

# Massenspeicher



Mario Putz  
IT 233

## Inhalt

Massenspeicher.....	3
Arten und Einteilung von Speichermedien .....	4
Elektronischer Datenspeicher (Halbleiterspeicher) .....	4
Magnetischer Datenspeicher .....	4
Optischer Datenspeicher.....	4
Flash-Karten und Microdrives .....	6
CompactFlash .....	6
Memory Stick.....	6
Multimedia Card.....	7
Secure Digital Memory Card.....	7
Smart Media .....	7
xD-Picture Card.....	8
XQD.....	8
Microdrive .....	9
Festplatten .....	10
Schnittstellen.....	12

## Massenspeicher

Als Massenspeicher werden Speichermedien bezeichnet die große Datenmengen dauerhaft speichern. Dabei handelt es sich anders als beim RAM um nichtflüchtige Datenspeicher.

Die größte Bedeutung als Massenspeicher haben seit über dreißig Jahren Festplatten (HDD). Die Entwicklung ihrer Kapazität hat mit der allgemeinen Entwicklung schrittgehalten: Anfang der 80er Jahre konnten sie 10 Megabyte, heute können mehrere tausend Gigabyte gespeichert werden.

Ihre Geschwindigkeit ist ebenfalls stark angestiegen, jedoch nicht im gleichen Ausmaß wie ihre Kapazität. Seit einigen Jahren gewinnen Solid State Drive (SSD) an Bedeutung. Andere typische Massenspeicher sind CD, DVD, Blu-ray, Magnetband, USB-Stick, Flash-Speicher oder Disketten.

Im Allgemeinen ist bei Massenspeichern nicht nur die Kapazität von Interesse, sondern je nach Einsatzgebiet auch noch folgende Faktoren:

- Latenz: Die durchschnittliche oder maximale Dauer, die vom Senden einer Datenanfrage an den Massenspeicher bis zum Beginn eines Datentransfers vergeht.
- Durchsatz: Die Datenmenge, die pro Zeitspanne übertragen wird.
- Mittlere Lebensdauer: Die Zahl der Betriebsstunden, bis statistisch der erste Datenverlust auftritt.
- Zugriffsart: Massenspeicher können im Folge- oder Direktzugriff gelesen oder beschrieben werden. Manche Medien können nur einmal beschrieben werden (Archivierung).
- Mobilität: Einige Massenspeicher werden üblicherweise fest eingebaut, andere können leicht ausgetauscht werden.
- Vernetzbarkeit: Es gibt mehrere Möglichkeiten, Massenspeicher in einem Rechnernetz zur Verfügung zu stellen. Auf Dateiserver, die auch als NAS (Network Attached Storage) bezeichnet werden, wird auf die Datei-Ebene zugegriffen. Auf ein SAN (Storage Area Network) wird auf Datenblock-Ebene zugegriffen.
- Sicherheit: Manche Massenspeicher bieten einen eigenen Passwortschutz oder Möglichkeiten, die auf ihnen gespeicherten Daten vollständig und unumkehrbar zu löschen, ohne den Massenspeicher physisch zerstören zu müssen.

## Arten und Einteilung von Speichermedien

Prinzipiell wird zwischen drei Arten der Datenspeicherung unterschieden:

### Elektronischer Datenspeicher (Halbleiterspeicher)

Unter der elektronischen Speicherung sind alle Speichermedien zusammengefasst, die Informationen in oder auf Basis von elektronischen Halbleiterbauelementen speichern. In der Regel enthalten Speicherbausteine auch Elektronik zum Steuern und verwalten.

- ROM - Read Only Memory
- RAM - Random Access Memory
- SDRAM - Synchronous DRAM
- Flash-Memory

### Magnetischer Datenspeicher






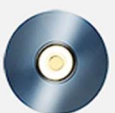



Die Magnetische Speicherung von Informationen erfolgt auf magnetisierbarem Material. Dieses kann auf Bänder, Karten, Papier oder Platten aufgebracht werden. Magnetische Medien werden mittels eines Lese-Schreib-Kopfes gelesen bzw. beschrieben.

- Diskette
- Festplatten
- Tape
- Magnetband

### Optischer Datenspeicher

Zum Lesen und Schreiben der Daten wird ein Laserstrahl verwendet. Die optische Speicherung nutzt dabei die Reflexions- und Beugungseigenschaften des Speichermediums aus, z.B. bei nichtgepressten CDs die Reflexionseigenschaften und bei holografischen Speichern die lichtbeugenden Eigenschaften. Die Speicherform ist heute ausschließlich digital.

