

ct *Hardware-Guide*

Beratung • Praxis • Know-how • Tests

**Ausgabe
2017**

Experten-Wissen

CPU-Grundlagen
SSD, NAS, Mainboard erklärt
Multimedia-Standards
Schnelles WLAN für alle

Tests und Beratung

Premium-Notebooks
Mini-PCs
4K-Monitore
Grafikkarten
Festplatten und SSDs

Praxis-Lösungen

Mini-PC lüfterlos umbauen
Umzug zur SSD
PC clever aufrüsten

Technik optimal einsetzen



Der einfache Weg zum Wunsch-PC

ALTERNATE empfiehlt Windows Geräte



Der ALTERNATE PC-Konfigurator

Wenn Sie konkrete Vorstellungen haben, welche Komponenten in Ihrem PC verbaut sein sollen, wählen Sie unseren PC-Konfigurator. Hier können Sie genau die Komponenten auswählen, die Sie benötigen. Durch kontinuierliche Überprüfung stellen wir die Kompatibilität der Komponenten untereinander sicher, so dass eine schnelle und reibungslose Bearbeitung Ihrer Bestellung gewährleistet ist.

Weitere Infos auf: www.alternate.de/builder



iiyama



579,-

iiyama ProLite X4071UHSU-B1

- LED-Monitor, MVA-Panel
- 100 cm Bild diagonal • 3.840x2.160 Pixel (4K)
- 3 ms Reaktionszeit (GTG)
- Kontrast: 12.000.000:1 (dynamisch)
- Energieeffizienzklasse: B
- PiP, PbP, Flicker Free, Low BlueLight
- Helligkeit: 350 cd/m²
- 2x HDMI, 1x VGA, 1x DisplayPort, Audio
- integrierte Lautsprecher

VBL100

GIGABYTE



299,-

GIGABYTE GeForce® GTX 1060 WINDFORCE OC

- Grafikkarte • NVIDIA® GeForce® GTX 1060
- 1.582 MHz Chiptakt (Boost: 1.797 MHz)
- 6 GB GDDR5-RAM (8,0 GHz)
- 1.280 Shadereinheiten
- DirectX 12 und OpenGL 4.5
- DisplayPort, HDMI, 2x DVI • PCIe 3.0 x16



JFY90C12



crucial
by Micron



122,90

Crucial MX300 525 GB

- Solid-State-Drive • CT525MX300SSD1
- 525 GB Kapazität • 530 MB/s lesen
- 510 MB/s schreiben
- 92.000 IOPS lesen • 83.000 IOPS schreiben
- SATA 6Gb/s • 2,5"-Bauform

1MKMC50

525 GB

Abgabe nur in haushaltsüblichen Mengen und solange Vorrat reicht. Irrtümer und Druckfehler vorbehalten. Alle Preise in Euro inkl. MwSt. und zuzüglich Versandkosten. Angebote gültig bis zum 28.11.2016

Bestellhotline: Mo-Fr 8-19 Uhr, Sa 9-14 Uhr

06403-905040

ALTERNATE
bequem online



Lieber Leser,

als technische Instanz in Familie und Freundeskreis kennen Sie die regelmäßigen Fragen nach Beratung und praktischer Problemlösung. Neue Standards, gestiegene Anforderungen an die Hardware und Verschleiß haben aus der vormals neuen Technik der Lieben Elektroschrott gemacht. In diesem Heft zeigen wir wichtige Hardware-Entwicklungen des Jahres.

Der c't Hardware-Guide 2017 bringt Ihnen die aktuellen Trends nahe und erklärt relevante Technik aus Festplatten, SSDs und Router. Dazu lichten wir den Dschungel der Standards und erklären, welche Tücken im Bereich 4K und HDR lauern.

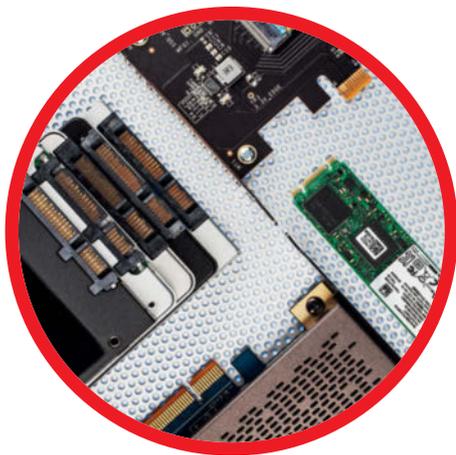
In unserem Testbereich haben wir Geräte von Mainboard bis Mini-PC, Riesen-Festplatte bis SSD und Grafikkarte bis 4K-Monitor unter die Lupe genommen. Dazu stellen wir Ihnen auf mehr als 20 Seiten Windows-Notebook-Alternativen zum MacBook vor.

Zum Schluss erfahren Sie, wie Sie neue Hardware auswählen, um bestehende Systeme aufzurüsten und dabei Probleme zu vermeiden. So zeigen wir anschaulich, wie Sie von der Festplatte auf eine schnelle SSD umsteigen, wie Sie Ihr System für 150 Euro clever aufrüsten und welche Besonderheiten beim Upgrade von Notebooks und Mini-PCs zu beachten sind.

Thomas Hoffmann

Thomas Hoffmann

INHALT



Know-how und Beratung

Wie funktioniert ein Mainboard? Was befindet sich in einem NAS? Wie löse ich Hardware-Probleme? Wir geben Antworten und erklären Ihnen anschaulich den Stand der Technik.

- 6 Aufbau und Funktionsweise von Mainboards
- 8 Energiesparfunktionen moderner Prozessoren
- 10 Mini-PCs von HDMI-Stick bis Mini-ITX
- 14 Der Aufbau moderner Magnetspeicher
- 16 Aufbau und Funktionsweise von SSDs
- 18 Die Technik von Netzwerkspeichern
- 20 Moderne WLAN-Router erklärt
- 22 Aufbau einer Grafikkarte
- 24 Tools zur Hardware-Diagnose unter Windows
- 28 So funktionieren farbstarke 10-Bit-Monitore
- 32 Neue Standards fürs TV
- 38 Dolby Vision greift nach der HDR-Krone

Test

Bei all den Neuvorstellungen verliert man schnell den Überblick. Wir haben Mainboards, Mini-PCs, Festplatten, SSDs, Grafikkarten, Notebooks und weitere Peripherie getestet.

- 44 Sparsame Mainboards für Skylake-Prozessoren
- 48 Mini-PCs für Büro und Wohnzimmer
- 54 Mini-PC-Barebone
- 56 Mini-STC-PC MSI Cubi 2 Plus
- 58 PC-Barebone Shuttle SZ170R8
- 60 Helium-gefüllte Festplatten
- 62 USB-Festplatten mit 8 TByte
- 68 SATA- und PCIe-SSDs
- 72 Terabyte-SSDs für Desktop und Notebook
- 76 2-GHz-Grafikkarten
- 84 Grafikkarten der Serien RX470/480 und GTX 1060
- 88 Fünf UHD-Monitore ab 32 Zoll
- 94 Windows -Notebooks vs. MacBook
- 106 Premium-Notebooks
- 118 Dell Inspiron 17 7000
- 120 WLAN-Router mit Multi-User-MIMO
- 128 Laser-Farbmultifunktionsgeräte



Selbstbau

Ihre Hardware ist noch nicht komplett veraltet? Wir zeigen Ihnen, wie Sie Ihren PC für 150 Euro clever aufrüsten können. Dazu erfahren Sie, was es beim Umstieg von Festplatte auf SSD zu beachten gilt und wie Sie Notebooks und Mini-PCs auf den Stand der Technik bringen können.

