TiByte M2-SSD (Lexar), Fractal Design Define 7 PCGH-Edition, Umgebungstemperatur von 22 °C **Bemerkungen:** Die Perzentile sind kaum schlechter, doch die Effizienz sehr viel besser. *Gesamt-PC

P1 **Ø Fps**
▶ Besser

Cyberpunk 2077 als konkretes Spielebeispiel mit Praxisbezug nach 45 Minuten Aufwärmphase

2.560 × 1.440, „Raytracing Ultra“-Preset ohne DLSS

7800X3D/4090 @ Standard	58	78,1 (Basis)
PCGH-Effizienz-Konfiguration	48	67,1 (-14%)

CPU GPU	Leistungsaufnahme*	Lautheit*	Temp. CPU/GPU	Fps pro Watt, GPU
5,05 2,75 GHz	~530 Watt (Basis)	1,9 Sone (Basis)	87 °C 72 °C	0,197
4,20 2,30 GHz	~350 Watt (-34%)	0,3 Sone (-84%)	77 °C 64 °C	0,267 (+36%)

System: AMD Ryzen 7 7800X3D, Asrock B650E Phantom Gaming Riptide WiFi, PNY Geforce RTX 4090 XLR8 Gaming Verto Epix-X RGB, 32 GiB T-Force DDR5-5200/4800, Noctua NH-D15S (passiv), Seasonic Titanium TX-1000 Prime, 2 TiByte M2-SSD (Lexar), Fractal Design Define 7 PCGH-Edition, Umgebungstemperatur von 22 °C **Bemerkungen:** In Cyberpunk 2077 gibt die Grafikkarte den Ton an – mit Eco-Profil bei flüsterleisen 0,3 Sone. *Gesamt-PC

P1 **Ø Fps**
▶ Besser

3D Mark Time Spy Extreme

Leistung im enthaltenen CPU-Test

7800X3D/4090 @ Standard	5.905 (Basis)
PCGH-Effizienz-Konfiguration	4.219 (-29%)

CPU GPU	Leistungsaufnahme*	max. CPU Temp	Punkte pro Watt
5,05 2,75 GHz	~131 Watt (Basis)	80 °C	45,07
4,20 2,30 GHz	~98 Watt (-25%)	61 °C	43,05

System: AMD Ryzen 7 7800X3D, Asrock B650E Phantom Gaming Riptide WiFi, PNY Geforce RTX 4090 XLR8 Gaming Verto Epix-X RGB, 32 GiB T-Force DDR5-5200/4800, Noctua NH-D15S (passiv), Seasonic Titanium TX-1000 Prime, 2 TiByte M2-SSD (Lexar), Fractal Design Define 7 PCGH-Edition, Umgebungstemperatur von 22 °C **Bemerkungen:** Unter Volllast zeigt sich, dass sich unser Eco-Profil vor allem an Spieler richtet. *Gesamt-PC

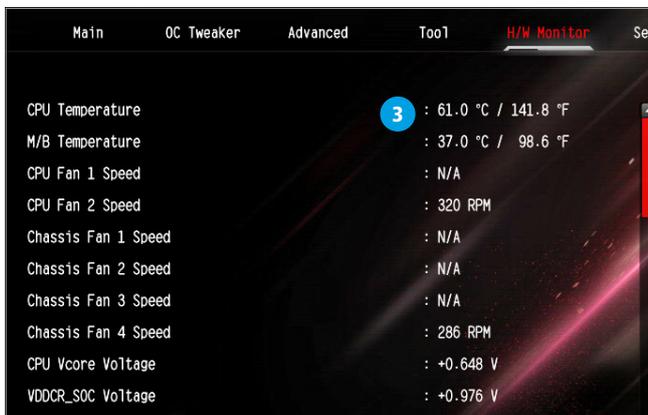
Punkte
▶ Besser

UEFI-Konfiguration im Detail

Wir zeigen bestimmte Einstellungen, die einen großen Einfluss auf die Effizienz und Lautstärke haben, am Beispiel eines Asrock-AM5-UEFIs.

Das größte Einsparpotenzial findet sich beim Speichercontroller. Die SoC-Spannung (1) ist im Auslieferungszustand oft zu hoch eingestellt. Das sorgt zwar für Stabilität, doch oft kann hier deutlich nach unten korrigiert werden. Das verringert die Leistungsaufnahme im Leerlauf. Der Curve Optimizer (2) sorgt für mehr Leistung

bei geringerem Verbrauch, beginnen Sie ab -10 für alle Kerne und testen dann auf Stabilität. Drehen die Lüfter niedriger, steigt die CPU-Temperatur (3). Doch keine Sorge, bei einem Ryzen-Prozessor sind hohe Kerntemperaturen vollkommen normal und beschädigen die CPU nicht. Wenn Sie den Core Performance Boost (4) abschalten, taktet die CPU nicht mehr selbstständig unter Last hoch und verbleibt im Basistakt. Doch die Leistung des Ryzen 7 7800X3D ist dann immer noch hoch genug, um eine Geforce RTX 4090 auszulasten.



Effizienz spart nicht nur ein, sondern schont die Ohren

Geringere Stromkosten, weniger Abwärme und leisere, ja beinahe unhörbare Geräuschkulisse bei ähnlicher Leistung? Ja, bitte! Der Tuning-Bereich hat sich in den letzten Jahren verändert. OC-Maßnahmen mit 550 Watt der GPU für einen überschaubaren Gewinn sind für viele Nutzer schlicht kein attraktives Praxisszenario mehr. Das belegen nicht nur zahlreiche Leserbriefe, sondern auch die eigene Erfahrung. Mit ausgefeilteren Upscaling-Methoden und künstlichen Zwischenframes muss es nicht in jedem Spiel bis an die absolute Kotzgrenze gehen. Stattdessen lässt sich mit durchdachten Tuning- und Spielanpassungen mindestens (!) genauso angenehm neben dem Rechner spielen und arbeiten. Würde ich mir so einen PC hinstellen und tunen? Wenn ich nicht schon einen hätte, garantiert.



Richard Engel

Das sollte jeder machen, der dazu in der Lage ist

Die aktuell schnellste Hardware für Spieler bei unter 400 Watt und fast lautlos. Das ist kein Hexenwerk, wie Ihnen der Artikel hoffentlich zeigt. Und es gibt so viele Gründe, die dafür sprechen, es uns gleichzutun. Vor allem: An den Einstellungen herumzutüfteln macht einfach Spaß. Die Grenzen Ihrer eigenen Hardware herauszufinden macht Freude und hat einen Lerneffekt. Und am Ende sparen Sie damit auch noch bares Geld. Denn Strom ist bekanntlich immer noch wesentlich teurer als noch vor ein paar Jahren. Sie müssen daher kein schlechtes Gewissen haben, wenn Sie in High-End-Hardware investieren. Wie sparsam haben Sie Ihren Rechner bekommen? Schreiben Sie uns, wir freuen uns immer über Leserpost: post@pcgh.de



David Ney



Leiden der Mittelklasse

Während High-End-Grafikkarten in den neuesten Spielen über die Runden kommen, sieht sich die Mittelklasse mit großen Hürden konfrontiert. Wir prüfen und zeigen, wie es sich trotzdem spielen lässt.

Die Mittelklasse hat es momentan nicht leicht. Das trifft selbst für viele aktuelle Spiele zu, mit denen man in düsteren Tagen Trost in virtuellen Welten finden könnte. Doch wer einen Blick auf aktuelle Benchmarks riskiert, sieht angesichts massiver Hardware-Anforderungen eine bleierne Schwere heraufziehen, die sich in Form von extrem niedrigen Bildraten manifestiert. Wie soll man bloß Spiele wie die jüngsten Unreal-Engine-5-Kraher von Ark bis Robocop samt Raytracing mit verbreiteter Mittelklasse-Hardware flüssig ans Laufen bringen? Selbst wenn diese Spiele auf Hardware-Lumen verzichten,

man schicken Effekten mit Enthaltsamkeit begegnet und Askese bei feinsten Pathtracing-Grafik übt, scheint die Gier nach Hardware-Power kaum zu stoppen. Ohne großzügigere Upsampling-Fps-Subventionierung kollabieren selbst luxuriöse Grafikkarten-Schlachtschiffe wie RTX 4090 oder RX 7900 XTX in vielen aktuellen Spielen unter kaum stemmbarem Leistungsdruck. Wie in aller Welt soll bloß die Mittelklasse diese Last verdauen?

Schwer verdauliche Kost

Auch wenn wir den einleitenden Text mit ein wenig Dramatik würzigen, er enthält den wahren Kern: In

vielen aktuellen Spielen, prominent jenen, die auf die Unreal Engine 5 setzen, explodieren die Hardware-Anforderungen. Dies trifft selbst dann zu, wenn bei den betreffenden Spielen kein Hardware-Raytracing zum Einsatz kommt. In unseren Benchmarks auf www.pcgh.de zu Lords of the Fallen müht sich selbst eine RTX 4090, 60 Fps in voller Ultra-HD-Auflösung zu erzielen. Auch in Talos Principle 2, das nur Software-Lumen, nicht das anspruchsvollere Hardware-Raytracing nutzt, kommt das teure Nvidia-Flaggschiff in angestammter, nativer Ultra-HD-Auflösung kaum über 40 Fps. Erst der Upsampling-Krük-

stock verhilft dem Nvidia-Topmodell zu geschmeidiger Bewegung jenseits der 60-Fps-Grenze. Kommen erweiterte Lumen- und weitere moderne, spannende Techniken wie etwa die neue, dynamische Wasserdarstellung oder die eindrucksvolle Niagara-Physik der Unreal Engine 5 zum Einsatz, wie etwa in Ark Survival Ascended, so müht sich die dicke Geforce RTX 4090 gar, zähe 20 Fps auf den Bildschirm zu rendern.

Alle in einem Boot

Doch darf die Mittelklasse nicht aus dem Blickfeld geraten. Schließlich stellt sie den größten Teil der Spielerschaft. Aktuell ist die Geforce



RTX 3060 mit 8 GiByte Grafikspeicher, 16 GiByte System-RAM und ein 6-Kern-Prozessor die auf Steam verbreitetste Hardware-Konfiguration. Mittelklasse – die im Übrigen recht nahe an der Leistung der aktuellen Konsolen liegt. Neue Mittelklasse-Grafikkarten wie die Geforce RTX 4060 oder Radeon RX 7600 liegen bereits weit über der Leistung der aktuellen Daddelkisten und erreichen oder überflügeln gar die gemunkelte Performance einer Playstation 5 Pro.

Es muss demnach möglich sein, diese Spiele auf verbreiteter Mittelklasse-Hardware zum Laufen zu bringen, denn im Grunde sitzen die Spieler allsamt im gleichen Boot. Egal, ob mit der Konsole oder mit der neuen Grafikkarte: Ein Spiel, welches für ebendiese Hardware-Generation erdacht, erschaffen und veröffentlicht wurde, sollte auch auf dieser Hardware laufen, ansonsten riskiert es die Sympathie der Massen. Ein vollständiger Verzicht, ein

Ausschließen der größten Spielergruppe, ist demnach eine schlechte Idee, der Spaßkiller Frust kein guter Partner für einen Spiele-Entwickler.

Mit Mut und Tatendrang!

In diesem Artikel wollen wir es wissen. Wir stellen aktuellen UE5-Hardware-Fressern diverse Mittelklasse-Grafikkarten sowie beliebten GPUs älteren Semesters gegenüber. Wir sind der festen Überzeugung, dass sich selbst die leistungshungerristen UE5-Titel in unserer Auswahl zur Kooperation bewegen lassen, doch wie viel Entgegenkommen im Optionsmenü ist dazu nötig? Welche Einstellungen sind wichtig, wie lassen sich die Bildraten erhöhen, ohne dabei die schicke Next-Gen-Grafik auf der Steckkarte zu lassen?

Da auch die Konsolen vor dieser Problematik stehen, haben wir eine Methodik gewählt, die oft bei den Daddelkisten Verwendung findet: Wir erstellen ein „Performance“-Preset, welches 60 Fps als Zielbild-

rate fokussiert, dafür jedoch bei Auflösung und Detailgrad Abstriche macht. Das „Quality“-Preset dagegen bewahrt möglichst viele Details und nutzt nach Möglichkeit fortschrittliche Features, opfert der Pracht allerdings die flüssigere Bildausgabe und nimmt 30 Fps ins Visier. Die zuletzt erschienenen Mid-range-GPUs, darunter Geforce RTX 4060 und Radeon RX 7600, sind obendrein explizit für Full-HD-Gaming konzipiert. Dies ist laut Steam Hardware Survey noch immer die von der großen Mehrheit genutzte Auflösung.

Unsere Ansprüche sind also verhalten, wir stellen keine ungebührlichen Anforderungen an die GPU-Mittelklasse: Full HD, maximal 60 Fps, reduzierte Details, teilweise Verzicht auf Raytracing sowie der großzügige Einsatz moderner Upsampling-Verfahren. Wenn all diese Bescheidenheit nicht dazu führt, dass sich aktuelle UE5-Spiele auf einer Mittelklasse-Grafikkarte mit

angemessenen Bildraten genießen lässt, dann sieht es für die Mittelklasse wirklich düster aus. Wenn eine Investition von rund 300 Euro in eine Midrange-GPU nicht einmal diese geringen Ansprüche erfüllen kann, sollten diese Grafikkarten nicht als Mittelklasse-, sondern Einstiegsmodelle gehandelt werden – inklusive Preisanpassungen.

Lassen Sie uns also prüfen, ob aktuelle Midrange-GPUs die Anforderungen erfüllen, den aufgerufenen Preisen gerecht werden können. Jede einzelne der Grafikkarten in diesem Artikel sollte es. Selbst die RX 6600 XT oder RTX 3050 haben ähnlich viel reine Grafikleistung wie eine Playstation 5. Jede neuere, modernere Mittelklasse-Grafikkarte sollte eine höhere Performance, eine bessere Qualität gegenüber PS5 und Xbox Series X zu liefern imstande sein. Und niemand mit einer aktuellen, technisch modernen Mittelklasse-Grafikkarte sollte sich mit weniger zufrieden geben müssen.

Ark Survival Ascended (Early Access)

Das erste Spiel im Bunde stellt sogleich eine gewaltige Hürde dar: Die Neuauflage des Dino-Survival-Abenteuers Ark Survival Evolved setzt auf die Unreal Engine (zum aktuellen Stand auf die Version 5.2) und nutzt eine Vielzahl der modernen Engine-Features. Neben Nanite und optionalem Raytracing via Lumen sind auch einige spannende Fähigkeiten darunter, die mit jüngsten Updates und teils noch in experimenteller Form in die Unreal Engine 5 integriert wurden.

Prachtvolle Neuauflage

Zu diesen zählen etwa die dynamische Wasserdarstellung samt in Echtzeit generierter Gischt und Wellen sowie das auf der Niagara-Physikbibliothek basierende Kollisionsmodell für die Vegetation. Sehr beeindruckend ist außerdem die ebenfalls noch junge, verbesserte Nebeldarstellung samt feiner God-Rays. Ark Survival Ascended nutzt obendrein viele Echtzeitlichtquellen inklusive Schattenwurf, darunter Fackeln oder die vielfarbig leuchtenden Loot-Drops, deren Licht nachts stimmungsvoll durch das dichte Geäst des Dschungels dringt. Ebenfalls beeindruckend ist die dynamische und mit diversen Lichtquellen interagierende Wolkendarstellung, auch wenn diese teils noch unschöne Noise-Artefakte zeigt. Generell ist das Unreal-Engine-5-Ark grafisch sehr beeindruckend, insbesondere die Beleuchtung und volumetri-



sche Effekte. Allerdings kommt die schicke Grafik nicht ohne Preis: Die Hardware-Anforderungen sind mehr als nur kräftig gesalzen.

Bronto-schwere Grafiklast

Besonders schwer hat die Grafikkarte mit der UE5-Pracht zu kämpfen. Ohne den Einsatz von Upsampling ist Ark Survival Evolved selbst mit einer RTX 4090 kaum flüssig darstellbar. Sie können anhand der Benchmarks unten erkennen, wie hart die Anforderungen beim Nutzen des Epic-Presets selbst mit Upsampling-Unterstützung ausfallen. Die schicke Grafik samt Raytracing-

GI und -Reflexionen in Ark Survival Ascended ist tatsächlich ähnlich teuer wie Alan Wake 2 oder Cyberpunk 2077 – wenn bei den letztgenannten Titeln Pathtracing zum Einsatz kommt, wohlgermerkt!

Ark Survival Ascended gehört somit klar zu den aktuell anspruchvollsten Spielen und zugleich zu den UE5-Titeln mit den höchsten Hardware-Anforderungen. Und dennoch erscheint die Neuauflage der Dino-Sandbox auch auf den Next-Gen-Konsolen, deren Leistung aktuelle Mittelklasse-Grafikkarten nicht übersteigt. Tatsächlich erschienen

jüngst die Versionen für Xbox Series S und X, die Playstation-Fassungen sollen etwas später folgen. Der Umstand, dass Ark Survival Ascended auch auf den Konsolen lauffähig ist, sollte im Rückschluss auch bedeuten, dass wir dem Spiel – trotz der massiven Anforderungen – auch mit unseren Mittelklasse-GPUs flüssige Bildraten entlocken können.

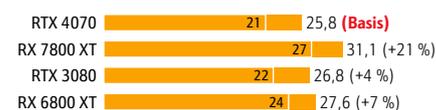
Für unsere Messungen haben wir uns nach einer langen Evaluierungsphase für das Ufer der Insel im Südwesten am Rande des Sumpfes entschieden (siehe Bild). Hier ist die Last hoch, allerdings ist unsere

Volle Details mit Quality-Upsampling

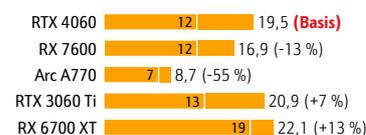
Ultra HD, volle Details



WQHD, volle Details



Full HD, volle Details



System: Intel Core i9-12900K (8 P-Cores), 2x16 GiByte RAM; Geforce 545.92 WHQL, AMD Software 23.10.2 WHQL, Intel GOD 101.4952 WHQL; Windows 11 x 64 (22H2)

Bemerkungen: Aktuelle Benchmarks, Test-/Client-Version v26.6 (4. November)

P1 | Ø Fps
▶ Besser



Wie schon das Original mit UE4 ist die Neuauflage Ark Survival Ascended extrem anspruchsvoll. Es nutzt allerdings auch eine Vielzahl neuer, aufwendiger Effekte.

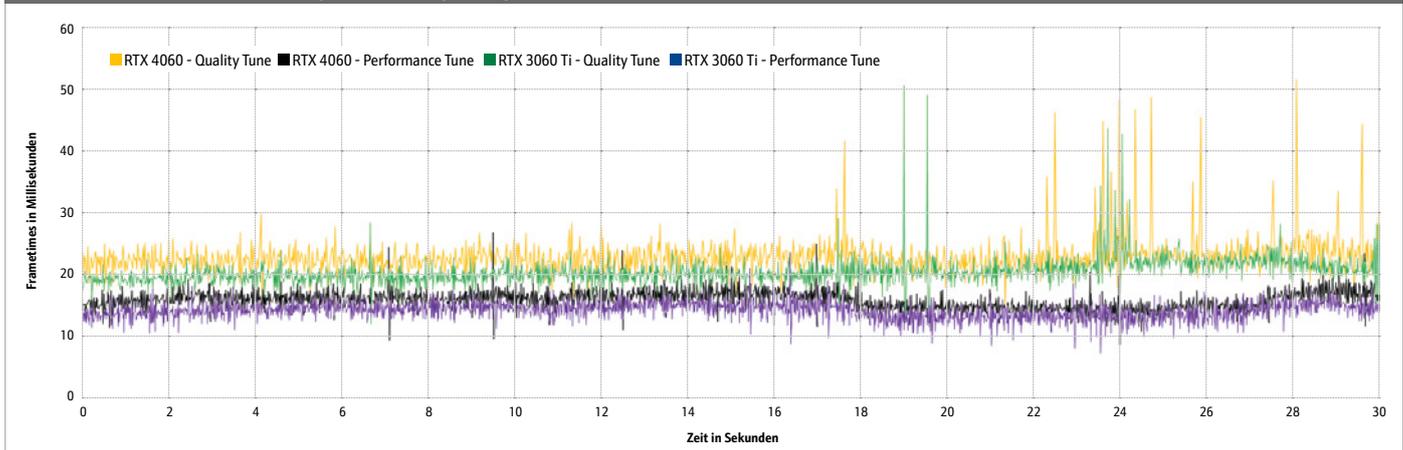
Ark Survival Ascended – Grafik- und Tuning-Settings

Grafik-Setting	Episch	PCGH-Quality	PCGH-Performance
Anti Aliasing/Upsampling	Episch/aus	DLSS/TSR Balanced	DLSS/TSR Balanced
Auflösung (interne Renderauflösung)	1.920 × 1.080 (1080p)	1.920 × 1.080 (540p)	1.920 × 1.080 (540p)
Advanced Graphics	Episch	Mittel	Mittel
View Distance	Episch	Mittel	Mittel
Textures	Episch	Mittel	Mittel
Post Processing	Episch	Mittel	Mittel
General Shadows	Episch	Mittel	Mittel
Global Illumination Quality	Episch	Hoch	Mittel
Effects Quality	Episch	Mittel	Mittel
Foliage Quality	Episch	Mittel	Mittel
Motion Blur	An	An	An
Light Bloom	An	An	An
Light Shafts	An	An	Aus
Foliage/Fluid Interaction	An	An	Aus
Foliage Interaction Distance Multiplier	4	2	-
Foliage Interaction Distance Limit	4	2	-
Foliage Interaction Quality Limit	3	2	-
Enable Foodstep Particles	An	An	An
Enable Foodstep Decals	An	An	An
Disable HLOD	Aus	Aus	Aus

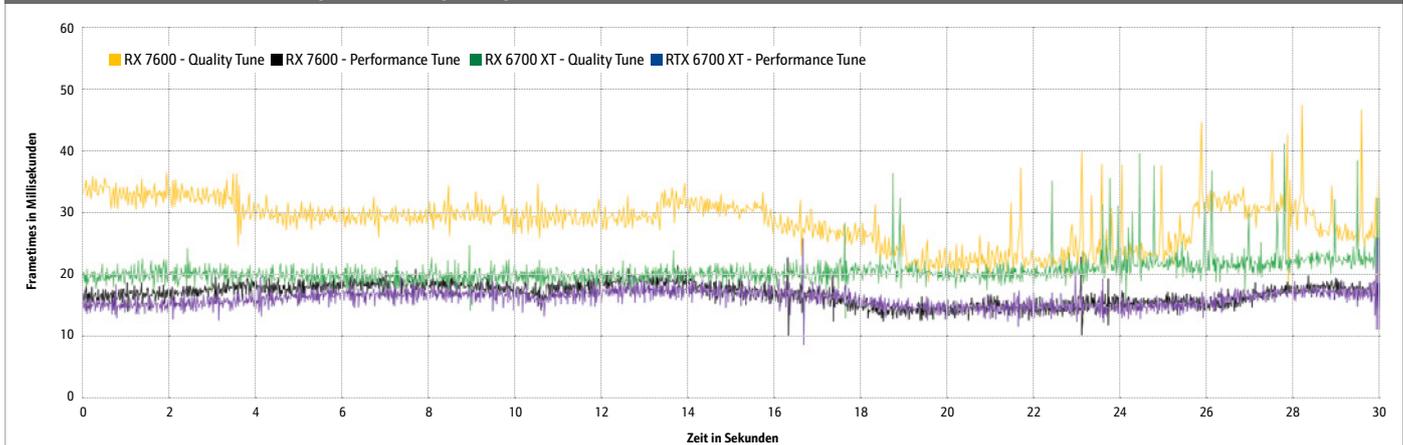
schneller und rendern geschmeidiger als die neuen Mid-Ranger. 8 GiByte Speicher ist zu wenig für Full HD, Upsampling und hohe Details, doch es ist die beschnittene Bandbreite, welche die neue Mittelklasse besonders benachteiligt: Sowohl RTX 4060 als auch RTX 3060 Ti sind mit 8 GiByte ausgestattet, die RTX 3060 Ti ist allerdings voll angebunden (16 PCI-E-Lanes).

Für stabile 30 Fps samt schicken UE5-Features müssen wir massiv den Rotstift ansetzen. Vor allem wegen der Radeon, die nochmals mehr Speicher belegt als die GeForce. Doch mit 540p und GI auf „Hoch“, was erweiterte RT-Effekte für Beleuchtung und Spiegelungen aktiviert, erreichen wir das gewünschte Limit – knapp. Wie kostspielig die neuen Effekte sind, zeigt das Performance-Target. Der einzige Unterschied ist der Verzicht auf die erweiterten Effekte. Auflösung und restliche Settings bleiben gleich.

Ark Survival Ascended – Frametime-Vergleich der Tuning-Settings mit RTX 4060 und RTX 3060 Ti



Ark Survival Ascended – Frametime-Vergleich der Tuning-Settings mit RX 7600 und RX 6700 XT



Lords of the Fallen (2023)

Das an zweiter Stelle getestete Lords of the Fallen bildet nach dem extrem anspruchsvollen Ark Survival Ascended einen leistungs-technisch wohltuenden Kontrast. Das Souls-Like nutzt die Unreal Engine 5.1.1 und setzt sowohl auf Nanite wie Lumen, nutzt die Techniken aber weitaus behutsamer. So kommt etwa Software-Lumen zum Einsatz, Beleuchtung sowie Spiegelungen sind gegenüber Hardware-Lumen deutlich abgespeckt.

Lords of the Fallen hat obendrein seit dem Release Ende Oktober eine ganze Reihe Patches erhalten, welche die Performance deutlich verbessert haben. Außerdem sind Optimierungen eingeflossen, welche einige Problemstellen angingen, die Stabilität und die Lumen-Darstellung sowohl verbessert als auch beschleunigt haben – je nach Spielsituation. Noch haben die Entwickler einige Schwierigkeiten mit bestimmten Features, darunter prominent die Frame Generation. Sowohl AMDs FSR 3.0 als auch DLSS 3.0 sind beim Schreiben dieser Zeilen nicht im Spiel verfügbar, obwohl Lords of the Fallen mit FSR-3.0-Support angekündigt wurde und DLSS 3.0 bereits in früheren Versionen enthalten war. Die Frame Generation führt laut Entwickler zu einigen Schwierigkeiten, darunter eine verstärkte Neigung zu Abstürzen. Aus diesem Grund sind aktuell weder FSR 3.0 noch DLSS 3.0 verfügbar.



Patch-Performance-Plus

Offenkundig ist der Entwickler Hexworks sehr darauf bedacht, dass Lords of the Fallen trotz ansprechender Optik auch mit schwächeren Systemen gut spielbar ist. Eine gewisse Zurückhaltung bei den Kerntechniken Lumen & Nanite sowie die händische Optimierung von Shader-Caches und World Partitioning sorgen für eine generell geschmeidige Performance – insbesondere seit den jüngsten Patches. Letzteres wird beim Betrachten und Vergleichen der Benchmarks unten offensichtlich. Diese wurden kurz nach dem Release inklusive Quality-

Upsampling angefertigt. Bei aktuellen Messungen erzielen wir in nativer Full-HD-Auflösung beinahe die gleichen Bildraten wie damals ohne. Vergleichen wir etwa die GeForce RTX 4060 in Full HD bei nativer Auflösung, so standen damals 34,6 Fps auf der Uhr, nun sind es 42,4 Fps – ein Plus von 22,5 Prozent. Bei der Radeon RX 7600 sind es 31,8 zu 39,3 Fps, ein Zugewinn von 23,6 Prozent. Wir weisen allerdings darauf hin, dass wir unsere aktuellen Benchmarks für diesen Artikel etwas verändert und die Messung um 10 Sekunden verlängert haben. Der Grund dafür ist, dass wir einige

zusätzliche Kamera-Schwenks und Perspektiv-Wechsel in die Messung aufnehmen wollten, da schnelle Fortbewegung und Wechsel des Betrachtungswinkels in der Unreal Engine 5 offenkundig häufig mit einem erhöhten Streaming-Aufwand verbunden sind. In solch einem Fall können die Bildraten absacken und – insbesondere bei wenig Speicher oder beschnittener PCI-Express-Transferrate – die Frametimes unruhig werden. So etwa in den letzten 10 Sekunden bei den Ark-Frametimes zu beobachten. Lords of the Fallen ist in der Hinsicht allerdings nicht auffällig.



Eine Besonderheit und ein auch technisch interessanter Design-Kniff in Lords of the Fallen sind die beiden Welten Axiom und Umbral. Hier spielt die Lumen-GI auf.

Volle Details mit Quality-Upsampling

Ultra HD, volle Details

RTX 4090, DLSS Quality	63	78,4 (Basis)
RX 7900 XTX, FSR 2 Quality	46	52,5 (-33 %)

WQHD, volle Details

RTX 4070	57	64,6 (Basis)
RX 7800 XT	50	58,3 (-10 %)
RTX 3080	57	65,5 (+1 %)
RX 6800 XT	50	55,6 (-14 %)

Full HD, volle Details

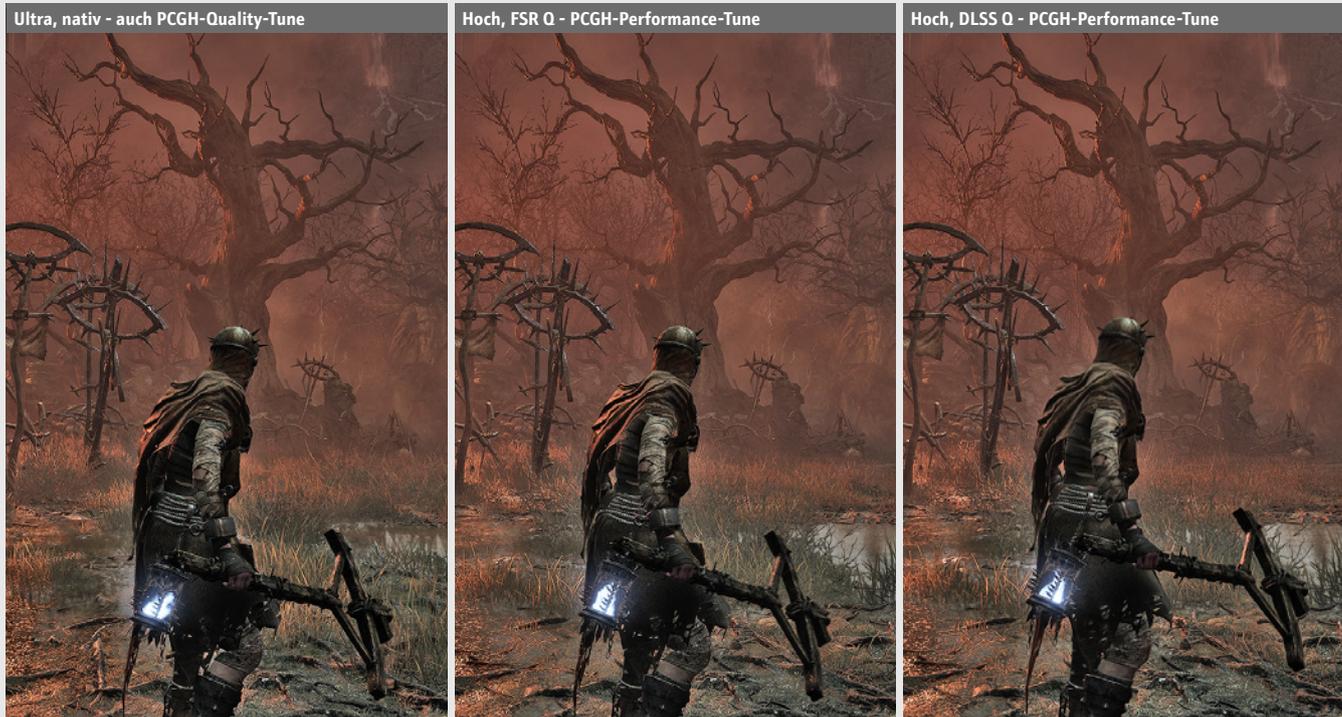
RTX 4060	47	53,4 (Basis)
RX 7600	39	47,6 (-11 %)
Arc A770	37	44,9 (-16 %)
RTX 3060 Ti	50	56,9 (+7 %)
RX 6700 XT	46	53,8 (+1 %)

System: Core i9-13900KS (8 P-Cores, 16 Threads) @ 5,7 GHz (Cache @ 5,1 GHz), 32 GiB Patriot DDR5-7600; AMD Software 23.10.1, Intel GOD 4887, Nvidia GRD 537.58; Windows 11 x64 **Bemerkungen:** Benchmarks vom 16. Oktober, für mehr siehe www.pcg.de.

P1 **Ø Fps**
▶ Besser

Bildvergleich Lords of the Fallen

Die Detailunterschiede zwischen Quality- und Performance-Tune sind relativ unauffällig. Mit am deutlichsten büßen die Lumen-Reflexionen ein, außerdem recht deutlich sichtbar ist der Verzicht auf die Lumen- bzw. Raytracing-Umgebungsverdeckung. Unschön: FSR 2 krümelt, DLSS zeichnet den Charakter bei Bewegung unscharf.



Midrange-Tuning-Benchmarks in Full HD

RTX 4060

Ultra-/Max-Details, Full HD nativ (Quality-Tune) 32,4 42,4 (Basis)
Performance-Tune 63,6 82,8 (+95 %)

RX 7600

Ultra-/Max-Details, Full HD nativ (Quality-Tune) 29,4 39,3 (Basis)
Performance-Tune 61,6 77,9 (+98 %)

Arc A770

Ultra-/Max-Details, Full HD nativ (Quality-Tune) 28,9 37,6 (Basis)
Performance-Tune 47,9 61,6 (+64 %)

RX 6700 XT

Ultra-/Max-Details, Full HD nativ (Quality-Tune) 35,2 45,9 (Basis)
Performance-Tune 65,5 84,4 (+84 %)

RTX 3060 Ti

Ultra-/Max-Details, Full HD nativ (Quality-Tune) 37,6 48,5 (Basis)
Performance-Tune 70,1 93,8 (+93 %)

RX 6600 XT

Ultra-/Max-Details, Full HD nativ (Quality-Tune) 24,9 33,4 (Basis)
Performance-Tune 53 66,7 (+100 %)

RTX 3050

Ultra-/Max-Details, Full HD nativ (Quality-Tune) 20,1 25,8 (Basis)
Performance-Tune 41,5 53 (+105 %)

Arc A580

Ultra-/Max-Details, Full HD nativ (Quality-Tune) 36,7 48,3 (Basis)
Performance-Tune 42,1 53,4 (+11 %)

System: Intel Core i9-12900K (8 P-Cores), 2×16 GiByte RAM; Geforce 545.92 WHQL, AMD Software 23.10.2 WHQL, Intel GOD 101.4952 WHQL; Windows 11 x 64 (22H2)

Bemerkungen: Grafiksettings für Quality- und Performance-Tune siehe Tabelle

P1 **Ø Fps**
▶ Besser

Midrange taugt

Neben der durch die Updates eingeflossenen Optimierungen und dem gemäßigten Einsatz fortschrittlicher UE5-Techniken, insbesondere Lumen respektive Raytracing, ist ein weiterer Faktor den Midrange-Grafikkarten zuträglich: Lords of the Fallen knabbert nur gemäßigt am Grafikspeicher, die durch die halbierte PCI-E-Anbindung gedrosselte Bandbreite ist zumindest in Full HD kein großes Problem. Ersichtlich ist dieser Umstand an den vergleichsweise geringen Zuwächsen bei RTX 4060, RX 7600 sowie RX 6600 XT beim Wechsel vom Quality- auf den Performance-Tune.

Tatsächlich sind die Bildraten mit der aktuellen Mittelklasse so gut, dass wir für Full HD und 30 Fps volle Ultra-Details in nativen 1080p ins Auge fassen können. Wenn Sie die Frametimes betrachten und sich bei 33,3 ms (entspricht 30 Fps) eine Linie denken, so wäre die Performance mit einem 30-Fps-Limit beinahe vollständig sauber. Ein Handanlegen an die Grafikdetails ist also erst bei schwächeren Grafikkarten

nötig oder wenn eine höhere Auflösung angestrebt wird.

Auch 60 Fps sind keine unüberwindbare Hürde, ein Wechsel auf das hohe Detail-Preset sowie der Einsatz von Quality-Upsampling ist im Grunde ausreichend, um mit der aktuellen Mittelklasse saubere 60 Fps zu erzielen, selbst die RX 6600 XT kann hier noch mitspielen. Die Leistungssteigerung durch diese Maßnahmen ist bei allen Grafikkarten erstaunlich uniform, was auf ein klassisches Grafiklimit hinweist. Speicher, Bandbreite und Aktualität der Grafikkarte spielen eine auffällig untergeordnete Rolle. Einzig Intels Arc- fallen im Vergleich mit den AMD- und Nvidia-GPUs etwas stärker zurück – ein gutes, flüssiges Spielgefühl ist aber auch hier kein Ding der Unmöglichkeit.

Performantes Spar-Diktat

Gründe für die im Vergleich mit anderen UE5-Titeln auffallend gute Performance ist insbesondere bei den Lumen- respektive Raytracing-Details zu finden. Lords of the Fallen setzt auf eine vergleichs-

weise zurückhaltende Lumen-Qualität, die zwecks hoher Performance mit einigen zusätzlichen, händisch platzierten „Fake“-Lichtquellen arbeitet. Obendrein kommen für diverse Umgebungen unterschiedliche Qualitätsstufen respektive Lighting-Passes zum Einsatz, wie der Patch-Log des Updates 1.1.310 verrät, das für unsere Messungen zum Einsatz kam: In insgesamt fünf Umgebungen wurde ein zusätzlicher Lighting-Pass ergänzt, also die generelle Qualität der Beleuchtung erhöht, weitere Tweaks ließen die Entwickler bei der Lumen-Global-Illumination einfließen, um diese deutlicher zu betonen und sowohl indirekte Beleuchtung als auch indirekte Verschattung (Ambient Occlusion) stärker hervorzuheben.

Trotz dieser Maßnahmen ist ersichtlich, dass Lords of the Fallen Lumen respektive die Raytracing-GI nur recht begrenzt einsetzt. Gleiches gilt für die Reflexionen. Diese setzen

Lords of the Fallen – Grafik- und Tuning-Settings

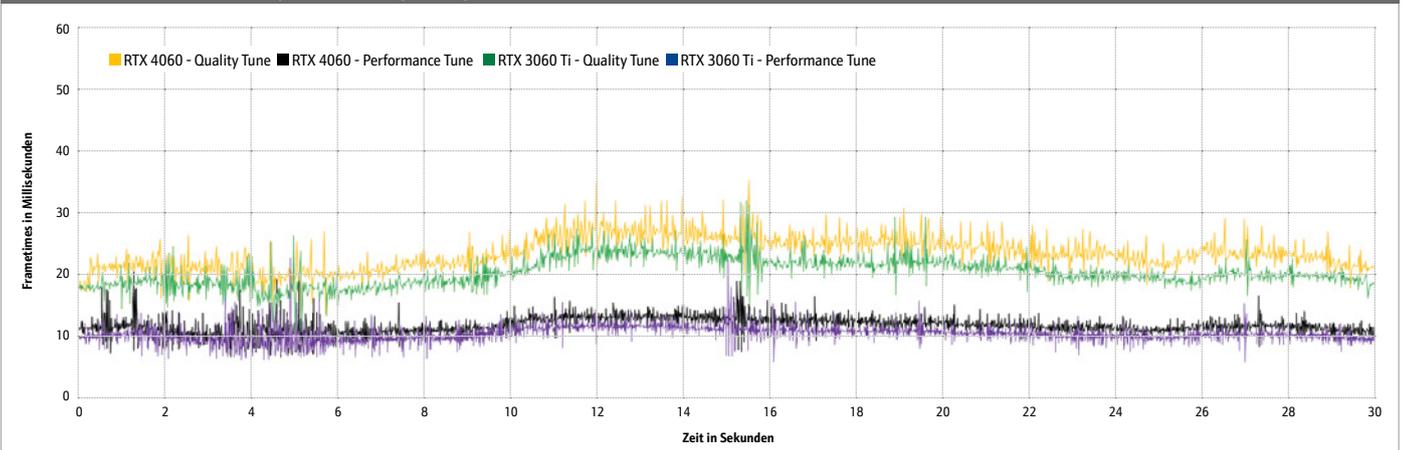
Grafik-Setting	Episch/PCGH-Quality	PCGH-Performance
Anti Aliasing/Upsampling	Ultra/Aus	DLSS/FSR Quality
Auflösung (interne Renderauflösung)	1.920 × 1.080 (nativ)	1.920 × 1.080 (720p)
Betrachtungsabstand	Ultra	Hoch
Schatten	Ultra	Hoch
Texturqualität	Ultra	Hoch
Qualität der visuellen Effekte	Ultra	Hoch
Qualität der Nachbearbeitungseffekte	Ultra	Hoch
Reflexionsqualität	Ultra	Hoch
Qualität der Globalen Beleuchtung	Ultra	Hoch
Laubqualität	Ultra	Hoch
Bewegungsunschärfe	An	An

nur auf den beiden höchsten Stufen auf Software-Lumen respektive Raytracing, die genauere Hardware-Variante kommt wie auch für die GI augenkundig überhaupt nicht zum Einsatz. Auch hier wird erst ab Stufe „hoch“ Software-Raytracing respektive -Lumen aktiv. Das Setting „Mittel“ bei GI und Reflexionen

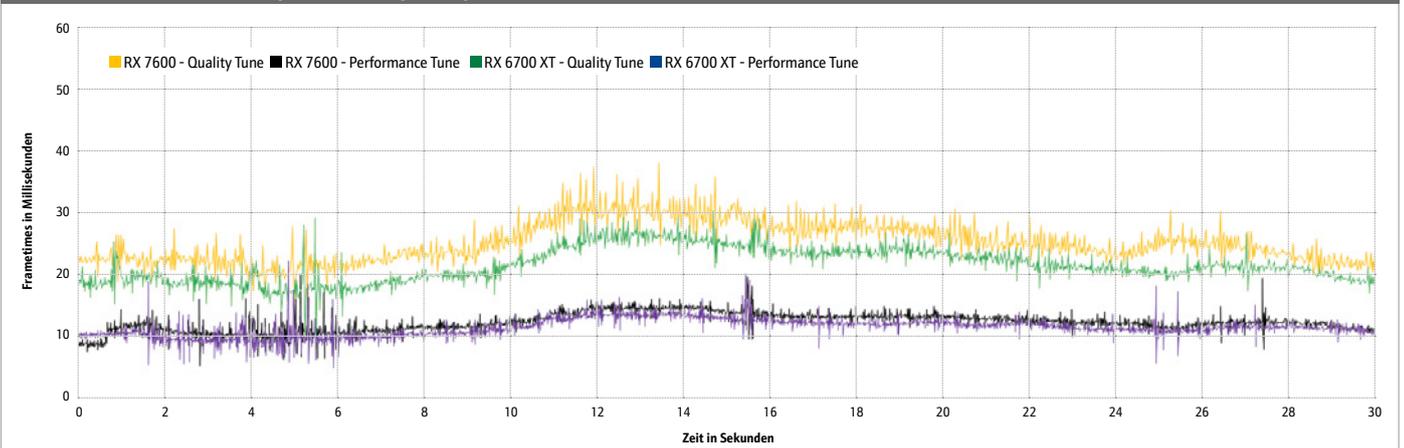
entspricht damit zumindest grob einer Konfiguration, die Engine-Entwickler Epic für den Performance-Modus (60 Fps) der Konsolen, für Xbox Series S sowie Low-End-PCs vorschlägt. Die Ultra-Einstellung deckt sich in etwa mit dem High-End- respektive Quality-Konsolen-Setting und nutzt offenbar Soft-

ware-Lumen mit Global Distance Fields. Dies ist wohl das Geheimnis hinter der guten Performance – auch gegenüber dem folgenden Spiel, der sehr ansehnlichen UE5-Knobelei The Talos Principle 2, das nicht nur ein engagierendes, cleveres Gameplay bietet, sondern auch auf anspruchsvolle Lumen-Effekte setzt.

Lord of the Fallen – Frametime-Vergleich der Tuning-Settings mit RTX 4060 und RTX 3060 Ti



Lord of the Fallen – Frametime-Vergleich der Tuning-Settings mit RX 7600 und RX 6700 XT



The Talos Principle 2

Auch das dritte Spiel mit Unreal Engine 5 ist ein sehr interessantes Annschauungsobjekt. The Talos Principle 2 ist ein beeindruckendes Projekt des verhältnismäßig kleinen Entwicklers Croteam und setzt nun statt der im Vorgänger genutzten, hauseigenen Serious Engine 4 die UE 5.2.0 ein – inklusive Nanite für Geometrie sowie die darin enthaltene Effekt- und Physik-Bibliothek Niagara. Lumen kommt ebenfalls zum Einsatz, im Falle der GI und hohen und Ultra-Einstellungen in der Raytracing-Variante. Für die Reflexionsqualität steht eine separate Option zur Verfügung. Hier kommt Lumen respektive erweitertes Raytracing allerdings einzig bei Ultra-Details zum Einsatz. Bei hoher Reflexionsqualität werden nur einige geometrische Details außerhalb des Screenspace widergespiegelt, deren Genauigkeit innerhalb der Spiegelung zudem merklich abnimmt. Darüber liegen in beiden Fällen Screen Space Reflections (SSR).

Lumen-Luxus für High-End

Die Reflexionen mit Ultra-Details nutzen offenbar den Software-Lumen-Raytracing-Ansatz sowie Mesh Distance Fields, was am ehesten dem von Epic vorgeschlagenen High-End-Setting für PC-Hardware entspricht. Das hohe Setting kommt dem High-End-Konsolentarget für PS5 und Xbox Series X (Qualität, 30-Fps-Target; nicht für Series S angerechnet) am nächsten.



Hier wie dort handelt es sich augenkundig um einen Software-Raytracing-Ansatz, nicht das nochmals akkuratere (und anspruchsvollere) Hardware-Lumen. Auf „Ultra“ werden die Spiegelungen gegenüber „Hoch“ wesentlich akkurater, inkludieren Verschattungen der widergespiegelten Objekte, zeichnen deren Form und Färbung deutlich genauer und sind auf höhere Distanz sichtbar. Achtung: Die GI-Option beeinflusst auch die Reflexionen; steht die GI auf „Mittel“, entfallen sämtliche Reflexionen bis auf Screen Space Reflections sowie die darunter liegenden Reflection Captures –

ebenfalls dem mittleren Setting für die Spiegelungen entspricht, selbst wenn die Reflexionsqualität auf „Ultra“ steht. Reflection Captures beziehungsweise -Probes ähneln Cube-Map-Reflections, allerdings in etwas modernerer und optional dynamischer Form.

Die Option „Globale Beleuchtung“ im Optionsmenü steuert also das Lumen-Modell, das sowohl für GI als auch Spiegelungen zum Einsatz kommt. Die Spiegelungen können Sie mit der Option „Reflexionen“ im Grafikenmenü jedoch noch einmal separat in der Qualität reduzieren.

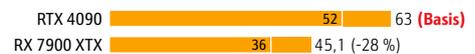
Die Global Illumination selbst ist den Reflexionen übergeordnet und lässt sich daher auch eigenständig ins Auge fassen und hier ist auch das Ergebnis eindeutiger. Sowohl mit hohen als auch Ultra-Einstellungen kommt Raytracing samt Light-Bounces zum Einsatz – bei Ultra sichtbar genauer und obendrein mit einer Raytracing-Umgebungsverdeckung. Unterhalb der hohen Stufe scheint kein Lumen, sondern ein Prebaked-Ansatz samt Screenspace-Umgebungsverdeckung zum Einsatz zu kommen; besonders deutlich büßt dabei die indirekte Beleuchtung an Qualität ein. Dies



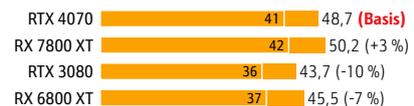
In The Talos Principle 2 können Sie die Vorteile vieler UE5-Features bewundern. Nanite, erweiterte Lumen-GI und -Spiegelungen werden weiträumig genutzt.

Volle Details mit Quality-Upsampling

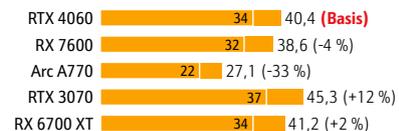
Ultra HD, volle Details



WQHD, volle Details



Full HD, volle Details

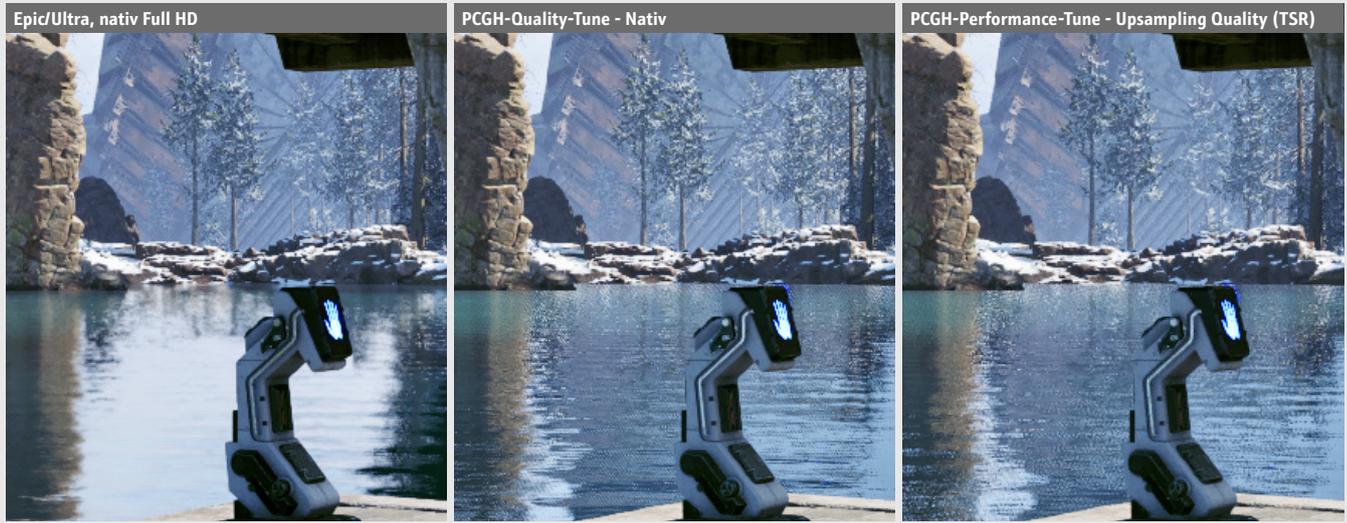


System: Core i9-13900KS (8 P-Cores, 16 Threads) @ 5,7 GHz (Cache @ 5,1 GHz), 32 GiB Patriot DDR5-7600; AMD Software 23.20.17.05, Intel GOD 4952, Geforce GRD 546.01; Windows 11 x64 **Bemerkungen:** Benchmarks vom 02.11, für mehr siehe www.pcgH.de.

P1 **Ø Fps**
➤ Besser

Bildvergleich The Talos Principle 2

The Talos Principle 2 setzt auf erweiterte Lumen-Effekte bzw. Raytracing. Mit „Ultra“ kommt die höchste RT-Qualität zum Einsatz, ab „Hoch“ wird die Qualität sichtbar reduziert. Stufen darunter und nutzen Reflection Probes – hier gut sichtbar am Rand rechts, wo die SSRs ausblenden. RT-AO kommt nur bei maximaler GI zum Einsatz.



ist besonders gut bei großen Flächen erkenntlich, die nur oder hauptsächlich indirekt beleuchtet und verschattet werden. Etwa bei Gebäuden, in die nur von außen Licht dringt und deren Überdachungen sowohl indirekt verschattet als auch durch das vom Boden abfallende, farbige Licht beleuchtet werden.

Gewaltig gute Optik

Was das verhältnismäßig kleine Entwickler-Team von Croteam in The Talos Principle 2 geschaffen hat, ist wahrlich beeindruckend. Die aus mehreren, verbundenen Gebieten bestehende Spielwelt ist weitläufig

und abwechslungsreich, die Asset-Qualität hoch, das Design mit sichtbarer Hingabe gestaltet. Sehr imposant ist außerdem die schier gewaltige Größe, der Scale der Spielwelt und der Modelle, ein Umstand, der sich mit der Unreal Engine 5 offenbar besonders gut umsetzen lässt. Die schicke Globale Beleuchtung kommt der Grafik sehr entgegen, Nanite und Lumen sind überdies allgegenwärtig und bereits im allerersten Level sofort zu erkennen. Zwar ist The Talos Principle 2 auch ohne Lumen-GI ansehnlich, doch ist der Unterschied deutlich, sobald der Regler für die Globale Beleuchtung



The Talos Principle 2 bietet keinen dynamischen Tag-Nacht-Wechsel, wohl aber unterschiedliche, schick gestaltete Umgebungen mit ansehnlichen Lichtszenarien.

Midrange-Tuning-Benchmarks in Full HD

RTX 4060

Ultra-/Max-Details, Full HD nativ	22,2	28,8 (Basis)
Quality-Tune	34,5	45,5 (+58 %)
Performance-Tune	56,9	73,4 (+155 %)

RX 7600

Ultra-/Max-Details	17,4	21,4 (Basis)
Quality-Tune	34,2	43,8 (+105 %)
Performance-Tune	53,3	69,8 (+226 %)

Arc A770

Ultra-/Max-Details	15,8	20,1 (Basis)
Quality-Tune	23,1	30,6 (+52 %)
Performance-Tune	30,3	42,3 (+110 %)

RX 6700 XT

Ultra-/Max-Details	23,5	30,9 (Basis)
Quality-Tune	40,7	52,8 (+71 %)
Performance-Tune	45,8	60,2 (+95 %)

RTX 3060 Ti

Ultra-/Max-Details	22,9	30,3 (Basis)
Quality-Tune	37,2	48,7 (+61 %)
Performance-Tune	56,4	75,9 (+150 %)

RX 6600 XT

Ultra-/Max-Details	16,5	20,4 (Basis)
Quality-Tune	28,4	37,3 (+83 %)
Performance-Tune	46,8	60,5 (+197 %)

RTX 3050

Ultra-/Max-Details	11,6	15,5 (Basis)
Quality-Tune	19,9	25,5 (+65 %)
Performance-Tune	31,3	41,8 (+170 %)

Arc A580

Ultra-/Max-Details	8,8	16,4 (Basis)
Quality-Tune	20,4	26,7 (+63 %)
Performance-Tune	28,1	38,3 (+134 %)

System: Intel Core i9-12900K (8 P-Cores), 2×16 GiByte RAM; Geforce 545.92 WHQL, AMD Software 23.10.2 WHQL, Intel GOD 101.4952 WHQL; Windows 11 x 64 (22H2)

Bemerkungen: Grafiksettings für Quality- und Performance-Tune siehe Tabelle

P1 **Ø Fps**
 Besser

von hoch auf mittel gesetzt wird. Die Option ist anspruchsvoll, doch es wäre ein Jammer, müssten wir darauf verzichten. Nach Möglichkeit wollen wir die hübsche Lumen-Ausleuchtung also behalten.

Tune-up-Prinzip

The Talos Principle 2 unterstützt neben TAA-Upsampling, DLSS, XeSS und FSR außerdem das UE5-eigene TSR. Zusammen mit etwas Detailverzicht sollte uns dies genügend Spielraum geben, die erweiterte Beleuchtung aktiv zu lassen. Allerdings stoßen wir bereits beim Versuch mit RTX 4060 und RX 7600 auf ein altes bekanntes Problem: Der Speicher ist zu knapp und die Bandbreite der neuen Mittelklasse beschnitten. Beide Grafikkarten haben mit diesem Umstand zu kämpfen, insbesondere allerdings abermals die Radeon RX 7600, welche den PCI-Express deutlicher mit Transfers belastet als die Geforce. Die allererste Option ist daher, diesen Flaschenhals zu um-

The Talos Principle 2 – Grafik- und Tuning-Settings

Grafik-Setting	Ultra/Epic	PCGH-Quality	PCGH-Performance
Upsampling	TSR nativ	TSR nativ	DLSS/FSR/XeSS Quality
Auflösung (interne Rendereauflösung)	1.920 × 1.080 (nativ)	1.920 × 1.080 (nativ)	1.920 × 1.080 (720p)
Anti-Aliasing	Ultra	Ultra	Hoch
Globale Beleuchtung	Ultra	Hoch	Hoch
Schatten	Ultra	Hoch	Hoch
Sichtweite	Sehr weit	Sehr weit	Hoch
Texturen	Ultra	Hoch	Hoch
Effekte	Ultra	Hoch	Hoch
Reflexionen	Ultra	Hoch	Hoch
Nachbearbeitung	Ultra	Hoch	Hoch

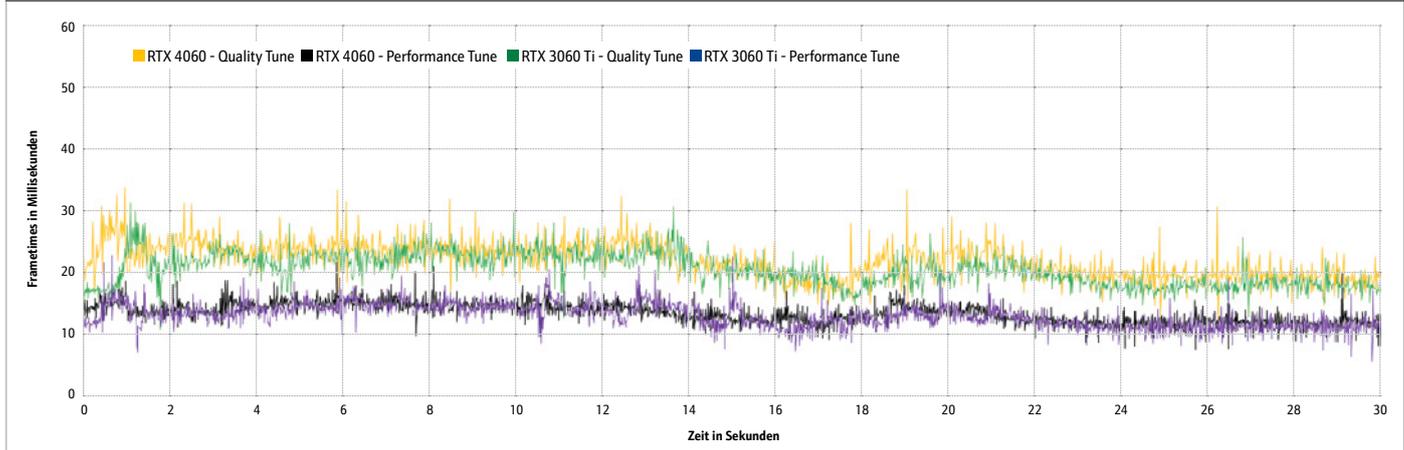
gehen. Dazu setzen wir Texturen, Schatten, Effekte und Post-Processing von „Ultra“ auf „Hoch“, bei Globaler Beleuchtung und Reflexionen sparen wir mit der hohen Stufe Performance, ohne vollständig auf die schicke Raytracing-Beleuchtung verzichten zu müssen. Sichtweite und Auflösung lassen wir auf dem Maximum respektive nativ. Dies ist ausreichend, um mit unserem Quality-Tune und der aktuellen

Mittelklasse komfortabel 30 Fps zu erzielen und lässt insbesondere die Bildraten der RX 7600 explodieren. Sogar die Mittelklasse letzter Generation in Form der RX 6600 XT darf so noch mitspielen.

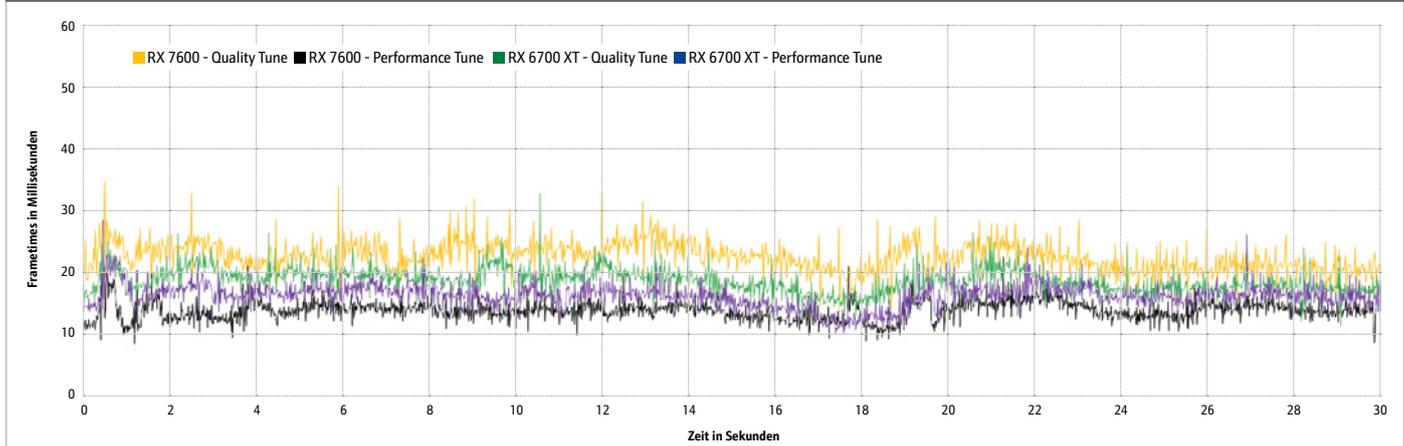
Für den Performance-Tune setzen wir auf Quality-Upsampling. Wir wählen das jeweilig zugehörige Verfahren, also DLSS für die Geforces und XeSS – in der verbesserten

XXM-Hardware-Version – für Arc-GPUs. Für die Radeon nutzen wir FSR, doch an dieser Stelle wäre auch TSR eine Option. Das UE5-Upsampling sieht teils stabiler aus und ist explizit für AMD respektive die Konsolen optimiert. So oder so lassen sich mit Quality-Upsampling und hohen Details gute Bildraten erzielen und dennoch grafische Pracht samt Raytracing genießen – auch mit der GPU-Mittelklasse.

The Talos Principle 2 – Frametime-Vergleich der Tuning-Settings mit RTX 4060 und RTX 3060 Ti



The Talos Principle 2 – Frametime-Vergleich der Tuning-Settings mit RX 7600 und RX 6700 XT



Robocop: Rogue City

Wenn es einen Entwickler gibt, der sich dem Glanz der 1980er-Jahre und ikonischen Action-Filmen verschrieben hat, dann ist es die Spiele-Schmiede Teyon. Der polnischstämmige, mit rund 100 Mitarbeitern in drei Studios in Łódź, Krakau und Tokio relativ kleine Entwickler klaubt sich mit Vorliebe Film-Lizenzen von Action-Klassikern. Nach dem trashigen Revival des ebenfalls in den 1980ern populär gewordenen Rail-Shooter-Genres und Rambo The Video-Game konnte sich Teyon mit Terminator Resistance unter Old-School- und Shooter-Fans Anerkennung verdienen. Nun kommt Robocop und fordert Respekt. Dieses Mal glänzend präsentiert mit der Unreal Engine 5.



Keine allzu harte Kost

Während das Spiel trotz der Film-Lizenz offenkundig keine Multi-Milliarden-Dollar-Produktion ist, ist Robocop wiederholt ein gutes Beispiel für den Umstand, das auch kleinere Entwickler mithilfe der Unreal Engine 5 nicht nur gute Spiele, sondern auch fortschrittliche Grafik schaffen können. Robocop nutzt eine ganze Reihe der Fähigkeiten der noch jungen UE, in diesem Fall kommt bereits die Version 5.2 zum Einsatz. Robocop bietet dank Nanite ein fortschrittliches Level of Detail, auf Wunsch kann der Spieler im Optionsmenü außerdem Lumen zuschalten und Globale Beleuch-

tung, indirekte Verschattung und Reflexionen in feiner Raytracing-Pracht genießen. Allerdings kommt auch in Robocop abermals nur Software-Lumen zum Einsatz, selbst mit den optional aktivierbaren HQ-Lumen-Spiegelungen.

Für die Fps-Beschleunigung stehen die Upsampling-Verfahren FSR 2.2, DLSS samt Frame Generation sowie Intels XeSS bereit. Das UE5-TSR ist selbstverständlich ebenfalls an Bord. Die Anforderungen sind dabei moderat, jedenfalls im Vergleich mit anderen UE5-Titeln und unter Berücksichtigung, dass Raytracing

zum Einsatz kommt. Keine unserer Mittelklasse-Grafikkarten erliegt angesichts ungebührlicher Last dem Fps-Martyrium. Ein wenig Hand-anlegen ist aber dennoch ratsam, insbesondere für geschmeidige 60 Fps ist etwas Entlastung hilfreich.

zur Langsamkeit ein wohlthuender Umstand. Erfreulicherweise ist nicht allzu viel Zurückhaltung nötig, um den metallenen Bullen auf Trab zu bringen. Gut so, Mäßigung gehört nicht direkt in das traditionelle Repertoire der 1980er-Jahre.

Gut geschmiertes Getriebe

Auch wenn Robocop sich gemächlicher fortbewegt als so mancher 80er-Jahre-Veteran, behutsames Vorgehen ist eher nicht angesagt. Robocop ist ein ruppiger Shooter und Sie steuern den Protagonisten wie einen zweibeinigen Panzer. Fluffige 60 Fps sind trotz Verschreibung

Im Grunde ist flugs für entsprechende Entlastung gesorgt, schon mit Quality-Upsampling anstelle der nativen Auflösung nähert sich die Midrange-Riege der gewünschten Geschwindigkeit an. In Robocop ist der Speicher mit rund 7,5 GiByte etwas weniger stark belastet als in The Talos Principle 2

Volle Details mit Quality-Upsampling

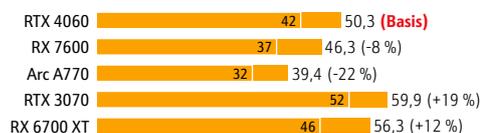
Ultra HD, volle Details



WQHD, volle Details



Full HD, volle Details



System: Core i9-13900KS (8 P-Cores, 16 Threads) @ 5,7 GHz (Cache @ 5,1 GHz), 32 GiB Patriot DDR5-7600; AMD Software 23.11.1, Intel GOD 4952, Geforce GRD 546.08; Windows 11 x64 **Bemerkungen:** Benchmarks vom 08.11., für mehr siehe www.pcgh.de.

P1 **Ø Fps**
▶ Besser



Die nassen Straßen in Robocop zieren schicke (Software-)Raytracing-Spiegelungen. Die HQ-Option steuert u. a. LoD und Lumen-Modell (hier Mesh Distant Fields).

und insbesondere Ark, ein Verzicht auf die höchste Texturstufe lindert aber auch hier den durch die beschnittene PCI-E-Transferrate entstehenden Flaschenhals bei RTX 4060, RX 7600 und Co. Abermals profitieren die beschnittenen AMD-GPUs in Gestalt der RX 6600 XT und RX 7600 am stärksten, auch hier liegt der Grund bei dem etwas höheren Speicherbedarf der Radeons in Kombination mit der x8-An-

bindung begraben. Die RTX 4060 profitiert indes ebenfalls durch die Speicherentlastung, gut sichtbar im Vergleich mit der RTX 3060 Ti.

Das nächste nicht allzu schwere Opfer sind die Schatten sowie die HQ-Lumen-Reflexionen. Diese bringen nur einen relativ kleinen Qualitätsgewinn und schicke Lumen-Spiegelungen gibt es auch ohne die HQ-Option. Mit der Extra-Option

werden diese lediglich etwas feiner. Die hochqualitative Darstellung via Mesh Distant Fields wird auch ohne die HQ-Spiegelungen angewandt und über den Lumen-Spiegelungen liegen hier wie dort Screen Space Reflections, die zusätzliche Feinheiten und außerdem dynamische Modelle wie Figuren ergänzen. Wir können im Gegenzug gar GI und Reflexionsqualität auf der höchsten, „epischen“ Stufe belassen. Mit Quality-Upsampling haben wir mit der aktuellen Mittelklasse noch einen komfortablen Leistungsüberschuss, selbst die Perzentile liegen über der erwünschten 60-Fps-Marke.

Welche Form des Upsamplings Sie wählen, spielt nur eine untergeordnete Rolle. FSR fällt abermals mit krümeliger Darstellung auf. DLSS betont ebenso wie das AMD-Upsampling das Importance Sampling der Lumen-Darstellung stärker, da der Ray-Count mit der Renderauflösung abnimmt und auf diese Weise diese Form der Artefaktbildung betont. Auf dem nassen Asphalt tanzen verstärkt sichtbare Flecken, mit Quality-Upsampling ist dies allerdings auch in Full HD noch verschmerzbar. Obendrein ist der Effekt nur hier und dort auffällig.

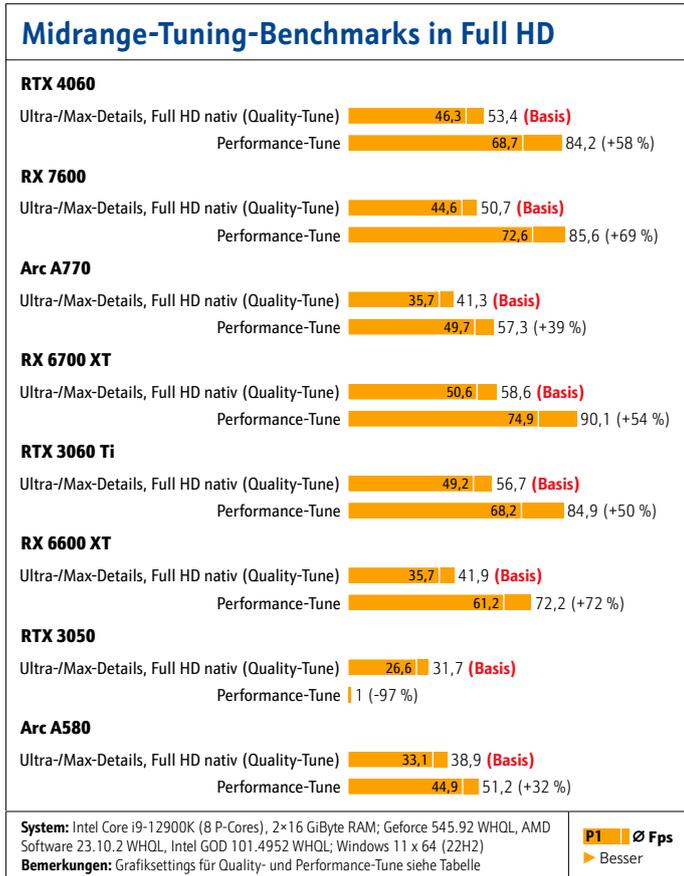
Während Besitzer eine Geforce-RTX 4000 respektive wir mit unserer RTX 4060 die Nvidia Frame Generation zuschalten könnten und auf diese Weise und mit unserem Performance-Tune gar 120/144 Fps in Angriff nehmen könnten – ebenso wie bei den anderen UE5-Titeln in diesem Test – fehlt in allen Titeln ein Schalter für DLSS 3.5 respektive

Nvidias neue Ray Reconstruction, welche die erläuterte Artefaktbildung unterbinden könnte.

Auch für Intel nicht zu arg

Intels XeSS macht ebenfalls eine gute Figur und ist für Arc-Besitzer erste Wahl, die Hardware-beschleunigte Version des Intel-Upsamplings zeichnet ein erfreulich sauberes Bild, die fleckige Artefaktbildung ist obendrein reduziert. Und auch sonst machen die Intel-GPUs in Robocop eine gute Figur, auch wenn sie etwas hinter AMD und Nvidia zurückfallen und von den Tuning-Maßnahmen weniger stark profitieren – hier liegt offenkundig noch etwas Optimierungspotenzial brach. Generell lässt es sich mit Intels Midrange-GPUs aber ähnlich gut spielen wie mit der Konkurrenz. Dies ist nicht in allen UE5-Titeln der Fall, in The Talos Principle 2 fallen die Intel-GPUs deutlicher hinter AMD und Nvidia zurück, in Ark Survival Ascended sehen die Arc-Chips gar aktuell kaum Licht. Offenbar gibt es zum momentanen Entwicklungsstand der Unreal Engine 5 sowie den Intel-Treibern Lastsituationen und -umstände, mit denen die Konkurrenz besser zurechtkommt. Allerdings besteht die gute Hoffnung, dass in näherer Zukunft noch deutliche Performance-Verbesserungen in die Unreal Engine 5 einfließen werden, darunter auch für die Lumen-Darstellung sowie Hardware-Raytracing.

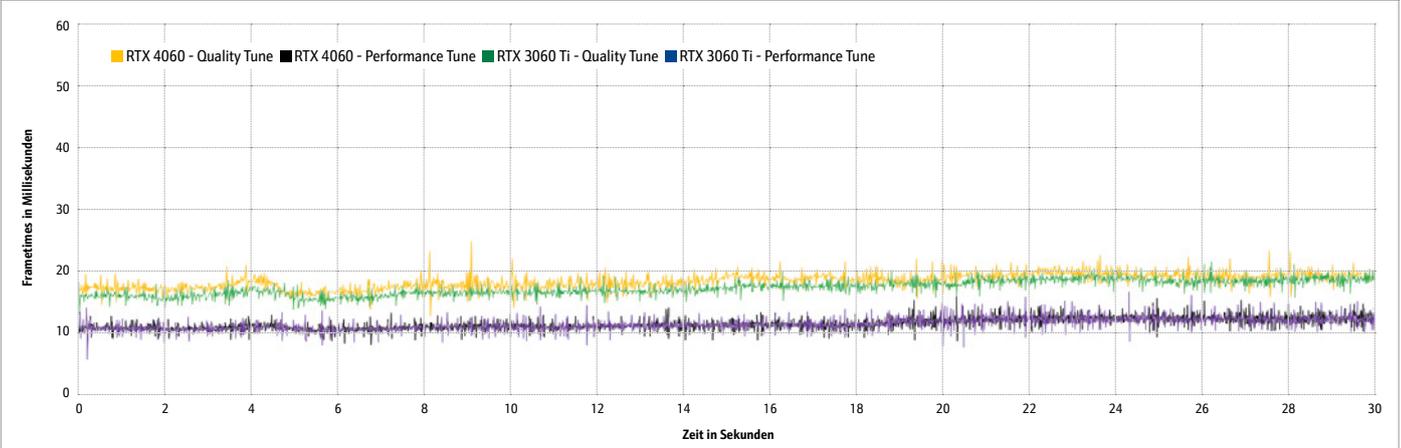
So oder so lassen sich aktuelle Unreal-Engine-5-Titel auch mit Intels Arc-Grafikkarten spielen, der Mittelklasse ist somit eine durchaus ernstzunehmende Konkurrenz erwachsen, die eine Alternative zu AMD und Nvidia darstellen kann. Im Gegensatz zur etablierten GPU-Gesellschaft gewährt Intel den Midrange-Grafikkarten eine volle PCI-Express-Anbindung – ein Umstand, der angesichts der Performance-Auffälligkeiten der Mittelklasse-GPUs von sowohl AMD als auch Nvidia lobenswert hervorgehoben werden sollte. Die beschnittene Transfer-Bandbreite von RX 7600, RTX 4060 und RX 6600 XT ist in jedem unserer Benchmarks ein Flaschenhals, selbst in Full HD und den weniger anspruchsvollen UE5-Titeln der ersten Generation. Werfen wir nun einen Blick auf das, was noch kommt.



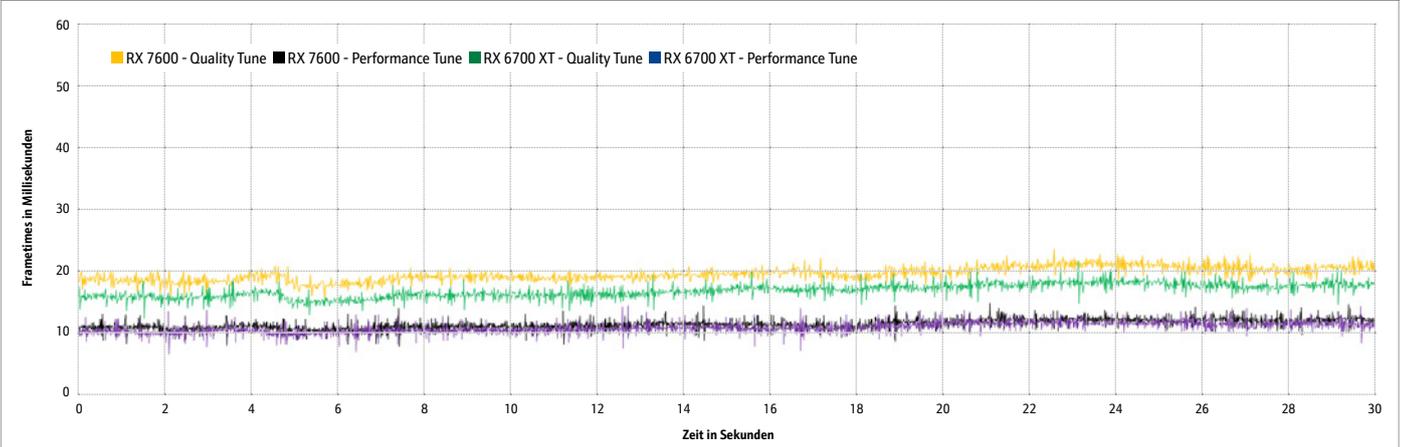
Robocop Rogue City – Grafik- und Tuning-Settings

Grafik-Setting	Episch/PCGH-Quality	PCGH-Performance
Anti Aliasing/Upsampling	Ultra/Aus	DLSS/FSR/XeSS Quality
Auflösung (interne Renderauflösung)	1.920 x 1.080 (nativ)	1.920 x 1.080 (720p)
Sichtweite	Episch	Episch
Nachbearbeitung	Episch	Episch
Schatten	Episch	Hoch
Texturen	Episch	Hoch
Effekte	Episch	Episch
Globale Beleuchtung	Episch	Episch
Reflektionen	Episch	Episch
Blattwerk	Episch	Episch
Shading	Episch	Episch
Bewegungsunschärfe	An	An
Hochwertige Reflektionen	An	Aus

Robocop Rogue City – Frametime-Vergleich der Tuning-Settings mit RTX 4060 und RTX 3060 Ti



Robocop Rogue City – Frametime-Vergleich der Tuning-Settings mit RX 7600 und RX 6700 XT



Bildvergleich Robocop Rogue City

Trotz schicker Grafik und Lumen-Raytracing ist Robocop im Vergleich nicht sonderlich anspruchsvoll. Die potentesten GPUs in unserem Mittelklasse-Arsenal verdauen auch Full HD mit maximaler Pracht – ein wenig Tuning hilft trotzdem. Der optische Unterschied ist verhalten, auf die HQ-Spiegelungen (s. Bild 1) lässt sich verzichten.

Quality-Tune/maximale Details, nativ Full HD



Performance-Tune, TSR Quality



Performance Tune, XeSS Quality (XMX-Version)



- Innovative Lüftertechnologie
- Einfachste Installation
- Leiser Betrieb mit PWM und Entkopplung

Ausblick, Zwischenfazit und weitere Kandidaten

Neben den von uns in diesem Artikel getesteten Spielen gibt es eine Reihe weiterer Kandidaten, auf die wir im Folgenden eingehen möchten. Nicht wenige dieser Unreal-Engine-5-Titel haben obendrein zwischenzeitlich Updates und Patches erhalten. Zu diesen Spielen zählt etwa Remnant 2. Jüngst ist der erste Content-DLC The Awakened King erschienen, obendrein ist das

Spiel auf die Unreal Engine 5.2.1 portiert worden. Der postapokalyptische Shooter mit Souls-Like-Einflüssen macht nicht nur Laune, sondern außerdem technisch eine gute Figur. Lumen kommt zwar nur gemäßigt, aber stimmungsvoll zum Einsatz, die Performance ist obendrein vergleichsweise hoch, der Speicherbedarf gemäßigt. Selbst mit einer am PCI-Express beschnittenen,

im Vergleich zu einer GeForce RTX 4060 stets etwas speicherhungrigen Radeon RX 7600 erzielen wir mit vollen Details knapp unterhalb 60 Fps – mit Quality-Upsampling sind mehr als 60 Bilder pro Sekunde überhaupt kein Problem. Interessant: Die Virtual Shadow Maps lassen sich hier separat und optional zuschalten, ein Verzicht auf die feine UE5-Schattenpracht ist allerdings

aus leistungstechnischen Gründen mit aktuellen Midrange-Grafikkarten nicht nötig.