- CD-ROM
- DVD
- Blu-ray Disc
- Ultra-HD Blu-ray Disc

Medium	Kapazität	Verbreitungsgrad*	geeignet für
3 ½" Diskette 	1,44 MB	heute bedeutungslos	Datenspeicherung und -transport kleinerer Datenmengen, aufgrund der Kapazität und sinkender Verbreitung nicht mehr zu empfehlen
<u>ZIP</u> 	100-750 MB	heute bedeutungslos	Datenspeicherung und -transport
<u>USB-Stick</u> 	bis zu 2 TB	hoch	Datenspeicherung, hauptsächlich für den Datentransport
<u>Speicherkarte</u> 	bis zu 2TB	hoch	Datenspeicherung, hauptsächlich für den Datentransport
<u>CD</u> 	bis zu 900 MB	gering	Datenspeicherung, differentielle oder inkrementelle Datensicherung sowie Archivierung von Daten
<u>DVD</u> 	4,7 (Single Layer, Single Side) - 17 GB (Double Layer, Double Side)	mittel	Datenspeicherung, differentielle oder inkrementelle Datensicherung sowie Archivierung von Daten
<u>Blu-Ray Disc</u> 	bis zu 50 GB	mittel	Datenspeicherung, differentielle oder inkrementelle Datensicherung sowie Archivierung von Daten
<u>Externe Festplatte</u> 	bis zu 16 TB	mittel	Vollbackup und Datensicherung
<u>Magnetband</u> 	bis zu 12 TB	im professionellen Bereich noch verbreitet, im privaten Bereich gering	(Server-)Backup und Datenarchivierung

\*Der (geschätzte) Verbreitungsgrad bezieht sich nicht nur auf die Speichermedien, sondern auch auf die zum Lesen und Beschreiben der Medien benötigten Geräte.

## Flash-Karten und Microdrives

### CompactFlash

CompactFlash (CF) ist ein Schnittstellenstandard, unter anderem für digitale Speichermedien. Er kommt in Form von CF-Karten hauptsächlich in digitalen Fotoapparaten, aber auch in Netzwerkkomponenten, Computern und Personal Digital Assistants (PDA) zum Einsatz.

Die CF-Speicherkarten sind im Gegensatz zu Festplatten oder CD-Laufwerken ohne bewegliche Teile. Die Informationen werden auf einem wiederbeschreibbaren Flash-Speicher dauerhaft gespeichert. Neben dem eigentlichen Speicherchip gibt es noch einen Controller der den Speicher verwaltet und nach außen eine IDE-Schnittstelle anbietet, die sich allerdings in der Form des Steckers unterscheidet. Im Gegensatz zu allen anderen Flash-basierten Speicherkarten, außer der SD-Karte, ist für die Adressierung des eigentlichen Speicher der karteninterne Controller und nicht das Endgerät zuständig. Bei vorhandener Unterstützung seitens des Speichers für ein Dateisystem, das mehr Speicher adressieren kann, können CF-Karten mit hoher Kapazität auch von alten Geräten gelesen werden.

### Memory Stick

Memory Stick war ein digitales Speichermedium für Daten welches von Sony 1998 eingeführt wurde. Es wurden die Varianten Memory Stick (MS), Memory Stick Duo (MSD), Memory Stick PRO (MSP), Memory Stick PRO Duo (MSPD, HS) und Memory Stick Micro (M2) unterschieden. Einige Sticks waren mit MagicGate-Kopierschutz ausgestattet welche extra gekennzeichnet sind. Memory Sticks fanden im Bereich der Unterhaltungselektronik Anwendung. Viele Sony-Camcorder benutzten Memory Sticks zum speichern von Bild- und Videodateien. Weitere Einsatzgebiete waren Digitalkameras, PDAs, MP3-Playern, Mobiltelefonen, Vaio-Notebooks und Playstation Portable.