- 138 Desktop-PCs und Notebooks preiswert und gezielt aufrüsten
- 142 PC-Hauptspeicher vergrößern
- 144 Flash-Speicher als Systembeschleuniger
- 146 Windows auf eine SSD umziehen
- 150 Aufrüsten von Notebooks und Mini-PCs
- 152 Mini-PC Intel NUC zum Lüfterlosen Rechner umbauen

Zum Heft

- 3 Editorial
- 4 Inhalt
- 154 Impressum

ct Hardware-Guide
Beratung • Praxis • Know-how • Tests

Experten-Wissen

- 8 CPU-Grundlagen
- 6, 16, 18 SSD, NAS, Mainboard erklärt
- 32 Multimedia-Standards
- 20 Schnelles WLAN für alle

Tests und Beratung

- 94 Premium-Notebooks
- 48 Mini-PCs
- 88 4K-Monitore
- 76 Grafikkarten
- 60 Festplatten und SSDs

Praxis-Lösungen

- 152 Mini-PC Lüfterlos umbauen
- 146 Umzug zur SSD
- 138 PC clever aufrüsten

Technik optimal einsetzen

Ausgabe 2017

€ 12,90

www.ctspecial.de

Benjamin Benz

Aufbau und Funktionsweise von Mainboards

Das Mainboard bildet das Rückgrat eines PC. Es entscheidet über Zuverlässigkeit, Funktionsumfang, Effizienz und Aufrüstpotenzial.

Ganz unten in Ihrem PC, versteckt hinter Kabeln, Laufwerken und Erweiterungskarten, sitzt das Mainboard. Es verbindet den Prozessor mit dem Arbeitsspeicher, schaufelt Daten aus dem Internet auf den USB-Stick und vom Kartenleser auf die Festplatte. Es sorgt für Rundumton beim Spielen und schickt bei vielen PCs sogar das Bild aufs Display. Kurzum es ist die Hauptschlagader eines modernen PC. Dennoch taucht es im Windows-Gerätetmanager nicht selbst auf – wohl aber all seine Komponenten. Die wiederum brauchen jeweils Treiber und können durchaus für den ein oder anderen Hakler verantwortlich sein.

PC-Mainboards gibt es in unterschiedlichen Formaten, sprich mit mehr oder weniger Erweiterungsmöglichkeiten. Ein sehr gebräuchliches Format ist Micro ATX (µATX) mit bis zu 24,4 cm × 24,4 cm Kantenlänge. Das kompaktere Mini-ITX (17 cm × 17 cm) erfordert diverse Kompromisse, während es umgekehrt für die zusätzlichen Slots von ATX (30,5 cm × 24,4 cm) kaum noch Bedarf gibt. Alle drei haben dieselben Anschlussfelder und Netzteilbuchsen. Auch die Befestigungslöcher sind so platziert, dass kleine Boards in große Gehäuse passen. Allerdings weichen einige große PC-Hersteller von diesen Konventionen ab.

CPU-Fassung

Der wichtigste Bewohner des Mainboards ist der Prozessor. Während er bei den meisten Notebooks und Mini-PCs fest eingelötet

wird, residiert er bei Desktop-PCs in einer Fassung. Darauf sitzen dann der Kühlkörper und letztendlich ein Lüfter. Die Fassung gibt vor, welche CPUs passen und auf diesem Board funktionieren.

Tipp: Welche Fassung Ihr Mainboard hat, steht entweder auf der Fassung oder direkt auf der Platine. Leider verdecken meist Kühlkörper diese Beschriftungen. Einfacher geht es, wenn Sie die genaue Bezeichnung Ihrer CPU googeln. Aktuell sind bei Intel LGA1151 und LGA2011v3 sowie bei AMD FM2+ (bald AM4).

Steckplätze

Damit der Prozessor flott rechnen kann, braucht er Arbeitsspeicher. Für diesen halten die meisten Mainboards zwei oder vier DIMM-Slots bereit. Derzeit erfolgt ein Generationswechsel von DDR3 auf DDR4. Auf die gefühlte Geschwindigkeit hat das aber ähnlich wenig Einfluss wie kleine Unterschiede bei Transferaten oder Timings. Entscheidend ist hingegen die Menge: Weniger als 4 GByte bremsen den PC aus, 8 GByte sind wünschenswert.

Tipp: Was für Riegel im System stecken, verrät das kostenlose Diagnose-Programm CPU-Z.

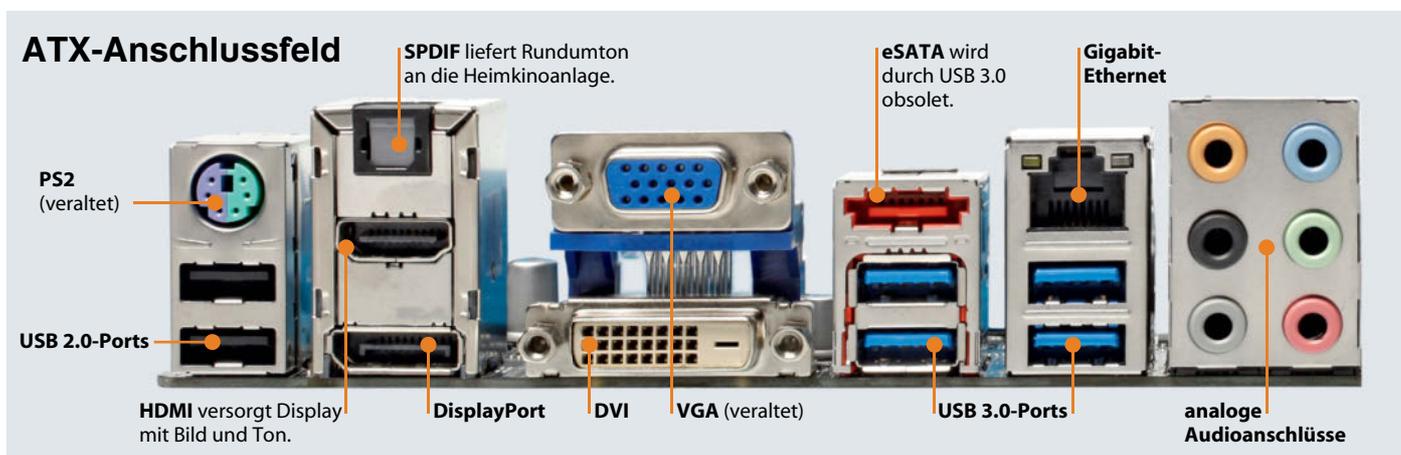
Sowohl für Erweiterungskarten als auch aufs Mainboard aufgelötete Zusatzchips hat sich PCI Express als Standard-Kommunikationsweg etabliert. Dabei handelt es sich um Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, nicht mehr – wie bei PCI – um einen herkömmlichen Bus,

den alle Partner gemeinsam nutzen. PCIe gibt es mit unterschiedlich vielen Lanes respektive unterschiedlicher Slot-Länge. Ferner existieren drei verschiedene Generationen und damit letztlich Geschwindigkeiten. Faustregel: Eine PCIe-Lane der ersten Generation wuppt 250 MByte pro Sekunde und Richtung. Jede neue Generation hat diesen Wert verdoppelt. Die Transferaten parallel geschalteter Lanes addieren sich.

Grafikkarten kommen in den ersten PEG- oder auch PCIe-x16-Slot – der Vorgänger AGP ist ausgestorben. Der PEG-Slot hängt bei aktuellen Rechnern mit 16 PCIe-3.0-Lanes direkt an der CPU – schafft also rund 16 GByte/s. Umgekehrt reicht eine einzelne PCIe-2.0-Lane mit 0,5 GByte/s gerade so aus, um für einen USB-3.0-Chip nicht zur Bremse zu werden. Eine solche Steckkarte wäre also gut in einem x1-Slot untergebracht.

Außerdem gibt es noch Slots der Baulängen x4 und x8. Die mechanische Länge des Slots sagt aber nicht viel aus, da nicht alle Lanes beschaltet sein müssen. Umgekehrt funktionieren kurze Karten auch in langen Slots. Bei manchen Boards teilen sich mehrere Slots auch die Lanes. Im Zweifelsfall hilft hier nur ein Blick ins Handbuch. Das gilt auch für die Beschaltung der M.2- und SATA-Express-Anschlüsse. Diese bieten modernen SSDs sowohl SATA- als auch PCIe-Verbindungen an.

Auf dem Mainboard sitzen noch viele weitere Chips. Der wichtigste davon ist der Chipsatz oder auch Platform Controller Hub. Er



Christian Hirsch

Energiesparfunktionen moderner Prozessoren

Trotz rund 1,7 Milliarden Transistoren kommt eine Quad-Core-CPU mit Intels aktueller Skylake-Architektur bei ruhendem Desktop mit weniger als einem Watt aus. Damit das ohne Einbußen bei der Performance klappt, nutzt der Prozessor fein abgestufte Energiesparmechanismen.

