

Der c't- Speicher-Guide

Der optimale Massenspeicher für Ihre Anwendung:
ein Leitfaden



Übersicht aktueller Speichermedien	Seite 16
SSD-Kaufberatung	Seite 20
SATA-Festplatten	Seite 24
USB-Speicher, (Micro)SD-Karten	Seite 26

Die SSD-Technik ist allgegenwärtig, aber Festplatten sterben nicht aus. Als externe und mobile Speichermedien stehen USB-Sticks, USB-Festplatten, USB- und Thunderbolt-SSDs sowie SD- und MicroSD-Karten zur Wahl. Unsere Entscheidungshilfe erklärt aktuelle Speichertechnik.

Von Christof Windeck

Solid-State Disks (SSD) haben sich durchgesetzt, weil sie schneller, kleiner, leichter und robuster sind als Festplatten. Notebooks mit Festplatten gibt es praktisch nicht mehr, in Desktop-PCs sind sie höchstens Beiwerk. Doch Platten sterben nicht etwa aus, sondern ziehen lediglich um: vom PC in ein USB-Gehäuse, ins NAS oder in die Cloud. Denn Platten speichern große Datenmengen noch immer viel billiger als SSDs und bleiben deshalb erste Wahl für Backup und Langzeitarchivierung. Flash-Speicher und Magnetfestplatten haben sehr verschiedene Eigenschaften und in beiden „Speicherwelten“ gibt es wiederum erhebliche Unterschiede zwischen Bauformen, Schnittstellen und Aufzeichnungsverfahren beziehungsweise Speichertypen. Daraus ergeben sich viele Fragen: Reicht als Bootmedium noch eine SATA-SSD oder muss es eine in der „Streifenbauform“ M.2 mit PCI Express sein? Wenn M.2, ist dann PCIe 4.0 spürbar schneller als PCIe 3.0? Braucht man einen SSD-Kühler? Wie ist es um die Haltbarkeit bestellt? Solche Fragen klärt der SSD-Berater auf Seite 20.

Um Festplatten geht es auf Seite 24: Was unterscheidet NAS-Laufwerke von solchen für Desktop-PCs? Welche Nachteile hat die Aufzeichnungstechnik Shingled Magnetic Recording (SMR)? Der Artikel auf Seite 26 wiederum liefert einen aktuellen Überblick über externe Massenspeicher: Was unterscheidet USB-Sticks von USB-SSDs? Für welche Anwendungen sind USB-Festplatten noch sinnvoll? Was sollte man beim Einkauf von SD- und MicroSD-Karten beachten? Was kann die Schnittstelle Thunderbolt besser als USB-C?

Im Verlauf der vergangenen 15 Jahre haben Solid-State Disks (auch Solid-State Drives genannt) Notebooks, Desktop-PCs und Server erobert. Die Bezeichnung „Solid State“ (unbeweglich) zeigt, worum es geht: SSDs speichern Daten in Halbleiterbauelementen, meistens in NAND-Flash-Speicherchips, statt aufrotierenden Magnetscheiben. SSDs sind nicht unbedingt in jeder Disziplin schneller als Festplatten: Bei vielen günstigen SSDs bricht die Datentransferrate bei sehr langen Schreibzugriffen stark ein. Bei typischer Nutzung von Notebooks und Desktop-PCs tritt dieser Fall allerdings kaum jemals ein, weil man nur sehr selten riesige Datenmassen von mehr als 20 GByte am Stück kopiert. Wichtiger sind bei PCs und Notebooks schnelles Lesen und kurze Zugriffszeiten, also niedrige Latenzen beim Zugriff auf kleine, zufällig verteilte Datenblöcke (Random Read). Statt einige hundert Ein-/Ausgabeoperationen pro Sekunde (IOPS)

wie Festplatten schaffen SSDs mindestens mehrere zehntausend.