## Multimedia Card

Der Multimedia Card (MMC) Standard wurde 1997 von Ingentix zusammen mit SanDisk entwickelt. Eine MMC speichert Daten mittels Flash-Speicherung. Sie ist 24mm x 32mm x 1,4mm groß und besitzt sieben Pins, die über einen integrierten Controller mit 1Bit Busbreite und 20 MHz Taktrate angesteuert werden. Die Speicherkapazität lag zwischen 2 MB und 4 GB. Die Schreibgeschwindigkeit betrug dabei 2,5 MB/s. Verwendet wurden MMCs z.B. in Digitalkameras, MP3-Playern, PDAs, Drucker und Handys.

## Secure Digital Memory Card

Secure Digital Memory Card oder SD-Karte ist ein digitales Speichermedium welches nach dem Prinzip der Flash-Speicherung arbeitet. Die SD-Karte wurde von SanDisk, Toshiba und Panasonic auf Basis des MMC v2.11 Standards entwickelt.

Mittels eines im geschützten Speicherbereich abgelegten Schlüssels soll die Karte das unrechtmäßige Abspielen geschützter Mediendateien verhindern. Die Verschlüsselung erfolgt nach dem CPRM-Verfahren des 4C Entity Konsortiums, das in ähnlicher Weise (CPPM) auch bei DVD-Audio benutzt wird.

## Smart Media

Bei diesem Speicherkartentyp ist der Controller nicht auf der Karte enthalten, sondern muss im Laufwerk, d. h. in der Digitalkamera oder z. B. dem PCMCIA-Adapter untergebracht sein. Die in den Geräten eingebauten Controller unterstützen in der Regel nur Karten bis zu einer bestimmten Größe. In einigen wenigen Fällen kann eine Firmware-Aktualisierung die maximal unterstützte Kapazität anheben. Außerdem können nur Karten mit der unterstützten Versorgungsspannung verwendet werden (neu: 3,3 V, alt: 5 V). Die Karte ist 45 mm x 37 mm x 0,76 mm groß, etwa 2 Gramm schwer und verfügt über 22 Kontakte. Die Datenübertragungsgeschwindigkeit beträgt 0,8 MB/s. Die 5-V-Version gab es mit Speicherkapazitäten bis 4 MB, die 3,3-V-Version gibt es mit bis zu 128 MB Speichervolumen.

## xD-Picture Card

Es handelt sich dabei um einen Kartentyp, der mittels Flash-Speicherung in NAND-Flash- oder Multi-Level-Cell-Technik (M-Typ) arbeitet und durch neue Spezifikationen (Blockstruktur) die bei den SmartMedia-Karten aufgetretenen Kapazitätsprobleme beseitigen sollte. Da die xD-Picture Card im Gegensatz zur SD-Karte über keinen eigenen Controller verfügt, müssen Kameras und sonstige Endgeräte, um die Karte steuern zu können, auf die MLC-Technik vorbereitet sein bzw. das Auslesen von SLC- und MLC-Karten beherrschen. Es waren bis zu 8 GB Speicher auf einer Karte vorgesehen, tatsächlich verfügbar sind aber nur Karten mit maximal 2 GB.

## XQD

XQD ist ein Speicherkartenstandard, der unter anderem für Digitalfotografie genutzt wird und über eine PCI-Express-Schnittstelle kommuniziert. Beim XQD-1.0-Standard ist zunächst eine Transferrate von 2,5 Gigatransfers pro Sekunde vorgesehen, später soll PCI-Express 2.0 mit 5 GT/s zum Einsatz kommen. Die Abmessungen betragen 38,5 mm × 29,8 mm bei 3,8 mm Dicke. XQD hat damit eine etwas kleinere Fläche als eine CF-Karte und ist dünner als eine CompactFlash-Typ-II-Karte, jedoch dicker als eine CompactFlash-Typ-I-Karte.

Aktuell (Stand 08/2017) erreichen laut Herstellerangaben XQD-Karten (Serie G) eine Lesegeschwindigkeit von 440 MB/s und eine Schreibgeschwindigkeit von 400 MB/s; diese Karten sind mit einer Speicherkapazität von bis zu 256 GB verfügbar. Diese Schreibgeschwindigkeit soll die Aufnahme von 4K/60p-Videos ermöglichen.

Mittlerweile wird sie durch die von der Schnittstelle gleiche, schnellere CFexpress-Type B-Karte nach und nach abgelöst, viele XQD-Geräte können per Firmware nachgerüstet werden, dass sie auch CFexpress-Karten schreiben und lesen können.