Bei aktuellen UE5-Titeln ist es ausschlaggebend, wie sehr die Entwickler auf Lumen setzen, respektive wie umfangreich die Raytracing-Suite ausfällt und wie komplex die Strahlverfolgung mit anderen Techniken interagiert. Sehr auffällig ist in diesem Zusammenhang Nebel beziehungsweise genauer: volumetrische Effekte. Wenn Volumetrics auf umfangreiche Art und Weise mit der Beleuchtung und Verschattung interagieren, fallen diese Effekte sehr anspruchsvoll aus. Wenn sie obendrein mit der indirekten, Globalen Beleuchtung respektive Lumen interagieren, explodieren die Leistungskosten – ein gutes Anschauungsbeispiel ist die Neuauflage von Ark. Hier findet sich einer der Hauptgründe dafür, dass die Dino-Survival-Sandbox praktisch alle akutele Grafikkarten niederstreckt.



Das bereits im Juli erschienene Remnant 2 setzt ebenfalls auf die Unreal Engine 5 und bietet seit Kurzem zusätzliche Inhalte in Form des DLC The Awakened King. Remnant 2 nutzt außerdem mittlerweile die UE 5.2.1, welche Verbesserungen enthält.



Das stimmungsvolle Mars-Abenteuer Fort Solis bietet schicke Beleuchtung via Software-Lumen und atmosphärisch ausgeleuchteten, volumetrischen Nebel. Dieser Umstand erhöht die Last deutlich. Die UE 5.2.1 befeuert aktuell das Spielgeschehen.

Erwas weniger heftig und weniger aufwendig bindet das Mars-Abenteuer Fort Solis volumetrische Effekte in die UE5-Beleuchtung ein. Fort Solis nutzt aktuell die UE 5.2.1, ebenso wie Remnant 2. Doch erzielt die gleiche RX 7600 in nativer Full-HD-Auflösung mit knapp über 30 Fps kaum die Hälfte der Bildrate, die mit vollen Details in Remnant 2 erreicht werden. Auch fällt der Speicherbedarf deutlich höher aus und gebietet abermals Verzicht bei Texturen und Schatten, um der Mittelklasse-Radeon auf die Sprünge zu helfen. Erneut ist die beschnittene Anbindung ein Flaschenhals, der sich mit einem älteren System auf PCI-E-3.0-Basis nochmals verschärft. Dies ist allerdings nicht Schuld der Unreal Engine, sondern war eine bewusste Entscheidung der Grafikkartenhersteller; im Sinne der Unreal Engine 5 eine gravierende. Doch auch hier gibt es Hoffnung.

Sich anbahnender Fortschritt

Bei den aktuell verfügbaren Unreal-Engine-5-Titeln gibt es eine Reihe Faktoren zu beachten. Der Umstand, dass bislang eher kleinere Produktionen auf Basis der Unreal Engine 5 erschienen, aber bislang



Layers of Fear war einer der frühen UE5-Pioniere. Lumen kommt für Spiegelungen und die stimmungsvolle Beleuchtung zum Einsatz, optional Hardware-beschleunigt.



Alan Wake 2 zieht alle Register und bietet luxuriöses Pathtracing. Bis dieses bei der Mittelklasse flüssig ankommt, vergeht noch mindestens eine GPU-Generation.



Die Mittelklasse muss sich gedulden: Mit Pathtracing-Grafik ist Cyberpunk 2077 selbst für Nvidia-Midrange-GPUs und inklusive Frame Generation kaum stemmbar.



Die Dino-Simulation The Isle wurde vor einigen Monaten auf die UE5 portiert und ist einer der wenigen Titel, die explizit Hardware-Raytracing/Lumen unterstützen.

keine Multi-Millionen-Triple-A-Produktion, ist etwa beachtenswert, denn natürlich würde man bei solch einem Blockbuster davon ausgehen, dass dieser auch optisch gewichtig ausfällt respektive grafisch für Aufsehen sorgt.

Dabei steht allerdings außerdem zu beachten, dass die aktuelle Entwicklung nicht stehenbleibt, sich die Unreal Engine 5 momentan tatsächlich in einem Tempo weiterentwickelt, das selbst für fachkundige Redakteure nicht ohne Weiteres zu erfassen ist. Es fließen aktuell nicht nur technische Verbesserungen in die Grafik-Engine ein, sondern auch Optimierungen, die teils sehr deutliche Vorteile bringen. Viele

bereits erschienene UE5-Spiele rüsten in Form von Patches nach, so nutzt etwa das im August auf Basis der Unreal Engine 5.1 erschienene Fort Solis auf den aktuellen Stand gebracht nun Version 5.2.1. Auch andere Spiele erhalten Updates, Layers of Fear und das sich noch in Entwicklung befindliche The Isle bieten nach Updates etwa optionalen Support für Hardware-Lumen. Dies ist ein guter Stichpunkt, denn potenziell liegt hier nicht nur Grafik-, sondern auch Performance-Potenzial brach, eventuell in nicht zu unterschätzendem Maße.

Der momentane Status quo – die Unreal Engine 5.3.2 – wird nicht lange anhalten. Die Unreal Engine

5.4 steht für Anfang 2024 bereits in den Startlöchern und verspricht massive Verbesserungen, sowohl was Optik als auch Performance betrifft. Neben einer ausgebauten Landschaftsdarstellung und dynamischem Displacement mittels Texturen (früher Tessellation) via Nanite ist auch ein optimierter Shader-Ansatz für die Nanite-Technik geplant – Features, die nicht nur die Performance erhöhen, sondern auch die Speicheranforderungen drücken könnten. Ein weiterer, potenziell sehr vielversprechender Punkt in der UE5.4-Roadmap ist der Ausbau und die Optimierung von Hardware-Lumen. Das Ziel der Engine-Entwickler ist, mithilfe der Hardware-Beschleunigung Lumen-

Raytracing auf den Konsolen mit 60 Fps zu ermöglichen. Das würde tendenziell einer Verdoppelung der aktuellen Lumen-Performance entsprechen, jedenfalls bezogen auf Epics aktuelle Performance-Richtlinien für Entwickler. Statt Sorge und schwere Bürde für Midrange-Schultern könnte schon die kommende UE5-Version stattdessen für Entlastung sorgen. Es besteht also gute Hoffnung für die GPU-Mittelklasse, feines Raytracing ist nicht ausgeschlossen. Einzig Pathtracing, Zugpferd für luxuriöse High-End-GPUs, bleibt voraussichtlich der elitären Gaming-Oberschicht vorbehalten. Sei es ihr gegönnt, ein wenig Geduld und die Mittelklasse wird nachziehen. (pr)



GX - 1000W/ 850W/ 750W
10 Jahre Herstellergarantie



ATX3.0

Grafikkarten

Grafikkarten, Kühler und Treiber

www.pcgameshardware.de/grafikkarte

Mit neuen Leistungsdaten ins Jahr 2024

Während Sie diese Zeilen lesen, scheuchen wir fleißig Grafikkarten durch die Leistungsindizes 2024 – mit einer im November eingeflossenen Neuerung.

Teure Leser kennen das Spiel: Einmal im Jahr renovieren wir unsere Grafikkarten-Benchmarks, um der Entwicklung am Spiele- und Hardware-Markt Rechnung zu tragen. Nachdem die neuen Leistungsindizes zusammengestellt waren (siehe PCGH 12/2023 an dieser Stelle), haben wir weitere Modelle getestet und die Praxistauglichkeit der Benchmark-Aufstellungen beobachtet. Da einige Updates, unter anderem für Starfield, die Leistung deutlich beeinflussen,

sind ständige Nachtests notwendig, sodass wir eine kleine Aktualisierung vornehmen und sowohl Alan Wake 2 als auch Call of Duty: Modern Warfare 3 (als Nachfolger von MW2) integrieren. Läuft alles glatt, veröffentlichen und erläutern wir die offenfrischen Werte in der kommenden Ausgabe. Bis dahin haben die hier abgedruckten Benchmarks Bestand – selbstverständlich mit aktualisierten Preis-Leistungs-Berechnungen.

PCGH testet Grafikkarten unter den vier Auflösungen Full HD, WQHD, Ultrawide-QHD, Ultra HD und generiert daraus sowohl Einzel-Indizes (die kleinen grauen Balken) als auch den

Gesamt-Index (blauer Balken). Welche Grafikkarte optimal geeignet ist, hängt von Ihren Ansprüchen ab. Unsere Spartipps für Full-HD-Spieler lauten Radeon RX 6600 (ab ca. 200 Euro) und Arc A580 (ab ca. 215 Euro). Ein guter Allrounder bis inklusive WQHD ist die Radeon RX 6700 XT um 340 Euro. Wer sich mehr Leistung wünscht, gerade für Raytracing, greift zu einer GeForce RTX 4070 oder Radeon RX 7800 XT für jeweils weniger als 600 Euro. Basierend auf unseren jüngsten Benchmarks raten wir in aller Deutlichkeit dazu, 8 GiB VRAM als Minimum anzusehen, bereits mit 12 GiB landen Sie im sicheren Bereich. Optimal sind 16 GiB. (rv)

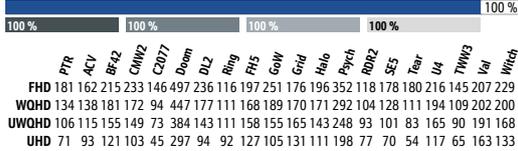
Grafikkarten-Leistungsindex – Rasterizing

Top 10

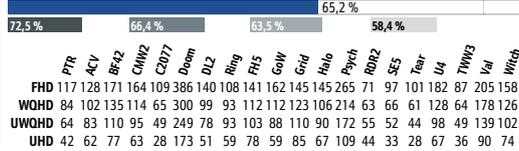
■ Gesamt ■ FHD: 1.920 × 1.080 ■ WQHD: 2.560 × 1.440 ■ UWQHD: 3.440 × 1.440 ■ UHD: 3.840 × 2.160

BESSER ► | Normierte Leistung | Preis-Leistungs-Index (PLV): Mehr ist besser

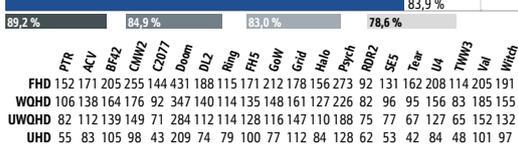
GeForce RTX 4090
 Takt: ~2,74/10,5 GHz
 RAM: 24 GiB GDDR6X
 Preis: Ca. 1.900 €
 PLV: 42,7%



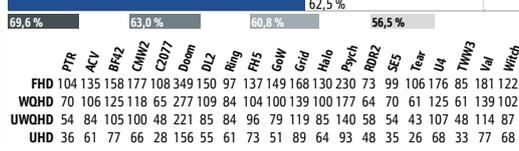
GeForce RTX 4070 Ti
 Takt: ~2,74/10,5 GHz
 RAM: 12 GiB GDDR6X
 Preis: Ca. 830 €
 PLV: 63,7%



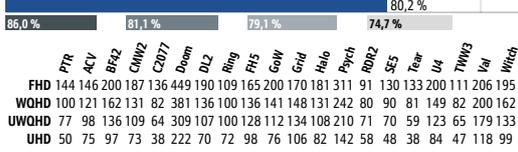
Radeon RX 7900 XTX
 Takt: ~2,70/10,0 GHz
 RAM: 24 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 960 €
 PLV: 70,9%



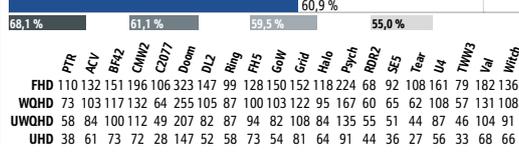
Radeon RX 6950 XT
 Takt: ~2,49/9,0 GHz
 RAM: 16 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 600 €
 PLV: 84,4%



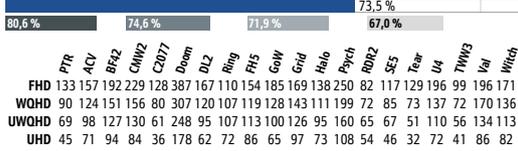
GeForce RTX 4080
 Takt: ~2,78/11,2 GHz
 RAM: 16 GiB GDDR6X
 Preis: Ca. 1.180 €
 PLV: 55,1%



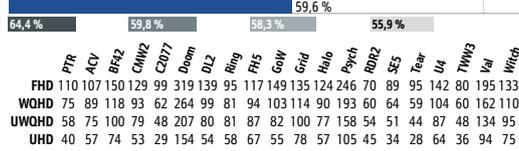
Radeon RX 7900 GRE
 Takt: ~2,23/9,0 GHz
 RAM: 16 GiB GDDR6
 Preis: OEM-Produkt
 PLV: -



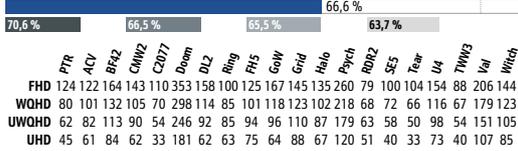
Radeon RX 7900 XT
 Takt: ~2,58/10,0 GHz
 RAM: 20 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 800 €
 PLV: 74,5%



GeForce RTX 3080 Ti
 Takt: ~1,81/9,5 GHz
 RAM: 12 GiB GDDR6X
 Preis: Ca. 870 €
 PLV: 55,5%



GeForce RTX 3090 Ti
 Takt: ~2,00/10,5 GHz
 RAM: 24 GiB GDDR6X
 Preis: Ca. 1.300 €
 PLV: 41,3%



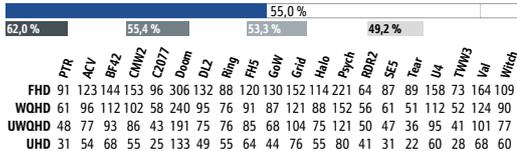
Radeon RX 7800 XT

Grafikkarten-Leistungsindex – Rasterizing Platz 11 bis 30

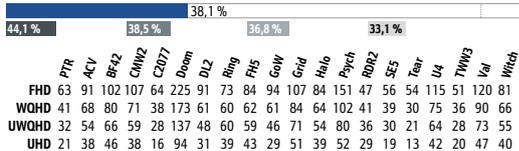
■ Gesamt ■ FHD: 1.920 × 1.080 ■ WQHD: 2.560 × 1.440 ■ UWQHD: 3.440 × 1.440 ■ UHD: 3.840 × 2.160

BESSER ► Normierte Leistung Preis-Leistungs-Index (PLV): Mehr ist besser

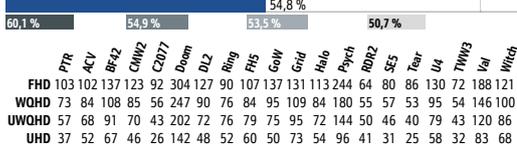
Radeon RX 6800 XT
 Takt: ~2,308/0,0 GHz
 RAM: 16 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 550 €
 PLV: 81,0%



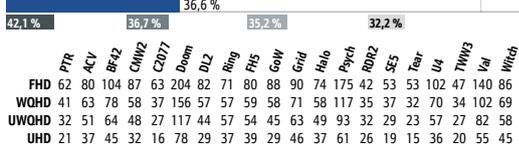
Radeon RX 6700 XT
 Takt: ~2,53/0,0 GHz
 RAM: 12 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 340 €
 PLV: 90,9%



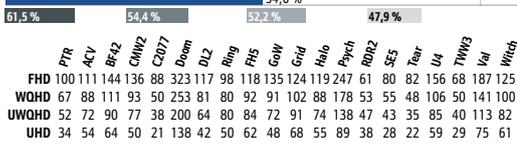
Geforce RTX 3080 10GB
 Takt: ~1,89/9,5 GHz
 RAM: 10 GiB GDDR6X
 Preis: Ca. 730 €
 PLV: 60,8%



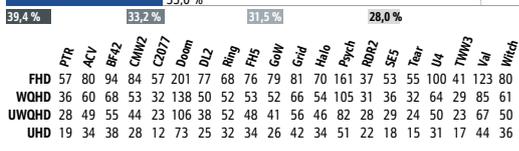
Geforce RTX 3060 Ti
 Takt: ~1,84/7,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 390 €
 PLV: 76,0%



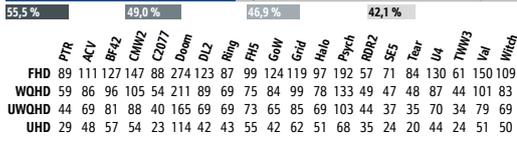
Geforce RTX 4070
 Takt: ~2,77/10,5 GHz
 RAM: 12 GiB GDDR6X
 Preis: Ca. 580 €
 PLV: 75,5%



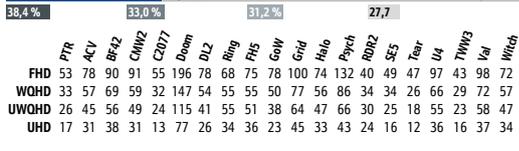
Geforce RTX 4060
 Takt: ~2,69/8,5 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 300 €
 PLV: 89,3%



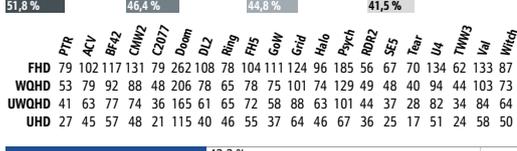
Radeon RX 7700 XT
 Takt: ~2,56/8,0 GHz
 RAM: 12 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 450 €
 PLV: 87,2%



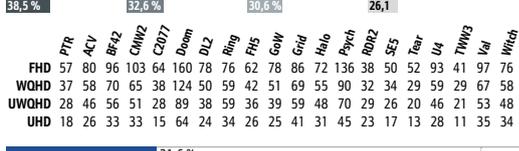
Radeon RX 6700
 Takt: ~2,47/8,0 GHz
 RAM: 10 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 320 €
 PLV: 82,5%



Radeon RX 6800
 Takt: ~2,21/8,0 GHz
 RAM: 16 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 450 €
 PLV: 83,1%



Radeon RX 7600
 Takt: ~2,61/9,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 280 €
 PLV: 92,7%



Grafikkarten-Leistungsindex – Raytracing

Top 20

■ Gesamt ■ FHD: 1.920 × 1.080 ■ WQHD: 2.560 × 1.440 ■ UWQHD: 3.440 × 1.440 ■ UHD: 3.840 × 2.160

BESSER ► | Normierte Leistung Preis-Leistungs-Index (PLV): Mehr ist besser

Geforce RTX 4090

Takt: ~2,74/10,5 GHz
RAM: 24 GiB GDDR6X
Preis: Ca. 1.900 €
PLV: 48,5%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	152	384	172	236	133	197	204	184	221	152											
WQHD	125	322	123	208	131	179	196	140	202	148											
UWQHD	99	274	99	179	129	143	178	110	172	135											
UHD	67	203	69	125	102	95	139	76	127	128											

Radeon RX 7900 GRE

Takt: ~2,20/9,0 GHz
RAM: 16 GiB GDDR6
Preis: OEM-Produkt
PLV: -

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	66	200	68	134	119	126	135	88	129	88											
WQHD	45	146	46	99	106	80	102	56	95	73											
UWQHD	36	121	36	80	92	63	85	43	79	62											
UHD	23	81	24	55	64	40	62	28	53	51											

Geforce RTX 4080

Takt: ~2,78/11,2 GHz
RAM: 16 GiB GDDR6X
Preis: Ca. 1.180 €
PLV: 62,9%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	132	327	130	214	133	190	203	160	199	148											
WQHD	90	251	89	162	127	139	174	105	154	138											
UWQHD	71	213	70	133	116	109	146	81	126	120											
UHD	47	149	47	89	80	69	108	54	90	99											

Radeon RX 6900 XT LC

Takt: ~2,42/9,23 GHz
RAM: 16 GiB GDDR6
Preis: Nicht lieferbar
PLV: -

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	63	189	59	135	129	118	125	82	125	81											
WQHD	42	135	39	96	106	74	95	51	91	69											
UWQHD	33	113	31	76	92	57	78	39	75	59											
UHD	21	74	20	51	64	37	57	25	51	51											

Geforce RTX 3090 Ti

Takt: ~2,00/10,5 GHz
RAM: 24 GiB GDDR6X
Preis: Ca. 1.300 €
PLV: 46,9%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	103	248	102	172	118	158	193	120	166	146											
WQHD	71	201	71	129	105	107	152	78	128	121											
UWQHD	57	169	56	106	94	84	128	62	107	99											
UHD	38	122	38	71	69	55	95	41	78	80											

Radeon RX 6950 XT

Takt: ~2,40/9,0 GHz
RAM: 16 GiB GDDR6
Preis: Ca. 600 €
PLV: 69,8%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	63	189	59	135	129	117	125	82	124	82											
WQHD	42	134	39	96	106	74	95	51	91	69											
UWQHD	33	113	31	76	91	56	78	39	74	58											
UHD	21	74	20	50	64	37	57	24	50	51											

Radeon RX 7900 XTX

Takt: ~2,70/10,5 GHz
RAM: 24 GiB GDDR6
Preis: Ca. 960 €
PLV: 63,4%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	78	265	95	177	147	165	178	124	185	122											
WQHD	59	202	65	134	135	110	136	80	138	103											
UWQHD	47	168	51	109	125	85	117	62	114	87											
UHD	32	114	34	75	90	55	89	40	78	73											

Radeon RX 7800 XT

Takt: ~2,35/8,75 GHz
RAM: 16 GiB GDDR6
Preis: Ca. 540 €
PLV: 75,9%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	61	187	63	126	118	117	120	83	118	84											
WQHD	41	138	42	90	100	74	93	52	88	70											
UWQHD	31	111	32	71	86	57	77	39	71	57											
UHD	21	75	21	49	60	36	57	25	51	47											

Geforce RTX 4070 Ti

Takt: ~2,74/10,5 GHz
RAM: 12 GiB GDDR6X
Preis: Ca. 830 €
PLV: 72,8%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	109	264	98	177	133	169	189	126	161	141											
WQHD	73	204	68	129	111	113	143	83	119	118											
UWQHD	57	167	53	105	95	86	118	64	98	97											
UHD	36	116	36	69	65	54	84	38	69	79											

Radeon RX 6900 XT

Takt: ~2,30/8,0 GHz
RAM: 16 GiB GDDR6
Preis: Ca. 740 €
PLV: 54,0%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	61	181	56	129	121	113	120	79	121	77											
WQHD	41	130	37	91	99	72	91	49	88	66											
UWQHD	31	108	29	72	86	55	74	38	71	56											
UHD	20	70	19	47	59	35	54	23	48	48											

Geforce RTX 3090

Takt: ~1,88/9,75 GHz
RAM: 24 GiB GDDR6X
Preis: Ca. 1.300 €
PLV: 43,9%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	99	237	92	160	116	149	188	115	155	137											
WQHD	65	191	63	118	100	99	144	75	119	110											
UWQHD	52	159	50	97	90	77	120	59	99	92											
UHD	35	114	34	65	65	50	89	39	71	74											

Radeon RX 6800 XT

Takt: ~2,32/8,0 GHz
RAM: 16 GiB GDDR6
Preis: Ca. 550 €
PLV: 68,8%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	57	175	53	121	118	105	115	74	114	74											
WQHD	38	125	35	86	96	67	86	45	82	64											
UWQHD	29	104	27	68	83	51	71	35	67	54											
UHD	19	67	18	44	57	33	51	22	45	46											

Geforce RTX 3080 Ti

Takt: ~1,81/9,5 GHz
RAM: 12 GiB GDDR6X
Preis: Ca. 870 €
PLV: 62,7%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	94	224	88	152	111	145	184	110	149	130											
WQHD	62	179	60	113	97	95	139	72	112	105											
UWQHD	50	150	48	92	86	74	116	56	93	88											
UHD	33	108	32	62	62	48	85	37	67	71											

Geforce RTX 4060 Ti 16GB

Takt: ~2,72/9,0 GHz
RAM: 16 GiB GDDR6
Preis: Ca. 480 €
PLV: 76,8%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	71	168	64	115	89	110	126	81	98	88											
WQHD	45	128	42	80	68	69	90	47	71	71											
UWQHD	34	104	32	64	58	52	72	32	57	58											
UHD	21	69	21	41	39	33	50	19	38	44											

Radeon RX 7900 XT

Takt: ~2,50/10,0 GHz
RAM: 20 GiB GDDR6
Preis: Ca. 800 €
PLV: 66,9%

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tokyo		Golg		Lego		MEE6		Rift		
FHD	74	237	83	161	141	148	159	108	160	107											
WQHD	53	176	57	119	128	97	123	69	117	90											
UWQHD	42	145	45	96	111	74	102	53	96	75											
UHD	28	97	30	65	78	47	76	34	65	62											

Geforce RTX 2080 Ti

Takt: ~1,86/7,0 GHz
RAM: 11 GiB GDDR6
Preis: Nicht lieferbar
PLV: -

	C2077		Doom		DL2		F2021		FC6		Tok	
--	-------	--	------	--	-----	--	-------	--	-----	--	-----	--

Grafikkarten-Leistungsindex – Raytracing

Platz 21 bis 40

■ Gesamt ■ FHD: 1.920 × 1.080 ■ WQHD: 2.560 × 1.440 ■ UWQHD: 3.440 × 1.440 ■ UHD: 3.840 × 2.160

BESSER ► Normierte Leistung Preis-Leistungs-Index (PLV): Mehr ist besser

Geforce RTX 4060 Ti 8GB
 Takt: ~2,749,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 400 €
 PLV: 86,8%

	37,7%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	70	161	64	115	80	109	127	81	98	88
WQHD	44	113	41	80	59	68	91	47	72	71
UWQHD	33	87	32	64	25	52	73	32	58	57
UHD	20	58	21	42	4	33	51	19	38	44

Arc A750
 Takt: ~2,398,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 240 €
 PLV: 100%

	26,1%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	35	109	42	77	63	76	49	55	85	57
WQHD	25	83	28	55	51	48	24	34	62	74
UWQHD	18	69	21	44	45	37	17	25	43	39
UHD	12	44	13	28	31	24	11	12	25	33

Geforce RTX 3060 Ti 6GX
 Takt: ~1,859,5 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6X
 Preis: Ca. 470 €
 PLV: 68,1%

	34,8%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	67	153	53	97	81	94	117	71	89	79
WQHD	39	108	35	68	63	59	86	44	65	64
UWQHD	30	91	27	54	23	49	70	33	53	52
UHD	18	60	18	35	8	28	51	20	37	41

Geforce RTX 2070 Super
 Takt: ~1,897,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Nicht lieferbar
 PLV: -

	25,9%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	43	97	36	79	60	71	97	45	71	66
WQHD	28	71	24	55	46	44	69	29	52	52
UWQHD	22	56	18	44	19	34	55	21	43	44
UHD	14	41	12	28	4	22	39	13	29	33

Radeon RX 6800
 Takt: ~2,208,0 GHz
 RAM: 16 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 450 €
 PLV: 71,4%

	34,8%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	48	135	44	104	101	93	100	62	98	65
WQHD	32	100	29	73	81	58	74	38	70	56
UWQHD	25	81	23	57	70	45	62	29	57	47
UHD	16	52	15	37	48	29	45	18	39	40

Radeon RX 6700
 Takt: ~2,438,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 320 €
 PLV: 69,2%

	24,1%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	34	101	30	77	79	69	73	43	67	49
WQHD	21	68	19	51	59	41	52	26	47	41
UWQHD	16	56	15	40	49	31	42	19	38	34
UHD	10	35	10	25	22	19	28	12	25	28

Geforce RTX 3060 Ti
 Takt: ~1,847,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 390 €
 PLV: 79,4%

	33,6%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	67	145	51	95	78	91	112	70	86	77
WQHD	38	104	34	66	61	57	82	43	63	62
UWQHD	28	89	26	53	23	43	67	32	52	50
UHD	18	59	17	34	8	27	48	19	36	40

Geforce RTX 3060 8GB
 Takt: ~1,927,5 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 280 €
 PLV: 76,1%

	23,2%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	49	110	32	68	59	65	79	47	58	56
WQHD	26	77	21	47	45	40	56	24	41	45
UWQHD	20	61	16	37	21	30	45	16	32	36
UHD	12	37	11	24	8	19	32	10	20	30

Arc A770 16GB
 Takt: ~2,308,75 GHz
 RAM: 16 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 360 €
 PLV: 79,5%

	31,1%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	37	125	45	83	72	78	77	58	94	82
WQHD	27	95	29	59	59	51	58	37	69	64
UWQHD	22	77	22	48	51	39	48	28	57	52
UHD	15	53	15	31	36	25	35	18	40	39

Radeon RX 7600
 Takt: ~2,679,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 280 €
 PLV: 72,7%

	22,1%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	35	85	35	75	62	66	68	42	71	50
WQHD	21	56	22	45	39	48	26	50	41	41
UWQHD	15	43	17	38	34	29	38	19	40	31
UHD	7	23	11	24	10	18	26	12	23	25

Geforce RTX 4060
 Takt: ~2,718,5 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 300 €
 PLV: 93,6%

	30,5%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	57	134	50	91	78	92	105	66	76	74
WQHD	35	90	32	61	55	57	73	34	54	59
UWQHD	27	69	24	48	25	43	59	23	43	48
UHD	16	51	16	31	4	27	41	14	27	36

Radeon RX 6650 XT
 Takt: ~2,678,75 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 250 €
 PLV: 75,7%

	20,6%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	31	94	29	74	58	59	67	39	60	44
WQHD	18	63	18	48	44	36	47	23	42	37
UWQHD	13	50	14	36	37	27	37	17	34	30
UHD	6	24	9	23	10	16	25	10	22	24

Radeon RX 6750 XT
 Takt: ~2,649,0 GHz
 RAM: 12 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 380 €
 PLV: 72,4%

	29,9%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	41	127	42	92	94	78	86	51	82	60
WQHD	26	88	26	63	71	49	63	31	58	51
UWQHD	20	72	20	49	59	37	51	23	47	42
UHD	12	45	13	32	40	23	36	14	31	34

Radeon RX 6600 XT
 Takt: ~2,588,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 330 €
 PLV: 55,1%

	19,8%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	30	91	28	70	56	56	65	38	57	43
WQHD	17	61	17	46	43	34	46	22	40	36
UWQHD	12	49	14	35	35	25	36	16	31	28
UHD	6	24	9	22	9	16	24	10	21	23

Radeon RX 6700 XT
 Takt: ~2,528,0 GHz
 RAM: 12 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 340 €
 PLV: 77,2%

	28,5%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	39	118	39	88	89	76	82	48	78	58
WQHD	25	82	25	60	68	47	60	30	55	48
UWQHD	19	67	19	47	57	36	49	22	45	40
UHD	12	43	13	30	37	22	34	14	30	33

Geforce RTX 2060 6GB
 Takt: ~1,867,0 GHz
 RAM: 6 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 250 €
 PLV: 66,1%

	17,9%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	39	81	26	59	47	53	74	33	53	51
WQHD	19	55	16	41	34	32	50	20	34	40
UWQHD	14	40	9	31	12	25	40	15	22	33
UHD	7	25	6	19	3	10	15	7	11	25

Arc A770 8GB
 Takt: ~2,408,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 290 €
 PLV: 90,0%

	28,4%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	37	116	45	84	65	79	55	58	93	82
WQHD	27	92	29	60	55	52	28	37	68	63
UWQHD	19	76	23	48	47	40	20	28	47	45
UHD	13	51	15	31	33	26	13	14	27	36

Geforce RTX 3050
 Takt: ~1,897,0 GHz
 RAM: 8 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 230 €
 PLV: 71,4%

	17,8%									
	C2077	Doom	DL2	F2021	FC6	Tokyo	GaGg	Lego	MEEF	Rift
FHD	32	85	26	54	44	48	67	34	46	43
WQHD	19	58	17	36	34	29	47	18	33	34
UWQHD	15	50	13	29	19	23	38	13	26	28
UHD	9	28	7	18	4	14	26	7	17	21

Geforce RTX 3060 12GB
 Takt: ~1,877,5 GHz
 RAM: 12 GiB GDDR6
 Preis: Ca. 290 €
 PLV: 85,4%

derne Methodik fußte auf einem PCI-Express-Extender, auf welchen die Grafikkarten gesteckt wurden. Erstmals konnten wir in Echtzeit die anliegenden Spannungen und Ströme messen, welche aus dem PCI-Express-Slot bezogen werden. Dafür benutzten wir ein Multimeter in Kombination mit speziellen Messschleifen und einer sogenannten Ampere-Zange. Die ermittelten Werte landeten in einem Excel, das die effektive Leistungsaufnahme in Watt (Volt × Ampere) sowohl pro Versorgungsschiene als auch insgesamt berechnete. Mit den Jahren und stetig komplexeren Grafikkchips offenbarten sich die Grenzen dieser Methodik: Kurzzeit-Peaks von wenigen Millisekunden, welche durch die immer schnellere Regelung der GPUs verursacht wurden, konnten nicht voll, sondern nur geglättet erfasst werden. Seit 2020 messen wir daher mithilfe des Power Capture Analysis Tools, kurz PCAT. Auch dieses basiert auf einem PCI-Express-Extender, kann jedoch wesentlich schneller alle Versorgungsleitungen in Echtzeit abfragen und protokollieren.

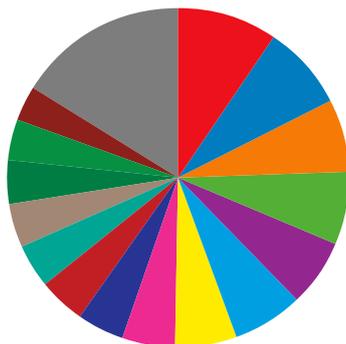
Weitere Details dazu, wie man Grafikkarten richtig misst und welche Faktoren dabei eine Rolle spielen, erfahren Sie in der Schlussbetrachtung. Bis dahin lassen wir die Balken sprechen. Sehr viele Balken, denn die Basis für diesen Artikel bildet unsere mit den Jahren stark angewachsene Datenbank an Messwerten. Da wir *deutlich* mehr als 500 Grafikkarten in den Händen hatten und die Übersicht dadurch leiden würde, haben wir selektiert. Während die Referenzkarten von AMD, Intel und Nvidia essenziell sind, um die Leistungsaufnahme zu bewerten, schränken wir die Vielfalt bei den jeweiligen Herstellerdesigns ein. Anstelle von fünf oder noch mehr Varianten beschränken wir uns meistens auf drei möglichst unterschiedliche Karten.

Für maximale Vielfalt und Aussagekraft sorgt die Unterteilung der Daten in die Kategorien „Leerlauf“ und „Gaming“. Ersteres entspricht der niedrigstmöglichen Leistungsaufnahme bei ruhigem Desktop, Letzteres der höchstmöglichen Leistungsaufnahme während des Spielens. Ab der nächsten Seite geht es los – wir wünschen viel Vergnügen.

Die Grafikkarten der PCGH-Leser

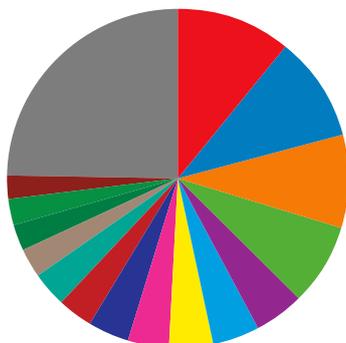
Seit vielen Jahren befragen wir unsere Leser regelmäßig auf www.pcgh.de nach ihrer installierten Grafikkarte und deren Speicher. Die hoch spannende Entwicklung im Schnelldurchlauf.

Die PCGH-Community wird von Freunden des Fortschritts dominiert, ein anderes Fazit ist beim Blick auf die aktuellen und historischen Ergebnisse nicht möglich. Der Anteil hochpreisiger Grafikkarten ist stets bemerkenswert hoch und in dieser Form völlig konträr zum Steam Hardware Survey (<https://store.steampowered.com/hwsurvey>). Unten sehen Sie die beispielhafte Entwicklung zwischen 2011 und 2023, wobei wir stets die Top 15 der Grafikkarten abbilden (grau = sonstige Modelle). Die verbreitetste Grafikkarte stammt stets aus dem Hause Nvidia.



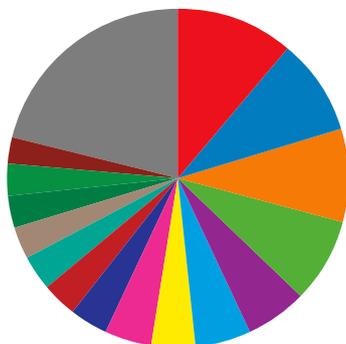
Sommer 2011

■ Geforce GTX 570 9,57	■ Geforce GTX 670/6750 4,22
■ Geforce GTX 460/560/465 8,06	■ Geforce GTX 285/280/275 4,22
■ Geforce GTX 580 7,05	■ Radeon HD 6870 4,09
■ Geforce GTX 470 6,73	■ Geforce GTX 260 (alle Vers.) 3,90
■ Radeon HD 5850 6,61	■ Radeon HD 6970 3,21
■ Geforce GTX 560 Ti 6,48	■ Sonstige 16,09
■ Radeon HD 5870 5,79	
■ Radeon HD 6950 5,10	
■ Radeon HD 4890/4870 4,47	
■ Geforce GTX 480 4,41	
■ Radeon HD 5770/5750/	



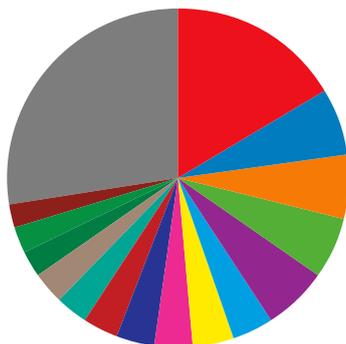
Sommer 2016

■ Geforce GTX 1070 10,98	■ Geforce GTX 770/680 3,34
■ Geforce GTX 980 Ti 9,96	■ Radeon HD 7950/R9 280 2,69
■ Geforce GTX 1080 8,83	■ Radeon HD 7870/R9 270(X) 2,69
■ Geforce GTX 970 7,97	■ Geforce GTX 1060 2,37
■ Radeon R9 290 4,68	■ Geforce GTX 780 2,21
■ Geforce GTX 980 4,36	■ Sonstige 24,63
■ Radeon HD 7970/GHz Edition/ R9 280X 4,09	
■ Radeon R9 390 4,04	
■ Radeon RX 480 3,82	
■ Radeon R9 290X 3,34	



Sommer 2019

■ Geforce GTX 1080 Ti 11,29	■ Geforce GTX 980 Ti 3,17
■ Geforce GTX 1080 9,15	■ Geforce GTX 970 3,10
■ Geforce GTX 1070 9,00	■ Radeon RX 480 2,88
■ Geforce RTX 2080 Ti 8,04	■ Geforce GTX 1070 Ti 2,58
■ Geforce RTX 2080 5,68	■ Sonstige 20,98
■ Radeon RX Vega 56 5,24	
■ Radeon RX Vega 64 4,35	
■ Geforce GTX 1060 4,21	
■ Geforce RTX 2070 3,62	
■ Radeon RX 580 3,54	
■ Radeon RX 5700 XT 3,17	



Sommer 2023

■ Geforce RTX 4090 16,39	■ Geforce RTX 3080 (10GB) 2,87
■ Radeon RX 7900 XTX 6,58	■ Geforce RTX 4070 Ti 2,63
■ Radeon RX 6900 XT 5,98	■ Geforce RTX 3080 Ti 2,39
■ Radeon RX 6800 XT 5,98	■ Geforce RTX 2080 Super/ 2080/2070 Super 2,27
■ Geforce RTX 4080 5,98	■ Sonstige 27,39
■ Radeon RX 6750 XT/6700 XT 4,07	
■ Geforce RTX 4070 3,71	
■ Geforce RTX 3090 (Ti) 3,71	
■ Radeon RX 7900 XT 3,59	
■ Radeon RX 6800 3,35	
■ Radeon RX 5700 (XT) 3,11	

Leistungsaufnahme im Leerlauf

Der Windows-Desktop. Unendliche Weiten – nicht. Obwohl hier kaum etwas gefordert wird, kommen einige GPUs dennoch ins Schwitzen.

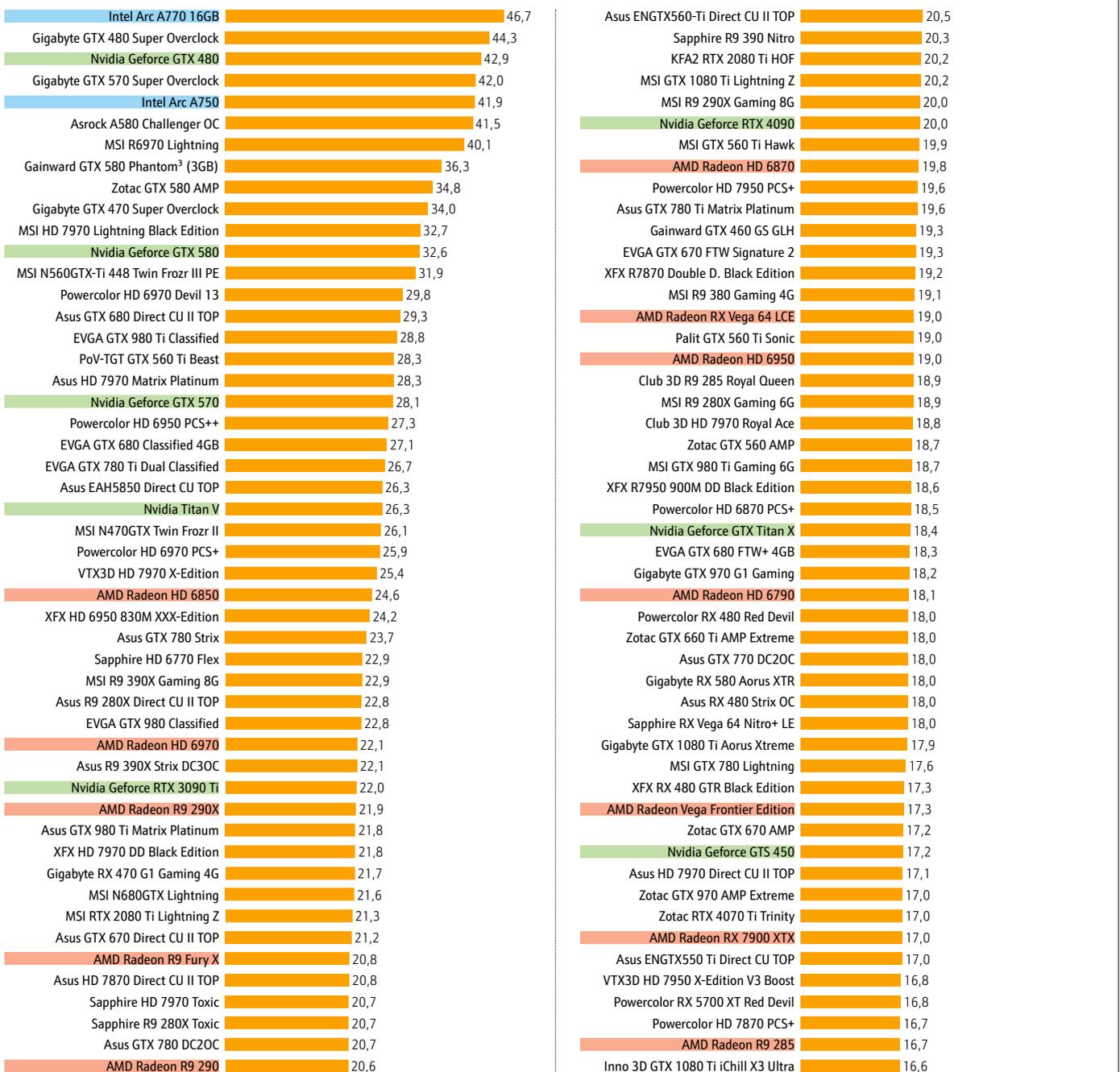
Grafikkarten haben eine gigantische Entwicklung hinter sich. Das betrifft auch die Stromsparmodi, welche erst mit der DirectX-11-Generation implementiert und seitdem stark verfeinert wurden. Die Idee ist naheliegend, war jedoch in den frühen Jahren der Prozessoren nicht notwendig: Warum sollen alle Rechenwerke und Tran-

sistoren schalten und walten, wenn gerade nur der Windows-Desktop angezeigt oder ein Video dargestellt wird? Hier genügt ein Bruchteil der vorhandenen Einheiten. Falls plötzlich echte Arbeit ansteht, beispielsweise eine Runde Call of Duty Warzone, knipst man in Sekundenbruchteilen die großen Geschütze an. Die technische Umsetzung dieser Idee ist sehr komplex. Sowohl AMD als auch Nvidia haben viele Jahre und GPU-Generationen gebraucht, um das aktuelle Effizienzniveau im Niedrig- bis Nulllastbetrieb zu erreichen – und selbst 2023

benötigen einige Szenarien immer noch mehr Strom, als einem lieb ist, beispielsweise die Ansteuerung von Monitoren mit Ultra HD und 144 Hertz. Wenn man sich die blau hinterlegten Plätze 1 und 5 direkt unter diesem Text ansieht, wird klar, dass aller Anfang schwer ist.

Doch fangen wir „unten“ an. Nvidias Geforce 8800 GTX, welche Ende 2006 Maßstäbe setzte, hält rein gar nichts vom Heruntertakten. Der mit 90 Nanometer Strukturbreite gefertigte G80 und sein damals monströser, 768

Windows-Desktop, ruhender Mauszeiger (Ultra HD, 60 Hz)



Bemerkungen: Grafikkarten-Leistungsaufnahme isoliert vom Restsystem gemessen. Die Referenzkarten von AMD („Made By AMD“, MBA), Intel (Limited Edition) und Nvidia (Founders Edition) sind farblich hervorgehoben, die Custom-Designs der Boardpartner nicht.

Watt Besser

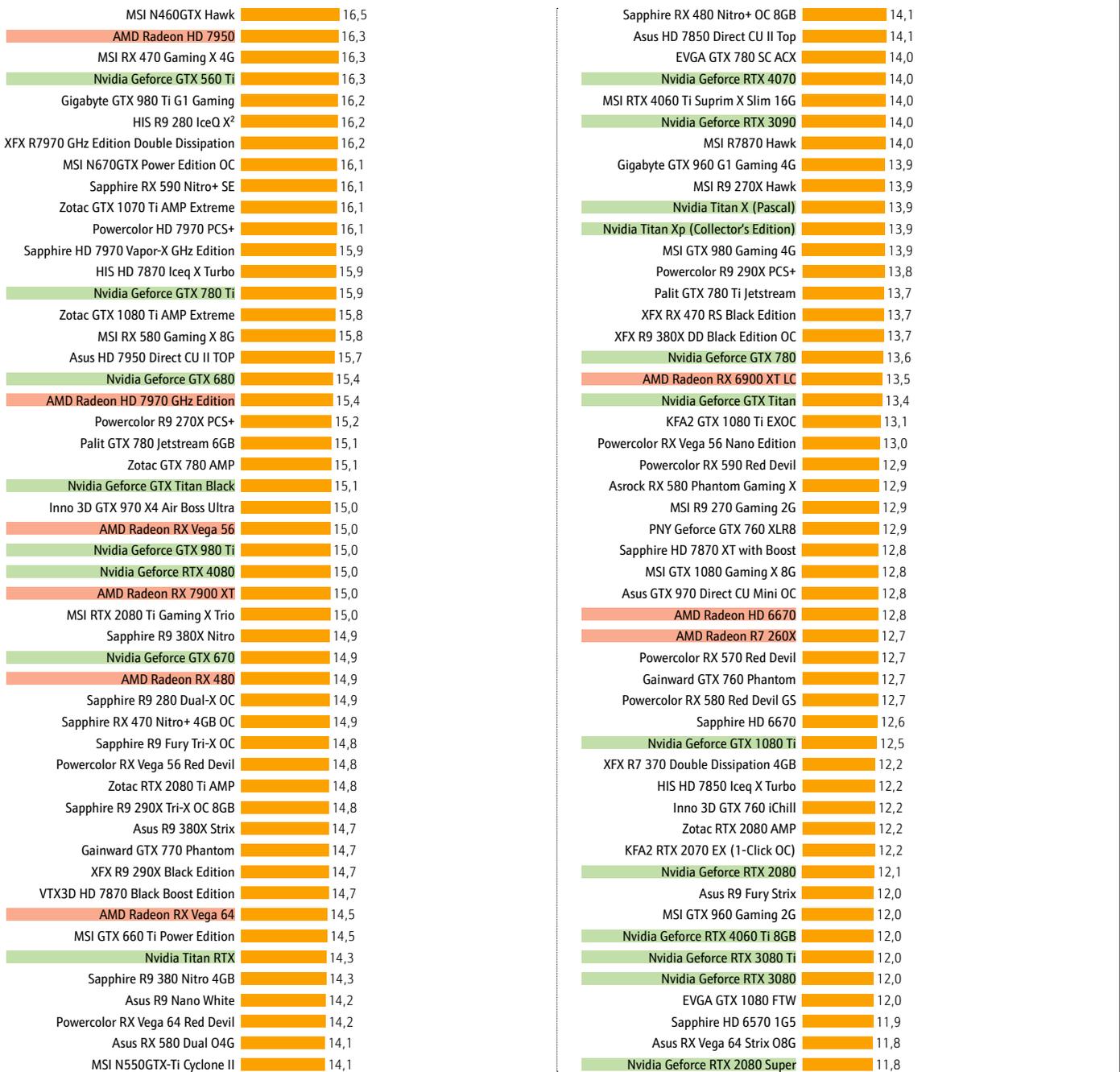
MiByte fassender GDDR3-Speicher laufen stets mit Vollgas, sodass gut 58 Watt anfallen. Für den Fall, dass Sie seit 2006 eine 8800 GTX im Rechner haben und diese täglich für Büro-Arbeiten einspannen, gehen die reinen Stromkosten dafür stramm auf 1.000 Euro zu. Dagegen wirken die aktuellen Spitzenreiter geradezu asketisch, mit Verbrauchswerten um 40 Watt akkumulieren sich hier jedoch ebenfalls beträchtliche Summen.

Blickt man auf die Top 10 der Elektroheizungen, wird klar, warum Nvidias Fermi zurecht als „Thermi“ verschrien war: Modelle auf Basis der GeForce GTX 400 und

GTX 500 dominieren die Rangliste. Dazwischen finden sich einige Varianten auf Basis der Radeon HD (nicht RX) 69x0. Alle genannten Grafikkarten markieren den Zenit der 40-nm-Fertigung, bei der wenig Wert auf Energieeffizienz gelegt wurde. Mit dem Wechsel auf 28-nm-Strukturen wendete sich vieles zum Guten: Nicht nur die Geforce-GTX-600-Reihe schonte die Stromrechnung, auch die ein paar Monate zuvor veröffentlichten HD-7000-Grafikkarten von AMD wussten, wie man Energie spart. Jedoch gab es auch hier einige Modelle, welche Overclocking-Eignung über den Effizienzgedanken stellten, darunter die MSI R7970 Lightning sowie Asus' GTX

680 Direct CU II TOP und HD 7970 Matrix Platinum. Insgesamt sieht das Bild jedoch gut aus, das Wattniveau hatte den 20er-Bereich erobert. Bereits 2010 unterschritten einige Modelle knapp diese Marke, allerdings lediglich Mittelklasse- und Einsteiger-Modelle wie die Radeon HD 6870 oder Geforce GTS 450 (Fermi!). Dauerhaft unter die 20-Watt-Marke ging es bei Nvidia erst nach dem Wechsel auf Maxwell in den Jahren 2014 und 2015: Sowohl die GTX-900-Modelle als auch die letzte „Geforce GTX“ Titan X unterschreiten diesen Wert recht deutlich. Bei AMD sieht es ähnlich aus, mit klaren Fortschritten über die Generationen.

Windows-Desktop, ruhender Mauszeiger (Ultra HD, 60 Hz)



Bemerkungen: Grafikkarten-Leistungsaufnahme isoliert vom Restsystem gemessen. Die Referenzkarten von AMD („Made By AMD“, MBA), Intel (Limited Edition) und Nvidia (Founders Edition) sind farblich hervorgehoben, die Custom-Designs der Boardpartner nicht.

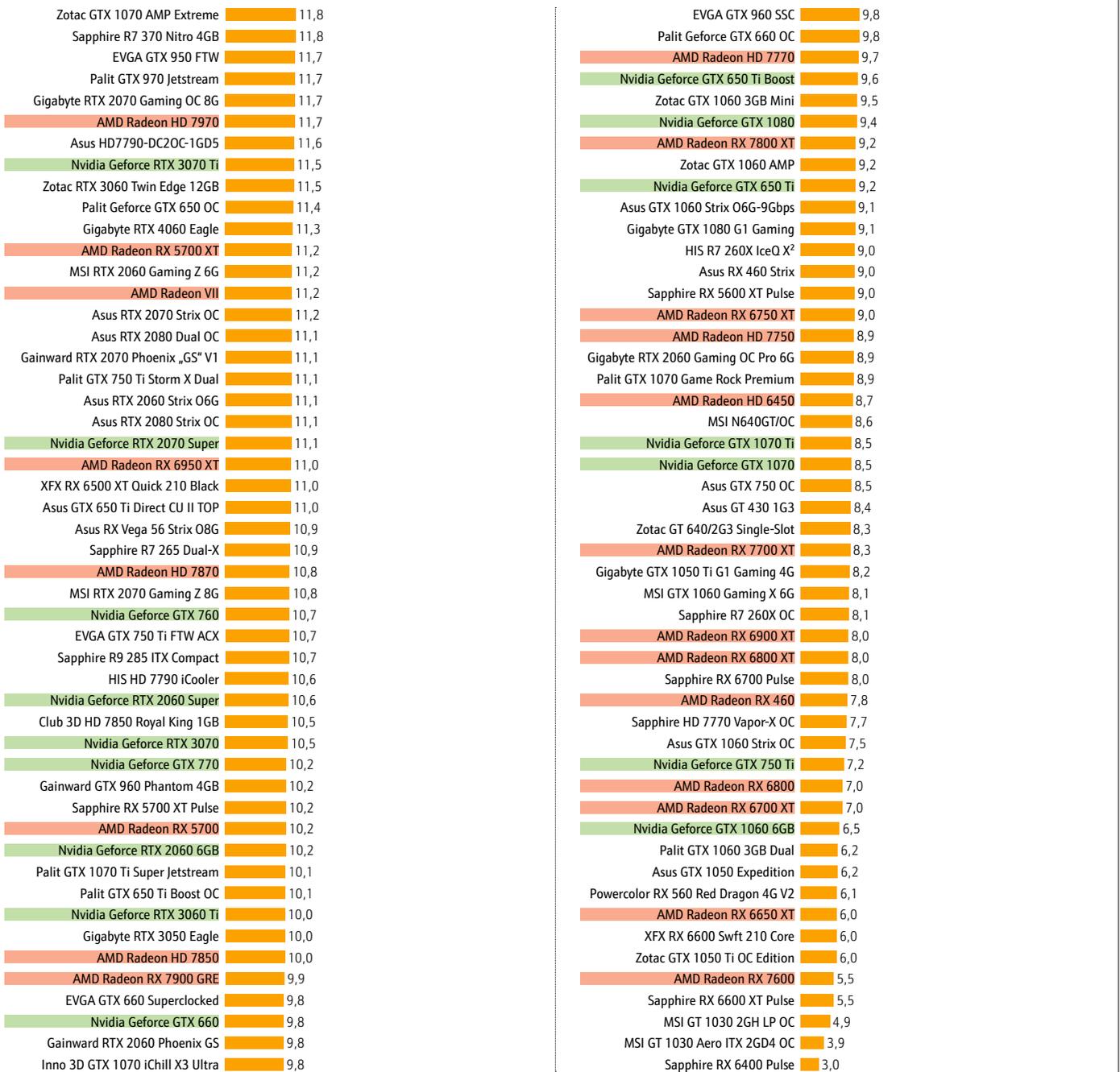
Watt ◀ Besser

Während die Hawaii-Chips der Jahrgänge 2013 und 2014 sich noch im 20-Watt-Dunstkreis bewegen, macht Fiji (Fury/Nano) im Jahr 2015 trotz gleichbleibender Fertigung einen Sprung nach vorn: Nur 12 bis 15 Watt benötigen die getesteten Partnerboards – die mit einer Pumpe bestückte Fury-X-Referenzkarte rangiert hingegen bei rund 21 Watt. Dauerhaft der 20-Watt-Marke fern bleiben AMDs High-End-Chips ab 2017, mit dem Wechsel auf Vega und das 14-nm-Verfahren. Die Mittelklasse war dagegen längst im niedrigen zweistelligen Bereich angekommen, bei den aktuellen Generationen schaffen es auch die High-End-Varianten.

Die Entwicklung der Leistungsaufnahme zwischen 2009 und 2023 ist folglich positiv. Das gilt allerdings nur für den absoluten Leerlauf, zu dem man ein geöffnetes E-Mail-Programm oder sonstigen Text-Editor zählen kann. Bereits ein Browser kann die Bilanz vermiesen, da moderne Websites mehr Rechenleistung benötigen als so manches alte Spiel. Speziell die Wiedergabe von Videos bei Youtube und Konsorten führt zuverlässig zu einer höheren Leistungsaufnahme, allerdings nicht dramatisch. Schwerer wiegen die Probleme aufseiten Intels. Der Grafikkarten-Newcomer (eigentlich: Rückkehrer) hat bei der ersten GPU-Generation namens „Alchemist“ keinen

robusten Stromsparmechanismus implementiert. Zwar lässt sich bei bestimmten Konstellationen ein sparsames Niveau erzielen, wenn man Active State Power Management (ASPM) explizit im Mainboard und unter Windows einstellt. Bei vielen modernen Monitoren führt dies jedoch nicht zum Erfolg, sodass Leerlauf-Verbrauchswerte über 40 Watt die Regel sind. Dieser Eingriff ist bei Radeon und Geforce übrigens nicht notwendig. Doch auch AMD hat bestehende Probleme: Erst diesen Sommer erschien ein Treiber, der die teils sehr hohe Leistungsaufnahme von RX-7900-Grafikkarten bei Ansteuerung eines reaktionsschnellen Bildschirms teilweise verbessert.

Windows-Desktop, ruhender Mauszeiger (Ultra HD, 60 Hz)



Bemerkungen: Grafikkarten-Leistungsaufnahme isoliert vom Restsystem gemessen. Die Referenzkarten von AMD („Made By AMD“, MBA), Intel (Limited Edition) und Nvidia (Founders Edition) sind farblich hervorgehoben, die Custom-Designs der Boardpartner nicht.

Watt ◀ Besser

Leistungsaufnahme beim Spielen (Volllast)

Jetzt geht es ans Eingemachte: Wie viel Energie beziehen Grafikkarten beim Spielen und wie sieht die Entwicklung aus?

Sieht man sich die Zahlen auf dieser Seite an, muss man erst einmal schlucken, denn das Niveau ist um etliche Faktoren höher als beim Leerlauf. Das ist kein Wunder, denn dafür wurden alle getesteten Pixelbeschleuniger gebaut: um virtuelle Welten möglichst hübsch und flüssig wiederzugeben.

Immer wieder überraschend und doch Fakt ist, dass die allermeisten der hier gezeigten Werte im Ubisoft-Klassiker Anno 2070 ermittelt wurden. Der Compute-Mix dieses Spiels ist in der Lage, sowohl zeitgenössische als auch topmoderne Grafikkarten maximal zu stressen. Dafür muss lediglich die Auflösung passend zur GPU-Leistung erhöht werden. Die automatisch im Rahmen der Thermal- und Energiebudgets gesetzten GPU-Boost-Frequenzen moderner Grafikkarten fallen geringer aus als bei den meisten anderen Spielen, sogar als bei modernen

Schrecken wie A Plague Tale: Requiem, Cyberpunk 2077 und Metro Exodus Enhanced. Da die Powerlimits aktueller Grafikkarten gedeckelt sind, es folglich feste Obergrenzen gibt, wird definitiv der Worstcase im normalen Spielbetrieb mit unbegrenzter Bildrate abgebildet.

146 der 480 aufgeführten Grafikkarten genehmigen sich mehr als 250 Watt unter Last. Wir heben diese Marke besonders hervor, da sie für mehrere Jahre von Nvidia angestrebt und weitestgehend gehalten wurde.

Gaming-Leistungsaufnahme (jeweils höchster gemessener Realwert, unterschiedliche Spiele)

EVGA RTX 3090 Ti FTW3 Ultra	482
MSI RTX 3090 Ti Suprim X 24G	477
Nvidia Geforce RTX 3090 Ti	460
MSI RTX 4090 Suprim Liquid X	457
Asus RTX 4090 TUF Gaming OC	451
Manli RTX 4090 Gallardo	446
PNY RTX 4090 XLR8 Epic-X	446
Nvidia Geforce RTX 4090	442
Palit RTX 4090 GameRock OC	434
MSI RX 6950 XT Gaming X Trio	432
Gigabyte RTX 4090 Gaming OC	430
Sapphire RX 7900 XTX Nitro+	428
Gigabyte RX 7900 XTX Aorus Elite	413
Sapphire RX 6950 XT Nitro+ Pure	407
Asrock RX 7900 XTX Taichi	404
Asrock RX 6950 XT OC Formula	397
MSI R9 390X Gaming 8G	391
Asus RX 7900 XTX TUF Gaming	387
EVGA RTX 3080 FTW3 Ultra Gaming	387
Asus RTX 3080 ROG Strix 012G	386
Gigabyte RX 6950 XT Gaming OC	385
MSI RTX 3080 Suprim X 10G	380
Powercolor RX 7900 XTX Hellhound	364
Nvidia Geforce RTX 3090	355
AMD Radeon RX Vega 64 LCE	355
MSI RTX 2080 Ti Lightning Z	353
AMD Radeon RX 7900 XTX	353
MSI RTX 3080 Suprim X 12G	351
MSI R9 290X Gaming 8G	351
AMD Radeon RX 6900 XT LC	350
AMD Radeon RX 6950 XT	349
Nvidia Geforce RTX 3080 Ti	348
Asus RTX 3080 TUF 010G	346
Asus R9 390X Strix DC30C	335
MSI R9 290X Gaming	335
Asus R9 390 Strix DC30C	333
Nvidia Geforce RTX 3080	330
Powercolor RX Vega 64 Red Devil	329
Gigabyte RTX 4080 Gaming OC	329
Powercolor RX Vega 56 Red Devil	329
AMD Radeon R9 Fury X	327
Sapphire RX Vega 64 Nitro+ LE	326
Zotac RTX 3080 Trinity	325
Gigabyte GTX 780 Ti GHz Windforce OC	325
Palit RTX 4080 GameRock OC	323
MSI RTX 2080 Ti Gaming X Trio	321
EVGA RTX 2080 Ti FTW3	320
Sapphire RX 7900 XT Pulse	320
Zotac GTX 1080 Ti AMP! Extreme	319
Zotac RTX 4080 AMP Extreme Airo	318
Palit RTX 3080 Gaming Pro OC	318
Asus RX Vega 64 Strix 08G	318
Gigabyte R9 290X Windforce 3x OC	317
MSI R9 290 Gaming	316
AMD Radeon RX 7900 XT	315
Nvidia Geforce RTX 4080	315
MSI R9 290X Lightning	314
Gainward RTX 4070 Ti Phoenix GS	313
Asus RX Vega 56 Strix 08G	311
Zotac RTX 2080 Ti AMP Extreme	310
MSI GTX 1080 Ti Lightning Z	310
Asus GTX 780 Ti Direct CU II OC	310
EVGA GTX 780 Ti Dual Classified	308
Zotac GTX 980 Ti AMP Extreme	306
EVGA GTX 780 Classified ACX	304
EVGA GTX 980 Ti Classified	304
Sapphire R9 290X Tri-X OC 8GB	303
AMD Radeon VII	303
Sapphire R9 390X Tri-X OC	303
AMD Radeon RX 6800 XT	302
Sapphire R9 Fury Tri-X OC	301
AMD Radeon RX 6900 XT	301
Inno 3D GTX 980 Ti Hybrid	301
MSI GTX 980 Ti Lightning	300
Sapphire R9 290X Vapor-X OC 8GB	300
Sapphire R9 390 Nitro	298
Asus R9 290X Direct CU II OC	297
Asus GTX 980 Ti Strix DC30C	297
Asus GTX 780 Ti Matrix Platinum	296
Sapphire R9 290X Tri-X OC	295
Nvidia Geforce RTX 3070 Ti	295
Powercolor 290X PCS+	293
Nvidia Titan RTX	291
XFX R9 290X Black Edition	291
AMD Radeon R9 290X (Uber Mode)	290
EVGA GTX 1080 Ti FTW3	290
MSI GTX 780 Lightning	290
AMD Radeon RX Vega 64	289
Sapphire Vapor-X R9 290 Tri-X OC	288
Gigabyte GTX 780 GHz Edition Windforce	286
HIS Radeon HD 7970 X Turbo	286
Sapphire Radeon R9 290	285
Zotac RTX 4070 Ti Trinity	284
Inno3D RTX 4070 Ti iChill X3	282
Sapphire R9 290X Tri-X OC	281
MSI GTX 1080 Ti Gaming X Trio	280
Gigabyte GTX 980 Ti G1 Gaming	280
KFA2 RTX 2080 Ti HOF	280
Asus GTX 980 Ti Matrix Platinum	276
Asus GTX 1080 Ti Strix OC	276

Bemerkungen: Grafikkarten-Leistungsaufnahme isoliert vom Restsystem gemessen. Die Referenzkarten von AMD („Made By AMD“, MBA), Intel (Limited Edition) und Nvidia (Founders Edition) sind farblich hervorgehoben, die Custom-Designs der Boardpartner nicht.

Watt ◀ Besser

Die letzte Modellreihe, bei der das möglich war, und zugleich die erste, die knapp darüber hinausging, ist Turing aus dem Jahr 2018. Während die GeForce RTX 2080 Ti mit 250 Watt spezifiziert wurde, durften sich die Founders-Edition-Referenzkarten bis zu 260 Watt genehmigen – und die im Dezember nachgeschobene Titan RTX mit ihren monströsen 24 GiByte sogar offiziell 280 Watt.

Besonders schämen sollte sich der linke Block, sofern man nur die absoluten Zahlen betrachtet und nicht die Rechenleistung ins Verhältnis setzt. 73 Grafikkarten sprengen die 300-Watt-Marke, einige davon deutlich.

Das ist ein Niveau, bei dem 2010 vermutlich reihenweise Kinnladen zu Boden gefallen wären. Zur Einordnung: In diesem Jahr sorgte Nvidia mit der hitzköpfigen GeForce GTX 480 für Schlagzeilen. Der PCGH-Test attestierte eine Leistungsaufnahme von 235 Watt (Race Driver Grid, nicht Anno 2070), was angesichts der damaligen Konkurrenz namens Radeon HD 5870 zu Recht als sehr verschwenderisch galt – das ATI-Modell (noch nicht AMD) begnügte sich in den meisten Fällen mit rund 130 Watt. Mittlerweile wissen wir, dass das nur ein Vorgeschmack auf das künftige Standardniveau neuer High-End-Prozessoren war. Dieses wurde 2013 mit Nvidias erster

Titan-Grafikkarte fest etabliert, seitdem entsprach die bereits genannte 250-Watt-Marke einer mit moderatem Aufwand kühlbaren Abwärme für das High-End. Damals waren Grafikkarten mit Dual-Slot-Breite (rund 3,5 Zentimeter) noch die Norm. Jenseits von 250 Watt wird die Luft für Dual-Slot-Designs im wahrsten Sinne des Wortes dünn, Luftkühler benötigen enorme Ausmaße und dreifache Belüftung, um den Arbeitsaufwand leise zu stemmen. Die Alternative, ein All-in-one-Fluidkühler, wird nur sporadisch eingesetzt und gilt eher als Notlösung denn Heilmittel – obwohl entsprechende Grafikkarten wie die Radeon RX Vega 64 LCE gewöhnlich mit

Gaming-Leistungsaufnahme (jeweils höchster gemessener Realwert, unterschiedliche Spiele)

Sapphire Vapor-X R9 290X Tri-X OC 8GB	275	MSI R7970 Lightning Black Edition	246
Sapphire R9 280X Toxic	274	MSI GTX 780 Twin Frozr Gaming	246
Asus RTX 2080 Ti ROG Strix OC	274	Nvidia GeForce GTX 780 Ti	245
Inno 3D GTX 1080 Ti iChill X3 Ultra	273	Palit GTX 980 Jetstream	245
Zotac RTX 2080 Ti AMP Edition	271	AMD Radeon R9 290	244
VTX3D R9 290 X-Edition V2	270	MSI RX 5700 XT Evoke OC	243
PNY GTX 780 Ti Overclocked	269	Inno GTX 780 iChill	243
Gigabyte RX 580 Aorus XTR	268	Nvidia GeForce GTX Titan X	243
KFA² GTX 780 HOF+	268	Gainward GTX 780 Phantom	241
Gigabyte RTX 2080 Ti Gaming OC 11G	267	MSI GTX 980 Ti Gaming 6G	240
Sapphire R9 290 Tri-X OC	267	Powercolor RX 580 Red Devil GS	240
HIS R9 290X IceQ X² Turbo	264	EVGA GTX 980 Classified	239
EVGA GTX 780 Ti Superclocked ACX	263	Sapphire R9 380X Nitro	239
Asus R9 Fury Strix	263	Inno 3D GTX 1080 iChill X3	239
Zotac GTX 780 AMP	263	XFX RX 590 Fatboy	238
Asus Matrix HD 7970 Platinum	262	Zotac GTX 770 AMP	238
Nvidia GeForce GTX Titan Black	262	Asus R9 280X Direct CU II TOP	238
Nvidia GeForce RTX 2080 Ti	262	Sapphire Toxic 7970 Standard	237
Club 3D HD 7970 Royal Ace	261	Sapphire RX 5700 XT Pulse	237
Palit GTX 780 Jetstream 6GB	260	EVGA GTX 1080 FTW	237
Gainward GTX 780 Ti Phantom	259	Gigabyte GTX 980 G1 Gaming	237
Zotac GTX 1080 AMP! Extreme	259	HIS HD 7970 GHz Edition IceQ X²	236
Asus GTX 780 Strix	259	Sapphire HD 7970 Vapor-X GHz Edition	236
AMD Radeon Vega Frontier Edition	259	MSI GTX 1080 Gaming X 8G	235
Palit GTX 780 Ti Jetstream	258	Palit RTX 2080 Gaming Pro OC	234
EVGA GTX 780 DC ACX	257	EVGA GTX 770 SC ACX	233
MSI RTX 2080 Duke 8G OC	257	MSI R9 285 Gaming	233
Gainward GTX 980 Ti Phoenix „GS“	257	AMD Radeon RX 6800	232
Inno 3D GTX 1080 Ti Twin X2	256	MSI RTX 2070 Gaming Z 8G	232
Asus RTX 2080 ROG Strix O8G	255	KFA2 GTX 1080 HOF	232
Palit GTX 980 Ti Super Jetstream	255	PoV GeForce GTX 680 TGT Beast	231
KFA2 GTX 1080 Ti EXOC	254	Nvidia Titan X (Pascal)	231
Palit GTX 780 Super Jetstream	254	Palit GTX 1070 Ti Super Jetstream	230
Nvidia GeForce RTX 2080 Super	253	Nvidia GeForce GTX 1080 Ti	230
Sapphire HD 7970 Vapor-X GHz Edition OC (6GB)	253	Nvidia GeForce GTX Titan	230
EVGA GTX 980 Ti SC+ ACX 2.0+	253	AMD Radeon RX 7700 XT	230
Gainward RTX 2080 Phantom GLH	253	Intel Arc A770 16GB	230
Palit GTX 1080 Ti Super Jetstream	252	Sapphire RX 590 Nitro+ SE	229
AMD Radeon RX 7900 GRE	252	Zotac RTX 2080 AMP Edition	228
Zotac GTX 1080 Ti Mini	252	Gainward GTX 980 Phantom	227
Nvidia Titan Xp (Collector's Edition)	251	AMD Radeon R9 285	226
Powercolor RX 5700 XT Red Devil	251	Intel Arc A750	226
VTX3D Radeon R9 280X	251	Gigabyte GTX 770 Windforce 3x	226
Powercolor Radeon HD 7970 PCS+	251	Asus GTX 780 DC2 OC	226
EVGA GTX 1080 Ti SC2	251	MSI R9 280X Gaming 6G	226
Gigabyte GTX 1080 Ti Aorus Xtreme	251	Powercolor RX 570 Red Devil	225
Gigabyte GTX 780 Windforce V2	250	KFA² GTX 980 HOF „8Pack“-Edition	225
Powercolor HD 7970 PCS+	250	MSI GTX 770 Lightning	224
Gainward GTX 770 Phantom	248	Asus RTX 2080 Dual OC	224
AMD Radeon RX 7800 XT	248	Nvidia GeForce RTX 2070 Super	224

Bemerkungen: Grafikkarten-Leistungsaufnahme isoliert vom Restsystem gemessen. Die Referenzkarten von AMD („Made By AMD“, MBA), Intel (Limited Edition) und Nvidia (Founders Edition) sind farblich hervorgehoben, die Custom-Designs der Boardpartner nicht.

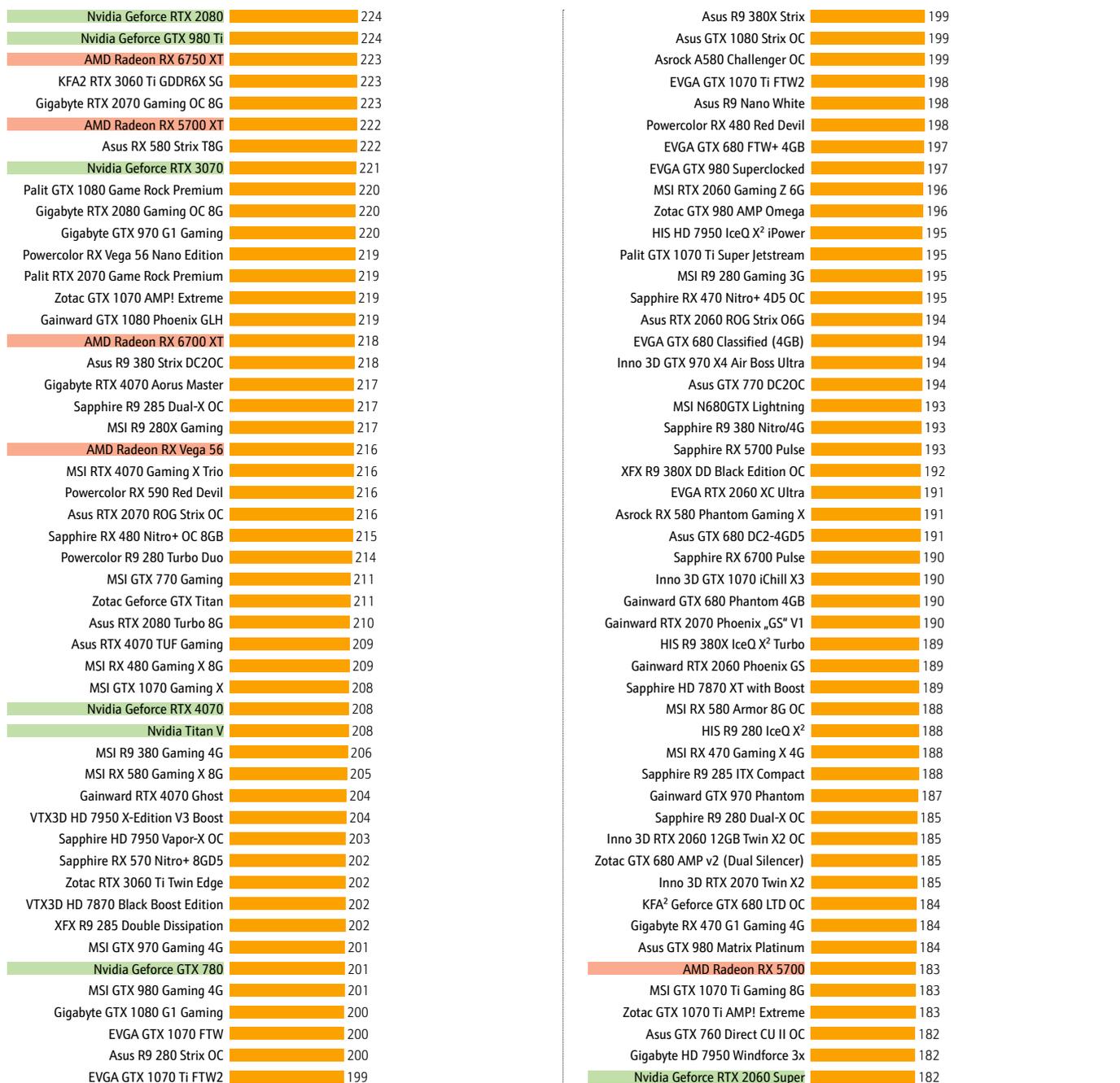
Watt Besser

einem angenehmen Betriebsgeräusch punkten. Apropos Vega: Diesem Chip haftet ähnlich wie Fermi der Ruf an, gerne etwas über den Durst zu trinken. Sieht man sich die Top 100 an, ist diese Reputation mit Fakten belegbar, zumindest die hochgezüchteten Modelle mit Verbrauchswerten durchweg über 300 Watt sind wahrlich keine Kostverächter. Der bereits 2013 veröffentlichte Hawaii-Chip, Teil der passend benannten „Volcanic Islands“-Reihe, stellt jedoch selbst Vega in den Schatten. Die stärksten Modelle der Radeon-R9-200/300-Reihe rangieren allesamt deutlich über 300 Watt und kommen sogar der 400 nahe.

Mit diesem Niveau sind wir praktisch in der Gegenwart angelangt. Was zwischen 2013 und 2019 von hochgezüchteten Versionen zeitgenössischer Grafikkarten erreicht wurde, ist mittlerweile Standard. Nvidia legte die Messlatte im Herbst 2020 mit der GeForce RTX 3080 höher, diese benötigte als erste GeForce-Referenzkarte rund 330 Watt. Es folgten nicht nur die GeForce RTX 3090 mit knapp 355 Watt, sondern auch AMDs relativ sparsame Antworten in Gestalt der Radeon RX 6900 XT und RX 6800 XT, welche beide mit 300 Watt auskamen. In diesem Dunstkreis bewegen sich auch die meisten aktuellen Grafikkarten, beispielsweise die GeForce RTX 4080 und

Radeon RX 7900 XT mit jeweils 315 Watt sowie die Radeon RX 7900 XTX mit 355 Watt. Das gilt jedoch nur für die jeweiligen Referenzkarten, die Partner drehen ordentlich am Hahn. Hochgezüchtete Varianten der Radeon RX 7900 XTX knacken die 400-Watt-Marke, etwa die Sapphire Nitro+, Gigabyte Aorus Elite und Asrock Taichi, und schieben sich damit sogar an den meisten, auffallend stromdurstigen Topmodellen auf Basis der Radeon RX 6950 XT vorbei. Damit haben wir die Spitze der Rangliste erreicht, nur 15 Grafikkarten sprengen unter Vollast die 400-Watt-Marke. Das ist eine enorme Menge an Energie und somit laufenden Kosten, speziell ange-

Gaming-Leistungsaufnahme (jeweils höchster gemessener Realwert, unterschiedliche Spiele)



Bemerkungen: Grafikkarten-Leistungsaufnahme isoliert vom Restsystem gemessen. Die Referenzkarten von AMD („Made By AMD“, MBA), Intel (Limited Edition) und Nvidia (Founders Edition) sind farblich hervorgehoben, die Custom-Designs der Boardpartner nicht.