Flash statt Scheibe

Allerdings darf man den IOPS-Vergleich nicht auf die Spitze treiben, denn die höchsten Werte liefern SSDs erst bei vielen parallelen Zugriffen. Solche sind bei Servern typisch, bei PCs und Notebooks aber selten. Und deshalb wiederum spürt man am PC kaum einen Unterschied, ob eine SSD mit 20.000 oder 400.000 IOPS drinsteckt – Hauptsache, keine Festplatte! Bei manchen Spezialanwendungen kann es dennoch vorteilhaft sein, eine superschnelle PCIe-4.0-SSD in den PC zu stecken.

In Notebooks hat eine SSD den zusätzlichen Vorteil, dass sie anders als eine Festplatte unempfindlich gegen Stöße ist. SATA-SSDs mit 128 GByte Kapazität kosten mittlerweile weniger als 20 Euro und sind billiger als Festplatten. Anders sieht das bei hohen Kapazitäten von mehreren Terabyte aus: Dann kosten Festplatten deutlich weniger, siehe Tabelle auf Seite 18.

Platten als Datenhalden

Die große Mehrheit der PC-Käufer entscheidet sich mittlerweile für Notebooks, nur noch rund 20 Prozent wählen Desktop-PCs. Unter letzteren wiederum sind viele Mini-PCs, in die keine 3,5-Zoll-Festplatten passen. Weil es folglich kaum noch Nachfrage nach Desktop-PC-Laufwerken gibt, entwickeln die drei verbliebenen Plattenhersteller Seagate, Western Digital und Toshiba vor allem Platten für Cloud-Server und NAS. Dort wiederum zählt vor allem möglichst hohe Kapazität pro Euro



Klassische Festplatten mit rotierenden Magnetscheiben (unten) bieten gewaltige Speicherkapazität zum günstigsten Preis, doch eine M.2-SSD (rechts) und erst recht eine MicroSD-Karte sind schneller, leichter, robuster und sparsamer.



Festplatten sterben nicht aus, sie laufen nur anderswo: etwa im Netzwerkspeicher (NAS) statt im Notebook oder Desktop-PC.

und Watt. Anders gesagt: Geschwindigkeit ist Nebensache, die holen sich Server von SSDs (siehe Textkasten auf Seite 19).

Die Nachfrage nach Festplatten schrumpft noch weiter, weil immer weniger Menschen ihre Daten selbst pflegen, sondern sie Clouddiensten anvertrauen: Microsoft One Drive, Apple iCloud, Google Drive, Dropbox und so weiter. Die wenigen noch lieferbaren 3,5-Zoll-Platten mit unter 4 TByte Kapazität sind meistens steinalte Designs, auch bei Notebookfestplatten (2,5



Viele SSDs für Server haben Hotswap-taugliche Bauformen wie U.3: Das entspricht dem „dicken“ 2,5-Zoll-Format mit 15 Millimetern Bauhöhe und einem SFF-8639-Stecker, der PCI Express und alternativ SATA oder SAS überträgt.

Zoll) gibt es kaum noch Fortschritte. Die niedrigsten Preise pro Terabyte Kapazität zahlt man bei Platten ab 6 TByte.

NAS und USB-Platten eignen sich prima als günstige Datenhalden fürs Backup. Denken Sie aber daran, mindestens zwei Sicherheitskopien anzufertigen, die möglichst getrennt vom PC lagern, damit sie für Verschlüsselungstrojaner unerreichbar sind. Wenn möglich sollte eine Kopie außerhalb Ihrer Wohnung lagern, etwa bei Verwandten, Freunden oder in

einem Bankschließfach. So sind die Daten besser gegen Diebstahl, Brand und Hochwasser geschützt.

Als Archiv eignen sich Festplatten tendenziell besser als SSDs, weil bei letzteren nicht klar ist, wie lange sie Daten im stromlosen Zustand sicher speichern [1]. Die Hersteller machen dazu keine Angaben. Festplatten gelten als mindestens fünf Jahre lagerfähig, eher länger. Mehr zur Archivierung haben wir in [2, 3] zusammengestellt.