Ein geübter Zehnfingertipper erreicht in der Minute 300 und mehr Tastaturanschläge. Was für einen Menschen viel Konzentration erfordert, lässt einen modernen Prozessor nur müde lächeln. Bei 3 GHz Taktfrequenz absolviert eine CPU zwischen zwei Tastenanschlägen immer noch 600 Millionen Taktzyklen und langweilt sich ansonsten.

Leerlaufzeiten machen bei Desktop-PCs und Notebooks im Alltag rund 95 Prozent der Betriebszeit aus. Um die Energiebilanz zu verbessern, reduzieren Chiphersteller nicht mehr nur die Spitzenleistungsaufnahme, sondern konzentrieren sich vor allem auf den Energiebedarf während des Nichtstuns. Statt mit maximaler Taktfrequenz und Kernspannung Däumchen zu drehen, treten bei modernen Prozessoren ausgeklügelte Energiesparfunktionen in Aktion, die den Energiebedarf erheblich reduzieren.

Schrittchenweise

Bei den CPU-Kernen klappt das inzwischen sehr gut. In Leerlaufphasen reduzieren sie von selbst Taktfrequenz und Spannung und schalten schrittweise Funktionseinheiten ab. Das passiert geordnet nach im ACPI-Standard (Advanced Configuration and Power Interface) festgelegten Energiesparzuständen, die auch als C-States bezeichnet werden. Führt ein CPU-Kern Berechnungen durch, befindet er sich im aktiven Zustand C0. Aber auch dabei sind Taktfrequenz und Spannung nicht unveränderlich, sondern die Prozessoren verweilen abhängig vom Arbeitspensum in unterschiedlichen Performance-Zuständen, den P-States. Diese Funktion heißt bei Intel Speedstep (EIST), bei AMD Cool'n'Quiet.

Core-i-Prozessoren der sechsten Generation können ihre Taktfrequenz in 100-MHz-Schritten zwischen 800 MHz und der höchsten Turbo-Frequenz variieren – beim schnellsten Modell Core i7-6700K sind das 4,2 GHz. Über den Wechsel zwischen diesen Stufen entscheidet in der Regel das Betriebssystem; nur bei den Turbo-Frequenzen hat

der Prozessor das letzte Wort. Ausnahmen bilden die supersparsamen System-on-Chip-Modelle der Skylake-Architektur Core m und Core i3/i5/i7U mit SpeedShift-Technik, bei denen der Prozessor die Taktfrequenz selbstständig steuert (siehe c't-Link).

Selbst wenn sich alle Kerne im tiefsten Performance-Zustand befinden, liegt die Leistungsaufnahme eines einzelnen Desktop-Prozessors nach unseren Messungen bei über 7 Watt. Hinzu kommen die Wandlerverluste auf dem Mainboard und im Netzteil sowie der Energiebedarf der übrigen Komponenten. Um die Leistungsaufnahme weiter zu drücken, wechseln arbeitslose CPU-Kerne deshalb in einen der tieferen Schlafzustände.

Dabei schaltet der Prozessor zunächst das Taktsignal von arbeitslosen CPU-Kernen ab (C1) und reduziert die Kernspannung noch weiter (C1E). Im C3-Zustand (Deep Sleep) werden darüber hinaus Level-1- und Level-2-Caches geleert und der Taktgeber abgeschaltet. Im Endzustand C6 (Deeper Power Down) gehen schließlich alle Lichter im CPU-Kern aus: L1- und L2-Caches sind ebenso vom Strom getrennt wie die Recheneinheiten. Die Zustände C7 und C8 unterscheiden sich beim einzelnen Kern nicht von C6, spielen aber bei den C-States des gesamten Chips (Package) eine Rolle.

Wach auf!

Damit der Prozessorkern bei neuen Arbeitsaufträgen nach dem Wiederaufwachen nahtlos weiterrechnen kann, legt er den kompletten Architekturzustand mit allen Registerinträgen in eigens dafür vorgesehenen SRAM-Speicherelementen ab. Static RAM hat gegenüber dem beim Arbeitsspeicher verwendeten DRAM den Vorteil, dass sein Inhalt nicht periodisch aufgefrischt werden muss.

Doch warum gibt es die zahlreichen Zwischenstufen – die Prozessorkerne könnten doch auch direkt aus dem C0 in den C8 wechseln? Das könnte die Rechenleistung mindern, weil das Aufwachen aus tiefen Schlafzuständen deutlich länger dauert und zudem mehr Energie kostet als aus niedrigen Energiesparmodi. Für den Wechsel zurück aus dem C3-Zustand benötigt ein CPU-Kern rund 50 Mikrosekunden, also mehr als das Zehntausendfache im Vergleich zum Wechsel aus C1. Um die L1- und L2-Caches zu füllen, müssen Daten aus dem Level-3-Cache beziehungsweise aus dem Arbeitsspeicher geladen werden. Bei noch tieferen Schlafzuständen verlängert sich die Aufwachzeit auf mehr als 250 Mikrosekunden.

Deshalb ist es in vielen Situationen effizienter, dass der Kern nicht ganz so tief schläft, wie

Schlafzustände moderner Prozessoren

Je tiefer ein Prozessor schläft, desto weniger Strom braucht er. Allerdings verlängert sich die Aufwachzeit, zudem kostet das Wiederbefüllen von Caches zusätzliche Energie.

Zustand	C0 (aktiv)	C3	C6/C7/C8	Package C8
Kernspannung				
Taktgeber		aus	aus	aus
L1/L2-Caches		geleert	geleert	aus
L3-Cache				aus
Aufwachzeit	aktiv			
Leerlauf-Leistungsaufnahme	aktiv			
Energiebedarf beim Aufwachen	aktiv			

er eigentlich könnte. Dies regelt die Funktion „C-State Auto-Demotion“. Dabei wertet die CPU aus, wie häufig sie zwischen welchen Schlafzuständen gewechselt hat. Gab es dabei innerhalb kurzer Zeit viele Wechsel zwischen C6 und C0, dann schaltet die CPU für die nächste Zeit erst mal nicht tiefer als in C3 oder C1 um. Verweilt der Kern wieder länger in den Schlafzuständen, stehen auch wieder die tieferen C-States zur Verfügung.

Drumherum

Bei modernen Quad-Core-Prozessoren nehmen die CPU-Kerne weniger als die Hälfte der Chipfläche ein. Um den Energiebedarf weiter zu senken, müssen folglich die sogenannten Uncore-Bestandteile wie Grafikeinheiten, System Agent mit PCI Express Root Hub, Display-Treiberstufen und Speicher-Controller sowie der von allen Komponenten gemeinsam genutzte Level-3-Cache gleichermaßen Sparfunktionen beherrschen.

Die GPU kann ebenso wie die CPU-Kerne ihre Taktfrequenz und damit die Leistungsaufnahme anhand der Auslastung steuern. Den größten Spareffekt bei der Prozessorgrafik erzielt jedoch der Render-Standby-Modus RC6. In Leerlaufzeiten, in denen sie kein

neues Bild berechnet, fällt die Versorgungsspannung der GPU fast auf Null, was den Energiebedarf bei unserem Testsystem um 5 Watt reduzierte.

Wie bei einer Kette bestimmt allerdings auch hier das schwächste Glied, in welchen Schlafzustand der gesamte Prozessor wechseln kann. Um etwa in den Package-C-State C3 zu gelangen, müssen sich alle CPU-Kerne jeweils im C3- und die GPU im RC6-Zustand befinden. Erst dann schalten sich große Teile des System Agent ab und der Arbeitsspeicher wechselt in den Self-Refresh.

Im tieferen Schlafmodi C6 leert der Prozessor zusätzlich den Level-3-Cache und schaltet ihn ab. Alle CPU-Kerne sind dabei vom Strom getrennt. Im tiefsten Energiesparzustand C8 arbeitet schließlich nur noch die Display-Engine, sonst würde der Monitor nur noch Schwarz zeigen. Der gesamte Prozessor unseres Testrechners konsumierte in diesem Zustand lediglich 0,4 Watt. Mobile Skylake-Prozessoren der Serien Core i3/5/7-6000U beziehungsweise Core m3/5/7-6Y schaffen es inzwischen sogar bis in den C10. Dabei werden zusätzlich teilweise die Spannungswandler auf der Hauptplatine abgeschaltet.