Watt ◀ Besser

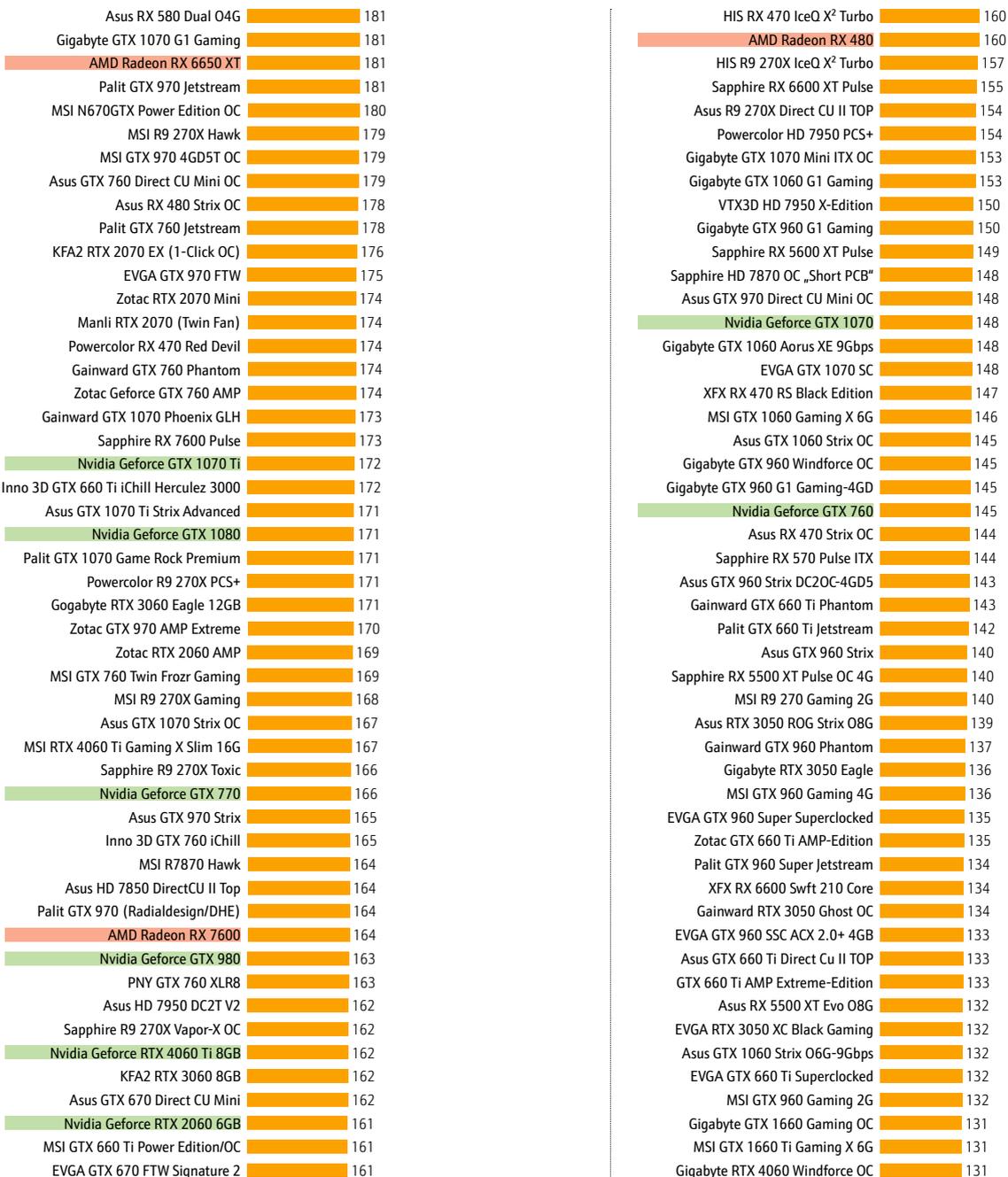
sichts der deutschen Strompreise. Spätestens an dieser Stelle möchten wir einige Worte der Energie-Effizienz widmen, denn Leistung ist und bleibt „Arbeit pro Zeit“. Blickt man auf die Geforce RTX 4090 Founders Edition mit ihren bis zu 442 Watt, muss man zunächst schlucken. Vergleicht man das Ergebnis mit der Vorgängerin Geforce RTX 3090 Ti (460 Watt), sieht es zunächst nach einem kleinen Sprung aus. Tatsächlich ist das aktuelle Modell aber um rund 60 Prozent schneller, woraus sich eine um circa 2/3 höhere Energie-Effizienz ergibt. Hier versteckt sich die gute Nachricht zwischen all den großen Zahlen: Obwohl Grafikkarten immer stromdurstiger

werden, so steigt dennoch ihre Schlagkraft pro Watt. Wer (s)eine Geforce RTX 4090 mithilfe einer Wasserkühlung zu Höchstleistungen treibt, erreicht damit erstmals die Marke von 100 Tera-FLOPS – bei weniger als 600 Watt. Das ist mit älteren, im Vergleich nur *scheinbar* effizienteren Grafikkarten völlig utopisch.

Vergleicht man 480 Grafikkarten im Zeitraum von 14 Jahren, gibt es noch viel mehr zu sehen, man könnte ganze Bücher mit den Daten und Erläuterungen füllen. Wir möchten Sie daher ermutigen, noch etwas länger zu stöbern, schließlich haben Sie ganz andere Modelle im

Kopf als wir. Einige interessante Beobachtungen möchten wir Ihnen noch mit auf den Weg geben – etwa die „Worst of“ in Sachen Energieeffizienz. Darunter befinden sich die schnellsten Varianten der 2013 gestarteten Geforce GTX 780 Ti, wie etwa Gigabytes GHz-Edition mit Windforce-Kühler (325 Watt), das finale Maxwell-Aufgebot in Gestalt der EVGA GTX 980 Ti Classified (304 Watt) und die viel und zurecht für ihren Verbrauch gescholtene Radeon R9 Fury X (327 Watt). Vergleicht man deren Rechenkraft mit den gleich durstigen Modellen der aktuellen Generation, wird einem die enorme Entwicklung bewusst.

Gaming-Leistungsaufnahme (jeweils höchster gemessener Realwert, unterschiedliche Spiele)



Bemerkungen: Grafikkarten-Leistungsaufnahme isoliert vom Restsystem gemessen. Die Referenzkarten von AMD („Made By AMD“, MBA), Intel (Limited Edition) und Nvidia (Founders Edition) sind farblich hervorgehoben, die Custom-Designs der Boardpartner nicht.

Watt **Besser**

Abschließend wird es Zeit, sich den gemäßigeren Kandidaten zu widmen. Diese sind reichlich vertreten und zeigen sich, wenn man die Leistungsleiter um einige Stufen herabsteigt. Dabei gilt es allerdings zu beachten, dass eine große und niedrig taktende GPU in der Regel effizienter arbeitet als eine kleine, auf hohen Takt getrimmte. Übertreiben es die Hersteller nicht, kommen Produkte wie die Radeon RX 5700 und Geforce RTX 2060 Super heraus. Sie erreichen ihre Leistung auf Vega-64-Niveau mit rund 180 statt 290 Watt, da sie es nicht darauf anlegen, die Leistungskrone mit aller Macht zu erlangen. In ihrer Nachbarschaft finden sich stark unterschiedliche Modelle – auch solche, bei denen mit Gewalt das letzte Prozent an Benchmarkleistung herausgepresst wurde, darunter die MSI GTX 670 Power Edition (180 Watt) oder Palit GTX 970 Jetstream (181 Watt).

Unter diesem Text wird es ungewohnt sparsam, denn hier mischen nicht mehr nur Gaming-Grafikkarten mit, sondern auch so manches Multimedia-Modell, das es auf den PCGH-Teststand geschafft hat. Die sparsams-

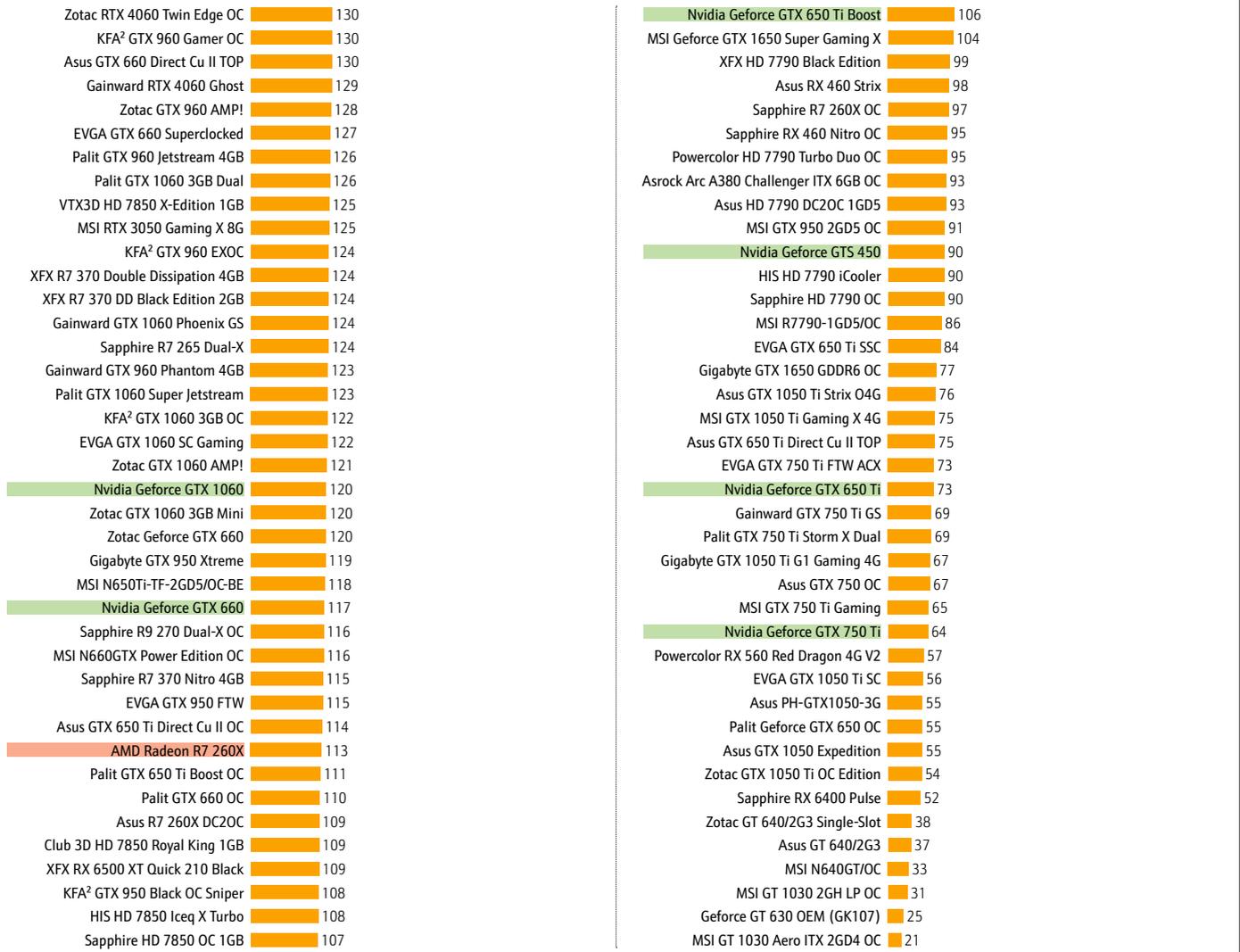
ten Radeon-Grafikkarten sind demnach die Sapphire Radeon RX 6400 Pulse (52 Watt) sowie die Powercolor Radeon RX 560 Red Dragon (57 Watt). Beide kommen ohne zusätzliche Stromzufuhr aus, der PCI-Express-Slot kann ohne das Strecken seiner Spezifikation bis zu 66 Watt (eigentlich: 5,5 Ampere) bereitstellen. Zur Sicherheit: Wir reden immer noch von der Leistungsaufnahme unter Volllast. Grafikkarten, die im Leerlauf auf dieses Verbrauchsniveau kommen, sind aus der Zeit gefallen.

Ganz unten finden sich diverse Geschmacksrichtungen der Pascal-Einsteigerklasse, welche ebenfalls ohne Stromstecker vom Netzteil auskommen. Noch weiter unten wird die Abwärme derart gering, dass Single-Slot- oder komplett passive Kühler ausreichen – Spielspaß abseits von Minesweeper stellt sich hier jedoch selten ein. Bemerkenswertes am Rande respektive Ende: Das mit Abstand sparsamste Modell kassierte in der PCGH 09/2018 eine Kaufwarnung, kann sich aber zumindest sparsam in Szene setzen. Nach wie vor gilt: Finger weg von einer Geforce GT 1030 mit furchtbar langsamem

DDR4-Speicher (21 Watt) – die GDDR5-Version (hier 30,5 Watt) ist in Spielen rund 75 Prozent schneller und nicht nennenswert teurer. Der Blick auf diese Modelle wirft unweigerlich die Frage auf, warum es keine Low-End-Grafikkarten auf Basis der neuesten GPU-Architekturen gibt. Es scheint, als lohne es sich für AMD und Nvidia nicht, noch tiefer zu gehen. Falls Sie eine moderne Spar-GPU suchen, ist möglicherweise eine Intel Arc A310 etwas für Sie, derzeit steht es um die Verfügbarkeit und Preise jedoch nicht gut.

Rundum-Übersichten wie diese offenbaren darüber hinaus interessante Nachbarschaften. Hatten Sie beispielsweise auf dem Radar, dass die Referenzversionen einer Intel Arc A770 16GB (2022), Geforce GTX 1080 Ti (2017) und GTX Titan (2013) exakt gleich viel Strom „verbrauchen“? Oder dass eine RX 5700 XT (2019) die gleiche Energie benötigt wie eine GTX 980 Ti (2015) oder RTX 3070 (2020)? Wenn sich Generationen treffen, kommt es zu interessanten Gruppierungen – schauen Sie ruhig (nochmal) genauer hin!

Gaming-Leistungsaufnahme (jeweils höchster gemessener Realwert, unterschiedliche Spiele)



Bemerkungen: Grafikkarten-Leistungsaufnahme isoliert vom Restsystem gemessen. Die Referenzkarten von AMD („Made By AMD“, MBA), Intel (Limited Edition) und Nvidia (Founders Edition) sind farblich hervorgehoben, die Custom-Designs der Boardpartner nicht.

Watt Besser

Stromkosten berechnen: Wissen & Beispiele

Die Leistungsaufnahme ist gerade in Zeiten steigender Energiekosten ein wichtiger Faktor beim Grafikkartenkauf, wobei klar ist: weniger ist besser! Doch wie misst man die Leistungsaufnahme einer Grafikkarte richtig und was bedeuten TGP, TDP & Co.?

So schnell wie das Licht

... sind wir nicht. Wie bereits zu Beginn erläutert, verwendet PCGH seit knapp 15 Jahren eine Messaufbau, der die Leistungsaufnahme der Grafikkarte getrennt von den restlichen Verbrauchern im PC erfassen kann. Die Alternative, das Ablesen des Gesamtverbrauchs an der Steckdose, ergibt zwar aus praktischen Gründen Sinn – schließlich muss alles an Strom bezahlt werden –, allerdings ist ein fairer Vergleich der Grafikkarten nur mithilfe isolierter Messungen möglich.

Je neuer die GPU, desto ausgeklügelter die Maßnahmen, um die Leistungsaufnahme dynamisch anzupassen. Noch 2010 war es im Grunde völlig ausreichend, eine Messung pro Sekunde vorzunehmen, da sich die Leistungsaufnahme unter Vollast nicht deutlich veränderte. Unser damaliger Messaufbau war bereits wesentlich genauer, doch

mit den Jahren wurden die Grenzen immer deutlicher. Mittlerweile regeln Grafikkarten so schnell ihren Takt und die korrespondierende Spannung, dass kein externes Tool wirklich genau sagen kann, wann exakt anliegt. Die Ursache ist so simpel wie verheerend: Würden alle Transistoren eines modernen Grafikprozessors gleichzeitig schalten, wäre sofort Schluss mit dem Spaß. Der AD102-Chip einer GeForce RTX 4090 verfügt über mehr als 76 Milliarden Transistoren, welche trotz bestmöglicher Fertigung niemals gleichzeitig bei vollem Takt loslegen dürfen. Würde man alle Restriktionen deaktivieren, käme es vermutlich sofort zur Kernschmelze.

Begriffsstutzigkeit

Das wichtigste Werkzeug zur Eindämmung der Leistungsaufnahme ist das Powerlimit. Doch was ist das eigentlich genau? Problematisch ist in erster Linie, dass es verschiedene Limits und Begriffe gibt, die miteinander in einen Topf geworfen werden, weshalb wir die wichtigsten im Folgenden erläutern möchten.

Egal, ob CPU oder GPU, Rechenkern sind die Hauptverbraucher im Gaming-PC. Je mehr elektrische Energie hier hineingeht, desto größer

ist die Wärmeenergie, die hinausgeht. Die sogenannte Thermal Design Power, kurz TDP, gibt an, wie viel Energie maximal gestattet ist und ist somit die wichtigste Zahl beim Design, denn Stromversorgung und Kühlsystem müssen der Aufgabe gewachsen sein. Bis hierhin ist alles klar: Je höher die TDP, desto größer der Verbrauch der Grafikkarte. Allerdings ist die TDP nur eine Kennziffer – und im Kontext der Grafikkarten nicht immer bekannt.

Fragt man Nvidia, ist stets von der TGP die Rede. Die GeForce-Macher bezeichnen damit die Total Graphics Power – die Leistungsaufnahme der gesamten Grafikkarte. AMD und Intel sprechen hingegen von der Total Board Power, kurz TBP. TGP und TBP sind prinzipiell vergleichbar, geben aber weder Auskunft über mögliche Leistungsspitzen darüber hinaus, noch nennen sie die TDP des Grafikprozessors.

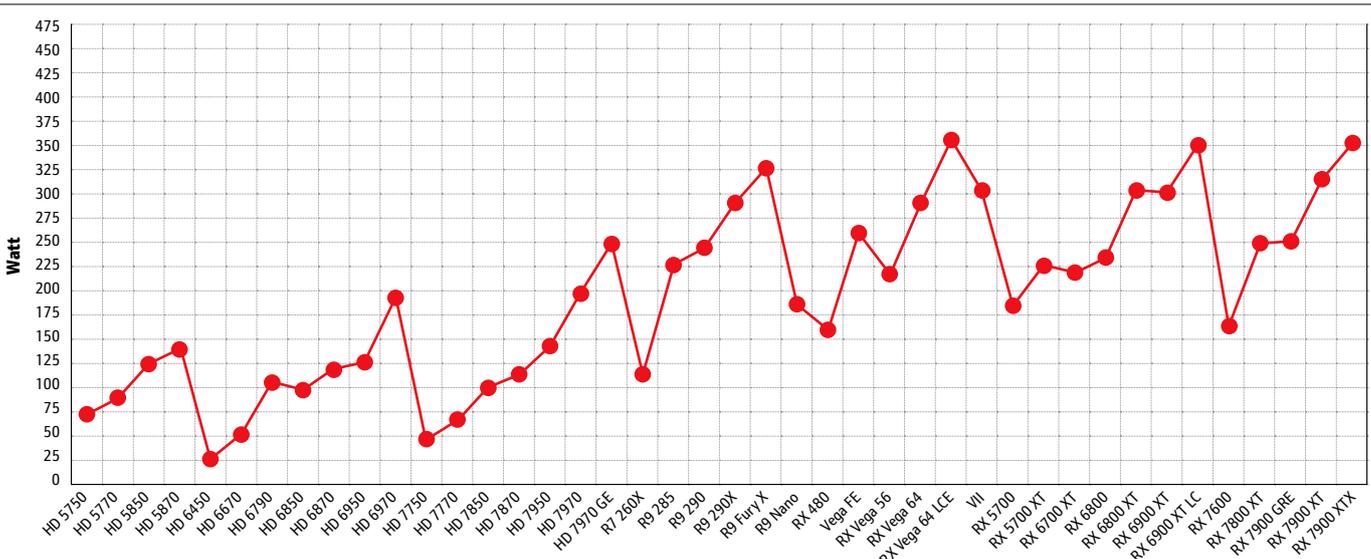
Halten wir fest: Egal, ob TGP oder TBP, es handelt sich um die Leistungsaufnahme der gesamten Grafikkarte. Diese beinhaltet alle Verbraucher, darunter Grafikspeicher, Spannungswandlung, Lüfter, Beleuchtung sowie generelle Verluste aufgrund von Widerständen.

Am Ende des Tages ist dieser Wert am wichtigsten, denn Sie können schließlich nicht zu Ihrem Stromanbieter gehen und sagen, dass Sie nur die TDP bezahlen möchten.

Technikaffine Nutzer und auch PCGH-Redakteure hätten gerne jeden Einzelwert vor der Nase, allerdings sind die Posten abseits der (Total) Board Power entweder versteckt oder unbekannt. Nvidia nennt weder offizielle Power-Werte für die GPU allein, noch sind diese mithilfe von Tools auslesbar. Ursächlich ist, dass GeForce-Grafikkarten stets den Gesamtverbrauch mithilfe sogenannter Shunt-Widerstände in unmittelbarer Nähe der Strombuchsen messen. Der reine GPU-Wert wird aber nicht nach außen getragen und kann daher bestenfalls geschätzt werden.

Bei AMD und Intel sieht das anders aus. Beide Hersteller nennen sowohl das GPU-Powerbudget und erlauben auch das Auslesen mithilfe von Tools. „TDP“, „GPU Power“ oder „Core Power“ sind gebräuchliche Bezeichnungen. Bei Radeon-Grafikkarten mit High Bandwidth Memory, welcher mit auf dem GPU-Package sitzt, ist außerdem von „ASIC Power“ die Rede.

Radeon-Referenzkarten seit 2009 (DirectX 11): Entwicklung der Leistungsaufnahme



Bemerkungen: Im Gegensatz zu Nvidia hat AMD noch keine Referenzkarte mit über 400 Watt Leistungsaufnahme veröffentlicht. Abgebildet sind auch hier echte PCGH-Messungen, nicht die offizielle Boardpower.

Wer ganz genau wissen möchte, was wann zu welchem Zeitpunkt fließt, dem helfen Programme, welche Zugriff auf die herstellereigenen Schnittstellen (APIs) haben. Versierte Nutzer kennen Hwinfo, GPU-Z, MSI Afterburner, CapFrameX und Konsorten, welche in der Lage sind, Taktraten, Spannungen und Leistungsaufnahme auszulesen. Dabei handelt es sich jedoch nicht um die absolute Wahrheit, denn die Tools geben nur wieder, was ihnen die APIs servieren. Abhängig von der Implementierung sind die Angaben mehr oder weniger genau, in jedem Fall aber träger als das, was der Grafikchip intern tut. „Genau genug für alltägliche Zwecke“, könnte man sagen, aber im Grunde handelt es sich nur um relativ präzises Schätzen.

Messen statt Schätzen

Wir messen daher seit Mitte 2020 mit dem sogenannten Power Capture Analysis Tool, kurz PCAT. Mit Hilfe eines PCI-Express-Risers, in den die Grafikkarte gesteckt wird, sowie einer speziellen Platine werden die fließenden Ströme in Echtzeit ermittelt. Das PCAT-Modul ist mit Widerständen ausgestattet, welche (wie die Grafikkarten selbst) jede Änderung am Stromfluss registrieren. Eine USB-Verbindung stellt sicher, dass sich alle Daten abgreifen und auf Wunsch in Protokolldateien schreiben lassen – sehr praktisch, um live abzulesen, welche Last sich

wie auswirkt. Letzteres ist auch während der Action möglich: Ein kleines OLED-Display auf der PCAT-Platine zeigt abwechselnd entweder die Total Board Power oder die Lasten auf den (bis zu) drei 12-Volt-Kabelsträngen an.

Unsere Tests während der letzten Jahre ergeben, dass sich die API-Angaben und der Realverbrauch gut genug decken, um anhand derer Aussagen zu treffen. Interessanterweise attestieren Tools aber meist eine etwas geringere Leistungsaufnahme als echte Messungen. Ursächlich ist, dass beim software-seitigen Auslesen kurzzeitige Spitzen aufgrund träger Polling-Raten öfter unter den Tisch fallen. So genehmigt sich eine GeForce RTX 4070 etwa drei bis acht Watt mehr als Tools melden. Die GeForce RTX 4060 ist die Ausnahme von der Regel, sie überschreitet ihre offizielle Leistungsaufnahme recht deutlich: Der TGP (Boardpower) von 115 Watt stehen unter Gaming-Volllast zwischen 120 und 131 Watt gegenüber.

Zahlenspiele

In einem modernen Spiele-PC ist die Grafikkarte nicht nur bei der Anschaffung das teuerste Stück Hardware, sie verursacht mit ihrer hohen Leistungsaufnahme auch die größten laufenden Kosten. Doch keine Sorge, normale Spielgewohnheiten machen niemanden arm. Rechnen

Sie es doch mal für Ihre Grafikkarte aus, die Verbrauchswerte liegen vor Ihnen. Die folgende Formel mit P für den Wattverbrauch (Power) und T für die Betriebsstunden pro Jahr (Time) ergibt die Jahreskosten:

$$(P \times K \times T)/1.000$$

Das K steht für den Preis einer Kilowattstunde in Euro. 2023 liegen die Stromkosten wesentlich höher als noch 2022, derzeit ist von einem Aufpreis zwischen 15 und 20 Prozent die Rede. Verlässliche Durchschnittspreise pro Kilowattstunde sind nicht zu bekommen, unsere Recherche ergab zwischen 30 und 46 Euro-Cent. Am besten, Sie ziehen den exakten Kurs Ihres aktuellen Stromtarifs zurate. Wir rechnen zur Verdeutlichung der laufenden Kosten sowohl mit dem niedrigsten als auch dem höchsten Wert, der 2023 denkbar ist. Der Einfachheit halber unterstellen wir dabei konstante Volllast.

Nehmen wir an, Sie haben sich zum Start der GeForce RTX 4090 im Oktober 2022 eine Founders Edition gekauft und spielen damit jeden Abend zwei Stunden lang. Anfang Dezember sind das rund 400 Tage. Multipliziert mit 3 Stunden ergibt das 1.200 Stunden reine Spielzeit, bei der die Grafikkarte 442 Watt verbraucht. Die Formel sähe in diesem Fall so aus:

$$(442 \times 0,3 \times 1.200)/1.000$$

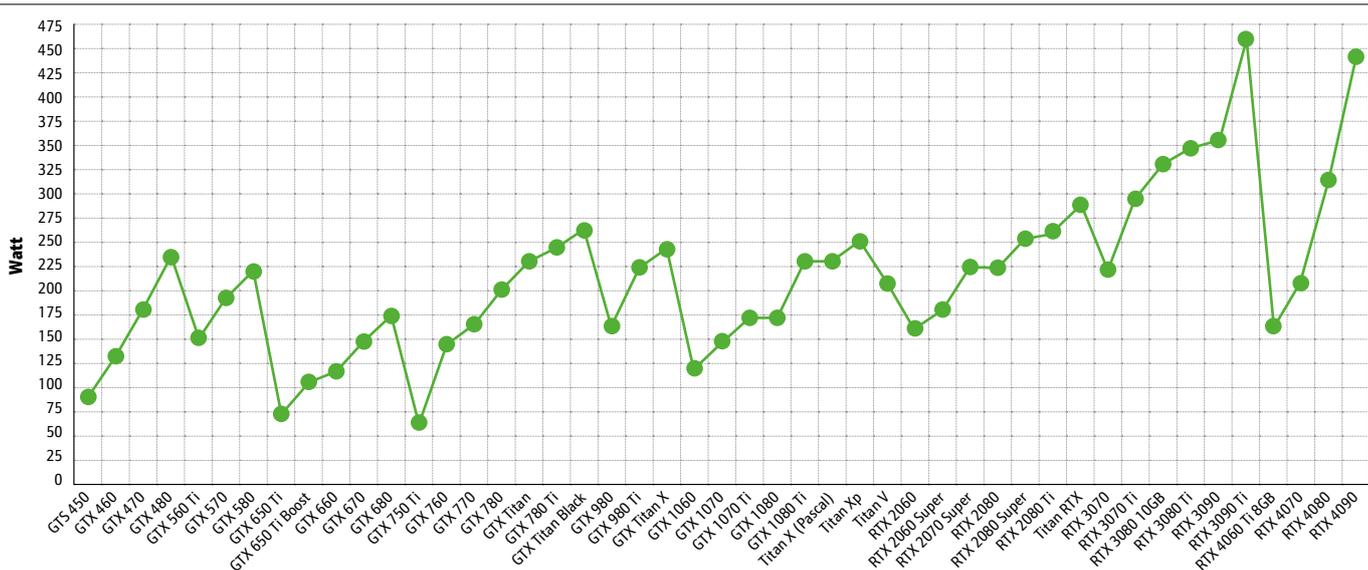
Die jährlichen Stromkosten der Grafikkarte allein belaufen sich in diesem Beispiel auf 159 Euro, falls Sie einen moderaten Strompreis zahlen. Nehmen wir ergänzend an, dass Sie horrende 46 Cent pro Kilowattstunde zahlen müssen, ergibt sich das Folgende:

$$(442 \times 0,46 \times 1.200)/1.000$$

Knapp 244 Euro nur für die Grafikkarte sind kein Pappenstiel, hier wirkt Undervolting wahre Wunder bei den laufenden Kosten – siehe das Effizienz-Special im vorderen Heftteil. Alternativ lohnt sich der Vergleich, was mit einer sehr sparsamen Grafikkarte anfele. Wer sich im Herbst 2021 für eine Radeon RX 6600 entschieden hat und damit die gleichen Spielgewohnheiten verfolgt, muss lediglich rund 92 Euro zahlen – obwohl die Grafikkarte ein Jahr länger im Einsatz ist (berechnet mit 30 Cent pro kWh).

Sie sehen, das Spiel mit den Variablen kann sehr erhellend, aber auch erschreckend sein. Doch keine Sorge, im Vergleich mit „ausgewachsenen“ Stromfressern wie Herd, Fön und Staubsauger sind die meisten Grafikkarten unschuldige Waisenknaben – allerdings fönen und saugen Sie vermutlich nicht mehrere Stunden pro Tag. (rv)

Geforce-Referenzkarten seit 2010 (DirectX 11): Entwicklung der Leistungsaufnahme



Bemerkungen: Nvidia hat bereits zwei Grafikkarten mit 450 Watt Boardpower veröffentlicht. Abgebildet sind auch hier echte PCGH-Messungen, nicht die offizielle Boardpower.



Die Zeit der Künstler ist vorüber, die Ära der KI-Bilder ist gekommen? Wie das Ganze funktioniert und welche Anforderungen dabei im lokalen Fall an die Hardware gestellt werden, erfahren Sie hier.

Die Leistungsfähigkeit verfeinerter Algorithmen im Black-Box-Konzept, auch gemeinhin als „künstliche Intelligenz“ im Volksmund vertreten (auf Englisch Artificial Intelligence, kurz AI), hat in den letzten Jahren und vor allem Monaten eindrucksvolle Sprünge nach vorne gemacht. Neben den textbasierten Assistenten wie ChatGPT erfreut sich auch die KI-basierte Erstellung von Bildern großer Beliebtheit. Führende Hardware-Hersteller wie AMD, Intel und in erster Linie Nvidia haben dieses Potenzial erkannt und ihr Geschäftsmodell entsprechend erweitert. Warum das Thema von Bedeutung ist und wie die ersten Schritte der KI-Bilderstellung mit eigenen Vorgaben gelingen, erklären und zeigen wir Ihnen in diesem Praxisbericht.

Bilder und Texte einer „KI“?

Während ChatGPT als prominentestes Beispiel nach der Eingabe bereits weniger Stichworte eigene Texte von zum Teil verblüffend guter

Qualität liefern kann, gibt es bei der Bilderstellung ähnliche Konstrukte, die mittels trainierter Algorithmen für beliebige Pixelbilder sorgen können. Grundlegend ist der aktuelle Technikstand noch weit von „echter“ künstlicher Intelligenz à la Skynet entfernt. Stattdessen muss man sich die miteinander interagierenden Code-Bestandteile als mehr oder minder simples neuronales Netzwerk vorstellen, das gefüttert mit spezifischen Daten die einzelnen kreativen Anforderungen im „trial and error“-Prinzip erfüllt.

Funktionsweise und Nutzen

Die bekanntesten Anwendungsbereiche für Bilder befinden sich im *Inpainting*, *Outpainting* und der *vollständigen* Bilderstellung. Mithilfe des *Inpainting* können beschädigte Bildinhalte berechnet und wiederhergestellt werden, oder es wird ein neuer Inhalt innerhalb eines bestehenden Bildes erstellt. Durch *Outpainting* kann ein Bild über seine Ränder hinaus erweitert

werden. Für viele Nutzer besonders interessant ist aber das Erstellen von gänzlich neuen Bildinhalten ohne bestehende Pixelbasis des Nutzers.

In seiner Entwicklung wurde die KI insoweit trainiert, ausgewählten Bildern Details zu entziehen, bis sie nur noch ein Rauschen darstellen. Anschließend wurden die Bilder aus dem Rauschen wiederhergestellt. Den Originaldaten wurde von vorneherein eine Inhaltsbeschreibung mit Keywords zugeordnet. Das Algorithmenbündel ist dank dieser stetigen Entwicklung in der Lage, innerhalb dieser Datenmenge bestimmte Muster und Zusammenhänge zu erkennen und zu reproduzieren. Tätigt der Anwender nun mit trainiertem Datensatz eine Texteingabe, analysiert das KI-Sprachtool den Inhalt und sucht per Zufall beziehungsweise Seed-Zuweisung in der Datenmenge nach entsprechenden Merkmalen. Aus den zusammengetragenen Details werden im „Entrauschungsprozess“ die ein-

getippten Text-Prompts schrittweise umgesetzt, um das gewünschte Bild zu erzeugen.

Der Anwender tätigt insofern eine anstoßende Schrifteingabe, die denen von klassischen Suchmaschinen ähnelt. Was anschließend an Details „gefunden“ wird, hängt direkt mit dem trainierten Datensatz ab. Werden beispielsweise ausschließlich Comic-Bilder als Fundament verwendet, wird die KI auch nur eben solche ausspucken können.

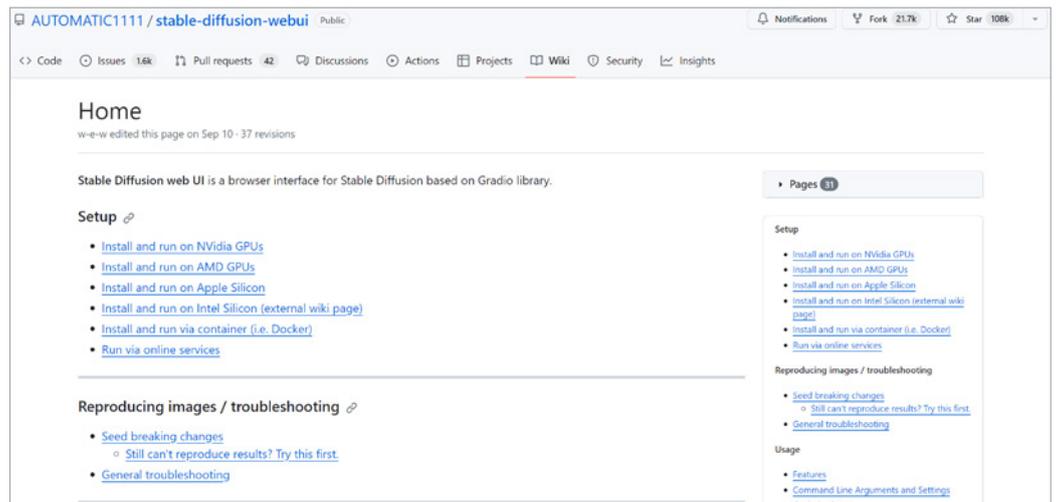
Das gewünschte Motiv sollte vom Nutzer so genau wie möglich beschrieben werden, um ein möglichst präzises Endprodukt zu erzielen. Je nach Programm bieten Auflösung, Sampling-Raten sowie zahlreiche Untervariablen – auch oder gerade von Plugins – geradezu unaufhörliche Stellschrauben. Nach der Berechnungszeit, die nicht nur von der Komplexität der Eingabe, sondern auch von der zur Verfügung stehenden Hardware bestimmt wird,

erhalten Sie das fertig berechnete Produkt, das im Nachhinein noch weiter vom KI-Programm bearbeitet werden kann – etwa in Form weiterer Hochskalierung, Detailänderungen oder Korrekturen (besonders Gesichter, Hände, Posen). Die Bilder können je nach Nutzungsbedingung und Vorhaben in zahlreichen Arten verwendet werden. Ob für konzeptionelle Projekte als Inspirationsquelle oder als Kampagnenbild: Die künstliche Unterstützung hat ihre Daseinsberechtigung als Werkzeug der Moderne.

An Angeboten zur Bildgenerierung mangelt es derzeit definitiv nicht. Die vorgestellte Auswahl im Extrakasten rechts bietet einen soliden Einstiegspunkt für Interessierte zum Ausprobieren. Aufgrund seiner weitreichenden Einstellungsmöglichkeiten sowie der Option zur lokalen Installation stellen wir in diesem ersten Artikelteil Stable Diffusion in den Fokus. Was bietet das Open-Source-Tool in welcher Qualität und Weise? Und wo hakt es in der Praxis?

Stable Diffusion erklärt

Ohne die nötige GPU-Power mit genügend Speicher lässt sich Stable Diffusion nur mit zum Teil gravierenden Einschränkungen nutzen. Neben aktuellem Betriebssystem, wie modernen Linux-Distributionen oder Windows 10/11, sind 8 GiB Arbeitsspeicher sowie eine Grafikkarte mit 8 GiB VRAM als Minimum dringend empfohlen. Je mehr Videospeicher, desto mehr Spielraum gibt es auch etwa bei der Basisauflösung. Stable Diffusion lässt sich am komfortabelsten mit der grafischen Browser-Oberfläche bedienen. Dazu wird über die Programmierplattform Github die neueste Release-Version von Automatic1111 `stable-diffusion-webui` bezogen. Im entsprechenden Github-Wiki des Projekts finden Sie nicht nur detaillierte Installationswege für unterschiedliche Systeme, sondern auch viele Bildbeispiele und weiterführende Informationen auf Englisch. Für spezifische Anwendungsfälle wie etwa Posen gibt es Zusatzweiterungen und Projekte wie etwa ControlNet. Python in der Version 3.10 und andere Libraries wie Torch dienen dabei als Programmierbasis. Achten Sie bei den Installations- und Plugin-Hinweisen



GitHub ist die erste Anlaufstelle, um Stable Diffusion und optionale Erweiterungen herunterzuladen. Neben den reinen Dateien gibt es im Github-Wiki von Automatic1111 gute Installationsanleitungen und Hilfestellungen zur Fehlerbehebung.

Die bekanntesten Text-zu-Bild-Generatoren

■ **Stable Diffusion als lokale Lösung für Experten:** Wenn Sie sich tiefer mit lokaler KI-Bildgenerierung befassen möchten – und dabei einige Stunden Einarbeitung nicht scheuen, um das gewünschte Ergebnis zu erreichen – ist Stable Diffusion wohl genau das Richtige. Das Projekt ist kostenlos, Open Source und wird lokal auf Python-Basis eingerichtet. Mit zahlreichen Plugins, Models und einem offenen Source Code bietet Stable Diffusion die perfekte Mischung, um Ihr „eigenes“ Bildgenerierungs-Tool zusammenzustellen. Wer möchte, kann das Programm mit eigenen Daten füttern und trainieren, beispielsweise um den eigenen Comic-Stil oder Gesichter einfließen zu lassen.

■ **Bing Images als kostenloses Projekt für Anfänger:** Perfekt zum Hineinschnuppern für Einsteiger. Bing Images läuft über den Browser, es ist keine Programminstallation nötig. Für die Bildberechnungen stellt Microsoft eigene, kräftige Server bereit. Der Zugang mit Account-Pflicht ist kostenlos und die Bedienung kinderleicht. Da Bing Images für die Suchanfragen mit voreingestellten Prompts arbeitet, werden oftmals eindrucksvolle Ergebnisse erzielt. Der eingebaute Inhaltsfilter kann in manchen Fällen limitieren, sodass einige Anfragen zwar bearbeitet, aber aus Gründen der Nutzungsbedingungen nicht angezeigt werden. Bing Images basiert auf DALL-E 3 und entstand in Zusammenarbeit mit OpenAI. Die momentanen Funktionen sind als Vorschau deklariert.

■ **DALL-E:** Das Tool von OpenAI ist einer der größten Namen auf dem Markt. Nach der Registrierung erhalten Sie Zugriff auf die Web-Oberfläche. Sie erhalten ähnlich wie bei Bing Images jeden Monat eine begrenzte Anzahl an Credits, welche bei Bilderstellungen aufgebraucht werden. Weitere Credits können kostenpflichtig erworben werden. DALL-E ist für Einsteiger einfach zu bedienen und ermöglicht es, auch mit wenigen Eingaben gute Bilder zu erstellen. Im Vergleich zu etwa Stable Diffusion bietet DALL-E jedoch weniger Einstellungsmöglichkeiten.

■ **Midjourney auf Discord:** Der „ewige Konkurrent“ von Stable Diffusion. Die Bildberechnungen finden hier auf eigenen Servern statt, der Zugang erfolgt über den Online-Dienst Discord. Der Dienst wird in kostenpflichtigen Abo-Modellen angeboten. Je höher der Preis, desto größer das Kontingent an hoher GPU-Performance.

■ **Adobe Photoshop als Praxisimplementierung:** Das auf Adobe Firefly basierende „Generative Fill“ ist im Beta-Branch des kostenpflichtigen Photoshop verfügbar und ermöglicht die direkte, schnelle Einarbeitung von KI-Inhalten in der mächtigen Bildbearbeitungs-Suite. Für die Funktion wird eine Internetverbindung vorausgesetzt. Das „Füllen“ funktioniert überraschend akkurat und ansehnlich.



auf explizite Versionsangaben, da es ansonsten zu Komplikationen mit den zu erforderlichen Bibliotheken kommen kann.

In Stable Diffusion gibt es die Möglichkeit, verschiedene der sogenannten „Models“ zu verwenden. Ein Model ist eine Art „Daten-Preset“ in der Größe von 2–9 GiB und bestimmt maßgeblich, welche Details wie verstanden und ausgearbeitet werden. So gäbe es etwa spezifische Konstrukte für Comic-Grafik, Fotorealismus oder Steampunk-Optik. Während der Entstehung eines Models wird die KI mit spezifischen Daten gefüttert und trainiert, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen, wobei ein Vermischen unterschiedlicher Models als „Merge“ möglich ist und je nach „Harmonie“ eine interessante Experimentieroption darstellt.

Checkpoints und Safetensors

Als Model-Dateitypen gäbe es für Stable Diffusion entweder .ckpt (Checkpoints) oder .safetensors zur Auswahl. Safetensors gelten typischerweise als bessere und sichere Wahl, da im Gegensatz zu .ckpt-Paketen kein zweckentfremdeter Python-Code abgespielt werden kann. Das Risiko von Malware-Befall wird mit Safetensors minimiert. Checkpoints können zu Safetensors konvertiert werden. Beide Dateitypen werden in der Ordnerstruktur Ihres lokalen Stable-Diffusion-Verzeichnisses gleichbehandelt und im

„models“-Unterordner abgelegt. Viele Model-Projekte bieten sowohl Safetensors als auch Checkpoints zum Download an. Dank einer lebendigen Community werden zudem regelmäßig interessante Fortschritte veröffentlicht. Einer der jüngeren Verbesserungen wäre „Stable Diffusion XL“ als Model, das ansprechendere Bilder im Format von 1.024 × 1.024 Pixeln in den Fokus rückt. Um dieses Model-Paket nutzen zu können, benötigt es die Safetensor-Dateien, die beispielsweise über die Webseite huggingface.co bezogen und manuell hinzugefügt werden müssen.

- www.huggingface.co/stabilityai/stable-diffusion-xl-base-1.0
- www.huggingface.co/stabilityai/stable-diffusion-xl-refiner-1.0

Benötigt werden folgende Dateien:

- **sd_xl_base_1.0.safetensors** (Einfügen in: Datei-Ordner/models/Stable-Diffusion)
- **sd_xl_offset_example-lora_1.0.safetensors** (Einfügen in: Datei-Ordner/models/lora)
- **sd_xl_refiner_1.0.safetensors** (Einfügen in: Datei-Ordner/models/Stable-Diffusion)

Nach der Abfolge der im Github-Wiki empfohlenen Installation (je nach GPU-Hersteller und OS teils völlig unterschiedlich) kann Stable Diffusion über die Python-Datei *launch.py* im Hauptordner gestartet



Bild: Erzeugt mit Bing Images

Sie wollten schon immer einen Affen sehen, der Gitarre spielt und auf einem Esel reitet? Kein Problem, die „KI“-Bilderstellung macht es möglich.

werden. Die Web-Oberfläche des lokal initiierten Servers öffnet sich üblicherweise nach einigen Sekunden automatisch in einem Browser, ansonsten ist innerhalb des Terminals die entsprechende Web-UI-IP samt Port auszulesen und in einem Browser als Pfad einzugeben, Beispiel: 127.0.0.1:7760. Jetzt muss noch der „Checkpoint“ (das Model) geändert werden.

Wählen Sie unter der Option „Stable Diffusion checkpoint“ in der linken oberen Ecke die Datei „sd_xl_base_1.0.safetensors“ aus. Theoretisch könnten Sie danach direkt loslegen,

Bilder nach eigenen Prompts erstellen zu lassen. Um das richtige Ergebnis in einer brauchbaren Qualität zu erzielen, bedarf es allerdings noch einiger Feineinstellungen.

Keywords sind der Schlüssel

Über die oberen Reiter der Web-UI können Sie die unterschiedlichen Funktionen von Stable Diffusion auswählen. Um ein völlig neues Bild aus einer Textzusammenstellung zu erhalten, wählen Sie im obersten Reiter „txt2img“. Die textbasierte Anfrage wird in Stable Diffusion in den „Prompt“-Feldern eingetippt. Zum einen gibt es positive,

Stable Diffusion: Nicht mal eben gemacht – KI-Fehler

Aller Anfang ist schwer: Zu Beginn werden Ihnen keine Meisterwerke in Stable Diffusion gelingen. Mit Fingerspitzengefühl und zum Teil viel Geduld müssen Texteingaben und Einstellungen aufeinander angepasst werden. Besonders häufig treten Fehler bei der Darstellung von Gesichtern und Händen auf. Zusätzliche Plugins wie der „Adetailer“, der etwa Gesichter versucht zu reparieren, können korrigierend nachbearbeiten. Online-Angebote wie Adobe Firefly sind hier häufig von Haus aus feiner.



Bilder: Erzeugt mit Stable Diffusion (ohne Plugins)

zum anderen negative Prompts. In die oberste Zeile für die positiven Prompts wird eingetragen, was im Bild explizit erscheinen soll. Die negativen Prompts sind als Filter gedacht, hier wird benannt, was Sie nicht sehen möchten. Einige allgemeine Keywords können dabei helfen, ansehnlichere Qualität zu erreichen und Fehler zu vermeiden. Über eine Einklammerung der einzelnen Begriffe kann das Keyword-Gewicht spezifiziert werden. Je höher das Gewicht, umso wichtiger der Inhalt. Runde Klammern () erhöhen den Faktor pro Verschachtelung um 1,1 und eckige Klammern [] verringern den Wert je um den Faktor 0,9.

Die richtigen Einstellungen

Die Sampling-Stufen geben an, wie oft das Bild bearbeitet wird, um ein detailliertes Ergebnis zu erzeugen. Hierbei können Sie mit 20 Stufen anfangen und sich langsam hocharbeiten. Je höher die Sampling-Rate, desto mehr Grafikleistung (und VRAM) wird beansprucht. Ab dem Iterationswert von circa 30 verändert sich die Optik, ohne aber direkt „besser“ auszusehen.

Mit den Reglern „width“ und „height“ kann die Bildgröße eingestellt werden. Für die Verwendung von Stable Diffusion XL wird eine Mindestauflösung von 1.024 x 1.024 empfohlen. Höhere Werte sind möglich, erfordern jedoch mehr Berechnungszeit und ordentlich Grafikkarten-Power. Sie merken, dass das Limit erreicht ist, wenn die Bildberechnung mit einer Fehlermeldung abbricht. In unserem Test lag etwa die größtmögliche Auflösung mit einer Geforce RTX 3080 10 GiB bei 1.536 x 1.536 Pixeln.

Die „CFG-Scale“ bestimmt, wie nah das erzeugte Bild dem Suchbefehl kommen soll, beziehungsweise, wie viel kreativer Spielraum Stable Diffusion bleibt. Ein erhöhter Wert bindet das Bild stärker an die Texteingabe. Der „Batch count“ ermöglicht es, zu einem Durchgang gleich mehrere Ergebnisse zu erzeugen. Das ist durchaus sinnvoll, denn je nach Prompt benötigen Sie mehrere Durchgänge mit verschiedenen Seeds, bis das optimale Bild erscheint. Die Bilder werden dabei nacheinander berechnet. Mit

der Option „Batch size“ erfolgt die Berechnung der Bilder gleichzeitig. Was verlockend klingt, ist selten empfehlenswert. Denn im Gegensatz zur anreihenden Bildberechnung wird hier für dieselbe Menge an Ergebnissen ein Vielfaches an Zeit und Rechenpower benötigt.

In unserem Ritterbeispiel wurden folgende Einstellungen angewendet:

- Sampling method: DPM++ 2M Karras, Sampling steps: 20, Auflösung: 1.024 x 1.024, CFG Scale: 7

Erweiterungen gesucht?

Für Stable Diffusion gibt es unzählige Erweiterungen. Hierbei ist jedoch Vorsicht geboten, denn einige enthielten in der Vergangenheit Malware. Empfehlenswerte Quellen wären Github, Huggingface oder die Web-UI von Stable Diffusion selbst. Unter dem Reiter „Extensions“ gibt es die Option, Plugins direkt per URL herunterzuladen und zu installieren. Nach dem Prüfen auf Updates gilt es, die Anwendung neu zu starten.

Rechtslage: nebulös

Noch ist nicht völlig geklärt, wie rechtlich mit der Verwendung von KI-generierten-Bildern umgegangen werden soll, denn die Materialien, mit denen die „künstliche Intelligenz“ gefüttert wird, sind oft zum Teil rechtlich geschützt. Urheber beklagen daher, dass ihre Werke ohne Einverständnis für die Erstellung neuer Inhalte als Trainingsdaten verwendet werden. Inwieweit die Rechtsprechung dem baldig einen Riegel vorschiebt, bleibt abzuwarten. Entsprechende Vorschläge werden jedoch in mehreren Ländern aktiv politisch diskutiert. Bisher erlaubt Stable Diffusion die Benutzung von mit den offiziell bereitgestellten Modellen erstellten Bildern auch für kommerzielle Zwecke. Wobei die Verwendung von bekannten Personen, Markenzeichen und weiteren rechtlich geschützten Inhalten weiterhin untersagt bleibt. Offiziell erlöschen die Nutzungsrechte bei der Verbreitung von Bildern mit illegalem, unethischen oder für Personen schädlichem Inhalt. Die Nutzungsbedingungen der Online-Dienste unterscheiden sich voneinander und müssen vor dem Einsatz unbedingt überprüft werden.

Schnelle Stichprobe mit fünf Nvidia-Karten

Stable Diffusion Version v1.6.0-2-g4afaaf8a

Gigabyte RTX 4080 Gaming OC 16G	18,0 (-62 %)
Gainward RTX 4070 Ghost 12G	16,3 (-22 %)
MSI RTX 3080 Suprim X 10G	21,0 (Basis)
MSI GTX 1080 Ti Gaming X Trio 11G	53,2 (+153 %)
EVGA GTX 1070 Superclocked 8G	354,3 (+1587 %)

System: Intel Core i9-11900K, 16 GiB DDR4-4400, Windows 11 x64
Bemerkungen: Prompt und Einstellungen wie in unserem Test-Beispiel. Bei zu wenig Speicher und fordernden Settings kommt es zu Problemen (wie etwa bei der Geforce GTX 1070).

Sekunden
 ⬇️ Besser

Beispiel einer Texteingabe

Positive	Negative
Realistic	Low quality
4K/8K	Error
High Resolution	Bad resolution
Unreal engine	Bad anatomy
Sharp focus	Too many fingers
Masterpiece	Mutated
Diese Prompts fügen wir in unserem Beispiel der Textsuche hinzu.	

Unser Beispiel-Prompt:

- Positive: knight stands in front of a castle, camera shot, daytime, realistic, sword equipped, low angle shot, 4K, High Resolution, Unreal engine, Sharp focus
- Negative: Low quality, error, Bad resolution, Bad anatomy, Too many fingers, mutated
- Seed: 1300032350

Details, die explizit im Bild erscheinen sollen, müssen als Text festgelegt werden. Die negativen Prompts sind bei Stable Diffusion nicht zu vernachlässigen. Neben der Grundbeschreibung sollten weitere spezifizierende Eckdaten benannt werden. Unter anderem: Art des Bildes (Fotografie, digitale Zeichnung), Stil (Comic, realistisch, Steampunk), Beleuchtung, Umgebung und Kameraperspektive. Vermeintlich obskure Keywords mit bestimmter Merkmalkonnotation wie "masterpiece" oder "8K" bieten sich zum Experimentieren an.

Nvidia hat die Nase vorn

Stable Diffusion ist vor allem für Nvidia-Grafikkarten prädestiniert. Mit einigen Anpassungen ist es jedoch auch möglich, AMD- und Intel-GPUs zu verwenden. Die Alternativenvarianten sind zum jetzigen Zeitpunkt allerdings nicht gleichermaßen optimiert. Zwar erschien im August eine Anleitung von AMD, mit der sich die Radeon-Leistung durch Microsoft Olive gravierend steigern sollte, allerdings gestaltet sich die Installation und Implementierung im Vergleich derart komplex und aufwendig, dass wir höchstens besonders neugierigen Nutzern (nach Möglichkeit unter Linux) eine Empfehlung aussprechen würden. „Shark“ wäre eine AMD-Alternative, welche Stable Diffusion in einer für Radeon-Karten optimierten Version bietet. Diese ist jedoch in ihren Möglichkeiten und Ergebnissen eingeschränkt und kann zum aktuellen Stand nur bedingt mit Stable Diffusion XL verglichen wer-

den. AMD und Intel sind sich der KI-Thematik bewusst und arbeiten an Verbesserungen. Die Leistung von Cloud-Netzwerken wird dagegen nicht lokal einzuholen sein. Wir behalten die gesamte Entwicklung rund um die Bildgenerierung jedenfalls für weitere Artikelteile im Blick und bleiben gespannt. *(rel/th)*

Fazit PCGH

Bildgenerierung als neues Hobby

Zum unkomplizierten, kostenlosen Ausprobieren sind Online-Angebote wie Microsofts Bing Images für Einsteiger und Neugierige eine sehr bequeme Lösung zur unterhaltsamen Bildgenerierung. Lokale Vorhaben mit etwa Stable Diffusion erfordern dagegen nicht nur eine gewisse Einarbeitungszeit, sondern auch genügend GPU-Leistung und -Speicher. Nvidia genießt durch größeren Support einen großen Vorsprung.

Prozessoren

AMD- und Intel-Prozessoren, Prozessorkühler, Wärmeleitpasten

www.pcgameshardware.de/cpu



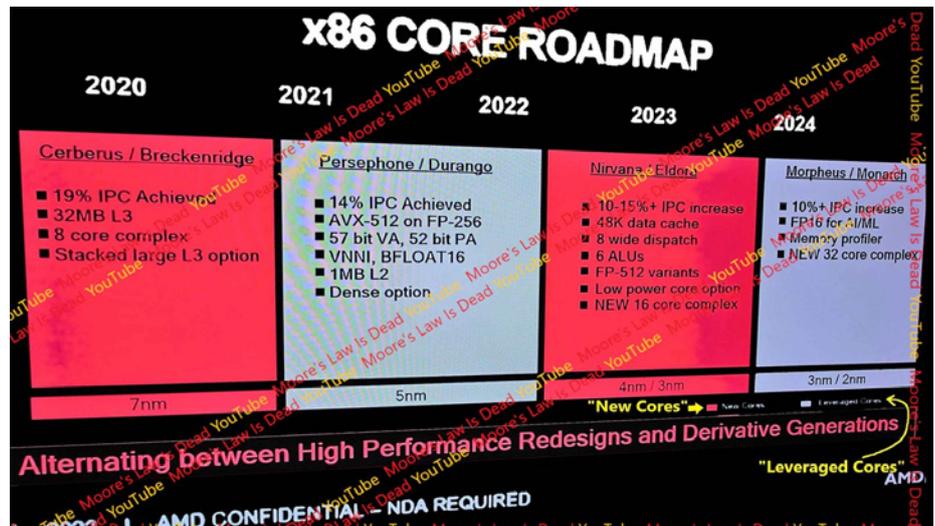
David Ney
Fachbereich Prozessoren
E-Mail: post@pcgh.de

Kommentar

Wir befinden uns gerade am Scheideweg. Aufpassen beim CPU/GPU-Kauf!

Selbst wenn Sie nicht täglich IT- und Spiele-News verfolgen, dürfte Ihnen nicht entgangen sein, dass inzwischen Spiele auf Basis der Unreal Engine 5 erschienen sind. Remnant 2, The Talos Principle 2, Immortals of Aveum – diese Spiele haben eines gemeinsam: Sie sind unglaublich fies zu angestaubter Hardware. Selbst mit reduzierten Details ist oft kein flüssiger Spielgenuss möglich. Das liegt nicht etwa daran, dass die Entwickler Sie ärgern möchten und das Spiel nicht optimiert haben, sondern schlicht an den erhöhten Anforderungen der Grafik-Engine. Und das ist erst der Anfang. Ich kann Ihnen sagen, dass ich selbst mit meiner Geforce RTX 3090 staune, wie weit ich bei den neuesten Titeln mit dem Upscaling die eigentliche Auflösung herunterschrauben muss, um noch flüssige Bildraten bei akzeptabler Qualität zu erreichen. Alan Wake 2 etwa werde ich gar nicht mit dieser Grafikkarte spielen und warte lieber, bis ich eine 4080 oder 4090 im Rechner habe. Die Prozessoren trifft es zwar nicht so hart, doch eine höhere Last ist hier ebenfalls programmiert, denn die Unreal Engine 5 bringt Raytracing ab Werk mit und das belastet auch die CPU massiv.

Passen Sie daher auf, wenn Sie jetzt planen, aufzurüsten. Aktuelle Mittelklasse-Hardware stirbt Ihnen bereits jetzt bei den neuesten Spielen unter den Füßen weg und die richtigen Kracher mit nativer Engine-Programmierung folgen erst noch. Warten Sie besser ab, bis AMD, Nvidia und Intel die nächste Generation von Grafikkarten starten: Arc Battlemage, RX 8000 und RTX 5000. Erst dann würde ich überhaupt wieder Modelle aus dem mittleren Preisbereich empfehlen, sofern Sie in Full HD oder höher ohne Upscaling wie DLSS oder FSR spielen möchten.



Neue Leaks zeigen AMD Zen 5 & 6

Wie üblich sickern Informationen durch, egal ob das AMD/Intel gefällt oder nicht. In diesem Fall ist es eine interne Folie, welche die Zen-Roadmap zeigt.

Die Folie auf dem Bild des Leakers Moore's Law is Dead beschäftigt sich mit IPC- und Architektur-Verbesserungen und betrifft Zen 5 (Nirvana) sowie Zen 6 (Morpheus). Zum Release passen die Jahreszahlen nicht ganz, wir erwarten Zen 5 für 2024 und Zen 6 frühestens 2026.

Durango ist die aktuelle Bezeichnung für Ryzen 7000. Sie erkennen die aktuelle Generation auch an der Fertigung in der Roadmap: 5 nm entspricht dabei TSMC N5, während Cerberus/Breckenridge mit TSMC N7 entsprechend 7 nm und damit Ryzen 5000 meint. Insgesamt soll Zen 5 – wahrscheinlich als Ryzen 9000 im Desktop-Bereich – eine IPC-Steigerung von 10 bis 15 Prozent erfahren. AMD möchte das mit einer High Performance Branch Prediction sowie durch einen erweiterten L1-Cache erreichen, der auf 48 KiByte anwächst. Natürlich wird es auch Verbesserungen seitens der Sicherheit geben. Die größte Neuerung, die vor allem für PC-Spieler spannend sein dürfte, ist jedoch der neue 16-Core-Complex (CCX). Der CCX macht seit Ryzen 3000 (Zen 2) Veränderungen durch. Letztere setzen auf ein 4-Core-Complex. Eine solche CPU basiert auf zwei CCX, um acht Kerne zu bieten. Da die Kerne zwischen den CCX kommunizieren müssen, entstehen recht hohe Laten-

zen, die Leistung kosten. Ryzen 5000 (Zen 3) hat dieses Problem bereits gelöst, indem AMD einen 8-Core-Complex verbaut hat. Auch Ryzen 7000 (Zen 4) setzt auf maximal acht Kerne in einem CCX. Ab Zen 5 geht AMD einen Schritt weiter und soll auf 16 Kerne in einem CCX setzen. Das wäre höchst interessant, da es dann auch reine 16-Kern-3D-Prozessoren unterstützt. Stellen Sie sich einen Ryzen 7 7800X3D mit nunmehr 16 Kernen vor, die mit 5 GHz takten: Leistung und Effizienz wären unerreicht. Ein 7950X3D kann das nicht erfüllen, da dort nur ein CCX auf den begehrten 3D-V-Cache setzt.

Für Zen 6, mutmaßlich dann mit neuem Namensschema – außer, AMD nennt die CPUs tatsächlich „Ryzen 11000“ –, soll schließlich auf einen 32-Core-Complex setzen. Das wäre ein gewaltiger Schritt nach vorn und unserer Ansicht nach erst bei Zen 7 (2028) zu erwarten. Doch sollte es so eintreffen, können sich PC-Spieler und Content Creator auf eine extrem hohe Multi-Core-Leistung freuen. Das wäre auch das erste Mal, dass AMD im Desktop mehr als 16 Kerne beim Topmodell anbietet. In der Gerüchteküche sprechen sich des Weiteren „Effizienz-Kerne“ für AMD Ryzen herum. So könnte Zen 5 auf acht Performance- und bis zu 16 Compute-Kerne setzen, die ähnlich wie bei Intel kleinere Aufgaben effizient übernehmen können. Eines steht fest: Ab 2024 wird sich vieles im Desktop-Markt verändern, auch bei Intel. (dn)

Prozessor-Leistungsindex 2023

Preis-Leistungsindex Effizienz-Index (Spiele-Verbrauch) Gesamtindex Spiele Anwendungen

BESSER ►
Normierte Leistung

AMD Ryzen 9 7950X3D 5,1 GHz - 16c/32t - So. AM5 29,9% - 670 € 82,2% - 68 W CAL: 121 F1 22: 191 TWW3: 155 HIT3: 209 3DM: 10970 HAND: 78 DOOM: 450 MSFS: 91 HL: 135 CP77: 101,5 CB235: 2029 PHOTO: 1504 DYL2: 124 PTR: 150 ANNO: 99 CB23M: 35700 PREM: 1388	Intel Core i7-12700K 4,70/3,60 GHz - 8p+4e/20t - So. 1700 55,9% - 305 € 43,1% - 104 W CAL: 86 F1 22: 125 TWW3: 109 HIT3: 169 3DM: 7682 HAND: 130 DOOM: 391 MSFS: 52 HL: 95 CP77: 88,8 CB235: 1960 PHOTO: 1346 DYL2: 92 PTR: 110 ANNO: 71 CB23M: 23062 PREM: 1220
Intel Core i9-14900K 5,70/4,40 GHz - 8p+16e/32t - So. 1700 25,5% - 600 € 39,3% - 187 W CAL: 113 F1 22: 153 TWW3: 122 HIT3: 225 3DM: 13146 HAND: 78 DOOM: 491 MSFS: 71 HL: 140 CP77: 112,6 CB235: 2368 PHOTO: 1781 DYL2: 114 PTR: 155 ANNO: 92 CB23M: 38444 PREM: 1427	AMD Ryzen 9 5950X 4,8 GHz - 16c/32t - So. AM4 72,9% 37,5% - 445 € 47,6% - 99 W CAL: 79 F1 22: 116 TWW3: 99 HIT3: 156 3DM: 8875 HAND: 109 DOOM: 347 MSFS: 53 HL: 88 CP77: 75,2 CB235: 1630 PHOTO: 1235 DYL2: 84 PTR: 102 ANNO: 52 CB23M: 25207 PREM: 1208
Intel Core i9-13900KS 5,60/4,30 GHz - 8p+16e/32t - So. 1700 31,7% - 745 € 40,9% - 175 W CAL: 113 F1 22: 155 TWW3: 124 HIT3: 220 3DM: 13396 HAND: 78 DOOM: 492 MSFS: 70 HL: 135 CP77: 113,3 CB235: 2369 PHOTO: 1831 DYL2: 114 PTR: 157 ANNO: 92 CB23M: 37729 PREM: 1310	AMD Ryzen 9 5900X 4,7 GHz - 12c/24t - So. AM4 66,3% 50,6% - 315 € 45,7% - 96 W CAL: 79 F1 22: 116 TWW3: 97 HIT3: 155 3DM: 7769 HAND: 131 DOOM: 352 MSFS: 54 HL: 86 CP77: 72,6 CB235: 1585 PHOTO: 1277 DYL2: 80 PTR: 104 ANNO: 57 CB23M: 21444 PREM: 1158
Intel Core i9-13900K 5,50/4,30 GHz - 8p+16e/32t - So. 1700 38,4% - 620 € 44,7% - 155 W CAL: 112 F1 22: 152 TWW3: 122 HIT3: 220 3DM: 13325 HAND: 79 DOOM: 489 MSFS: 70 HL: 135 CP77: 112,2 CB235: 2291 PHOTO: 1792 DYL2: 113 PTR: 157 ANNO: 91 CB23M: 37697 PREM: 1304	AMD Ryzen 5 7600X 5,35 GHz - 6c/12t - So. AM5 58,8% 68,1% - 230 € 62,3% - 61 W CAL: 83 F1 22: 127 TWW3: 94 HIT3: 180 3DM: 5228 HAND: 158 DOOM: 424 MSFS: 55 HL: 90 CP77: 79,9 CB235: 1968 PHOTO: 1401 DYL2: 85 PTR: 102 ANNO: 61 CB23M: 15453 PREM: 1020
Intel Core i7-14700K 5,50/4,30 GHz - 8p+12e/28t - So. 1700 39,4% - 425 € 41,7% - 155 W CAL: 108 F1 22: 151 TWW3: 122 HIT3: 216 3DM: 11830 HAND: 92 DOOM: 486 MSFS: 68 HL: 135 CP77: 109,9 CB235: 2212 PHOTO: 1745 DYL2: 112 PTR: 155 ANNO: 90 CB23M: 33538 PREM: 1266	AMD Ryzen 5 7600X 5,35 GHz - 6c/12t - So. AM5 68,1% - 230 € 62,3% - 61 W CAL: 83 F1 22: 127 TWW3: 94 HIT3: 180 3DM: 5228 HAND: 158 DOOM: 424 MSFS: 55 HL: 90 CP77: 79,9 CB235: 1968 PHOTO: 1401 DYL2: 85 PTR: 102 ANNO: 61 CB23M: 15453 PREM: 1020
Intel Core i7-14700K 5,50/4,30 GHz - 8p+12e/28t - So. 1700 39,4% - 425 € 41,7% - 155 W CAL: 108 F1 22: 151 TWW3: 122 HIT3: 216 3DM: 11830 HAND: 92 DOOM: 486 MSFS: 68 HL: 135 CP77: 109,9 CB235: 2212 PHOTO: 1745 DYL2: 112 PTR: 155 ANNO: 90 CB23M: 33538 PREM: 1266	Intel Core i5-12600K 4,50/3,40 GHz - 6p+4e/16t - So. 1700 58,5% 65,1% - 235 € 46,8% - 84 W CAL: 81 F1 22: 120 TWW3: 94 HIT3: 165 3DM: 5959 HAND: 165 DOOM: 350 MSFS: 50 HL: 89 CP77: 77,8 CB235: 1909 PHOTO: 1266 DYL2: 87 PTR: 99 ANNO: 67 CB23M: 17542 PREM: 1088
AMD Ryzen 9 7900X3D 5,1 GHz - 12c/24t - So. AM5 43,0% - 485 € 78,9% - 64 W CAL: 118 F1 22: 154 TWW3: 133 HIT3: 212 3DM: 8811 HAND: 105 DOOM: 439 MSFS: 68 HL: 132 CP77: 100,3 CB235: 1990 PHOTO: 1481 DYL2: 104 PTR: 147 ANNO: 91 CB23M: 27602 PREM: 1240	Intel Core i5-13400F 4,10/3,30 GHz - 6p+4e/16t - So. 1700 53,8% 68,8% - 210 € 57,4% - 64 W CAL: 78 F1 22: 116 TWW3: 90 HIT3: 158 3DM: 5513 HAND: 199 DOOM: 335 MSFS: 48 HL: 86 CP77: 75,1 CB235: 1779 PHOTO: 1266 DYL2: 83 PTR: 102 ANNO: 63 CB23M: 15032 PREM: 983
Intel Core i7-13700K 5,30/4,20 GHz - 8p+16e/24t - So. 1700 49,7% - 430 € 42,6% - 141 W CAL: 108 F1 22: 151 TWW3: 120 HIT3: 208 3DM: 10083 HAND: 104 DOOM: 481 MSFS: 67 HL: 132 CP77: 107,7 CB235: 2119 PHOTO: 1643 DYL2: 111 PTR: 149 ANNO: 85 CB23M: 30174 PREM: 1207	AMD Ryzen 7 5700X 4,65 GHz - 8c/16t - So. AM4 77,8% - 180 € 60,4% - 57 W CAL: 77 F1 22: 115 TWW3: 87 HIT3: 149 3DM: 5093 HAND: 193 DOOM: 362 MSFS: 53 HL: 83 CP77: 70,9 CB235: 1514 PHOTO: 1174 DYL2: 80 PTR: 96 ANNO: 56 CB23M: 13954 PREM: 915
AMD Ryzen 9 7950X 5,4 GHz - 16c/32t - So. AM5 36,2% - 575 € 48,3% - 118 W CAL: 91 F1 22: 131 TWW3: 111 HIT3: 200 3DM: 12798 HAND: 72 DOOM: 426 MSFS: 61 HL: 105 CP77: 89,8 CB235: 2094 PHOTO: 1546 DYL2: 91 PTR: 116 ANNO: 64 CB23M: 38725 PREM: 1290	Intel Core i9-10900K 4,9 GHz - 10c/20t - So. 1200 37,3% - 365 € 33,8% - 107 W CAL: 76 F1 22: 107 TWW3: 89 HIT3: 143 3DM: 6517 HAND: 186 DOOM: 296 MSFS: 48 HL: 81 CP77: 66,9 CB235: 1295 PHOTO: 1077 DYL2: 80 PTR: 94 ANNO: 55 CB23M: 15707 PREM: 955
AMD Ryzen 7 7800X3D 5 GHz - 8c/16t - So. AM5 63,0% 49,5% - 370 € 100,0% - 51 W CAL: 118 F1 22: 171 TWW3: 134 HIT3: 182 3DM: 6027 HAND: 144 DOOM: 504 MSFS: 78 HL: 143 CP77: 116,8 CB235: 1821 PHOTO: 1503 DYL2: 108 PTR: 169 ANNO: 96 CB23M: 18383 PREM: 1014	Intel Core i7-11700K 4,6 GHz - 8c/16t - So. 1200 46,6% - 290 € 33,6% - 108 W CAL: 72 F1 22: 111 TWW3: 87 HIT3: 149 3DM: 5724 HAND: 211 DOOM: 291 MSFS: 44 HL: 79 CP77: 69,7 CB235: 1565 PHOTO: 1130 DYL2: 86 PTR: 92 ANNO: 56 CB23M: 13845 PREM: 937
Intel Core i5-14600K 5,30/4,00 GHz - 6p+8e/20t - So. 1700 73,9% 46,3% - 330 € 46,0% - 116 W CAL: 105 F1 22: 144 TWW3: 105 HIT3: 201 3DM: 8225 HAND: 116 DOOM: 453 MSFS: 64 HL: 126 CP77: 101,3 CB235: 2093 PHOTO: 1612 DYL2: 108 PTR: 141 ANNO: 86 CB23M: 24659 PREM: 1130	AMD Ryzen 5 5600 4,45 GHz - 6c/12t - So. AM4 97,9% - 130 € 72,2% - 44 W CAL: 75 F1 22: 110 TWW3: 78 HIT3: 138 3DM: 4029 HAND: 225 DOOM: 346 MSFS: 49 HL: 74 CP77: 62,5 CB235: 1462 PHOTO: 1081 DYL2: 73 PTR: 91 ANNO: 54 CB23M: 11069 PREM: 854
Intel Core i5-13600K 5,10/3,90 GHz - 6p+8e/20t - So. 1700 71,5% 58,4% - 325 € 47,0% - 111 W CAL: 103 F1 22: 142 TWW3: 104 HIT3: 198 3DM: 8031 HAND: 120 DOOM: 446 MSFS: 62 HL: 125 CP77: 99,7 CB235: 2014 PHOTO: 1564 DYL2: 106 PTR: 138 ANNO: 85 CB23M: 23747 PREM: 1109	AMD Ryzen 7 3700X 4 GHz - 8c/16t - So. AM4 46,5% - 255 € 49,8% - 62 W CAL: 63 F1 22: 98 TWW3: 80 HIT3: 130 3DM: 4607 HAND: 211 DOOM: 248 MSFS: 39 HL: 69 CP77: 58,6 CB235: 1299 PHOTO: 1043 DYL2: 60 PTR: 94 ANNO: 43 CB23M: 12540 PREM: 837
AMD Ryzen 9 7900X 5,3 GHz - 12c/24t - So. AM5 82,4% 45,0% - 425 € 47,9% - 105 W CAL: 91 F1 22: 132 TWW3: 113 HIT3: 197 3DM: 9961 HAND: 97 DOOM: 407 MSFS: 61 HL: 101 CP77: 88,4 CB235: 2024 PHOTO: 1532 DYL2: 89 PTR: 113 ANNO: 65 CB23M: 29498 PREM: 1257	Intel Core i3-13100F 4,3 GHz - 4c/8t - So. 1200 96,9% - 120 € 46,3% - 63 W CAL: 70 F1 22: 101 TWW3: 74 HIT3: 154 3DM: 3095 HAND: 304 DOOM: 264 MSFS: 40 HL: 76 CP77: 51,8 CB235: 1749 PHOTO: 1079 DYL2: 61 PTR: 92 ANNO: 54 CB23M: 8847 PREM: 767
Intel Core i9-12900K 4,90/3,70 GHz - 8p+8e/24t - So. 1700 75,2% 42,4% - 430 € 44,1% - 112 W CAL: 90 F1 22: 128 TWW3: 112 HIT3: 178 3DM: 9109 HAND: 111 DOOM: 405 MSFS: 55 HL: 100 CP77: 90,6 CB235: 2040 PHOTO: 1429 DYL2: 95 PTR: 114 ANNO: 74 CB23M: 27716 PREM: 1264	Intel Core i5-11400F 4,2 GHz - 6c/12t - So. 1200 95,6% - 120 € 45,3% - 68 W CAL: 68 F1 22: 104 TWW3: 74 HIT3: 134 3DM: 3575 HAND: 310 DOOM: 261 MSFS: 43 HL: 70 CP77: 56,7 CB235: 1389 PHOTO: 1011 DYL2: 70 PTR: 88 ANNO: 53 CB23M: 8784 PREM: 781
AMD Ryzen 7 7700X 5,45 GHz - 8c/16t - So. AM5 67,7% 51,6% - 335 € 57,3% - 75 W CAL: 87 F1 22: 136 TWW3: 104 HIT3: 186 3DM: 6799 HAND: 130 DOOM: 442 MSFS: 59 HL: 95 CP77: 88,9 CB235: 2005 PHOTO: 1521 DYL2: 94 PTR: 107 ANNO: 63 CB23M: 19987 PREM: 1134	Intel Core i5-10400F 4 GHz - 6c/12t - So. 1200 100,0% - 100 € 57,0% - 46 W CAL: 58 F1 22: 88 TWW3: 63 HIT3: 121 3DM: 3328 HAND: 316 DOOM: 232 MSFS: 38 HL: 60 CP77: 50,6 CB235: 1097 PHOTO: 848 DYL2: 63 PTR: 76 ANNO: 46 CB23M: 8066 PREM: 707
AMD Ryzen 7 5800X3D 4,45 GHz - 8c/16t - So. AM4 52,5% 55,5% - 310 € 66,1% - 63 W CAL: 97 F1 22: 143 TWW3: 106 HIT3: 170 3DM: 5302 HAND: 178 DOOM: 465 MSFS: 76 HL: 116 CP77: 94,7 CB235: 1476 PHOTO: 1213 DYL2: 99 PTR: 145 ANNO: 81 CB23M: 14462 PREM: 899	Intel Core i5-10100 4,1 GHz - 4c/8t - So. 1200 72,2% - 105 € 49,9% - 40 W CAL: 50 F1 22: 70 TWW3: 38 HIT3: 91 3DM: 2247 HAND: 486 DOOM: 189 MSFS: 30 HL: 51 CP77: 35,6 CB235: 1099 PHOTO: 712 DYL2: 38 PTR: 67 ANNO: 39 CB23M: 5207 PREM: 555

Spiele im CPU-Index: The Callisto Protocol, Doom Eternal, Dying Light 2, F1 22, Microsoft Flight Simulator, A Plague Tale: Requiem, Total War Warhammer 3, Hogwarts Legacy, Anno 1800, Hitman 3 und Cyberpunk 2077, jeweils im CPU-Limit **Anwendungen im CPU-Index:** 7-Zip-Benchmark, 3DMark Timespy Extreme (CPU), Cinebench R23 Single- und Multicore-Benchmark, Handbrake, Photoshop (Puget-Benchmark) und Premiere (Puget-Benchmark) **Preis-Leistungs-Index:** Finale Wertung abhängig von der erzielten Leistung im Verhältnis zum Tagespreis, normierte Werte; **Effizienz-Index:** Bezieht sich auf den Gesamt-Index, normierte Werte, 60/40 Prozent Gewichtung Spiele/Anwendungen – Durchschnittliche Leistungsaufnahme der CPU allein in 11 Spielen, gerundet **System:** PNY GeForce RTX 4090 EPIC-X, rBar aktiviert, TDP-Lock, Dual-Ranked-RAM nach Herstellervorgabe, Windows 11 22H2, TPM 2.0 deaktiviert



Erwartungen: Nasskalt

Prozessoren verhalten sich leider nicht wie das Wetter, sondern eher wie das Klima: Sie werden immer heißer. Wir haben acht Hersteller um Vorschläge gebeten, was man dagegen tun kann.

Wasserkühlungen sind aufwendig, teuer, unpraktisch und unnötig? Nein! Punkt Drei gilt zwar weiterhin und Nummer vier zumindest für Ryzen-7-7800X3D-Käufer. Intel-Nutzer dagegen können kaum genug Kühlleistung haben und auch Sockel-AM5-Übertakter stoßen schnell an Temperaturgrenzen – Zen-4-CPU sind zwar effizient, haben aber ein Package mit schlechter Wärmeableitung. So bleiben einem Ryzen 9 bei 200 W Heizleistung oft weniger Temperaturreerven als einer 250-W-Sockel-1700-CPU mit vergleichbarer Kühlung.

Das relativiert auch Aufwand und Kosten einer Wasserkühlung: Die anfallende Abwärme mit Luftkühlern leise abzutransportieren, ist auch nicht einfacher, teils sogar unmöglich, und dem Anschaffungspreis einer Wasserkühlung steht, dank ihrer Reserven, eine längere Lebenserwartung gegenüber.

Diverses Testfeld

Wie lange man nicht nur Radiatoren, Pumpe und Co nutzen kann (dieser Text wurde an einem PC mit 20 Jahren alten Komponenten getippt), sondern auch Kühlkörper,

beweist unser Testfeld: Watercools Heatkiller IV war Leistungssieger in der PCGH 08/2015, Aquacomputers Kryos Next in der 12/2016 und Alphacools XPX in der 01/2017. Jetzt beweisen sich alle drei Kühler erneut – nicht als Retro-Rückblick, sondern im Falle von Aquacomputer und Watercool als amtierendes Topmodell. Auch bei Alphacool hat die XPX-Reihe ihren Spitzenplatz erst dieses Jahr an „Core“ übergeben, die optisch einfachste Ausführung wird aber als Budget-Angebot weitergeführt, weswegen wir diese Ur-Version auch erneut testen.

der aus 3.590 U/min resultierende Pumpleistung setzen.