Need for Speed

Geschwindigkeit ist ein wichtiges Kaufkriterium bei Massenspeichern, muss aber im Kontext betrachtet werden. So nutzt eine superschnelle externe SSD nichts, wenn der interne Datenspeicher im Notebook, von dem kopiert werden soll, langsamer arbeitet. Wer seine Daten per WLAN aufs NAS kopiert, darf sich über eine gemächliche Gangart nicht wundern: Müssen sich Funkwellen durch ein paar Hausmauern kämpfen, sind Datentransferraten von 60 MByte/s schon sehr gute Werte. Noch ein weiteres Beispiel: Eine SD-Karte mit 100 MByte/s bringt nichts, wenn das Lesegerät per USB 2.0 angebunden ist.

Doch auch wenn es Ihnen nicht auf höchstmögliche Geschwindigkeit ankommt, sollten Sie beim Einkauf von Speichermedien auf konkrete Angaben zu Datentransferraten achten. Denn wenn der Hersteller die Geschwindigkeit eines Produktes nicht verraten möchte, ist es üblicherweise krötenlahm. Findet sich ein ordentliches Datenblatt, ist auch die Wahrscheinlichkeit einer Fälschung geringer; bei Handelsplattformen wie wish.com, joom.com, AliExpress und eBay wimmelt es nur so von gefälschten USB-Sticks und (Micro)SD-Karten, die Ihre wertvollen Daten vernichten, statt sie zu speichern. Unsere Preistabelle zeigt: USB-Sticks mit mehr als 1 TByte Kapazität gibt es nicht (mehr) und MicroSD-Karten noch nicht. Wenn Sie ein Angebot für einen 2-TByte-Stick sehen, handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um eine Fälschung. Kaufen Sie daher nur bei seriösen Anbietern und prüfen Sie Speichermedien sofort nach Erhalt, etwa mit der Software H2testw (siehe ct.de/yg8r).

Sicherheit und Entsorgung

Notebooks und Smartphones werden häufiger gestohlen als Desktop-Rechner, die im (Heim-)Büro besser geschützt sind. Daher sollte man Mobilcomputer und Smartphones mit sicheren Passwörtern oder bio-

Geschwindigkeiten gängiger PC-Speichermedien

Datenträgertyp	max. gemessene Datentransferrate	IOPS QD1 ¹	max. IOPS
	schreiben / lesen	schreiben / lesen	schreiben / lesen
M.2-SSD PCIe 4.0 x4	7,0 / 7,5 GByte/s	68 / 22 Tsd.	1250 / 1020 Tsd.
M.2-SSD PCIe 3.0 x4	2,9 / 3,6 GByte/s	53 / 18 Tsd.	390 / 500 Tsd.
USB-SSD mit USB 3.2 Gen 2	1,0 / 1,0 GByte/s	–	40 / 40 Tsd.
SATA-SSD	0,53 / 0,56 GByte/s	12 / 12 Tsd.	88 / 99 Tsd.
USB-SSD mit USB 3.2 Gen 1	0,48 / 0,48 GByte/s	–	25 / 25 Tsd.
SATA-Festplatte 7200 min ⁻¹	0,25 / 0,25 GByte/s	0,8 / 0,8 Tsd. ²	0,8 / 0,8 Tsd. ²
MicroSD-Karte (UHS-I DDR208)	0,13 / 0,18 GByte/s	–	0,7 / 2,8 Tsd.

¹ Queue Depth 1: pro Adressierung ein einzelner Zugriff, also keine parallelen Zugriffe

² die meisten SATA-Platten liegen eher bei 150 bis 400 IOPS

Preisvergleich Massenspeicher

Datenträgertyp	Preis pro Gigabyte	Preisbeispiele					
		250 GByte	500 GByte	1 TByte	2 TByte	8 TByte	16 TByte
M.2-NVMe-SSD	ab 8 Cent	28 €	47 €	80 €	160 €	1.300 €	–
SATA-SSD (2,5)	ab 7 Cent	26 €	45 €	80 €	160 €	650 €	2.700 €
SATA-Festplatte	ab 1,6 Cent	18 €	25 €	35 €	50 €	195 €	280 €
USB-Festplatte	ab 1,6 Cent	35 €	40 €	43 €	56 €	155 €	310 €
USB-SSD	ab 9 Cent	45 €	65 €	95 €	185 €	2.200 €	–
SD-Karte	ab 8 Cent	23 €	60 €	270 €	800 €	–	–
MicroSD-Karte	ab 8 Cent	25 €	55 €	150 €	–	–	–
USB-Stick	ab 6 Cent	20 €	35 €	110 €	–	–	–

