



Solid State Disks

SSDs haben Festplatten als schnelles Laufwerk zum Start von Betriebssystem und Anwendungen abgelöst. Warum es verschiedene SSD-Typen gibt und die auch noch unterschiedlich schnell sind, beantworten wir in dieser FAQ.

Von Lutz Labs

Auflösung des Akronyms SSD

? Warum Solid State Drive? In einer SSD dreht sich doch keine Scheibe!

! SSD steht für Solid State Drive oder Solid State Disk, Festkörper-Laufwerk oder -Scheibe. Ja, in einer SSD dreht sich keine Scheibe, dennoch hat sich die Bezeichnung durchgesetzt.

Haltbarkeit der Daten

? Wie lange halten die Daten in einer SSD, wenn man sie stromlos lagert?

! Die in einer SSD benutzten Flash-Zellen altern durch die Benutzung, genauer durch das Löschen der nicht mehr benötigten Daten; man spricht vom Wear Out. SSDs halten Daten auch stromlos viele Jahre lang – aber nur, wenn die Zellen noch nicht zu stark geschädigt wurden.

Richten Sie sich bei der Abschätzung nach den Angaben des Herstellers: Wenn dieser beispielsweise eine Garantie von fünf Jahren bei einer Schreiblast von 500 TByte gibt, dann sind die Daten nach dem Backup auf die frische SSD nach fünf Jahren wahrscheinlich noch fehlerfrei lesbar. Wenn die SSD jedoch bereits mit 100 TByte beschrieben wurde, dann sinkt die sogenannte Data Retention Time auf 2,5 Jahre, nach voller Ausnutzung der 500 TByte liegt sie dann nur noch bei etwa einem halben Jahr.

Bauformen

? Festplatten gibt es nur noch in 2,5- und 3,5-Zoll-Gehäusen. Welche Bauformen gibt es bei SSDs?

! Im Desktop-PC sind zwei verschiedene Bauformen üblich: M.2-SSDs im

Format 2280, die 22 Millimeter breit und 80 Millimeter lang sind, setzen sich immer mehr durch. Klassisch sind mittlerweile fast schon SSDs im 2,5-Zoll-Gehäuse, welches den Festplatten der gleichen Größe nachempfunden ist und die damit auch in die gleichen Schächte hineinpassen. Modernere Versionen sind nur 7 Millimeter hoch, frühere Modelle und auch viele 2,5-Zoll-Festplatten 9,5 Millimeter.

Zur Aufrüstung eines Desktop-PCs dienen weiterhin Steckkarten mit PCIe-Schnittstelle, die entweder Platz für eine oder mehrere M.2-SSDs bieten oder den Speicher selbst beherbergen. Diese waren vor einigen Jahren erforderlich, als nur wenige Mainboards einen M.2-Slot hatten. M.2-SSDs gibt es übrigens nicht nur in 80 Millimeter Länge, sondern auch mit 30, 42, 60 und 110 Millimeter. Solche SSDs sind jedoch eher selten.

Auch in Servern kommen SSDs im 2,5-Zoll-Format zum Einsatz, hier muss man jedoch unterscheiden: 2,5-Zoll-SSDs mit SATA- oder SAS-Anschluss werden von moderneren Bauformen langsam verdrängt, während solche mit PCIe-Anschluss (U.2) immer weitere Verbreitung finden. U.2-SSDs passen oftmals nicht in die vorhandenen Schächte, da sie nicht nur einen anderen Anschluss haben, sondern auch durch voluminöse Kühlkörper mit 15 Millimetern deutlich dicker sind. Der Um-

stieg auf U2-SSDs erfordert daher häufig auch neue Racks.

Zu den neuen Bauformen gehören auch SSDs im EDSFF-Format (Enterprise and Data Center Standard Form Factor) und Streifen im M.3-Format. Beiden gemein ist, dass sie den vorhandenen Raum wesentlich besser ausnutzen, sich besser kühlen lassen und im laufenden Betrieb über die Frontseite des Racks getauscht werden können.

EDSFF-SSDs gibt es wiederum in verschiedenen Bauformen, unter anderem in einer circa 32 Zentimeter langen als E1.L bezeichneten Variante – nach dieser haben diese SSDs den Spitznamen Ruler-SSDs bekommen, weil sie eben wie ein Lineal aussehen. In eine E1.L-SSD passen bis zu 32 TByte Flash-Speicher, weiter gibt es noch die mit 11 Zentimeter deutlich kürzere E1.S-Version und höhere E3-Versionen.