Schon kleine Störungen können das komplexe Zusammenspiel bei den Package-C-

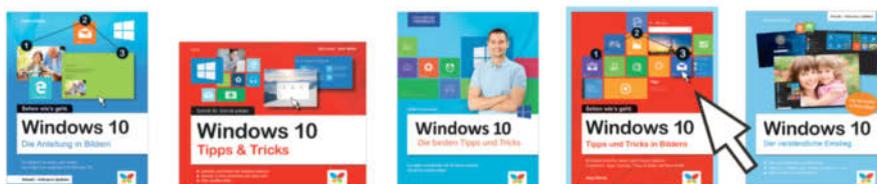
States ins Wanken bringen. Funken ein zickiges USB-Gerät oder ein schlecht programmierter Treiber permanent die CPU an, verhindern sie, dass das Prozessor-Package in einen Schlafzustand wechseln kann. In der Praxis haben wir beispielsweise festgestellt, dass der Standard-AHCI-Treiber von Windows das SATA Link Power Management nicht beherrscht. Nach dem Installieren des RST-Treibers von Intel (Rapid Storage Technology) sank die Leerlaufleistungsaufnahme auf dem Testsystem um 3 Watt ab.

Damit ein Desktop-Rechner mit 10 Watt oder weniger auskommt, reicht es jedoch nicht aus, dass alle Energiesparfunktionen des Prozessors dank passender Treiber und optimaler BIOS-Einstellungen funktionieren. Solch eine geringe Leistungsaufnahme klappt nur, wenn Board und Netzteil mit effizienten Spannungswandlern ausgestattet sind. Zusatz-Chips für Legacy-Schnittstellen wie PCI sowie für weitere SATA-6G- und USB-3.1-Ports treiben den Energiebedarf ihres Rechners ebenfalls nach oben. Sparsame Boards, mit denen sich ein 10-Watt-PC bauen lässt, haben wir auf Seite 44 getestet.

(chh) **ct**

Neue Stromsparfunktionen von Skylake:
ct.de/w4rc

Finden Sie Ihr Buch zu Windows 10!



Alle Bücher über Windows 10 auf einen Blick:

www.vierfarben.de/windows10





Christof Windeck

Mini-PCs

Vom winzigen HDMI-Stick bis zum erweiterbaren Mini-ITX-Quader reicht die Vielfalt an Mini-PCs. Die kleinsten machen sich fast unsichtbar, die größten taugen auch für 3D-Spiele. Die Miniaturisierung zwingt jedoch zu Abstrichen, etwa bei den Aufrüstmöglichkeiten.

Kleiner Rechner, große Leistung: Einem größeren Publikum wurde das vor mehr als zehn Jahren bewusst, als Apple den ersten Mac mini zeigte. Seither ist die Auswahl an Mini-Computern geradezu explodiert, Intels „Next Units of Computing“ (NUCs) haben den Trend ab 2012 forciert.

Die großen Unterschiede zwischen den Rechenzweigen machen es jedoch mittlerweile schwer, eine gute Kaufentscheidung zu

treffen: Die winzigen HDMI-Sticks sind beispielsweise günstig und manche arbeiten obendrein geräuschlos, sind aber sehr mager ausgestattet. Umgekehrt bekommt man mittlerweile die Rechenleistung eines Mittelklasse-PC im Volumen von zwei Zigarettenschachteln, aber dann wird es teuer und unter Last möglicherweise laut. Wer die Mini-Technik versteht, findet das passende Gerät für seinen individuellen Bedarf.

Schrumpfprozess

Es gibt mehrere Ansätze für besonders platzsparende Rechner: Man kann schlichtweg ein Notebook nehmen oder ein noch flacheres Tablet. Sind stationärer Betrieb und großes Display gewünscht, kann es auch ein All-in-One-PC sein, bei dem Prozessor, Grafikchip, RAM und Festplatte unsichtbar im Gehäuse verschwinden. Genau

wie bei Notebooks kann man die PC-Technik dabei jedoch nicht unabhängig vom Monitor wählen und das Display auch nicht weiter nutzen, wenn der PC-Teil veraltet ist oder ausfällt. Dann doch lieber Mini-PCs, von denen sich viele an den VESA-Gewindebohrungen hinter Monitoren befestigen lassen. Oder sie verschwinden wie die bereits erwähnten HDMI-Sticks sowieso hinter dem Display.

Der Nutzer eines solchen Pseudo-All-in-One-PC kommt allerdings nicht mehr so leicht an den Einschalter oder an USB-Buchsen heran. Doch das lässt sich lösen: Ersteres per Wake-on-Keybord oder mit einer Schaltsteckdose, letzteres mit einem USB-Hub, wie er auch in manchen Monitoren eingebaut ist.

Mit der Größe des PC-Gehäuses schrumpfen nicht bloß die Ausstattung und deren Flexibilität, sondern auch die Performance: Es passen keine großen CPU-Kühler hinein, geschweige denn 3,5-Zoll-Festplatten, PCIe-Erweiterungskarten oder Netzteile – letztere fliegen irgendwo herum und sind manchmal erstaunlich groß im Vergleich zum eigentlichen Computer. Ein optisches Laufwerk müsste man ebenfalls per USB nachrüsten – die meisten Minis haben keins, weil ihre Gehäuse zu winzig dafür sind.

Bei den HDMI-Sticks lässt sich intern überhaupt nichts um- oder nachrüsten, denn darin stecken bloß anders verpackte Tablet-Chips wie Intels Atom x5-Z8300. 1 bis 4 GByte RAM sowie 8 bis 64 GByte Flash-Speicher sind fest verlötet. Zur Erweiterung müssen ein Micro-SD-Kartenleser und ein bis zwei USB-Ports reichen. Letztere nicht immer mit USB-3.0-Geschwindigkeit. Meistens fehlen auch Audio-Klinkenbuchsen und Ethernet-Anschlüsse.

Mehr Flexibilität bieten die zahlreichen Mini-PCs, die Intels NUC gleichen – einige stellt der Artikel ab Seite 126 vor. Hier ist die CPU zwar auch fest eingelötet und die Anschlussmöglichkeiten sind beschränkt, aber immerhin passen ein oder zwei Speichermodule, WLAN-Kärtchen sowie Notebook-Festplatten oder SSDs hinein. Den flachsten NUC-Versionen fehlt Platz für 2,5-Zoll-Platten, hier muss es stattdessen eine SSD in einer der Kartenbauformen mSATA oder M.2 sein – die sind immerhin auch schon mit 1 TByte zu haben. Vorsicht: M.2-SSDs gibt es mit verschiedenen Schnittstellen (SATA, PCIe AHCI, PCIe NVMe) und in unterschiedlichen Längen (4,2 bis 11 cm), die nicht jedes Gerät verträgt. Bei den billigsten NUC-Typen mit nur einer SO-DIMM-Fassung sind höchstens 8 GByte RAM möglich, bei Versionen mit zwei Slots für DDR4-RAM können es 32 GByte werden.

In NUCs und Konsorten stecken oft quadratische Mainboards mit rund 10 Zentimetern Kantenlänge, also rund



Die Neuen und der Urahn: Der silberne Mac mini, der oben auf dem Mini-ITX-Gehäuse liegt, wirkt im Vergleich zu aktuellen Mini-PCs wuchtig. Spezial-Rechner mit Kühlrippen kommen ohne Lüfter aus.

4 Zoll. Deshalb spricht Intel auch von „4 × 4“ (Four-by-Four), manchmal auch von Ultra-Compact Form Factor (UCFF). Die Mainboards lassen sich nicht zwischen verschiedenen NUCs austauschen, denn

die Gehäuse brauchen genau passende Aussparungen für die jeweils vorhandenen Buchsen. Es gibt sogar unterschiedliche Netzteilspannungen, 12 oder 19 Volt sind üblich.