Diese führt, mittels des neu kalibrierten Durchflussmessers, zum ersten Ergebnis: dem durchschnittlichen Durchfluss über alle ungebremsten Messungen hinweg. Wir

werten allerdings dessen Kehrseite, nämlich den Fließwiderstand, welchen die Probanden der Pumpe in den Weg stellen. Dieser Parameter verhält sich weitaus linearer und lässt sich für einen gegebenen Durchfluss sogar direkt verrechnen. Die zugehörigen Messungen füh-

ren wir daher einheitlich bei 60 l/h durch. 152 mBar könnte die Pumpe bei diesem Durchfluss stemmen und je weniger der CPU-Kühler davon beansprucht, desto mehr andere Objekte dürfen sich im Kreislauf befinden, ehe man entweder ein lauterer Pumpen-Setting oder eine niedrigere Fließgeschwindigkeit und einhergehende Leistungsverluste akzeptieren muss. Zur Einschätzung letzterer messen wir die von unseren Testteilnehmern erzielten Temperaturen ein zweites Mal bei besagten 60 l/h, ohne den Kühler neu zu montieren. So erfassen wir die Differenz zwischen beiden Szenarien mit der größtmöglichen Präzision. Kühler mit einem hohen Eigenwiderstand verlieren dabei meist weniger an Leistung, schließlich wird der Durchfluss für sie weniger stark gedrosselt, aber in der Praxis erreichen sie die 60 l/h eben auch nur mit mehr Pumpenleistung.

einen alten Sandy-Bridge-EP-Xeon, der als näherungsweise quadratische Wärmequelle kaum Richtungspräferenzen kannte, mit 150 W TDP aber nicht die Herausforderungen aktueller CPUs repräsentiert. Der neue Core i9-13900K ist dagegen sowohl über als auch unter dem Heatspreader länglich und heizt den Probanden mit 253 W ein. So sorgt er auch für eine deutlich größere Spreizung des Testfeldes, ohne aber Temperaturprobleme zu bekommen – bei der Hälfte der Probanden bleiben alle P-Kerne unter 90 °C.

Zusätzlich verfügt Raptor Lake über 16 „Effizienz“-Kerne, welche, entgegen ihrem Namen, einiges zur Wärmeentwicklung beitragen und knapp 40 Prozent der „heißen“ CPU-Fläche ausmachen. Man kann sie also nicht ignorieren, muss aber auch ihrer Anzahl Rechnung tragen. In unsere Endwertung gehen sie daher mit einer Gewichtung von 0,25 ein: Die viere E-Core-Cluster zählen in unseren Temperaturangaben jeweils wie einer von acht P-Kernen. Weitere Anpassungen gab es auch in den Ausstattungs- und Eigenschaftswertungen – nicht nur bei der Gewichtung der Sockelkompatibilität, sondern auch beim Montageaufwand oder unserer Beurteilung der beiliegenden Anleitungen. Die neuen Noten sollten daher ebenso wenig mit älteren Testergebnissen verglichen werden wie die Temperaturen des neuen Testsystems.



Bei der Aurora-Version des Core 1 ist der Messing-Deckel hohl und mit Aluminium abgedeckt, um einen durchsichtigen Kunststoffstreifen zu beleuchten.



Bei Bykski und teilweise auch Granzon liegt der LED-Streifen sichtbar um die Kühlstruktur herum, leuchtet aber nicht direkt ins Auge des Betrachters.



Der Quantum Velocity² versteckt seine LEDs unter einer schwarzen Abdeckung, von wo aus sie mit aller Kraft meist auf die Mainboard-Spannungswandler strahlen.

Die normale, „offene“ Kühlleistung dominiert daher unsere Endwertung und wird gleich vierfach gemessen – leicht unterschiedlich angezogene Halterungen oder nicht identisch verteilte Wärmeleitpaste sorgen immer für leichten Schwankungen zwischen Messungen. Hunderte Tests an Erfahrung mit der verwendeten Alpenföhn Permafrost reduzieren diese Störungen aber auf ein Minimum und ergeben zusammen mit mehreren Montagen eine Messgenauigkeit von schätzungsweise ±0,2 Kelvin für den Mittelwert.

Neu: Test- & Wertungssystem

Zugleich erhalten wir wertvolle Zusatzinformationen, denn der Kühler wird bei jeder Montage um 90° gedreht. Da alle Testteilnehmer spiegelsymmetrisch aufgebaut sind, ergibt dies je zwei Messungen „quer“ und „längs“ – und zwischen den Mittelwerten dieser Paare liegen teils über 3 Kelvin! In der Testtabelle geben wir die Hälfte davon an, also die Differenz zum Gesamtmittelwert, zusammen mit der Ausrichtung des Kühlers. Da dessen innerer Aufbau von außen nicht sichtbar ist, beziehen wir uns hierbei auf eine gedachte Achse zwischen Ein- und Auslass, nicht auf die Kühlstruktur.

Der Grund für die ungewohnt großen Unterschiede liegt im neuen Testsystem. Zuvor nutzten wir

Alphacool Core 1: Top Topmodell. Diese Temperaturen können sich sehen lassen, zumindest beim Testsieger. Alphacools Core 1 liegt knapp, aber klar an der Spitze unserer Leistungswertung, obwohl er ebenso klar den höchsten Fließwiderstand aufweist – aber eine absolute Durchschnittstemperatur von 80 °C bei knapp 35 °C Wassertemperatur ist das eben wert und rechtfertigt sogar das dreistellige Preisschild. Verantwortlich für die Kühlleistung ist eine komplett neu entwickelte Bodenplatte (sogar die Kantenlänge unterscheidet sich erstmal vom Ur-Nexxxos), deren noch feinere, zugleich großflächigere Lamellenstruktur jetzt von einer größeren, zweiten Schnittebene gekreuzt wird – Aquacomputers Kryos Next lässt grüßen. An Stelle einer Jetplate lenkt dabei ein Kunststoff-Einsatz das Wasser entlang eines zentralen Schlitzes in die

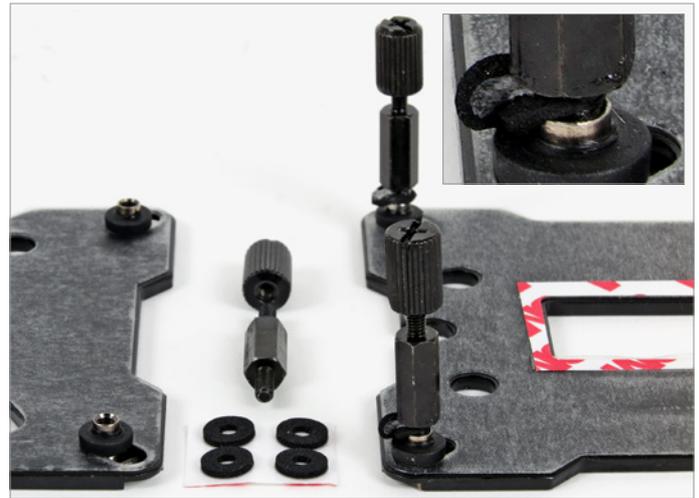
Kühlstruktur – und in der neuesten, von uns getesteten Version sorgt anschließend eine Gummidichtung dafür, dass es auch darin bleibt und keine Abkürzung zum Auslass nehmen kann. Leider kennzeichnet Alphacool diese verbesserten Modelle nicht gegenüber früheren Produktionschargen, die möglicherweise noch im Handel sind – es war purer Zufall, dass PCGH im Rahmen einer Nachlieferung ein optimiertes Exemplar erhalten hat. Das nur für Fotozwecke genutzte Core-1-Aurora-Muster entpuppte sich dagegen als ursprüngliche Release-Fassung ohne Dichtung. Der einzige andere Kritikpunkt, neben dieser fehlenden Kennzeichnung, betrifft die neue Alphacool-Halterung: Um einen Millimeter geänderte Maße machen diese inkompatibel zu den „alten“ Halterahmen der XPX-Vorgänger, die es für dreizehn statt nur für drei Sockel gäbe. Ein noch überflüssigeres Ärgernis sind die Unterlegscheiben zwischen (Intel-)Mainboard und Alphacool-Stehbolzen. Da letztgenannte jetzt ein Sechskantprofil haben, ist eine Unterlage zwingend nötig – ältere Arctic-Produkte, die darauf verzichteten, hinterließen Millimeter breite Kratzer in Platinen. Unerklärlich ist aber, wieso an dieser mechanisch stark beanspruchten Stelle auf Filz gesetzt wird. Bereits bei der ersten Montage deformieren sich die beiliegenden Unterlegscheiben stark, insbesondere auf Asus-Mainboards, mit ihren Sockel-1200-Halterungskompatiblen Langlöchern (z.B. das von uns verwendete Z790 Hero). Zudem obliegt es allein der Kraft des Anwenders, ob das Filzpolster auf 1,2 oder auf 0,2 mm zusammengedrückt wird – was bei der ungefederten Halterung große Unterschiede in der Anpresskraft ergibt.

Aquacomputer Cuplex Kryos Next: Weiterhin Spitzenklasse. Der eben noch Grüßende folgt auf Platz zwei unserer Rangliste und viel mehr gibt es zum Aquacomputer-Teilnehmer auch kaum zu sagen – schließlich haben wir den Kryos Next schon 2016 und 2021 geschildert. Auch 2023 lassen seine eleganten Schwünge den normal großen Kühler zierlich erscheinen, während die Leistung der feinen Bodenplatte auch sieben Jahre nach Erscheinen für Aquacomputers technisches Niveau spricht. Leider ebenfalls unver-

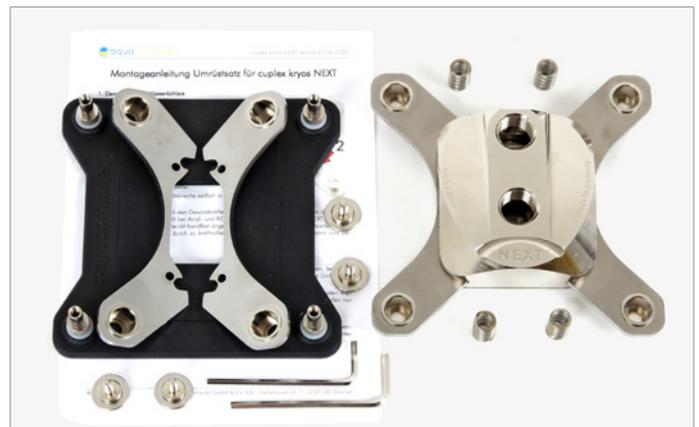
ändert ist der Zwang zur hauseigenen Kühlflüssigkeit laut Garantiebedingungen und die sockelspezifische Halterung. Wer bei Aquacomputer die Plattform wechselt, muss nachkaufen – kann das aber selbst mit dem 2002 erschienenen Cuplex Evo und auf Anfrage sicherlich auch mit dem ein Jahr älteren Erstlingswerk.

Watercool Heaktiller IV Pro: Dauerbrenner Nummer 2. „Ein Jahr älter“ trifft auch auf den Heatkiller IV gegenüber dem Kryos Next zu, dem er sich hiermit zum dritten Mal geschlagen geben muss. Erneut knapp, mit gerade einmal +0,8 Kelvin Rückstand auf Alphacool, aber mit einem klar höheren Fließwiderstand gegenüber Aquacomputer. In der Bewertung macht sich diesmal negativ bemerkbar, dass Watercool dem Kühler zwar mittlerweile ein leicht verändertes Logo spendiert hat, aber die Bodenplatte immer noch ein paar Millimeter zu lang ist. So passt er auf Intel-Mainstream-Plattformen teils nur in einer Ausrichtung. Einen zweiten Montage-„Nachteil“ ist dagegen eigentlich ein Käufervorteil: Als einziger Testteilnehmer wird der Heatkiller IV ohne Backplate geliefert, denn Watercool bietet verschiedene an. Wir wählen das günstigere Standard-Modell dazu und kommen in der Summe nicht teurer als bei Alphacool.

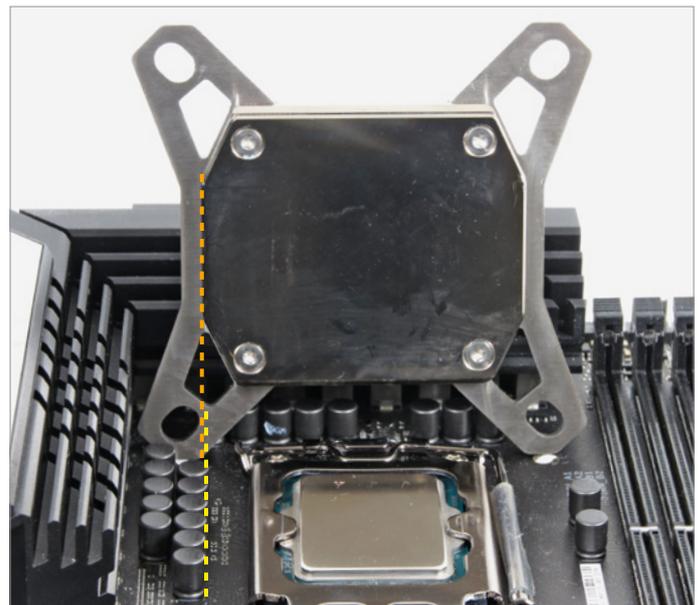
EKWB Pro CPU WB: Auch für zu Hause. ALC, AC, WC – wenn Veteranen die vier wichtigsten Wasserkühlungsmarken auflisten sollen, wird diese Liste meist um EK Water Blocks ergänzt, in unserem Test aber erst an vierter Stelle. Der mit „EK-Pro CPU WB 1700“ mehr beschriebene denn benannte Kühler ist formell für Server gedacht, die Edelstahl-Abdeckung über dem eigentlichen Acetal-Deckel macht aber klar: Auch hier geht es nicht allein um Funktion. Die professionelle Optik ist ebenfalls Styling – und ein erfrischend anderes dazu. Ebenso individuell, respektive bei allen EK-Pro-Modellen sockelspezifisch optimiert, ist die Bodenplatte. Im Falle des LGA1700-Modells sorgt sie allerdings nur für Mittelfeld-Temperaturen, die sich auf 60 l/h gedrosselt noch einmal deutlich verschlechtern. Im Gegenzug haben die zahlreichen Kanäle aber einen genial niedrigen Widerstand, erlauben es also anderen Kühlkörpern im



Mittig sehen Sie Core-1-Mainboard-Schutzunterlegscheiben wie geliefert. Das verknüllte, zerquetschte Etwas rechts ist der Zustand nach einer Montage.



Wasserkühler sind eine langfristige Investition: Ein Testmuster von 2016 und ein Umrüstsatz für 29 Euro ergeben den Zweitplatzierten des Jahres 2023.



Die längliche Heatkiller-IV-Bodenplatte überragt Intels Keep-Out-Zone um wenige Millimeter. Auf einigen Mainboards ist die Montage nur in eine Richtung möglich.



Die Streckung der Bodenplatte des EK-Pro (links; Velocity² zum Vergleich rechts) ist keine Anpassung an den LGA1700; tatsächlich würden 2 CPUs quer darauf passen.



Versteckte Befestigung beim Velocity²: Eine nicht drehbare, aber gefederte Schraube ragt aus dem Kühler durch das Mainboard in eine Rändelmutter in der Backplate.



Im Zentrum des LED-Leuchtrings bietet Corsair ein großes LCD, das Hintergrundbilder, Animationen, eine Temperatur und (via Software) Weiteres anzeigen kann.



1 Cent gespart? Bei Alphacools ursprünglicher XPX-Halterung (rechts) fixierte eine Kontermutter unter der Halterung alle andere Teile und spannte die Feder vor.

gleichen Kreislauf, besser zu arbeiten. Ebenso vorbildlich: Die Halterung ist komplett vormontiert, die sockelspezifische Backplate muss auch nicht angepasst, sondern nur hinter das Mainboard geklebt werden (beim AM5-Pendant entfällt selbst dies) und – fertig. Den Preis rechtfertigt man damit aber nicht.

EKWB Quantum Velocity²: Der Beau.

Auch unser zweiter EK-Water-Blocks-Kandidat liefert Temperaturen im Mittelfeld ab, hat einen niedrigen Fließwiderstand (sowie eine erhöhte Abhängigkeit vom Durchfluss, den dieser ermöglicht) und wird sockelspezifisch verkauft, ohne Nachrüstmöglichkeiten. Das Design zielt aber auf Fans durchgestylter Desktop-Builds mit eindrucksvoller Beleuchtung ab. Das sieht man dem Velocity² nicht nur bei selbigen, geschickt versteckten, ARGB-LEDs an, sondern auch bei der Halterung. Oder besser: Man sieht sie nicht. Der Kühler deckt das meist wenig attraktive Sockel-Umfeld komplett ab und sein aus einem Stück gefräster Plexiglas-Deckel weist weder Schraubenlöcher noch abnehmbare Abdeckungen auf. Wie montiert man diesen Kühler überhaupt? Laut der vorbildlichen Anleitung: „von hinten“. Anstatt Schrauben durch Federn und Halteblech hindurch in Backplate-Gewinde zu drehen, hat EKWB besagte Gewinde auf der Mainboard-Rückseite drehbar gestaltet (mit Rändelrand für die initiale Montage und Innensechskant zum Festziehen), sodass auf der Vorderseite kein Zugang zu den Schrauben mehr nötig ist. Das klingt umständlich, ist abseits der nötigen Arbeit auf beiden Mainboard-Seiten aber recht simpel, da es außer Kühler und Backplate keine losen Halterungsteile gibt. Bei der AM5-Version entfällt sogar

noch die Backplate (beziehungsweise ist Teil des Mainboards), hier werden unsicht- aber drehbare Schrauben auf der Vorderseite von hinten durch die Backplate-Gewinde mit einem feinen Inbus angezogen.

Corsair XC7 RGB Elite LCD: Kein Blender.

Auch Corsair punktet mit einer genial simplen, da größtenteils vormontierten, sonst aber konventionellen AMD-Halterung. Für Intel-Plattformen haben wir dagegen ein Hühnchen zu rupfen. Hier soll eine Backplate verklebt werden – aber wegen großzügiger Vorspannung berühren ihre Klebestellen rund um die Befestigungslöcher das Mainboard überhaupt nicht, können die Backplate also auch nicht halten. Dafür muss man eine zweite Hand nehmen, während die erste den Kühler packt – und eine dritte den Schraubendreher, denn Corsairs elegant-glatte Schrauben lassen sich nur mit Werkzeug bedienen. Sie haben keine drei Hände? Dann brauchen sie entweder eine AMD-Plattform oder einen anderen Kühlerhersteller. Beides erspart ihnen auch die Fehlangebe in der Corsair-Anleitung. Die behauptet, der XC7 wäre zu älteren 115X- respektive 1200-Mainstream-Sockeln kompatibel, dabei unterstützen Halterung und Backplate nur den 1700er-Lochabstand. Solche Angaben findet man nicht im „Kompatibilität“-Reiter der Produktseite, nicht in einer beiliegenden Anleitung (es gibt keine), nicht im „Download“-Bereich (gähnende Leere), sondern beim Support des Herstellers. Der dort als Webseite zu findende „Quick Start“-Leitfaden ist so lang, dass man ihn kaum ausdrucken oder auswendig lernen kann, im Gegenzug aber eine der lückenlosesten Dokumentationen im Test. Zusätzlich werden in be-



ATX-Spezifikationen erlauben 5 mm hohe Objekte auf der Mainboard-Rückseite. Das entspricht ungefähr der Asus-Backplate – Thermaltakes Halterung misst 14,3 mm.

sagtem „Kompatibilität“-Reiter 36 Kühlmittel verschiedener Marken aufgelistet; bis auf wenige Ausnahmen (z.B. Innovatek Protect) eine vollständige Marktübersicht. Nicht nachvollziehbar ist, wieso bekannt-problematische, nur für kurzfristigen Show-Einsatz gedachte Flüssigkeiten wie Mayhems Pastel uneingeschränkt für den XC7 freigegeben werden, das komplette Sortiment von Corsair-Konkurrent Alphacool aber als „inkompatibel“ gebrandmarkt ist. Der XC7 selbst macht einen wesentlich besseren Eindruck. Sein Highlight ist ein integriertes Display, welches entweder via Icue-Software (steuert auch die integrierten aRGB-LEDs) Animationen und Systemparameter ausgibt oder aber Stand-Alone (USB-Anschluss zur Stromversorgung wird benötigt) ein Hintergrundbild und eine Temperatur anzeigt. Subjektive Optik ist unserer objektiven Wertung aber nur einen Mini-Bonus wert und da der Sensor an der Außenkante der Bodenplatte platziert wurde, also näher an Heatspreader und Umgebungsluft denn der zu messenden Wassertemperatur, gibt es auch dafür keine Aufwertung. Als Kühler überzeugt der XC7 dafür umso mehr und liefert die fünfbesten Temperaturen ab, obwohl er den zweitniedrigsten Durchflusswiderstand hat – quasi ein sehr guter Kompromiss aus den Stärken des Heatkiller IV Pro und des EK-Pro. Leider kostet er auch so viel wie zwei Kühler und sieht nicht einmal besonders hochwertig aus: Die Oberfläche seiner Aluminiumverkleidung entspricht exakt dem, was Billig-Plastikprodukte mit gewissem Erfolg nachahmen und was deswegen mittlerweile eher mit Minderdenn mit der von Corsair gebotenen Hochwertigkeit assoziiert wird.

Alphacool Eisblock XPX: Nicht mehr top, aber weiterhin empfehlenswert. Beinahe vier Alphacool XPX würde man für den Preis eines Corsair XC7 bekommen – das ehemalige Spitzenmodell gehört zu den wenigen Hardware-Produkten, die im Laufe der Zeit tatsächlich noch günstiger werden. Zwar war die Optik des Kühlers nie herausragend und auch die Temperaturen haben gelitten – verglichen mit Aquacomputer und Watercool, die früher klar geschlagen wurden, kommt die Kühlstruktur des XPX offen-

sichtlich weniger gut mit modernen Sockel-1700-CPU's zurecht. Aber das Ergebnis ist immer noch guter Durchschnitt und der weiterhin hohe Fließwiderstand verschmerzbar, wenn man den kleinen Preis und die große Flexibilität bedenkt. Zwar wurden die vielfältigen Montagemöglichkeiten schon etwas beschnitten, aber der XPX ist noch immer so multifunktional wie ein IKEA-Inbusschlüssel. Leider ist auch die Dokumentation im Laufe der Zeit angewachsen. So werden für Sockel-1700-Systeme Unterlegscheiben benutzt, die ursprünglich für AM4 beigelegt wurden und deren Tütchen immer noch so beschriftet sind. Aber eigentlich verlassen sich XPX-Käufer auf Beschriftungen, denn beispielsweise die Intel- und AMD-Stehbolzen ließen sich nur anhand der Anleitung nicht auseinanderhalten. Dafür erwähnt letztere für jeden Sockel Kontermuttern, welche nicht nur die zahlreichen losen Teile zusammenhalten würden, sondern auch die Feder so vorspannen, dass die Schrauben ohne Krafteinsatz die Backplate erreichen könnten. Leider wurden diese Muttern eingespart; die Anleitung schickt ihren Leser also auf eine vergebliche Suche, welche an schwedische Möbelhaus-Klischees erinnert.

Thermaltake Pacific MX2 Ultra: Noch ein LCD. Thermaltake hatte offensichtlich die gleiche „wie wäre es mit einem Bildschirm?“-Idee wie Corsair, stellt sich dabei aber stellenweise geschickter an. So vermeidet die Anleitung des MX2, auch wenn



Bei Thermaltake zahlt man 190 Euro für einen Kühler, um dann Muttern selbst aus dem Spritzgussrahmen zu brechen. Immerhin sind die Grate später nicht zu sehen.

sie nur aus einem Falblatt besteht, diverse Fallstricke, die Sockelkompatibilität ist besser und der integrierte Temperaturfühler misst die Temperatur einer beidseitig Wasser umspülten Metallplatte. Auch die, von der Rückseite anzuziehende, Intel-Halterung funktioniert wie gedacht – jedenfalls wenn man ein modernes Gehäuse mit großzügiger Ausparung und Platz hinter dem Sockel hat. Bei sehr flachen ITX-Builds oder alten Gehäusen, deren Mainboard-Tray eins oder mehrere Intel-Befestigungslöcher verdecken, lässt sich der MX2 dagegen gar nicht montieren, da er die ATX-Spezifikationen grob verletzt. AMD-Nutzer müssen währenddessen erst das Halbleuch wechseln und hierzu den Kühler öffnen, was eine Garan-

tie auf dessen Dichtigkeit unmöglich macht. Der eigentliche Einbau ist dann aber sogar recht bequem. Leider führt er allgemein zu keinen überragenden Temperaturen, worüber der recht gute Durchfluss nicht hinwegtäuscht, und für das LCD zahlt man erneut ordentlich drauf.

Bykski CPU-XPR-I-V3: In erster Linie günstig. Der Importeur EZ-Modding.de hat sich viel Mühe gegeben, damit die preislich attraktiven Produkte von Bykski in Deutschland Fuß fassen. So stellt man auch in diesem Test den günstigsten „Optik“-Vertreter mit Beleuchtung. Der XPR-V3 ist kaum teurer als ein Alphacool XPX und sieht, mit seinem schlichten schwarzen Rahmen und dem freien Blick auf die Kup-



Von oben sehen die Kühlbereiche von Bykski und Granzon identisch aus. Tatsächlich hat ersterer aber eine zusätzliche Gummidichtung, letzterer zwei Lamellen extra.

ferstrukturen im Inneren durchaus hübsch aus – zumindest, solange Wasserzusätze das typische Anlaufen des blanken Schwermetalls verhindern. Die Leistung im Mittelfeld, noch vor dem XPX, geht für den geforderten Preis ebenfalls in Ordnung und Byiski war auf dem besten Weg zum Preis-Leistungstipp – bis wir einen Blick in die Anleitung warfen. Oder besser auf die in schlecht lesbarer Größe und Qualität gedruckte Explosionszeichnung eines Kühlers mit vergleichbarer Halterung, der ebenso aus Sockel-1151-Tagen stammt wie das beiliegende Halterungsmaterial.

Granzon GAI0.1: Byiski in teuer. Der Hersteller hinter Byiski möchte auch in höheren Preisklassen mitspielen und hat dafür „Granzon“ geschaffen. Den aufwendig gefräste Aluminiumrahmen des GAI0.1 möchte man eher in die Vitrine denn ins Gehäuse packen. „Eher“ umschließt eine nur scheinbar vom XPR-V3 entlehnte Kühlstruktur. Tatsächlich hat der GAI0.1 zwei Lamellen mehr unter der Jetplate und eine Dichtung weniger, denn der XPR-V3 dichtet seine Kühlstruktur wie der Core 1 sauber ab, während der GAI0.1 auf eine engere Kühlstruktur setzt – was ihn drei Plätze im Temperatur-Ranking kostet. Interessanterweise zeigt er dabei auch reproduzierbar eine um 90° gegenüber Byiski gedrehte Richtungspräferenz, obwohl beide Kühlstrukturen zu klein sind, um von der Lage des Siliziums beeinflusst zu werden. Noch kleiner, nämlich selbst online inexistent, ist die Anleitung, nicht aber das saftige Preisschild. (tv)

Fazit **PCGH**

Die Altmeister meistern weiter
 Nach dem Hype um KoWaKüs steigt auch bei den modularen Wasserkühlungen der Wettbewerb, aber noch haben die alten Manufakturen die Nase vorn – auch wenn EKWB wegen des Fokus auf Highflow keine Top-Temperaturen bietet. Dabei beweisen Aquacomputer und Watercool, dass die Fortschritte im Markt eigentlich winzig und somit leicht einholbar sind, zumal Thermaltake selbst zu den Oer-Jahren-Pionieren gehört. Aber Perfektion erreicht man nur mit viel Liebe zum Detail.

CPU-Wasserkühler		Auszug aus Testtabelle mit 60 Wertungskriterien	
Produkt	Core 1	Cuplex Kryos Next	
Hersteller	Alphacool (www.alphacool.de)	Aquacomputer (www.aquacomputer.de)	
Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis	Ca. € 110,-/Note 2-	Ca. € 120,-/Note 3	
Link zum PCGH-Preisvergleich	www.pcgh.de/preis/2974285	www.pcgh.de/preis/2675588	
Getestete Ausführung	Weiß	Nickel/Nickel	
Alternative Ausführungen	Deckel vernickelt oder schwarz. "Core 1 Aurora" (in schwarz oder weiß) zusätzlich mit RGB-Beleuchtung	32 Kombinationen aus Bodenplatte Kupfer, Kupfer vernickelt oder Edtsilber mit unbeleuchtetem Deckel Acetal schwarz, Messing vernickelt, Messing PVD beschichtet (dunkel glänzend), Kupfer versiegelt oder mit Deckel RGB-beleuchtet Acryl oder Acetal Weiß mit Einfassung in Aluminium schwarz oder silber. Optional Display und Temperaturfühler ("Vision") oder/und verstellbarer Bodenplatte ("Vario").	
Ausstattung (20%)	1,99	1,48	
Zubehör/Extras	Spritze Wärmeleitpaste (Alphacool Apex)	Inbusschlüssel für Montage; Spritze Wärmeleitpaste (Thermal Grizzly Kryonaut)	
Dokumentation	Gut, vollständig bebildert, Deutsch	Gut, teilweise bebildert, Deutsch	
Abstand Anschlüsse	26,2 mm	28,0 mm	
Maximale Gewindelänge	9,0 mm	10,0 mm	
Material Deckel & Boden & sonstige/ohne Wasserkontakt	Messing (vernickelt), POM + Gummi (Jetplate) & Kupfer (vernickelt) & Stahl (schwarz lackiert)	Messing (vernickelt) & Kupfer (vernickelt) & Edelstahl	
Eigenschaften (20%)	2,30	3,55	
Sockelunterstützung AMD	AM5/AM4	-	
Sockelunterstützung Intel	1700	1700	
Auch verfügbar für	-	AM4/AM5, AM4/AM5 versetzt, 115X/1200, 20XX, AM3/FM2	
Maße (B x H x T) und Gewicht	70 x 26,5 x 70 mm; 520 g	59 x 20,4 x 54 mm; 393 g	
Montageaufwand (AM5/1700)	Mittel/Mittel	Gering/Gering	
Platinenausbau nötig (AM5/1700)	Nein/ja	Nein/ja	
Gedrehte Montage möglich (AM5/1700)	Ja/ja	Nein/ja	
Anpresskraft	Grob durch Halterung vorgegeben	Durch Halterung vorgegeben	
Angabe Kühlmedium	"Klare, transparente Wasserkühlflüssigkeiten"	Vorgeschrieben: Aquacomputer Double Protect Ultra	
Leistung (60%)	1,69	1,71	
Differenztemperatur	45,5 Kelvin (P-Cores 47,2 K; E-Cores 41,4 K)	45,8 Kelvin (P-Cores 47,8 K; E-Cores 41,3 K)	
Vorzugsorientierung (Anschlussausrichtung)	Keine	Parallel zu RAM (-0,1 Kelvin)	
Durchfluss*	125 l/h	135 l/h	
Druckabfall @60 l/h	35,8 mbar	27,1 mbar	
Temperatur @60 l/h	+1,6 Kelvin	+1,4 Kelvin	
	⬢ Beste Kühlleistung; fairer Preis ⬢ 1-Weg-Unterlegscheiben	⬢ Sehr gute Leistung ⬢ Sockelspezifisch; Medium vorgeschrieben	
FAZIT	Wertung: 1,88	Wertung: 2,03	

*Komplettes System inklusive Sensoren und HTSF2 360

<h1>CPU-Wasserkühler</h1> <p>Auszug aus Testtabelle mit 60 Wertungskriterien</p>				
Produkt	Heatkiller IV Pro + Backplate	Pro CPU WB LGA 1700	Quantum Velocity ²	XC7 RGB Elite LCD
Hersteller	Watercool (www.watercool.de)	EK Water Blocks (www.ekwb.com)	EK Water Blocks (www.ekwb.com)	Corsair (www.corsair.com)
Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis	Ca. € 110,-/Note 3	Ca. € 170,-/Note 5+	Ca. € 140,-/Note 4+	Ca. € 210,-/Note 6
Link zum PCGH-Preisvergleich	/preis/2712691 + /2673561	www.pcgh.de/preis/4427663968	www.pcgh.de/preis/2624702	www.pcgh.de/preis/3013328
Getestete Ausführung	Vernickelt	– (Standard)	D-RGB Nickel Plexi	"stealth gray"
Alternative Ausführungen	Deckel Kupfer blank, schwarzes Acetal, Plexiglas oder Plexiglas ohne Edelstahl Inlay. Alle Intel-Mainstream-Varianten ab Werk mit einfacher Schraubenhalterung. Die im Test genutzte einfache Backplate kann/muss separat erworben werden, alternativ gibt es eine Heavy-Ausführung, die auch die Sockel-eigene ILM-Backplate ersetzt.	– (Version mit Aluminium-Bodenplatte für OEM-Kunden auf Anfrage)	Acetal-Teil des Deckels in weiß oder mit schwarzem Acetal und restlicher Deckel Messing poliert vernickelt, Messing satiniert vernickelt, Messing poliert vergoldet, Acetal schwarz oder Acetal mit Nussbaum-Echtholz-Verkleidung.	Ohne LCD; weiß mit LCD
Ausstattung (20%)	2,70	1,69	1,39	2,54
Zubehör/Extras	–	Inbusschlüssel für Montage und Wartung, Spritze Wärmeleitpaste (Thermal Grizzly Hydronaut)	ARGB-Beleuchtung (14 verdeckte LEDs), Inbusschlüssel für Montage und Wartung, Spritze Wärmeleitpaste (Thermal Grizzly Hydronaut)	2,1-Zoll-LC-Display (480 × 480, USB) mit Temperatursensor, ARGB-Beleuchtung (30 verdeckte LEDs), Wärmeleitpaste vorausgetragen (Corsair XTM70)
Dokumentation	Gut, vollständig bebildert, Deutsch, nur online	Gut, vollständig bebildert, Englisch, nur online	Sehr gut, vollständig bebildert, Englisch, nur online	Stellenweise irreführend, sonst sehr gut. Englisch, nur als Website
Abstand Anschlüsse	25,3 mm	28,2 mm	28,2 mm	27,0 mm
Maximale Gewindelänge	7,5 mm	9,1 mm	9,0 mm	10,4 mm
Material Deckel & Boden & sonstige/ohne Wasserkontakt	Messing (vernickelt) & Kupfer (vernickelt) & Edelstahl (geschliffen oder poliert)	Acetal, Edelstahl (Jetplate) & Kupfer (vernickelt) & Edelstahl	Plexiglas, Edelstahl (Jetplate) & Kupfer (vernickelt) & Acetal (schwarz)	Nylon & Kupfer (vernickelt) & Stahl (dunkel vernickelt), Aluminium (grau eloxiert), Display-Elektronik
Eigenschaften (20%)	2,70	2,90	3,25	2,75
Sockelunterstützung AMD	–	–	–	AM5/AM4
Sockelunterstützung Intel	1700/1200/1151/1150/1155/1156	1700	1700	1700
Auch verfügbar für	AM4/AM5, 20XX. Nachrüsthaltungen für TX4/TR4/TR3	AM5 (Aufbau leicht abweichend)	LGA1200, LGA1700 Direct Die, AM4, AM5	–
Maße (B × H × T) und Gewicht	60 × 17,2 × 66 mm; 439 g	67 × 27,4 × 87 mm; 409 g	95 × 26,1 × 95 mm; 437 g	87 × 35,4 × 79 mm; 265 g
Montageaufwand (AM5/1700)	Mittel/mittel	Minimal/gering, Backplate verklebt	Mittel/mittel	Minimal/hoch
Platinenausbau nötig (AM5/1700)	Nein/ja	Nein/ja	Ja/ja	Nein/ja
Gedrehte Montage möglich (AM5/1700)	Nein/nein	Nein/ja	Nein/ja	Nein/ja
Anpresskraft	Durch Halterung vorgegeben	Durch Halterung vorgegeben	Durch Halterung vorgegeben	Durch Halterung vorgegeben
Angabe Kühlmedium	Empfehlung: Destilliertes Wasser mit Korrosionsschutz (z.B. Mayhems, Innovatek oder Aquacomputer)	Korrosionsschutz vorgeschrieben	Korrosionsschutz vorgeschrieben	Begrenzte Auswahl von Kühlflüssigkeiten vorgeschrieben
Leistung (60%)	1,83	2,16	2,16	1,99
Differenztemperatur	46,2 Kelvin (P-Cores 48,0 K; E-Cores 41,8 K)	48,5 Kelvin (P-Cores 50,3 K; E-Cores 44,2 K)	48,2 Kelvin (P-Cores 50,0 K; E-Cores 43,9 K)	47,6 Kelvin (P-Cores 49,6 K; E-Cores 42,8 K)
Vorzugsorientierung (Anschlussausrichtung)	Passt nur parallel zu RAM	Parallel zu GPU (-0,6 Kelvin)	Parallel zu GPU (-0,1 Kelvin)	Parallel zu GPU (-0,2 Kelvin)
Durchfluss*	132 l/h	143 l/h	136 l/h	141 l/h
Druckabfall @60 l/h	33,6 mbar	17,6 mbar	25,3 mbar	18,9 mbar
Temperatur @60 l/h	+1,3 Kelvin	+3,2 Kelvin	+2,7 Kelvin	+2,1 Kelvin
FAZIT	<p>➔ Sehr gute Kühlleistung ➔ Passtprobleme; Backplate extra</p> <p>Wertung: 2,18</p>	<p>➔ Montage einfach; niedrigster Widerstand ➔ Sockelspezifisch</p> <p>Wertung: 2,21</p>	<p>➔ Design/Beleuchtung; rel. niedriger Widerstand ➔ Relativ teuer</p> <p>Wertung: 2,23</p>	<p>➔ Gute Kühlleistung; niedriger Widerstand; LCD ➔ Sehr teuer</p> <p>Wertung: 2,25</p>

*Komplettes System inklusive Sensoren und HTSF2_360

CPU-Wasserkühler

Auszug aus Testtabelle mit 60 Wertungskriterien



Produkt	Eisblock XPX	Pacific MX2 Ultra	CPU-XPR-I-V3	GAI0.1
Hersteller	Alphacool (www.alphacool.de)	Thermaltake (www.thermaltake.de)	Bykski (www.bykski.de)	Granzon (www.granzon.com/)
Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis	Ca. € 55,-/Note 2+	Ca. € 190,-/Note 6	Ca. € 60,-/Note 2	Ca. € 150,-/Note 5-
Link zum PCGH-Preisvergleich	www.pcgh.de/preis/1541750	www.pcgh.de/preis/2847711	Nicht gelistet	Nicht gelistet
Getestete Ausführung	Schwarz	- (Standard)	- (Standard)	Silber
Alternative Ausführungen	Deckel Acryl satiniert oder poliert klar. "XPX Aurora" breiter, mit RGB-Beleuchtung, Acryl plus Zierrahmen aus Kunststoff oder Acryl plus Metall ("Edge") oder Vollmetall ("Edge Full Brass"), jeweils in schwarz oder verchromt. "1U" mit flacherem Acetal-Deckel und abweichenden Anschlussmöglichkeiten. Andere Farben und Formen z.T. als Altbestand mit abweichender Halterung & Anleitung.	- (Pacific W8, W9 und SW1 Plus ähnlicher, aber nicht identischer Wasserführung und Bodenplatte)	- (AMD-Version: XPR-M-V3)	Schwarz (AMD-Version: GAM0.1)
Ausstattung (20%)	2,06	1,49	2,75	3,12
Zubehör/Extras	Spritze Wärmeleitpaste; Logo blau beleuchtet	2,1-Zoll-LC-Display (480 × 480, USB) mit Wassertempersensor; Spritze Wärmeleitpaste	ARGB-Beleuchtung (12 LEDs)	ARGB-Beleuchtung (12 halb verdeckte LEDs), Spritze Wärmeleitpaste (Bykski B-SGI 3-X)
Dokumentation	Stellenweise irreführend, sonst gut, vollständig bebildert, Deutsch	Sehr gut, vollständig bebildert, Englisch	Schaubild für 115X/1200, von anderem Kühler	Gar keine
Abstand Anschlüsse	37,5 mm	28,0 mm (+37,8 mm Verkleidung)	33,6 mm	33,6 mm
Maximale Gewindelänge	>11 mm	12,4 mm	6,4 mm	6,4 mm
Material Deckel & Boden & sonstige/ohne Wasserkontakt	Nylon & Kupfer (vernickelt) & Aluminium (schwarz eloxiert), Stahl (schwarz lackiert)	Acryl, Messing (Midplate, vernickelt) & Kupfer (vernickelt) & Stahl (schwarz lackiert), ABS (schwarz), Display-Elektronik	Acryl, Edelstahl + Gummi (Jetplate) & Kupfer & Aluminium (schwarz eloxiert)	Acryl, Edelstahl (Jetplate) & Kupfer & Aluminium (poliert. Auch für Halterungsschrauben)
Eigenschaften (20%)	2,20	2,35	3,20	3,45
Sockelunterstützung AMD	AM5/AM4	AM5/AM4	-	-
Sockelunterstützung Intel	1700/1200/1151/1150/1155/1156/2066/2011-v3/2011/775	1700/1200/1151/1150/1155/1156	1700/1200/1151/1150/1155/1156/2066/2011-v3/2011	1700/1200/1151/1150/1155/1156/2066/2011-v3/2011
Auch verfügbar für	- (Nachrüsthalterungen für 2011-v3 narrow und TRX4/TR4/SP3 verfügbar, 1366 mit aktuell beiliegender Backplate möglich)	-	AM4/AM5	AM3/AM4/AM5
Maße (B × H × T) und Gewicht	66 × 32 × 66 mm; 199 g	92 × 45,7 × 92 mm; 413 g. Hinter Mainboard 14,5 mm Überstand.	70 × 19 × 70 mm; 160 g	78 × 19 × 79 mm; 173 g
Montageaufwand (AM5/1700)	Mittel/hoch, Backplate verklebt	Hoch/gering	Mittel/mittel, Backplate verklebt	Mittel/hoch, Backplate verklebt
Platinenausbau nötig (AM5/1700)	Nein/ja	Nein/ja	Nein/ja	Nein/ja
Gedrehte Montage möglich (AM5/1700)	Ja/ja	Nein/ja	Ja/ja	Nein/ja
Anpresskraft	Durch Halterung vorgegeben	Durch Halterung vorgegeben	Durch Halterung vorgegeben	Durch Halterung vorgegeben
Angabe Kühlmedium	Klare, transparente Wasserkühlflüssigkeiten	Thermaltake-Kühlflüssigkeit empfohlen	Keine Angabe	Keine Angabe
Leistung (60%)	2,53	2,89	2,25	2,40
Differenztemperatur	49,3 Kelvin (P-Cores 51,5 K; E-Cores 44,3 K)	51,3 Kelvin (P-Cores 53,2 K; E-Cores 46,8 K)	48,1 Kelvin (P-Cores 50,4 K; E-Cores 42,7 K)	48,7 Kelvin (P-Cores 50,8 K; E-Cores 44,0 K)
Vorzugsorientierung (Anschlussausrichtung)	Parallel zu RAM (-1,7 Kelvin)	Parallel zu RAM (-1,4 Kelvin)	Parallel zu GPU (-1,3 Kelvin)	Parallel zu RAM (-0,9 Kelvin)
Durchfluss*	130 l/h	134 l/h	129 l/h	129 l/h
Druckabfall @60 l/h	32,2 mbar	26,4 mbar	32,7 mbar	34,8 mbar
Temperatur @60 l/h	+0,5 Kelvin	+1,3 Kelvin	+0,9 Kelvin	+1,0 Kelvin
FAZIT	⬆️ Günstig; Sockelunterstützung ⬆️ Umständliche Montage	⬆️ LCD ⬆️ Mäßige Leistung; Verletzt ATX-Spezifikationen	⬆️ Relativ günstig; Beleuchtung ⬆️ Schlechte Dokumentation	⬆️ Design ⬆️ Teuer; keine Dokumentation
	Wertung: 2,37	Wertung: 2,50	Wertung: 2,54	Wertung: 2,76

*Komplettes System inklusive Sensoren und HFSZ 360

JETZT NEU

PCGH-Sonderheft 02/2023
jetzt am Kiosk für nur € 8,99.
Im Webshop erhalten Abonnenten
das Heft sogar versandkostenfrei.
Erhältlich auch als Digitalversion
(PDF oder App) für nur € 7,99.

www.pcgh.de/sohe

ANZEIGE

SONDERHEFT Hardware **Praxisguide: Grafikkarten-treiber perfekt einstellen**

Die Treiber für Radeon und Geforce bieten unzählige Optionen. Mit unserer Übersicht wissen Sie ganz genau, was welcher Schalter tut.



Hardware **PCGH** PC Games Hardware

CPU und GPU perfekt abgestimmt

50 Seiten Profi-Praxis-Tipps

Gaming-PC fit für 2024

Kaufberatung für jeden Geldbeutel

Grafikkarten, Prozessoren und Monitore



PLUS: 10 PC-Bauvorschläge



Versteckte Reserven freilegen
Tuning für Ryzen, Intel und Grafikkarten

€ 8,99
Ausgabe 02/2023
Österreich € 8,99 | Schweiz sfr. 14,90 |
Slovak € 10,00 | Italien Spentini € 11,00

4 195756 808997 02

QR-Code scannen
und hinsurfen!



Jetzt am Kiosk erhältlich oder einfach
online bestellen unter: www.pcgh.de/sohe



Cool bleiben!

Aktuelle CPUs können wahre Elektroheizungen sein. Wem eine Kompaktwasserkühlung zu laut ist, der kann auf eine Ladung an neuen Hochleistungs-Luftkühlern setzen, die so mancher AiO das Wasser abgraben.

Trotz der stetig steigenden Leistungsaufnahmen neuer Prozessoren, und dem damit einhergehenden Boom von Kompaktwasserkühlern, halten einige High-End-Luftkühler gegen. Denn All-in-One-Kühler (AiOs) bringen auch Nachteile mit sich. Allen voran gibt es zahlreiche Modelle, die laute Pumpen verwenden, die dem Silent-Anspruch schnell einen

Strich durch die Rechnung machen können. Dazu kommt eine erhöhte Ausfallwahrscheinlichkeit durch etwa mögliche Luftblasen oder Korrosion. Trotzdem wird oft aufgrund der Leistungsfähigkeit zu einer AiO gegriffen, dabei können Luftkühler im High-End-Bereich eine leistungsstarke Alternative sein – ganz ohne die typischen Schwachstellen einer Wasserkühlung.

Das Testfeld

In unseren Test haben sich vorwiegend High-End-Kühler eingefunden. Es handelt sich meist um das Top-Modell der jeweiligen Marke. Bis auf einen Single-Tower-Kühler von Arctic, besteht das Testfeld aus Dual-Tower-Kühlern. Diese wiederum spalten sich auf in Modelle mit zwei 140-mm-, bzw. 135-mm-Lüftern, zwei 120-mm-Lüftern und

Hybriden, die eine Kombination aus beiden Lüftergrößen beinhalten. Ausnahme ist hier Jonsbo, die einen Kühler mit drei Lüftern ins Rennen schicken. Preislich bewegen sich die High-End-Kühler zwischen 40 und 110 Euro. Mit angegebenen TDPs von um die 250 bis 280 Watt sind diese Kühler selbst für die stärksten CPUs auf dem Markt, zumindest auf dem Papier, geeignet.



Das Testsystem

Unser Tower-Kühler-Testsystem besteht aus einem Tachyon-Z690-Mainboard von Gigabyte, auf dem ein Intel Core i9-12900K sitzt. Beim Arbeitsspeicher handelt es sich um DDR5-RAM mit Standard-Geschwindigkeit, da es beim System lediglich darum geht, mit der CPU eine festgelegte Abwärme zu produzieren. Das System ist auf einem offenen, vertikalen Benchtable montiert. Der Hintergrund der Entscheidung, das System vertikal aufzubauen, liegt in der Konvektion, also dem natürlichen Verhalten warmer Luft aufzusteigen. Wer einen normalen Tower-Kühler betrachtet, dem wird aufgefallen sein, dass die Kühlrippen parallel zum Mainboard verlaufen. Liegt das Mainboard, liegen auch die Kühl-

lamellen, was eine gesteigerte Kühlung, die durch Konvektion im Vertikalen entstehen kann, verhindert. Der Testaufbau soll einem normalen vertikalen Aufbau in einem Gehäuse so nahe wie möglich kommen.

Der Kompromiss

Ein Kühler muss die Abwärme der CPU abführen und diese unter ihrem Temperaturlimit halten, um Überhitzung und Leistungsrosselung zu verhindern. Dabei haben verschiedene CPU-Modelle eine unterschiedlich hohe Abwärme. Top-Modelle von Intel etwa erreichen gar eine sehr hohe Abwärme von über 250 Watt, während sparsame AMD-Vertreter teilweise nur um die 65 Watt abgeben. Luftkühler haben demnach bestimmte Einsatzgebiete. Handelt es sich um

Folgende Produkte finden Sie im Test

- Cooler Master MA824
- Be Quiet Dark Rock Elite
- Noctua NH-D15
- Deepcool Assassin IV
- Be Quiet Dark Rock Pro 5
- Jonsbo HX7280
- Montech Metal DT 24 Pr.
- Arctic 34 Esports Duo
- Alpenföhn Brocken 4 Max

einen High-End-Kühler, sind folglich vor allem Prozessoren mit hoher Abwärme das Einsatzgebiet. Günstige, kompakte Kühler eignen sich dagegen für sparsamere Prozessoren. Unsere Testmethodik soll eine möglichst große Menge unterschiedlicher Kühlervarianten erfassen und deren Leistung vergleichbar darstellen können. Obwohl es durchaus

angebracht wäre, Hochleistungskühler mit CPUs jenseits der 200 Watt zu testen, würde der Prozessor bei schwächeren Kühlern ins Temperaturlimit laufen. Man würde im Test keine Werte mehr erhalten, geschweige denn einen Vergleich zwischen High- und Low-End-Kühlern ziehen können. Die Abwärme, bei der unsere Kühler getestet werden,



Als Wärmeleitpaste kommt Arctics MX-6 zum Einsatz. Wir tragen die Paste gleichmäßig auf, um für jeden Kühler die gleichen Bedingungen zu schaffen.

stellt daher ein Kompromiss zur Vergleichbarkeit dar. Bei 150 Watt schaffen schwächere Kühler noch immer, die CPU unter dem Temperaturlimit zu halten, und starke Kühler werden immer noch gefordert, weswegen wir uns für diesen Wert entschieden haben. Im BIOS wurden als Powerlimit somit die gewünschten 150 Watt festgelegt.

im Hundertstel-Bereich die Ausgangsspannung regulieren – was auch notwendig ist, da das NC10-Messgerät Lautheitswerte jenseits der 0,1 Sone unterscheiden kann. Wir haben uns für sechs Werte entschieden, bei denen sich der Kühler je einem Leistungstest unterziehen muss.

Testmethodik

Die Grundlage der Lüftertests bildet eine Lautheitsnormierung. Die Leistung der Kühler wird nun nicht mehr mit festgelegten prozentualen Lüfterdrehzahlen gemessen, sondern mit festgelegten Lautheitswerten. Im 50-cm-Abstand über der Achse des vorderen Lüfters wird unser Cortex NC10-Messgerät positioniert, um den entstehenden Sone-Wert während des Betriebs zu erfassen. Für die Lautheitsnormierung werden die Lüfter des zu testenden Kühlers mithilfe unseres Labornetzteils so lange eingestellt, bis ein festgelegter Lautheitswert erreicht ist. Das Labornetzteil arbeitet dabei sehr genau und kann

- 0,2 Sone
- 0,3 Sone
- 0,5 Sone
- 1,0 Sone
- 2,0 Sone
- Volllast

Werte von 0,2 bis 0,3 Sone sollen dabei den Silent-Bereich repräsentieren, die Messung bei 0,5 Sone wiederum den normalen Betrieb darstellen. Bei 1,0 und 2,0 Sone gehen wir von einem Szenario aus, bei dem der Rechner unter Spiele- oder hoher Prozessorlast arbeitet. Die Bewertung der Volllast soll zeigen, wieviel mit dem jeweiligen Kühler möglich ist, auch wenn hier kein Bezug zur entstehenden Geräuschkulisse mehr hergestellt wird.

Maximale Kühlleistung

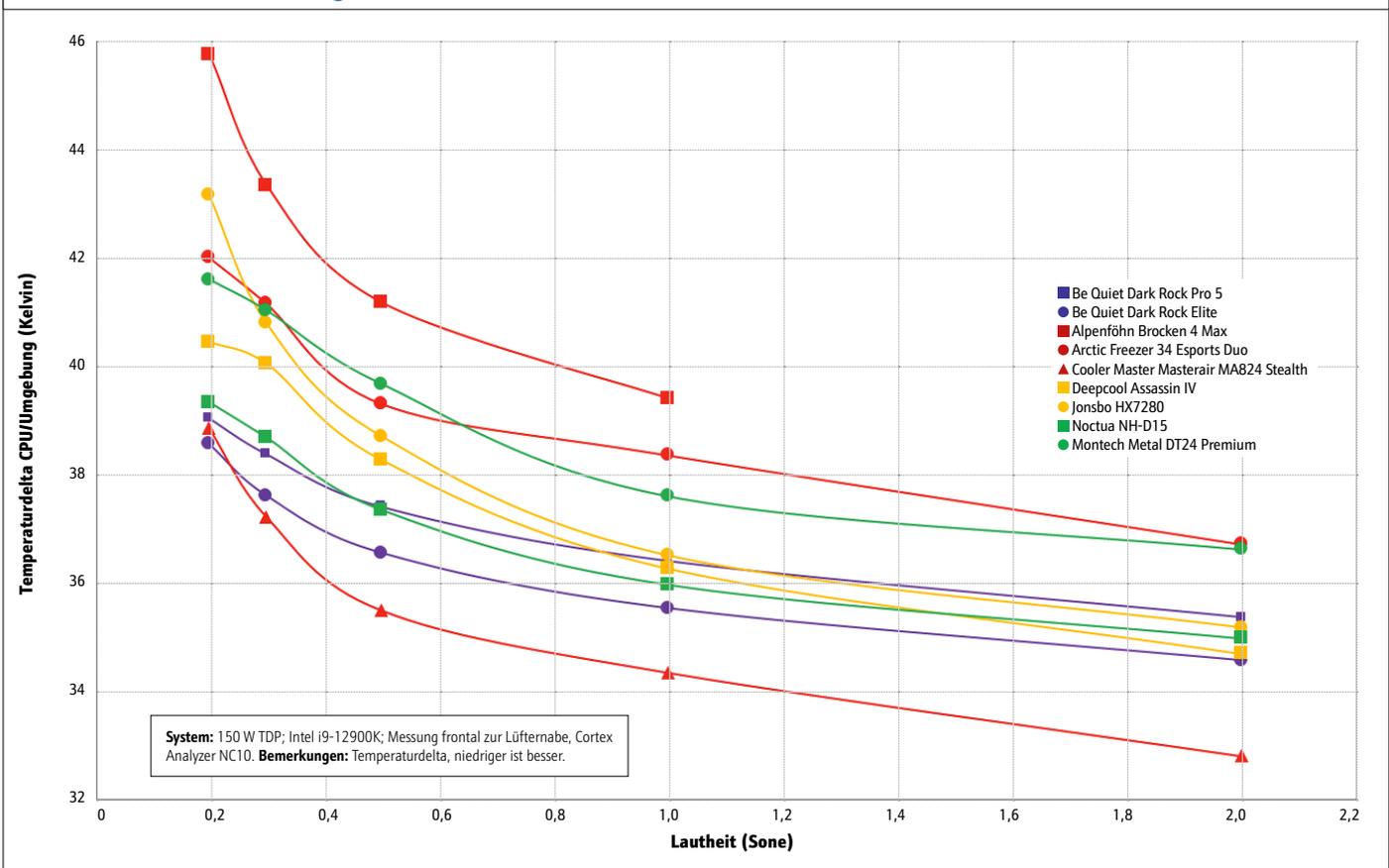
Temperaturdifferenz bei Volllast

Cooler Master Masterair MA824	32,52 (Basis)
Jonsbo HX7280	33,05 (+2 %)
Deepcool Assassin IV	33,18 (+2 %)
Be Quiet Dark Rock Elite	34,23 (+5 %)
Noctua NH-D15	34,28 (+5 %)
Be Quiet Dark Rock Pro 5	35,11 (+8 %)
Montech Metal DT24 Premium	35,46 (+9 %)
Arctic Freezer 34 Esports Duo	35,49 (+9 %)
Alpenföhn Brocken 4 Max	37,87 (+16 %)

System: 150 W TDP; Intel i9-12900K; Messung frontal zur Lüfternabe, Cortex Analyzer NC10. **Bemerkungen:** Temperaturdelta, niedriger ist besser.

Kelvin
▲ Besser

CPU-Kühler: Kühlleistung und Lautheit in der Übersicht



System: 150 W TDP; Intel i9-12900K; Messung frontal zur Lüfternabe, Cortex Analyzer NC10. **Bemerkungen:** Temperaturdelta, niedriger ist besser.

Cooler Master Masterair MA824 Stealth: Super Lüfter, super Leistung

In unserem vorherigen Lüftertest konnte man schon sehen, wie leistungsfähig die Mobius-Lüfter aus dem Hause Cooler Master sind. Kombiniert mit einem Dual-Tower-Kühler ist der MA824 Stealth ein vielversprechender Kandidat in unserem Kühlerstest.

Das Doppel-Tower-Konzept des MA824 Stealth zählt zu den wichtigsten im Testfeld. Ganze acht Heatpipes verbinden die schwarz beschichteten Aluminium-Lamellen mit der vernickelten Kupferbodenplatte. Die Montage gestaltet sich einfach und durch die Sonderkonstruktion, bei der die beiden Befestigungsschrauben durch den Kühlkörper geführt wurden, ist auch keine Demontage der Lüfter notwendig, um das Modell korrekt zu installieren. Um den Kühlkörper mit Frischluft zu versorgen, wurden sehr hochwertige Mobius-Lüfter verwendet, die ihre Leistung schon in unserem Lüftertest beweisen konnten. Design, Heatpipes und sehr gute Lüfter bringen dem MA824 Stealth schließlich den Sieg in diesem Test. Die erreichten Temperaturdeltas sind sehr niedrig und unterbieten die der Konkurrenz um längen. Mit einem Preis von ca. 110 Euro ist das Modell zwar eines der teuersten im Feld, aber eben auch das beste.



Be Quiet Dark Rock Elite: Das neue Flaggschiff?

Das neue Luftkühler-Flaggschiff im Be-Quiet-Portfolio hört zukünftig auf den Namen Dark Rock Elite. Ein Dual-Tower-Design bestückt mit zwei 135-mm-Lüftern soll die Konkurrenz in die Schranken weisen.

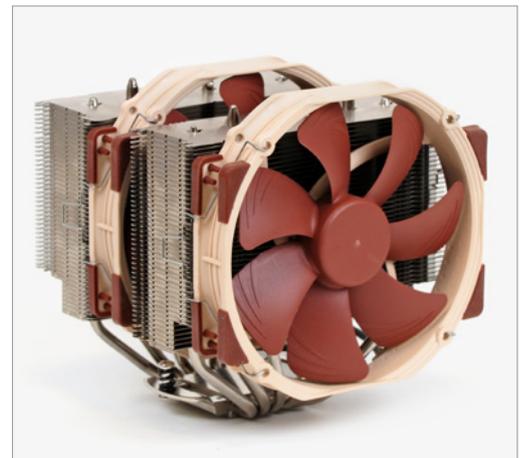
Das Gelingt auch – zumindest bei einem großen Teil des Testfeldes. Der Elite ist stark, muss aber den ersten Platz an den Cooler-Master-Konkurrenten abgeben. Der Kühler ist schön verarbeitet, schick designt und sinnvoll konstruiert. Mittels Schalter unter der Abdeckung, lassen sich die beiden Silent-Wings-Lüfter noch einmal drosseln. Der vordere Lüfter kann nach oben geschoben werden, um Platz für hohe RAM-Riegel zu schaffen. Beide Lüfter sind jedoch proprietär und lassen sich über Be Quiets Ersatzteile-Shop zum Redaktionsschluss auch nicht nachkaufen. Leistungstechnisch kann der Dark Rock Elite überzeugen. Die verbauten Lüfter sind leise und bescheren dem Kühler in der 0,2-Sone-Wertung sogar die Bestnote. Mit aufsteigender Lautheit gewinnt die Konkurrenz jedoch an Leistung. In der Leistungsgesamtwertung muss sich der Dark Rock Elite mit dem zweiten Platz zufrieden geben. Der Preis von ca. 110 Euro ist hoch, der Kühler liefert aber auch eine sehr gute Leistung.



Noctua NH-D15: Der Altmeister

Seit nun schon längerer Zeit liefert Noctua mit dem NH-D15 einen Referenzkühler im Bereich High End, ausgestattet mit leisen Lüftern und einem starken Kühlkörper.

Schon immer stehen die ikonisch großen Lüfter (siehe Bild rechts) für den Hochleistungskühler von Noctua. Bei den beiden enthaltenen Lüftern handelt es sich um Gebläse mit 140-mm-Durchmesser. Entsprechend leise und effektiv bewegen die Rotoren Luft durch den blank gehaltenen Kühlkörper. Über sechs Heatpipes ist der Kühlkörper mit dem vernickelten Kupferboden verbunden. Die Montage ist, wie von Noctua gewohnt, durchdacht und die Lüfter werden über klassische Klammern am Kühlkörper montiert. Wem das beige-braune Design zu exotisch anmutet, kann auch zur komplett schwarzen Chromax-Variante greifen. Bei der Kühlleistung kann der NH-D15 überzeugen. Die sehr niedrigen Temperaturdeltas zeigen, wie leistungsfähig der Klassiker auch 2023 noch ist. Mit einer Leistungsnote von 1,34 ordnet sich der Kühler auf dem dritten Platz ein, direkt hinter dem MA824 Stealth von Cooler Master und dem Dark Rock Elite von Be Quiet. Der Preis von ca. 110 Euro ist zwar happig, die Kühlleistung jedoch auch.



Deepcool Assassin IV: Leistungsstarkes Designerstück

Mit einem außergewöhnlichen Design fällt der Deepcool Assassin IV sofort ins Auge. Der kubische Kühler hat nicht nur an der Vorderseite keinen Lüfter, am Heck befindet sich auch ein Reversed-Lüfter. Ob das Konzept aufgeht, zeigt unser Test.

Der Assassin IV von Deepcool ist wohl der vermutlich eleganteste und optisch herausstechenste Kühler in diesem Vergleichstest. Schlichtes Quadrat-Design und eine fantastische Verarbeitung hinterlassen einen sehr positiven Ersteindruck. Im Kühler verbaut findet man zwei Lüfter. Einen 120-mm- und einen 135-mm-Lüfter. Während das größere Modell im Inneren versteckt ist, befindet sich der kleinere Lüfter am Heck und hat eine Pull-Lüfterblatt-Ausrichtung. Das Lüfterdesign ist dem von uns als gut befundenem FK120 Lüfter ähnlich und hat eine deutliche Auslegung auf statischen Druck, was sich auch in unserem Test bestätigen konnte. Im Hinblick auf diesen Faktor macht die hohe Lamellendichte von 12 FPI (Fins per Inch) durchaus Sinn. Das Konzept geht weitgehend auf. Die Temperaturdeltas sind, vor allem bei höheren Drehzahlen, niedrig und der Assassin IV holt sich den verdienten vierten Platz in unserer Wertung.



Be Quiet Dark Rock Pro 5: Der „kleine“ Bruder

Der Be Quiet Dark Rock Pro 5 ist nun nicht mehr das Top-Modell, sondern der kleine Bruder des Elite – ebenfalls ein Dual-Tower-Kühler, der auch mit einer guten Leistung im Test überzeugen kann.

Der Pro 5 teilt sich mit dem Elite-Modell denselben Dual-Tower-Kühlkörper. Lüfterbestückung sowie Kühlerabdeckungen machen hier den Unterschied. Während das Elite-Modell über zwei 135-mm-Lüfter verfügt, wurde dem Pro 5 an der Front lediglich ein 120-mm-Lüfter spendiert, der jedoch durch seine Klammer-Befestigung gegen ein beliebiges anderes Modell ausgetauscht werden könnte. Die Abdeckung an der Oberseite kommt, im Gegensatz zur Elite-Version, ohne ARGB-Beleuchtung aus. Handhabung und Montage hingegen sind wie beim großen Bruder. Leistungstechnisch positioniert sich der Dark Rock Pro 5 oben im Testfeld, auch wenn er (logischerweise) dem zehn Euro teureren Elite etwas unterlegen ist. Die durch den kleineren Lüfter erzeugten Differenzen sind messbar. Mit der Leistungsnote 1,38 handelt es sich aber auch beim „kleinen“ Dark Rock um einen guten High-End-Kühler.



Jonsbo HX7280: Mit der Brechstange

Mit einem Dual-Tower-Design inklusive drei beigelegten Lüftern liefert Jonsbo den brachialsten Kühler in diesem Testfeld. Doch viel hilft nicht immer viel, und so sind die beigelegten Lüfter gleichzeitig der Schwachpunkt des Designs.

Drei beigelegte Lüfter, eine saubere Verarbeitung und eine sinnvolle Montage machen diesen Kühler aus. Bei der Messung der Lautstärke zeigt sich, dass nicht die hochwertigsten Lüfter verwendet wurden und die verbauten Rotoren Störgeräusche erzeugen können. Ob drei Lüfter wirklich eine Relevanz und eine spürbare Steigerung der Kühlleistung mit sich bringen, steht außerdem auch im Raum. Die Maße des Kühlers sorgen dafür, dass die besagten Lüfter nach oben verschoben werden müssen, um Platz für IO-Blende und RAM zu schaffen. Der CPU-Kühler kann sich leistungstechnisch eher im guten Mittelfeld positionieren, für eine höhere Wertung sind die verbauten Lüfter zu laut. Preislich werden für den Jonsbo HX7280 zwar nur ca. 80 Euro aufgerufen, jedoch kann das nur bedingt über die Nebengeräusche der Lüfter hinwegtrösten. Durch die schiere Menge und Leistung der Lüfter kann der HX7280 eine hohe Maximalleistung erreichen, auch wenn er dabei zur 6-Sone-Turbine wird.



Sind die Werte eingestellt, werden Daten wie Spannung, Last und Drehzahl erfasst. Lautheitsnormierung und Leistungstest gleichzeitig zu absolvieren, ist nicht möglich. Das Spulenfepfen des Mainboards oder der Lüfter des Netzteils könnten die Messungen stark verfälschen. Somit werden die Daten erst erfasst

und dann im Leistungstest separat nachgestellt.

Was „Volt“ ihr?

Wir steuern in unseren lautheitsnormierten Tests die Lüfter über Spannung und nicht über Pulsweitenmodulation (PWM). Auch wenn PWM das modernere System ist und

wohl einige Vorteile mit sich bringt, macht es diese Ansteuerung für uns nahezu unmöglich genau genug zu testen. Bei der Normierung müssen wir die Lüfter der Testkandidaten sehr fein einstellen, um den vorgegebenen Lautheitswert zu erreichen. Je feiner die Einstellschritte der Steuerung sind, umso besser. Und genau

hier liegt der „Hase begraben“. PWM-Steuerungen arbeiten (normalerweise) in 100 Schritten, um die Lüfterdrehzahl zu regulieren – eben von 0 bis 100 Prozent. Anders ist das bei einem Labornetzteil, das in unserem Fall von 0–12 V in Hundertstel-Volt arbeitet und eine Abstufung von 1.200 Schritten bietet.



Das vertikale Testsystem unterstützt, genau wie der standardmäßige Aufbau in einem Gehäuse, die natürliche Konvektion der warmen Luft.



Mithilfe des Labornetzteils und des Cortex NC10-Messmikrofons nehmen wir eine Lautheitsnormierung der Lüfter vor.

Kühlleistung im Überblick

Temperaturdifferenz bei 0,2 Sone

Be Quiet Dark Rock Elite	38,6 (Basis)
Cooler Master Masterair MA824	38,89 (+1 %)
Be Quiet Dark Rock Pro 5	39,08 (+1 %)
Noctua NH-D15	39,37 (+2 %)
Deepcool Assassin IV	40,48 (+5 %)
Montech Metal DT24 Premium	41,63 (+8 %)
Arctic Freezer 34 Esports Duo	42,04 (+9 %)
Jonsbo HX7280	43,19 (+12 %)
Alpenföhn Brocken 4 Max	45,78 (+19 %)

Temperaturdifferenz bei 0,3 Sone

Cooler Master Masterair MA824	37,26 (Basis)
Be Quiet Dark Rock Elite	37,65 (+1 %)
Be Quiet Dark Rock Pro 5	38,42 (+3 %)
Noctua NH-D15	38,72 (+4 %)
Deepcool Assassin IV	40,08 (+8 %)
Jonsbo HX7280	40,83 (+10 %)
Montech Metal DT24 Premium	41,06 (+10 %)
Arctic Freezer 34 Esports Duo	41,19 (+11 %)
Alpenföhn Brocken 4 Max	43,37 (+16 %)

Temperaturdifferenz bei 0,5 Sone

Cooler Master Masterair MA824	35,54 (Basis)
Be Quiet Dark Rock Elite	36,6 (+3 %)
Noctua NH-D15	37,39 (+5 %)
Be Quiet Dark Rock Pro 5	37,45 (+5 %)
Deepcool Assassin IV	38,31 (+8 %)
Jonsbo HX7280	38,75 (+9 %)
Arctic Freezer 34 Esports Duo	39,35 (+11 %)
Montech Metal DT24 Premium	39,71 (+12 %)
Alpenföhn Brocken 4 Max	41,21 (+16 %)

Temperaturdifferenz bei 1,0 Sone

Cooler Master Masterair MA824	34,39 (Basis)
Be Quiet Dark Rock Elite	35,58 (+3 %)
Noctua NH-D15	36,01 (+5 %)
Deepcool Assassin IV	36,31 (+6 %)
Be Quiet Dark Rock Pro 5	36,45 (+6 %)
Jonsbo HX7280	36,55 (+6 %)
Montech Metal DT24 Premium	37,64 (+9 %)
Arctic Freezer 34 Esports Duo	38,4 (+12 %)
Alpenföhn Brocken 4 Max	39,44 (+15 %)

Temperaturdifferenz bei 2,0 Sone

Cooler Master Masterair MA824	32,85 (Basis)
Be Quiet Dark Rock Elite	34,62 (+5 %)
Deepcool Assassin IV	34,74 (+6 %)
Noctua NH-D15	35,02 (+7 %)
Jonsbo HX7280	35,22 (+7 %)
Be Quiet Dark Rock Pro 5	35,41 (+8 %)
Montech Metal DT24 Premium	36,66 (+12 %)
Arctic Freezer 34 Esports Duo	36,76 (+12 %)
Alpenföhn Brocken 4 Max	-

System: 150 W TDP; Intel i9-12900K; Messung frontal zur Lüfternabe, Cortex Analyzer NC10. Bemerkungen: Temperaturdelta, niedriger ist besser.

Kelvin
 Besser

Montech Metal DT24 Premium: Durchschnittskandidat

Beim Metal DT24 Premium aus dem Hause Montech handelt es sich um einen Dual-Tower-Kühler, der mit zwei 120-mm-Lüftern bestückt ist.

Damit zählt er zu den kompakteren Modellen in unserem Test. Mit zwei 120-mm-Fullsize-Lüftern werden die schwarz beschichteten Lamellen mit Frischluft versorgt. Die vernickelte Bodenplatte überträgt ihre Temperatur mittels sechs Heatpipes an den Kühlkörper. Mit einem ARGB-Modul in Form einer Kühlkörper-Abdeckung sticht der DT24 Premium etwas aus dem Testfeld heraus. Die Lüfter werden je mit Halteklammern befestigt und die Montage gestaltet sich unkompliziert. Betrachtet man die Leistung, kann man dem DT24 eine angemessene, aber nicht herausragende Leistung bestätigen. Im Testfeld ordnet sich der Kühler zwar unter den großen Modellen mit 140-mm-Lüfter-Bestückung ein, was in Betracht der kleineren Maße aber relativ zu betrachten ist. Mit einem Preis von ca. 80 Euro bittet der Metal DT24 Premium zwar nicht gleichermaßen zur Kasse wie die teuersten Modelle im Test, ist allerdings in Hinblick auf die Größe und die Kühlleistung auch nicht wirklich ein Preis-Leistungs-Tipp.



Arctic Freezer 34 Esports Duo: Kompakt, günstig und stark

Mit dem Freezer 34 Esports Duo stellt Arctic den kleinsten Kandidaten im Vergleichstest. Arctic produziert keinen LGA-1700-Dual-Tower-Kühler mehr. Die Bewertung ist daher mit Blick auf die Größe einzuordnen.

Der Freezer 34 Esports Duo punktet vorerst mit zwei enthaltenen Lüftern, einem schicken Design und einer guten Verarbeitung. Die Montage gestaltet sich allerdings etwas komplizierter als bei der Konkurrenz. Mit mehreren selbstklebenden Unterlegscheiben, sowie extra Verschraubungsschritten und einer fehlenden physischen Anleitung gab es in unserem Test ein paar Abzüge. Anleitungen findet man lediglich über die Herstellerwebsite. Die Leistung hingegen ist im Hinblick auf die Größe erstaunlich gut. Die enthaltenen P12-BionX-Lüfter sind leise und sorgen gleichzeitig für einen guten Airflow. Mit dem Freezer 34 Esports Duo schafft es Arctic trotz des kompakten Formats einen Kühler zu liefern, der mit der deutlich wuchtigeren (Dual-Tower-) Konkurrenz im Testfeld mithalten kann. Für derzeit ca. 40 Euro bekommt man hier bei Arctic also einen absoluten Preis-Leistungs-Kracher für Prozessoren der Mittelklasse.



Alpenföhn Brocken 4 Max: Kompakter Dual-Tower

Die Max-Version des Brocken 4 zeichnet sich durch das Dual-Tower-Design aus: in der Mitte ein Fullsize-120-mm-Lüfter, an der Front ein Slim-120-mm-Lüfter. Heraus kommt ein kompakter Kühler mit Lautheitseinbußen.

Der Brocken 4 Max ist äußerst schön und schlicht designt. Die beiden Jetstream-Lüfter sind mit Klammern befestigt, lassen sich also durchaus auch durch andere Modelle austauschen. Die Montage des Kühlers gestaltet sich äußerst simpel. Denn um die verborgenen Schrauben erreichen zu können, wurde der Kühlkörper mit Löchern versehen, durch die ein Schraubenzieher direkt zur gesuchten Schraube findet. Lüfter müssen dabei keine demontiert werden. Die Leistung des Brocken 4 Max ist unten im Testfeld anzuordnen. Der Slim-Lüfter mit einer Dicke von 16 mm an der Front erzeugt eine erhöhte Lautheit, was sich in den Temperaturdeltas der lautheitsnormierten Kühlleistung widerspiegelt. Hier wird dem kompakten Aufbau etwas Leistung geopfert. Dabei muss man beachten, dass die Konkurrenz meist mit 135-mm-Lüftern ausgestattet ist. In Anbetracht der Größe des Kühlers, kann man also durchaus von einer angemessenen Leistung sprechen.



Kühlermontage

Jeder Kühler wird genau nach der vom Hersteller vorgegebenen Anleitung mit den beigelegten Bauteilen montiert. Eine Ausnahme stellt die Wärmeleitpaste dar. Damit sich die Kühler optimal miteinander vergleichen lassen, verwenden wir immer dieselbe Wärmeleitpaste und verstreichen diese in einer gleichmäßigen Schicht. Zum Einsatz kommt Arctics MX6 Paste. Bei manchen Kühlern lassen sich Lüfter verschieben, um Platz für hohe RAM-Riegel zu lassen. Unser verwendetes System verfügt über vergleichsweise flache 46 mm hohe Riegel. Jeder Testkandidat wird so angepasst, dass gerade keine Kollision zwischen Lüftern und Arbeitsspeicher entsteht.

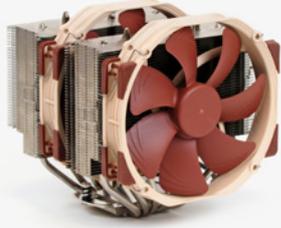
Datenerfassung

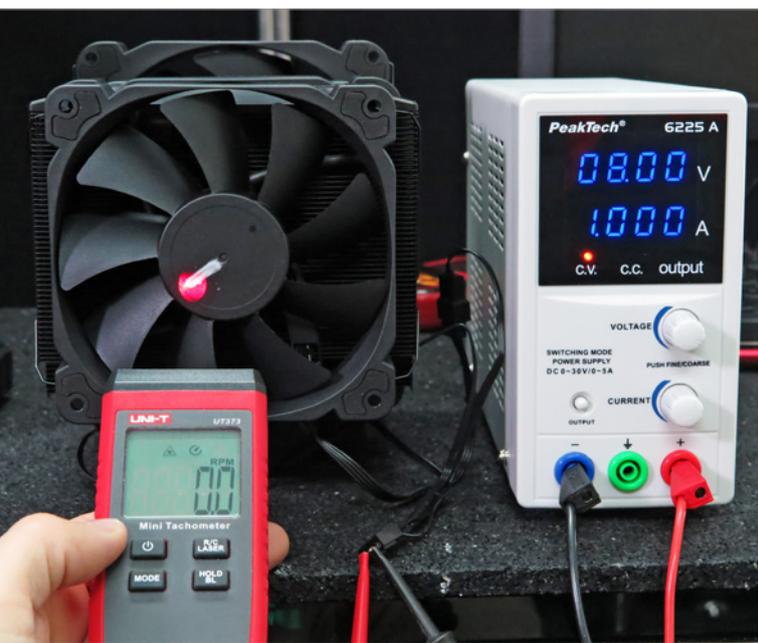
Schlussendlich wird das System mithilfe des Benchmark-Tools Cinebench R23, das in Dauerschlei-

fe geschaltet wird, auf Temperatur gebracht. Die CPU gibt 150 Watt ab, und der Kühler muss sich bei den verschiedenen Lautheitswerten unter Beweis stellen. Um die Leistung nun zu beurteilen, ist die Prozessortemperatur im Vergleich zur Umgebungstemperatur ausschlaggebend. Umso niedriger diese Differenz, auch Temperaturdelta genannt, ist, umso besser kann der zu testende Kühler die entstehende Wärme abführen. Gemessen wird diese Temperatur in unserem Test mit einer Aquacomputer Aquarero. Verbunden sind vier Umgebungs-Temperatur Sensoren, die im klimatisierten Raum verteilt sind. Umgebungssensoren sowie Kerntemperaturen werden nach einer 20-minütigen Einpendelphase je Messpunkt schließlich vom Analyse-Tool Hwinfo erfasst und in ein Log geschrieben. Aus der Differenz des Durchschnitts aller Kerntempe-



Bei derart großen Kühlern muss oft der Frontlüfter nach oben verschoben werden um Platz für RAM-Riegel zu schaffen.

CPU-Kühler				
Auszug aus Testtabelle mit 45 Wertungskriterien				
Luftkühler	Masterair MA824	Dark Rock Elite	NH-D15	
Hersteller (Website)	Cooler Master (coolermaster.com)	Be Quiet (bequiet.com)	Noctua (noctua.at)	
Link zum PCGH-Preisvergleich	www.pcgh.de/preis/2976519	www.pcgh.de/preis/3038733	www.pcgh.de/preis/1098241	
Aktueller Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis	Ca. € 110,- / Note: 2,62	Ca. € 110,- / Note: 2,63	Ca. € 110,- / Note: 2,66	
Ausstattung (20 %)	2,45	1,82	1,90	
Anschluss/Entkoppelung	4-Pin/entkoppelt	4-Pin/-	4-Pin/entkoppelt	
Konstruktion	Dual Tower	Dual Tower	Dual Tower	
Enthaltene Lüfter	1x120 + 1x140/135 mm	1x120 + 1x140/135 mm	2x140/135 mm	
Montierbare Lüfter	1x120 + 1x140/135 mm	1x120 + 1x140/135 mm	2x140 mm	
Lamellendichte Kühlkörper	10 FPI	10 FPI	12 FPI	
Ausführung Boden	Kupfer vernickelt	Kupfer vernickelt	Kupfer vernickelt	
Wärmeleitmittel/Lüftersteuerung/Extras	Ja, voraufgetragen/PWM/-	Ja/PWM/-	Ja, NT-H1/PWM/-	
Eigenschaften (20 %)	1,24	1,36	1,24	
Abmessungen (H x B x L); Gewicht mit Lüftern	165,6 x 150,6 x 162 mm mm; 1485,4 g	168 x 136 x 145,2 mm mm; 1339,3 g	168 x 150 x 161 mm; 1318,6 g	
Lüfterdrehzahl (Frontlüfter) min. -max.	504 - 1950 U/min	581 - 1929 U/min	616 - 1545 U/min	
Regelbereich (%)	74 %	70 %	60 %	
Sockelunterstützung AMD	AM5, AM4	AM5, AM4	AM5, AM4	
Sockelunterstützung Intel	LGA 1700, LGA 115x/1200	LGA 1700, LGA 115x/1200	LGA 1700, LGA 115x/1200	
Montageaufwand 1700/AM5	Leicht/leicht	Leicht/leicht	Leicht/leicht	
Garantie	5 Jahre	3 Jahre	6 Jahre	
Leistung (60%)	1,01	1,22	1,34	
Temperatur-Differenz (Umgebung/CPU) bei: 0,2 0,3 0,5 1,0 2,0 Sone Vollast	38,89 37,26 35,54 34,39 32,85 32,52 Kelvin	38,6 37,65 36,6 35,58 34,62 34,23 Kelvin	39,37 38,72 37,39 36,01 35,02 34,28 Kelvin	
Lautheit unter Vollast	2,6 Sone	2,7 Sone	3 Sone	
Elektrische Leistung (Vollast)	2,448 Watt	3,348 Watt	2,244 Watt	
FAZIT	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Maximale Leistung ➢ Sehr gute Lüfter 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Hohe Leistung ➖ Proprietäre Lüfter 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Hohe Leistung ➖ Groß 	
	Wertung: 1,34	Wertung: 1,37	Wertung: 1,43	



Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser. Wir nutzen ein Laser-Messgerät und eine Markierung auf dem Rotor, um die Drehzahl des Frontlüfters zu messen.

aturen und des Durchschnitts der vier Umgebungssensoren wird das Temperaturdelta errechnet.