## Microdrive

CompactFlash-Microdrives sind grundsätzlich im etwas dickeren CompactFlash-II-Gehäuse (5 mm) und passen somit nicht in Geräte, die nur einen dünnen CompactFlash-I-Schacht (3 mm) haben.

Vor dem Einsatz eines Speichermediums mit mehr als 2 GB Speicher muss überprüft werden, ob das Gerät, in dem die Karte verwendet werden soll, Medien mit dieser Kapazität überhaupt ansprechen kann. Normalerweise wird das Dateisystem FAT32 für Medien über 2 GB verwendet. Insbesondere ältere Geräte (Herstellungsdatum vor 2003) können häufig nur mit FAT16 formatierte Medien ansprechen und sind somit auf 2 GB als Obergrenze beschränkt.

Microdrives können in sämtlichen Lagen betrieben werden; laut Spezifikation ist das Microdrive 1 GB allerdings für maximal 140 Betriebsstunden/Monat ausgelegt (bei maximal 20 % Such-, Schreib- und Leseoperationen). Daher kann ein Microdrive nicht als Ersatz für eine herkömmliche Festplatte in einem PC verwendet werden, da dort üblicherweise längere Betriebszeiten und Festplattenaktivitäten vorkommen.

## Festplatten

Ein Festplattenlaufwerk (HDD), ist ein magnetisches Speichermedium, bei dem Daten auf die Oberfläche rotierender Scheiben (Platter) geschrieben werden. Zum Schreiben wird die hartmagnetische Beschichtung der Scheibenoberfläche entsprechend der aufzuzeichnenden Information berührungslos magnetisiert. Durch die Remanenz (verbleibende Magnetisierung) erfolgt das Speichern der Information. Das Lesen der Information erfolgt durch berührungsloses Abtasten der Magnetisierung der Plattenoberfläche.

Da die magnetisierbare Schicht besonders dünn sein soll, bestehen die Scheiben aus einem nicht-magnetisierbaren Grundmaterial mit einer dünnen magnetisierbaren Deckschicht. Als Grundmaterial wird vorrangig auf Magnesium-Legierungen, Glas oder Glasverbundstoffe zurückgegriffen, da diese Materialien weniger Diffusion aufweisen. Sie müssen möglichst formstabil sein und eine geringe elektrische Leitfähigkeit aufweisen, um die Größe der Wirbelströme gering zu halten.

Im Unterschied zu sequentiell adressierten Speichermedien wie Magnetband oder Lochstreifen werden Festplatten den direktadressierbaren Speichermedien zugerechnet, da kein linearer Durchlauf erforderlich ist, um zu einer bestimmten Speicherstelle zu gelangen. Vor der Nutzung im PC-Bereich ab den 1980er Jahren wurden Festplatten vor allem im Mainframe-Bereich genutzt. Die Daten können in Unterschiedlichen Organisationsformen auf den Festplatten gespeichert sein. CDK (count key data) organisierte Festplatten enthalten je nach Satzformat unterschiedlich lange Datenblöcke. FBA (fix block architecture) organisierte Festplatten enthalten gleich lange Datenblöcke, die üblicherweise 512 und 4096 Byte groß sind. Ein Zugriff muss immer eine ganze Zahl von Blöcken umfassen.