Preise: Stand Februar 2022

Serverspeicher

Servertechnik unterscheidet sich immer stärker von Komponenten für PCs und Notebooks. Denn die meisten Server werden für den Dauereinsatz in den Schränken (Racks) riesiger Cloudrechenzentren entwickelt. Das Angebot an Servern in PC-ähnlicher „Tower“-Bauform schrumpft; in Kleinfirmen und Heimbüros kommen eher NAS zum Einsatz.

Im Zuge dieser Veränderungen verschwinden klassische RAID-Hostadapter allmählich. NAS und Rackserver nutzen Storage-Software, um Redundanz und Geschwindigkeit zu verbessern. Dazu dienen Dateisysteme wie ZFS und btrfs und Storage-Software wie Ceph und VMware vSAN. Manche verteilen Daten dynamisch auf verschiedene Speichermedien: „kalte“, also selten abgefragte Daten auf Festplatten, „heiße“ Daten auf die schnellsten SSDs.

Für verschiedene Zugriffscharakteristiken gibt es angepasste SSD-Varianten,

darunter besonders schreibfeste und teure sowie billigere für hauptsächlich lesende Zugriffe. Eine typische Spezifikation für hochbelastbare SSDs nennt fünf „Drive Writes per Day“ (DWPD): Sie sind dafür ausgelegt, innerhalb einer fünfjährigen Garantiezeit täglich mit dem Fünffachen ihrer Kapazität überschrieben zu werden.

Viele Storage-Server haben Schnellwechsellrahmen für den Austausch defekter Datenträger auch im laufenden Betrieb (Hotswapping). M.2-SSDs eignen sich dafür nicht, stattdessen aber Bauformen wie das 2,5-Zoll-Format U.3 oder das längliche „Linealformat“ E.1. Im Einzelhandel sind derartige Spezialitäten immer seltener zu finden. Wer ein NAS oder einen Selbstbauserver mit einer robusten SSD bestücken möchte, kann sich an den „Endurance“-Angaben der Hersteller orientieren: Besonders schreibfeste Typen vertragen 1 Petabyte und mehr (1000 Terabytes Written, TBW).

Schutzwürdigkeit der Daten strengere Vorschriften bis hin zur Pflicht, Datenträger schreddern zu lassen. Dafür gibt es zertifizierte Dienstleister.

Medienwahl

Der Markt der Massenspeicher für Notebooks und Desktop-PCs verändert sich hin zur SSD; gängiges Bootmedium ist heutzutage ein M.2-Kärtchen. Die PCIe-3.0-Generation dominiert das Angebot und genügt für die meisten Ansprüche. Jenseits von 4 TByte gibt es kaum M.2-SSDs und nur wenige SATA-SSDs. Oberhalb von 8 TByte regiert die viel billigere Festplatte.

Die verschiedenen Flash-Speichermedien – interne und externe SSDs, USB-Sticks und Speicherkarten – werden noch viele Jahre gemeinsam mit klassischen Magnetfestplatten auf dem Markt sein. Je nach Anwendung eignet sich mal das eine, mal das andere Medium besser, wie die folgenden Artikel zeigen. Bei USB-Sticks und (Micro)SD-Karten tobt der Preiskampf – was ganz im Sinne der Käufer ist, die viel Speicherplatz für wenig Geld bekommen. (ciw@ct.de) 