Diagramme

Natürlich zeigt das wichtigste Diagramm in diesem Test die Leistung der Kühler im Vergleich. Dabei ist auf der x-Achse die Lautheit in Sone aufgetragen, auf der y-Achse das Temperaturdelta in Kelvin. Je niedriger das Temperaturdelta, umso besser die Kühlleistung. Da durch die Lautheitsnormierung die Temperaturdelta-Werte der verschiedenen Kühler immer bei denselben Lautheitswerten aufgetragen sind, finden sich die Werte direkt vertikal übereinander und können miteinander verglichen werden. Anhand der entstehenden Kurve lässt sich außerdem das Verhalten des Kühlers bei steigender Lautheit einschätzen. Die zugehörigen Werte finden sich zum weiteren Vergleich

der jeweiligen Konkurrenten auch in einzelnen Balkendiagrammen. Dass wuchtigere Kühler, die mit einer 140-mm-Lüfterbestückung aufwarten, eine höhere Leistung abliefern, ist vorauszusehen. So liegen Be Quies Dark Rock Elite und Noctuas NH-D15 sehr weit oben. Geschlagen werden jedoch beide vom Cooler Master Masterair MA824 Stealth, der trotz 120-mm-Lüfter in der Front das Temperaturdelta der Konkurrenz teils deutlich unterbietet. Lediglich bei einer Lautheit von 0,2 Sone schafft es Be Quies Flaggschiff am Cooler-Master-Modell vorbei. Bei den kompakteren Modellen, die mit zwei 120-mm-Lüftern bestückt sind, gibt es ebenfalls eine kleine Überraschung. Arctic schafft es mit dem Freezer 34 Esports Duo trotz Single-Tower-Design bei der Dual-Tower-Konkurrenz mitzumischen, den guten P12 Lüftern sei Dank.

Luftkühler	Assassin IV	Rock Pro 5	HX7280
CPU-Kühler Auszug aus Testtabelle mit 45 Wertungskriterien			
Hersteller (Website)	Deepcool (www.deepcool.com)	Be Quiet (www.bequiet.com)	Jonsbo (www.jonsbo.com)
Link zum PCGH-Preisvergleich	www.pcgh.de/preis/2976866	www.pcgh.de/preis/3038718	www.pcgh.de/preis/2685015
Aktueller Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis	Ca. € 100,- / Note: 3+	Ca. € 95,- / Note: 2-	Ca. € 80,- / Note: 2-
Ausstattung (20 %)	1,86	1,86	1,98
Anschluss/Entkoppelung	4-Pin/entkoppelt	4-Pin/entkoppelt	4-Pin/entkoppelt
Konstruktion	Dual Tower	Dual Tower	Dual Tower
Enthaltene Lüfter	1×120 + 1×140/135 mm	1×120 + 1×140/135 mm	1× 120, 2× 140 mm
Montierbare Lüfter	2×120, 1×140 mm	1×120 + 1×140/135 mm	2×140 mm
Lamellendichte Kühlkörper	12 FPI	10 FPI	14 FPI
Ausführung Boden	Kupfer vernickelt	Kupfer vernickelt	Kupfer vernickelt
Wärmeleitmittel/Lüftersteuerung/Extras	Ja, DM9/PWM-	Ja/PWM-	Ja, T.G. Hydronaut/PWM-
Eigenschaften (20 %)	1,24	1,36	2,33
Abmessungen (H × B × L); Gewicht mit Lüftern	144 × 147 × 164 mm; 1.390,6 g	168 × 136 × 145 mm mm; 1.287,3 g	155 × 140 × 160 mm mm; 1.746,6 g
Lüfterdrehzahl (Frontlüfter) min. -max.	500 - 1.700 U/min	577 - 2.008 U/min	75 - 1.835 U/min
Regelbereich (%)	71 %	71 %	96 %
Sockelunterstützung AMD	AM5, AM4	AM5, AM4	AM5, AM4
Sockelunterstützung Intel	LGA 1700, LGA 115x/1200, LGA 2066	LGA 1700, LGA 115x/1200	LGA 1700, LGA 115x/1200
Montageaufwand 1700/AM5	Leicht/leicht	Leicht/leicht	Leicht/leicht
Garantie	6 Jahre	3 Jahre	1 Jahre
Leistung (60%)	1,40	1,38	1,55
Temperatur-Differenz (Umgebung/CPU) bei: 0,2 0,3 0,5 1,0 2,0 Sone Volllast	40,48 40,08 38,31 36,31 34,74 33,18 Kelvin	39,08 38,42 37,45 36,45 35,41 35,11 Kelvin	43,19 40,83 38,75 36,55 35,22 33,05 Kelvin
Lautheit unter Volllast	3,7 Sone	2,3 Sone	5,9 Sone
Elektrische Leistung (Volllast)	Nicht messbar	2,676 Watt	6,612 Watt
FAZIT	<ul style="list-style-type: none"> 🟢 Leistung, Design 🔴 Ultra-Silent-Leistung 	<ul style="list-style-type: none"> 🟢 Leistung 🔴 Preis 	<ul style="list-style-type: none"> 🟢 Drei Lüfter 🔴 Lüfter rattern
	Wertung: 1,46	Wertung: 1,47	Wertung: 1,79

Ebenfalls wichtig bei einem High-End-Kühler-Test ist natürlich die maximale Leistung, die ein Kühler erreichen kann. Schließlich sollen mit solch einem wuchtigen Produkt auch Hochleistungs-CPU's gekühlt werden. Wir haben deswegen jeden Kühler auch bei voller Lüfterleistung getestet und Temperaturdelta sowie die dabei entstehende Lautheit aufgezeichnet. Die Ergebnisse sind im Balkendiagramm und in der Testtabelle gelistet.

Warum keine Referenzlüfter?

Im neuen Testverfahren werden die Kühler als Gesamtprodukt bewertet und keine Einzelnoten oder Einzeltests für Kühlkörper und Lüfter vergeben. Um Kühlkörper und Lüfter einzeln zu bewerten, wäre ein Test mit Referenzlüftern vonnöten. Die Entscheidung, diesen Extra-Test nicht mit einzubeziehen, hängt mit den Designs der hier getesteten

Kühler zusammen. Der Trend geht in Richtung proprietäre Lüfter, die im Design der Kühler integriert sind. Beide Be Quiet Kühler, aber auch Deepcools Assassin IV, sind mit proprietären Lüftern ausgestattet, die auch nicht darauf ausgelegt sind vom Anwender getauscht zu werden. Ein weiterer Faktor ist die Abwägung, welche Referenzlüfter zur Anwendung kommen würden. Der Unterschied zwischen Be Quiets Dark Rock Elite und Pro 5 besteht beispielsweise nämlich nicht im Kühlkörper, sondern in der Abdeckung und dem kleineren Frontlüfter beim Pro 5. Die Be Quiet-Kühlkörper unterscheiden sich sonst kaum. Montiert man Referenzlüfter mit der gleichen Größe wie die je beigelegten Modelle, würde der Pro 5 schlechter abschneiden als sein großer Bruder. Montiert man jedoch bei beiden dieselben Referenzlüfter, was möglich ist, per-

formen beide Modelle gleich. Lange Rede, kurzer Sinn: Es wäre sehr kompliziert.

Wie es weiter geht

Die Kühlertests und der Aufbau einer großen Übersicht an Testmodellen steht noch ganz am Anfang. Viele weitere sehr relevante Modelle werden ihren Weg in den nächsten Test finden – fehlende Kandidaten werden also peu à peu folgen. Zukünftige Tests werden zukünftig mehr in Kategorien eingeteilt. Beispielsweise werden nur Kühler mit einem einzelnen 120-mm-Lüfter in ein Round-Up geschickt. Dieser erste Vergleichstest neuer Top-Kühler bekannter Marken stellt die Basis für kommende Kühlervergleiche dar. Das Feld wird demnach stetig durch neue Modelle und beliebte Klassiker erweitert. Bald wird der Kühlungsbereich außerdem durch den ersten ebenfalls überarbeiteten

Kompaktwasserkühlungs-Test vergrößert. Mit der gewählten Methodik können auch Vergleiche zwischen Luft- und Wasserkühlern zukünftig gezogen werden. Wie sich die Kühler aus diesem Test im Vergleich zu gängigen AiOs schlagen, wird sich dann zeigen. *(jh)*

Fazit **PCGH**

Stark, aber teuer

Mit den derzeitigen High-End-Luftkühlern gibt es echte Alternativen zur AiO. Derart wuchtige Dual-Tower-Kühler fordern aber auch einen beherzten Griff in den Geldbeutel. So sind die Top-Modelle von Cooler Master, Be Quiet, Noctua und Deepcool allesamt erst jenseits der 100-Euro-Marke zu haben, können dafür aber selbst im Ultra-Silent-Bereich angemessen performen.

CPU-Kühler <small>Auszug aus Testtabelle mit 45 Wertungskriterien</small>				
Luftkühler		Metal DT24 Premium	Freezer 34 Esports Duo	Brocken 4 Max
Hersteller (Website)		Montech (www.montechpc.com)	Arctic (www.arctic.de)	Alpenföhn (www.alpenfoehn.de)
Link zum PCGH-Preisvergleich		www.pcgh.de/preis/2856404	www.pcgh.de/preis/2183330	www.pcgh.de/preis/2907687
Aktueller Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis		Ca. € 80,- / Note: 2-	Ca. € 40,- / Note: 1-	Ca. € 80,- / Note: 3+
Ausstattung (20 %)		1,94	2,65	2,02
Anschluss/Entkoppelung		4-Pin/entkoppelt	4-Pin/entkoppelt	4-Pin/entkoppelt
Konstruktion		Dual Tower	Single Tower	Dual Tower
Enthaltene Lüfter		2x120 mm	2x120 mm	2x120 mm
Montierbare Lüfter		2x120 mm	2x120 mm	2x120 mm
Lamellendichte Kühlkörper		12 FPI	13 FPI	12 FPI
Ausführung Boden		Kupfer vernickelt	Aluminium, mit direktem Heatpipe-Kontakt	Kupfer vernickelt
Wärmeleitmittel/Lüftersteuerung/Extras		Ja/PWM-	Ja, Arctic MX-4/PWM-	Ja/PWM-
Eigenschaften (20 %)		1,97	1,61	2,21
Abmessungen (H x B x L); Gewicht mit Lüftern		158 x 124 x 133,6 mm mm; 1.255,5 g	20 x 15 x 10 mm; 745,2 g	20 x 15 x 10 mm; 1.111,7 g
Lüfterdrehzahl (Frontlüfter) min. -max.		684 - 2.043 U/min	559 - 2.045 U/min	470 - 1.853 U/min
Regelbereich (%)		67 %	73 %	75 %
Sockelunterstützung AMD		AM5, AM4	AM5, AM4	AM5, AM4
Sockelunterstützung Intel		LGA 1700, LGA 115x/1200	LGA 1700, LGA 115x/1200	LGA 1700, LGA 115x/1200
Montageaufwand 1700/AM5		Leicht/leicht	Mittel/mittel	Leicht/leicht
Garantie		3 Jahre	6 Jahre	Keine Angabe
Leistung (60%)		1,72	1,76	2,19
Temperatur-Differenz (Umgebung/CPU) bei: 0,2 0,3 0,5 1,0 2,0 Sone Volllast		41,63 41,06 39,71 37,64 36,66 35,46 Kelvin	42,04 41,19 39,35 38,4 36,76 35,49 Kelvin	45,78 43,37 41,21 39,44 - 37,87 Kelvin
Lautheit unter Volllast		3,3 Sone	2,6 Sone	1,9 Sone
Elektrische Leistung (Volllast)		2,88 Watt	2,592 Watt	3,072 Watt
FAZIT		<ul style="list-style-type: none"> ⊕ RGB-Beleuchtung ⊖ Leistung 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Hohe Leistung trotz kompakter Größe ⊖ Komplizierte Montage 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Kompakt ⊖ Schwache Kühlleistung
		Wertung: 1,82	Wertung: 1,91	Wertung: 2,16

Infrastruktur

Boards, RAM, Eingabegeräte, SSDs & HDDs, Netzteile, Notebooks

www.pcgameshardware.de/hardware

Corsair Platform: 6 Creator Edition und Elevate

Corsair mischt erstmals im Markt der höhenverstellbaren Schreibtische mit. Der Corsair Platform: 6 Elevate buhlt um den solventen Gamer als Kunden. Mit dem Corsair Platform: 6 Creator Edition will man hingegen kreative Köpfe als Kundschaft gewinnen.

Corsair bietet den Platform: 6 (im Original kurioserweise ohne Leerzeichen) in drei Bauvarianten an, zwei davon verfügen über eine Höhenverstellung: der mit einer Tischplatte aus schwarz laminiertem MDF (1.560 Euro) oder Kautschukbaumholz (1.660 Euro) ausgestattete Elevate und der nur mit der Echtholzplatte erhältlicher Creator Edition (2.000 Euro). Bei letzterem handelt es sich um die maximale Ausbaustufe, die sich nur durch ein besonderes Zusatzelement, den Elgato Multi Frame, vom Elevate-Modell unterscheidet. Die restliche Ausstattung der Tische, deren Aufbau mit zwei Personen ca. 3,5/2,5 Stunden dauert, ist gleich.

Das erste funktionale Extra ist die doppelte Monitorhalterung, die bei der Konkurrenz oft zugekauft werden muss und an deren VESA-Halterung (75 x 75/100 x 100 mm) zwei Monitore bis zu 32 Zoll Größe und 8 kg Gewicht Platz finden. Weitere nützliche Features sind die für einen besseren Stand an den Teleskoptischbeinen angebrachte Querstrebe und das in die Tischplatte eingelassene Staufach. Letzteres ist mit einem USB-A/USB-C-Anschluss mit Ladefunktion bestückt, dient zur Aufbewahrung von USB-Sticks und wird für das Kabelmanagement von Peripherie genutzt. Dazu kommen mit der per Halterung an die Alu-Querstange anschraubbaren Steckdosenleiste [1] (3x Strom, 1x USB-A, 1x USB-C) und der zweiten, in der Kabelwanne mit Lochblech [2] verstaubaren Steckdosenleiste, (6x Strom, 2x USB-A) Zubehör, das bei Konkurrenzprodukten oft nicht zur Grundausstattung gehört.



Das Hauptausstattungsmerkmal der Tische ist das modulare Schienensystem, das aus einer Alu-Querschiene mit T-Kanal sowie rechts und links an das Gestell montierten Seitenschienen besteht. Dieses auf Alu-Schienen mit Standard-3060T-Kanal und T-Nutensteinen basierende System sorgt für die Kompatibilität mit Hunderten Befestigungen und Zubehörteilen. Sie können einen Platform: 6 nach Ihrem Gusto mit Anbauten wie dem Elgato Multi Frame, Halterungen und weiteren Elgato-Geräten bestücken. Im Praxisalltag überzeugt der Platform: 6 mit seinem festen Stand, egal ob mit oder ohne Elgato-Aufbau. Für die hohe Stabilität sorgen die massive, schwere

Bauweise (58 kg Tisch/18 kg Elgato Frame), die an die feststehenden Tischbeinsegmente befestigte Querstrebe und Füße mit Höhenverstellung. Ab einer Tischhöhe von ca. 1.100 mm nimmt die Stabilität leicht ab und feste Stöße gegen die vordere Kante oder ein Rütteln an der Tischplatte führen zu Bewegung. Beim Tippen mit der Stehhöhe von 1.220 mm (minimal: 74 cm) wackelt der Tisch nur geringfügig. Die Höhenverstellung, die das ergonomische Arbeiten/Spielen garantiert, ist mit 25 mm/s nicht sehr flott und der Bedieneinheit fehlen Speicherplätze. Dafür ist sie leise, besitzt einen effektiven Kollisionsschutz und beherrscht die Soft-Start-Stopp-Technik vorbildlich. (f)



Platform: 6 Creator Edition und Elevate

Fazit: Mehr Modifikationsmöglichkeiten, optionales Zubehör und funktionale Extras bot bisher kein Gaming-Schreibtisch. Dazu punkten beide Modelle mit festem Stand, sehr hoher Qualität und sehr guter Ergonomie.

Hersteller: **Corsair**

Web: www.corsair.com/de/de

Preis: **Ca. € 2.000,-/1.660,-** | Preis-Leistung: **Ausreichend**

PCGH-Preisvergleich

Nur bei Corsair im Shop erhältlich

WERTUNG



Razer Cobra Pro: Nicht nur für kleine Hände gut geeignet

Spielern, denen die bunt beleuchtete Basilisk V3 Pro zu klobig ist, bietet Razer ein neues Modell mit symmetrischem Design und kompakten Maßen an: die Cobra Pro.

Mit ihren Maßen von 120,0 × 62,5 × 38,1 mm (L × B × H) und einem angenäherten Volumen von 75 cm³ fällt die Cobra Pro einerseits sichtbar kleiner aus als die Basilisk V3 Pro (130,0 × 75,4 × 42,5 mm/109 cm³). Andererseits wiegt die mit 2,4 GHz und Bluetooth funkende Cobra Pro mit 77 Gramm stolze 35 Gramm weniger als Razers Mausflaggschiff und unsere aktuelle Referenz. Dazu kommt – und damit wirbt Razer explizit –, dass die mit sieben programmierbaren Tasten (14 mit Hypershift-Tastenverdoppelung) ausgestattete Gaming-Maus achsensymmetrisch

ist. Damit eignet sich die Cobra Pro, deren Akkuper über USB-C-auf-USB-A-Kabel geladen wird, grundsätzlich auch für Linkshänder. Die müssen allerdings in Kauf nehmen, dass sich nur auf der linken Seite zwei Daumentasten befinden. Obwohl die Ergonomie, wie auch Razer angibt, für kleine und mittelgroße Hände optimiert ist, liegt die Maus auch sehr angenehm in einer großen Hand. Außerdem lässt sie sich auch mit dem Palm-Grip sehr leichtgängig und ergonomisch über das Mauspad manövrieren. Egal, welchen Griffstil Sie bevorzugen, die beiden gummierten Seitenteile garantieren optimalen Grip. Bei der Ausstattung findet man viele Dinge, die für Razers Gaming-Mäuse typisch sind. Dazu gehören zwei Knöpfe für die Dpi-Umschaltung, die ikonische

Chroma-RGB-Beleuchtung (11 Beleuchtungszonen: Mausrad/Hecklogo/Unterbodenbeleuchtung) optische Tastenschalter der 3. Generation mit einem hervorragenden Druckpunkt und der Onboard-Speicher für fünf Profile. Die von Razer angegebene Akkulaufzeit liegt bei bis zu 170 Stunden ohne Beleuchtung. Nutzen Sie Razers Hyper Polling Wireless-Adapter oder das Mouse Dock Pro (Ladestation) mit einer Polling-Rate von 4.000 Hz, reduziert sich diese auf 33 Stunden. Beim Sensor entscheidet man sich auch bei der Cobra Pro für den Focus Pro 30K (Pixart PAW 3590). Dieser arbeitet fehlerfrei und tastet dank Techniken wie Smart Tracking, Motion Sync und Asymmetric Cut-off äußerst präzise ab. Die Lift-Off-Distanz liegt bei 0,9 mm. (fs)



Cobra Pro		
Fazit: Die Razer Cobra Pro füllt erfolgreich die Lücke zwischen der großen, top ausgestatteten Basilisk V3 Pro und der 58 g leichten, aber unbeleuchteten Viper V2 Pro. Sie ist eine Empfehlung für Fans von schlanken, mittelgroßen Mäusen.		
Hersteller: Razer Web: www.razer.com/de-de		
Preis: Ca. € 130,- Preis-Leistung: Befriedigend minus		
👉 Ergonomie, Leistung des Sensors	Ausstattung	1,35
👉 Druckpunkte, Rasterung Scrollrad	Eigenschaften	1,13
👉 Hubhöhe 0,9 mm, 2,4 GHz + BT	Leistung	1,03
PCGH-Preisvergleich		www.pcgh.de/preis/2976258
WERTUNG		1,16

Groß, gut und leicht: AMDs Notebook-Ryzens

AMD ist unter den Notebook-CPU's mittlerweile mindestens genauso konkurrenzfähig wie mit den Desktop-Ryzen. Das Acer Swift Edge 16 ist ein weiteres Beispiel dafür, dass die mobilen Ryzen den Intel-Platzhirschen mehr als nur ebenbürtig sind.

Vor einigen Monaten hat AMD eine mobile Ryzen-CPU mit 3D-V-Cache vorgestellt, den Ryzen 9 7945HX3D. Wie der große Desktop-Bruder liefert auch er eine beeindruckende Leistung sowohl in Spielen als auch in Anwendungen ab. Es ist nicht übertrieben zu behaupten, dass AMD aktuell die schnellste und beste Notebook-CPU auf den Markt hat. Das Problem nur: Das einzige Modell mit der herausragenden CPU, ein Asus ROG Strix Scar, gibt es nicht zu kaufen. Schade! AMD legt nun in der Fliegengewichtsklasse nach: Unter den Modellen mit 15 Watt TDP für kleine und leichte Notebooks wird der Ryzen 7 7840U platziert. Mit bis zu 20 Watt an Leistungsaufnahme bietet die neue CPU der Phoenix-Serie acht Zen-4-Kerne mit SMT und bis zu 5,1 GHz im Einzel-Boost. Der neue 7840U unterscheidet sich wesentlich vom älteren 7735U, welcher aus der Generation Zen 3+ stammt. Dessen integrierte Grafik ist noch eine

Radeon 680M mit RDNA-2-Technik, während im 7840U eine moderne die Radeon 780M mit RDNA-3-Genen steckt. Zwar sind die Leistungsunterschiede beider Prozessoren nicht weltbewegend, aber in etwa 15 Prozent durch die Bank in den Tests ist doch ein deutlicher Unterschied. Der 7735U ist lediglich ein Refresh des „alten“ 6800U mit 50 MHz mehr Boost-Takt – und nicht etwa, wie der Name vermuten lässt, ein etwas runtergetakteter 7840U. Ein weiterer deutlicher, aber ebenso nicht weltbewegender Unterschied ist der integrierte KI-Beschleuniger des

7840U, welcher etwa das kommende MS Studio Effects Pack unterstützt, das nützliche Webcam-Spielereien, wie Hintergründe-Weichzeichnen oder das Blickkontakthalten, bietet. Nun gibt es das Swift Edge 16 auch noch mit dem 7735U-Vorgänger, daher die Betonung der Unterschiede. Es handelt sich um ein gutes Arbeitsgerät, es ist nur 1,25 kg leicht, kommt mit OLED-Display und langer Akkulaufzeit. Auch preislich mit ca. 1.300 Euro ist es attraktiv gegenüber Geräten mit einem Intel Core i7-1370P, nur eben leider noch nicht im Handel. (mc)



Selbstbau-Server-Software

Für den Heimserver gibt es einige interessante Betriebssysteme. Im Erfahrungsbericht beschäftigt sich PCGH-Redakteur Manuel Christa diesmal mit NAS-Individuallösungen.

Teil 3

Ein Heimserver „braucht“ man eigentlich genauso wenig wie einen RGB-blinkenden Gaming-PC im aquariumhaften Glasgehäuse. Hier handelt es sich meist genauso um Spielerei, nur halt eben nicht direkt mit PC-Spielen, sondern mit Netzwerkfreigaben, virtuellen Maschinen und Docker-Containern. Meistens reicht ein heimisches Fertig-NAS und/oder ein Raspberry, um ein zuverlässiges Backup oder ressourcenarme Dienste, wie etwa eine heimische Cloud oder einen Streaming-Server aufzusetzen. So beschränkt diese Systeme in der Performance oder Skalierbarkeit auch sind, so einfach sind sie aufzusetzen. Wer also weniger am, sondern mehr mit dem Heimserver arbeiten möchte, greift daher zur hard- und softwareseitigen Fertiglösung von Synology, QNAP, Terramaster oder wie sie alle heißen. Das Verhältnis zwischen Fertig-NAS und individuellem Heimserver ist in etwa vergleichbar mit dem zwischen Spielekonsolen und Gaming-PCs. Beide erfüllen zwar prinzipiell ähn-

liche oder gleiche Zwecke, aber eben für unterschiedliche Ansprüche, haben jeweils andere Vor- und Nachteile und teilt die Nutzer genauso in jeweils unterschiedliche Glaubensgemeinschaften.

Nun gehören wir bei PCGH der Fraktion an, die Spaß am Basteln hat und mit einem Selbstbau letztlich immer etwas flexibler ist als mit einem vorab zugeschnittenem System „von der Stange“. Nun habe ich mir aber eingebildet, direkt übers Netzwerk Videodateien schneiden zu wollen. Dazu braucht es den entsprechenden Datendurchsatz – sowohl im (10G-)LAN als auch beim (NVME-) Speicher selbst. Wie ich das kabelmäßig samt Schnittstellen an Server und Client gelöst habe, ist im letzten Heft ausführlich beschrieben. Hier nur die kurze Zusammenfassung: Im Keller steht ein Server mit 10G-Netzwerkkarte und im Dachgeschoss-Büro das Macbook mit einem 10G-Thunderbolt-Adapter. Als Schaltzentrale arbeitet ein Router im Erdgeschoss,

der zwei 10G-RJ45-Ethernet-Buchsen bietet. Vier weitere Buchsen bieten dort lediglich das herkömmliche 1G-LAN, woran drei Wi-Fi-Würfel hängen sowie ein günstiger Gbit-Switch, um diverse Unterhaltungselektronik zusätzlich per LAN anzuschließen. Während Synology, Terramaster, QNAP und Co. alle ein (gutes) Betriebssystem mit benutzerfreundlicher Oberfläche bereits vorinstalliert liefern, ist bei einem Selbstbau-NAS etwas mehr Aufwand erforderlich. Im Fertig-NAS sind Speicherpool und Netzwerkfreigaben in unter einer Stunde schnell eingerichtet. Klar könnte ich für meine Zwecke genauso gut ein Fertig-NAS hernehmen, nur sind die Modelle mit 10G-Schnittstelle noch ziemlich teuer. Davon abgesehen möchte ich NVME-SSDs verwenden, während die NAS-Gehäuse fast nur über SATA-Schnittstellen verfügen und der M.2-Slot, sofern es einen gibt, fast immer nur als zusätzlicher Cache fungiert und nicht in den Speicherpool integrierbar ist. Ein herkömmliches Main-

board muss also her - idealerweise eines mit vier M.2-Schnittstellen. Insgesamt ist der Server sicherlich nicht unbedingt günstiger als ein entsprechendes Fertig-NAS, aber wesentlich leistungsfähiger sowie hard- und softwareseitig flexibler. Ich möchte schließlich nicht nur allerlei Backups und Terabytes an Videodateien im Netzwerk lagern, sondern mit dem Server auch alle damit möglichen Späße mit virtuellen Maschinen, Docker-Containern und sonstigen Server-Sachen haben, die man mit einem Linux-Server daheim so macht. Wie genau diese Spielereien aussehen, darüber habe ich mir noch zu wenige Gedanken gemacht. Was ich aber weiß, dass ich eine passende Spielweise möchte, die all das ermöglicht.

Doch diese ganzen Dienste sollen neben der umfangreichen NAS-Funktion des Heimservers nur Nebensache bleiben. Hier soll es zunächst um den Vergleich der verschiedenen Betriebssysteme gehen, die dafür infrage kommen. Nun erhebe ich hier keinen Anspruch auf Vollständigkeit und wie immer gilt. Viele Ethernet-Verbindungen führen zum Heimserver. Ich picke hier die wichtigsten und für den ambitionierten Heimanwender interessantesten Alternativen heraus und möchte sie im Vergleich gegenüberstellen sowie eine Orientierungshilfe für all jene geben, die wie ich ein NAS-System mit herkömmlicher (x86-)PC-Hardware zusammenstellen möchten.

Selbstbau-NAS? Unraid oder TrueNAS!

Die wohl besten beiden Betriebssysteme als Basis für einen Heimserver sind Unraid und TrueNAS. Bei beiden handelt es sich um mächtige NAS-Betriebssysteme, die neben umfangreichem Speicherpool- und Freigaben-Management auch als Basis für Virtualisierung hergenommen werden können. Damit sind



Bild: artrosstudio, RF123.com

bereits die erwähnten VMs und Docker-Container gemeint. Ja, auch diese können prinzipiell auf einem Fertig-NAS laufen, doch für umfangreichere Virtualisierung ist die Rechenleistung und Skalierbarkeit schnell ein Flaschenhals dafür. Unraid und TrueNAS werden oft auch mit Proxmox verglichen. Nur handelt es sich dabei vielmehr um einen sogenannten Hypervisor, also eine Basis für virtuelle Maschinen und Docker-Containern. Klar kann in diesen ein NAS-Linux wie Unraid, TrueNAS oder jedes andere beliebige Betriebssystem laufen, aber eben nicht ohne virtuelle Maschine. An sich sind auch Unraid und TrueNAS beide Hypervisor, aber eben nicht primär. Es kommt eben darauf an, worauf man beim Heimserver die Schwerpunkte setzt. Und da es weniger die Virtualisierung und vielmehr die NAS-Funktionen und eine komfortable Weboberfläche sind, möchte ich Proxmox außen vor lassen.

Vorweg: Ich persönlich habe mich für Unraid für den Heimserver entschieden. Hauptsächlich deswegen, weil es als mächtiges Linux-NAS-OS noch immer ziemlich komfortabel zu bedienen ist, also ideal für die Nische der Leute wie mich, die einen Mix aus dem Komfort eines Fertig-NAS-Betriebssystems und der Flexibilität und dem Funktionsumfang von TrueNAS wünschen. Dabei gibt es zahlreiche, wesentliche Unterschiede, die ich hier im Detail vorstellen möchte.

Unraid ist kein RAID

Unraid unterscheidet sich von herkömmlichen RAID-Systemen durch seine unkonventionelle Herangehensweise an die Datenspeicherung. Anstatt starre RAID-Strukturen zu verwenden, erlaubt es die Kombination von Laufwerken unterschiedlicher Größe und Marken innerhalb eines einzelnen Systems. Das ermöglicht es, den Speicher nach Bedarf einfach zu erweitern, ohne sich Gedanken über die typischen Einschränkungen eines Standard-RAID-Systems machen zu müssen. Die Basis des Netzwerkspeichers ist das sogenannte Array. Wie bei einem JBOD-Pool werden vorhandene Festplatten einfach zusammengelagert. Die Redundanz bietet das Array mit (mindestens) einem Paritätslaufwerk, welche im-

Vor- und Nachteile dreier NAS-Systeme

Unraid

VORTEILE:

- **Einfachheit:** Intuitive Benutzeroberfläche, ideal für Nicht-ITler oder Umsteiger von einem Fertig-NAS-System.
- **Flexible Laufwerksnutzung:** Erlaubt die Verwendung von Laufwerken unterschiedlicher Größe und Marken ohne Verlust von Speicherplatz. Es kombiniert also die JBOD-Funktion mit einem Paritätsschutz. Mittlerweile ist auch ZFS möglich.
- **Erweiterbarkeit:** Große Auswahl an Community-Plugins und Anwendungen.
- **Docker und VM-Unterstützung:** Ermöglicht die Ausführung von Docker-Anwendungen und das Hosten von virtuellen Maschinen.
- **Energieeffizienz:** Während bei einem RAID stets alle Festplatten aktiv ist, sind es in einem Unraid-Array lediglich die Platten, auf denen zugegriffen wird.

NACHTEILE:

- **Kosten:** Lizenzgebühren, abhängig von der Anzahl der Laufwerke
- **Eingeschränkte RAID-Funktionen:** Das Array bietet keine traditionellen RAID-Ebenen, was die Datensicherheit im Vergleich zu ZFS einschränken kann.
- **Abhängigkeit von Drittanbieter-Plugins:** Kann zu Sicherheitsrisiken führen, wenn diese nicht regelmäßig aktualisiert werden.
- **Performance:** Kein RAID im Array bedeutet auch, dass keine Geschwindigkeitsvorteile mit HDDs ermöglicht werden können. Dazu ist ein ZFS-Pool notwendig, welcher ein vorhandenes Array voraussetzt. Da kein TRIM, sind SSDs im Array nicht empfehlenswert.

TrueNAS (Core und Scale)

VORTEILE:

- **Robuste Datenintegrität:** Dank standardmäßig unterstütztem ZFS-Dateisystem, das fortschrittliche Funktionen wie Snapshots und Verschlüsselung bietet.

NACHTEILE:

- **Open-Source:** Keine Lizenzkosten, mit Community-Unterstützung.
- **Hohe Sicherheit:** Regelmäßige Updates und erweiterte Funktionen für Datenwiederherstellung.
- **Geeignet für anspruchsvollere Anwendungen:** Mehr technische Möglichkeiten für erfahrene Nutzer.

NACHTEILE:

- **Weniger benutzerfreundlich:** Besonders TrueNAS Core kann für Einsteiger herausfordernd sein. Wer noch nie ein Fertig-NAS hatte, sollte sich nicht hieran wagen.
- **Höhere Hardwareanforderungen:** Insbesondere wegen ZFS kann deutlich mehr RAM benötigt werden.
- **Weniger Plug-and-Play als Fertig-NAS:** Erfordert weit aus mehr Konfigurationsaufwand.

Fertig-NAS (Synology, QNAP, usw.)

VORTEILE:

- **Hochgradig benutzerfreundlich:** Intuitive und einfache Interfaces im NAS-Bereich, ideal für Anfänger.
- **Integrierte Anwendungen und Dienste:** Vielerlei direkt vom Hersteller bereitgestellte Funktionen.
- **Regelmäßige Updates und guter Support:** Gute Unterstützung direkt vom Hersteller.

NACHTEILE:

- **Kosten:** Obwohl das System kostenlos ist, ist die Hardware in der Regel teurer als ein vergleichbares System. Große Modelle mit Profi-Features sind sogar deutlich teurer, etwa mehr als vier Laufwerkseinschübe oder 10G-LAN.
- **Limitierte Erweiterbarkeit:** Softwareseitig stärker begrenzt auf Hersteller-eigene Lösungen und weniger Community-Plugins im Vergleich zu Unraid oder TrueNAS.
- **Deutlich weniger Flexibilität:** Nicht so anpassbar wie Unraid oder TrueNAS in Bezug auf erweiterte Konfigurationen und Drittanbieter-Software. Hardware nicht um- oder aufrüstbar.

mer die größte HDD im Array sein muss und dadurch alle Laufwerke im Array absichert. Auf die technischen Details verzichte ich an dieser Stelle. Aber wie auch die Redundanz eines RAID, handelt es sich bei der Parität nicht um ein Backup. Klar ist man damit gegen vereinzelte Ausfälle von Laufwerken etwas besser abgesichert. Aber wenn eine Malware Daten löscht oder verschlüsselt, hilft diese Redundanz auch nicht weiter. Auf welcher Festplatte im Array die Daten bzw. welche Daten zuerst geschrieben werden sollen oder wie voll sie jeweils sein soll, bevor andere verwendet werden, ist stets konfigurierbar. Mir gefiel daran, dass nicht etwa alle kombinierten Fest-

platten bei einem Zugriff laufen, sondern nur diejenigen, auf die zugegriffen wird. Das spart schon mal etwas Strom und schont auch die Laufwerke. Wegen der fehlenden TRIM-Funktion eignen sich SSDs nicht im Array. Die integriert man besser mit einem ZFS-Pool, was aber eigentlich die (native) Stärke von TrueNAS ist, aber mittlerweile auch in Unraid integriert wurde.

Zu den Vorteilen von Unraid gegenüber TrueNAS gehört die Möglichkeit, Laufwerke unterschiedlicher Größe im Array zu verwenden, solange das/die Paritätslaufwerk(e) so groß wie das größte Datenlaufwerk oder größer ist/sind. Da die Daten

direkt auf jedes Laufwerk geschrieben werden und nicht über mehrere Laufwerke verstreut sind, sind bei einem Ausfall von mehr als der zulässigen Anzahl von Laufwerken die Daten auf den verbleibenden Laufwerken noch vollständig verfügbar, was den Datenverlust minimiert. Im Gegensatz zu RAID muss beim Hinzufügen eines Laufwerks nicht das gesamte Array neu aufgebaut werden. Bei RAID-Levels (außer 0) werden Daten auf mehreren Festplatten in Stripes gespeichert, wobei die Stripes so verteilt sind, dass bei einem Ausfall einer oder mehrerer Festplatten (die Anzahl hängt vom RAID-Level ab) alle Daten noch auf die verbleibenden Festplatten ver-

teilt sind. Der Nachteil von RAIDs ist, dass alle Daten verloren gehen, wenn mehr Festplatten ausfallen, als für das RAID vorgesehen sind. Außerdem müssen die Festplatten alle die gleiche Größe haben. Wenn Festplatten unterschiedlicher Größe verwendet werden, nutzt jede Festplatte nur die Kapazität der kleinsten Festplatte. Das Hinzufügen von Laufwerken zu einem RAID bedeutet, dass das gesamte RAID aufwendig neu aufgebaut werden muss.

Unraid verwendet kein Striping wie klassische RAID-Lösungen. Die Daten werden nicht über Stripes verteilt, sondern direkt auf die Laufwerke geschrieben, und ein oder zwei Paritätslaufwerke sorgen für die Redundanz. Um den Prozess zu vereinfachen, betrachtet das Unraid-System bei Verwendung eines einzigen Paritätslaufwerks zunächst das erste Bit aller Nicht-Paritätslaufwerke und addiert die Nullen und Einsen. Wenn die Summe gerade ist, wird eine 0 in das erste Bit des Paritätslaufwerks geschrieben. Wenn

die Summe ungerade ist, wird eine 1 geschrieben, bis alle Datenbits berücksichtigt wurden. Wenn ein Datenlaufwerk ausfällt, beginnt Unraid die Wiederherstellung auf dem Ersatzlaufwerk, indem es erneut das erste Bit jedes Laufwerks addiert, es mit dem ersten Bit des Paritätslaufwerks vergleicht und dann entweder eine 0 oder eine 1 auf das Ersatzlaufwerk schreibt, damit die Summe wieder mit dem Paritätslaufwerk übereinstimmt.

Unraid-Arrays, die zwei Paritätslaufwerke verwenden, nutzen einen komplexen Algorithmus, um dasselbe zu erreichen wie ein System mit einem Paritätslaufwerk. Der Vorteil von zwei Paritätslaufwerken ist, dass bei einem Ausfall eines Paritätslaufwerks das Unraid immer noch geschützt ist. Der Verlust des Paritätslaufwerks bei einem Unraid mit einem Paar führt nicht zu Datenverlusten, die Daten sind lediglich ungeschützt, bis das Paritätslaufwerk ersetzt und wiederhergestellt werden kann.

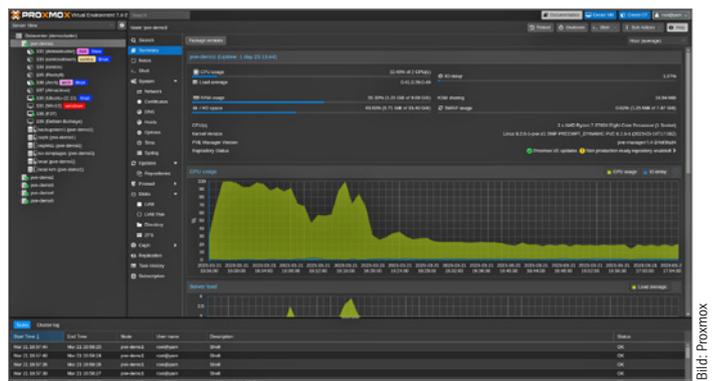


Bild: Proxmox

Proxmox wird oft mit Unraid oder TrueNAS verglichen, ist nur per se kein NAS-OS, sondern lediglich eine umfangreiche Basis für virtuelle Maschinen.

Es heißt zwar immer, Unraid sei kein RAID, aber das gilt nur für das Array. Natürlich lassen sich auch alle RAID-Varianten umsetzen, und sei es nur über virtuelle Umwege, wenn erforderlich: Die klassischen RAID-Kombinationen kommen heutzutage weniger zum Einsatz, es gibt einfach bessere Lösungen, aber zeitgemäße (ZFS-)RAIDs lassen sich mittlerweile auch mit Unraid umsetzen, wenn auch nicht im

Array mit Unraids einzigartigem Speicherkonzept. Seit der aktuellen Version 6.12 lässt sich endlich auch über die Oberfläche bequem ein ZFS-Pool erstellen.

Videodateien passen selten alle nur auf eine Festplatte allein und damit sie in der Performance nicht als Flaschenhals fungiert, werden sie zusammen zu einem Performance-RAID geschaltet. So ein RAID 0 hat den Vorteil, dass die Geschwindigkeit mit der Anzahl der Festplatten multipliziert wird, da die Daten von bzw. auf mehrere HDDs gleichzeitig gelesen bzw. geschrieben werden. Nun hat das aber den Nachteil, dass alle (!) Daten verloren sind, wenn nur eine der Festplatten ausfällt. So ein RAID halte ich nicht mehr für zeitgemäß und arbeite lieber mit SSDs im RAID-Z, während das Array mit standardmäßigem XFS als Datengrab nebenher dient. Bevor Unraid ZFS in die Oberfläche integrierte, konnte das Array bereits mit einer SSD als Cache im Pool beschleunigt werden. Dort war es dann Konfigurationssache, was wann und wie dort zwischengespeichert wurde. Ich halte zwei verschiedene Freigaben aus HDDs und SSDs für einfacher und übersichtlicher - zumindest für den Anfang. Btrfs ist als Dateisystem auf NAS-Systemen noch gebräuchlich, aber spätestens das auswählbare ReiserFS gilt als veraltet.

Virtualisierung mit Unraid

Mit dem integrierten VM-Manager können Benutzer direkt auf ihrem Unraid-System VMs einrichten und betreiben. Diese Flexibilität eröffnet eine Welt von Möglichkeiten – von der Ausführung verschiedener Betriebssysteme wie Windows oder

Wichtige NAS-Dateisysteme im Überblick

ZFS (Zettabyte File System):

VORTEILE

- **Datenintegrität:** ZFS bietet eine hohe Datenintegrität und Prüfsummen, was die Datensicherheit erhöht.
- **Snapshots:** Unraid unterstützt die Verwendung von ZFS-Snapshots für die Sicherung von Daten und das Wiederherstellen zu einem bestimmten Zeitpunkt.
- **RAID-Z:** ZFS bietet effiziente RAID-Implementierungen wie RAID-Z und RAID-Z2 für den Schutz von Daten.

NACHTEILE

- **Ressourcenanforderungen:** ZFS kann deutlich mehr Arbeitsspeicher und Rechenleistung erfordern, was bei älterer Hardware zu Einschränkungen führen kann.
- **Lizenzierung:** Die CDDL-Lizenz von ZFS kann zu Kompatibilitätsproblemen mit Unraid führen.

XFS (XFS File System):

VORTEILE

- **Skalierbarkeit:** XFS ist für große Dateisysteme und hohe Leistung optimiert, was in Unraid von Vorteil sein kann.
- **Journaling:** XFS verwendet Journaling, um Datenkonsistenz sicherzustellen und eine schnelle Wiederherstellung nach einem Absturz zu ermöglichen.
- **Online-Vergrößerung:** XFS unterstützt die Online-Vergrößerung von Dateisystemen, was in Unraid nützlich ist.

NACHTEILE

- **Keine integrierte Deduplizierung:** Im Gegensatz zu ZFS bietet XFS keine integrierte Deduplizierungsfunktion.

- **Begrenzte Datenkompression:** XFS bietet nicht die gleichen umfangreichen Datenkompressionsmöglichkeiten wie ZFS oder Btrfs.

Btrfs (B-tree File System):

VORTEILE

- **Snapshots und Cloning:** Btrfs unterstützt Snapshots und das Klonen von Dateisystemen, was in Unraid für Sicherungen und Tests nützlich sein kann.
- **Datenkompression:** Btrfs bietet Datenkompression, um Speicherplatz zu sparen.
- **Deduplizierung:** Btrfs bietet Deduplizierungsfunktionen, um redundante Daten zu entfernen.
- **Flexibilität:** Btrfs ermöglicht das Hinzufügen und Entfernen von Geräten sowie die Konvertierung von RAID-Levels, ohne das Dateisystem neu zu formatieren.

NACHTEILE

- **Stabilität:** Einige Benutzer haben Bedenken hinsichtlich der Stabilität von Btrfs, insbesondere in älteren Kernelversionen – in aktuellen Betriebssystemen ist das aber nicht mehr relevant.
- **Ressourcenverbrauch:** Btrfs kann mehr Ressourcen als einige andere Dateisysteme erfordern.
- **Fragmentierung:** Bei Btrfs kann es zu Fragmentierung kommen, wenn das Dateisystem stark beansprucht wird.

Linux auf demselben physischen Server bis hin zu spezieller Software, die nicht nativ auf Unraid läuft. Darüber hinaus ermöglicht es Docker, Anwendungen in isolierten Containern zu betreiben, was eine saubere und effiziente Verwaltung verschiedener Softwarelösungen ermöglicht. Diese Containerisierung ist besonders nützlich für das Hosting von Webanwendungen, Datenbanken und Entwicklungstools, da sie eine konsistente und portable Umgebung für diese Anwendungen bietet.

Die Benutzerfreundlichkeit ist ein weiterer Pluspunkt der Virtualisierung mit Unraid. Durch eine intuitive Benutzeroberfläche können auch weniger technisch versierte Anwender VMs und Docker-Container mit relativer Leichtigkeit einrichten und verwalten. Für gängige Anwendungen und VMs bietet Unraid außerdem vorgefertigte Templates und Plugins, die den Einrichtungsprozess vereinfachen. Ein spezielles Feature von Unraid im Bereich der Virtualisierung ist die

komfortable Möglichkeit des Hardware-Passthroughs. Dies erlaubt es, bestimmte Hardwarekomponenten, wie beispielsweise Grafikkarten, direkt einer VM zuzuweisen. Diese Funktion ist besonders wertvoll für Anwendungen, die eine hohe Grafikleistung benötigen, wie etwa Gaming, Grafikdesign oder Videoverarbeitung. Bislang belegt in meinem Heimserver ein M.2-Adapter den Grafikkarten-Slot. Nun habe ich aber nicht vor, ihn als Renderserver oder dergleichen zu verwenden.

Schließlich ist die Netzwerkintegration ein wichtiger Aspekt der Virtualisierung mit Unraid. VMs und Docker-Container können nahtlos in das bestehende Netzwerk integriert werden, was den Fernzugriff und die Kommunikation zwischen verschiedenen Diensten vereinfacht. Fortgeschrittene Nutzer profitieren auch von den erweiterten Netzwerkkonfigurationsoptionen, die eine optimale Integration der virtuellen Maschinen und Container in ihr Netzwerk ermöglichen. Unraid ist bereits eine mächtige Basis für

Virtualisierung und mag für manche ein Pluspunkt gegenüber TrueNAS, obwohl prinzipiell all das dort ebenso möglich ist, wenn auch nicht ganz so komfortabel.

Unraid: Kostenpflichtiges Linux-System

Im Gegensatz zu einigen anderen NAS-Betriebssystemen, wie etwa TrueNAS, das kostenlos ist, basiert Unraid auf einem Lizenzmodell. Die Kosten der Lizenz hängen von der Anzahl der Laufwerke im System ab. Für Anwender, die ein NAS mit einer großen Anzahl von Laufwerken planen, kann dies zu höheren Anfangskosten führen. Hier handelt es sich aber um eine Einmalzahlung, das muss heutzutage dazu erwähnt werden. Es muss also nichts extra dazu abonniert oder gekauft werden. Einmal gekauft und das System ist vollständig und für immer nutzbar. Außerdem sind die 30 Tage Testzeitraum der Vollversion fair. Die Lizenz ist an den USB-Stick gebunden, welcher fürs Booten zwingend erforderlich ist. Der Stick kann sowohl positiv als auch

negativ bewertet werden. Wenn er stirbt, muss die Lizenz per Unraid-Support auf einen neuen übertragen werden. Backup-Möglichkeiten des Sticks gibt es im System aber mehrere (komfortable). Der Boot-Stick ist insofern praktisch, da kein dediziertes System-Laufwerk einen M.2- oder SATA-Slot belegt. Er wird tatsächlich nur zum Booten gebraucht, es reicht also USB 2.0. Es ist nicht so, dass er etwa als aktive Systempartition erhalten muss. Im Booten wird Unraid in den RAM geschrieben und es läuft dann komplett von dort aus. Ein großer Teil der Funktionalität von Unraid kommt von Drittanbieter-Plugins. Obwohl diese Plugins eine große Flexibilität und Erweiterbarkeit bieten, können sie auch Sicherheitsrisiken darstellen, wenn sie nicht regelmäßig aktualisiert werden. Zudem kann die Qualität und der Support für diese Plugins variieren, da sie nicht direkt von Unraid kontrolliert werden. Oftmals werden sie oder deren Features aber in kommende Updates integriert, wie kürzlich die native ZFS-Unterstützung.

LC-POWER™
www.lc-power.com



LC1200P V3.0
PLATINUM SERIES

1200 W
ATX 3.0
2x PCIe 5.0 12+4-Pin

TrueNAS: die mächtige, aber etwas sperrige Profi-Lösung

Gleich vorneweg: Ich bin bereits im Team Unraid, habe mich mit TrueNAS selbst also viel weniger beschäftigt, weil mich die Nicht-RAID-Vorteile und der Benutzerkomfort bereits im Vorfeld überzeugt haben. Zur Recherche und natürlich aus schier reiner Neugier habe ich auch TrueNAS verwendet, wenn auch „nur“ in einer virtuellen Maschine von Unraid.

TrueNAS ist der Nachfolger des einstigen FreeNAS. Es ist zweigeteilt in die Versionen TrueNAS Core und TrueNAS Scale. Core basiert auf FreeBSD, einem freien Betriebssystem, das für Privatanwender noch irrelevanter ist als Linux selbst, während TrueNAS Scale auf Debian (Linux) basiert, womit Heimanwender grundsätzlich etwas eher vertraut sind (oder werden) als mit FreeBSD. Die Unterschiede beider Versionen sind an sich aber weniger relevant. So unterstützt das linuxbasierte Scale auch Clustering, also den Zusammenschluss mehrerer physischer Server zu einem System – quasi das Gegenteil von virtuellen Maschinen. Scale ist zwar vom Funktionsumfang für professionelle Server etwas besser geeignet, aber wegen des vertrauten Linux-Ökosystems für Privatanwender auch. Nichtsdestotrotz gilt TrueNAS Core als robust und könnte eine Alternative für all jene FreeNAS-Nutzer sein, die ein

einfaches aber stabiles NAS-System aufsetzen möchten.

Doch lieber ein RAID? Dann besser per ZFS!

Das Dateisystem ZFS ist eines der Kernmerkmale von TrueNAS und spielt eine entscheidende Rolle in seiner Funktionsweise und Leistungsfähigkeit. ZFS ist ein fortschrittliches Dateisystem und Volume-Manager, der speziell für hohe Datenintegrität und -verfügbarkeit entwickelt wurde. In TrueNAS wird ZFS umfassend genutzt und bietet mehrere Schlüsselfunktionen. Neben dem Unraid-Array ist ZFS wohl linuxseitig die beste Empfehlung für eine zeitgemäße RAID-Lösung. ZFS bietet eine eigene Art von RAID, bekannt als RAID-Z, die besser für Disk-Array-Gruppen geeignet ist und ohne die typischen Nachteile herkömmlicher RAID-5/6-Konfigurationen auskommt: So kann es zu einem Problem kommen, das als „RAID write hole“ bekannt ist. Dies tritt auf, wenn während eines Schreibvorgangs ein Stromausfall oder Systemabsturz erfolgt, was zu inkonsistenten oder unvollständigen Daten auf den Festplatten führen kann. RAID-Z verhindert das Schreiblochproblem durch das Atomic Write-Feature von ZFS, das sicherstellt, dass entweder alle oder keine Daten eines Schreibvorgangs auf den Festplatten landen. Traditionelle RAID-Systeme können nicht

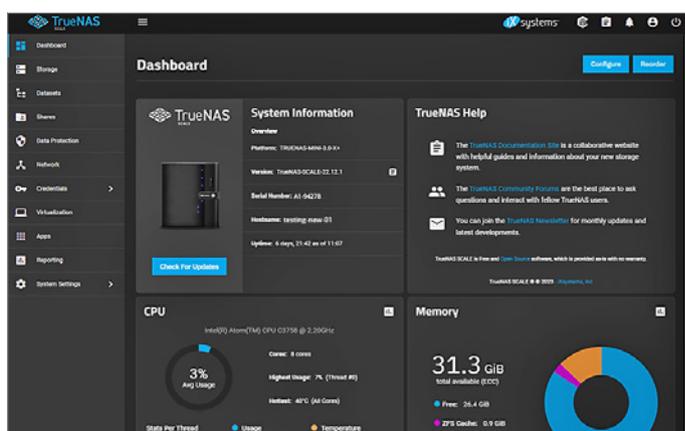
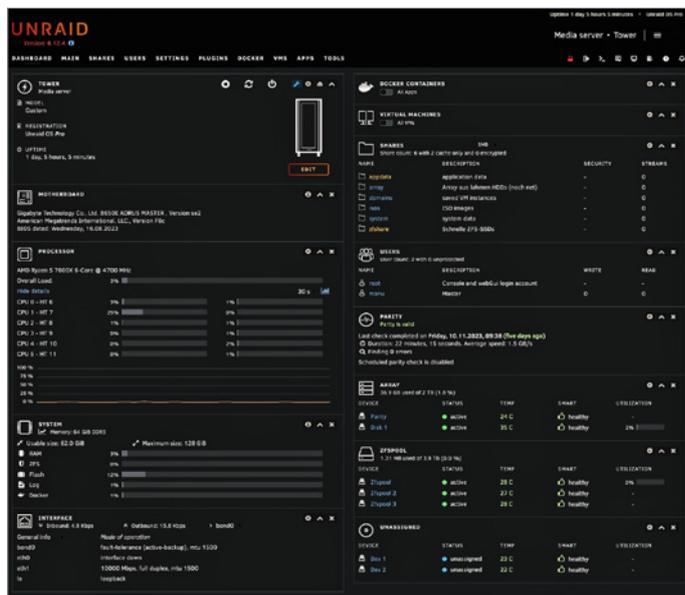
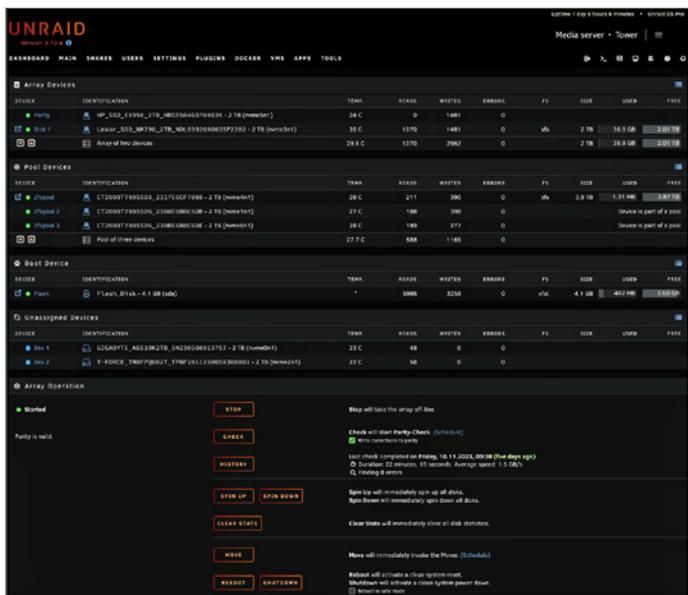


Bild: ix-Systems

Die Web-Oberfläche von TrueNAS ist optisch ansprechend, übersichtlich und umfangreich. Weniger erfahrene Nutzer finden sich hier jedoch nicht so schnell zurecht.

feststellen, ob die gelesenen Daten korrupt sind, da sie keine Checksummen für die Daten verwenden. ZFS hingegen verwendet Checksummen für alle Daten und kann erkennen, wenn ein Datenblock beschädigt ist. ZFS kann diesen dann automatisch von einer anderen Disk im Array wiederherstellen und reparieren. Diese Funktion wird auch als Selbstheilung beschrieben. RAID-5/6 kann bei partiellen Schreibvorgängen (Schreiben von Daten, die kleiner als ein vollständiger Disk-Block sind) ineffizient sein, da es dazu führen kann, dass der gesamte Block gelesen, modifiziert und dann neu geschrieben werden muss. ZFS und RAID-Z minimieren dieses Problem durch die Nutzung des Copy-on-Write-Prinzips, das effiziente

re Schreibvorgänge ermöglicht. Ein herkömmliches RAID-5/6-Array zu erweitern kann kompliziert und riskoreich sein, insbesondere wenn es um das Hinzufügen neuer Laufwerke geht. Während ZFS mit RAID-Z nicht dynamisch erweiterbar (ein Vorteil des Unraid-Arrays), bietet es dennoch einen einfacheren Prozess für das Erstellen neuer VDEVs und das Hinzufügen dieser zum Pool für zusätzlichen Speicherplatz. Solche VDEVs sind Zusammenschlüsse aus den Laufwerken und ihrer Parität. Soll der Pool erweitert werden, muss stets ein neuer, zusätzlicher VDEV erstellt werden. Ein RAID-Z zu erweitern ist zwar prinzipiell möglich, aber eben etwas aufwändiger als beim simplen Array-Zusammenschluss von Unraid.



Unraid bietet eine komfortable, übersichtliche und gleichzeitig umfangreiche Web-Oberfläche. Unter „Main“ werden Arrays und Pools verwaltet.

Unraids frei konfigurierbares Dashboard bietet den ultimativen Überblick über das gesamte System, also Hardware- und Software-Auslastungen.

**FREUNDE WERBEN.
UND BELOHNT WERDEN.**

PC-SPIEL KOSTENLOS ALS KEY!

Empfehl **PCGH** weiter und freut euch über ein brandaktuelles Spiel von **GAMESPLANET!** Das Beste: Der Werber muss selbst kein Abonnent sein!



1 **SPIEL AUSSUCHEN**
➤ pcgh.de/gamesplanet

2 **ABO BESTELLEN**
➤ pcgh.de/1-jahres-abo
➤ pcgh.de/2-jahres-abo

3 **KEY EINLÖSEN**
➤ bei Gamesplanet



PLUS VIELE WEITERE SPIELE!

➤ **12 AUSGABEN PCGH DVD**
UND **TOP-SPIEL GLEICH BESTELLEN:**

PCGH.DE/1-JAHRES-ABO *

*1-Jahres-Abo DVD: 93,- Euro
(Stand Januar 2023)



PLUS VIELE WEITERE SPIELE!

➤ **24 AUSGABEN PCGH DVD**
UND **TOP-SPIEL GLEICH BESTELLEN:**

PCGH.DE/2-JAHRES-ABO **

**2-Jahres-Abo DVD: 186,- Euro
(In Deutschland - Stand Januar 2023)



PCGH-ABO? DESWEGEN:

- STARKE PREISVORTEILE
- KEINE AUSGABE VERPASSEN
- BEI ZAHLUNG PER BANKEINZUG SOGAR ZWEI HEFTE KOSTENLOS!
- FRÜHER BEI EUCH ALS AM KIOSK
- KOSTENLOSE ZUSTELLUNG PER POST

ZFS ist RAM-hungrig (er als Chrome)

Den RAM-Hunger bekommt TrueNAS wegen nativer ZFS-Unterstützung hier auf jeden Fall. Während das Unraid-Array hier genügsam ist und eine SSD im Pool als Cache verwenden kann, erfordern die ZFS-Funktionen auf jeden Fall viel Arbeitsspeicher – also egal ob mit TrueNAS oder Unraid. Als Faustregel wird oft empfohlen, mindestens 1 GB RAM für jedes TB an Speicherplatz im ZFS-Pool zu haben. Diese Empfehlung dient der Grundkonfiguration ohne anspruchsvolle Zusatzfunktionen. Eine der RAM-intensivsten Funktionen in ZFS ist die Deduplizierung. Wenn diese Funktion aktiviert ist, kann der RAM-Bedarf erheblich steigen, oft wird empfohlen, mindestens 5 GB RAM pro TB Speicherplatz im Pool

zu haben. Deduplizierung sollte nur in Umgebungen mit ausreichendem RAM und nach sorgfältiger Planung verwendet werden. Mehr RAM kann die Leistung von ZFS verbessern, da ZFS aktive Daten im RAM für schnelleren Zugriff zwischenspeichert (ARC – Adaptive Replacement Cache). In leistungsintensiven Umgebungen oder bei großen Datenmengen kann daher mehr RAM als die Grundempfehlung sinnvoll sein.

Für Server- und Unternehmensumgebungen wird oft ECC-RAM (Error-Correcting Code RAM) empfohlen, um die Datenintegrität weiter zu erhöhen, da ECC-RAM Fehler erkennen und korrigieren kann. Bislang steckt in meinem Server auch noch schnöder DDR5-RAM. eine ECC-Variante steht be-

reits auf dem Weihnachts-Wunschzettel. Davon abgesehen erfordern viele Spielereien mit Virtualisierungen auch entsprechend viel RAM. Neben ECC-RAM sind noch andere Sicherungen eines dauerhaft laufenden Servers eine Überlegung wert, etwa die einer USV (unterbrechungsfreien Stromversorgung).

Fertig-NAS: Viele vorgefertigte Consumer-Features

Jetzt habe ich ziemlich viel für ZFS erworben. Es ist schließlich ein mächtiger RAID-Unterbau. aber warum kommt es in den kleinen Fertig-NAS-Würfeln mit zwei bis max. vier Einschüben nicht zum Einsatz? Einfach deswegen, weil es fast schon zu mächtig ist und diese Macht einiges an Rechenleistung und entsprechend Strom verbraucht. Die NAS-Systeme von

Synology, QNAP und Co. verfügen über relativ schwache Hardware, oftmals nur ein Celeron samt 4 GB RAM. An sich reicht das auch für einige Backup-Aufgaben und die heimische Mini-Cloud, weswegen hier Ext4 oder Btrfs die Wahl ist. Aber was dem Dateisystem selbst an Features und Sicherheit fehlt, wird mit dem Betriebssystem wettgemacht, etwa mit komfortablen Backup-Lösungen, sowohl für heimische Client-Rechner als auch für den Speicherpool des NAS an sich. Was den kleinen Fertiggeräten an Flexibilität fehlt, machen sie eben mit Apps wett, die auf den Privatanwender zugeschnitten sind. Synology glänzt etwa mit einer guten App zur Fotoverwaltung samt (optionaler) Gesichtserkennung. Oder ein nativ integriertes System zur Videoüberwachung und -aufzeichnung. (mc)

NAS-Betriebssysteme im Vergleich

			
Betriebssystem	Linux-basiert	Linux-basiert	Linux-basiert & nur auf Ihrer Hardware
Open Source	Ja, aber kostenpflichtig	Ja, kostenlos	Nein
Zentralisierte Verwaltungsoption	Unraid Connect	TrueCommand	Active Insights
Online-Verwaltung	Unraid Connect	Nein	Synology QuickConnect
Festplattenunterstützung	SATA/SAS/NVME & meisten gängigen Laufwerke	SATA/SAS/NVME & meisten gängigen Laufwerke	Variiert je nach Modell
Unterstützte Dateisysteme	XFS, Btrfs, ReiserFS, ZFS	ZFS	BTRFS oder Ext4
Freigabetypen	NFS, SMB/CIFS, iSCSI (über Plugins)	NFS, SMB/CIFS, iSCSI, WebDAV	NFS, SMB/CIFS, iSCSI, WebDAV
RAID-Unterstützung	Parität, kein traditionelles RAID	RAID-Z, RAID-Z2, RAID-Z3, Spiegel, ZFS Spezial VDEV-Typen	RAID 0, 1, 5, 6, 10, SHR, F1, & JBOD
Erweiterung bestehender RAID-Setups	Ja, aber begrenzt auf Paritätserweiterung	Ja, aber VDEVs müssen symmetrisch sein	Ja
Deduplizierung	Ja, nur per ZFS	Ja	Ja
Virtualisierungsunterstützung	Ja, über integrierten VM-Manager und Docker-Unterstützung	Ja	Ja
Docker-Unterstützung	Ja, über Community-Anwendungen	Ja, aber nicht standardmäßig	Ja, aber nicht standardmäßig
Native Verschlüsselung	Ja, für einzelne Laufwerke oder Volumes	Ja	Ja, bei Verwendung von BTRFS
Snapshot-Unterstützung	Ja, über Plugins oder ZFS	Ja, ZFS	Ja, bei Verwendung von BTRFS
Replikation	Ja, über Plugins und manuelle Konfiguration	Ja: Zu anderen ZFS-Zielen wie TrueNAS Scale oder Core	Ja: Zu anderen Synology-Geräten, die BTRFS nutzen
Backup auf externe Dienste	Beliebte Cloud-Dienste und benutzerdefinierte Ziele, über Plugins	Beliebte Cloud-Dienste und benutzerdefinierte Ziele	Beliebte Cloud-Dienste und benutzerdefinierte Ziele
Plugins/Erweiterungen	Ja, umfangreiche Auswahl über Community-Anwendungen	Ja, über App-Store & Drittanbieter-Stores wie TrueCharts	Ja, über ihren App-Store und einige Drittanbieter-Apps
Web-basierte Schnittstelle	Ja	Ja	Ja
Active Directory-Unterstützung	Ja	Ja	Ja
Anwendungseinrichtung & -verwaltung	Benutzerfreundlich, aber abhängig von Community-Plugins	Komplexer	So einfach wie nur möglich
NVR/Überwachungssystem	Ja, über Plugins	Derzeit nicht	Ja, aber benötigt einmalige Lizenzen
Backup Ihrer Computer	Ja, über Plugins	Derzeit nicht	Active Backup
Backup von Office 365 / Gsuite	Möglich über Drittanbieter-Tools und Plugins	Derzeit nicht	Active Backup 365/Google
Foto-App mit Smartphone-Backup	Möglich über Drittanbieter-Plugins	Photoprism / kein natives Smartphone-Backup	Synology Photos
Office Suite	Über Drittanbieter wie NextCloud	Open Source NextCloud	Synology Office
Datei-Sync-App für Client oder Server	Verschiedene Optionen über Community-Apps	Syncthing (komplexere Einrichtung)	Synology Drive & hat Mobile Client
Media Player Apps	Plex / Emby / und weitere über Community-Anwendungen	Plex / Emby / Mehr über Drittanbieter TrueCharts Katalog	Plex / Emby / Video Station

FETT!



Zwei
DVDs!

PLUS
16 Seiten
extra!

Inkl. Top-
Vollversion!

PC GAMES – WISSEN, WAS GESPIELT WIRD



WWW.PCGAMES.DE | BEQUEM ONLINE BESTELLEN: SHOP.PCGAMES.DE



Bild: Deutsche Glasfaser / Michael Bader

Licht und Schatten

Glasfaser-Leitungen bieten hohe Datenraten, bringen aber ihre eigenen Herausforderungen und Probleme mit sich. Wir geben einen Überblick.

Es ist der Traum jedes von Lags geplagten Spielers: eine vernünftige Internetleitung. Doch für ebendiese muss man oft auf den langwierigen Netzausbau warten. Auf den letzten Metern verbleiben dabei in vielen Fällen noch Kupferkabel, erst auf größeren Strecken werden hohe Datenraten inzwischen quasi durchgängig mittels optischer Übertragung erreicht. Grund dafür sind die vielen Unzulänglichkeiten der klassischen, elektrischen Kommunikation. Den in der Leitung transportierten Signalen macht dabei nicht nur der elektrische Widerstand zu schaffen, sondern insbesondere auch die Kapazität und die Induktivität: Um jedes Kabel entsteht ein magnetisches Feld, das umliegende Kabel beeinflusst. Das sorgt für verzerrte Signalfanken und kann Übersprechen verursachen, sodass das Signal auf umliegende Kabel abfärbt. All diese

Effekte führen dazu, dass Kupferleitungen zwar zweifellos ihre Anwendungszwecke haben, aber dass es für besonders hohe Datenraten einen anderen Übertragungsweg braucht: die Glasfaser.

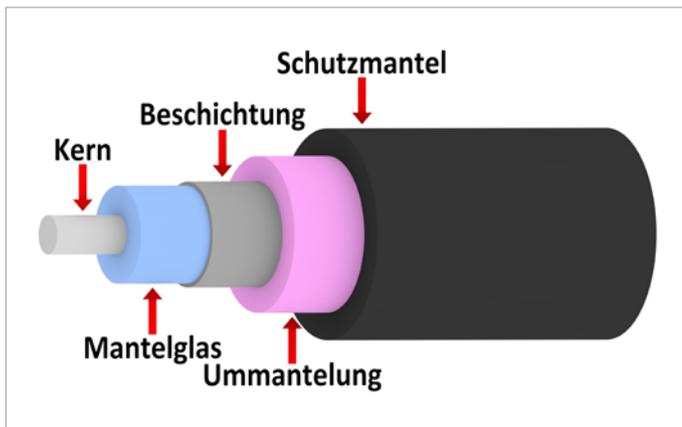
Das Grundkonzept ist dabei denkbar einfach. Statt mit Elektronen werden die Daten mit Photonen, also mit Lichtteilchen beziehungsweise Lichtwellen transportiert. Diese werden durch eine lange Leitung aus transparentem Material geleitet, bis sie am Ende auf den Empfänger treffen. Als Bonus erfolgt diese Kommunikation dann auch noch maximal schnell in Lichtgeschwindigkeit – so hört man es zumindest oft. In der Praxis ist die optische Übertragung leider weit komplexer, denn sie hat mit eigenen Effekten zu kämpfen, die die Übertragung erschweren. Dadurch lassen sich heute zwar deutlich höhere Da-

tenraten als mit Kupferleitungen erreichen, dafür muss aber eben auch einiger Aufwand betrieben werden.

LED und Laser

Die Probleme beginnen bereits bei der Erzeugung der Lichtpulse: Diese sollen möglichst fokussiert sein, was mit LEDs kaum möglich ist. Sie können zwar trotzdem verwendet werden, das ist aber nur in Anwendungsbereichen mit einer niedrigeren Datenrate üblich, die oft auch mit klassischen, elektrischen Verbindungen erreicht werden kann. Trotzdem kann die Datenübertragung mit Licht auch hier Vorteile bieten. Das zeigt sich etwa bei der Audioverbindung Toslink, die auf vielen Mainboards an der I/O-Blende verbaut ist. Wird diese genutzt, kann das Audiosignal nicht durch umliegende Leitungen oder abweichende Betriebsspannungen von Lautsprecher und PC verfälscht werden.

Interessant ist die Datenübertragung per Glasfaser aber natürlich insbesondere wegen ihrer hohen Datenrate, und dafür sind LEDs keine Lösung. Stattdessen müssen Laser eingesetzt werden, die das Licht als enger Strahl in einen Signalmodulator und dann in die Faser geben können. Dort wird das Licht dann durchgehend weitergeleitet, bis es am Ende beim Empfänger ankommt, der es detektiert. In der Praxis setzt man dabei längst auf Empfänger, die auch feine Unterschiede bei der Lichtintensität oder einem zeitlichen Versatz erkennen können, wodurch zusätzliche Daten transportiert werden können. Einfacher ist es aber, sich einfach vorzustellen, dass der Laser einfach für jede „1“ einen Lichtpuls schießt, und für eine „0“ eben keinen. Als Empfänger reicht dann eine einfache Fotodiode aus, die überprüft, ob aktuell Licht ankommt – oder eben



Exemplarischer Aufbau einer Glasfaserleitung. Das Licht breitet sich nur im Kern aus, der von verschiedenen Stabilisierungs- und Schutzschichten umgeben ist.

nicht. Ideal wäre es dabei, wenn das Licht genau so am Ende ankommen würde, wie es am Anfang eingestrahlt wird. Die dazwischenliegende Faser verhindert das aber, denn die optische Datenübertragung ist leider keineswegs so ideal, wie man es erwarten würde.

Faseraufbau und -arten

Optische Verbindungsleitungen werden natürlich so gebaut, dass sie möglichst wenig Probleme verursachen. Außen befinden sich eine oder mehrere Schutzschichten, bevor eine Beschichtung und anschließend das Mantelglas folgen. Eben-dieses umschließt den Kern, in dem das Licht übertragen wird. Möglich ist das durch den unterschiedlichen Brechungsindex zwischen Kern und Mantel. Dadurch reflektieren die Lichtstrahlen vollständig am Übergang von Kern und Mantel, was sie immer weiter nach vorne leitet.

Je nach Durchmesser und Gestaltung des Kerns wird dabei zwischen mehreren Fasertypen unterschieden. Ist der Kern recht dick, etwa im Bereich um 50 µm, dann können sich in der Faser mehrere Moden ausbreiten. Anschaulich kann man sich vorstellen, dass das Licht in der Faser in verschiedenen Winkeln reflektieren kann. Um tatsächlich nach vorne zu gelangen, reist das Licht also – je nach Winkel – eine unterschiedliche Distanz. Das sorgt beim Empfänger dafür, dass dasselbe Lichtsignal zeitlich verzerrt ankommen kann – man spricht von einer Modendispersion, die die Signalqualität verschlechtert. Abfedern lässt sich dieses Problem mit einer Gradientenindexfaser. Dort

gibt es keinen plötzlichen Unterschied beim Brechungsindex, sondern einen fließenden Übergang. Statt in einer einzelnen Totalreflexion zurückgeworfen zu werden, bricht sich das Licht hier mehrfach und beschreibt einen Bogen zurück zur Mitte der Faser. Stellvertretend könnte man sich eine Aneinanderreihung von Prismen vorstellen, von denen jedes den ursprünglich nach außen strebenden Lichtstrahl ein Stück weiter in Richtung der Fasermittelpunkt bricht, also umleitet. Ausgeprägte Bogenbahnen sind zwar immer noch deutlich länger, als der kürzeste Weg entlang der Faserachse und Signale legen somit auch in Gradientenindexfasern unterschiedliche Strecken zurück. Die am Rand niedrigeren Brechungsindizes resultieren aber praktischerweise in unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeiten im jeweiligen Medium – ein Signal, das zusätzliche Strecke im Außenbereich einer Gradientenindexfaser zurücklegt, ist im dortigen Material also auch deutlich schneller unterwegs. Dadurch kann die Modendispersion abgeschwächt, aber nicht ganz annulliert werden.

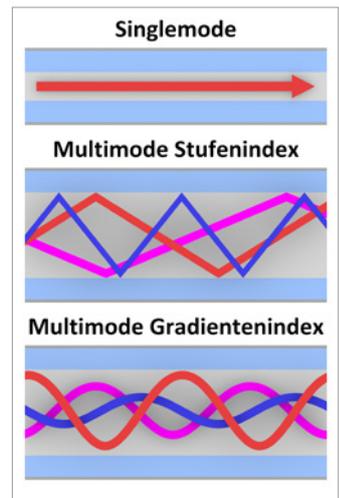
Letzteres ist nur mit Singlemode-Fasern möglich. Bei diesen ist der Kern mit z.B. 9 µm Durchmesser deutlich schmaler. Dadurch gibt es nur einen Ausbreitungsweg für das Licht und somit keine zeitlichen Unterschiede. Im Gegenzug ist der dünnere Kern aber empfindlicher. Zudem wird bei Singlemode-Fasern ein Laser zum Einkoppeln des Lichts benötigt, wohingegen Multimode-Fasern auch mit LEDs betrieben werden können. Für günstigere, lokale Netzwerke, etwa in einem

Haus oder einem Rechenzentrum, haben Multimode-Fasern damit durchaus ihre Daseinsberechtigung. Für große Strecken sind Singlemode-Fasern aber alternativlos.

Materialien & Möglichkeiten

Neben dem Kerndurchmesser und dem Gradientenprofil gibt es auch bei den Materialien Unterschiede. Für große Strecken bestehen Kern und Mantel üblicherweise aus hochreinem Quarzglas – also Siliziumdioxid (SiO₂). Dieses kann mit der aus der Halbleiterfertigung bekannten, chemischen Gasphasenabscheidung (CVD, PCGH 02/2022) hergestellt werden. Anschließend lassen sich die gewünschten Eigenschaften, etwa der abweichende Brechungsindex, durch Dotierung erzeugen. Für kürzere Distanzen können Kern und Mantel dagegen auch aus Polymeren gefertigt werden. Die Glasfasern sind dadurch flexibler und damit leichter zu verlegen. Sie weisen aber eine deutlich höhere Dämpfung auf. Sprich: Das Licht verliert schnell an Kraft und kann früher nicht mehr erkannt werden.

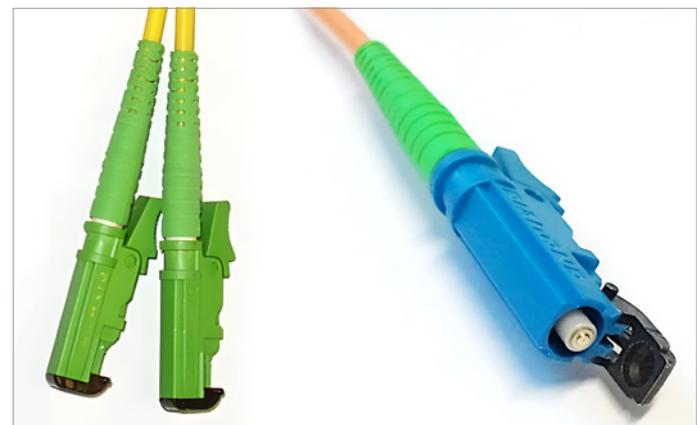
Um Daten mit hoher Bandbreite und über große Entfernung übertragen zu können, sollte die Dämpfung möglichst gering sein. Weil das bei Polymerfasern nicht der Fall ist, werden diese üblicherweise nur im Bereich bis 100 Meter und damit in lokalen Netzen verwendet. Dort stehen sie allerdings in Konkurrenz zu Kupferleitungen: Aktuelle Cat-8-Kabel erreichen bereits Übertragungsraten von 40 Gbit/s, die übliche Anforderungen oft abdecken.



Am Markt gibt es verschiedene Fasertypen. Bei Multimode-Fasern mit Stufenindex kommt es aufgrund unterschiedlicher Reisedistanzen zu abweichenden Laufzeiten.

Für lange Strecken und noch höhere Datenraten sind Glasfasern aber alternativlos. Mit einem Kern aus Quarzglas können diese auch mehrere Dutzend Kilometer überbrücken, bevor das Signal zu schwach wird.

Relevant ist dabei nicht nur die Länge allein, sondern auch die Verlegung und die Verbindung. Enge Biegeradien führen zu veränderten Reflexionswinkeln und damit zu einer Abschwächung des Lichts, ebenso wie die Verbindung von Leitungen. Für die Festverlegung im Boden werden einzelne Leitungen deshalb verspleißt, wobei die Glaskerne beider Adern miteinander verschmolzen werden. Dadurch



Für Glasfasern gibt es verschiedene Stecker, etwa den hier gezeigten E2000. Dieser verfügt über eine Schutzkappe, um Verschmutzungen und Verletzungen zu verhindern.

wird eine geringe Dämpfung erreicht, ideal ist die Verbindung aber nicht. Die zahlreichen am Markt verfügbaren Stecker, bei denen die Kerne aufeinandergelegt werden, sind aber noch schlechter. Durch imperfekte Oberflächen oder gar Verschmutzungen kann es hier zu einem deutlich stärkeren Leistungsverlust kommen. Das ist aber nicht der einzige Grund, warum einige Glasfaserstecker über Schutzkappen verfügen, die sich erst beim Einstecken automatisch öffnen. Denn je nach Sender kann das Licht in der Faser, auch wenn es für den Menschen meist nicht sichtbar ist, aufgrund seiner Intensität zu Verletzungen führen – etwa Teile der Netzhaut verbrennen.