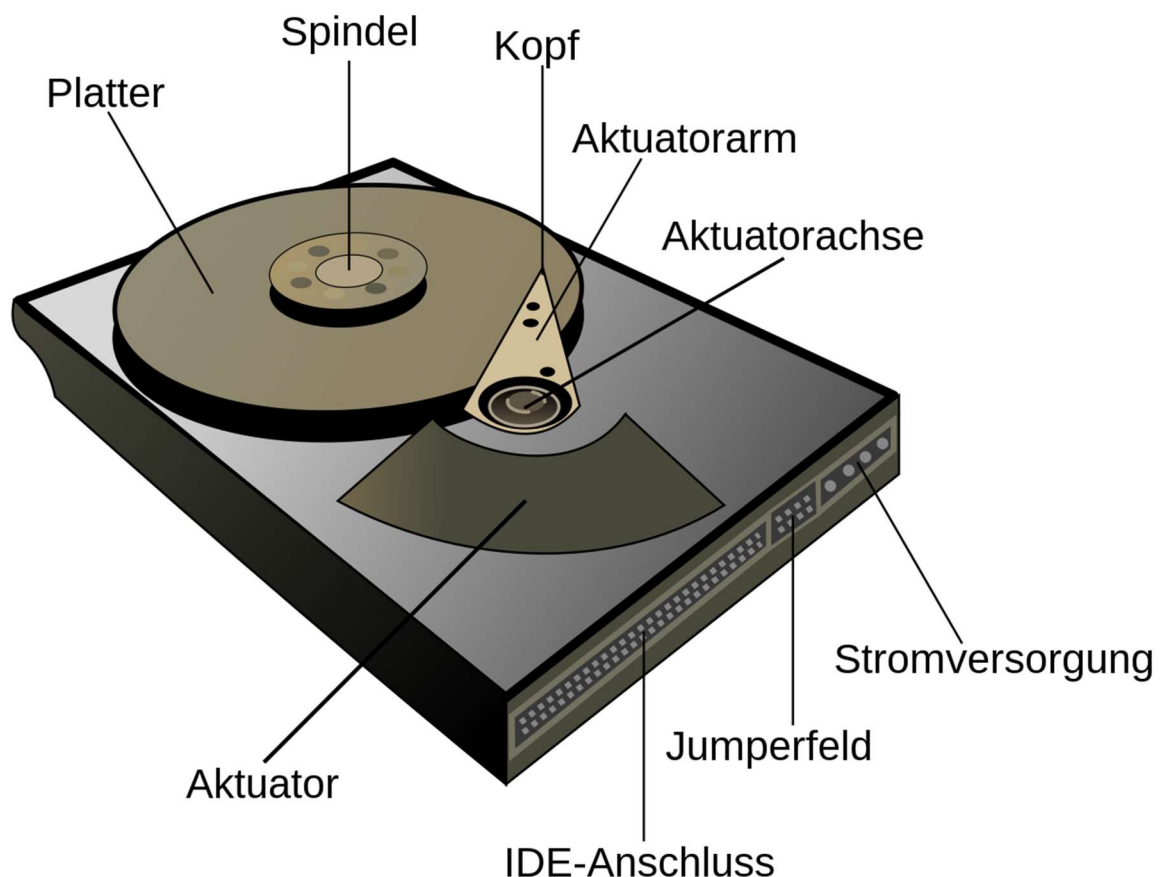
Die Speicherkapazität einer Festplatte berechnet sich aus der Größe eines Datenblocks (256, 512, 2048 oder 4096 Byte) multipliziert mit der Anzahl der verfügbaren Blöcke. Die Größe der ersten Festplatten wurde in Megabyte angegeben, ab etwa 1997 in Gigabyte, seit etwa 2008 gibt es Platten im Terabyte-Bereich. Die zeitliche Entwicklung der maximalen Festplattenkapazität zeigt einen annähernd exponentiellen Verlauf, vergleichbar mit der Entwicklung der Rechenleistung nach dem Mooreschen Gesetz.

Die Abmessungen von Festplatten werden traditionell in Zoll angegeben. Dabei handelt es sich um keine exakten Größenangaben, sondern um einen

Formfaktor. Übliche Formfaktoren für die Breite sind 5,25“, 30,5“, 2,5“ und 1,8“, für die Höhe zum Beispiel 1“, 1/2“ und 3/8“.