Literatur

- [1] Tim Niggemeier, *Vergesslicher Speicher, Flash-Grundlagen, Teil 2: Lebensdauer der Daten*, c't 11/2021, S. 116
- [2] Christof Windeck, *Lange haltbar, Digitale Daten langfristig zuverlässig speichern*, c't 22/2020, S. 60
- [3] Lutz Labs, *Stabile Magnetpartikelchen, Langzeitarchivierung mit Festplatten*, c't 22/2020, S. 64

Tools und Infos: [ct.de/yg8r](https://www.ct.de/yg8r)

metrischer Authentifizierung gegen unbefugten Zugriff schützen und die jeweiligen Datenträger verschlüsseln. Bei modernen Smartphones ist das Standard, bei Windows-Notebooks leider nicht. In den Pro-Versionen von Windows ist BitLocker als SSD-Verschlüsselung eingebaut, bei anderen Versionen lässt sich VeraCrypt (siehe [ct.de/yg8r](https://www.ct.de/yg8r)) nachrüsten. Apples macOS (FileVault) und Linux (LUKS) haben eingebaute Tools. Achtung: Notieren Sie Passwort und Wiederherstellungsschlüssel unbedingt auf Papier und verwahren Sie sie sicher, am besten auch eine Kopie an einem anderen Ort. Denken Sie an Backups!

Verschlüsselung ist auch bei USB-Sticks und Mobilfestplatten ratsam, weil sie leicht verloren gehen und in falsche Hände geraten können. Zum Verschlüsseln genügt kostenlose Software wie VeraCrypt oder 7-Zip ([ct.de/yg8r](https://www.ct.de/yg8r)). Falls Sie als Gewerbetreibender oder Freiberufler Kundendaten speichern, verpflichtet Sie die DSGVO zu einem „angemessenen Schutzniveau“. Dazu sollten Sie Backup-Datenträger mit sensiblen Daten verschlüsseln oder im Tresor lagern.

Wenn Sie Datenträger ausmustern, um sie zu entsorgen oder zu verkaufen, müssen Sie sie vorher sicher löschen. Dazu genügt bei Festplatten einmaliges vollständiges Überschreiben, unter Windows

etwa mit dem Programm `diskpart` und dessen Befehl `clean all` – aber es gibt auch andere Tools dafür, etwa das erwähnte `H2testw`. SSDs löschen Sie am besten mittels Secure Erase (Anleitung: [ct.de/yg8r](https://www.ct.de/yg8r)). Waren die Daten sicher verschlüsselt, so reicht es, das Schlüsselmaterial zu löschen, was viel schneller geht. Wiederum gelten bei gewerblicher Nutzung je nach

Datentransferraten einiger (PC-)Schnittstellen

Schnittstelle	maximale Datentransferrate	Kopierzeit 4 GByte
RAM: 2 Kanäle DDR5-4800	76 GByte/s	0,05 s
PCIe 5.0 x16	64 GByte/s	0,06 s
RAM: 2 Kanäle DDR4-3200	50 GByte/s	0,08 s
PCIe 5.0 x4	16 GByte/s	0,25 s
PCIe 4.0 x4	8 GByte/s	0,5 s
PCIe 3.0 x4	4 GByte/s	1 s
Thunderbolt 4 (TB4)	4 GByte/s	1 s
USB 3.2 Gen 2x2	2 GByte/s	2 s
Ethernet 10 Gbit/s (10GbE)	1,1 GByte/s	3,6 s
USB 3.2 Gen 2	1 GByte/s	4 s
SATA 6G	500 MByte/s	8 s
USB 3.2 Gen 1 (USB 3.0)	450 MByte/s	9 s
Ethernet mit 2,5 Gbit/s (2.5GbE)	250 MByte/s	16 s
Wi-Fi 6 nah (950 Mbit/s)	120 MByte/s	33 s
Ethernet mit 1 Gbit/s (GbE)	110 MByte/s	36 s
Wi-Fi 6E 20 Meter durch Wände	60 MByte/s	67 s
USB 2.0 Highspeed	45 MByte/s	89 s
Ethernet 100 Mbit/s (DSL100)	11 MByte/s	364 s
DSL50	6 MByte/s	666 s