Licht mit Licht verstärken

Selbst mit viel Sendeleistung, möglichst wenig Spleißverbindungen und guten Steckern: Irgendwann ist das Licht am Ende der Leitung so schwach, dass es nicht mehr nutzbar ist – immerhin reden wir hier vom „Blick“ durch ein dutzende Kilometer „dickes“ Stück Glas. Für große Strecken müssen deshalb Verstärker verbaut werden, die das Signal möglichst verzerrungsfrei wieder auf seine ursprüngliche Leistung anheben. Ein primitiver Ansatz wäre es hierfür, die Daten einfach wieder mit einem Empfänger auszulesen und

neu in einen Laser einzuspeisen. Standard ist heutzutage aber eine andere, einfachere Lösung: der Erbium Doped Fiber Amplifier, kurz EDFA. Dieser ermöglicht eine rein optische Verstärkung. Das Lichtsignal wird also direkt verstärkt, ohne dass man es auslesen muss.

Dazu macht man sich die normale Lichtabsorption von Stoffen zunutze. Trifft Licht der passenden Wellenlänge auf ein Material, wird ein Elektron in dessen Hülle angeregt und bewegt sich auf eine weiter vom Kern entfernte Schale – man spricht auch von einem höheren Energieniveau. Nach einiger Zeit fällt das Elektron im Rahmen einer spontanen Emission dann von selbst in seine Ausgangsposition zurück und strahlt Licht der passenden Wellenlänge ab. Dieser Prozess kann gezielt stimuliert werden – und genau das tut ein EDFA.

Dafür wird ein Pumplaser genutzt, der eine andere, energiereichere Wellenlänge als das schwache Datensignal hat. Zusammen werden beide Lichtarten in die sogenannte aktive Faser geleitet. Das Licht des Pumplasers wird dort von den Elektronen absorbiert, die auf ein hohes Energieniveau ansteigen, aber durch eine Eigenart der genutzten Faser – die mit der Erbium-Dotierung

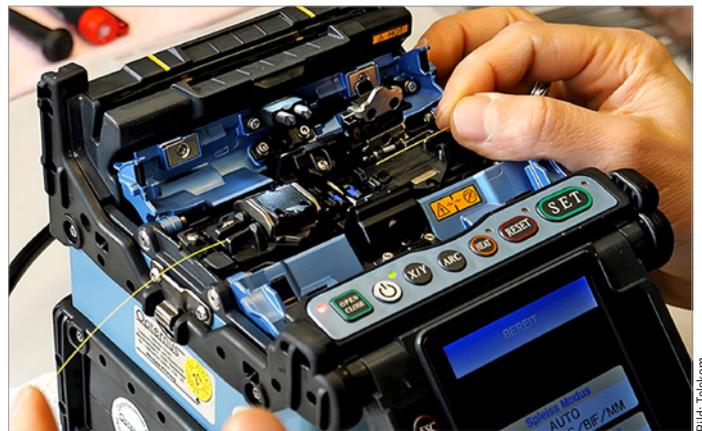


Bild: Telekom

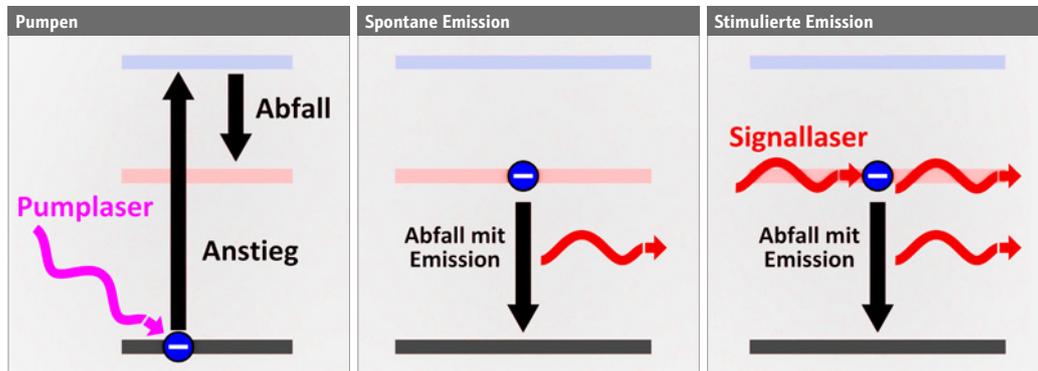
Um Glasfasern fest miteinander zu verbinden, werden sie gespleißt. Das ist passgenau mit kostspieligen Maschinen möglich, die das Spleißen automatisieren.

erreicht wird – schnell auf das Energieniveau des Datensignals abfallen. Trifft nun ein Photon des Datensignals auf das jeweilige Elektron, fällt dieses ins Originalband zurück und strahlt ein zweites Photon ab.

In die Leitung gesendete Lichtsignale nehmen so gewissermaßen weitere Photonen mit, wohingegen ohne ein Lichtsignal nur ein leichtes Grundleuchten durch die immer stattfindende, spontane Emission zu sehen ist. Das sorgt für ein Grundrauschen, auch die Verstärkung mit EDFAs hat also ihre Grenzen. Zudem wird am Ende der Faser noch ein optischer Filter benötigt, um

die Lichtfrequenz des Pumplasers zu absorbieren. In die nachfolgende Übertragungsstrecke gelangt damit nur das verstärkte - und leicht veräuschte - Datensignal.

Die Verstärkung eines EDFAs ist damit tatsächlich rein optisch, sie funktioniert aber natürlich nicht ohne Energie. Deshalb muss eine weitere Leitung entweder das Licht des Pumplasers transportieren, oder es wird ein Kabel mitgeführt, um dieses vor Ort zu erzeugen. Es wird also einiger Aufwand betrieben, um Lichtsignale auch über große Strecken zu transportieren. Die Dämpfung hat man mit dem Einsatz von Verstärkern aber weitgehend im Griff.



Einfallendes Licht des Pumplasers kann Elektronen auf höhere Energieniveaus anheben. Fallen diese von selbst („spontan“) zurück, entsteht ein unerwünschtes Photon. Wird der Abfall durch ein Signal-Photon ausgelöst, wird dieses verdoppelt.



Aufbau eines EDFAs. Lichtsignale werden in einer aktiven Faser vom Licht des Pumplasers verstärkt. Danach wird dieses von einem Filter wieder entfernt.

Eine Faser, viele Signale

Neben dem Betrieb von langen Strecken sind Verstärker auch für die Aufteilung von Signalen nützlich: Es gibt einfache Koppler und Splitter, mit denen die gesamte vorhandene Lichtleistung im gewünschten Verhältnis auf mehrere Leitungen aufgeteilt oder zusammengeführt werden kann. Zum Einsatz kommt das beispielsweise im GPON-Netz (Gigabit Passive Optical Network), auf das alle FTTH-Anschlüsse der Telekom setzen. Dabei wird ein Knotenpunkt mit einer Glasfaserleitung angebunden. Von dort werden die Daten dann auf die einzelnen Haushalte – z.B. 64 Stück – aufgeteilt. Alle Anschlüsse erhalten dabei dasselbe, mit einem Splitter aufgeteilte Signal, und für jeden Anschluss ist ein bestimmter Zeitslot vorgesehen. Durch diesen Ansatz ist der Netzausbau momentan günstiger. Und falls höhere Datenraten

erforderlich werden, muss nur der Knotenpunkt besser angebunden und das Signal auf weniger Haushalte verteilt werden. Andererseits ist bei GPON eine Verschlüsselung zwingend notwendig, damit Daten nur vom gewünschten Haushalt ausgelesen werden können.

Eine alternative Möglichkeit, bei der nicht jeder Haushalt alle Signale empfängt, wäre eine kostspieligere Aufspaltung in einzelne Datenkanäle. Denn in modernen Glasfasern werden Daten nicht nur mit einer Wellenlänge übermittelt, sondern mit mehreren. Dafür braucht es Multiplexer und Demultiplexer, die einzelne Wellenlängen kombinieren und aufspalten können. Beide Funktionen kann ein Arrayed Waveguide Grating übernehmen, welches dazu unterschiedliche Wellenlängen und Interferenzen nutzt. Bei den so erzeugten Kanälen ist wichtig, dass diese nur in einem sehr kleinen Wellenlängenbereich, also sozusagen einer sehr reinen Farbe, in die Faser leuchten. So können die Farbfenster, in denen die Übertragung gut klappt, optimal ausgenutzt werden. Außerhalb dieser Wellenlängenbereiche wäre die Dämpfung hingegen zu groß, weil das Material das Licht absorbiert.

(Nicht) Mit Lichtgeschwindigkeit

Viele Kanäle können zwar die Datenrate deutlich erhöhen, durch sie treten aber neue Probleme auf. Verstärkt werden etwa die Herausforderungen durch die Chromatische Dispersion. Der Name verrät dabei: Es geht wieder um eine Dispersion und damit eine zeitliche Verschiebung. Jetzt ist diese aber chromatisch – sie



EDFA im Einschub-Gehäuse. Gut zu erkennen sind die Zuleitungen und die Verstärkungseinheit, in der sich der Laser, die aktive Faser und der Filter befinden.

Bild: FS

hängt also von der Farbe und damit der Wellenlänge des Lichts ab. Diese kann in derselben Faser deutlich abweichen.

Die Chromatische Dispersion kommt zustande, da sich das Licht in der Faser nicht wirklich mit „Lichtgeschwindigkeit“ fortbewegt – diese gilt nur im Vakuum. Im Quarzglas ist es hingegen langsamer – und wie viel langsamer, das hängt von der Wellenlänge ab. Je nach Faserart können höhere Wellenlängen langsamer oder schneller sein als niedrigere. In jedem Fall sorgt das dafür, dass die Signale nicht alle gleichzeitig beim Empfänger ankommen. Diese Verzögerung muss bei der Übertragung beachtet werden. Kritisch ist diese Dispersion außerdem auch in den einzelnen Kanälen: Da es auch hier leichte Abweichungen bei der Wellenlänge gibt, können die Signale verzerrt werden. Dadurch können diese so weit verschwimmen, dass die einzelnen Flanken nicht mehr

erkennbar sind und das Signal unbrauchbar wird.

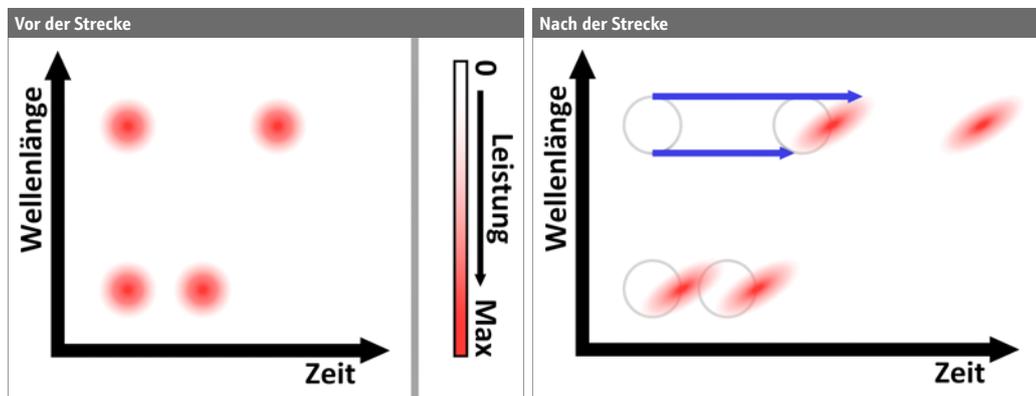
Gute Faser, schlechte Faser

Theoretisch existiert für die chromatische Dispersion eine einfache Lösung: Es gibt Fasern, die diesen Effekt reduzieren – wo sich also alle Wellenlängen annähernd gleich schnell bewegen. Bei höheren Datenraten sorgt das aber für weitere Probleme, denn bei genau diesen Fasern treten vermehrt deutlich nichtlineare Effekte auf. Erzeugt werden diese zum Beispiel durch den Kerr-Effekt, eine Veränderung der Eigenschaften eines Materials, wenn dieses von Licht durchströmt wird. In der Praxis bedeutet das, dass sich die Kanäle auf verschiedene Arten gegenseitig beeinflussen.

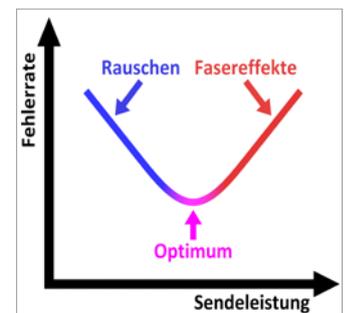
Einer der auftretenden Effekte ist etwa die Kreuzphasenmodulation. Anschaulich kann man sich diese so vorstellen, dass sich aktive Lichtpulse gegenseitig beschleunigen, und dadurch im schlimmsten Fall so weit

von ihrer zeitlichen Ursprungsposition abriften können, dass sie sich nicht mehr zuordnen lassen. Ebenso problematisch ist zudem die Vierwellenmischung: Zwei gleichzeitig vorhandene Wellenlängen können weitere Lichtpulse erzeugen, die einen Wellenlängenabstand niedriger oder höher liegen. Bei zu eng aneinanderliegenden Kanälen kann das dazu führen, dass auf einem Kanal ein Signal zu sehen ist, das eigentlich gar nicht gesendet wurde.

Um diese Effekte möglichst im Griff zu halten, gibt es mehrere Ansätze. Gerne wird beispielsweise am Ende einer Strecke ein FPGA platziert, der möglichst viele der Probleme herausrechnet und damit doch noch ein nutzbares Datensignal ausgibt. Sinnvoll ist es aber natürlich, die Strecke direkt so auszulegen, dass die chromatische Dispersion und die Nichtlinearitäten möglichst wenig Probleme verursachen. Da Fasern mit reduzierter Dispersion aber stark unter den nichtlinearen



Die Chromatische Dispersion sorgt für Verzerrungen: Kanäle und Signalanteile mit höheren Wellenlängen bewegen sich in der hier als Beispiel genommenen Strecke langsamer. Signale werden dadurch langgezogen.



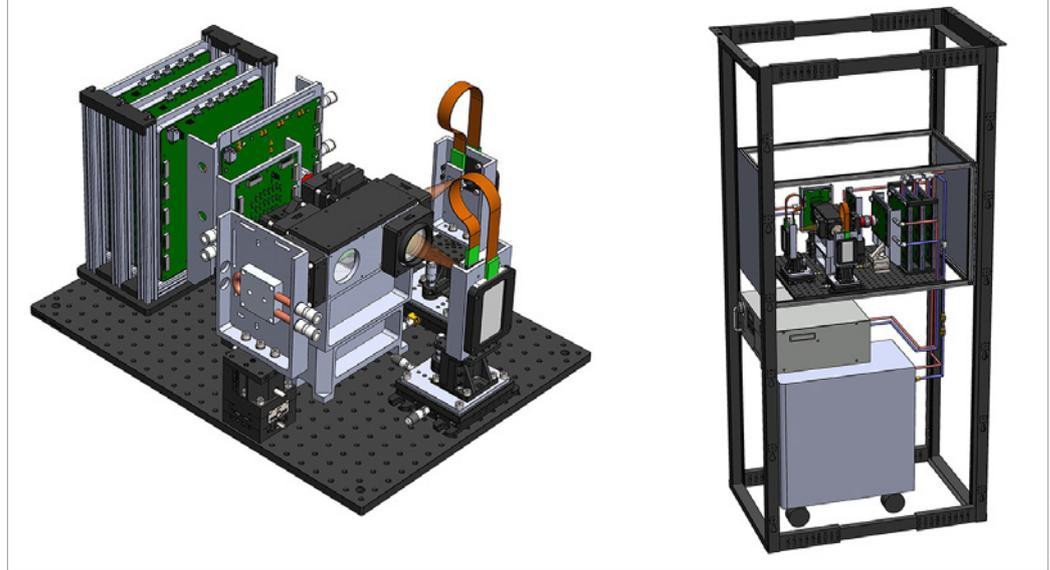
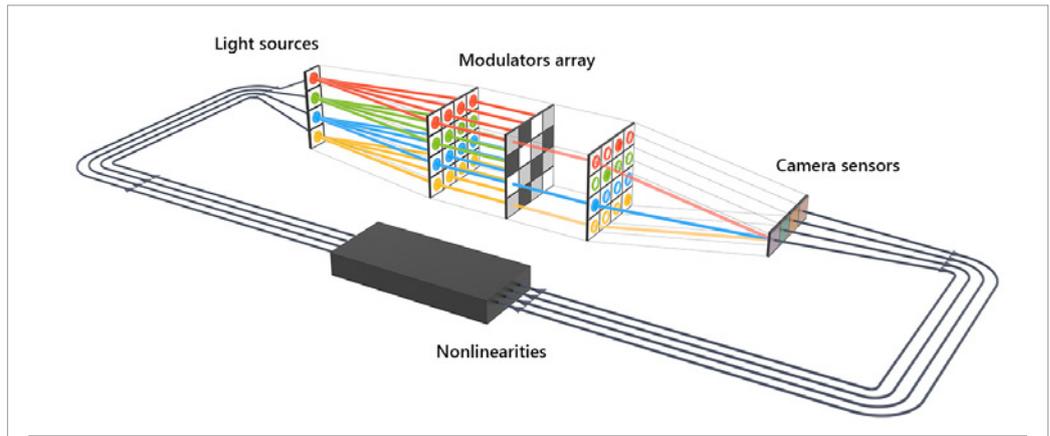
Beim Betrieb von Glasfaserleitungen muss abgewogen werden: Zu wenig Sendeleistung verursacht Rauschfehler, zu hohe Leistung verstärkt die nichtlinearen Fasereffekte.

Effekten leiden, setzt man stattdessen auf zwei unterschiedliche Fasertypen. Erst wird zum Beispiel eine Faser verbaut, in der sich hohe Wellenlängen schneller bewegen als niedrige. Danach folgt eine weitere Faser, die sich genau gegenteilig verhält. Dadurch wird die chromatische Dispersion weitgehend durch die Faserstrecke kompensiert und die Eigenheiten des Kerr-Effekts bleiben im Rahmen.

Probleme beim Netzausbau

All das ermöglicht dann aktuell Datenraten von etwa 100 GB/s pro Kanal bei 100 Kanälen pro einzelner Glasfaser und dies über viele Kilometer – wenn die richtige Technik verbaut ist: moderne Laser, moderne Verstärker, moderne Glasfaserleitungen. Der viel zitierte Plan von Helmut Schmidt aus dem Jahr 1981, bundesweit Glasfaserleitungen zu verlegen, wäre heute deshalb womöglich schon wieder obsolet. In den 90ern von der Telekom verlegte Leitungen wurden beispielsweise größtenteils überbaut, da sie nicht den modernen Standards entsprachen.

Ein Erhöhen der Sendeleistung, um Faserbeschränkungen zu umgehen, ist dabei keine Lösung. Das sorgt zwar dafür, dass eine potenziell höhere Dämpfung älterer Fasern überwunden wird. Gleichzeitig hängen die nichtlinearen Effekte aber direkt an der Lichtleistung im Wellenleiter, sie werden bei höherer Leistung also zunehmend stärker. Beim Betrieb einer Glasfaserverbindung muss man deshalb eine Abwägung treffen. Ist die Sendeleistung zu niedrig, dann kommt es wegen des Grundrauschens des Senders und der EDFA-Verstärker zunehmend



Microsoft zeigte im Juni einen optischen Computer, der sich besonders gut für Matrixmultiplikationen eignen soll. Für Nichtlinearitäten werden aber weiterhin Elektronen benötigt.

zu Bitfehlern – und bei zu hoher Sendeleistung werden diese durch die nichtlinearen Effekte erzeugt. Jede Strecke hat damit ihr eigenes Optimum, das gefunden werden muss, um möglichst viele Daten übertragen zu können. Mit mo-

dernerer Sende-, Verstärkungs- und Empfangstechnik kann die Datenrate dabei noch weiter gesteigert werden, irgendwann ist die Verlegung höherwertiger oder zusätzlicher Fasern aber alternativlos.

Der Netzausbau ist also keine einmalige Angelegenheit, sondern er muss stets den steigenden Anforderungen folgen. Immerhin: Bis Ende 2025 will die aktuelle Bundesregierung, im Rahmen ihrer Gigabit-Strategie, mindestens jeden zweiten Haushalt direkt mit einer Glasfaserleitung anschließen. Bis dahin ist es aber noch ein weiter Weg, zumal selbst bei einem Gelingen ja noch die zweite und wohl schwierigere Hälfte fehlen würde. Kupferleitungen als Hausanschluss werden sich in Deutschland also lange noch finden lassen, und prinzipiell ist das auch kein Problem: VDSL erlaubt schon heute Datenraten um die

250 Mbit/s, und mit der neueren G.fast-Technik wären auch Downloadraten von einem Gigabit möglich. Kritisch ist dabei Strecke: Solche Datenraten sind nur auf einige Dutzend Meter möglich, die Daten müsse also erst in die Straße kommen – und dafür braucht es dann die Glasfaser.

Weitere Anwendungsgebiete

Die Datenübertragung ist übrigens nicht der einzige Verwendungszweck von solchen Leitungen. Denn während die beschriebenen und noch viele weitere Effekte die Datenübertragung stören, kann man sie sich in anderen Fällen zunutze machen. So werden Glasfaserleitungen beispielsweise als kostengünstige Lösung in Gebäuden wie Brücken oder Staudämmen verlegt. Dort auftretende Spannungen oder Temperaturänderungen beeinflussen dann die Übertragungseigenschaften, sodass man



Glasfaserleitungen haben auch andere Einsatzzwecke. In einigen Staudämmen, wie dem hier abgebildeten Mica-Damm, werden sie zur Strukturanalyse eingesetzt.

Bild: Wikimedia/DAR56

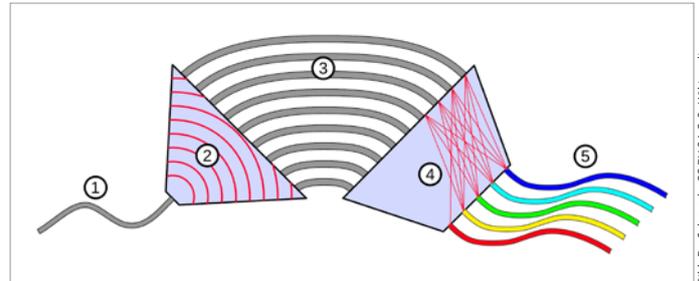
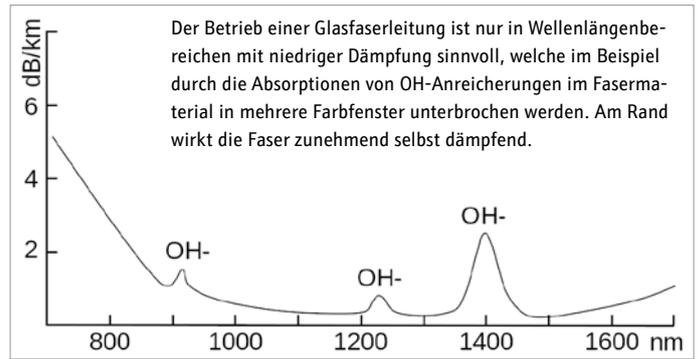
Bild: Microsoft

damit den Zustand der Bausubstanz überwachen kann.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist das seit vielen Jahren immer wieder im Gespräch befindliche Optical Computing – also Rechnen mit Licht statt mit Elektronen. Entsprechende Produkte sind hier zwar bis heute weder erhältlich noch unmittelbar in Sicht, die Forschung geht aber stetig weiter. Das Rechnen mit Licht ist dabei tatsächlich bereits möglich: Dadurch, dass Licht das durchflossene Material und andere Wellenlängen beeinflusst, lassen sich etwa optische Schalter und damit sozusagen Transistoren herstellen. So richtig ausgereift ist dieser Ansatz allerdings noch nicht. Microsoft zeigte mit der Analog Iterative Machine im Sommer zwar beispielsweise einen optischen Computer für Deep-Learning-Anwendungen. Dieser führte aber nur Matrixmultiplikation mit Photonen durch. Das nachfolgende Anwenden von Nichtlinearitäten, also das Einsetzen der Ergebnisse in eine mathematische Funktion, musste hingegen

elektrisch erfolgen. Zudem ist auch die Speicherung ein Problem, denn diese erfolgt bislang ebenso rein elektrisch. Und falls auch dieses Problem gelöst wird, wären die fehlenden Möglichkeiten zur industriellen Fertigung die nächste Hürde.

Auch wenn immer wieder Forschungsarbeiten mit auf dem Papier gewaltigen Vorteilen auftauchen, ist daher zumindest kurzfristig nicht damit zu rechnen, dass Computer komplett optisch arbeiten können. Beispielsweise Intel ist aktuell aber schon damit beschäftigt, die optische Datenübertragung noch näher an die CPU zu bringen. Konkret wurde auf der Hot Chips 2023 ein RISC-Prozessor für Mehrsocket-Systeme gezeigt, bei denen der Datenaustausch zwischen den Sockeln optisch erfolgt. Die Forschung geht also auch hier weiter, ebenso wie bei der allgemeinen Übertragungstechnik. Wie in vielen anderen Bereichen der Technik gilt damit: Die Möglichkeiten für Verbesserungen sind noch lange nicht ausgeschöpft. *(vs)*



Arrayed Waveguide Grating. Licht wird mit einer Faser (1) eingespeist und an mehrere Fasern weitergeleitet (2). Diese (3) sind unterschiedlich lang. Dadurch kommt es beim anschließenden Mischen (4) zu Interferenz, durch die nur die passende Wellenlänge in die jeweilige Faser (5) gelangt. Alternativ kann der Betrieb auch rückwärts erfolgen, um Signale zu vermischen.

Bild: Dr. Schorsch, CC-BY-SA 3.0; Wikimedia Commons

CREATIVE THINKING

/ AMD WRX90 & TRX50 MOTHERBOARDS /

WRX90 WS EVO
TRX50 WS



Der Netzteile zweiter Teil

Acht weitere Stromherzen schlagen, ach, in unserem Testlabor. Diesmal dabei: Von Lesern angefragte Netzteile mit 80 Plus Titanium, Platinum und Gold in der exemplarischen 1.000er-Wattklasse.

Netzteile sind im Gegensatz zu den Leistungsdaten von Grafikkarten und Prozessoren gerade für Hardware-Einsteiger weniger intuitiv einzuordnen. Als Orientierungshilfe bieten wir Ihnen nicht nur in unseren Artikeln für viele Leser zunächst trocken anmutende Detaillierungen (siehe DVD dieser Ausgabe oder auch Plus-Artikel online), sondern auch leicht verständliche Guides in unserer PSU-

Kaufberatung unter www.pcgh.de/netzteile. Darin klären wir unter anderem, wie viel Watt Sie tatsächlich für Ihr System einplanen sollten, wie wichtig Effizienz in der Praxis ist, welche Punkte Sie als Checkliste vor dem Kauf einmal durchgehen sollten und was Grundlagenparameter wie etwa Restwelligkeit bedeuten – samt weiterführenden Links zu Rechenhilfen (Amortisierungsdauer, Wattbedarf, Preisvergleich).

16 Netzteil-Serien im Test

Am Ende des Artikels finden Sie unsere Testtabellen mit den Teilnoten, inklusive gezielter Auszüge der zugrunde liegenden Messergebnisse. Netzteile unterschiedlicher Wattklassen können nur bedingt miteinander verglichen werden, jedoch bleiben unserer Erfahrung nach Auffälligkeiten/Unterschiede zwischen Herstellern und Modellserien bestehen. Unseren internen Tests

nach kann die Qualität einer Wattklasse daher durchaus als Kaufbasis erhalten – das 16er-Round-Up der 1.000-Watt-Stromwandler gibt somit eben nicht nur Aufschluss für Enthusiasten stromhungriger Systeme, sondern kann auch für niedrigere Wattklassen wie 750 Watt hilfreich sein. Eigenheiten, die nur bei spezifischen Wattklassen vorkommen, können nach wie vor nur im Einzeltest aufgedeckt werden.

Zusätze auf der Heft-DVD



Auf der DVD finden Sie nicht nur weitere Diagramme und Daten des ersten ATX-3.0-Vergleichstests, sondern auch weiterführende Artikel (im PDF-Doppelseitenformat) zu Themen wie ATX 3.1 und dem neueren 12V-2*6-Standard.



Bei ATX 3.0: Unregelmäßigkeiten beim Kurzschlussschutz

Die Short Circuit Protection (SCP) soll das Netzteil zum Sicherheitsabschalten bringen. Im Test wird klar: Es gibt Schwankungen bei ATX 3.0.

Alle der getesteten Kandidaten weisen selbstverständlich verbaute SCP-Topologien auf, die auch den (eher laschen) ATXV12-Intel-Spezifikationen entsprechen. Durch die in vorherigen Artikeln besprochenen Anforderungen an ATX-3.0/3.1-Spannungswandler – unter anderem mit höherer Transient-Load-Slew-Rate (maximale Anstiegsgeschwindigkeit der Last), Dynamic-Loads und Peak-Garantien im Millisekundenbereich – stehen Hersteller vor der Problematik, Schutzschaltungen und zugesicherte Spitzenwerte in Einklang zu bringen. Dabei konnten wir reproduzierbare Fälle feststellen, in denen die Modelle mit einem Kabelkurzschluss eben nicht direkt abschalten. Das simpelste Beispiel dafür wäre der SATA-Anschluss am Ende längerer Kabelstränge. Selbst renommierte Marken wie Seasonic oder Enermax zeigten hier Schwächen: In manchen Testdurchgängen schalten dieselben PSUs wie vorgesehen ab, in anderen schmorste es uns die Verbindung durch. Die Hersteller sind sich der Thematik bewusst. Teilweise schaffen andere Kabelwiderstände Abhilfe (etwa über andere Längen/Arten).



Vor allem die hinteren Kabelanschlüsse können anfällig sein: Bei Short-Circuit-Kontakt bleiben manche Serien gelegentlich an. Mehr dazu im Folgenden.



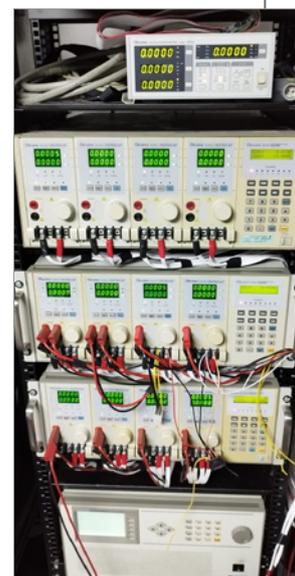
Folgende Produkte finden Sie im Test

- Be Quiet Dark Power 13
- Be Quiet Straight Power 12
- Corsair HX1000i 2023
- Corsair RM1000e
- Enermax Revolution D.F. 2
- Enermax Revolution D.F. X
- FSP Hydro Ti Pro
- Seasonic Focus GX

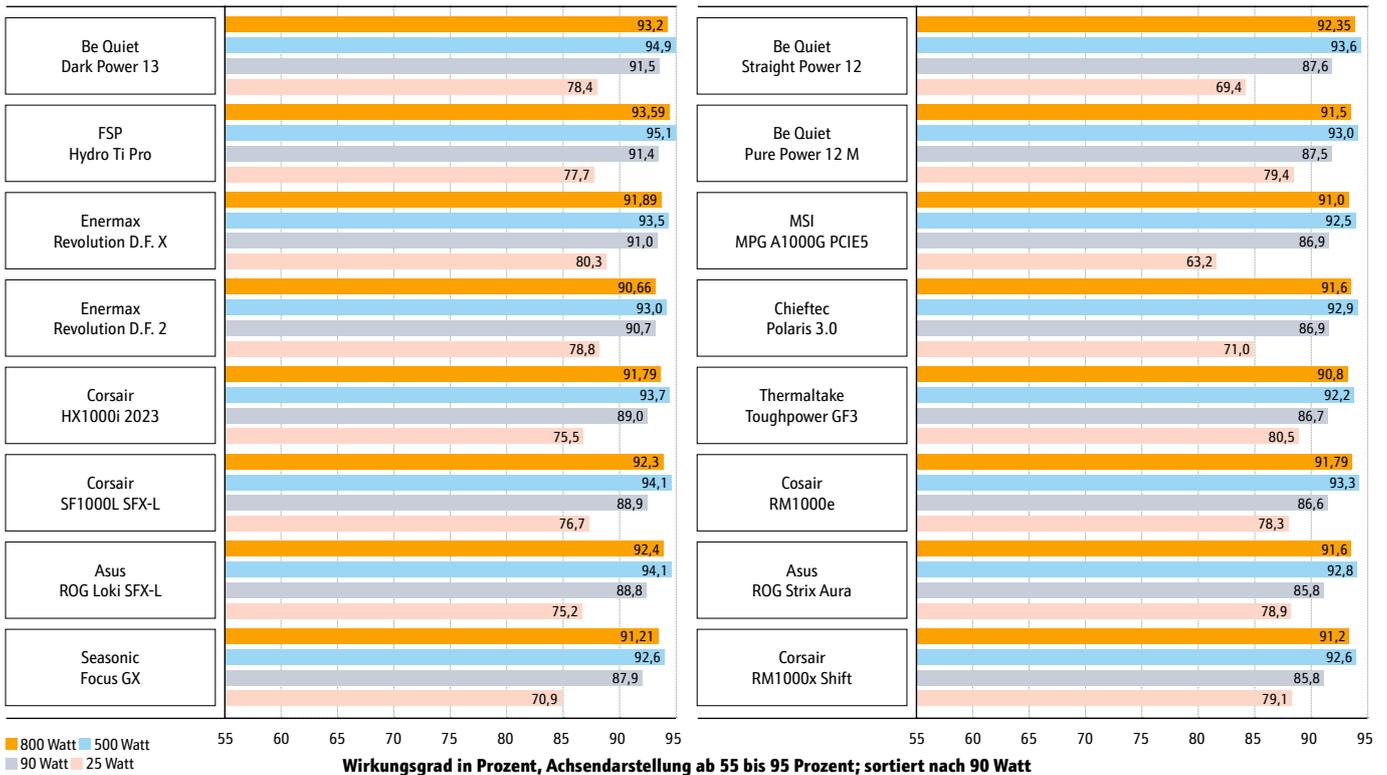
Auszug des Testequipments

Unter anderem dabei:

- Chroma 66202 Power Meter
- Chroma High-Speed DC Loads bis 3.600 Watt
- 10× Chroma 63303 je 300 Watt
- 4× Chroma 63302 Dual Load je 2× 100 Watt
- 1× Chroma 63306 mit 600 Watt unter anderem für OPP/OCP-Tests
- 4× Chroma 63301 je 200 Watt
- Chroma AC Source 6420 2 KW
- Chroma AC Source 61505 4 KW, PLD-Simulation
- Keysight 34460A 6,5 Digit Tisch-Multimeter zur Spannungskontrolle
- 4× Rigol DS1054Z Oszilloskop 4×4 = 16 Channels
- Fluke 80i-110s AC/DC-Stromzange (100 A)
- Neutrik Cortex Instruments NC10 in neuer Sone-Messumgebung
- Viele weitere Messgeräte sowie diverse Kleinteile, Anschlüsse, Adapter usw.



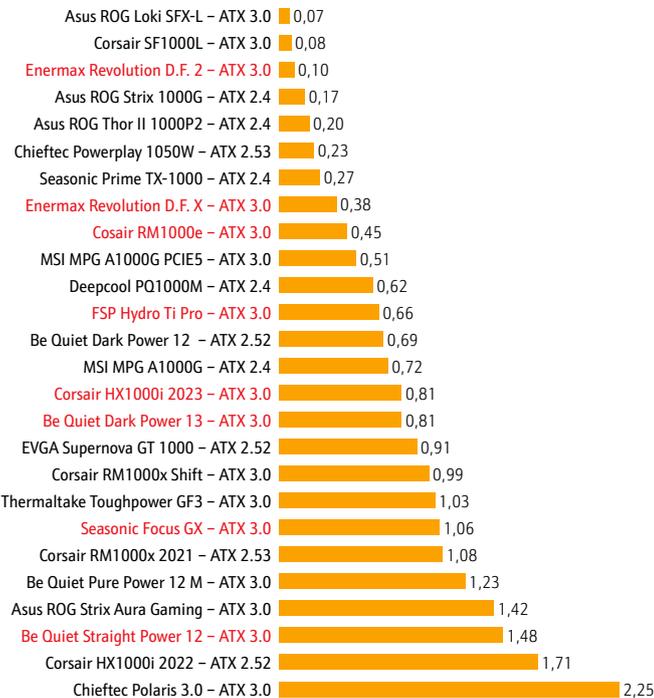
Effizienz bei fester Last (alle ATX 3.0 mit 1.000 Watt)



Bemerkungen: Netzteile müssen auch bei geringen Lasten effizient sein, weil Rechner im Leerlauf kaum Energie verbrauchen. Für 1.000-Watt-Netzteile sind geringere Lasten eine besonders große Herausforderung. Die geringe Last hat schließlich einen kleineren prozentualen Anteil an der Gesamtleistung. Im Idle-Betrieb des PCs liegt die Last je nach System meist zwischen 40 und 90 Watt. Die Titanium-Modelle können sich erst bei 90 Watt klar abheben.

Vergleich des Spannungsabfalls (12 V)

Ø Spannungs-Drop der 12-Volt-Leitungen

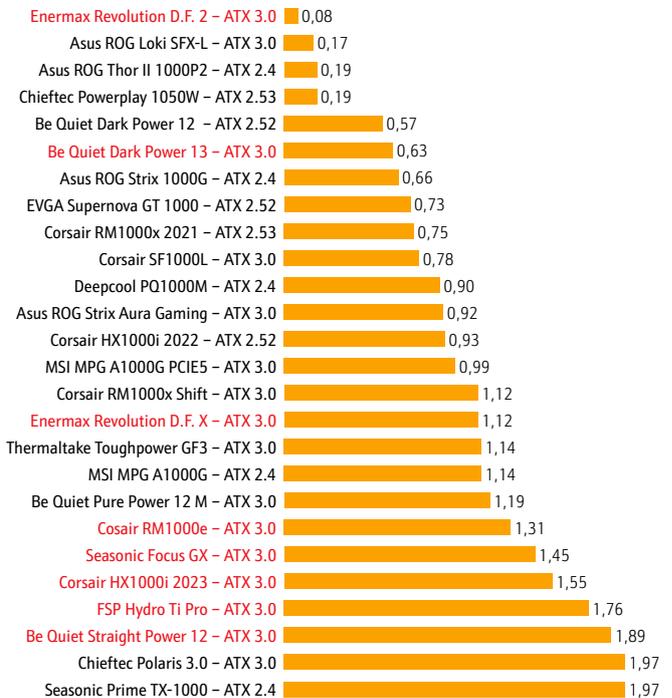


Bemerkungen: Der Intel-Design-Guide erlaubt auf der 12-Volt-Schiene einen maximalen Spannungsabfall von 10 Prozent.

Prozent
◀ Besser

Vergleich der Spannungsabweichung (12 V)

Ø Spannungsabweichung der 12-V-Rails



Bemerkungen: Messergebnisse daer Spannungsabweichung auf der 12-Volt-Schiene. Der Intel-Design-Guide erlaubt eine maximale Abweichung von 5 Prozent.

Prozent
◀ Besser

Aus 12VHPWR wird 12V-2*6

Bis ATX-3.1-Netzteile erscheinen, die aller Voraussicht nach bis auf wenige Stecker identisch mit ATX 3.0 sein dürften, werden noch mehrere Monate vergehen. Um die hier wichtigsten Infos aus dem ATX-3.1-Artikel der Ausgabe 12/2023 noch einmal zu benennen: Wer jetzt ein neues Netzteil benötigt, braucht sich beim Kauf eines ATX-3er-Modells nicht zu ärgern. Die größte Änderung ist bei der 12+4-Buchse seitens der PSU/GPU zu benennen, denn ATX 3.1 streicht den unbeliebten 12VHPWR-Standard und ersetzt ihn durch den optisch identischen und kompatibeln 12V-2*6-Standard mit verkürzten Sense- und

längeren Power-Pins. Sollte der 12+4-Stecker nun nicht richtig anliegen, dürfte die Grafikkarte mit der 12V-2*6-Buchse der ankommenden Kodierung nach nicht starten. Ein 12VHPWR-Kabel eines ATX-3.0-Netzteils wird auch in kommende PCI-E-5-Karten passen und Strom liefern können. Hersteller sitzen auf einem Berg bereits angeschaffter Netzteile mit 12VHPWR am Heck und werden zumindest auf absehbare Zeit am Verkauf festhalten, ehe neue Serien auf dem Markt erscheinen. Potenzielle Nachrüstpakete sind nicht undenkbar, jedoch weder absolut notwendig noch von Herstellern zum Redaktionsschluss bestätigt.



Die Titanium-Marke Dark Power 13 setzt auf einen „rahmenlosen“ Lüfter mit brum-migen Nebengeräuschen. Die Propellerbasis wird an drei Punkten fixiert.

Corsair HX1000i 2023: Der ansteuerbare Platinum-Star

Corsairs Update ist geglückt: Die 2023er-Variante der HXi-Reihe platziert sich neben Asus auf dem ersten Platz der ATX-3.0-Netzteile.

Mit der Gesamtnote von starken 1,22 reiht sich das HX1000i 2023 80 Plus Platinum neben den Silent-Tipp Asus ROG Strix Aura Gaming ein, ist aber mit ca. 235 Euro günstiger und bietet ein längeres Kabelpaket sowie digitale Einstellmöglichkeiten über ein internes USB-Kabel. Mit seiner Länge von 18 cm (auch wenn on-



line anders angegeben) ist das Netzteil für übliche Midi- bis Big-Tower-Gehäuse angedacht. Leistungstechnisch gibt es beim HX1000i 2023 nichts zu tadeln, genau so muss ein Platinum-Netzteil im Test performen – sowohl bei der schön niedrigen Restwelligkeit (über alle Rails mit dem Aura Gaming vergleichbar) als auch der hervorragenden Spannungsregulation von 0,68 Prozent. Der effizienteste Wirkungsgrad befindet sich im Lastbereich von 20 (93,3 Prozent) bis 45 Prozent (93,8 Prozent). Über Corsairs iCUE-Software-Suite lässt sich die am Mainboard über USB angeschlossene Schnittstelle des Netzteils einsehen. Verbrauchswerte, Lüfterdrehzahl und Profileinstellungen sind übersichtlich angeordnet. Eigene Fan-Kurven können angelegt werden, solange der Lüfter bei mindestens 40 Prozent läuft. Die Standardkurve lässt im Bereich von 0,1 Sone bei 50-prozentiger und 0,6 Sone bei 80-prozentiger Netzteilast nur unter Volllast mit 2,3 Sone Wünsche übrig. Die Silent-Krone verbleibt demnach bei der RGB-Konkurrenz von Asus mit 0,6 Sone unter 15 Minuten Volllast. Durch den recht üppigen semi-passiven Bereich von ca. 60 Prozent in unserem Test bleibt das HX1000i 2023 jedoch auch für stille Setups eine sehr gute Wahl. Sie suchen ein hochwertiges Platinum-Netzteil? Dann ist die 2023er-Version der HXi-Serie (nicht mit älteren zu verwechseln) eine einwandfreie Empfehlung!

FSP Hydro Ti Pro: Titanium mit Qualitäten und einer Schwäche

Das FSP Hydro Ti Pro ist als Titanium-Vertreter nicht nur sehr effizient, sondern auch mit hochwertigen Topologien versehen.

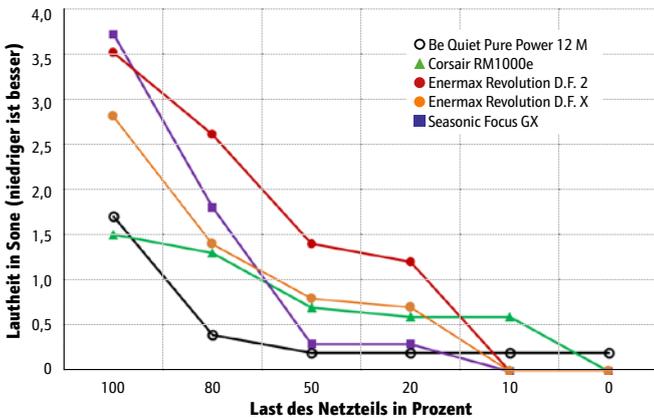
Im Effizienzverlauf gleichen sich die zwei Titanium-Testkandidaten beinahe aufs Haar genau. Während das Be Quiet Dark Power 13 auf eine FSP-Plattform setzt, schickt OEM-Partner FSP mit dem Hydro Ti Pro selbst einen fähigen und um 2,5 cm kürzeren Gegenentwurf für ca. 245 Euro ins Rennen. Die beiden gewählten Pri-



märkondensatoren von Nippon Chemi-Con mit 450 V 680 µF (M) und 450 V 330 µF (M) leisten gute Arbeit – die Hold-Up-Time ist mit 25,94 ms äußerst üppig und weit über den Spezifikationsvorgaben von 16/17 ms. Bei der Restwelligkeit fällt die 3,3-Volt-Schiene mit 31,1 mV etwas auf, denn bei 12 Volt sieht es mit den im Durchschnitt 21,3 mV positiver aus. Das FSP Hydro Ti Pro ist ein durchweg effizientes Netzteil, das jedoch im semi-passiven Modus mit einer relativ starken On-/Off-Lüfterschwankung im Test aufgefallen ist. Je nach Temperatur und vorheriger Last kann das Hydro Pro Ti also entweder bis zu 75 Prozent Last passiv bleiben oder bereits weit vorher den 135-mm-Lüfter immer wieder zum Anspringen bringen. Unsere Empfehlung: Probieren Sie den semi-passiven Modus eine Weile aus und wechseln Sie bei Bedarf zum aktiven Kühlungsmodus, bei dem der Lüfter stets weiterdreht. In diesem Fall wird nämlich aus den stetigen Anlaufversuchen eine wunderbar leise Lüfterkurve, dank der selbst nach 15 Minuten Volllast (Stresszenario) keine 0,3 Sone durch den Lüfter zu messen sind. So weit runter kommt nicht mal das Asus ROG Strix Aura Gaming mit seinen 0,6 Sone. Bedeutet in der Praxis: Im Gehäuse verbaut ist das FSP Hydro Ti Pro ein hervorragendes, stilles High-End-Netzteil, solange der Lüfter nicht versucht, sich ständig ein- und auszuschalten.

Günstigere Modelle im (sinkenden) Lastverlauf

Psychoakustische Messung für die subjektive Lautheit eines Schallereignisses



Be Quiet Dark Power 13: Titanium-Oberklasse mit Multi-Rail

Das Dark Power 13 für ca. 260 Euro ist ein Titanium-Netzteil mit vier 12-V-Rails. Die Änderungen zum Dark Power 12 sind dabei eher subtil.

Nach wie vor wird auf einen 135-mm-Lüfter ohne übliche Rahmenhalterkonstruktion (SIW3-13525-HF mit bis zu 2.100 U/min) sowie als Primärkondensatoren auf zwei Nippon Chemi-Con (420 V 470 µF (M), KMZ) gesetzt. Die vier 12-V-Rails (2x 32 A und 2x 40 A) können über einen beigelegten Jumper auch in einen Single-Rail-Modus geschaltet werden. Bei der 12VHPWR-Buchse werden in jedem Fall zwei Rails verwendet. Be Quiet setzt auf eine rein aktive Kühlung, bei der der Lüfter stets weiterdreht. Dadurch werden übliche Alltags-ärgernisse wie On-/Off-Lüfterschwankungen umgangen. In unserem Test über den Lastverlauf hinweg kam der vom Klanggeräusch recht brummige 135er-Fan des Dark Power 13 auf maximal 1,0 Sone unter Volllast und 0,6 Sone bei 80-prozentiger Last. Die Länge von 17,5 cm kann im Vergleich zu kürzeren Netzteilen mit 14,0 cm das Kabelmanagement bei kleineren M-ATX- bis Mini-ITX-Gehäusen erschweren, beim üblichen Midi-ATX-Formfaktor ist das dagegen kein nennenswertes Problem. Im Effizienzvergleichstest sind sich das Dark Power 13 und das FSP Hydro Ti Pro sehr ähnlich mit beinahe identischen Werten. Den höchsten Wirkungsgrad erreicht das Dark Power 13 bei ca. 25- (95,1 Prozent) bis 55-prozentiger Auslastung (94,8 Prozent). Das Dark Power 13 ist gerade für den Preis nicht perfekt, aber effizient.



„Da haben wir den Salat“

Nicht nur die 12V-2x6-Umstellung mit noch kommenden ATX-3.1-Netzteilen sorgt für mehr oder minder „unkontrolliertes Chaos“, auch auf dem momentanen Markt gibt es mindestens erwähnenswerte Details. Bei Corsair-Serien wird momentan etwa stets dergleiche 12VHPWR-Stecker ohne Wattbeschriftung verwendet. Auf der Verpackung findet sich ein kleiner Hinweis mit 450 W für PCI-E-5-Karten, kodiert sind allerdings 600 W. Im Prinzip macht es sich Corsair mit der Angabe einerseits leichter, weil offiziell nur Karten bis 450 Watt unterstützt werden, andererseits schwerer, weil beinahe alle anderen getesteten Marken (außer Thermaltake) auf die eigentlich zu üppige 600-Watt-Grenze beim 12+4-Kabel setzen (im Falle des Enermax D.F. X sogar doppelt) und Corsair technisch „schlechter“ aussieht. Beim RME mag das sogar noch irgendwo zutreffen, beim HXi sehen die Dynamic-Loads jedoch beeindruckend gut aus. Lautes Fiepen gibt es übrigen bei allen (!) PSUs spätestens beim 200-Prozent-Test (Peak Tc Time von 100 µs).

Vorsicht beim Einstecken

Achten Sie beim Anschließen der Kabel sowohl auf der Netzteil- als auch der gegenüberliegenden Hardware-Seite darauf, dass keine sichtbaren Lücken oder schräge Winkel anliegen. Das ist in der Theorie leichter gesagt als getan, denn in der Praxis können Schlitz im Millimeterbereich schnell übersehen werden, gerade wenn man das Netzteil erst in der Gehäusekammer mit Kabeln verbindet. Im Falle von Enermax sind die mitgelieferten Kabel/Stecker beispielsweise besonders anfällig dafür, nicht bis zum Schluss nahtlos in die Buchse „zu gleiten“, auch mit roher Krafterwirkung. Auf die letzten Millimeter kann es haken, Gefühl ist daher erforderlich! Überprüfen Sie vor dem Einschalten Ihres Rechners daher alle Verbindungen ganz genau. Selbst vermeintlich kleine Spalten können beim Zusammenfall weiterer suboptimaler Umstände für Probleme wie beim 12VHPWR-Stecker sorgen – auch aufseiten der PSU-Buchsen. Mit der Verwendung der 12V-2x6-Buchse scheint die Schwäche des 12+4-Pol-Kabels zumindest auf absehbare Zeit behoben zu sein.

Vergleich der Restwelligkeit (12 V)

Ø Ripple der 12-Volt-Schienen – Breite von 10 ms

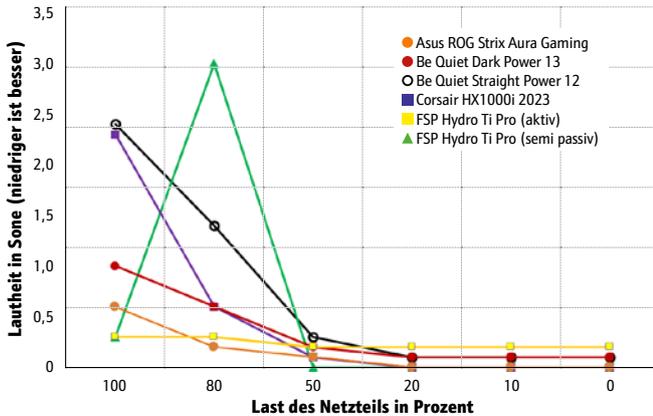
Corsair RM1000x 2021 – ATX 2.53	8,7
Asus ROG Strix Aura Gaming – ATX 3.0	14,5
Corsair HX1000i 2023 – ATX 3.0	20,7
FSP Hydro Ti Pro – ATX 3.0	21,3
Be Quiet Dark Power 12 – ATX 2.52	21,6
Corsair RM1000x Shift – ATX 3.0	21,7
Corsair SF1000L – ATX 3.0	22,1
MSI MPG A1000G – ATX 2.4	23,2
MSI MPG A1000G PCIE5 – ATX 3.0	24,0
Thermaltake Toughpower GF3 – ATX 3.0	24,6
Seasonic Prime TX-1000 – ATX 2.4	24,7
Seasonic Focus GX – ATX 3.0	24,8
EVGA Supernova GT 1000 – ATX 2.52	24,9
Asus ROG Thor II 1000P2 – ATX 2.4	25,4
Asus ROG Strix 1000G – ATX 2.4	26,4
Chieftec Polaris 3.0 – ATX 3.0	26,5
Enermax Revolution D.F. X – ATX 3.0	27,9
Corsair HX1000i 2022 – ATX 2.52	27,9
Enermax Revolution D.F. 2 – ATX 3.0	28,6
Cosair RM1000e – ATX 3.0	28,7
Be Quiet Pure Power 12 M – ATX 3.0	29,6
Chieftec Powerplay 1050W – ATX 2.53	30,9
Be Quiet Dark Power 13 – ATX 3.0	32,3
Asus ROG Loki SFX-L – ATX 3.0	37,3
Be Quiet Straight Power 12 – ATX 3.0	38,9
Deepcool PQ1000M – ATX 2.4	39,2

Bemerkungen: Intel legt den Grenzwert der Restwelligkeit im Design-Guide mit 120 mV fest. Zu hohe Ripple-Werte können Hardware über Jahre „schneller altern“ lassen.

mV
◀ Besser

Leisere Modelle im (sinkenden) Lastverlauf

Psychoakustische Messung für die subjektive Lautheit eines Schallereignisses

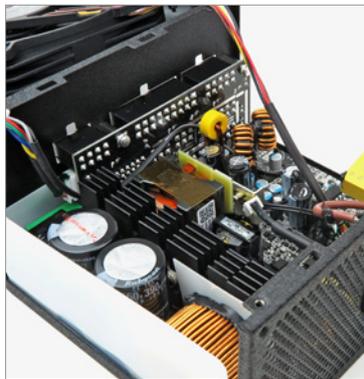


Einfach nur blind nach Hersteller zu gehen, ist keine weise Kaufentscheidung bei Netzteilen. Die Qualitätsunterschiede können gravierend sein.

Enermax Revolution D.F. X: Preis-Leistungs-Tipp mit ARGB

Enermax belebt die D.F.-Serie mit ATX 3.0 wieder. Das X-Modell stellt dabei die solide Mitte zwischen Preis und Qualität für ca. 155 Euro dar.

Um die bunt leuchtenden ARGB-LEDs unter dem Enermax-Branding (siehe Bild der Testtabelle) überhaupt sehen zu können, muss das Netzteil in üblichen Gehäusen mit der Lüfterorientierung nach unten eingebaut werden. Ohne Sichtfenster an der Gehäusenetzteil-kammer verflüchtigt sich der Dekorationseffekt selbstredend. Immerhin: Über eine



Profiltaste am Heck können Sie die Beleuchtung nicht nur durchwechseln, sondern auch ausschalten. Eine Ansteuerung über das Mainboard ist per Kabel möglich. Das D.F. X stellt in gewisser Weise ein interessantes Sammelsurium von Kuriositäten dar. Einerseits legt Enermax nicht nur Floppy-Adapter, sondern zwei (!) 12VHPWR-Kabelvarianten bei, eine native für die 12VHPWR-PSU-Verbindung (mit vier Sense-Pins) und eine mit zwei sechspoligen Anschlüssen für die klassischen PCI-E-PSU-Buchsen (nur SENSE0/1). Andererseits sorgt Enermax „Dust-Free-Rotation“-Lüfter für keine stille Umgebung, gerade beim Start, denn der Lüfter dreht für einige Sekunden bei sehr hohen Drehzahlen einmal in die eine und dann die andere Richtung, um Staub zu minimieren. On-/Off-Lüfterschwankungen waren zu beobachten. Mit 0,7 Sone bis 2,8 Sone (Volllast) ist das D.F. X nichts für Silent-Enthusiasten. Bei der eigentlichen Stromleistung gibt es grundlegend nur Gutes zu berichten: Die Gesamteffizienz mit ca. 92,3 Prozent fällt für ein RGB-Gold-Netzteil dieser Preisklasse bemerkenswert positiv auf. Das Single-Rail-Modell mit 87,5 Ampere auf der 12-Volt-Schiene bewegt sich auch bei der Restwelligkeit und der Spannungsregulation (unter 0,85 Prozent) auf sehr empfehlenswertem Niveau.

Seasonic Focus GX: Durchschnitt mit Auffälligkeiten

Seasonic bringt nach der völlig überbeurten Vertex-GX-Plattform nun die Focus-GX-Reihe mit ATX 3.0 zum fairen Preis auf den Markt.

Für seine ca. 165 Euro reiht sich das Focus GX auch wie zu erwarten im Mittelfeld ein. Die Spannungsregulation ist mit insgesamt 0,98 Prozent sehr gut und sehr strikt. Die Lautheitswerte könnten besser sein, denn bei 80-prozentiger Last kommt das Modell bereits auf 1,8 Sone, unter Volllast wird es sogar mehr als doppelt so laut mit 3,7 Sone. Die Hold-Up-Time ist mit 16,37 ms äußerst knapp bemessen für ATX 3.0 (ATX 3.1 lockert diese Vorgabe, siehe Artikel in vorheriger Ausgabe). Das Focus GX setzt auf ein mit gummiartigem Kunststoff ummanteltes Kabelset samt geprägtem Griffmuster und kann sich optisch von üblichen Flachbandkabeln abheben. Das Focus GX ist ein ordentliches Netzteil, das mehr oder minder im Markenvergleichstest durchschnittlich abschneidet. Seasonic fiel uns beim Test (auch schon beim Vertex GX, das durch das Focus GX obsolet wird) in mehreren Punkten auf: Das Lüftergitter ist besonders breit. Zu breit für unseren Geschmack. Ohne nennenswerte Schwierigkeit lässt sich etwa der Zeigefinger bis zu den Komponenten stecken. Das Design hätte mit mehr Bedacht entworfen werden müssen. Beim ATX-2.4-Vorgängermodell war nichts dergleichen der Fall. Anderer Punkt, der nicht verschwiegen werden darf: In unseren praktischen Tests der Schutzschaltungen gab es zudem reproduzierbare SCP-Unregelmäßigkeiten an den SATA-Steckern (siehe Fließtext).





Zum Vergleich: Das HX1000i 2023 ist mit seinen 18 cm rund 4 cm länger als das RM1000e. Üblicherweise spielt das nur bei kleineren Gehäusen eine Rolle.

Be Quiet Straight Power 12: Insgesamt eher enttäuschend

Das Straight Power 12 ist mit 80 Plus Platinum zertifiziert, kann sich jedoch kaum von der (auch eigenen) Konkurrenz absetzen.

Mit seiner Preisklasse von ca. 180 bis 200 Euro ist das Straight Power 12 für die im Test gebotene Leistung eigentlich zu teuer und vor allem eins: technisch unbeeindruckend. Dazu braucht es nicht mal die Konkurrenz, selbst das eigene Angebot von Be Quiet mit dem deutlich günstigeren Pure Power 12 M macht das Straight Power 12 bei momentaner Marktlage zu einer schwierigen Empfehlung. In unseren Effizienztests werden die beigelegten Kabel verwendet, die in der Praxis sehr wohl einen Unterschied machen können. Das Straight Power 12 kann sich in unserem Test nicht mit dem Gesamtdurchschnitt der Effizienz von 91,9 nur schwer vom Gold-Ableger mit 91,6 „absetzen“. Auch in puncto Lautheitsmessung zeigt sich das Straight Power 12 nicht leiser. Bei 80-prozentiger Last erreichte das Pure Power 12 M solide leise 0,4 Sone, während das Straight Power 12 den eigentlich größeren 135-mm-Lüfter mit 1,4 Sone mehr als doppelt so laut aufdreht. Immerhin: Bei den Primärkondensatoren sieht man tatsächlich hochwertigere Komponenten mit Rubycon MXG 450 V 390 µF (M) und Nippon Chemi-Con: 420 V 470 µF (M), die sich in der lebenswert hohen Hold-Up-Time von 24,0 ms widerspiegeln. Die Leistungswerte der Restwelligkeit, Spannungsregulation und Effizienz werden dadurch beim Single-Rail-Netzteil jedoch nicht ausgeglichen.



Im Dialog mit Herstellern

Bei von uns im Test gefundenen Fehlern und Auffälligkeiten geben wir entsprechende Hinweise an die Hersteller weiter, um den Makel im Idealfall tatsächlich aus der Welt zu schaffen. So etwa geschehen im Falle von Enermax und dem Vorserienmuster des D.F. X, das zuvor noch eine zu niedrige Hold-Up-Time und eine SCP-Unregelmäßigkeit bei den SATA-Anschlüssen aufwies. Im Rahmen unserer SCP-Praxisprüfung (die in der Art nicht in der Intel-Spezifikation vorgeschrieben ist) lassen wir einen Kurzschluss entstehen und beobachten das Verhalten. Als Reaktion auf den Input entschied sich Enermax löblicherweise für Alternativkomponenten, inklusive anderer Kabelarten mit geringerem Widerstand. Auf den erneuten Prüfstand gestellt, konnten wir die SCP-Ungenauigkeiten nicht mehr beobachten. Ein unschöner, aber für viele Nutzer verschmerzbarer Punkt ließ sich dagegen nicht mehr angehen: die On-/Off-Lüfterschwankung im nicht optionalen semi-passiven Modus.

Im Falle von Seasonic konnten wir beim zunächst für den Test vorgesehenen Vertex GX (als Seasonics erste ATX-3.0-Plattform) ebenfalls Detailpunkte wie zu große Lücken beim Lüftergitter (Fingerdurchstecken ist möglich), eine mit 10 Minuten arg lang anhaltende Lüfternachlaufzeit im semi-passiven Modus sowie eine SCP-Ungenauigkeit in unserem Praxisfall beobachten. Die sonstigen Werte waren zwar ordentlich, jedoch stand das Focus GX (mit ATX 3.0) bereits in den Startschuhen. Einer der Hauptkritikpunkte beim Vertex GX war der mit ca. 230–260 Euro viel zu hohe Preis für die Leistung. Mit dem Focus GX entfällt die Preis-kritik, und die Lüfterkurve wird auf ein besseres Niveau gehoben, ohne zu lange Nachlaufzeiten oder On-/Off-Lüfterschwankungen wie noch zu ATX-2.4-Zeiten. Das Vertex GX (80 Plus Gold) wird im Laufe der Zeit eingestellt. Der Vertex-PX-Nachfolger ist in der Nähe der Prime-Serie einzuordnen. Das Focus GX ist dagegen für das bezahlbare Mittelfeld konzipiert. Die SCP-Unregelmäßigkeiten der SATA-Anschlüsse sind laut Hersteller dagegen nicht mal eben gelöst. Während die Intel-Spezifikationen erfüllt werden,

stellt ein vermeintlich „simpler“ Praxistest (wie unserer) die Techniker vor ein kniffliges Problem mit anderen Anforderungen für ATX 3.0. Die ATX-2.4-Plattform war im Vergleich vor allem übervorsichtig, was zu frühzeitigem Abschalten mit Nvidias Ampere-Karten geführt hat. Die SCP schwächelt bei uns beim Focus GX ATX 3.0 vor allem am letzten SATA-Anschluss. Bei kurzen Kontakten kann das Netzteil weiterlaufen, bei längeren Berührungen schaltet die PSU in der Regel ab. Ungenau bleibt es dennoch, und muss an der Stelle auch entsprechend von uns benannt werden. (re)

Fazit

PCGH

Ein neues Triumvirat!

Zu meckern gibt es immer was, aber das digital einstellbare Corsair HX1000i 2023 (Platinum), das sehr effiziente/aktiv gekühlt leise FSP Hydro Ti Pro (Titanium) sowie das Asus ROG Strix Aura Gaming (Gold) spielen alle gleichermaßen mit verschiedenen Pro- und Contra-Punkten in der technischen Oberliga und können auch Silent-Enthusiasten empfohlen werden. Als Preis-Leistungs-Tipp halten das Enermax D.F. X sowie das Be Quiet Pure Power 12 M her.



Solange Sie sich der jeweiligen Vor- und Nachteile der Netzteil-Serien bewusst sind, können Sie ruhigen Gewissens zuschlagen. Dass die Oberklasse mehr kostet, liegt auf der Hand.

Fractal Design

Define 7 PCGH Edition



Testsieger unter den Midi-Tower-Gehäusen
jetzt als PCGH-Edition

3 × 140 mm Venturi-HF-Lüfter (3-pin)
statt Dynamic-Lüfter

Lüfter in einer speziellen PCGH-Version
mit nur 800 U/min.

5,25-Zoll-Halterung vorinstalliert

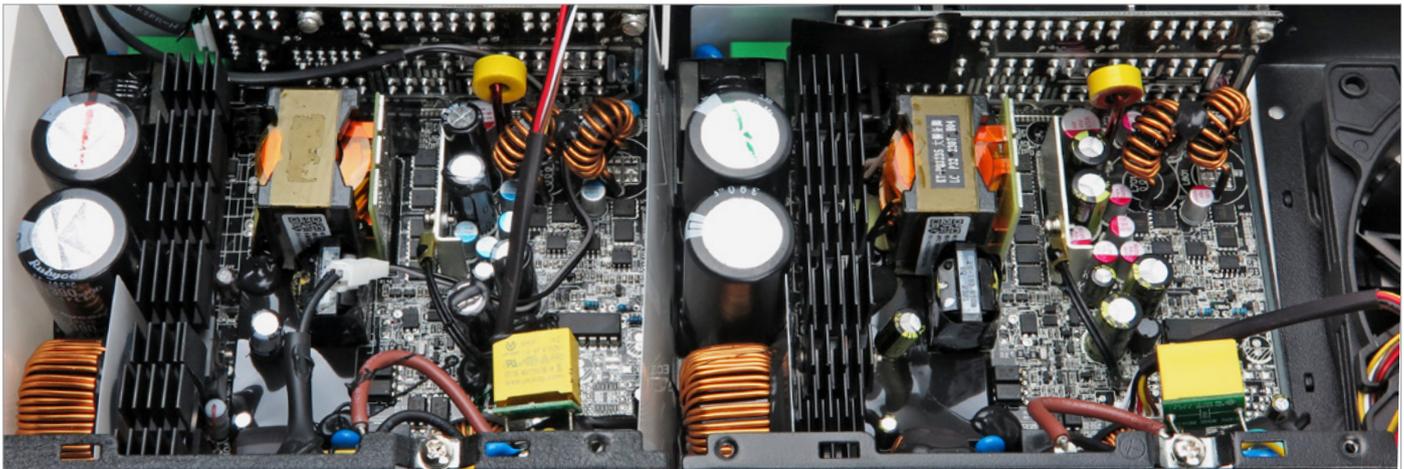
Fronttür öffnet standardmäßig nach rechts

PCGH-Metallaufkleber im Lieferumfang



PCGH
Offizielles PCGH-Produkt

www.pcgh.de/define7



Sieht gleich aus, steckt Gleiches drin? Nein. OEM-Partner bieten unterschiedlich bepreiste Komponenten an, etwa bei den Kondensatoren, Chips und Lüftern. Dadurch gewinnt der Hersteller Spielraum bei der Vermarktung unterschiedlicher Budget-Klassen. In diesem Beispiel sieht man links das höherwertige Enermax D.F. X, rechts D.F. 2.

Corsair RM1000e: Die Budget-Variante des Korsaren

Als Antwort auf Netzteile wie dem Be Quiet Pure Power 12 M oder Enermax D.F. X soll die RMe-Serie „Paroli“ bieten. Mit mäßigem Erfolg.

Das RM1000e ist für seine ca. 160 Euro kein unbedingt schlechtes Netzteil, hat aber im Budget-Bereich harte Konkurrenz. Suboptimale Punkte wie der schwächelnde semi-passive Modus (ab 10 Prozent Last aktive Kühlung in unserem Test), die Lautheitswerte (0,6 Sone bei 10 Prozent), die niedrigste Hold-Up-Time im Round-Up



(15,39 ms) und das Corsair-Chaos rund um den 12VHPWR-Stecker sind dabei keine Hilfe. Die ehrlicherweise optionale und praktisch obsolete -12-V-Leitung fehlt beim RMe. Im Dynamic-Loads-Test für ATX-3.0-Netzteile schafft es das RM1000e bei uns nicht zuverlässig durch den 100-ms-Durchgang mit Lastspitzen von 120 Prozent, wohl aber bei den anderen Peak-Vorgaben. Wie auch bei allen anderen ATX-3.0-Netzteilen der 1.000er-Wattklasse von Corsair bleibt die Kodierung des 12VHPWR-Kabels für Verbraucher unnötigerweise undurchsichtig. Auf der Verpackung werden bis zu realistischen 450 Watt angegeben, auf dem Kabel selbst fehlt die Kennzeichnung und die Kodierung spuckt 600 Watt aus. Das betrifft zwar alle von uns getesteten Corsair-Kandidaten im Vergleichstest, doch kann die Kodierung ähnlich wie beim SFX-L-Modell (siehe Testtabelle) zu Problemen mit echten kommenden PCI-E-5-Karten mit einem Stromdurst von 600 Watt werden. Ist diese Kombination in der Praxis realistisch? Kaum, eine transparentere Kommunikation des Herstellers ist dennoch wünschenswert. Leistungstechnisch bleibt das RM1000e ansonsten grundsätzlich unauffällig und bietet eine solide Durchschnittseffizienz von 91,8 Prozent. Bei Rabattaktionen können Sie also trotz allem ruhigen Gewissens zuschlagen.

Enermax D.F. 2: Spartipp, wenn es günstiger werden soll

Das D.F. 2 überzeugt nicht so sehr wie das D.F. X, ist dafür aber mit seinen ca. 135 Euro erschwinglicher.

Auf den ersten Blick wirkt das D.F. 2 wie der Klon des D.F. X ohne RGB-Beleuchtung, doch der Eindruck täuscht. Einerseits ist das D.F. 2 (abgesehen vom Dust-Free-Rotation-Start) um einiges lauter im Test – auch wenn der Lüfter des D.F. 2 mit seinen bis zu 1.800 U/min vermeintlich weniger aufdreht als der des D.F. X mit 2.100 U/min. Die 1,4 Sone bei 50-prozentiger Last sind nicht ideal, aber durchaus erträglich im verbauten Zustand. Auch das D.F. 2 war im Test von On-/Off-Lüfterschwankungen betroffen, und durch das hier verwendete, beinahe schon geschlossene, enge Lüftergitter entstehen weitere Störgeräusche. Silent-Enthusiasten greifen daher lieber zu anderen Modellen. Für Otto Normalverbraucher kann der Preis hingegen durchaus verlocken. Geboten wird ein 12VHPWR-Kabel über die PCI-E-PSU-Buchsen (nur SENSE0/1). Die Spannungsregulation ist mit 0,47 Prozent äußerst stabil. Den höchsten Wirkungsgrad weist das D.F. 2 im Bereich von ca. 25-prozentiger (93,4 Prozent) bis 45-prozentiger Last auf (93,6 Prozent). Die D.F.-2-Serie geht mit dem Erscheinen von ATX-3.1-Netzteilen im Jahr 2024 in den Abverkauf. Die mit fünf Jahren gerade mal Halbe der mittlerweile üblichen Garantiezeit bei Netzteilen überrascht bei dem Preis nicht. Wichtig zu wissen: Achten Sie unbedingt auf den richtigen Anschluss der mitgelieferten Kabel (mehr als ohnehin). Die Stecker und Buchsen sind im Vergleichstest besonders hakelig, starr und lückenfreudig! Gleiches gilt auch für das D.F. X.