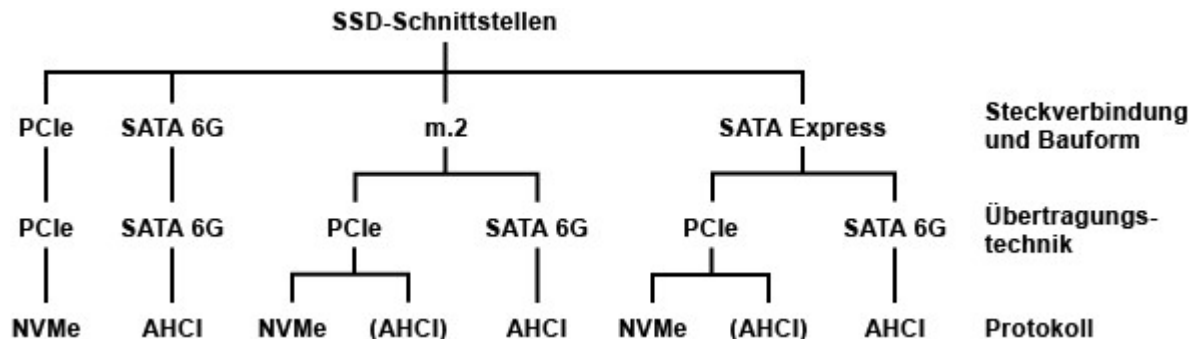
### Physischer Aufbau einer Festplatte

- Eine oder mehrere rotierbar befestigte Scheiben (Platter)
- Einer Achse, auf der die Scheiben übereinander montiert sind (Spindel)
- Einem Elektromotor als Antrieb für die Spindel
- Beweglichen Schreib-Lese-Köpfen (Heads)
- Jeweils einem Lager für die Spindel und die Aktuatorachse
- Einem Antrieb für die Aktuatorachse
- Der Steuerelektronik für Motor- und Kopfsteuerung
- Einem DSP für Verwaltung, Bedienung des Interfaces, Steuerung der Schreib/Leseköpfe,
- Flash-ROM und DDR-RAM für Firmware, temporäre Daten und Festplattencache
- Der Schnittstelle zum Ansprechen der Festplatte von außen
- Stabiles Gehäuse



## Schnittstellen

### Übersicht: SSD-Schnittstellen



Zur Auswahl stehen SATA 6G, SATA Express (SATAe), M.2 und PCIe. Das bedeutet, bei der Auswahl der SSD muss man berücksichtigen, welche der Schnittstellen man im Computer zur Verfügung hat.

### SATA 6G / SATA-600

SATA 6G ist eine Massenspeicher-Schnittstelle zum Anschluss von Festplatten, SSDs (Datenspeicher mit Flash-Memory) und Wechselspeicher-Laufwerken an einem Computer. SATA 6G ist die dritte Generation der SATA-Spezifikation (SATA-3), die im Jahr 2009 von der Industrievereinigung SATA-IO veröffentlicht wurde.

SATA-3 ist viel eher unter der Bezeichnung SATA 6G bekannt. Abgeleitet von der Transferrate von 6 GBit/s. Das ist eine Nettotransferrate von umgerechnet 600 MByte, weshalb auch die Bezeichnung SATA-600 üblich ist.

Der Nachfolger von SATA 6G ist SATA-Express (SATAe), das speziell für SSDs entwickelt wurde.

## **Besonderheiten von SATA 6G / SATA-600**

- 6 GBit/s bzw. netto 600 MByte/s
- Optimierung für NCQ
- abwärtskompatibel zu SATA und SATA-II
- LIF-Stecker für 1,8"-Festplatten (Low Insertion Force Connector)
- neue Stecker für 7 mm flache optische Laufwerke
- neue Stromsparfunktionen

## **Kompatibilität**

SATA 6G ist abwärtskompatibel zu SATA I und SATA II. Ebenso sind SATA-6G-Festplatten zu den alten Hostadaptern rückwärtskompatibel. Das heißt, die Festplatten beherrschen auch den langsameren Modus mit 1,5 oder 3 GBit/s.

Es können dieselben Kabel wie bei SATA-II verwendet werden. Zu empfehlen ist jedoch der Einsatz hochwertiger Kabel, um Datenintegrität und stabile Transferraten zu gewährleisten.

## **SATA 6G für SSDs**

Die schnellsten SATA-6G-SSDs lassen sich sequenziell mit 550 MByte/s lesen und mit 500 MByte/s beschreiben. Damit reizen Sie die SATA-Schnittstelle (SATA 6G) mit maximal 600 MByte/s voll aus.

Der Unterschied zwischen einer langsamen und einer schnellen SSD liegt in der hohen Anzahl der I/O-Operationen pro Sekunde (IOPS). Bei SATA-6G-SSDs sind es bis zu 80.000 IOPS, während langsame SSDs nur 50.000 IOPS erreichen. In der Praxis bemerkt man davon allerdings keinen Unterschied. Diese hohe Geschwindigkeit würde nur dann zustande kommen, wenn viele konkurrierende, fast gleichzeitig aufeinanderfolgende Zugriffe zu verarbeiten sind. Mit der typischen Desktop-PC-Nutzung kommt man nicht mal in die Nähe dieser IOPS-Werte. Das heißt, hier kommt man mit SATA 6G und entsprechenden SSDs gut aus.