Stick-PC Asus Chromebit mit Chrome OS

Eine Besonderheit unter den HDMI-Sticks mit ARM-SoCs ist der Asus Chromebit, denn statt Android läuft darauf Googles Betriebssystem Chrome OS für Cloud-Geräte, das man von den Chromebooks kennt. Der Chromebit-B002C kostet 130 Euro und ist mit dem ARM-SoC Rockchip RK3288C bestückt. Der Prozessor ähnelt jenen in Billig-Smartphones: vier Cortex-A17-Kerne mit bis zu 1,8 GHz plus ARM-GPU Mali-T760 inklusive Hardware-Decodern für H.264, H.265 (HEVC) und wohl auch VP9. Die maximale Bildschirmauflösung beträgt 1920 × 1200 Pixel.

Das RAM fasst 2 GByte und der eingebaute (eMMC-)Flash-Speicher 16 GByte. WLAN- und Bluetooth-Adapter sind eingebaut, außer dem HDMI-Stecker steht nur eine ein-

zige USB-2.0-Buchse bereit. Im Leerlauf kommt der lüfterlose Chromebit inklusive Steckernetzteil mit 1,8 Watt aus, mehr als 5 Watt schluckte er in unseren Versuchen nie.

Die Inbetriebnahme mit einem Google-Account ist simpel. Das System aktualisiert sich automatisch, es gibt sehr wenige Einstellmöglichkeiten – unbedarfte Nutzer können fast nichts „kaputtspielen“. Webseiten öffnen sich einigermaßen rasch, anspruchsvolle Cloud-Apps wie die Bildbearbeitung brauchen beim Start einige Sekunden. Die meisten Chromebit-Anwendungen laufen im Chrome-Browser. Daten lassen sich auf dem knappen internen Speicher ablegen, aber ausgelegt ist Chrome OS für Google Drive und Googles Cloud-Apps. Zum Browsen und für einfache Büroarbeiten reicht ein Chromebit aus.



Die kleinsten PC-Zwergelassen sich nicht erweitern: Außer CPU sind auch RAM und Flash-Speicher fest verlötet.

Große Zwergel

Manche Hersteller bauen Intels NUC-Technik in eigene Gehäuse ein, etwa zwecks Passivkühlung. Doch größere Flexibilität bei der Ausstattung bringt das nicht. Wer die benötigte und trotzdem einen kompakten Rechner wünschte, musste bisher zu modularen Komponenten im Mini-ITX-Format greifen. Die wirken im Vergleich zu einem NUC geradezu gigantisch: Die Kantenlänge der Boards beträgt hier 17 cm und manche ITX-Gehäuse sind für interne Netzteile in den Formaten SFX, TFX oder Flex ATX ausgelegt.

Als Zwischending zwischen NUC und ITX gibt es nun „5 × 5“ alias Mini-STX auf der Basis von Platinen mit 13-Zentimeter-Kanten – siehe Seite 134. Während in der NUC-Klasse ausschließlich fest aufgelötete Mobilprozessoren stecken, ist Mini-STX für wechselbare Desktop-CPU's gedacht, derzeit konkret für Intel-Skylake-Chips mit maximal 65 Watt Thermal Design Power (TDP). In puncto Rechenleistung pro Euro geht bei Mini-STX dadurch viel mehr, denn schon der 35-Euro-Prozessor Celeron G3900 rechnet ähnlich schnell wie die deutlich teurere Notebook-CPU Core i3-6100U. Außerdem sind mehr Schnittstellen und etwas mehr interne Erwei-

terungen möglich – etwa zwei 2,5-Zoll-Platzen. Für eine Grafikkarte reicht der Platz allerdings nicht.

Zentrale Probleme bei modularen, flexibel konfigurierbaren Mini-Rechnern sind Stromversorgung und Kühlung: Oft ist es zu viel oder zu wenig. ASRock legt seinem Mini-STX-Barebone beispielsweise ein klotziges 90-Watt-Netzteil bei, was Platzbedarf, Gewicht, Kosten und vermutlich auch die Leistungsaufnahme im Leerlauf hochtreibt. Der Platz für einen großen Kühlkörper, der eine 65-Watt-CPU auch unter längerer Volllast flüsterleise kühlen könnte, fehlt wiederum.

Mancher wünscht sich einen lüfterlosen, also beim Einsatz einer SSD statt Festplatte komplett lautlosen Mini. Doch Passivkühlung birgt Tücken: Wird die CPU zu heiß, drosselt sie sich, dann sackt auch die Rechenleistung ab. Das Problem zeigt sich derzeit oft bei lüfterlosen Tablet-Notebook-Hybriden, bei denen je nach Kühlsystem ein Core m3 schneller rennt als ein teurerer Core m7. Fürs spätere Auf- oder Umrüsten ist Passivkühlung ebenfalls hinderlich und ständig zu große Hitze kann die Lebensdauer einzelner Komponenten verkürzen. Grundsätzlich sind Passiv-Minis eher für Einsatzszenarien sinnvoll, wo die maximale Performance sel-

ten und kurzzeitig benötigt wird, etwa für Büroarbeiten.

Zotac und Shuttle haben eine ganze Reihe ab Werk passiv gekühlter Minis in ihren Sortimenten, einige Zotac-Geräte wurden im Test jedoch recht warm. Intel bestückt seine NUCs durchweg mit Lüftern, aber es gibt – etwa von Akasa – Umrüst-Gehäuse mit Kühlrippen für Passivkühlung. Das ist etwas Fummelarbeit, klappt aber ganz gut.

Schwachpunkt Grafik

3D-Performance ist die Achillesferse der Minis. Wer einen NUC neben eine High-End-Grafikkarte stellt, sieht schon an der Baugröße, den riesigen Lüftern und den zahlreichen Stromanschlüssen des 3D-Boliden, wo der Hase im Pfeffer liegt: In kleinen Gehäusen lässt sich die für hohe 3D-Performance nötige Leistungsaufnahme nicht handhaben. Hier und da gibt es Mini-Rechner mit zusätzlichen Grafikkarten, aber die sind recht teuer und meistens unter Last laut. Wie die Tabelle mit den 3DMark-FireStrike-Werten zeigt, kommt praktisch kein Mini bei der 3D-Leistung an einen ATX- oder Mini-ITX-PC heran, in dem eine 120-Euro-Grafikkarte wie die GeForce GTX 750 Ti steckt.

CPU-Performance im Vergleich			
CPU-Typ	Kerne	Takt Basis/Turbo	Cinebench R15 Single-/Multi-Thread [Punkte] besser ▶
Desktop-PC-Prozessoren			
Core i7-6700	4 + HT	4,0/4,2 GHz	182/885
Core i5-6400	4	2,7/3,3 GHz	141/522
AMD A10-7870K	4	3,9/4,1 GHz	95/321
Celeron G3900	2	2,8/- GHz	108/218
Notebook-Prozessoren			
Core i7-6770HQ	4 + HT	2,6/3,5 GHz	149/712
Core i5-6200U	2 + HT	2,3/2,8 GHz	105/291
Core i3-6100U	2 + HT	2,3/- GHz	84/253
Celeron 3955U	2	2,0/- GHz	85/163
Celeron N3150	4	1,6/2,1 GHz	34/126
Tablet-Prozessor			
Atom x5-Z8300	4	1,44/1,84 GHz	28/95

3D-Leistung im Vergleich	
GPU	3DMark FireStrike [Punkte] besser ▶
Desktop-PC-Grafikkarten	
Nvidia GeForce GTX 950	5954
Nvidia GeForce GTX 750 Ti	4030
Notebook-Grafikkarten	
Nvidia GeForce GTX 960M	3734
Nvidia GeForce 930M	1304
AMD Radeon R7 M440	1346
Integrierte Grafik (IGP) für Desktops	
AMD Radeon R7 (A10-7870K)	1628
Integrierte Grafik (IGP) für Notebooks	
Intel Iris Pro 580 (i7-6770HQ)	1924
AMD Radeon R5 (A10-9600P)	1077
Intel HD 520 (i5-6200U)	919
Intel HD (Celeron N3150)	234