M.3-SSDs ähneln den M.2-SSDs, mit einem wichtigen Unterschied: Sie sind etwa einen Zentimeter breiter, sodass zwei Speicherchips nebeneinander darauf Platz finden. Bei beidseitiger Bestückung passen auf eine M.3-SSD so bis zu 16 Speicherchips, was die Kapazität gegenüber M.2-SSDs praktisch verdoppelt. Auch bei M.3-SSDs gibt es eine alternative Bezeichnung, man findet sie gelegentlich auch unter dem Namen NF1. Mechanisch und elektrisch passen sie in übliche M.2-Slots – sofern um den Slot herum ausreichend Platz ist.

Schnittstellen

? Welche Schnittstellen gibt es und an welchen SSDs kommen sie zum Einsatz?

! Die traditionelle SATA-Schnittstelle (Serial ATA) ist am weitesten verbreitet – auch die allermeisten Festplatten nutzen SATA. Der Ersatz einer Festplatte durch eine 2,5-Zoll-SATA-SSD ist damit sehr einfach.



Klassische SATA-SSDs im 2,5-Zoll-Gehäuse benötigen zwei Kabelstränge für Strom- und Datenanschluss, die modernen M.2-SSDs schraubt man meistens direkt aufs Mainboard.

SATA kommt bei M.2-SSDs ebenfalls vor, aber immer seltener. Bei diesen und auch bei PCIe-Steckkarten, U.2-, EDSFF- und M.3-SSDs hat sich die Anbindung per PCI Express (PCIe) durchgesetzt. Meistens kommen vier PCIe-Lanes gleichzeitig zum Einsatz, egal ob es sich dabei um PCIe 3.0 oder PCIe 4.0 handelt. Die schnellsten SSDs erreichen sequenzielle Geschwindigkeiten bis zu 7,5 GByte/s, bei Zugriffen auf zufällige Adressen maximal 1,3 Millionen IOPS (Input/Output Operations Per Second).

In großen Serverschränken trifft man häufig noch auf einen Sonderfall: SAS, Serial Attached SCSI. Dieser Anschluss ist sozusagen die Profi-Version von SATA mit einigen erweiterten Funktionen, etwa Dualport-Fähigkeiten, die zu einer höheren Ausfallsicherheit eines Gesamtsystems führen können. SAS-Anschlüsse gibt es praktisch nur am 2,5-Zoll-Gehäuse, es gibt Festplatten und SSDs mit SAS.

Sonderfall U.3: Dieser Stecker kann sowohl PCIe als auch SAS und SATA verbinden. U.3 kommt daher vor allem in Racksystemen zum Einsatz, die damit sehr flexibel werden: Man kann in den Laufwerksschacht hineinstecken, was immer man will, das Stagesystem erkennt das Laufwerk und bindet es unabhängig von seiner Technik mit ein.

Protokolle

? Was ist der Unterschied zwischen den Protokollen AHCI und NVMe?

! Außer der physikalischen Schnittstelle brauchen SSDs ein Protokoll, mit dem sie angesprochen werden. Das bei SATA-SSDs verwendete Advanced Host Controller Interface (AHCI) stammt aus der Zeit, als Festplatten das am weitesten verbreitete Speichermedium waren. AHCI organisiert die Anfragen der CPU in einer Warteschlange, die bis zu 32 Einträge aufweisen kann. Die Firmware der Festplatte arbeitet diese so ab, dass sie den Kopf möglichst wenig bewegen muss. Für SSDs spielt dies naturgemäß keine Rolle, da diese keine bewegten Teile aufweisen.

Nonvolatile Memory Express (NVMe) wurde speziell für die deutlich schnelleren PCIe-SSD entwickelt. NVMe stellt 65.535 Kanäle bereit, die jeweils 65.535 Befehle enthalten können – die meisten PCIe-SSDs erreichen erst bei vielen

gleichzeitigen Anfragen hohe Leistung. Zudem lassen sich PCIe-SSDs mittels der Erweiterung NVMe-oF (over Fabric) aus einem PC lösen und über ein Netzwerk ansprechen; der Host kann damit auf eine fast unendliche Menge an Speicher zugreifen.