Netzteile	ATX 3.0 (80 Plus Platinum)	ATX 3.0 (80 Plus Titanium)	ATX 3.0 (80 Plus Gold)	ATX 3.0 (80 Plus Gold)
	 <p>Auszug aus Testtabelle mit über 65 Wertungskriterien</p>			
Produkt	HX1000i 2023	Hydro Ti Pro	ROG Strix 1000G Aura Gam.	MPG A1000G PCIE5
Modellnummer	CP-9020259-EU	HTI-1000M GEN5	90YE00P1-B0NA00	306-7ZP7C11-CE0
Hersteller (Website)	Corsair (www.corsair.com)	FSP (www.fsplifestyle.com)	Asus (www.asus.com)	MSI (www.msi.com)
Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis	Ca. 235 Euro /Note: 3-	Ca. 245 Euro /Note: 3-	Ca. 260 Euro /Note: 4+	Ca. 180 Euro /Note: 3+
PCGH-Preisvergleich	www.pcgh.de/preis/2949218	www.pcgh.de/preis/2948284	www.pcgh.de/preis/2863233	www.pcgh.de/preis/2815736
Dauerleistung (Herstellerangabe)	1.000 Watt	1.000 Watt	1.000 Watt	1.000 Watt
Ausstattung (20 %)	1,48	1,38	1,45	1,45
Anschlüsse Floppy Molex SATA (Maximaldistanz)	0× 8× (bis zu ca. 74,0 cm) 8× (bis zu ca. 79,5 cm)	0× 4× (bis zu ca. 92,0 cm) 12× (bis zu ca. 99,0 cm)	0× 4× (bis zu ca. 84,5 cm) 5× (bis zu ca. 64,0 cm)	1× (bis zu ca. 105,5 cm) 4× (bis zu ca. 93,5 cm) 12× (bis zu ca. 96,5 cm)
12-V-CPU-Anschluss ATX-Stecker (Länge)	2× 4+4 Pol (je ca. 69,0 cm) 20+4 Pol (ca. 64,0 cm)	2× 4+4 Pol (je ca. 69,0 cm) 20+4 Pol (ca. 58,0 cm)	2× 4+4 Pol (je ca. 64,5 cm) 20+4 Pol (ca. 59,5 cm)	2× 4+4 Pol (je ca. 70,0 cm) 20+4 Pol (ca. 60,5 cm)
12+4-Pin-Kabel (Länge)	1× 12VHPWR zu proprietär, 450 W (600 W codiert, ca. 64,5 cm)	1× 12VHPWR zu 1× 12VHPWR, 600 Watt (ca. 69,5 cm)	1× 12VHPWR zu 1× 12VHPWR, 600 Watt (ca. 66,5 cm)	1× 12VHPWR zu 1× 12VHPWR, 600 Watt (ca. 60,0 cm)
PCI-E-Verbindungen (Kabelanzahl, jeweilige Länge)	4 Stecker: 2× 6+2 Pol (2×, je ca. 67/75,5 cm, Daisy-Chain)	5 Stecker: 2× 6+2 Pol (1×, ca. 64/78 cm), 1× 6+2 (3×, je ca. 64 cm, Daisy-Chain)	4 Stecker: 2× 6+2 Pol (1×, Daisy-Ch.), 1× 6+2 (2×, je ca. 67,5 cm)	6 Stecker: 1× 6+2 Pol (2×, ca. 60,0 cm), 2× 6+2 (2×, ca. 60,0/73,5 cm)
Handbuch Jahre an Garantie	Nur als QR-Code 10 Jahre	Ausführliches Faltblatt 10 Jahre	Kurzanleitung 10 J. (3 für ARGB)	Nur Warnhinweis 10 Jahre
Schutzschaltungen	OVP, OCP, OTP, SCP, OPP, CFP	OCP, OVP, OPP, SCP, OTP	OPP, OVP, UVP, SCP, OCP, OTP	OVP, OCP, OPP, OTP, SCP, UVP
Zubehör/Sonstiges	Kaltgerätekabel, 4× Schrauben, 10× Kabelbinder, 1× interner USB-Anschluss (zur Steuerung über iCUE, Lüfterkurve bei Anpassung bei Drehzahlminimum von 40 Prozent)	1× Kabeltasche, 4× Schrauben, 3× Klett-Kabelbinder, 1× Netzteiltester, 4× Hydro-Ti-Pro-Aufkleber	4× Schrauben und 10× Kabelbinder, 6× Klettbinder, 1× ROG-Aufkleber, Kabeltasche, gesleepte Kabel (Kunststoff), Daisy-Chain-8-Pol-PCI-E über 12VHPWR-Buchse, ARGB-Kabel (weiblich, ca. 79,5 cm)	4× Schrauben, Kabeltasche, 1× 12VHPWR zu 2× 8-Pol-PCI-E (kein Daisy-Chain)
Eigenschaften (20 %)	1,05	1,00	1,15	1,00
Kühlsystem (Lüftergröße, Art des Lagers)	Einstellbare Lüfterkurve/semi-passiv (140 mm, Fluid-Dynamic-Lager)	Optionaler semi-passiver Modus (135 mm, Fluid-Dynamic-Lager)	Optionaler, semi-passiver Modus (120 mm, Doppelkugellager)	Optionaler semi-passiver Modus (135 mm, Fluid-Dynamic-Lager)
Primärkondensatoren	2× Nippon Chemi-Con: 1× KMR 420 V 560 µF (M), 260Y4M, 1× KMZ 420 V 470 µF (M), 27F078, je 105 °C	2× Nippon Chemi-Con: 1× KMZ 450 V 680 µF (M), 27WT4M, 1× KMR 450 V 330 µF (M), 33AS5M, je 105 °C	1× Rubycon: MXE 420 V 680 µF (M), 1× Nippon Chemi-Con: 420 V 470 µF (M); je 105 °C	1× Nippon Chemi-Con: KHE 400 V 820 µF (M), 105 °C
Abmessungen L × B × H	18,0 × 15,0 × 8,6 cm	15,0 × 15,0 × 8,6 cm	18,0 × 15,0 × 8,6 cm	15,0 × 15,0 × 8,6 cm
Belastbarkeit +3,3 V und +5 V	150 Watt	120 Watt	120 Watt	120 Watt
Belastbarkeit +12-V-Schienen	999,6 Watt	1.000 Watt	999,6 Watt	1.000 Watt
Aufteilung +12-V-Schienen	Single-Rail mit 83,3 Ampere	Single-Rail mit 83,3 Ampere	Single-Rail, 83,3 Ampere	Single-Rail, 83,3 Ampere
Leistung (60 %)	1,20	1,23	1,15	1,31
Effizienz bei 1- bis 10-prozentiger Auslastung	63,3–90,2 % Ø von 81,1 %	59,5–92,4 % Ø von 84,0 %	67,8–84,3 % Ø von 80,7 %	52,4–87,5 % Ø von 76,1 %
Effizienz 10/20/50/100 %**(230 V)	90,3 93,3 93,7 90,5 %	92,3 94,8 95,1 92,5 %	86,9 91,4 92,8 90,7 %	87,7 91,8 92,5 89,7 %
Verbrauch bei 25/90/250/500 W Last	33,1 101,2 266,9 533,8 W	32,2 98,5 263,0 525,8 W	31,7 104,8 271,5 538,7 W	39,5 103,6 269,5 540,7 W
Lautheit 10/20/50/80/100 %*	0 0 0,1 0,6 2,3 Sone	0/0,2 0/0,2 0/0,2 3/0,0,3 0,3 Sone	0 0 0 0,2 0,6 Sone	0 0 0,1 1,1 2,8 Sone
Lüfteraktivität bei Lastanstieg	Anlaufen ab ca. 60 Prozent	Anlaufen ab ca. 75 Prozent	Anlaufen ab ca. 65 Prozent	Anlaufen ab ca. 50 Prozent
Leistungsaufnahme bei 45 mA ErP	0,350 Watt	0,409 Watt	0,372 Watt	0,365 Watt
Leistungsfaktorkorrektur (PFC) 10 bis 100 %**	0,706–0,986 Ø von 0,957	0,891–0,985 Ø von 0,974	0,892–0,988 Ø von 0,971	0,901–0,986 Ø von 0,972
Restwelligkeit***	20,7 12,7 12,8 8,6 15,9 mV	21,3 12,5 31,1 29,0 21,2 mV	14,5 8,8 17,1 14,9 14,2 mV	24,0 13,9 15,9 17,3 16,2 mV
Hold-Up-Time (> 16/17 ms)	22,16 ms	25,94 ms	23,3 ms	16,1 ms
Spannungsbewertung insgesamt	Sehr gut und sehr strikt mit 0,68 %	Sehr gut und strikt mit 1,16 %	Sehr gut und sehr strikt mit 0,98 %	Sehr gut und sehr strikt mit 0,74 %
FAZIT	⬆ Digital ansteuerbar über iCUE ⬆ Sehr gute Messergebnisse	⬆ Starke Effizienz- und Sone-Werte ⬆ On/Off-Lüfterschwankung mögl.	⬆ Äußerst leise, Restwelligkeit ⬆ Kabelmenge/-länge, teuer	⬆ Spannungswerte, Kabelausstatt. ⬆ Effizienz im niedrigen Bereich
	Wertung: 1,22	Wertung: 1,22	Wertung: 1,22	Wertung: 1,28

*Sone im 50-cm-Abstand zum Lüfter unter gemessener Drehzahl der Laststufen, mit Beachtung des Passivbereichs ** Auslastung ***+12V, +5V, +3,3V, -12V, +5Vsb bei 10-ms-Breite – je niedriger der Wert, umso besser

Test in 09/2023

Netzteile Auszug aus Testtabelle mit über 65 Wertungskriterien	ATX 3.0 (80 Plus Gold)	ATX 3.0 (80 Plus Titanium)	ATX 3.0 (80 Plus Gold)	ATX 3.0 (80 Plus Gold)
				
Produkt	RM1000x Shift	Dark Power 13	Revolution D.F. X	Focus GX
Modellnummer	RP50161/CP-9020253	BN335	ERT1050EWT	FOCUS-GX-1000-ATX30
Hersteller (Website)	Corsair (www.corsair.com)	Be Quiet (www.bequiet.com)	Enermax (www.enermaxeu.com)	Seasonic (www.seasonic.com)
Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis	Ca. 195 Euro /Note: 3-	Ca. 260 Euro /Note: 4+	Ca. 155 Euro /Note: 2	Ca. 165 Euro /Note: 3+
PCGH-Preisvergleich	www.pcgh.de/preis/2888904	www.pcgh.de/preis/2876417	www.pcgh.de/preis/2991120	www.pcgh.de/preis/3002967
Dauerleistung (Herstellerangabe)	1.000 Watt	1.000 Watt	1.050 Watt	1.000 Watt
Ausstattung (20 %)	1,44	1,36	1,47	1,41
Anschlüsse Floppy Molex SATA (Maximaldistanz)	0× 8× (bis zu ca. 74,5 cm) 16× (bis zu ca. 79,5 cm)	0× 2× (bis zu ca. 100,0 cm) 13× (bis zu ca. 107,0 cm)	1× (Molex-Adapter, ca. 10,5 cm) 6× (bis zu ca. 80,5 cm) 12× (bis zu ca. 92,5 cm)	0× 3× (bis zu ca. 70,5 cm) 10× (bis zu ca. 96,5 cm)
12-V-CPU-Anschluss ATX-Stecker (Länge)	2× 4+4 Pol (je ca. 64,0 cm) 20+4 Pol (ca. 60,5 cm)	1× 8 Pol, 1× 4+4 Pol (je ca. 69,0 cm) 20+4 Pol (ca. 59,0 cm)	2× 4+4 Pol (je ca. 69,5 cm) 20+4 Pol (ca. 64,5 cm)	2× 4+4 Pol (je ca. 70 cm) 20+4 Pol (ca. 60 cm)
12+4-Pin-Kabel (Länge)	1× 12VHPWR zu proprietär, 450 W (Codierung: 600 W, ca. 64,0 cm)	1× 12VHPWR zu 1× 12VHPWR, 600 Watt (ca. 60,0 cm)	2× 12VHPWR-Kabel (1× nativ, 1× proprietär), 600 W (ca. 60,0 cm)	1× 12VHPWR zu 1× 12VHPWR, 600 Watt (ca. 74 cm)
PCI-E-Verbindungen (Kabelanzahl, jeweilige Länge)	7 Stecker: 1× 6+2 Pol (3×, ca. 64,5 cm), 2× 6+2 (2×, ca. 64,5/72,5 cm)	4 Stecker: 2× 6+2 Pol (2×, je ca. 60 cm)	4 Stecker: 2× 6+2 Pol (2×, ca. 64,5/78,0 cm, Daisy-Chain)	3 Stecker: 2× 6+2 Pol je ca. 75 cm
Handbuch Jahre an Garantie	Nur als QR-Code 10 Jahre	Ausführliches Heft 10 Jahre	Ausführliches Heft 10 Jahre	Ausführliches Heft 10 Jahre
Schutzschaltungen	OVP, SCP, OPP, OTP, OCP, UVP	OCP, OVP, UVP, SCP, OPP, OTP	SCP, OVP, UVP, OTP, OPP, OCP	OPP, OVP, UVP, OCP, OTP, SCP
Zubehör/Sonstiges	4× Schrauben und 10× Kabelbinder, seitliche PSU-Anschlüsse für leichteres Kabelmanagement von der Mainboard-Tray-Seite aus, Type-5-Micro-Fit-Kabelstecker	5× Schrauben, 5× Thumbscrews, 6× Kabelbinder, 5× Klett-Kabelbinder, 1× Single/Multirail-Umschalter,	Propri. 12VHPWR-Kabel nur mit SENSE0/1 über 2× 6-polige PSU-Anschlüsse, 4× Schrauben, 1× Netzteiltester, 1× D.F.-X-Aufkleber, 1× Kabeltasche	4× Schrauben, 12× Kabelbinder, 1× Netzteiltester, 3× Klett-Kabelbinder, 2× Stofftasche, kunststoffummanteltes Kabelset mit prägniertem Griffmuster
Eigenschaften (20 %)	1,05	1,05	1,00	1,00
Kühlsystem (Lüftergröße, Art des Lagers)	Nicht optionaler, semi-passiver Mod. (140 mm, Fluid-Dynamic-Lager)	Rein aktive Kühlung (rahmenlos, 135 mm, Fluid-Dynamic-Lager)	Semi-passiver Modus (120 mm, Dust-Free-Rotation, beidseitig)	Optionaler semi-passiver Modus (135 mm, Fluid-Dynamic-Lager)
Primärkondensatoren	1× Nichicon: 400 V 560 µF (M), 1× Nippon Chemi-Con: KMW 400 V 470 µF (M); je 105 °C	2× Nippon Chemi-Con: KMZ 420 V 470 µF (M), 1NB078, je 105 °C	2× Rubycon: MXK 450 V 390 µF (M), je 105 °C	2× Nichicon: 1× 400 V 560 µF (M), 1× 400 V 330 µF (M), je 105 °C
Abmessungen L × B × H	18,0 × 15,0 × 8,6 cm	17,5 × 15,0 × 8,6 cm	14,0 × 15,0 × 8,6 cm	14,0 × 15,0 × 8,6 cm
Belastbarkeit +3,3 V und +5 V	150 Watt	125 Watt	130 Watt	125 Watt
Belastbarkeit +12-V-Schienen	1.000 Watt	996 Watt	1.050 Watt	996 Watt
Aufteilung +12-V-Schienen	Single-Rail, 83,3 Ampere	Multi-Rail, 2× 32 A und 2× 40 A	Single-Rail mit 87,5 Ampere	Single-Rail mit 83 Ampere
Leistung (60 %)	1,42	1,49	1,50	1,57
Effizienz bei 1- bis 10-prozentiger Auslastung	67,5–86,6 % Ø von 81,3 %	60,6–92,3 % Ø von 84,3 %	68,0–91,8 % Ø von 85,5 %	54,2–89,2 % Ø von 79,6 %
Effizienz 10/20/50/100 %** (230 V)	86,7 91,1 92,6 90,2 %	92,3 94,8 94,9 92,1 %	91,9 93,8 93,2 90,4 %	89,1 92,0 92,5 89,7 %
Verbrauch bei 25/90/250/500 W Last	31,6 104,9 272,4 540,0 W	31,9 98,3 262,8 526,7 W	31,2 98,9 266,0 534,9 W	35,3 102,4 270,6 539,7 W
Lautheit 10/20/50/80/100 %*	0 0 0 0,7 1,9 Sone	0,1 0,1 0,2 0,6 1,0 Sone	0 0,7 0,8 1,4 2,8 Sone	0 0,3 0,3 1,8 3,7 Sone
Lüfteraktivität bei Lastanstieg	Anlaufen ab ca. 65 Prozent	Fortwährend laufender Lüfter	Anlaufen ab ca. 30 Prozent	Anlaufen ab ca. 35 Prozent
Leistungsaufnahme bei 45 mA ErP	0,355 Watt	0,420 Watt	0,390 Watt	0,448 Watt
Leistungsfaktorkorrektur (PFC) 10 bis 100 %**	0,884–0,990 Ø von 0,974	0,893–0,984 Ø von 0,973	0,806–0,985 Ø von 0,955	0,822–0,982 Ø von 0,958
Restwertigkeit***	21,7 29,9 28,5 – 24,0 mV	32,3 26,1 35,4 16,8 26,7 mV	27,9 25,0 29,9 25,5 42,9 mV	24,8 22,1 20,6 14,2 12,9 mV
Hold-Up-Time (> 16/17 ms)	22,7 ms	25,2 ms	20,09 ms	16,37 ms
Spannungsbewertung insgesamt	Sehr gut und sehr strikt mit 1,00 %	Sehr gut und strikt mit 1,16 %	Sehr gut und sehr strikt mit 0,85 %	Sehr gut und sehr strikt mit 0,98 %
FAZIT	<ul style="list-style-type: none"> 🟢 Frisches Konzept, gute Leistung 🔴 Preis im Vergleich höher 	<ul style="list-style-type: none"> 🟢 Effizienz, ruhige Lüfterkurve, optionaler Multi-Rail-Modus 	<ul style="list-style-type: none"> 🟢 Fairer Preis, Effizienz, RGB 🔴 Eher laut, steife Kabel 	<ul style="list-style-type: none"> 🟢 Kabeloptik, 14-cm-Länge 🔴 Gitterlücke, SCP-Auffäll., Sone
	Wertung: 1,35	Wertung: 1,37	Wertung: 1,40	Wertung: 1,42

*Sone im 50-cm-Abstand zum Lüfter unter gemessener Drehzahl der Laststufen, mit Beachtung des Passivbereichs ** Auslastung *** +12V, +5V, +3,3V, -12V, +5Vsb bei 10-ms-Breite – je niedriger der Wert, umso besser

	Test in 09/2023 ATX 3.0 (80 Plus Gold)	Test in 09/2023 SFX-L, ATX 3.0 (80 Plus Platinum)	Test in 09/2023 ATX 3.0 (80 Plus Gold)	ATX 3.0 (80 Plus Platinum)
<h1>Netzteile</h1> <p>Auszug aus Testtabelle mit über 65 Wertungskriterien</p>				
	Produkt	Toughpower GF3	ROG Loki SFX-L Gaming	Pure Power 12 M
Modellnummer	PS-TPD-1000FNFACE-4	90YE00N1-B0NA00	BN345	BN338
Hersteller (Website)	Thermaltake (de.thermaltake.com)	Asus (www.asus.com)	Be Quiet (www.bequiet.com)	Be Quiet (www.bequiet.com)
Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis	Ca. 165 Euro/Note: 2-	Ca. 270 Euro/Note: 4	Ca. 150 Euro/Note: 2	Ca. 185 Euro /Note: 4+
PCGH-Preisvergleich	www.pcgh.de/preis/2807935	www.pcgh.de/preis/2817177	www.pcgh.de/preis/2884016	www.pcgh.de/preis/2966446
Dauerleistung (Herstellerangabe)	1.000 Watt	1.000 Watt	1.000 Watt	1.000 Watt
Ausstattung (20 %)	1,47	2,06	1,75	1,63
Anschlüsse Floppy Molex SATA (Maximaldistanz)	1× (Molex-Adapter, ca. 9,5 cm) 4× (bis zu ca. 93,5 cm) 12× (bis zu ca. 97,5 cm)	0× 4× (bis zu ca. 61,0 cm) 6× (bis zu ca. 59,5 cm)	0× 2× (bis zu ca. 96,0 cm) 6× (bis zu ca. 96,0 cm)	0× 2× (bis zu ca. 98,0 cm) 9× (bis zu ca. 101,0 cm)
12-V-CPU-Anschluss ATX-Stecker (Länge)	2× 4+4 Pol (je ca. 70,0 cm) 20+4 Pol (ca. 60,0 cm)	2× 4+4 Pol (je ca. 54,5 cm) 20+4 Pol (ca. 44,5 cm)	1× 8 Pol, 1× 4+4 Pol (je ca. 58,5 cm) 20+4 Pol (ca. 54,5 cm)	1× 8 Pol, 1× 4+4 Pol (je ca. 69,5 cm) 20+4 Pol (ca. 59,0 cm)
12+4-Pin-Kabel (Länge)	1× 12VHPWR zu 1× 12VHPWR, 450 Watt (ca. 59,5 cm)	1× 12VHPWR zu 1× 12VHPWR, 600 Watt (ca. 44,5 cm)	1× 12VHPWR zu 1× 12VHPWR, 600 Watt (ca. 59,5 cm)	1× 12VHPWR zu 1× 12VHPWR, 600 Watt (ca. 59,5 cm)
PCI-E-Verbindungen (Kabelanzahl, jeweilige Länge)	4 Stecker: 2× 6+2 Pol (2×, ca. 50,0/63,0 cm, Daisy-Chain)	3 Stecker: 2× 6+2 Pol (1×, Daisy-Ch.), 1× 6+2 Pol (alle ca. 45,0 cm)	4 Stecker: 2× 6+2 Pol (2×, ca. 48,0/61,0 cm, Daisy-Chain)	4 Stecker: 2× 6+2 Pol (2×, je ca. 69 cm, Daisy-Chain)
Handbuch Jahre an Garantie	Gutes Faltblatt 10 Jahre	Kurzanleitung 10 J. (3 für ARGB)	Knappe Kurzanleitung 10 Jahre	Ausführliches Heft 10 Jahre
Schutzschaltungen	OCP, OVP, UVP, OPP, SCP, OTP	OPP, OVP, UVP, SCP, OCP, OTP	OCP, OVP, UVP, SCP, OPP, OTP, SIP	OCP, OVP, UVP, SCP, OPP, OTP
Zubehör/Sonstiges	4× Schrauben, 4× Kabelbinder, Kabeltasche	10× Kabelbinder, 6× Schrauben, 3× Klett-Kabelbinder, ATX-Schiene, ARGB-Kabel (weiblich, ca. 79,5 cm), Kabeltasche, gesleepte Kabel (Kunststoff)	5× Schrauben und 5× einfache Kabelbinder	4× Schrauben, 4× einfache Kabelbinder
Eigenschaften (20 %)	1,00	1,10	1,00	1,00
Kühlsystem (Lüftergröße, Art des Lagers)	Optionaler semi-passiver Modus (135 mm, Fluid-Dynamic-Lager)	Nicht optionaler, semi-passiver Mod. (120 mm, Doppelkugellager)	Rein aktive Kühlung (120 mm, Kugellager)	Rein aktive Kühlung (Silent Wings: 135 mm, Fluid-Dynamic-Lager)
Primärkondensatoren	1× Nippon Chemi-Con: KHE 420 V 820 µF (M), 105 °C	2× Rubycon: MXK 1× 420 V 510 µF (M), 1× 420 V 330 µF (M), 105 °C	2× Elite: 400 V 470 µF (M), 105 °C	1× Rubycon MXG 450 V 390 µF (M), 1× Nippon Chemi-Con: 420 V 470 µF (M) 29C041; je 105 °C
Abmessungen L × B × H	16,0 × 15,0 × 8,6 cm	12,5 × 12,5 × 6,35 cm	16,0 × 15,0 × 8,6 cm	16,0 × 15,0 × 8,6 cm
Belastbarkeit +3,3 V und +5 V	120 Watt	110 Watt	120 Watt	150 Watt
Belastbarkeit +12-V-Schienen	1.000 Watt	1.000 Watt	1.000 Watt	999,6 Watt
Aufteilung +12-V-Schienen	Single-Rail, 83,3 Ampere	Single-Rail, 83,3 Ampere	Dual-Rail, 46 42 Ampere	Single-Rail mit 83,3 Ampere
Leistung (60 %)	1,55	1,40	1,57	1,68
Effizienz bei 1- bis 10-prozentiger Auslastung	70,1–87,4 % Ø von 83,0 %	61,2–89,4 % Ø von 81,5 %	68,6–88,7 % Ø von 82,8 %	49,0–88,7 % Ø von 78,0 %
Effizienz 10/20/50/100 %** (230 V)	87,3 90,9 92,2 89,7 %	91,2 93,8 94,1 91,2 %	88,6 92,4 93,0 90,2 %	88,7 92,3 93,5 91,5 %
Verbrauch bei 25/90/250/500 W Last	31,0 103,8 272,5 542,4 W	33,2 101,4 265,6 531,5 W	31,5 102,8 269,2 537,8 W	36,0 102,8 268,9 534,4 W
Lautheit 10/20/50/80/100 %*	0 0 0,1 1,2 4,3 Sone	0 0 0 1,8 3,1 Sone	0,2 0,2 0,2 0,4 1,7 Sone	0,1 0,1 0,3 1,4 2,4 Sone
Lüfteraktivität bei Lastanstieg	Anlaufen ab ca. 30 Prozent	Anlaufen ab ca. 55 Prozent	Fortwährend laufender Lüfter	Fortwährend laufender Lüfter
Leistungsaufnahme bei 45 mA ErP	0,353 Watt	0,339 Watt	0,356 Watt	0,381 Watt
Leistungsfaktorkorrektur (PFC) 10 bis 100 %**	0,891–0,982 Ø von 0,966	0,840–0,981 Ø von 0,954	0,862–0,983 Ø von 0,961	0,932–0,988 Ø von 0,977
Restwelligkeit***	24,6 12,8 15,4 13,8 17,0 mV	37,3 20,5 45,3 41,9 26,7 mV	29,6 14,2 18,7 12,0 27,4 mV	38,9 24,6 20,4 57,1 29,0 mV
Hold-Up-Time (> 16/17 ms)	18,6 ms	19,0 ms	19,6 ms	24,0 ms
Spannungsbewertung insgesamt	Sehr gut und sehr strikt mit 1,02 %	Sehr gut und sehr strikt mit 0,71 %	Sehr gut und strikt mit 1,25 %	Gut und strikt mit 1,91 %
<h1>FAZIT</h1>	⚡ Gesamtkonzept zum fairen Preis ⚡ Lautstärke unter Volllast	⚡ Effizienz, Lautstärke für SFX-L ⚡ Preis, Ripple, Dynamic-Loads	⚡ Fairer Preis, gute Sone-Werte ⚡ Fiepen im Idle (Burst-Mode)	⚡ Gute Hold-Up-Time ⚡ Leistung für Platinum-PSU
	Wertung: 1,43	Wertung: 1,47	Wertung: 1,51	Wertung: 1,53

*Sone im 50-cm-Abstand zum Lüfter unter gemessener Drehzahl der Laststufen, mit Beachtung des Passivbereichs ** Auslastung *** +12V, +5V, +3,3V, -12V, +5Vsb bei 10-ms-Breite – je niedriger der Wert, umso besser

Netzteile Auszug aus Testtabelle mit über 65 Wertungskriterien	Test in 09/2023	Test in 09/2023	Test in 09/2023	Test in 09/2023
	SFX-L, ATX 3.0 (80 Plus Gold)	ATX 3.0 (80 Plus Gold)	ATX 3.0 (80 Plus Gold)	ATX 3.0 (80 Plus Gold)
				
Produkt	SF1000L	RM1000e	Polaris 3.0	Revolution D.F. 2
Modellnummer	RPS0156/CP-9020246	CP-9020264-EU	PPS-1050FC-A3	ERS1050EWT
Hersteller (Website)	Corsair (www.corsair.com)	Corsair (www.corsair.com)	Chieftec (www.chieftec.eu)	Enermax (www.enermaxeu.com)
Preis/Preis-Leistungs-Verhältnis	Ca. 220 Euro/Note: 3-	Ca. 160 Euro /Note: 3	Ca. 175 Euro/Note: 3-	Ca. 135 Euro /Note: 2
PCGH-Preisvergleich	www.pcgh.de/preis/2934901	www.pcgh.de/preis/2928401	www.pcgh.de/preis/2939937	www.pcgh.de/preis/2919275
Dauerleistung (Herstellerangabe)	1.000 Watt	1.000 Watt	1.050 Watt	1.050 Watt
Ausstattung (20 %)	2,46	1,82	1,86	2,75
Anschlüsse Floppy Molex SATA (Maximaldistanz)	0x 3x (bis zu ca. 31,5 cm) 8x (bis zu ca. 47,0 cm)	0x 4x (bis zu ca. 72,0 cm) 7x (bis zu ca. 81,0 cm)	0x 4x (bis zu ca. 86,5 cm) 12x (bis zu ca. 89,5 cm)	1x (Molex-Adapter, ca. 10,5 cm) 4x (bis zu ca. 81,5 cm) 8x (bis zu ca. 82,0 cm)
12-V-CPU-Anschluss ATX-Stecker (Länge)	2x 4+4 Pol (je ca. 39,5 cm) 20+4 Pol (ca. 30,0 cm)	2x 4+4 Pol (je ca. 64 cm) 20+4 Pol (ca. 59,5 cm)	2x 4+4 Pol (je ca. 64,5 cm) 20+4 Pol (ca. 63,5 cm)	2x 4+4 Pol (je ca. 69,5 cm) 20+4 Pol (ca. 64,0 cm)
12+4-Pin-Kabel (Länge)	1x 12VHPWR zu proprietär, 450 W (Codierung: 600 W, ca. 40,0 cm)	1x 12VHPWR zu proprietär, 450 W (Codierung: 600 W, ca. 64,5 cm)	1x 12VHPWR zu 1x 12VHPWR, 600 Watt (ca. 60,0 cm)	1x 12VHPWR zu proprietär, 600 Watt (ca. 60 cm)
PCI-E-Verbindungen (Kabelanzahl, jeweilige Länge)	5 Stecker: 1x 6+2 Pol (3x, ca. 40,0 cm), 2x 6+2 Pol (1x, ca. 48,5 cm)	6 Stecker: 2x 6+2 Pol (2x, ca. 58,5/72 cm), 1x 6+2 (2x, je ca. 59	4 Stecker: 2x 6+2 Pol (2x, ca. 59/69,5 cm, Daisy-Chain)	6 Stecker: 2x 6+2 Pol (3x, ca. 64,5/78,0 cm, Daisy-Chain)
Handbuch Jahre an Garantie	Nur als QR-Code 7 Jahre	Nur als QR-Code 7 Jahre	Kurzanleitung 5 Jahre	Knappes Faltblatt 5 Jahre
Schutzschaltungen	OVP, SCP, OPP, OTP, OCP, UVP	OVP, OCP, OTP, SCP, OPP, CFP	OCP, OVP, UVP, SCP, OPP, OTP, SIP	SCP, OVP, UVP, OTP, OPP
Zubehör/Sonstiges	6x Schrauben, 10x Kabelbinder, ATX-Schiene, Type-5-Micro-Fit-Kabelstecker	4x Schrauben, 10x Kabelbinder	4x Schrauben, 1x Kabeltasche	4x Schrauben, 1x Netzteiltester, 1x Kabeltasche
Eigenschaften (20 %)	1,00	1,00	1,00	1,00
Kühlsystem (Lüftergröße, Art des Lagers)	Nicht optionaler, semi-passiver Mod. (120 mm, Fluid-Dynamic-Lager)	Semi-passiver Modus (120 mm, Fluid-Dynamic-Lager)	Nicht optionaler, semi-passiver Mod. (135 mm, Fluid-Dynamic-Lager)	Semi-passiver Modus (120 mm, Dust-Free-Rotation, beidseitig)
Primärkondensatoren	1x Rubycon: MXK 420 V 510 µF (M), 1x Nichicon: 420 V 330 µF (M); je 105 °C	1x Elite 400 V 680 µF (M), 105 °C	1x Rubycon: MXH 420 V 560 µF (M), 1x TK: LGW 420 V 680 µF (M)	2x Toshin Kogyo 450V, 390 µF (M), je 105 °C
Abmessungen L x B x H	13,0 x 12,5 x 6,35 cm	14,0 x 15,0 x 8,6 cm	16,0 x 15,0 x 8,6 cm	14,0 x 15,0 x 8,6 cm
Belastbarkeit +3,3 V und +5 V	150 Watt	150 Watt	120 Watt	130 Watt
Belastbarkeit +12-V-Schienen	1.000 Watt	1.000 Watt	1.050 Watt	1.050 Watt
Aufteilung +12-V-Schienen	Single-Rail, 83,3 Ampere	Single-Rail mit 83,3 Ampere	Single-Rail, 87,5 Ampere	Single-Rail mit 87,5 Ampere
Leistung (60 %)	1,43	1,68	1,80	1,66
Effizienz bei 1- bis 10-prozentiger Auslastung	61,8–89,9 % Ø von 82,8 %	66,8–87,9 % Ø von 82,0 %	48,5–88,3 % Ø von 78,3 %	61,5–90,5 % Ø von 84,2 %
Effizienz 10/20/50/100 %** (230 V)	91,4 93,8 94,1 91,1 %	87,9 92,6 93,3 90,5 %	88,3 92,2 92,8 90,2 %	90,5 93,2 93,3 90,3 %
Verbrauch bei 25/90/250/500 W Last	32,6 101,2 265,7 531,5 W	31,9 103,9 268,2 535,8 W	35,2 103,6 270,9 538,4 W	31,7 99,2 267,2 537,9 W
Lautheit 10/20/50/80/100 %*	0 0 0,4 4,1 5,9 Sone	0,6 0,6 0,7 1,3 1,5 Sone	0 0 0,6 2,8 5,2 Sone	0 1,2 1,4 2,6 3,5 Sone
Lüfteraktivität bei Lastanstieg	Anlaufen ab ca. 45 Prozent	Anlaufen ab ca. 10 Prozent	Anlaufen ab ca. 25 Prozent	Anlaufen ab ca. 35 Prozent
Leistungsaufnahme bei 45 mA ErP	0,335 Watt	0,371 Watt	0,431 Watt	0,397 Watt
Leistungsfaktorkorrektur (PFC) 10 bis 100 %**	0,833–0,981 Ø von 0,952	0,680–0,978 Ø von 0,952	0,871–0,997 Ø von 0,973	0,819–0,986 Ø von 0,957
Restwelligkeit***	22,1 14,5 16,0 - 12,7 mV	28,7 36,8 39,4 - 16,8 mV	26,5 13,3 16,4 16,4 19,7 mV	28,6 25,4 24,9 30,4 41,7 mV
Hold-Up-Time (> 16/17 ms)	21,5 ms	15,39 ms	20,9 ms	18,8 ms
Spannungsbewertung insgesamt	Sehr gut und sehr strikt mit 0,43 %	Sehr gut und sehr strikt mit 0,77 %	Gut und strikt mit 1,71 %	Sehr gut und sehr strikt mit 0,47 %
FAZIT	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Effizienz, Spannungsregulation ⊖ Lautstärke ab Last von ca. 80 % 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Spannungsregulation ⊖ Hold-Up-Time, Dynamic-Loads 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ 12VHPWR-Unterstützung ⊖ Lautstärke unter hoher Last 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Preis, Spannungsreg./Ripple ⊖ Vergleichsweise laut
	Wertung: 1,55	Wertung: 1,57	Wertung: 1,61	Wertung: 1,75

*Some im 50-cm-Abstand zum Lüfter unter gemessener Drehzahl der Laststufen, mit Beachtung des Passivbereichs ** Auslastung *** +12V, +5V, +3,3V, -12V, +5Vsb bei 10-ms-Breite – je niedriger der Wert, umso besser

PCGH Digital im Abo

Jeden Monat neue Prämienvorteile!

Lesen Sie PCGH bequem am PC als Download-PDF, im Web oder auf Ihrem iOS-, Android- oder Amazon-Gerät!

1-Jahres-Abo

12 x PCGH 
mit 10-Euro-Gutschein
www.pcgh.de/digital-only

*1-Jahres-Abo: 59,99 Euro

2-Jahres-Abo



24 x PCGH 
+ 1 brandaktuelles PC-Spiel als Key von Gamesplanet
www.pcgh.de/digital2

**2-Jahres-Abo: 119,98 Euro (In Deutschland)



Weitere Vorteile

- » Werbefreier Zugang auf PCGH.de
- » PCGH-Jahresarchive ab 2001 (PDF)
- » Printartikel direkt kostenfrei im Webseiten-layout lesen – auf Desktop und Mobile!

PCGH +

www.pcgh.de/digitalabo



Die Redaktion

THILO BAYER

Chefredakteur | post@pcgh.de | Aufgabengebiete: Heft, Website, Mädchen für alles

PC aktuell: Ich bin immer noch in der Koop-Kampagne von Jagged Alliance 3 zugange. Das wird auch noch einige Zeit dauern. Die Hoffnungen auf Lamplighters League haben sich leider derbe zerschlagen.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... bisher herzlich wenig. Eigentlich brauche ich nichts Materielles, eher immaterielle Dinge, die man sich aber nicht so einfach schenken lassen kann. Meine Hoffnungen für den Januar 2024 sind, dass Nvidia bei der Super-Auflage gute Preise aufruft und ordentlich Menge hat. Die Lage speziell bei der GeForce RTX 4090 ist ja eher katastrophal.

Privat-PC: Ryzen 7 3700X, G.Skill Ripjaws 32 GiB DDR4-3200, MSI X570 Gaming Edge, Asus ROG Strix RTX 2070 Super, Acer XF270HUA



RAFFAEL VÖTTER

Leitender Redakteur | post@pcgh.de | Fachbereiche: Artikelplanung, Grafikkarten, GPU-Kühler, Spiele ...

PC aktuell: Der Jahresendspurt war hart, aber geil. Ich habe sowohl Robocop: Rogue City (Geheimtipp!) als auch Call of Duty: Modern Warfare 3 durchgespielt – nicht nur für die Wissenschaft, sondern aus Spaß, zur Entspannung und so unproduktive Dinge. Ansonsten habe ich 2023 unfassbar viele Spiele an-, aber nicht durchgezockt. Wildes Jahr, laut Metacritic vielleicht das beste bis dato. Zumindest inhaltlich. Technisch knirschte es zum Start bei so vielen Titeln im Getriebe, dass ich mich frage, ob es überhaupt noch Qualitätskontrollen (am PC) gibt.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... Weltfrieden. Was sonst?

Privat-PC: AMD Ryzen 9 5950X @ 16T/UV/Eco, Biostar B550GTA, 32 GiB DDR4, MSI RTX 4090 Suprim X, 2 TByte NVME-SSDs, Viewsonic XG320U



ANDREAS LINK

Leitender Redakteur Online | post@pcgh.de | Fachbereich: Online-Auftritt (pcgh.de)

PC aktuell: Gemäß der letzten Monat urmissenen Tradition, immer zu spät zu sein, habe ich (endlich) das jetzt duchgepatchte The Witcher 3 samt Add-ons mit ein bis zwei wenigen QOL-Mods durchgespielt (Teaser in 02/23). Good Times. Es gab zwar immer noch kleine Bugs, aber ist ein gutes Spiel und ich hab auch (fast) alles erledigt. Fragezeichen in Skellige und die Bärenschulenrüstung habe ich gelassen.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... da sich die viele Kollegen den Weltfrieden wünschen und das damit mehrheitlich beschlossen ist, hänge ich mich bei Richards „spätromischer Dekadenz“ dran.

Privat-PC: Macbook Pro und Asus Zenbook, Desktop-Systeme mit Core i7-8700K und GeForce GTX 980 Ti sowie Pentium 3 und Radeon 64 DDR



MANUEL CHRISTA

Leitender Redakteur Video | post@pcgh.de | Fachbereiche: Videoplanung, Monitore, SSDs, Notebooks

PC aktuell: Ich spiele fast nur an Unraid und am Heimserver herum. Manchmal bereue ich es, mir den Aufwand eines eigenen Heimservers gemacht zu haben. Wenn man mal durchblickt, wie so ein Zfs-Share, Speicherpool oder Array dann endlich funktioniert, merkt man erst, wie einfach man das mit einem simplen Synology-Kasten gehabt hätte.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... mal wieder acht Stunden durchschlafen zu können. Abgesehen von meinen beiden Gründen, die nun vier Jahre bzw. vier Monate alt sind, hat es mein Körper wohl echt verlernt. Ich experimentiere grade mit Bettgezeiten um 20 Uhr herum.

Privat-PC: Ryzen 9 3900X, B550-Board, Zotac RTX 3070, 32 GiB DDR4, Samsung 960 Evo 500 GB, Viewsonic XG2703-GS; Macbook Pro 16 M1



DAVID NEY

Redakteur | post@pcgh.de | Fachbereiche: Prozessoren, Grafikkarten, Spiele

PC aktuell: Dank eines sehr geduldigen Users aus dem PCGHX-Forum konnte ich meinem Arbeitsspeicher und damit meinem 7800X3D so richtig Feuer unter dem Hintern machen, danke dafür. Jetzt muss ich nur noch die RTX 3090 loswerden, die limitiert den Prozessor nämlich sogar noch bei einer Auflösung von 422 × 237 Pixel (DLSS UP).

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... etwas mehr Aufgeschlossenheit zu anderen Wahrheiten. Man muss nicht alles glauben, was andere sagen. Ansonsten habe ich mir schon alle Wünsche erfüllt, ich tippe jetzt beispielsweise auf einer Cherry KW X ULP, die einfach klasse ist.

Privat-PCs: Ryzen 7 7800X3D@24 Watt@13700K-Leistung, Asrock X670E Pro RS, 32 GiB DDR5-6400, GeForce RTX 3090 FE @ 1,7 GHz @ 0,75 Volt



PHILIPP REUTHER

Redakteur | post@pcgh.de | Fachbereiche: Spiele, Sound & Grafik

PC aktuell: Ich martere meinen PC mit Ark Survival Ascended. Das Meisterwerk Baldur's Gate 3 verzückt nebenher. Jetzt in HDR, sweet!

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... eine etwas weniger gekloppelte Welt? Was, das geht nicht, erst müssen wir noch schauen, ob wir es mit den kommenden US-Wahlen nicht noch ein bisschen verrückter machen können? Na gut, dann wünsche ich mir wenigstens ein paar Tage Erholung. Zum Glück stehen schon ein paar Tage Holland mit der alten Schul-Clique auf dem Programm. Freue mich darauf, mit der rüstigen Truppe ein bisschen auszuspannen und ein paar Stories auszutauschen.

Privat-PC: Ryzen 9 3900X, Liquid Freezer II, 32 GiB DDR4-3600, Zotac RTX 3090 Ti, Sound Blaster AE-7, 2 × 27" WQHD, 144 Hz (Gsync, Freesync, HDR)



TORSTEN VOGEL

Redakteur | post@pcgh.de | Fachbereiche: Mainboards, WaKü, ext. Print-Redakteure, Leitung Moderation

PC aktuell: Ich hasse RAM-OC, ich hasse Smartphones und Casual Games werden allgemein gehasst. Aber die Kombination aus Letzteren macht mir die ständigen, 2-minütigen bootet-es-noch-oder-crasht-es-schon-Wartepausen von Ersterem etwas erträglicher. Leider kann ich in Sachen DDR-Takt bislang weniger Erfolge als in Bejeweled 2 vermelden.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... Zeit. (Frei-)Zeit kann man nie genug haben. Wie, Zeit ist gerade ausverkauft? Damn. Dann halt Weltfrieden. Was, dieses Jahr ganz besonders ausgeschlossen? Dann läuft es wohl wieder auf ein paar Bücher und andere Analog-Kram hinaus.

Privat-PC: i9-9900K, Z170, 64 GiB DDR4-3000 (vorerst!), Zotac RTX 2080 Ti AMP – alles @ WaKü; 32 Zoll QHD, Nytro XF1440 800 GB, Win7



FRANK STÖWER

Redakteur | post@pcgh.de | Fachbereiche: Peripherie (Mäuse, Tastaturen, Gamepads, Stühle & Tische)

PC aktuell: Da das MacOS meines Macbook Pro keine Brave-Browser-Update zulässt, muss ich mich wieder mit Youtube-Werbung rumärgern!

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... weder Hardware noch andere materielle Dinge. Gesundheit für mich und meine Familie steht an allererster Stelle. Dazu wünsche ich mir, dass meinem Sohn seine Ausbildung zum Game Artist und Designer weiterhin so viel Spaß macht. Und ja, auch das friedliche Miteinander der Menschen auf unserem Planeten ist mir ein großes Anliegen. Um es mit den Worten des Beatles John Lennon zu sagen: „All we are saying is give peace a chance!“

Privat-PC: R9 3900X, Asus Strix X370-F, 16 GiB DDR4-3200, MSI RTX 2080 Gaming X Trio, Viewsonic VX4380 (43"), Fractal Design Define S2 Vision RGB



RICHARD ENGEL

Redakteur | post@pcgh.de | Fachbereiche: Netzteile, Gehäuse, Spiele, Allerlei

PC aktuell: Momentan nutze ich den Luxus unseres Redaktionslagers zu Testzwecken aus. Im Büro ist das Analysieren eine Sache, die Praxis daheim noch mal 'ne andere. Ergo schlummert kurzweilig eine Radeon RX 7900 XTX in meinem Rechner. Ich will wissen, wie fehleranfällig und ansprechend AMDs FMF in obskuren Spielen ist. Bisheriges Fazit: Da schlummert Potenzial drin. Aber bisher erinnert FMF optisch an einen „Screen-Tearing“-Simulator. Ich bin mir aber sicher, das wird gefixt.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... unendliche Weihnachtslieder im Loop, strahlend bunte Lichter und unheilig hedonistische Fressorgien.

Privat-PC: i7-12700K, MSI Pro Z690-A, 32 GiB DDR5-5200, Asus TUF RX 7900 XTX, SB AE-9, SN850 2 TB, Thor 2 1.000 W, Define 7, AOC 4K 144Hz



TRISTAN HESSER

Praktikant | post@pcgh.de | Fachbereich: Reinschnuppern

PC aktuell: Vor einigen Tagen habe ich eines meiner Retro-Systeme (P4 3,2 GHz, Socket 478, GA-8KNXP Ultra, 2 GiB Corsair XMS 400, Radeon HD 3850 AGP) mit frischem Win XP wiederbelebt. Zwar bremsen CPU und RAM die ATI-GPU deutlich aus, um alte XP-Klassiker mit vollen Details zu spielen reicht es dennoch. Doom 3 ist hier wirklich gut gealtert.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... zu schlafen. Klingt langweilig, kommt aber im Alltag immer öfter zu kurz. Sollte ich dennoch für ein paar Stunden aus meinem komatösen Winterschlaf erwachen, wird sicherlich einiges gezockt. Ansonsten natürlich der Weltfrieden.

Privat-PC: i9 9900K, Asus Prime Z390-A, 32 GiB DDR4-3600, Zotac GTX 1080 AMP Extreme, Fractal XL 2, AG272FG4 27 Zoll, verschiedene SSDs

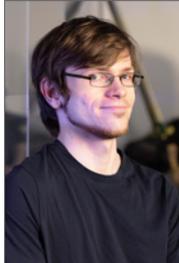


OLIVER JÄGER
 Online-Redakteur | post@pcgh.de | Fachbereich: Online-Auftritt (pcgh.de)

PC aktuell: Ist im Stand-by und wird aufgeweckt, wenn der GTA-6-Trailer gekommen ist.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... einiges. Zuerst eine gelungene Bahnfahrt in Richtung Norden. Mit der richtigen Literatur immer gut zu überstehen. Dann freut man sich natürlich, bei der Familie zu sein, mit schmackhaften Speisen auf dem Tisch. Was da auf meinem Teller dampft, ist allererste Wahl (Thüringer Klöße). Ein Besuch in der heimischen Dorfkirche kann auch nicht schaden, um Christi Geburt das 2023. Mal Revue passieren zu lassen. Und dann ist auch schon die Darts-WM.

Privat-PC: Intel Core i3-2310M @ 2,10 GHz mit HD Graphics 3000, 4 GiB RAM, Kingston SSD Now UV400 240 GB (Aldi-Notebook)



SANTANA RAUS
 Video-Redakteurin | post@pcgh.de | Fachbereich: Videos aller Art

PC aktuell: Gefühl! befinde ich mich bei 80 % in der Story bei Baldur's Gate 3. Ob ich direkt danach noch einen Run starte oder mich ENDLICH mal in das urbane Gefilde von Night City wage ... wir werden sehen.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... halt wirklich Weltfrieden und etwas ausspannen mit der Familie! Ich gehe nicht davon aus, dass eine RTX 4090 als gewichtiger Schmuck am Christbaum hängen wird, auch wenn das Bild vom umkippenden Weihnachtsbaum echt witzig wäre! Auf den ganzen Konsumrausch habe ich eigentlich überhaupt keine Lust. Aber auf den Schabernack mit meinen Brüdern freue ich mich.

Privat-PC: Ryzen 7 5800X, RTX 3080 Ti AMP Extreme, MSI B550-A PRO, 32 GiB Kingston Hyper X, Samsung 970 Evo Plus 1 TB, WD Black 1 TB



FELIX KELLIG
 Video-Volontär | post@pcgh.de | Fachbereich: Videos aller Art

PC aktuell: Ich hatte vor kurzem die Möglichkeit, mir Metas Quest 3 anzuschauen und ich bin ziemlich begeistert. Hand-Tracking, Mixed Reality, Air-Link-Verbindung zum PC, all das funktioniert ziemlich gut. Und es sieht super aus. Ein riesiger Sprung von meiner Rift, und auch im Vergleich zur Quest 2 ein cooles Upgrade.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... eine Quest 3? Na gut, dann nehme ich den Weltfrieden auch mit. Ich würde mich aber ebenso über geringere Preise für Hardware freuen – so ein High-End-PC für unter 1.000 Euro hätte doch was. Und noch Alan Wake 2 dazu.

Privat-PC: AMD Ryzen 7 1700, Asrock AB350 Pro4, Sapphire Pulse Radeon RX 6600, 16 GByte RAM, Crucial MX500 1TB



JAN HAUCK
 Werkstudent | post@pcgh.de | Fachbereiche: Lüfter, Luftkühlung, AIOs

PC aktuell: Ich plane einen Mini-ITX-PC, den ich an die Wand hängen will. Alle Komponenten sollen dabei schick angeordnet auf einer Platte thronen. Custom-Wasserkühlung und Hardtubes dürfen natürlich auch nicht fehlen.

Zu Weihnachten wünsche ich mir ... natürlich erst einmal Weltfrieden. Ich selbst könnte wohl etwas Entspannung vertragen. Zwischen schlimmen Nachrichten aus aller Welt, langen Arbeitstagen und Alltagsstress findet man kaum noch Ruhe. Ein bisschen Pause würde mir derzeit wohl gut tun. Mit der Familie Plätzchen mampfen klingt nach einer Lösung.

Privat-PC: i7-9700K @ 5 GHz, MSI Z390, 32 GiB DDR4-3200, RTX 2080 @ 2.130 MHz – alles @ WaKü, 970 Evo 1 TB, Rajjintek Pean, Acer 165 Hz



PCGH auf Youtube

<https://www.youtube.com/@pcgh>

PCGH produziert schon seit der Gründung im Jahr 2000 Videos, damals und in den Folgejahren jedoch exklusiv für die Heft-CD respektive -DVD. Nun möchten wir Sie in unseren Youtube-Channel einladen.

Alte Hasen (und PCGH-DVD-Heftabonnenten) erinnern sich an diese glänzenden Scheiben, die sich auch als Frisbees oder Spiegel missbrauchen lassen. Die junge Generation konsumiert Videos hingegen bei Youtube und Konsorten, wo PCGH seit 2008 aktiv ist. Das Zuschauer-Feedback gerade in den vergangenen Jahren führte dazu, dass wir die Qualität und den Output massiv verbessert haben.

PCGH-Videos: Tests und Infotainment

Wer des Lesens überdrüssig ist, findet auf dem PCGH-Youtube-Kanal zahlreiche Videos zu allen möglichen PC-Komponenten, allen voran natürlich Grafikkarten und Prozessoren, aber auch Gehäuse-Tests, Mainboard-Analysen, Berichte zur Preisentwicklung, Praxistipps für alle PC-Komponenten und Windows, Retro-Ausflüge, Spezial-Projekte wie eine Steam-Deck-Wasserkühlung aus dem 3D-Drucker und vieles mehr. Damit nicht genug, jeden Freitag präsentieren wir Ihnen die News der Woche in Video-Form, charmant vorgetragen von unserer Video-Fee Santi. Wenn eines keinen Sinn ergibt, dann, all das weiter mit Worten zu erklären – klicken Sie doch mal rein!

PCGH-Videos: Ihre Wünsche

Keine Sorge, wir werden niemals damit aufhören, Artikel zu schreiben. Video ist ein Zusatzangebot, eine Ergänzung. Einige Themen lassen sich wesentlich besser über ein Video vermitteln, andere funktionieren besser als Artikel. Bei den Videos verlassen wir bewusst hin und wieder die seriöse und objektive Schiene, welche Sie von PCGH kennen und schätzen – etwa bei unserem Quizformat „Schlag den Raff“. Sie haben Themenvorschläge oder Wünsche? Dann schicken Sie diese gerne an post@pcgameshardware.de.



„Vernunft vs. Wahnsinn“

In jeder Ausgabe stellt PC Games Hardware zwei Beispielkonfigurationen zusammen, an denen Sie sich orientieren können, um einen eigenen PC zu bauen.

Nicht jeder PC-Nutzer ist bereit, für flüssige Frameraten bis an die absolute Budget- und Leistungsgrenze zu gehen. Denn mit wenigen Anpassungen können auch mit drastisch günstigerer Hardware optisch ähnliche Ergeb-

nisse erzielt werden – nicht immer braucht es Ultra-Settings samt nativer Auflösung. Eine gesunde Mischung aus optimierten Einstellungen und den Upsampling-Verfahren AMD FSR, Intel XeSS sowie Nvidia DLSS reichen für den normalen

Anwender üblicherweise aus, um ruhigen Gewissens den Geldbeutel zu schonen. Mit künstlicher Zwischenbilddberechnung bieten zudem sowohl Nvidia mit DLSS 3.0 als auch AMD mit FSR 3.0 bzw. dem Radeon-Treiber-Feature FMF eine

(rein optisch) flüssigere Bildrate. Nutzer mit höchsten Bedürfnissen werden tiefer in die Tasche greifen müssen. Schneller als mit einer GeForce RTX 4090 plus Ryzen 9 7950X3D wird es 2023 in Spielen nicht mehr. *(rel/th)*

Gut gerüstete Oberklasse

Komponente	Hersteller und Produkt	Preis ca.
Prozessor	AMD Ryzen 5 7600 (6 Kerne)	€ 230,-
CPU-Kühler	Boxed-Kühler (mitgeliefert)	€ 0,-
Grafikkarte (AMD)	Radeon RX 7800 XT (16 GiB)	€ 540,-
Mainboard	Asus Prime B650 Plus CSM	€ 180,-
Arbeitsspeicher	Corsair Vengeance 32 GiB DDR5-6000 CL36	€ 120,-
SSD (M.2)	WD Blue SN570 PCI-E-3.0 mit 2 TByte	€ 100,-
Netzteil (ATX 3.0)	Thermaltake Toughpower GF A3, 650 Watt	€ 95,-
Gehäuse	Be Quiet Pure Base 500 FX	€ 120,-
Gesamtpreis (ab)		€ 1.385,-

AMD Ryzen 5 7600

Der moderne Sechskerner von AMD bietet bei vergleichsweise geringer Leistungsaufnahme von ca. 55–60 Watt eine ansehnliche Performance für aktuelle Spiele. Dank des AM5-Sockels samt DDR5-Arbeitsspeicher sind für spätere Aufrüstvorhaben genug attraktive Optionen geboten.



AMD Radeon RX 7800 XT

Wenn eine solide Rasterizing-GPU mit gutem Preis-Leistungs-Verhältnis gesucht wird, dann ist die RX 7800 XT ein attraktiver Kandidat. Die installierten 16 GiB bieten genug Puffer. AMDs Technikupdates mit FSR 3.0 und das treiberseitige FMF lassen diese Karte reifen wie Wein.



Alternativ-Komponenten

- Wer öfter mit Raytracing spielt, bekommt mit der GeForce RTX 4070 für ca. 580 Euro deutlich mehr Leistung fürs Geld (aber weniger VRAM).
- Der Ryzen 7 7800X3D für ca. 400 Euro ist der Effizienztraum für Spiele.

Potente Spitzenleistung

Komponente	Hersteller und Produkt	Preis ca.
Prozessor	AMD Ryzen 9 7950X3D (8 3D-V + 8 Kerne)	€ 650,-
Kühlsystem	Eigener, modularer Wasserkreislauf	€ 350,-
Grafikkarte (Nvidia)	GeForce RTX 4090 (24 GiB)	€ 1.900,-
Mainboard	Gigabyte B650E Aorus Master	€ 400,-
Arbeitsspeicher	G.Skill Ripjaws S5 64 GiB DDR5-6400 CL32	€ 240,-
SSD	Kingston KC3000 PCI-E-4.0 mit 4 TByte	€ 330,-
Netzteil (ATX 3.0)	Asus ROG Strix Aura Gaming, 1.000 Watt	€ 230,-
Gehäuse	Hyte Y70 Touch	€ 400,-
Gesamtpreis (ab)		€ 4.500,-

AMD Ryzen 9 7950X3D

AMDs bis dato schnellster AM5-Prozessor mit 16 Kernen setzt auf eine Zweiteilung zwischen 8 üblichen und 8 3D-V-Cache-Cores (für mehr Spieleleistung). Im Gegensatz zum Intel Core i9-14900K ist der Ryzen allerdings um Längen effizienter und in Spielen flotter unterwegs.



Nvidia GeForce RTX 4090

Passend zum Ryzen 9 7950X3D bietet Nvidia mit der GeForce RTX 4090 die mit Abstand schnellste Spiele-GPU. Besonders im Raytracing kann die Karte ihre Stärken ausspielen. Der Preis von derzeit ca. 2.000 Euro ist jedoch saftig, daher gilt das alte Sprichwort: Leistung kostet Geld!



Alternativ-Komponenten

- Intels Core i9-14900K für ca. 620 Euro trumpft mit ca. acht Prozent mehr Anwendungsleistung auf, ist in Spielen aber minimal langsamer.
- Kühlkreisläufe sind in diesem Fall ab ca. 300 bis 900 Euro vorstellbar.

Einkaufsführer

Die GPU-Spitze wird teurer

Nach Monaten der Stagnation tut sich etwas am Hardware-Markt. Leider geht der Trend vor dem Weihnachtsgeschäft in die falsche Richtung.

Während Mitte September über mehrere Hardware-Segmente hinweg noch deutlich niedrigere Kaufsummen aufgerufen wurden, sind nun unangenehme Steigerungen zu beobachten. Wer sich etwa in nächster Zeit eine GeForce RTX 4090 zulegen möchte, wird im Vergleich zum September einen stolzen Aufpreis von circa 300 bis 500 Euro (!) zahlen müssen. Auch bei CPUs und SSDs ist ein Preisanstieg von rund 20 bis 30 Prozent bemerkbar. Bekam man etwa Kingstons 2 TByte große NV2 PCI-E-4.0-SSD vor wenigen Wochen noch für ca. 70–80 Euro, kostete diese Variante bei Redaktionsschluss dieser Ausgabe knapp 100 Euro.

Immerhin: Bis zum Redaktionsschluss bleibt die RTX 4090 bei den Grafikkarten ein Ausreißer, denn alle anderen Modelle von AMD, Nvidia und Intel zeigen keine großen Unterschiede abseits üblicher Schwankungen. Inwieweit der preisliche Höhenflug von Nvidias Spitzenkarte seinen Ursprung tatsächlich in der Importsperrung für KI-Grafikkarten nach China hat und wie lange das so bleibt, unterliegt der Spekulation. Eine Umstrukturierung der Produktion (und demnach des Angebots) käme angesichts der gerüchtweise bald startenden Super-Serie (RTX-40-Refresh) ebenfalls in Betracht. Kolportiert wird, dass die bisher noch nicht offiziell angekündigte GeForce RTX 4080 Super vorübergehend das Flaggschiff im ersten Quartal 2024 darstellen wird. Insgesamt soll die Verfügbarkeit der RTX 4090 erst gegen Ende des Q1 merklich besser werden.

Auch viele Prozessoren, wie der Core i7-13700K und Ryzen 5 7600X, sind im Preis gestiegen. Im Falle von AMD etwa gab es den für aktuell ca. 240 bis 255 Euro erhältlichen 7600X früher immer wieder für 205 bis 210 Euro im Handel. Von diesem Trend jedoch bisher völlig unbeeindruckt zeigt sich der Ryzen 7 7800X3D mit seinen stabilen ca. 385 Euro. Bei Intel sollten Sie genauer vergleichen: Zum Redaktionsschluss liegt etwa der i7-13700K für ca. 440 Euro preislich gleichauf mit dem i7-14700K. (relth)



Bild: Airbox

Exemplarische Preisentwicklung: RTX 4090 und R5 7600X

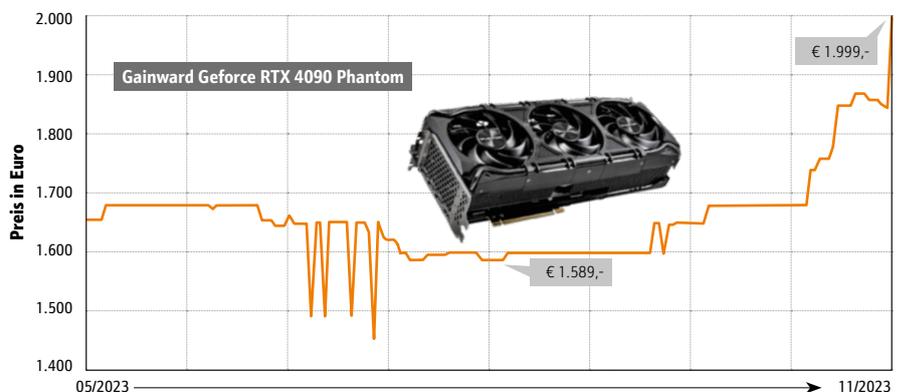


Bild: Gainward

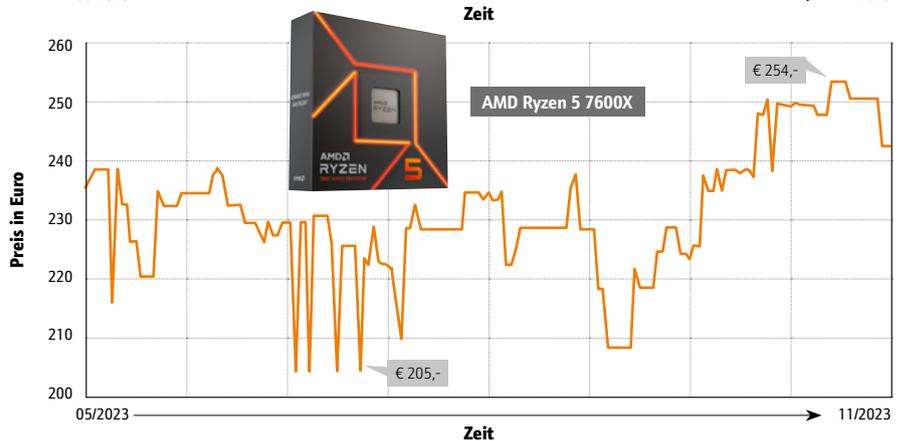


Bild: AMD



Einkaufsführer Grafikkarten

Preise: Stand 10.11.2023

PCGH PREIS-LEISTUNGS-TIPP **PCGH** SPAR-TIPP

Gaming-Grafikkarten

Nvidia Geforce	Circa-Preis	Grafik-speicher	3D-Taktung (GPU-Boost/RAM eff.)	Verbrauch (2D/3D/Ernstfall)	Länge/ (Slot-)Breite	Benötigte Stromstecker	Lautheit (2D/3D/Ernstfall)	Wertung	Test in PCGH	PCGH-Preisvergleich
Asus RTX 4090 TUF Gaming OC	€ 1.950,-	24.576 MiB	2.565+/10.502 MHz	19/447/451 Watt	35,5/7,2 cm	1× 16 / 4× 8-Pol	0,0/2,4/2,5 Sone	1,36	01/2023	www.pcgh.de/preis/2816194
PNY RTX 4090 XLR8 RGB Triple Fan	€ 2.100,-	24.576 MiB	2.520+/10.502 MHz	19/446/450 Watt	34,0/7,0 cm	1× 16 / 4× 8-Pol	0,0/0,9/1,1 Sone	1,37	01/2023	www.pcgh.de/preis/2816397
Gigabyte RTX 4090 Gaming OC	€ 1.910,-	24.576 MiB	2.535+/10.502 MHz	23/430/440 Watt	35,0/7,3 cm	1× 16 / 4× 8-Pol	0,0/2,5/2,7 Sone	1,38	01/2023	www.pcgh.de/preis/2816413
MSI RTX 4090 Suprim X	€ 2.100,-	24.576 MiB	2.625+/10.502 MHz	34/440/444 Watt	35,0/7,2 cm	1× 16 / 4× 8-Pol	0,0/1,7/1,8 Sone	1,40	01/2023	www.pcgh.de/preis/2820514
Nvidia RTX 4090 Founders Edition	€ 1.950,-	24.576 MiB	2.595+/10.502 MHz	23/442/449 Watt	30,5/6,0 cm	1× 16 / 4× 8-Pol	0,0/3,0/3,2 Sone	1,43	12/2022	www.pcgh.de/preis/2815453
Zotac RTX 4090 AMP Extreme Airo	€ 2.000,-	24.576 MiB	2.580+/10.502 MHz	31/431/435 Watt	36,9/7,1 cm	1× 16 / 4× 8-Pol	0,0/2,6/2,8 Sone	1,44	01/2023	www.pcgh.de/preis/2815650
Manli RTX 4090 Gallardo	€ 1.900,-	24.576 MiB	2.520+/10.502 MHz	19/446/449 Watt	36,0/6,5 cm	1× 16 / 4× 8-Pol	0,0/2,2/2,4 Sone	1,47	01/2023	www.pcgh.de/preis/2829611
Nvidia RTX 4080 Founders Edition	€ 1.350,-	16.384 MiB	2.580+/11.202 MHz	18/310/315 Watt	30,5/6,0 cm	1× 16 / 3× 8-Pol	0,0/2,1/2,3 Sone	1,77	01/2023	www.pcgh.de/preis/2815454
Nvidia RTX 4070 Founders Edition	€ 660,-	12.288 MiB	2.500+/10.502 MHz	13/208/213 Watt	24,3/4,0 cm	1× 16 / 2× 8-Pol	0,0/1,7/1,8 Sone	2,25	06/2023	www.pcgh.de/preis/2931158
Inno3D RTX 3050 Twin X2 OC	€ 260,-	8.192 MiB	1.822+/7.001 MHz	7/132/132 Watt	24,5/3,3 cm	1× 8-Pol	0,0/2,1/2,1 Sone	3,11	07/2022	www.pcgh.de/preis/2665546
Gigabyte RTX 3050 Eagle 8G	€ 270,-	8.192 MiB	1.777+/7.001 MHz	11/131/131 Watt	21,5/3,5 cm	1× 8-Pol	0,0/3,2/3,2 Sone	3,12	07/2022	www.pcgh.de/preis/2665388
Manli Geforce RTX 3050	€ 290,-	8.192 MiB	1.777+/7.001 MHz	8/134/134 Watt	25,3/3,5 cm	1× 8-Pol	0,6/2,0/2,0 Sone	3,19	07/2022	www.pcgh.de/preis/2725375
AMD Radeon	Circa-Preis	Grafik-speicher	3D-Taktung (GPU-Boost/RAM eff.)	Verbrauch (2D/3D/Ernstfall)	Länge/ (Slot-)Breite	Benötigte Stromstecker	Lautheit (2D/3D/Ernstfall)	Wertung	Test in PCGH	PCGH-Preisvergleich
AMD RX 7900 XTX*	€ 1.130,-	24.576 MiB	2.200+/10.000 MHz	17/350/353 Watt	28,8/4,7 cm	2× 8-Pol	0,0/3,3/3,5 Sone	1,74	02/2023	https://shop-eu-en.amd.com
AMD RX 7900 XT*	€ 960,-	20.480 MiB	2.150+/10.000 MHz	15/313/315 Watt	27,7/4,7 cm	2× 8-Pol	0,0/1,3/1,4 Sone	1,92	02/2023	https://shop-eu-en.amd.com
AMD RX 7900 GRE*	Nur OEM	16.384 MiB	2.000+/9.000 MHz	10/252/252 Watt	26,7/4,7 cm	2× 8-Pol	0,0/1,8/1,9 Sone	2,07	Online	https://www.memorypc.de
MSI RX 6950 XT Gaming X Trio	N. lieferb.	16.384 MiB	2.455+/9.000 MHz	11/381/432 Watt	32,3/5,5 cm	3× 8-Pol	0,0/1,5/1,6 Sone	2,15	08/2022	www.pcgh.de/preis/2731615
AMD RX 7800 XT*	€ 560,-	16.384 MiB	2.300+/9.750 MHz	9/248/248 Watt	26,7/4,7 cm	2× 8-Pol	0,0/1,9/2,0 Sone	2,19	10/2023	https://shop-eu-en.amd.com
Asrock RX 6950 XT OC Formula	N. lieferb.	16.384 MiB	2.495+/9.000 MHz	13/392/397 Watt	33,2/6,1 cm	3× 8-Pol	0,0/3,0/3,1 Sone	2,24	08/2022	www.pcgh.de/preis/2731843
AMD RX 6800 XT*	N. lieferb.	16.384 MiB	2.190+/8.000 MHz	8/302/303 Watt	26,7/4,5 cm	2× 8-Pol	0,0/2,1/2,1 Sone	2,29	01/2021	https://shop-eu-en.amd.com
AMD RX 7600*	€ 300,-	8.192 MiB	2.400+/9.000 MHz	6/164/165 Watt	20,4/3,8 cm	1× 8-Pol	0,0/1,6/1,7 Sone	2,64	07/2023	https://shop-eu-en.amd.com
Intel Arc	Circa-Preis	Grafik-speicher	3D-Taktung (GPU-Boost/RAM eff.)	Verbrauch (2D/3D/Ernstfall)	Länge/ (Slot-)Breite	Benötigte Stromstecker	Lautheit (2D/3D/Ernstfall)	Wertung	Test in PCGH	PCGH-Preisvergleich
A770 Limited Edition	€ 380,-	16.384 MiB	2.100+/8.750 MHz	47/230/232 Watt	26,9/3,5 cm	1× 8-/1× 6-Pol	0,1/2,5/2,8 Sone	2,75	12/2022	www.pcgh.de/preis/2818267
A750 Limited Edition	€ 240,-	8.192 MiB	2.250+/8.000 MHz	42/226/229 Watt	26,9/3,5 cm	1× 8-/1× 6-Pol	0,1/2,6/2,8 Sone	2,89	12/2022	www.pcgh.de/preis/2825703

*Beliebiges Modell im Referenzdesign („Made by AMD“, MBA); bis auf Beigaben und Garantiebedingungen sind diese gleichwertig.

Die besten Schnäppchen

ANZEIGE

Der PCGH-Schnäppchenführer

Die besten Hardware-, Spiele- und Filmschnäppchen – täglich aktualisiert!

www.pcgh.de/spartipps





Einkaufsführer Prozessoren & RAM

Preise: Stand 10.11.2023

PCGH PREIS-LEISTUNGS-TIPP PCGH SPAR-TIPP

Prozessoren

Prozessoren	Preis	Leistung*	Stromverbrauch**	Kerne	IGP	Taktfrequenz (Boost)	Fertigung	RAM	Socket	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Noten, Leistungsdaten und Werte auf Basis des CPU-Index für Spiele und Anwendungen												
AMD Ryzen 9 7950X3D	Ca. € 645,-	100,0 %/91,8 %	68/120	16c/32t	RDNA2	4,20 GHz (5,70 GHz)	TSMC N5	DDR5-5200	AM5	1,50	***	www.pcgh.de/preis/2871976
AMD Ryzen 7 7800X3D	Ca. € 385,-	97,4 %/63,0 %	51/72	8c/16t	RDNA2	4,20 GHz (5,05 GHz)	TSMC N5	DDR5-5200	AM5	1,75	***	www.pcgh.de/preis/2872148
Intel Core i9-14900K	Ca. € 620,-	94,9 %/100,0 %	187/292	8p+16e/32t	UHD 770	3,20/2,40 GHz (6,00/4,40 GHz)	Intel 7+	DDR5-5600/DDR4-3200	1700	1,81	12/23	www.pcgh.de/preis/3043102
Intel Core i7-14700K	Ca. € 435,-	92,7 %/90,1 %	155/270	8p+12e/28t	UHD 770	3,40/2,50 GHz (5,60/4,30 GHz)	Intel 7+	DDR5-5600/DDR4-3200	1700	1,96	12/23	www.pcgh.de/preis/3043151
AMD Ryzen 9 7950X	Ca. € 575,-	77,4 %/96,0 %	118/212	16c/32t	RDNA2	4,50 GHz (5,80 GHz)	TSMC N5	DDR5-5200	AM5	2,10	***	www.pcgh.de/preis/2801222
Intel Core i5-14600K	Ca. € 330,-	86,7 %/73,9 %	116/186	6p+8e/20t	UHD 770	3,50/2,60 GHz (5,30/4,00 GHz)	Intel 7+	DDR5-5600/DDR4-3200	1700	2,22	12/23	www.pcgh.de/preis/3043173
AMD Ryzen 9 7900X	Ca. € 400,-	76,4 %/82,4 %	105/179	12c/24t	RDNA2	4,70 GHz (5,70 GHz)	TSMC N5	DDR5-5200	AM5	2,30	***	www.pcgh.de/preis/2801226
Intel Core i5-13600K	Ca. € 330,-	85,2 %/71,5 %	111/172	6p+8e/20t	UHD 770	3,50/2,60 GHz (5,10/3,90 GHz)	Intel 7+	DDR5-5600/DDR4-3200	1700	2,32	***	www.pcgh.de/preis/2810186
AMD Ryzen 7 7700X	Ca. € 315,-	75,2 %/67,7 %	75/136	8c/16t	RDNA2	4,50 GHz (5,55 GHz)	TSMC N5	DDR5-5200	AM5	2,38	***	www.pcgh.de/preis/2801229
AMD Ryzen 5 7600X	Ca. € 240,-	70,4 %/58,8 %	61/108	6c/12t	RDNA2	4,70 GHz (5,45 GHz)	TSMC N5	DDR5-5200	AM5	2,51	***	www.pcgh.de/preis/2801237
Intel Core i9-12900K	Ca. € 420,-	76,0 %/75,2 %	112/201	8p+8e/24t	UHD 770	3,20/2,40 GHz (5,20/3,90 GHz)	Intel 7	DDR5-4400/DDR4-3200	1700	2,51	***	www.pcgh.de/preis/2613475
Intel Core i7-12700K	Ca. € 300,-	73,3 %/67,8 %	104/180	8p+4e/20t	UHD 770	3,60/2,70 GHz (5,00/3,80 GHz)	Intel 7	DDR5-4400/DDR4-3200	1700	2,65	***	www.pcgh.de/preis/2613520
AMD Ryzen 7 5800X3D	Ca. € 300,-	84,1 %/52,5 %	63/109	8c/16t	-	3,40 GHz (4,55 GHz)	TSMC N7	DDR4-3200	AM4	2,70	***	www.pcgh.de/preis/2660252
Intel Core i5-12600K	Ca. € 235,-	67,8 %/58,5 %	84/123	6p+4e/16t	UHD 770	3,70/2,80 GHz (4,90/3,70 GHz)	Intel 7	DDR5-4400/DDR4-3200	1700	2,74	***	www.pcgh.de/preis/2613572
PCGH AMD Ryzen 7 5700X	Ca. € 170,-	64,0 %/51,4 %	57/76	8c/16t	-	3,40 GHz (4,65 GHz)	TSMC N7	DDR4-3200	AM4	2,96	***	www.pcgh.de/preis/2709092
PCGH Intel Core i5-13400F	Ca. € 215,-	65,4 %/53,8 %	64/88	6p+4e/16t	-	2,50/1,80 GHz (4,60/3,30 GHz)	Intel 7	DDR5-4400/DDR4-3200	1700	2,98	***	www.pcgh.de/preis/2870748
PCGH AMD Ryzen 5 5600	Ca. € 135,-	59,5 %/45,3 %	44/67	6c/12t	-	3,50 GHz (4,45 GHz)	TSMC N7	DDR4-3200	AM4	3,00	***	www.pcgh.de/preis/2709114
PCGH Intel Core i3-13100F	Ca. € 125,-	55,1 %/40,6 %	63/78	4c/8t	-	3,40 GHz (4,50 GHz)	Intel 7	DDR5-4400/DDR4-3200	1200	3,34	***	www.pcgh.de/preis/2871147

* Normierte, gewichtete Leistung in Spielen/Anwendungen ** Prozessorverbrauch in Watt (Ø Spiele/Ø Anwendungen) *** Nachtest mit neuen Formeln

Arbeitsspeicher (Wertungen von DDR5- und DDR4-RAM nicht miteinander vergleichbar!)

DDR5 (64 GiByte)	Produktnummer	Preis	Speichertyp	Latenzen	Aufbau*	Höhe	Spannung	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
PCGH G.Skill Trident Z5 RGB	F5-6000J3040G32GX2-TZ5RS	Ca. € 240,-	2x 32 GiByte DDR6-6000	30-40-40-96	Dual Rank	4,4 cm	1,40 Volt	2,17	08/22	www.pcgh.de/preis/2722052
Crucial	CT2K32G48C40U5	Ca. € 200,-	2x 32 GiByte DDR5-4800	40-39-39-77	Dual Rank	3,2 cm	1,10 Volt	4,36	08/22	www.pcgh.de/preis/2627506
DDR5 (32 GiByte)										
Corsair Dominator Platinum RGB	CMT32GX5M2X6600C32	Ca. € 210,-	2x 16 GiByte DDR5-6600	32-39-39-76	Single Rank	5,6 cm	1,40 Volt	1,89	08/22	Nur im Corsair-Webshop
PCGH G.Skill Trident Z5 RGB	F5-6400J3239G16GX2-TZ5RK	Ca. € 135,-	2x 16 GiByte DDR5-6400	32-39-39-102	Single Rank	4,4 cm	1,40 Volt	1,99	04/22	www.pcgh.de/preis/2669242
Adata XPG Caster RGB	AX5U6400C4016G-DCCARGY	Ca. € 325,-	2x 16 GiByte DDR5-6400	40-40-40-77	Single Rank	4,3 cm	1,40 Volt	2,01	08/22	www.pcgh.de/preis/2720769
Corsair Dominator Platinum RGB	CMT32GX5M2X6200C36	Ca. € 175,-	2x 16 GiByte DDR5-6200	36-39-39-76	Single Rank	5,6 cm	1,30 Volt	2,06	04/22	www.pcgh.de/preis/2667444
Teamgroup T-Force Delta RGB	FF3D532G6600HC34DC01	Ca. € 145,-	2x 16 GiByte DDR5-6600	34-40-40-84	Single Rank	4,6 cm	1,40 Volt	2,11	08/22	www.pcgh.de/preis/2829460
Adata XPG Lancer RGB	AX5U6000C4016G-DCLARBK	Ca. € 140,-	2x 16 GiByte DDR5-6000	40-40-40-76	Single Rank	4,4 cm	1,35 Volt	2,17	04/22	www.pcgh.de/preis/2661264
Teamgroup T-Force Delta RGB	FF3D532G6400HC40BDC01	Ca. € 120,-	2x 16 GiByte DDR5-6400	40-40-40-84	Single Rank	4,7 cm	1,35 Volt	2,22	04/22	www.pcgh.de/preis/2638340
G.Skill Trident Z5 RGB	F5-5600J2834F16GX2-TZ5RK	Ca. € 130,-	2x 16 GiByte DDR5-5600	28-34-34-89	Single Rank	4,4 cm	1,35 Volt	2,29	08/22	www.pcgh.de/preis/2747415
PCGH Patriot Viper Venom	PW532G620C40K	Ca. € 110,-	2x 16 GiByte DDR5-6200	40-40-40-76	Single Rank	4,4 cm	1,35 Volt	2,36	08/22	www.pcgh.de/preis/2724585
DDR4 (64 GiByte)										
PCGH Mushkin Redline Lumina	MLA4C360GKKP32GX2	Ca. € 180,-	2x 32 GiByte DDR4-3600	16-19-19-39	Dual Rank	3,8 cm	1,40 Volt	2,51	04/22	www.pcgh.de/preis/2593446
Kingston Fury Beast RGB	KF436C18BBAK2/64	Ca. € 165,-	2x 32 GiByte DDR4-3600	18-22-22-39	Dual Rank	4,2 cm	1,35 Volt	2,67	04/22	www.pcgh.de/preis/2564488
PCGH Patriot Viper Elite II	PVE2464G360COK	Ca. € 130,-	2x 32 GiByte DDR4-3600	20-26-26-46	Dual Rank	4,1 cm	1,35 Volt	3,16	12/21	www.pcgh.de/preis/2539054
Patriot Viper Steel RGB	PVSR464G360COK	Ca. € 130,-	2x 32 GiByte DDR4-3600	20-26-26-46	Dual Rank	4,7 cm	1,35 Volt	3,17	08/21	www.pcgh.de/preis/2458104
DDR4 (32 GiByte)										
G.Skill Trident Z Royal	F4-4400C17D-32GTRS	Ca. € 250,-	2x 16 GiByte DDR4-4400	17-18-18-38	Dual Rank	4,4 cm	1,50 Volt	1,73	08/21	www.pcgh.de/preis/2533957
G.Skill Trident Z Royal Elite	F4-4000C16D-32GTEG	N. lieferbar	2x 16 GiByte DDR4-4000	16-19-19-39	Dual Rank	4,4 cm	1,40 Volt	2,15	12/21	www.pcgh.de/preis/2547528
Kingston Fury Renegade	KF442C19RB1K2/32	Ca. € 130,-	2x 16 GiByte DDR4-4266	19-26-26-45	Dual Rank	4,3 cm	1,40 Volt	2,38	12/21	www.pcgh.de/preis/2564515
Kingston Fury Renegade RGB	KF436C16RB1AK2/32	Ca. € 100,-	2x 16 GiByte DDR4-3600	16-20-20-39	Dual Rank	4,3 cm	1,35 Volt	2,70	04/22	www.pcgh.de/preis/2564469
PCGH Corsair Vengeance RGB Pro SL	CMH32GX4M2D3600C18	Ca. € 90,-	2x 16 GiByte DDR4-3600	18-22-22-42	Dual Rank	4,5 cm	1,35 Volt	2,75	08/21	www.pcgh.de/preis/2460384

* Aufbau von den meisten Herstellern nicht garantiert, Abweichungen möglich



Einkaufsführer Kühlung

Preise: Stand 10.11.2023

PCGH PREIS-LEISTUNGS-TIPP PCGH SPAR-TIPP

Lüfter (neues Testsystem)

120-mm-Lüfter	Preis	Drehzahl 100 %	Anschluss/Kabellänge	Kühleist. als Gehäuselüfter (Kelvin)*			Kühleist. als Radiatorlüfter (Kelvin)**			Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich	
				0,2 0,3 0,5 1,0 2,0 Sone	Vollast	0,2 0,3 0,5 1,0 2,0 Sone	Vollast						
Be Quiet Silent Wings Pro 4	Ca. € 29,-	2950 U/min	4-Pin PWM/53 cm	49,9 48,2 44,7	43,2 40,4 37,2	20,9 20,2 18,7	17,1 14,4 12,5	1,63	10/2023	www.pcgh.de/preis/2763758	NEU		
Cooler Master Mobius 120P	Ca. € 29,-	2430 U/min	4-Pin PWM/31 cm	47,8 46,1 43,3	41,3 38,7 38,0	20,6 19,6 18,1	15,9 13,8 13,1	1,71	10/2023	www.pcgh.de/preis/2807712	NEU		
Noctua NF-A12x25	Ca. € 30,-	2123 U/min	4-Pin PWM/53 cm	47,7 47,4 46,2	43,6 - 40,5	22,0 20,6 18,9	16,3 - 14,6	1,78	10/2023	www.pcgh.de/preis/1813140	NEU		
Be Quiet Silent Wings 4	Ca. € 20,-	1620 U/min	4-Pin PWM/51 cm	49,7 48,8 45,7	- - 44,6	22,1 20,8 19,3	- - 18,8	2,14	10/2023	www.pcgh.de/preis/2763710	NEU		
Arctic P12 PST (Ref. 3)	Ca. € 4,-	2005 U/min	4-Pin PWM/36 cm	50,8 49,5 45,6	44,1 - 42,0	23,4 21,0 19,2	17,0 - 16,4	2,34	10/2023	www.pcgh.de/preis/1920159	NEU		
Deepcool FK120	Ca. € 12,-	1936 U/min	4-Pin PWM/28 cm	50,8 48,2 46,1	44,0 41,2 39,9	22,1 20,3 19,1	16,5 14,8 14,4	2,34	10/2023	www.pcgh.de/preis/2731342	NEU		
Arctic P12 Max	Ca. € 8,-	3420 U/min	4-Pin PWM/43 cm	- 55,0 49,7	44,7 41,2 35,3	- 24,6 21,8	17,8 15,1 12,0	2,57	10/2023	www.pcgh.de/preis/2902291	NEU		
Alpenföhn Jetstream	Ca. € 17,-	1640 U/min	4-Pin PWM/45 cm	55,8 51,5 49,7	45,1 - 41,3	26,9 24,5 20,7	18,0 - 16,3	2,71	10/2023	www.pcgh.de/preis/2939420	NEU		
Seasonic Magflow	Ca. € 28,-	2037 U/min	4-Pin PWM/70 cm	55,9 51,8 48,2	45,1 41,9 40,1	26,6 26,1 23,7	18,1 15,5 14,4	2,79	10/2023	www.pcgh.de/preis/2875269	NEU		
Sharkoon Silent Storm	Ca. € 11,-	1345 U/min	4-Pin PWM/46 cm	55,2 52,1 49,4	46,2 - 45,7	24,9 23,5 21,6	19,4 - 18,7	3,02	10/2023	www.pcgh.de/preis/2727353	NEU		
Corsair QX120	Ca. € 50,-	-	Proprietär/-	59,0 55,9 51,7	48,5 44,2 41,1	27,7 23,8 21,3	19,7 17,1 15,0	3,21	10/2023	www.pcgh.de/preis/2976271	NEU		
Gelid Stella	Ca. € 14,-	1640 U/min	4-Pin PWM/52 cm	63,1 55,4 50,2	46,1 - 45,0	31,8 28,1 25,4	21,7 18,4 18,2	3,35	10/2023	www.pcgh.de/preis/2470305	NEU		

*Temperaturdifferenz CPU/Luft, niedriger ist besser, Wärmequelle: 10900K (120 W TDP) **Auf Alphacool-Nexxos-ST30-120-mm-Radiator, Temperaturdifferenz Wasser/Luft, niedriger ist besser, Wärmequelle: 12900K (200 W TDP)

Lüfter (altes Testsystem)

120-mm-Lüfter	Preis	Anschluss/Kabellänge	Regelung	Drehzahl 100%	Kühlleistung*	Lautheit	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich	
Noctua NF-A12x25 PWM	Ca. € 31,-	4-Pin PWM/52 cm	Spannungsadapter	2.000 U/min	7,9/10,1/15,0 Kelvin	1,8/0,7/0,1 Sone	1,83	09/2018	www.pcgh.de/preis/1813140	
Noctua NF-F12 PWM	Ca. € 23,-	4-Pin PWM/53 cm	Spannungsadapter	1.500 U/min	10,2/13,4/18,6 Kelvin	1,5/0,4/0,1 Sone	2,23	09/2018	www.pcgh.de/preis/698532	
Noiseblocker Eloop B12-PS	Ca. € 22,-	4-Pin PWM/75 cm	-	1.500 U/min	10,9/14,1/19,0 Kelvin	0,7/0,1/0,1 Sone	2,35	09/2018	www.pcgh.de/preis/820091	
Arctic P12 PWM PST Black	Ca. € 5,-	4-Pin PWM/39 cm	-	1.800 U/min	9,8/13,0/17,8 Kelvin	1,5/0,4/0,1 Sone	2,43	06/2020	www.pcgh.de/preis/1920159	PCGH
Scythe Kaze Flex 120 RGB PWM	Ca. € 13,-	4-Pin PWM/47 cm	-	1.200 U/min	10,9/14,3/21,4 Kelvin	0,8/0,2/0,1 Sone	2,54	09/2018	www.pcgh.de/preis/1890664	
Noctua NF-A12x15 PWM Chromax	Ca. € 25,-	4-Pin PWM/34 cm	-	1.850 U/min	10,4/12,5/17,4 Kelvin	1,8/0,7/0,1 Sone	2,57	04/2020	www.pcgh.de/preis/2177218	
Noiseblocker Black Silent Pro PL-2	Ca. € 14,-	3-Pin/75 cm	-	1.400 U/min	12,3/15,4/20,5 Kelvin	1,0/0,3/0,1 Sone	2,69	09/2018	www.pcgh.de/preis/476778	
140-mm-Lüfter	Preis	Anschluss/Kabellänge	Regelung	Drehzahl 100%	Kühlleistung*	Lautheit	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich	
Noiseblocker Eloop X B14X-P-BL	Ca. € 35,-	4-Pin PWM/75 cm	-	1.500 U/min	6,6/8,4/12,0 Kelvin	2,2/0,9/0,1 Sone	1,94	01/2020	www.pcgh.de/preis/2191788	
Noiseblocker Eloop B14-PS	Ca. € 28,-	4-Pin PWM/75 cm	-	1.200 U/min	8,8/11,0/15,2 Kelvin	1,1/0,2/0,1 Sone	2,01	10/2018	www.pcgh.de/preis/1313838	
Noctua NF-A14 FLX	Ca. € 26,-	3-Pin/53 cm	2 Spannungsadapt.	1.200 U/min	9,5/12,0/16,9 Kelvin	0,9/0,2/0,1 Sone	2,21	10/2018	www.pcgh.de/preis/870798	
Arctic P14	Ca. € 7,-	3-Pin/40 cm	-	1.700 U/min	7,4/9,5/13,9 Kelvin	1,5/0,5/0,1 Sone	2,28	01/2020	www.pcgh.de/preis/1920528	PCGH
Silverstone SST-FQ141	Ca. € 11,-	4-Pin PWM/29 cm	Spannungsadapter	1.000 U/min	10,3/12,9/17,6 Kelvin	0,9/0,2/0,1 Sone	2,36	10/2018	www.pcgh.de/preis/1170330	
Noiseblocker Black Silent Pro PK-2	Ca. € 15,-	3-Pin/75 cm	-	1.200 U/min	10,2/12,8/18,1 Kelvin	1,1/0,3/0,1 Sone	2,37	10/2018	www.pcgh.de/preis/476867	
Be Quiet Shadow Wings 2 Wh. PWM	Ca. € 16,-	4-Pin PWM/51 cm	-	900 U/min	11,5/14,6/20,6 Kelvin	0,3/0,1/0,1 Sone	2,53	01/2020	www.pcgh.de/preis/2119064	
Corsair ML140 Pro White LED	Ca. € 28,-	4-Pin PWM/59 cm	-	2.000 U/min	6,2/7,3/10,6 Kelvin	4,2/1,7/0,4 Sone	2,62	10/2018	www.pcgh.de/preis/1461464	
Noctua NF-A14 Ind.-PPC-2000 PWM	Ca. € 31,-	4-Pin PWM/40 cm	-	2.000 U/min	6,9/8,1/11,8 Kelvin	4,0/1,6/0,4 Sone	2,78	10/2018	www.pcgh.de/preis/1115473	
Be Quiet Pure Wings 2 140mm	Ca. € 10,-	3-Pin/45 cm	-	1.000 U/min	11,8/15,6/21,1 Kelvin	0,5/0,1/0,1 Sone	2,89	10/2018	www.pcgh.de/preis/994425	

* Auf Alphacool-Nexxos-XT45-120-/140-mm-Radiator, Differenztemperatur Wasser/Luft. Wärmequelle: Xeon E5-2687W (150 W TDP). **: PWM-Nutzung problematisch

CPU-Kühler (altes Testsystem)

Produkt	Preis	Maße (B x H x T); Gewicht	CPU-Temp. 1,0 Sone	CPU-Temp. (100/75/50%)	Lautheit (100/75/50%)	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich	
Be Quiet Dark Rock Pro 4	Ca. € 85,-	136 x 163 x 146 mm; 1.150 g	49,8 °C (1.320 U/min)	48,5/51,0/57,7 °C	1,4/0,4/0,1 Sone**	1,81	08/2018	www.pcgh.de/preis/1794846	
Noctua NH-D15	Ca. € 110,-	151 x 175 x 162 mm; 1.310 g	49,3 °C (1.110 U/min)	47,5/49,9/53,8 °C	2,7/0,9/0,1 Sone	1,86	08/2018	www.pcgh.de/preis/1098241	
Noctua NH-U12A	Ca. € 120,-	127 x 159 x 113 mm; 1.150 g	50,3 °C (1.500 U/min)	48,4/50,7/56,7 °C	2,4/0,8/0,1 Sone	1,87	05/2019	www.pcgh.de/preis/2015118	
Noctua NH-U14S	Ca. € 90,-	152 x 166 x 80 mm; 938 g	49,4 °C (1.220 U/min)	47,9/50,8/57,1 °C	1,7/0,7/0,1 Sone	1,88	08/2018	www.pcgh.de/preis/929404	
Thermalright Le Grand Macho RT	Ca. € 60,-	150 x 162 x 148 mm; 1.110 g	50,1 °C (1.280 U/min)	50,1/52,8/59,1 °C	1,0/0,2/0,1 Sone	1,92	08/2018	www.pcgh.de/preis/1442034	PCGH
Be Quiet Dark Rock 4	Ca. € 70,-	136 x 162 x 96 mm; 910 g	50,6 °C (1.260 U/min)	50,1/53,1/62,8 °C	1,3/0,4/0,1 Sone**	2,10	08/2018	www.pcgh.de/preis/1794867	
Be Quiet Shadow Rock 3	Ca. € 49,-	135 x 166 x 122 mm; 720 g	52,6 °C (1.600 U/min)	51,9/54,0/59,2 °C	1,4/0,4/0,1 Sone	2,11	10/2020	www.pcgh.de/preis/2237677	
Zalman CPNS20X	Ca. € 50,-	141 x 175 x 178 mm; 1.350 g	48,9 °C (1.020 U/min)	46,3/48,1/51,5 °C	3,3/1,4/0,4 Sone	2,17	10/2020	www.pcgh.de/preis/2192325	
Be Quiet Pure Rock 2	Ca. € 34,-	132 x 154 x 89 mm; 620 g	51,7 °C (1.410 U/min)	50,4/53,9/63,1 °C	1,5/0,5/0,1 Sone	2,17	10/2020	www.pcgh.de/preis/2279763	PCGH
Noctua NH-U12S chromax.black	Ca. € 90,-	144 x 157 x 89 mm; 750 g	53,6 °C (1.260 U/min)	52,2/56,1/65,7 °C	1,4/0,6/0,1 Sone	2,20	10/2020	www.pcgh.de/preis/2152745	
Thermalright Macho Direct	Ca. € 41,-	152 x 162 x 128 mm; 823 g	Nicht mög. (max. 0,7 Sone)	52,1/54,8/61,3 °C	0,7/0,3/0,1 Sone	2,22	08/2018	www.pcgh.de/preis/1372274	
Thermalright Macho Rev. C	Ca. € 47,-	152 x 166 x 132 mm; 890 g	Nicht mög. (max.0,8 Sone)	53,2/56,8/64,8 °C	0,8/0,2/0,1 Sone	2,27	12/2019	www.pcgh.de/preis/2060105	
Enermax ETS-T50 Axe Silent Edition	Ca. € 43,-	142 x 164 x 110 mm; 940 g	Nicht mög. (max. 0,8 Sone)	54,0/58,8/68,6 °C	0,8/0,3/0,1 Sone	2,46	05/2019	www.pcgh.de/preis/1960640	
Be Quiet Dark Rock Slim	Ca. € 60,-	127 x 161 x 71 mm; 620 g	Nicht mög. (max. 0,8 Sone)	55,1/58,4/66,5 °C	0,8/0,3/0,1 Sone	2,48	12/2019	www.pcgh.de/preis/2045242	
Cryorig H7 Quad Lumi	Ca. € 75,-	122 x 147 x 98 mm; 710 g	55,6 °C (1.260 U/min)	52,4/55,0/62,1 °C	1,7/0,7/0,1 Sone	2,54	05/2018	www.pcgh.de/preis/1665891	
Be Quiet Shadow Rock TF2	Ca. € 55,-	137 x 112 x 167 mm; 730 g	53,8 °C (1.280 U/min)	52,8/56,1/66,6 °C	1,2/0,4/0,1 Sone	2,71	05/2018	www.pcgh.de/preis/1629017	
Thermalright True Spirit 120 Direct	Ca. € 38,-	129 x 143 x 70 mm; 470 g	56,4 °C (1.280 U/min)	56,4/60,4/66,4 °C	1,0/0,3/0,1 Sone**	2,80	05/2018	www.pcgh.de/preis/1676633	
Silverstone AR12-RGB	Ca. € 30,-	131 x 154 x 77 mm; 610 g	57,4 °C (1.640 U/min)	55,3/57,6/63,2 °C	2,3/0,9/0,3 Sone	2,85	10/2020	www.pcgh.de/preis/2267479	
LC Power LC-CC-120-RGB	Ca. € 27,-	126 x 153 x 73 mm; 590 g	56,8 °C (1.320 U/min)	52,8/56,2/63,2 °C	2,7/1,1/0,2 Sone	2,87	05/2019	www.pcgh.de/preis/1830983	
Noctua NH-U9S	Ca. € 70,-	96 x 126 x 95 mm; 610 g	62,6 °C (1.680 U/min)	58,1/64,8/75,6 °C	2,5/0,7/0,1 Sone	3,63	08/2018	www.pcgh.de/preis/1196609	
Alpenföhn Ben Nevis	Ca. € 25,-	118 x 141 x 71 mm; 490 g	61,9 °C (1.440 U/min)	58,8/63,2/73,8 °C	1,7/0,5/0,1 Sone	3,66	08/2018	www.pcgh.de/preis/1211188	

* Anpresskraft Sockel-1151-Originalhalterung deutlich zu hoch, Nachrüstkit auf Anfrage. ** Messung mit analoger Ansteuerung. Bei PWM-Ansteuerung gegebenenfalls zusätzliche Störgeräusche.