Übersicht Mini-PC-Bauformen

Bauform	HDMI-Stick	NUC-Klasse	Mini-STX	Mini-ITX
Gehäusevolumen	< 0,1 Liter	< 1 Liter	ca. 2 Liter	> 3,5 Liter
Grundfläche	ca. 11 cm × 3–5 cm	ca. 12 cm × 12 cm	ca. 16 cm × 16 cm	> 20 cm × 20 cm
CPU-Typen	Tablet-SoCs: Intel Atom, ARM	Atom-Celerons, 15-Watt-Mobilprozessoren (U-Typen)	Desktop-CPU LGA1151 (Skylake) bis 65 Watt	alle
max. RAM	2–4 GByte (aufgelötet)	bis 32 GByte (1–2 × SO-DIMM)	bis 32 GByte (2 × SO-DIMM)	bis 64 GByte und mehr (Serverboards)
SSD/Platte	8–64 GByte eMMC (aufgelötet)	mind. 1 × M.2 oder mSATA, oft plus 1 × 2,5"	M.2 oder mSATA plus 2 × 2,5"	bis 4 × 3,5" plus 2 × 2,5" (NAS-Gehäuse)
diskrete GPU	–	–	–	möglich, onboard oder in größeren Gehäusen (1 × PCIe x16)
Preisbereich	50–500 €	130 (Barebone mit CPU)–1000 €	ab 150 € (Barebone ohne CPU)	ab 120 € (Board plus Gehäuse und Netzteil)
Passivkühlung	möglich, eher bei ARM-SoCs	möglich, Gehäuse dann größer	bisher nicht	möglich, Spezialgehäuse, GPU schwierig
Netzteil intern	–	–	–	möglich
Betriebssysteme	Android, Windows 10, Chrome OS, Linux	wählbar	wählbar	wählbar
geeignet für	Medien-Streaming, Office-Apps mit sehr geringen Ansprüchen, Cloud-Apps	mit Atom-Celeron: einfache Aufgaben, Medien-Streaming bis Full HD; mit U-Prozessoren: wie Business-Notebooks	die meisten PC-Anwendungen, auch mit höherem Bedarf an Rechenleistung	je nach Mainboard, CPU und Grafikkarte wie normaler PC
ungeeignet für/Nachteile	alles, was Rechenleistung, 3D-Beschleunigung, RAM oder Speicherplatz braucht; nicht erweiterbar	Gaming, Anwendungen mit großem Bedarf an RAM oder Massenspeicher	3D-Spiele, Anwendungen mit großem Bedarf an Festplattenplatz	deutlich größer als andere Minis, Mini-ITX mit Platz für Grafikkarte fast schon wie Micro-ATX
✓ vorhanden	– nicht vorhanden	k. A. keine Angabe		

Besser sieht es in Bezug auf hohe Display-Auflösungen und 4K-Video-Decoding aus, auch mit den jüngsten HEVC-(H.265-)Codecs: Die GPUs der Skylake-Prozessoren können damit umgehen und liefern per DisplayPort 4K-Auflösung mit 60 Hz. Per HDMI klappt das hier nicht, dazu ist HDMI 2.0 nötig, was erst die jüngste AMD-APU-Generation beherrscht – die sich bisher nicht in Minis findet – oder mit Intels kommenden Kaby-Lake-CPU. Bei den aktuellen Versionen der Billigheimer Atom und Celeron N ist 4K zwar möglich, aber mit höchstens 30 Hz, selbst per DisplayPort. Hier läuft HEVC-Decoding nur bis zur 1080p-Auflösung ruckelfrei – bei 4K-Videos hakelt es je nach Kodierprofil manchmal.

Wie die Tabelle mit CPU-Benchmarks zeigt, liegen die Mini-PC-Prozessoren bei der Rechenleistung weit auseinander. Sofern es das Budget erlaubt, ist ein Core i5 empfehlenswert: Dank Turbo taktet ein einzelner Kern besonders hoch und verarbeitet dabei auch Single-Thread-Software zügig. Die ist leider noch immer weit verbreitet, weshalb sich Quad-Cores mit schwachen Einzelkernen oft deutlich langsamer anfühlen.

Die meisten Mini-PCs mit x86- beziehungsweise x86-64-Prozessoren eignen sich sowohl für Windows als auch für Linux – außer den Atom-Sticks mit ihrem exotischen 32-Bit-UEFI-BIOS. Die viel billigeren HDMI-Sticks mit ARM-SoCs sind meistens mit Android ausgestattet, das sich zwar für Multime-

dia-Streaming gut eignet, aber kaum für Textverarbeitung & Co. – die Bedienung per Maus und Tastatur ist keine Stärke von Android. Eine Alternative ist der Asus Chromebit mit Google Chrome OS, er kostet aber über 100 Euro und fühlt sich auch nicht flinker an als ein Atom-Stick mit Windows 10. Die Hardware-Einheiten fürs HEVC-Decoding lassen sich unter Windows 10 leicht nutzen und funktionieren auch beim Chromebit, unter Linux sind Schwierigkeiten nicht selten.

Miniaturland

Die Verkleinerung der PC-Technik fasziniert, ein HDMI-Stick mit Atom-CPU liefert mehr Rechenleistung als einst ein Pentium 4. Allerdings sind beide nicht mehr zeitgemäß: Die schwächsten Minis taugen bloß für Einsatzzwecke, die sehr geringe Anforderungen an die Hardware stellen und sich über lange Zeit nicht ändern. Wie viele Jahre die winzigen Lüfter mancher Kleinrechner durchhalten, dürfte auch von der Umgebung – Raucher, Staub – abhängen. Auf- und Umrüsten lassen sie sich jedenfalls nicht und vermutlich auch schlecht reparieren.

Besser sieht es ab der NUC-Klasse aus: Mit einem gescheiterten Prozessor wie dem 15-Watt-Core-i5 ersetzen diese Kistchen locker die meisten Büro-PCs. Wie bei flachen Notebooks muss man aber auf ein optisches Laufwerk verzichten und die bezahlbaren Dual-Cores kommen an ihre Grenzen, wenn etwa größere Mengen an Raw-Fotos bearbeitet werden sollen oder Videoschnitt im Pflichtenheft steht. Nur für PC-Spieler taugen solche Bauformen bisher nicht: Sie stecken sich besser einen Micro-ATX-Rechner mit ordentlicher Grafikkarte zusammen. (ciw) 

Intels Core-Wirrwarr

Core i7, Core i5, Core i3, Core m: Die Buchstaben und Ziffern von Intels Core-Prozessoren suggerieren Orientierung bei der Einschätzung der Rechenleistung. Ein Core i7 ist schneller als ein Core i5, ein i5 schneller als ein i3 – könnte man meinen. So einfach ist es jedoch bloß dann, wenn man entweder nur Mobilprozessoren oder nur Desktop-Prozessoren untereinander vergleicht. Ob ein bestimmter Chip aber nun für Notebooks oder Desktops gedacht ist, bekommt man nicht so einfach heraus.

Vielen Notebook-Käufern ist etwa nicht bewusst, dass in den sparsamen „U“-Mobilversionen von Core i7 und i5 stets bloß zwei Kerne stecken – und nicht vier wie bei den Desktop-Versionen des i5 oder sogar bis zu zehn wie bei den teuersten i7 für LGA2011-

Boards. Mobil-Quads gibt es zwar als Core i5 und i7, dann hängen aber Buchstaben wie „H“ oder „HQ“ an der Typennummer.

Weitere Verwirrung droht bei Pentiums und Celerons, bei denen es zwei sehr unterschiedlich leistungsfähige Typenfamilien gibt. Sehr sparsam und billig, aber auch recht lahm sind die mit N oder J in den Modellbezeichnungen, etwa der Celeron N3150. Diese Chips sind eng mit den Atoms für Tablets verwandt; deren Rechenwerke schaffen pro Kern und Taktzyklus deutlich weniger als die von den Core-Prozessoren abgeleiteten Celerons und Pentiums mit den Buchstaben G und U in den Typenbezeichnungen – siehe Tabelle. Die „guten“ Celerons und Pentiums haben alle bloß zwei Kerne. Im Zweifel kennt die Datenbank ark.intel.com Kern-Anzahl und Taktfrequenz.

Lutz Labs

Der Aufbau moderner Magnetspeicher

Wer viele Daten speichern möchte, kommt um eine Festplatte kaum herum: Die magnetischen Datenträger sind pro Terabyte einfach viel günstiger als SSDs. Beim Blick in die Innereien einer Festplatte erläutern wir zudem, welche Tricks die Hersteller zur Kapazitätssteigerung nutzen.