TLC versus QLC

? Was ist der Unterschied zwischen TLC-Speicher und QLC-Speicher?

! Da müssen wir etwas weiter ausholen. Die ersten Flash-Zellen konnten lediglich jeweils 1 Bit speichern, das aber sehr schnell und sehr ausdauernd. Der Controller muss bei diesen Zellen beim Auslesen nur prüfen, ob die Zellspannung unter- oder oberhalb der Hälfte liegt. Zur Kosteneinsparung bei der Produktion kamen die Hersteller dann auf den Gedanken, feinere Unterschiede zu machen: Aus der Single Level Cell (SLC) wurde die Multi Level Cell (MLC) mit einer Speicherfähigkeit von 2 Bit. Der Controller muss vier verschiedene Spannungsniveaus unterscheiden, die Haltbarkeit sinkt, die Geschwindigkeit auch.

TLC oder Triple Level Cell speichert 3 Bit pro Zelle, der Controller muss acht Spannungsniveaus auseinanderhalten. Damit einher ging erneut verminderte Haltbarkeit und Geschwindigkeit, zudem stieg die Fehlerrate, sodass eine verbesserte Fehlerkorrektur eingeführt wurde. TLC-Flash hat sich inzwischen auf breiter Front durchgesetzt, außer bei Spezialanwendungen wird kaum noch ein anderer Speichertyp genutzt.

Vier Bit speichert jede QLC-Zelle (Quadruple Level Cell), die Fehlerrate steigt gegenüber TLC (vor allem bei längerer Nutzung) erneut an, Geschwindigkeit und Haltbarkeit sinken. QLC-Flash ist in der Herstellung am günstigsten, mit jeder weiteren Stufe aber sinkt der Kostenvorteil gegenüber der letzten Erhöhung. Aktuell arbeiten die Entwickler bereits an



U.2-SSDs sind häufig dicker als 2,5-Zoll-SATA-SSDs. Zum Anschluss an ein Desktop-Mainboard braucht man ein spezielles Kabel sowie meistens einen Adapter für den M.2-Slot.

Zellen mit 5 Bit Speicherfähigkeit (Penta Level Cell, PLC).

Die Hersteller setzen bei TLC- und QLC-SSDs einen sogenannten SLC-Cache ein, bei dem ein Teil der Zellen in einen 1-Bit-Modus geschaltet ist. Neue Daten schreibt der Controller dann zunächst in diesen Teil; wenn nichts zu tun ist, verschiebt er sie in den TLC- oder QLC-Bereich. Damit sind die SSDs zumindest für eine begrenzte Datenmenge sehr schnell – im Büroalltag fällt der eigentlich langsamere Speicher so gar nicht auf.

Wer jedoch häufiger mit großen Datenmengen hantiert, etwa beim Videoschnitt, wird die Nachteile von QLC-Flash bemerken: Die Schreibgeschwindigkeit der SSD kann unter das Niveau einer Festplatte sinken, bei einigen SSDs liegt sie unter 100 MByte/s. Büroarbeiter können mit dem Kauf einer QLC-SSD also Geld sparen; wer seine SSD aber stärker beansprucht, sollte besser zu einer teureren TLC-SSD greifen. (//@ct.de)

Literatur

- [1] Tim Niggemeier, Blitzschneller Speicher, Flash-Grundlagen, Teil 1: Von SLC bis QLC, c't 10/2021, S. 136
- [2] Tim Niggemeier, Vergesslicher Speicher, Flash-Grundlagen, Teil 2: Lebensdauer der Daten, c't 11/2021, S. 116
- [3] Tim Niggemeier, Beschleunigter Speicher, Flash-Grundlagen, Teil 3: Firmware-Architekturen, c't 12/2021, S. 136

Geschwindigkeitsvergleich SATA-SSDs vs. PCIe-SSDs

	seq. Transferraten schreiben/lesen [MByte/s]	IOPS schreiben/lesen
	besser ▶	besser ▶
Samsung 860 Pro (SATA)	540/560	89000/99000
Samsung 970 Pro (PCIe 3.0)	3260/3586	470000/580000
Seagate FireCuda 530 (PCIe 4.0)	7038/7448	1122347/934480