Einkaufsführer Wasserkühlung & Mainboards

Preise: Stand 10.11.2023

PCGH PREIS-LEISTUNGS-TIPP PCGH SPAR-TIPP

Kompaktwasserkühlungen

Produkt	Preis	Radiator (B x H x D)	CPU-Temp. 1,0 Sone	CPU-Temp. (100/75/50 %)	Lauth. (100/75/50 %/Pumpe)	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Arctic Liquid Freezer II 240	Ca. € 75,-	278 x 120 x 64 mm	45,7 °C (1.530 U/min)	44,6/46,5/51,7 °C	2,0/0,6/0,1/0,1 Sone	1,64	01/2020	www.pcgh.de/preis/2152684
Alphacool Eisbaer 240	Ca. € 120,-	274 x 124 x 55 mm	49,5 °C (1.080 U/min)	47,2/48,5/52,2 °C	3,3/1,6/0,6/0,1 Sone	1,84	12/2018	www.pcgh.de/preis/758311939
Alphacool Eisbaer 240 LT	Ca. € 110,-	271 x 120 x 51 mm	50,8 °C (1.080 U/min)	47,9/50,2/53,4 °C	3,0/1,3/0,4/0,1 Sone	1,88	12/2018	www.pcgh.de/preis/1774559
Cooler Master Master Liquid ML240L V2 RGB	Ca. € 75,-	276 x 120 x 55 mm	48,6 °C (1.280 U/min)	45,7/48,0/52,7 °C	3,0/1,3/0,4/0,1 Sone	1,89	02/2021	www.pcgh.de/preis/2242706
Alphacool Eisbaer Aurora 240	Ca. € 130,-	276 x 124 x 55 mm	53,5 °C (1.330 U/min)	49,2/52,5/57,1 °C	3,2/1,4/0,3/0,1 Sone	1,92	02/2021	www.pcgh.de/preis/2218605

Temperatur- und Lautheitsmessungen entsprechen Luftkühlern, aber das Benutzersystem weicht ab. Wertung nicht vergleichbar!

Mainboards für AMD- und Intel-Prozessoren, diverse Sockel

Socket AM4 (mit Ryzen 3000/5000)	Preis	IOH/Format	PCI-E CPU (4.0. APUs 3.0) & IOH (X570: 4.0; B550: 3.0)	M.2-Anbindung	Audio-Codex	USB extern/intern 3.2 3.1 3.0 2.0	Lüfter (PWM)	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Asus Crosshair VIII Dark Hero	N. verfüg.	X570/ATX	×16*/*0* & ×1/*4	2× 4.0×4	S1220	0/0 8/1 4/2 0/4	8 (8×)	2,05	06/2021	www.pcgh.de/preis/2413242
Asus X570-Plus WiFi	Ca. € 240,-	X570/ATX	×16 & ×1/*4/×1	2× 4.0×4	S1200A	0/0 3/0 4/2 0/4	6 (6×)	2,11	02/2020	www.pcgh.de/preis/2079100
Asus Crosshair VIII Hero WiFi	N. verfüg.	X570/ATX	×16*/*0* & ×1/*4	2× 4.0×4	S1220	0/0 8/1 4/2 0/4	8 (8×)	2,12	03/2020	www.pcgh.de/preis/2079085
Asrock B550 Steel Legend	Ca. € 170,-	B550/ATX	×16 & ×1/*4/×1	4.0×4; 3.0×2**	ALC1220	0/0 2/0 2/3 4/4	7 (7×)	2,21	09/2020	www.pcgh.de/preis/2295849
Asrock X570 Taichi	Ca. € 310,-	X570/ATX	×16*/*0* & ×1/*1/*4*	2× 4.0×4; 4.0×0*	ALC1220	0/0 2/1 6/2 0/5	6 (6×)	2,25	03/2020	www.pcgh.de/preis/2078228
Asus TUF B550M-Plus	Ca. € 130,-	B550/µATX	×16 & ×1/*4	4.0×4; 3.0×4	S1200A	0/0 2/0 4/2 2/4	4 (4×)	2,39	03/2021	www.pcgh.de/preis/2295451
MSI B550 Tomahawk	Ca. € 150,-	B550/ATX	×16 & ×0*/*4*/4*	4.0×4; 3.0×0*	ALC1200	0/0 2/0 2/3 2/4	8 (8×)	2,45	09/2020	www.pcgh.de/preis/2294990
Asrock B550M-ITX/ac	Ca. € 130,-	B550/ITX	×16	4.0×4	ALC887	0/0 0/0 4/2 2/2	3 (3×)	2,51	03/2021	www.pcgh.de/preis/2299233
Asrock X570 Pro4	Ca. € 180,-	X570/ATX	×16 & ×1/*4/×1	2× 4.0×4	ALC1200	0/0 2/0 6/4 0/3	5 (5×)	2,52	02/2020	www.pcgh.de/preis/2089825
MSI B550-A Pro	Ca. € 110,-	B550/ATX	×16 & ×1/*4*/×1	4.0×4; 3.0×0*	ALC892	0/0 2/0 2/3 4/4	8 (8×)	2,56	03/2021	www.pcgh.de/preis/2295021
Gigabyte B550 Aorus Elite V2	Ca. € 130,-	B550/ATX	×16 & ×2/*1/*1	4.0×4; 3.0×4	ALC1200	0/0 2/0 3/3 2/4	5 (5×)	2,68	06/2021	www.pcgh.de/preis/2420565
Asrock B550M Pro4	Ca. € 100,-	B550/µATX	×16 & ×1/*4	4.0×4; 3.0×2**	ALC1200	0/0 2/0 4/4 2/4	6 (6×)	2,87	03/2021	www.pcgh.de/preis/2298943
Socket AM5	Preis	IOH/Form.	PCI-E CPU (5.0) & IOH (4.0)	M.2-Anbindung	Audio	3.2 3.1 3.0 2.0	Lüfter	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Gigabyte B650E Aorus Master	Ca. € 420,-	B650/ATX	×16* & ×4/*2	2× 5.0×4; 2× 5.0×0*	ALC1220	0/1 5/0 4/2 4/4	10 (10×)	1,60	02/2023	www.pcgh.de/preis/2824250
Gigabyte X670E Aorus Xtreme	Ca. € 750,-	X670/E-ATX	×16* & ×4/*2 ^(3.0)	2× 5.0×4; 2× 5.0×0*	ALC1220	1/1 7/0 0/4 4/4	10 (10×)	1,75	12/2022	www.pcgh.de/preis/2791717
Asrock X670E PG Lightning	Ca. € 270,-	X670/ATX	×16/*4 ^(4.0) & ×1/*1	5.0×4; 4.0×4; 3.0×4; 4.0×2	ALC897	1/1 1/0 6/4 4/4	6 (6×)	1,79	12/2022	www.pcgh.de/preis/2812512
Asus B650E-F Gaming WiFi	Ca. € 290,-	B650/ATX	×16 & ×1/*1/*4*	5.0×4; 4.0×4; 4.0×4*	ALC4080	1/0 3/1 4/2 4/4	7 (7×)	1,81	02/2023	www.pcgh.de/preis/2824307
Asus TUF B650-Plus	Ca. € 220,-	B650/ATX	×16 ^(4.0) & ×1/*4*/×1	5.0×4; 4.0×4; 4.0×4*	S1200A	1/0 3/0 0/3 4/4	7 (7×)	1,84	02/2023	www.pcgh.de/preis/2824312
NXZT N7 B650E	Ca. € 330,-	B650/ATX	×16 & ×2/*2	5.0×4; 4.0×4; 4.0×2	ALC1220	0/1 3/0 4/4 2/6	7 (7×)	1,91	03/2023	www.pcgh.de/preis/2825886
MSI X670E Ace	Ca. € 830,-	X670/E-ATX	×16*/*0*/*4 ^(alternativ: 2. USB 3.2)	1× 5.0×4; 3× 4.0×4	ALC4082	1/1 9/1 0/4 0/4	8 (8×)	1,91	12/2022	www.pcgh.de/preis/2791720
Asrock B650E PG Riptide WiFi	Ca. € 250,-	B650/ATX	×16/*4 ^(3.0; 4.0 teilw. möglich) & ×1	5.0×4; 4.0×4; 3.0×2	ALC897	0/1 2/0 2/2 6/3	6 (6×)	1,92	02/2023	www.pcgh.de/preis/2824283
Asrock B650 PG Lightning	Ca. € 180,-	B650/ATX	×16 ^(4.0) & ×1/*2/*1	5.0×4; 4.0×4; 4.0×2	ALC897	1/0 0/1 7/2 4/4	6 (6×)	2,00	03/2023	www.pcgh.de/preis/2824293
Asus Crosshair X670E Hero	Ca. € 630,-	X670/ATX	×16*/*0* & ×1	2× 5.0×4; 2× 4.0×4	ALC4082	1/1 11/0 0/4 0/6	8 (8×)	2,05	12/2022	www.pcgh.de/preis/2791726
MSI Pro B650-P WiFi	Ca. € 200,-	B650/ATX	×16 ^(4.0) & ×1 ^(3.0) /*4/*1 ^(3.0)	2× 4.0×4	ALC897	1/0 3/1 4/2 0/4	6 (6×)	2,06	05/2023	www.pcgh.de/preis/2824301
MSI B650 Tomahawk WiFi	Ca. € 210,-	B650/ATX	×16 ^(4.0) & ×2*/*1 ^(3.0)	2× 4.0×4; 4.0×2*	ALC4080	1/0 3/1 4/2 2/4	8 (8×)	2,06	03/2023	www.pcgh.de/preis/2824300
Asrock B650M PG Riptide	Ca. € 180,-	B650/µATX	×16 ^(4.0) & ×1 ^(3.0) /*1 ^(3.0) /*4	5.0×4; 4.0×4	ALC897	0/0 2/0 2/5 4/4	5 (5×)	2,35	05/2023	www.pcgh.de/preis/2824297
Asus Prime B650-Plus	Ca. € 190,-	B650/ATX	×16 ^(4.0) & ×1/*4/*1	5.0×4; 4.0×4	ALC897	0/0 4/0 2/3 2/4	6 (6×)	2,74	05/2023	www.pcgh.de/preis/2825939
Asus TUF A620M-Plus	Ca. € 130,-	A620/µATX	×16 ^(4.0) & ×1 ^(3.0) /*1 ^(3.0)	2× 4.0×4	ALC897	0/0 0/0 2/3 4/4	3 (3×)	2,92	08/2023	www.pcgh.de/preis/2924749
Gigabyte A620M Gaming X	Ca. € 120,-	A620/µATX	×16 ^(4.0) & ×1 ^(3.0)	4.0×4	ALC897	0/0 1/0 3/3 2/2	3 (3×)	2,95	08/2023	www.pcgh.de/preis/2924907
Socket 1700	Preis	IOH/Form.	PCI-E CPU (5.0) & IOH (3.0)	M.2-Anbindung	Audio	3.2 3.1 3.0 2.0	Lüfter	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Gigabyte Z690 Aorus Master	Ca. € 460,-	Z690/E-ATX	×16 & ×4*/*4	3× 4.0×4; ×4**/*; 3.0×0*	ALC1220	1/1 6/0 4/4 0/4	10 (10×)	1,57	08/2022	www.pcgh.de/preis/2625065
Gigabyte Z690 UD	N. verfüg.	Z690/ATX	×16 & ×1/*1/*1/*4	3× 4.0×4	ALC897	1/0 1/1 4/2 4/4	6 (6×)	1,84	07/2022	www.pcgh.de/preis/2625167
Asus Maximus Z690 Hero	Ca. € 510,-	Z690/ATX	×16*/*0* & ×4+4 ^(4.0)	2× 4.0×4; 1× 3.0×4	ALC4082	0/1 9/0 0/4 2/4	8 (8×)	1,85	08/2022	www.pcgh.de/preis/2625493
Gigabyte Z790 Aorus Master	Ca. € 530,-	Z790/ATX	×16* & ×1/*4 ^(4.0 teilw. möglich)	4× 4.0×4; 1× 5.0×0*	ALC1220	2/1 8/0 4/4 0/4	8 (8×)	1,94	01/2023	www.pcgh.de/preis/2819886
Asus Z790-E Gaming WiFi	Ca. € 460,-	Z790/ATX	×16* & ×4 ^(4.0) /*4 ^(4.0)	4× 4.0×4; 1× 5.0×0*	ALC4080	1/1 7/0 4/4 0/4	8 (8×)	2,00	01/2023	www.pcgh.de/preis/2819890
MSI Z690 Carbon WiFi	Ca. € 370,-	Z690/ATX	×16*/*0* & ×4	4× 4.0×4; 1× 3.0×4	ALC4080	1/0 5/1 0/2 4/4	8 (8×)	2,01	07/2022	www.pcgh.de/preis/2625610
MSI Pro Z790-A WiFi	Ca. € 250,-	Z790/ATX	×16 & ×1/*4 ^(4.0) /*1	4× 4.0×4	ALC4080	1/0 3/1 2/2 2/4	8 (8×)	2,14	07/2023	www.pcgh.de/preis/2819915
MSI Z690 Unify	Ca. € 420,-	Z690/ATX	×16*/*0* & ×4	4× 4.0×4; 1× 3.0×4	ALC4080	1/1 7/0 0/4 2/4	8 (8×)	2,23	08/2022	www.pcgh.de/preis/2625601
Asrock Z790 Pro RS	Ca. € 220,-	Z790/ATX	×16 & ×1/*4 ^(4.0) /*1	4× 4.0×4	ALC897	0/1 2/0 2/4 4/4	7 (7×)	2,25	01/2023	www.pcgh.de/preis/2820217
Asus Prime Z790-P WiFi	Ca. € 240,-	Z790/ATX	×16 & ×4 ^(4.0) /*4 ^(4.0) /*1/*4 ^(4.0)	3× 4.0×4	ALC897	1/0 1/1 2/4 4/4	6 (6×)	2,26	07/2023	www.pcgh.de/preis/2819891
Gigabyte Z790 Gaming X	Ca. € 230,-	Z790/ATX	×16 & ×4 ^(4.0) /*4 ^(4.0 teilw. möglich)	3× 4.0×4; 1× 4.0×4**	ALC897	1/0 2/1 3/2 4/4	6 (6×)	2,30	07/2023	www.pcgh.de/preis/2837826
Asus B660-G Gaming WiFi	Ca. € 230,-	B660/µATX	×16 & ×1 ^(4.0) /*1 ^(4.0) /*4	2× 4.0×4	S1220A	1/0 1/1 3/2 4/4	4 (4×)	2,37	07/2022	www.pcgh.de/preis/2660688
Biostar Z790A-Silver	Ca. € 250,-	Z790/ATX	×16 & ×1/*4* ^(4.0) /*1	2× 4.0×4; 1× 4.0×0*	ALC1220	0/0 6/1 0/2 2/4	6 (6×)	2,46	07/2023	www.pcgh.de/preis/2820770
MSI Z790 Carbon WiFi	Ca. € 400,-	Z790/ATX	×16* & ×1/*4 ^(4.0)	4× 4.0×4; 1× 5.0×0*	ALC4080	1/1 7/0 2/2 0/4	7 (7×)	2,70	01/2023	www.pcgh.de/preis/2819920
Asrock Z790 PG Sonic	Ca. € 240,-	Z790/ATX	×16* & ×1/*4 ^(4.0) /*1	4× 4.0×4; 1× 5.0×0*	ALC897	0/1 2/0 5/2 2/4	7 (7×)	2,71	07/2023	www.pcgh.de/preis/2832384
Asus Z690-Plus WiFi D4	Ca. € 260,-	Z690/ATX	×16 & ×1/*4/×1/*4	4× 4.0×4	S1200A	1/0 2/1 5/2 0/4	7 (7×)	2,75	08/2022	www.pcgh.de/preis/2625557
Gigabyte Z690 Gam. X DDR4	Ca. € 210,-	Z690/ATX	×16 & ×4/*4	3× 4.0×4; 1× 4.0×4**	ALC1220	1/0 2/1 3/2 4/4	6 (6×)	2,86	08/2022	www.pcgh.de/preis/2625098
MSI Z690 Tomahawk DDR4	Ca. € 240,-	Z690/ATX	×16 & ×1/*4/×1	3× 4.0×4; 1× 3.0×4	ALC4080	1/0 3/1 2/2 2/4	8 (8×)	2,89	08/2022	www.pcgh.de/preis/2625643
Asus B660M-Plus D4	Ca. € 160,-	B660/µATX	×16 & ×1/*4	2× 4.0×4	ALC897	1/0 4/0 1/2 2/4	6 (6×)	3,25	08/2022	www.pcgh.de/preis/2660683

*PCI-E-Lane-Sharing **Shared mit SATA



Einkaufsführer LCDs & Eingabegeräte

Preise: Stand 10.11.2023

PCGH PREIS-LEISTUNGS-TIPP PCGH SPAR-TIPP

Monitore

Full HD	Preis	Bilddiagonale	Bildfrequenz	Reaktionszeit	Inputlag	Leuchtkraft	Paneltyp	VRR	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Asus TUF VG279QM	Ca. € 290,-	27 Zoll	280 Hertz	3,2 ms	34,9 ms	Bis 419,3 cd/m ²	IPS	Freesync	1,60	01/2021	www.pcg.de/preis/2210749
Asus ROG PG259QNR	Ca. € 750,-	24,5 Zoll	360 Hertz	2,6 ms	9,5 ms	Bis 432,8 cd/m ²	IPS	G-Sync	1,62	Online	www.pcg.de/preis/2404163
LG 27GN750-B	Ca. € 350,-	27 Zoll	240 Hertz	4,1 ms	9,6 ms	Bis 409,7 cd/m ²	IPS	Freesync	1,84	01/2021	www.pcg.de/preis/2202082
WQHD	Preis	Bilddiagonale	Bildfrequenz	Reaktionszeit	Inputlag	Leuchtkraft	Paneltyp	VRR	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Gigabyte M32Q	Ca. € 500,-	31,5 Zoll	170 Hertz	3,2 ms	9,3 ms	53,6 bis 316,2 cd/m ²	IPS	Freesync	1,53	11/2021	www.pcg.de/preis/2524671
MSI Optix MAG274QRFD	Ca. € 480,-	27 Zoll	170 Hertz	4 ms	8,9 ms	65,1 bis 379 cd/m ²	IPS	Freesync	1,57	11/2021	www.pcg.de/preis/2452244
LG Ultragear 32GP850	Ca. € 390,-	31,5 Zoll	180 Hertz	3,2 ms	1,5 ms	66,3 bis 403,9 cd/m ²	IPS	Freesync	1,63	Online	www.pcg.de/preis/2513135
Samsung G7 C27G75T	N. verf.	27 Zoll	240 Hertz	2,3 ms	22,2 ms	64,3 bis 370,4 cd/m ²	VA	Freesync	1,72	Online	www.pcg.de/preis/2272051
Asus TUF VG27AQ	Ca. € 300,-	27 Zoll	165 Hertz	7,3 ms	9 ms	151 bis 405,8 cd/m ²	IPS	Freesync	1,74	06/2020	www.pcg.de/preis/2112120
Iiyama GB3271OSU-B1	Ca. € 350,-	31,5 Zoll	165 Hertz	6,4 ms	24 ms	40,6 bis 395,1 cd/m ²	IPS	Freesync	1,77	11/2021	www.pcg.de/preis/2535409
Ultra HD („4K“)	Preis	Bilddiagonale	Bildfrequenz	Reaktionszeit	Inputlag	Leuchtkraft	Paneltyp	VRR	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Samsung Od. Neo G8	Ca. € 1.200,-	32 Zoll	240 Hertz	3,7 ms	3,1 ms	13,2 bis 330,5 cd/m ²	VA	Freesync	1,62	02/2023	www.pcg.de/preis/2748275
Gigabyte M32U	Ca. € 720,-	31,5 Zoll	144 Hertz	4,3 ms	8,1 ms	55,6 bis 383,6 cd/m ²	IPS	Freesync	1,66	01/2022	www.pcg.de/preis/2599266
Asus TUF VG28UQL1A	Ca. € 640,-	28 Zoll	144 Hertz	3,3 ms	9,4 ms	70,6 bis 337,6 cd/m ²	IPS	Freesync	1,68	01/2022	www.pcg.de/preis/2596721
Corsair Xen. 32UHD144	Ca. € 1.150,-	32 Zoll	144 Hertz	5,7 ms	1,6 ms	93,3 bis 448,3 cd/m ²	IPS	Freesync	1,69	01/2023	www.pcg.de/preis/2772794
Asus OLED PG42UQ	Ca. € 1.500,-	41,5 Zoll	138 Hertz	0,1 ms	25,8 ms	15,7 bis 352,8 cd/m ²	OLED	Freesync	1,80	Online	www.pcg.de/preis/2797313
MSI Optix MPG321UR	Ca. € 950,-	32 Zoll	144 Hertz	5,4 ms	28,5 ms	109 bis 369,4 cd/m ²	IPS	Freesync	1,82	07/2022	www.pcg.de/preis/2638540
Ultrawide	Preis	Bilddiagonale	Bildfrequenz	Reaktionszeit	Inputlag	Leuchtkraft	Paneltyp	VRR	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
LG Ultragear 45GR95QE	Ca. € 1.330,-	45 Zoll	240 Hertz	0,1 ms	2,1 ms	13,5 bis 406,2 cd/m ²	OLED	Freesync	1,64	07/2023	www.pcg.de/preis/2885317
Dell Alienw. AW3423DW	Ca. € 1.300,-	34 Zoll	175 Hertz	0,1 ms	15,1 ms	27,6 bis 257,8 cd/m ²	OLED	G-Sync	1,80	07/2023	www.pcg.de/preis/2695205
LC-Power LC-M34-CV3	Ca. € 300,-	34 Zoll	100 Hertz	6,5 ms	12,7 ms	74,8 bis 342,1 cd/m ²	VA	Freesync	1,81	Online	www.pcg.de/preis/2748847
LG UltraGear 38GN950-B	Ca. € 1.250,-	34 Zoll	160 Hertz	4,7 ms	9,2 ms	70,6 bis 438 cd/m ²	IPS	Freesync	1,81	04/2021	www.pcg.de/preis/2302705

Mäuse

Modell	Preis	Kabellänge	Tasten	Abtastung	Auflösung	Gewicht	Ergonomie	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Razer Basilisk V3 Pro	Ca. € 150,-	Schnurlos	8 + Vier-Wege-Scrollrad	Optisch (LED)	30.000 Dpi	112 Gramm	Sehr gut	1,06	11/2022	www.pcg.de/preis/2797003
Razer Viper Ultimate	Ca. € 100,-	Schnurlos	7 + Scrollrad	Optisch (LED)	20.000 Dpi	74 Gramm	Sehr gut	1,12	02/2020	www.pcg.de/preis/2160846
Razer Basilisk Ultimate	Ca. € 90,-	Schnurlos	8 + Vier-Wege-Scrollrad	Optisch (LED)	20.000 Dpi	107 Gramm	Sehr gut	1,12	02/2020	www.pcg.de/preis/2172850
Razer Basilisk V3	Ca. € 55,-	210 cm	8 + Vier-Wege-Scrollrad	Optisch (LED)	26.000 Dpi	101 Gramm	Sehr gut	1,13	11/2021	www.pcg.de/preis/2597543
Roccat Kone XP Air	Ca. € 135,-	Schnurlos	10 + Vier-Wege-Scrollrad	Optisch (LED)	19.000 Dpi	99 Gramm	Sehr gut	1,13	04/2023	www.pcg.de/preis/2776774
Razer Deathadder V2 Pro	Ca. € 90,-	Schnurlos	7 + Scrollrad	Optisch (LED)	20.000 Dpi	88 Gramm	Sehr gut	1,15	04/2021	www.pcg.de/preis/2379242
Logitech G502 X Plus	Ca. € 130,-	Schnurlos	9 + Vier-Wege-Scrollrad	Optisch (LED)	25.600 Dpi	106 Gramm	Sehr gut	1,16	01/2023	www.pcg.de/preis/2801356
Razer Cobra Pro	Ca. € 130,-	Schnurlos	7 + Scrollrad	Optisch (LED)	30.000 Dpi	77 Gramm	Sehr gut	1,16	01/2024	www.pcg.de/preis/2976258
Razer Viper 8K	Ca. € 60,-	210 cm	7 + Scrollrad	Optisch (LED)	20.000 Dpi	71 Gramm	Sehr gut	1,19	02/2020	www.pcg.de/preis/2465047
Roccat Kone XP	Ca. € 65,-	180 cm	10 + Vier-Wege-Scrollrad	Optisch (LED)	19.000 Dpi	135 Gramm	Sehr gut	1,20	05/2022	www.pcg.de/preis/2687669
Razer Viper V2 Pro	Ca. € 135,-	Schnurlos	5 + Scrollrad	Optisch (LED)	16.000 Dpi	58 Gramm	Sehr gut	1,20	09/2022	www.pcg.de/preis/2731773

Tastaturen

Nicht mechanisch	Preis	Beleuchtung	Anschlüsse	Handballenablage	Zusatz Tasten	Makro/Speicher	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Razer Ornata V3 Chroma	Ca. € 60,-	RGB, 10 Zonen	-	Ja (abnehmbar)	4 Multimediatasten	Ja/Ja (k. A.)	1,57	Online	www.pcg.de/preis/2759660
Razer Cynosa V2	Ca. € 55,-	RGB-Einzeltastenbel.	-	Nein	4 + 2-Wege-Schalter	Ja/Ja (k. A.)	1,65	01/2022	www.pcg.de/preis/2339845
Corsair K57	Ca. € 110,-	RGB-Einzeltastenbel.	-	Ja (abnehmbar)	16	Ja/Ja (k. A.)	1,67	04/2020	www.pcg.de/preis/2117378
Steelseries Apex 3	Ca. € 60,-	Voll, RGB-Farbraum	-	Ja (abnehmbar)	1 + Lautstärkenrad	Ja/Ja (drei Profile)	1,74	07/2020	www.pcg.de/preis/2221888
Sharkoon Killer SGK5	Ca. € 35,-	Voll, RGB-Farbraum	-	Ja (abnehmbar)	18 + zwei Drehräder	Ja/Ja (drei Profile)	1,80	07/2020	www.pcg.de/preis/2176206
Mechanisch	Preis	Beleuchtung	Anschlüsse	Schalter (getestet)	Schalter (verfüg.)	Makro/Speicher	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Steelseries Apex Pro	Ca. € 190,-	RGB-Einzeltastenbel.	1 × USB 3.0	Steelseries Omnipoint	Steelseries Omnipoint	Ja/Ja (k. A.)	1,16	12/2019	www.pcg.de/preis/2067586
Montain Everest Max	Ca. € 260,-	RGB-Einzeltastenbel.	1 × USB 2.0	MX RGB Silent Red	Alles Cherry MX RGB	Ja/Ja (k. A.)	1,16	03/2021	www.pcg.de/preis/2479469
Asus ROG Claymore II	Ca. € 230,-	RGB-Einzeltastenbel.	2 × USB 2.0	Asus ROG RX Red opt.	Asus ROG RX Red/Blue	Ja/Ja (k. A.)	1,17	06/2021	www.pcg.de/preis/2527723
Razer Black Widow V4 Pro	Ca. € 240,-	RGB-Einzeltastenbel.	1 × USB 2.0	Razer mechan. Yellow	Razer mechan. Green	Ja/Ja (k. A.)	1,18	04/2023	www.pcg.de/preis/2900208
Corsair K100 Air Wireless	Ca. € 290,-	RGB-Einzeltastenbel.	Schnurlos (2 Modi)	Cherry MX ULP Tactile	Cherry MX ULP Tactile	Ja/Ja (8 MB)	1,18	12/2022	www.pcg.de/preis/2818184
Razer Deathstalker V2 Pro	Ca. € 210,-	RGB-Einzeltastenbel.	Schnurlos (2 Modi)	Low Profile Optical	Low Profile Optical	Ja/Ja (k. A.)	1,18	02/2023	www.pcg.de/preis/2775959
Asus ROG Strix Flare II Animate	Ca. € 210,-	RGB-Einzeltastenbel.	1 × USB 2.0	Asus ROG NX Red	Asus ROG NX Red	Ja/Ja (k. A.)	1,18	02/2023	www.pcg.de/preis/2665350
Razer Huntsman V2 Analog	Ca. € 200,-	RGB-Einzeltastenbel.	1 × USB 3.0	Razer Analog Optical	Razer Analog Optical	Ja/Ja (k. A.)	1,19	06/2021	www.pcg.de/preis/2465972
Corsair K100 RGB	Ca. € 240,-	RGB-Einzeltastenbel.	1 × USB 2.0	Corsair OPX (optisch)	MX Speed RGB Silver	Ja/Ja (8 MB)	1,22	12/2020	www.pcg.de/preis/2387270
Corsair K70 Max	Ca. € 230,-	RGB-Einzeltastenbel.	Keine	Corsair MGX Switches	Corsair MGX Switches	Ja/Ja (8 MB)	1,26	11/2023	www.pcg.de/preis/3000397
MSI Vigor GK71 Sonic	Ca. € 120,-	RGB-Einzeltastenbel.	Keine	Kailh (MSI) Sonic Red	Kailh (MSI) Sonic Blue	Ja/Ja (k. A.)	1,29	08/2023	www.pcg.de/preis/2796976



Einkaufsführer SSDs & Festplatten

Preise: Stand 10.11.2023

PCGH PREIS-LEISTUNGS-TIPP PCGH SPAR-TIPP

Solid State Drives

PCI-Express 5.0	Preis	Kapazität bin./Jdez.	Transfer R/W AS-SSD	Kopieren 10/120 GiB	Herstellergarantie	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Crucial T700	Ca. € 350,-	1.863 GiB/2000 GB	8523/9296 MB/s	14 Sek., 33 Sek.	5 Jahre/1200 TB	1,42*	07/2023	www.pcgh.de/preis/2934163
Seagate Firecuda SSD 540	Ca. € 330,-	1.863 GiB/2000 GB	7317/9157 MB/s	16 Sek., 45 Sek.	5 Jahre/2000 TB	1,44*	Online	www.pcgh.de/preis/2974796
Gigabyte Aorus Gen5 10000 SSD	Ca. € 325,-	1.863 GiB/2000 GB	7316/9100 MB/s	17 Sek., 43 Sek.	5 Jahre/1400 TB	1,47*	05/2023	www.pcgh.de/preis/2893731
PCI-Express 4.0	Preis	Kapazität bin./Jdez.	Transfer R/W AS-SSD	Kopieren 10/120 GiB	Herstellergarantie	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Corsair MP600 Pro XT	Ca. € 145,-	1.863 GiB/2.000 GB	3366/5801 MB/s	32,7 Sek., 61,4 Sek.	5 Jahre/ 1400 TB	1,33	Online	www.pcgh.de/preis/2598363
Seagate Firecuda 530	Ca. € 145,-	1.863 GiB/2.000 GB	3197/5777 MB/s	35 Sek., 64 Sek.	5 Jahre/2.550 TB	1,34	04/2022	www.pcgh.de/preis/2551049
Corsair MP600 Pro	Ca. € 140,-	1.863 GiB/2.000 GB	3304/5837 MB/s	33,9 Sek., 68,1 Sek.	5 Jahre/ 1400 TB	1,35	05/2021	www.pcgh.de/preis/2465260
Western Digital WD Black SN850X	Ca. € 420,-	1.863 GiB/2.000 GB	3470/5070 MB/s	33 Sek., 68,8 Sek.	5 Jahre/ 600 TB	1,40	02/2021	www.pcgh.de/preis/2401297
Adata Gammix S70	N. Verf.	931 GiB/1.000 GB	3553/5243 MB/s	40,1 Sek., 67,9 Sek.	5 Jahre/ 740 TB	1,41	05/2021	www.pcgh.de/preis/2447888
Samsung SSD 980 Pro	Ca. € 80,-	931 GiB/1.000 GB	3206/3721 MB/s	36,2 Sek., 107 Sek.	5 Jahre/ 600 TB	1,48	pcgh.de	www.pcgh.de/preis/2361123
Gigabyte Aorus NVMe Gen4 SSD	Ca. € 130,-	1.907 GiB/2.048 GB	2484/3977 MB/s	34 Sek., 88,4 Sek.	5 Jahre/ 3600 TB	1,45	12/2019	www.pcgh.de/preis/2094099
Patriot Viper VP4100	Ca. € 245,-	954 GiB/1.024 GB	2398/3917 MB/s	34 Sek., 82 Sek.	5 Jahre/ 1800 TB	1,46	12/2019	www.pcgh.de/preis/2138062
Corsair MP600	Ca. € 140,-	931 GiB/1.024 GB	2138/3908 MB/s	32 Sek., 90 Sek.	5 Jahre/ 1800 TB	1,48	12/2019	www.pcgh.de/preis/2080861
Adata Legend 960	Ca. € 80,-	954 GiB/1024 GB	5799/5514 MB/s	23 Sek., 66 Sek.	5 Jahre/780 TB	1,65*	05/2023	www.pcgh.de/preis/2791615
HP SSD EX950	Ca. € 260,-	1.863 GiB/2.000 GB	2105/2728 MB/s	41,1 Sek., 120 Sek.	5 Jahre/ 1400 TB	1,66	05/2021	www.pcgh.de/preis/2014541
Lexar NM800 Pro	Ca. € 80,-	1.907 GiB/2048 GB	5975/5408 MB/s	18 Sek., 63 Sek.	5 Jahre/2000 TB	1,57*	05/2023	www.pcgh.de/preis/2842856
Lexar NM710	Ca. € 100,-	1.907 GiB/2048 GB	4077/4006 MB/s	20 Sek., 68,3 Sek.	5 Jahre/1200 TB	1,70*	Online	www.pcgh.de/preis/2891626
Solidigm P44 Pro	Ca. € 95,-	954 GiB/1024 GB	6020/5689 MB/s	37 Sek., 63 Sek.	5 Jahre/750 TB	1,71*	05/2023	www.pcgh.de/preis/2845166
Western Digital WD Blue SN580	Ca. € 50,-	931 GiB/1000 GB	2948/3349 MB/s	20 Sek., 62 Sek.	5 Jahre/600 TB	1,73*	10/2023	www.pcgh.de/preis/2975634
PCI-Express 3.0	Preis	Kapazität bin./Jdez.	Transfer R/W AS-SSD	Kopieren 10/120 GiB	Herstellergarantie	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Western Digital WD Black AN1500	Ca. € 450,-	1.863 GiB/2.000 GB	3249/4164 MB/s	37,1 Sek., 80,9 Sek.	5 Jahre/ 800 TB	1,45	05/2021	www.pcgh.de/preis/2405831
Gigabyte AORUS RAID SSD	N. Verf.	1.863 GiB/2.000 GB	2161/2937 MB/s	34,5 Sek., 100 Sek.	5 Jahre/ 2800 TB	1,58	06/2020	www.pcgh.de/preis/2319620
PNY CS3030	Ca. € 155,-	954 GiB/1.024 GB	2118/2894 MB/s	45,2 Sek., 207 Sek.	5 Jahre/ 1665 TB	1,64	05/2021	www.pcgh.de/preis/1991316
HP SSD EX950	Ca. € 260,-	1.863 GiB/2.000 GB	2105/2728 MB/s	41,1 Sek., 120 Sek.	5 Jahre/ 1400 TB	1,66	05/2021	www.pcgh.de/preis/2014541
Western Digital WD Black SN750	Ca. € 130,-	954 GiB/1.024 GB	2082/2140 MB/s	37 Sek., 105 Sek.	5 Jahre/ 600 TB	1,66	12/2019	www.pcgh.de/preis/1969746
Samsung SSD 970 Evo Plus	Ca. € 70,-	931 GiB/1.000 GB	2008/2798 MB/s	34 Sek., 168 Sek.	5 Jahre/ 600 TB	1,69	pcgh.de	www.pcgh.de/preis/1972735
Samsung SSD 980	Ca. € 65,-	931 GiB/1.000 GB	2130/2314 MB/s	42 Sek., 101 Sek.	5 Jahre/ 600 TB	1,70	05/2021	www.pcgh.de/preis/2485468
LC Power Phenom Pro	N. Verf.	954 GiB/1.024 GB	2043/2873 MB/s	37,4 Sek., 130 Sek.	5 Jahre/ - TB	1,72	pcgh.de	www.pcgh.de/preis/2366291
Corsair MP400	Ca. € 585,-	3.815 GiB/4.096 GB	2334/2769 MB/s	37,1 Sek., 114 Sek.	5 Jahre/ 800 TB	1,72	05/2021	www.pcgh.de/preis/2378650
Lexar NM620	Ca. € 90,-	1.907 GiB/2.048 GB	2772/2415 MB/s	24 Sek., 96 Sek.	5 Jahre/1000, TB	1,74*	Online	www.pcgh.de/preis/2661656
Kingston KC2500	N. Verf.	931 GiB/1.000 GB	2232/2662 MB/s	36,1 Sek., 113 Sek.	5 Jahre/ 600 TB	1,76	10/2020	www.pcgh.de/preis/2279821
Adata XPG S40G	Ca. € 60,-	954 GiB/1.024 GB	2328/1729 MB/s	42,6 Sek., 99,4 Sek.	5 Jahre/ 640 TB	1,76	10/2020	www.pcgh.de/preis/2087602
Patriot Viper VPR100	Ca. € 130,-	954 GiB/1.024 GB	2321/2851 MB/s	37,2 Sek., 206 Sek.	5 Jahre/ 1600 TB	1,77	10/2020	www.pcgh.de/preis/2202135
Crucial P5 SSD	Ca. € 150,-	931 GiB/1.000 GB	2199/2942 MB/s	39,7 Sek., 372 Sek.	5 Jahre/ 600 TB	1,77	10/2020	www.pcgh.de/preis/2287918
Toshiba/Kioxia RC500	N. Verf.	466 GiB/500 GB	1371/1563 MB/s	35,4 Sek., 277 Sek.	5 Jahre/ 200 TB	1,83	pcgh.de	www.pcgh.de/preis/2166240
Adata XPG Spectrix S20G	Ca. € 60,-	931 GiB/1.000 GB	1703/1697 MB/s	44,9 Sek., 186 Sek.	5 Jahre/ 600 TB	1,86	05/2021	www.pcgh.de/preis/2455908
Silicon Power P34A60	Ca. € 60,-	954 GiB/1.024 GB	1505/1545 MB/s	44,5 Sek., 170 Sek.	5 Jahre/ 600 TB	1,89	pcgh.de	www.pcgh.de/preis/2196810
Kioxia Exceria SSD	Ca. € 55,-	931 GiB/1.000 GB	1372/1590 MB/s	39 Sek., 430 Sek.	5 Jahre/ 400 TB	1,95	10/2020	www.pcgh.de/preis/2273340
Western Digital WD Blue SN550	Ca. € 60,-	466 GiB/500 GB	1811/1743 MB/s	52,6 Sek., 322 Sek.	3 Jahre/ 1600 TB	2,00	pcgh.de	www.pcgh.de/preis/2195073
SATA III 6 GBits	Preis	Kapazität bin./Jdez.	Transfer R/W AS-SSD	Kopieren 10/120 GiB	Herstellergarantie	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Crucial MX500	Ca. € 60,-	931 GiB/1.000 GB	445/459 MB/s	73 Sek., 472 Sek.	5 Jahre/ 360 TB	2,04	07/2018	www.pcgh.de/preis/1745357
Samsung SSD 870 Evo	Ca. € 250,-	3.725 GiB/4.000 GB	550/486 MB/s	66,9 Sek., 482 Sek.	5 Jahre/ 2400 TB	2,14	05/2021	www.pcgh.de/preis/2458832
Crucial MX500	Ca. € 35,-	466 GiB/500 GB	445/475 MB/s	72 Sek., 473 Sek.	5 Jahre/ 180 TB	2,15	07/2018	www.pcgh.de/preis/1745351
Teamgroup T-For. Delta MAX RGB SSD	Ca. € 85,-	466 GiB/500 GB	483/448 MB/s	78,7 Sek., 512 Sek.	5 Jahre/ 120 TB	2,21	01/2020	www.pcgh.de/preis/2123067
Patriot P210	Ca. € 85,-	1.907 GiB/2.048 GB	490/429 MB/s	83,6 Sek., 544 Sek.	3 Jahre	2,43	10/2020	www.pcgh.de/preis/2325311
Kioxia Exceria SATA SSD	Ca. € 90,-	894 GiB/960 GB	433/447 MB/s	107 Sek., 308 Sek.	3 Jahre/ 240 TB	2,46	10/2020	www.pcgh.de/preis/2273348
Samsung SSD 870 QVO	Ca. € 670,-	7.451 GiB/8.000 GB	489/457 MB/s	119 Sek., 972 Sek.	3 Jahre/ 2880 TB	2,51	pcgh.de	www.pcgh.de/preis/2307522

* Neues Test- und Wertungssystem mit PCI Express 5.0

Festplatten (3,5 Zoll)

	Preis	Kapazität bin./Jdez.	U/min	Lautheit Leerl./Zugr.	Zugriffszeit L/S*	Transfer L/S*	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Seagate Ironwolf NAS HDD, 16 TB	N. Verf.	14.901 GiB/16.000 GB	7.200	0,2/0,4 Sone	11,8/5,3 ms	208/209 MB/s	1,62	09/2019	www.pcgh.de/preis/2068671
Seagate Barracuda Pro, 14 TB	N. Verf.	13.039 GiB/14.000 GB	7.200	0,1/1,4 Sone	14,2/5,9 ms	201/200 MB/s	1,66	04/2019	www.pcgh.de/preis/1870922
Seagate Ironwolf NAS HDD, 10 TB	Ca. € 320,-	9.313 GiB/10.000 GB	7.200	0,6/1,1 Sone	14,8/7,23 ms	188/186 MB/s	1,81	06/2017	www.pcgh.de/preis/1479598
Western Digital Black, 6 TB	Ca. € 260,-	5.586 GiB/6.000 GB	7.200	0,5/1,1 Sone	12,4/1,4 ms	179/177 MB/s	1,83	04/2019	www.pcgh.de/preis/1758104
Toshiba X300, 10 TB	Ca. € 245,-	9.313 GiB/10.000 GB	7.200	0,6/1,0 Sone	13,5/4,4 ms	192/185 MB/s	1,91	04/2019	www.pcgh.de/preis/1802069
Toshiba N300, 10 TB	Ca. € 220,-	9.313 GiB/10.000 GB	7.200	0,5/0,8 Sone	13,7/5,4 ms	190/183 MB/s	1,93	04/2019	www.pcgh.de/preis/1802075
Toshiba N300, 6 TB	Ca. € 230,-	5.586 GiB/6.000 GB	7.200	1,1/1,6 Sone	12,0/13,4 ms	167/163 MB/s	1,90	06/2017	www.pcgh.de/preis/1562775

* L/S: Lesen und Schreiben



Einkaufsführer Gehäuse, Netzteile & Sound

Preise: Stand 10.11.2023

PCGH PREIS-LEISTUNGS-TIPP PCGH SPAR-TIPP

Gehäuse

Midi-Gehäuse (altes Testsystem)	Format, Volumen	Preis	Lüfterplätze	Enthaltene Lüfter	Lautheit frontal/schräg*	(CPU/GPU/Innenraum)*	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Fractal Design Define 7	Midi-Tower, 62,2 L	Ca. € 165,-	8x 140 mm, 9x 120 mm	3x 140 mm	1,2/1,2 Sone	65/71/42 °C	1,82	08/2020	www.pcg.h.de/preis/2239825
Lian Li Lancool II Mesh Perf.	Midi-Tower, 54,1 L	Ca. € 120,-	5x 140 mm, 1x 120 mm	2x 140 mm, 1x 120 mm	2,0/2,1 Sone	61/71/34 °C	2,26	02/2021	www.pcg.h.de/preis/2672592
Montech Air 1000 Premium	Midi-Tower, 45,3 L	Ca. € 75,-	5x 140 mm, 3x 120 mm	3x 140 mm, 1x 120 mm	2,4/2,2 Sone	63/71/41 °C	2,37	01/2022	www.pcg.h.de/preis/2876728

* System: Intel Core i7-6700K, Asus Z1701, Gigabyte Geforce GTX 1070 OC Edition, 16 GiB DDR4-2133-RAM, Thermalright AXP-100, Seasonic Focus+ Gold PCGH-Edition 550 W, Umgebungstemperatur: 24 °C. Altes Wertungssystem der PCGH 02/2017.

Midi- und Big-Tower (neues Testsystem)	Format, Volumen	Preis	Radiator-Kombination	Enthaltene Lüfter	Lautheit frontal/schräg*	(CPU/GPU/Innenraum)*	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Be Quiet Dark Base Pro 901	Big-Tower, 87,1 L	Ca. € 290,-	Sehr gut (420/360/140)	3x 140 mm	1,8/1,6 Sone	70/64/42 °C	1,33	09/2023	www.pcg.h.de/preis/2966228
Asus ROG Hyperion GR701	Big-Tower, 112,9 L	Ca. € 385,-	Sehr gut (420/420/360/140)	4x 140 mm	1,9/2,0 Sone	69/64/43 °C	1,48	09/2023	www.pcg.h.de/preis/2905415
Be Quiet Shadow Ba. 800 FX	Midi-Tower, 70,9 L	Ca. € 175,-	Sehr gut (420/420/120)	4x 140 mm	2,0/1,7 Sone	68/62/43 °C	1,49	11/2023	www.pcg.h.de/preis/3005959
Be Quiet Pure Base 500 FX	Midi-Tower, 48,3 L	Ca. € 120,-	Gut (360/240/140)	3x 120 mm, 1x 140 mm	2,2/2,0 Sone	64/64/40 °C	1,74	07/2023	www.pcg.h.de/preis/2774026
Montech Sky Two	Midi-Tower, 45,3 L	Ca. € 105,-	Befriedigend (360/120)	4x 120 mm	1,8/2,2 Sone	70/66/44 °C	1,93	07/2023	www.pcg.h.de/preis/2867380
Cooler Master HAF 500	Midi-Tower, 58,9 L	Ca. € 105,-	Sehr gut (360/360/120)	2x 200 mm, 2x 120 mm	2,3/2,2 Sone	70/63/43 °C	2,03	07/2023	www.pcg.h.de/preis/2666390
LC-Power 804B Obsession X	Midi-Tower, 45,8 L	Ca. € 65,-	Sehr gut (360/360/120)	3x 140 mm, 1x 120 mm	2,3/2,4 Sone	71/65/46 °C	2,16	07/2023	www.pcg.h.de/preis/2795943
Fractal North TG	Midi-Tower, 44,9 L	Ca. € 120,-	Gut (360/240/140)	2x 140 mm	2,7/2,3 Sone	72/64/45 °C	2,34	11/2023	www.pcg.h.de/preis/2861682
NZXT H5 Elite	Midi-Tower, 47,0 L	Ca. € 115,-	Befriedigend (280/240/120)	2x 140 mm, 1x 120 mm	2,2/2,5 Sone	76/67/48 °C	2,35	07/2023	www.pcg.h.de/preis/287891
Fractal Pop Air RGB	Midi-Tower, 46,0 L	Ca. € 85,-	Befriedigend (280/240/120)	3x 120 mm	2,7/2,2 Sone	73/65/46 °C	2,40	07/2023	www.pcg.h.de/preis/2760718

* System: Intel Core i7-12700K (PL1/2: 160 W), MSI MEG Z690 Unify, Asus TUF RTX 3080 12G, 32 GiB DDR5-5600 Corsair Vengeance, Scythe Fuma 2 Rev. B, Seasonic Focus PX-850 (ohne Hybrid-Modus). Umgebungstemperatur: 22 °C. Neues Test-/Wertungssystem ab Midi-Tower der PCGH 07/2023 (altes und neues Verfahren nicht direkt vergleichbar). Angegeben sind die gewichteten Temperaturen des Szenario 1 mit normierten Gehäuse-Lüftern auf 1,2 Sone. Mehr Details im vollwertigen Test.

Mini-Gehäuse (Mini-ITX)	Format, Volumen	Preis	Lüfterplätze	Enthaltene Lüfter	Lautheit frontal/schräg**	(CPU/GPU/Innenraum)**	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Cooler Master NR200P	Mini-ITX, 20,3 L	Ca. € 85,-	4x 120 mm, 2x 140 mm	2x 120 mm	3,0/3,2 Sone	71/66/41 °C	2,08	09/2022	www.pcg.h.de/preis/2330820
Jonsplus i100 Pro	Mini-ITX, 25,9 L	Ca. € 90,-	3x 120 mm, 3x 120/2x 140 mm	-	2,6/2,8 Sone	75/67/48 °C	2,21	09/2022	www.pcg.h.de/jonspli100Pro
Hyte Revolt 3	Mini-ITX, 18,4 L	Ca. € 125,-	2x 140 mm	-	2,2/2,8 Sone	70/67/45 °C	2,33	09/2022	www.pcg.h.de/preis/2676698

** System: Intel Core i7-12700K (PL1/2: 160 W), Asus ROG Strix B660-i, Asus TUF RTX 3080 12G, 32 GiB DDR5-5600 Corsair Vengeance, Alphacool Eisbaer LT 240, Seasonic Focus SGX-750 (SFX). Umgebungstemperatur: 24 °C. Temperatur- und Lautheitswerte unter Spielelast mit Standard-Lüftersteuerung, weitere Werte und Details im entsprechenden Test einsehbar. Neues Test-/Wertungssystem für Mini-Gehäuse der PCGH 09/2022 (altes und neues Verfahren nicht direkt vergleichbar).

Netzteile

1.000 Watt (Vergleichsbasis)	Preis	PCI-E-8-Pol 12VHPWR*	ATX 80 Plus	Lautheit**	Effizienz***	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Asus ROG Thor II	Ca. € 320,-	8x (74,5 cm)/600 W (74,5 cm)	ATX 2.4/Platinum	0/0/0/4,2,2 Sone	88/93/93/92 %	1,20	Online	www.pcg.h.de/preis/2946786
Asus ROG Strix 1000G Aura Gaming	Ca. € 235,-	4x (67,5 cm)/600 W (66,5 cm)	ATX 3.0/Gold	0/0/0/2,0,6 Sone	87/91/93/91 %	1,22	09/2023	www.pcg.h.de/preis/2863233
Seasonic Prime TX-1000	Ca. € 300,-	6x (75,5 cm)/optional kaufbar	ATX 2.4/Titanium	0/0/0,5/1,2/1,5 Sone	93/95/95/93 %	1,24	11/2022	www.pcg.h.de/preis/2123636
Corsair HX1000i 2022	Ca. € 195,-	6x (76,0 cm)/optional kaufbar	ATX 2.4/Platinum	0/0/0,1/0,9/2,2 Sone	91/93/93/91 %	1,27	11/2022	www.pcg.h.de/preis/2768519
MSI MPG A1000G PCIE5	Ca. € 185,-	6x (73,5 cm)/600 W (60,5 cm)	ATX 3.0/Gold	0/0/0,1/1,1/2,8 Sone	88/92/93/90 %	1,28	09/2023	www.pcg.h.de/preis/2815736
Corsair RM1000x Shift	Ca. € 195,-	7x (72,5 cm)/450 W (64,0 cm)	ATX 3.0/Gold	0/0/0/0,7/1,9 Sone	87/91/93/90 %	1,35	09/2023	www.pcg.h.de/preis/2888904
Thermaltake Toughpower GF3	Ca. € 150,-	4x (63,0 cm)/450 W (59,5 cm)	ATX 3.0/Gold	0/0/1,0/1,8/2,2 Sone	88/92/92/89 %	1,43	09/2023	www.pcg.h.de/preis/2807935
Be Quiet Pure Power 12 M	Ca. € 150,-	4x (61,0 cm)/600 W (54,5 cm)	ATX 3.0/Gold	0,2/0,2/0,2/0,4/1,7 Sone	89/92/93/90 %	1,51	09/2023	www.pcg.h.de/preis/2884016

* Beachten Sie die ATX-Spezifikation rechts. Kabellängen mit gemessener „bis zu“-Angabe. ** Sone im 50-cm-Abstand zum Lüfter unter gemessener Drehzahl der Laststufen, mit Beachtung des Passbereichs, gemessen unter 10/20/50/80/100 % Last des Netzteils. *** Unter 10/20/50/100 % Last. | Bemerkung: Werte und Kabelausstattung können bei anderen Wattklassen (derselben Serie) abweichen, prüfen Sie daher genau nach. Mehr Infos und Hilfestellungen unter www.pcg.h.de/netzteile.

Soundkarten

Soundkarten intern	Preis	Kanäle/Abtastrate	DAC/SNR (Kopfhörer)	Kopfhörerverstärker	Dolby Digital Live/DTS Connect	Besonderheiten u. a.	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Creative Sound Blaster AE-9	Ca. € 300,-	Bis 5.1/32 Bit bei 384 kHz	ESS9038/129 dB	Ja, „Xamp“	Ja/Ja	Ges. Op-Amps, extern. Modul	1,37	11/2019	Non-PE inkl. bei Creative verfügl.
Creative Sound Blaster AE-7	Ca. € 175,-	Bis 7.1/32 Bit bei 384 kHz	ESS9018/127 dB	Ja, „Xamp“	Ja/Ja	Externes Bedien-Modul	1,51	11/2019	www.pcg.h.de/preis/2094469
Creative S. Blaster X AE-5 Plus	Ca. € 110,-	Bis 5.1/32 Bit bei 384 kHz	ES9016K2M/122 dB	Ja, LM4562	Ja/nein	RGB-Beleuchtung	1,98	07/2020	www.pcg.h.de/preis/2275083
Soundkarten extern	Preis	Kanäle/Abtastrate	DAC/SNR (Kopfhörer)	Kopfhörerverstärker	Dolby Digital Live/DTS Connect	Besonderheiten u. a.	Wertung	Test in	PCGH-Preisvergleich
Creative Sound Blaster X G6	Ca. € 110,-	Bis 7.1/32 Bit bei 384 kHz	CS43131/130 dB	Ja, CS43131	Ja/nein	Auch abseits des PCs nutzbar	1,75	11/2019	www.pcg.h.de/preis/1874295
Creative Sound Blaster X3	Ca. € 120,-	Bis 7.1/32 Bit bei 384 kHz	AK4458VN/115 dB	Ja, Dual-Amp	Ja/nein	MAC- und PS4-Support (eing.)	1,80	07/2020	www.pcg.h.de/preis/2171277
Asus Xonar U7 MKII	Ca. € 70,-	Bis 7.1/24 Bit bei 192 kHz	CS4398/114 dB	Ja, CS4398	Nein/nein	Mikr.-Lautstärkeregl. am Gerät	2,21	07/2020	www.pcg.h.de/preis/1631776

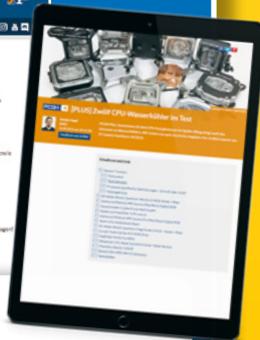
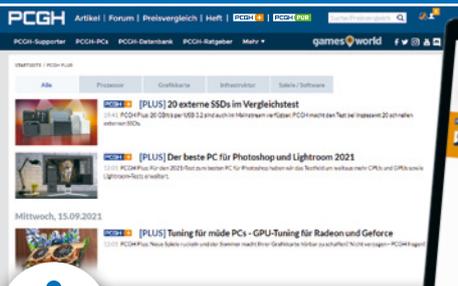
Headsets

Headsets	Preis	Anschlussart	Bauart	Gewicht	Impedanz	Surround	Besonderheiten	Wertung	Test in	Preisvergleich
JBL Quantum 910 Wireless	Ca. € 170,-	Funk, BT	Geschlossen, ohrmschließend	420 Gramm	32 Ohm	Ja, virtuell	ANC, Headtracking	1,39	02/2023	www.pcg.h.de/preis/2798420
Steelseries Arctis Nova Pro	Ca. € 190,-	USB, Klinke	Geschlossen, ohrmschließend	300 Gramm	32 Ohm	Ja, virtuell	Potente USB-Soundkarte	1,35	02/2023	www.pcg.h.de/preis/2740751
Corsair Virtuoso RGB XT	Ca. € 220,-	Funk, USB, BT, Kl	Geschlossen, ohrmschließend	400 Gramm	32 Ohm	Ja, virtuell	BT-Simultanbetrieb, Dolby Atmos	1,47	11/2021	www.pcg.h.de/preis/2539487
Asus ROG Delta S	Ca. € 170,-	USB-C	Geschlossen, ohrmschließend	300 Gramm	32 Ohm	Ja, virtuell	ESS 9281 Quad-DAC, MOA-Support	1,48	06/2021	www.pcg.h.de/preis/2451557
Beyerdynamic MMX 300	Ca. € 235,-	Klinke	Geschlossen, ohrmschließend	280 Gramm	32 Ohm	Nein	Teile wechselbar, handgefertigt	1,49	03/2017	www.pcg.h.de/preis/1557567
Roccat Elo 7.1 Air	Ca. € 75,-	2,4-GHz-Funk	Geschlossen, ohrmschließend	350 Gramm	k.A.	Ja, virtuell	Polster optimiert für Brillenträger	1,64	02/2021	www.pcg.h.de/preis/2373722
AOC GH200	Ca. € 30,-	Klinke	Geschlossen, ohrmschließend	300 Gramm	32 Ohm	Nein	Sehr gutes Preis-Leistungsverhältn.	1,89	05/2022	www.pcg.h.de/preis/2499055

NOCH mehr PCGH ?!

AB SOFORT HABEN WIR **ZWEI NEUE ANGEBOTE** FÜR EUCH:

PCGH +



**ALLE WICHTIGEN
PCGH-MAGAZIN-ARTIKEL
SEIT MAI 2018 IM WEBLAYOUT**

KEINE EXTERNE WERBUNG

KEIN USER-TRACKING

**MONATS- ODER JAHRESABO
AB 4,17 EURO IM MONAT**

PCGH PUR



KEINE EXTERNE WERBUNG

KEIN USER-TRACKING

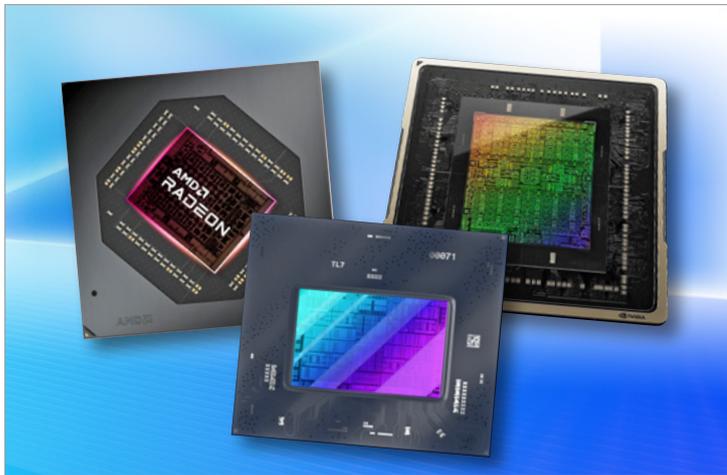
**MONATS- ODER JAHRESABO
AB 2 EURO IM MONAT**



WWW.PCGH.DE/SUPPORT



Vorschau: 02/2024



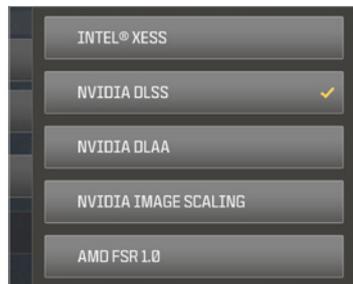
Bilder: AMD, Intel, Nvidia

GPU-Leistung 2024*

Seit Monaten testen wir Grafikkarten mit neuen Spielen, um deren Leistung bestmöglich abzubilden. In der kommenden Ausgabe präsentieren wir Ihnen die brandneuen Werte und geben eine Kaufberatung für das neue Jahr.



Bild: Acer



Ultrabreitbild*

16:9 ist Ihnen zu „08/15“? Kein Problem – wir testen einige Alternativen im cineastischen 32:9-Format.

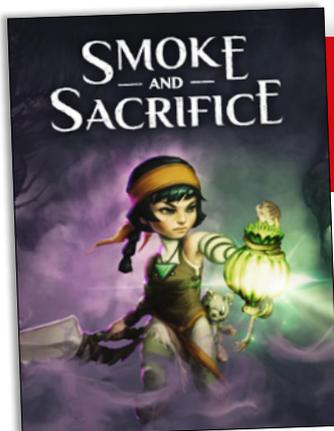
Upscaling*

Mittlerweile bieten alle Spiele sogenanntes Upscaling. In einer neuen Serie verraten wir, wie Sie dieses optimal nutzen.

Weitere Themen (u. a.)*

Tests: Wärmeleitpads und Onboard-Sound im Vergleich

Praxis: AMD Threadripper gegen Intel Xeon: Duell der Kernmonster, Ups



**Vollversion:
Smoke and Sacrifice**

Die nächste PCGH erscheint am 5. Januar – **JETZT IMMER FREITAGS!** Abonnenten erhalten das Heft etwas früher.

* Alle Angaben und Termine ohne Gewähr! Es kann aus Aktualitätsgründen zu außerplanmäßigen Änderungen kommen.

COMPUTEC marquard group

Ein Unternehmen der Marquard Media Group AG
Verleger Jürg Marquard

Verlag Computec Media GmbH
Dr.-Mack-Straße 83, 90762 Fürth
Telefon: 0911/2872-100
leserpost@pcgameshardware.de
www.pcgameshardware.de | www.pcgghx.de

Geschäftsführer Christian Müller, Rainer Rosenbusch

Brand/Editorial Director (V.i.S.d.P.) Thilo Bayer (tb), verantwortlich für den redaktionellen Inhalt, Adresse siehe Verlagsanschrift

Leitende Redakteure Manuel Christa (Video, mc), Andreas Link (Online, al), Veronika Maucher (PCGH Ratgeber), Raffael Vötter (Print, rv)

Redaktion Richard Engel (re), Jan Hauck (jh), Oliver Jäger (oj), Felix Kellig (fk), Claus Ludewig (cl), David Ney (dn), Santana Raus (sr), Philipp Reuther (pr), Frank Stöwer (fs), Torsten Vogel (tv)

Mitarbeiter dieser Ausgabe Valentin Sattler (vs)

Layout Frank Pfründer (Lt.), Alexandra Böhm

Layoutkoordination Alexandra Böhm

Titelgestaltung Frank Pfründer

Fotografie Heft tb, mc, re, jh, oj, fk, al, cl, dn, fp, sr, pr, fs, rv, tv, dw

Bildnachweis Sofern nicht anders angegeben: PC Games Hardware

DVD-Produktion Thomas Dziewizek

Produktion, Vertrieb, Abonnement Marketing Martin Clossmann (Lt.), Uwe Hönig
Jeanette Haag (Lt.), Simon Schmid

www.pcgameshardware.de

Brand/Editorial Director Thilo Bayer

Redaktion Manuel Christa, Richard Engel, Oliver Jäger, Felix Kellig, Claus Ludewig, Andreas Link, David Ney, Santana Raus, Philipp Reuther, Frank Stöwer, Torsten Vogel, Raffael Vötter

Mitarbeiter dieser Ausgabe Sven Bauduin (sb)

Head of Audience & Content Development Andreas Herzog

Entwicklung Markus Wollny (Lt.), René Giering, Herbert Haida, Tobias Hartlehner, Christian Strzelczyk, Christian Zamora

Produktmanagement Aykut Arık

Webdesign Daniel Popa

Anzeigen

CMS Media Services GmbH, Dr.-Mack-Straße 83, 90762 Fürth

Sales Director

Jens-Ole Quiel: Tel.: +49 911 2872-253; jens-ole.quiel@computec.de

Anzeigenberatung Print / Digital

Alto Mair: Tel.: +49 911 2872-144; alto.mair@computec.de

Bernhard Nusser: Tel.: +49 911 2872-254; bernhard.nusser@computec.de

Verantwortlich für den Anzeigenteil

Franziska Behme, Adresse siehe Verlagsanschrift

E-Commerce & Affiliate Daniel Waadt (Head of E-Commerce & Affiliate), Tobias Billmeier, Benjamin Gründken, Frank Stöwer, Maximilian Steffen, Andreas Szedlak, Thomas Szedlak, Stephan Wilke

Creation & Services Wolfgang Fischer (Head of Creation & Services), Jan Weingarten

Corporate Publishing Uwe Hönig (Head of Corporate Publishing)

Anzeigenberatung Online Ströer Digital Media GmbH, Kehrvieler 8-9, 20457 Hamburg

Tel.: +49 40 - 468 567-100

www.stroer.de, kontakt@stroer.de

Anzeigen disposition Franziska Behme, Annett Heinze, anzeigen@computec.de

Datenübertragung via E-Mail: anzeigen@computec.de

Es gelten die Mediadaten Nr. 36 (01/2023)

Abonnement – <http://abo.pcgameshardware.de>

Die Abwicklung (Rechnungsstellung, Zahlungsabwicklung und Versand) erfolgt durch DPV Deutscher Pressevertrieb GmbH als leistender Unternehmer.

Post-Adresse:

Leserservice Computec, 20080 Hamburg, Deutschland

Ansprechpartner für Reklamationen ist Ihr Computec-Team unter:

Deutschland

E-Mail: computec@dpv.de, Tel.: 0911-99399098, Fax: 01805-8618002*

Support: Montag 07:00-20:00 Uhr, Dienstag-Freitag 07:30-20:00 Uhr, Samstag 09:00-14:00 Uhr

* (0,14 €/Min. aus dem dt. Festnetz, max. 0,42 €/Min. aus dem dt. Mobilfunk)

Österreich, Schweiz und weitere Länder:

E-Mail: computec@dpv.de, Tel.: +49-911-99399098, Fax: +49-1805-8618002

Support: Montag 07:00-20:00 Uhr, Dienstag-Freitag 07:30-20:00 Uhr, Samstag 09:00-14:00 Uhr

Einzelversand/Nachbestellung

Online: www.pcggh.de/go/shop, E-Mail: computec@dpv.de, Tel.: 0911-99399098, Fax: 01805-8618002*

* (0,14 €/Min. aus dem dt. Festnetz, max. 0,42 €/Min. aus dem dt. Mobilfunk)

ISSN/Vertriebskennzeichen PC Games Hardware: 1616-6922 / B 53384

Vertrieb: DMV Der Medienvertrieb GmbH & Co. KG, Meßberg 1, 20086 Hamburg, Internet: www.dpv.de

Druck: EDS Zrínyi Zrt., Nádás st. B., H-2600 Vác Ungarn

COMPUTEC MEDIA ist nicht verantwortlich für die inhaltliche Richtigkeit der Anzeigen und übernimmt keinerlei Verantwortung für in Anzeigen dargestellte Produkte und Dienstleistungen. Die Veröffentlichung von Anzeigen setzt nicht die Billigung der angebotenen Produkte und Service-Leistungen durch COMPUTEC MEDIA voraus. Sollten Sie Beschwerden zu einem unserer Anzeigenkunden, seinen Produkten oder Dienstleistungen haben, möchten wir Sie bitten, uns dies schriftlich mitzuteilen. Schreiben Sie unter Angabe des Magazins, in dem die Anzeige erschienen ist, inkl. der Ausgabe und der Seitennummer an: CMS Media Services GmbH, Franziska Behme, Anschrift siehe oben.

Einsendungen Manuskripte und Programme:

Mit der Einsendung von Manuskripten jeder Art gibt der Verfasser die Zustimmung zur Veröffentlichung in den von der Verlagsgruppe herausgegebenen Publikationen. Urheberrecht: Alle in PCGH veröffentlichten Beiträge bzw. Datenträger sind urheberrechtlich geschützt. Jegliche Reproduktion oder Nutzung bedarf der vorherigen, ausdrücklichen und schriftlichen Genehmigung des Verlags.



marquard group

marquard group

marquard group

marquard group

Deutschland: 4PLAYERS, BUFFED, GAMESWORLD, GAMEZONE, GOLEM, LINUX-COMMUNITY, LINUX-MAGAZIN, LINUXUSER, MAKING GAMES, N-ZONE, GAMES AKTUELL, PC GAMES, PC GAMES HARDWARE, PC GAMES MMORE, PLAY 4, RASPBERRY PI GEEK, VIDEOGAMEZONE

Marquard Media Hungary:

JOY, JOY-NAPOK, INSTYLE, SHOPPIEGO, APA, ÉVA, GYEREKLELEK, FAMILY.HU, RUNNER'S WORLD

WIEDER AM FALSCHEN ENDE GESPART?



INKLUSIVE
Gutschein-Code
PCGH
SONDERHEFT

... nicht mit

 **carbonite**



ultra

**DIE PREMIUM-
WÄRMELEITPASTE
FÜR GAMER!**



www.pcgh-gear.de

PERFORMANCE UND FLEXIBILITÄT



DARK ROCK ELITE

Betritt das Gaming-Universum mit unserem neuen Dark Base 701 - Deinem ultimativen PC-Gehäuse, das Leistung und Ästhetik auf ein neues Niveau hebt, durch ein Full-Mesh-Top- & Front-Panel und extrem leistungsstarken Silent Wings 4 140mm PWM high-speed Lüftern. Entdecke nahtlose Benutzerfreundlichkeit mit Funktionen wie Gehäuseinvertierung und professionellem Kabelmanagement. Mit der ARGB-Beleuchtung, die auf Deinen Gaming-Rhythmus abgestimmt ist, erhält die PC-Welt einen lebendigen Anstrich. Entscheide Dich für das Dark Base 701, wo robuste Leistung auf unschlagbares Design und ein brilliant optimiertes Benutzererlebnis trifft.

- Offenes Mesh-Design für hohen Luftstrom und Leistung
- 3 vorinstallierte Silent Wings 4 140mm PWM high-speed Lüfter
- Vielseitiger Mainboard-Tray ermöglicht ein invertiertes Layout
- Montageschienen oben und vorne für Lüfter oder Radiatoren
- ARGB-Beleuchtung und integrierter Controller für einen atemberaubenden Look

 DEVELOPED
IN GERMANY



Erhältlich bei:

alternate.de • arlt.de • bora-computer.de • caseking.de • computeruniverse.net • conrad.de • hiq24.de • e-tec.at
galaxus.ch • mindfactory.de • notebooksbilliger.de • reichelt.de • reichert.de

be quiet![®]