An der grundlegenden Technik von Festplatten hat sich seit vielen Jahren nichts geändert: Mit magnetisierbarem Material beschichtete Scheiben rotieren, bewegliche Schreib-Lese-Köpfe magnetisieren punktweise winzige Bereiche und lesen die so geschriebenen Informationen wieder aus. Die Fortschritte liegen im Detail.

Die Scheiben rotieren in 3,5-Zoll-Festplatten mit bis zu 7200 U/min. Auf den äußeren Spuren rauschen die Daten also mit fast 130 km/h an den Schreib-Leseköpfen vorbei, bei mit 15.000 U/min rotierenden 2,5-Zoll-Server-Festplatten sogar mit bis zu 180 km/h. Die Köpfe fliegen auf einem Luftpolster von weniger als 10 nm Höhe. Würde ein Kopf die Scheibe berühren, käme es zu einem Headcrash; die Festplatte wäre defekt. Beim Ausschalten werden die Köpfe auf Rampen gefahren und von den Scheiben abgehoben. Bei Notebook-Festplatten sorgt ein Beschleunigungssensor zudem dafür, dass dies auch bei plötzlichen Lageänderungen wie einem Sturz passiert. Auf den Scheiben selbst dürfen die Köpfe nicht liegenbleiben, da die extrem glatte Oberfläche dazu führen würde, dass die Köpfe an den Scheiben kleben bleiben und die Platte nicht mehr anläuft.

Die Magnetscheiben bestehen meistens aus einer formstabilen Magnesium- oder Aluminium-Legierung, WD setzt nach eigenen Angaben in einigen 2,5-Zoll-Festplatten auch Glas ein. Sie sind etwa einen Millimeter dick, die darauf aufgebrauchte Magnetschicht nur einen Mikrometer. Bei Festplatten mit Helium-Füllung (siehe S. 60) können die

Scheiben noch etwas dünner ausfallen, da das dünne Edelgas im Inneren zu weniger Verwirbelungen führt und damit die Kräfte auf die Scheiben sinken.

Maximal sieben Scheiben auf einer gemeinsamen Achse passen in ein 3,5-Zoll-Gehäuse, mit Luftfüllung sind es maximal sechs. Da sie beidseitig beschichtet sind, kommen bis zu 14 Schreib-Lese-Köpfe zum Einsatz, die auf einem gemeinsamen Kopfträger in den Plattenstapel hineinragen. In Festplatten mit geringerer Kapazität setzen die Hersteller weniger Scheiben ein.

Kapazitätssteigerung

Aktuell liegt die maximale Kapazität einer einzelnen Magnetscheibe bei rund 1,4 TByte, die Datenspuren sind etwa 70 nm breit. Da die Schreibköpfe eine bestimmte magnetische Feldstärke aufbringen müssen, können die Hersteller sie nicht beliebig verkleinern.

Um die Aufzeichnungsdichte und damit die Kapazität weiter zu steigern, greifen die Entwickler zu Tricks [1]. Bereits im Einsatz ist – neben dem schon erwähnten Helium, das den Einbau einer weiteren Scheibe erlaubt – ein geändertes Aufzeichnungsverfahren: Beim Shingled Magnetic Recording (SMR) [2] werden die einzelnen Spuren leicht überlappend geschrieben (wie Dachschindeln, englisch Shingle). Da die Leseköpfe etwas schmaler sind als die Schreibköpfe, lassen sich die Spuren dennoch wieder auslesen. Solche Platten hat etwa Seagate bereits im Programm.

Im nächsten Schritt werden die Hersteller wohl Festplatten mit Heat Assisted Magnetic

Recording herausbringen; Ende 2016 will Seagate erste Modelle an Pilotkunden ausliefern. Diese Festplatten arbeiten mit schmaleren Köpfen. Damit die Magnetpartikel dennoch magnetisierbar sind, heizt man sie durch einen Laser in wenigen Nanosekunden vor dem Beschreiben auf rund 450 °C Grad auf – so reicht die geringere Feldstärke für die Magnetisierung aus.

Bei immer dünneren Spuren wird jedoch auch das Lesen der Daten immer schwieriger, die Signale verschwinden im Rauschen. Dagegen setzen die Hersteller Two Dimensional Magnetic Recording (TDMR). Hier kommen ein oder zwei zusätzliche Leseköpfe zum Einsatz, die die unerwünschten Signale benachbarter Spuren ausfiltern sollen. Weitere kapazitätssteigernde Techniken werden bereits erforscht, sind aber noch nicht in der Nähe der Serienreife angelangt. Dazu gehören Bit Patterned Media (BPM), eine Technik, die mit nichtmagnetischen Vertiefungen arbeitet, sowie Heat Dot Magnetic Recording (HDMR), eine Kombination aus BPMR und HAMR. Bis 2025 soll die Kapazität einer einzelnen Festplatte damit auf 100 TByte steigen. (II) **ct**

Literatur

- [1] Boi Feddern, Streben nach Größerem, Aufzeichnungsverfahren und Speichertechniken für die Festplatten der Zukunft, c't 24/13, S. 172
- [2] Lutz Labs, Dicke Brummer, 8-TByte-Festplatten von HGST und Seagate, c't 6/15, S. 58

Bestandteile einer Festplatte anhand einer WD WD30EFRX

Der komplette Stapel aus Spindel, Befestigungsmuttern und Magnetscheiben muss sehr gut ausgewuchtet sein, damit im Betrieb möglichst geringe Vibrationen auftreten. Der den Stapel antreibende Motor ist für den größten Teil des Energiebedarfs der Festplatte verantwortlich.

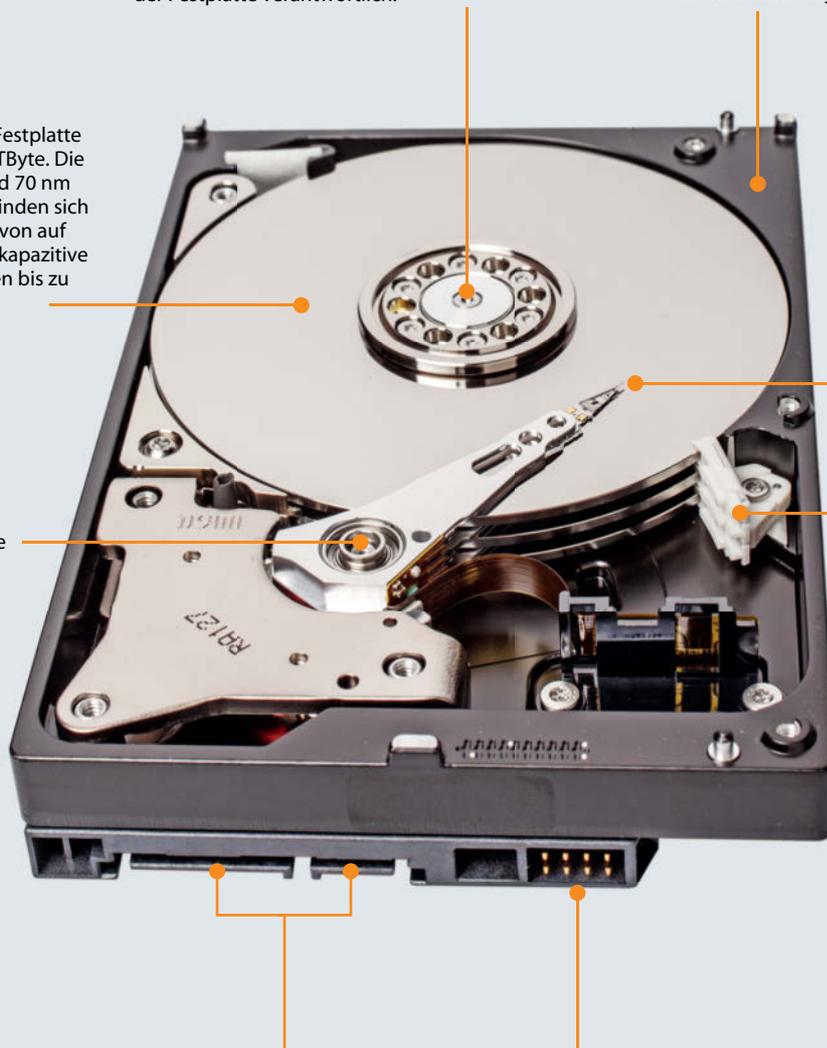
Das Gehäuse einer Festplatte besteht meistens aus einem Aluminium-Gussteil. Die Ränder werden immer dünner, um möglichst große Scheiben einzubauen – daher fehlen bei einigen Modellen die mittleren Gewindebohrungen.

Jede Scheibe einer Festplatte speichert bis zu 1,4 TByte. Die Spuren sind nur rund 70 nm breit; insgesamt befinden sich mehr als 350.000 davon auf einer Scheibe. Hochkapazitive Festplatten enthalten bis zu sieben Scheiben.

Die Schreib- und Lese-Köpfe fliegen auf einem extrem dünnen Luftpolster. Sie dürfen die Magnetscheiben im laufenden Betrieb nicht berühren, da es sonst zu einem Headcrash kommt.

Die Festplattenköpfe sitzen auf einem gemeinsamen Kopfträger, den ein extrem fein ansteuerbarer Linearmotor positioniert.

Über diese Kunststofframpen werden die Köpfe von den Magnetscheiben abgehoben, wenn die Festplatte herunterfährt, damit sie nie in den Kontakt mit den Scheiben geraten.



SATA-Festplatten weisen getrennte Anschlüsse für Strom und Daten auf. Bei den in Servern üblichen SAS-Festplatten verhindert ein Steg zwischen den beiden Steckern den Anschluss mit SATA-Kabeln. So kann man zwar SATA-Festplatten an einen SAS-Controller anschließen, aber nicht umgekehrt.

Die Anschlüsse dieses Jumperfeldes sind nicht standardisiert. Hier lassen sich hersteller- und modellspezifische Optionen konfigurieren, etwa eine langsamere Schnittstellengeschwindigkeit oder ein langsames Hochfahren, um das Netzteil beim Start zu entlasten.

Lutz Labs

Aufbau und Funktionsweise von SSDs

SSDs haben Festplatten mit ihren drehenden Magnetscheiben als Massenspeicher abgelöst. Doch was steckt in den kleinen Gehäusen drin und wie funktionieren SSDs überhaupt?

Eine SSD besteht aus mindestens zwei Komponenten: Flash-Bausteinen zur Speicherung der Daten und einem Controller für deren Verwaltung sowie die Anbindung an den PC. Dazu kommen häufig DRAM-Cache und ein Puffer-Kondensator, der im Fall eines Stromausfalls ausreichend Energie zum Speichern der noch im Cache verbliebenen Daten liefern soll.

SSDs für Desktop-Computer und Notebooks haben meistens einen SATA-Anschluss. Server-SSDs mit PCIe-Interface sind prinzipiell ähnlich aufgebaut; einige erreichen über PCIe fast die zehnfache Geschwindigkeit von SATA. Zudem gibt es vor allem für Mobilgeräte SSDs in der Größe einer halben Scheckkarte, die unter den Bezeichnungen M.2 und mSATA zu finden sind.

Flash-Speicher

SSDs enthalten mindestens einen, meistens jedoch mehrere nichtflüchtige Speicherbausteine, die ihre Daten auch ohne externe Stromversorgung nicht verlieren (NAND-Flash). Flash-Speicher ist grundsätzlich in Blöcken organisiert, die wiederum in Pages zusammengefasst werden. Blöcke sind meistens 4 KByte groß, Pages häufig 128 KByte.

Der Speicher lässt sich nicht überschreiben, er muss zuvor gelöscht werden. Löschen lässt sich jedoch immer nur eine ganze Page. Damit auch bei gut gefüllter SSD in jedem Fall ausreichend freie Pages zur Verfügung stehen, benutzt der Hersteller einen Teil des Speichers für diesen Zweck. Für das sogenannte Overprovisioning reservieren die meisten SSDs rund sieben Prozent der Bruttokapazität.

Es gibt weltweit nur fünf Flash-Hersteller: Hynix, IMFT (Intel Micron Flash Technologies), Powerchip, Samsung und Sandisk/Toshiba. Gelegentlich findet man andere Namen auf den Chips, Hersteller sind sie dennoch nicht.

Controller

Um die Verbindung zwischen Speicher-Chips und PC kümmert sich der Controller. Häufig ist es ein Kombiprozessor (System on Chip) mit zwei oder mehr Kernen. Einer kümmert sich um die Anbindung zum PC, der oder die anderen um das Flash-Management.

Da Flash-Speicher zwar schnell gelesen werden kann, beim Beschreiben aber eher langsam ist, nutzt man verschiedene Verfahren zur Beschleunigung. Dazu gehören etwa ein DRAM-Cache – typisch ist 1 MByte Cache pro GByte Speicherkapazität – sowie eine möglichst große Anzahl von Speicherkanälen. Damit kann der Controller die zu schreibenden Daten parallel auf mehrere Speicherbausteine verteilen.

Zu den Verwaltungsaufgaben des Controllers gehören Garbage Collection, Wear Leveling, Prüfsummenbildung, Bad-Block-Management und Verschlüsselung. Viele SSDs speichern die Daten prinzipiell verschlüsselt ab, auch wenn der Anwender selbst gar keinen Schlüssel vergeben hat. So dauert das vollständige Rücksetzen der SSD auf den Werkzustand nur Sekundenbruchteile – man weist die SSD einfach an, ihren internen Schlüssel gegen einen neuen zu tauschen.

Die Garbage Collection läuft meistens im Hintergrund, wenn die SSD gerade wenig zu tun hat. Sie fasst Blöcke aus nicht vollständig belegten Pages zusammen, um so wieder

eine möglichst große Anzahl an freien Pages bereitzustellen.

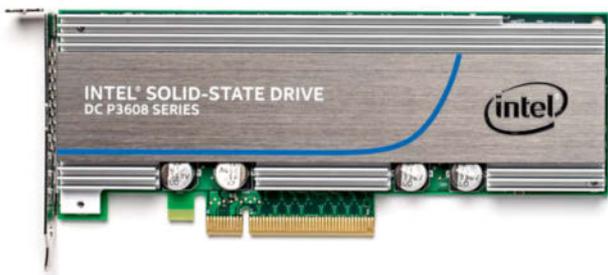
Die SSD bekommt nicht unbedingt mit, dass Daten nicht mehr benötigt werden – löscht der Anwender eine Datei, verschwindet lediglich der Eintrag im Dateisystem. Daher teilen moderne Betriebssysteme der SSD per Trim-Befehl mit, welche Blöcke nicht mehr benötigt werden. Die SSD kann dadurch ebenfalls aufräumen und weitere freie Pages bereitstellen.

Beim Schreiben erzeugt der Controller Prüfsummen und speichert sie mit ab. Stimmen diese beim Lesen nicht mehr, versucht der Controller mit Hilfe von Korrekturmechanismen die Daten zu korrigieren. Solche Fehler treten vor allem bei fortschreitender Abnutzung der SSD auf.

Flash-Speicher lässt sich nicht beliebig oft beschreiben. Aktuell verwenden die Hersteller meistens MLC- oder TLC-Flash-Speicher, der zwei oder drei Bit pro Zelle speichert und durch die fortschreitende Miniaturisierung nur wenige tausend Löschzyklen übersteht. Mit bis zu 100 000 Löschzyklen deutlich robuster ist SLC-Speicher. Dieser speichert jedoch nur ein Bit pro Zelle und ist in der Herstellung wesentlich teurer.

Dem Verschleiß begegnen die Hersteller mit dem Wear Leveling: Es verteilt die Schreibzugriffe möglichst gleichmäßig auf die vielen Milliarden Zellen. Defekter Flash-Speicher kommt zwar dennoch vor, aber durch das Overprovisioning steht eine große Anzahl von Reservezellen bereit, um diesen Verlust aufzufangen.

Außerdem halten SSDs nach unseren Untersuchungen deutlich mehr aus als die Hersteller versprechen. (II) **ct**



SSDs in verschiedenen Darreichungsformen: als PCIe-Steckkarte, im 2,5-Zoll-Gehäuse mit SAS-, SATA- oder U.2-Anschluss sowie Speicherplättchen im M.2- und mSATA-Format.