Allerdings gibt es SSDs, die Daten mit weit über 1.000 MByte/s lesen und schreiben können. Dafür bedarf es auch einer Schnittstelle, die diese Datenmenge bewältigen kann wie Zb PCIe.

## SSD-Schnittstellen

SSD-Schnittstellen sind Steckverbindungen, um SSDs mit dem Motherboard zu verbinden. Für herkömmliche Festplatten war die SATA-Schnittstelle lange Zeit maßgeblich. Mit der Einführung von SSDs und deren Geschwindigkeitssteigerung konnte die Weiterentwicklung der SATA-Schnittstelle nicht mithalten. Sie war zu langsam und der weiteren Geschwindigkeitssteigerung physikalische Grenzen gesetzt.

Bisher war es so, dass die Geschwindigkeit von Festplatten-Schnittstellen sich an der tatsächlichen Geschwindigkeit der Festplatten orientiert haben. Immer dann wenn Festplatten schneller wurden, ist die Geschwindigkeit der Schnittstelle (bspw. EIDE, SATA oder SCSI) angepasst worden. Beim Wechsel von herkömmlichen Festplatten auf SSDs (mit Flash-Speicher) hat aber eine reine Geschwindigkeitssteigerung nicht gereicht. Denn SSDs sind nicht nur viel schneller als herkömmliche Festplatten, sondern arbeiten intern auch ganz anders. Das heißt, eine schnellere Schnittstelle reicht nicht aus. Wir brauchen auch ein neues Protokoll.

### **M.2 (NGFF)**

Die verschiedenen Bauformen von M.2 basieren auf dem Next Generation Form Factor (NGFF). Bei M.2-SSDs handelt es sich um ein streifenförmiges Speichermodul, das an PCIe-Mini-Cards und mSATA-SSDs erinnert. Genau genommen löst der kleine Slot-artige m.2-Steckverbinder den mSATA-Anschluss ab.

Theoretisch können schnelle m.2-SSDs mit vier PCIe-3.0-Lanes eine Geschwindigkeit von 4 GByte/s erreichen. In der Regel ist es jedoch so, dass die m.2-Schnittstelle am Chipsatz hängt und dort nur zwei Lanes von PCIe 2.0 zur Verfügung stehen. Also PCIe 2.0 x2. Damit erreicht man aber nur 1 GByte/s, was im Vergleich zu SATA 6G mit 600 MByte/s nicht wesentlich mehr ist. Wie schnell die m.2-Schnittstelle tatsächlich ist hängt also vom SSD-Controller ab und wie genau die PCIe-Anbindung aussieht.



## **PCIe - PCI Express**

Der PCIe ist eigentlich eine Schnittstelle für Erweiterungskarten. Zum Beispiel Grafikkarten. PCIe ermöglicht aber auch PCIe-SSDs direkt an den PCIe der CPU anzuschließen. Die Anbindung erfolgt dann zum Beispiel mit PCIe 3.0 x4 mit rund 4 GByte/s pro Richtung. Optimal für SSDs mit einer Lesegeschwindigkeit von 2 GByte/s und einer Schreibgeschwindigkeit von 1 GByte/s mit Luft nach oben.

Ob die Anbindung einer SSD immer so gelingt, hängt von der Anzahl der vorhandenen PCIe-Lanes ab. Je nach Systemarchitektur (Motherboard, Chipsatz, CPU) müssen sich mehrere Komponenten über einen Switch mehrere PCIe-Lanes teilen.

Bei PCIe-SSDs besteht die Wahl zwischen den Protokollen AHCI und NVMe. Wobei in Zukunft nur PCIe-SSDs mit NVMe eine Rolle spielen werden. Die andere Betriebsart ist nur aus Kompatibilitätsgründen vorhanden.

Als Steckverbindung dient der PCIe-Slot. Die SSD entspräche dann einer PCIe-Steckkarte. Alternativ gibt PCIe-Ausführungen mit dem SFF-8639-Steckverbinder, der einem SATA- beziehungsweise SAS-Anschluss ähnelt, aber für PCIe 3.0 x4 geeignet ist. Doch bei Desktop-PC-Mainboards ist SFF-8639 eher selten und wird die Ausnahme bleiben. Und Enterprise-SSDs werden eher die Form einer Steckkarte haben.

## **SAS – Serial Attached SCSI**

Serial Attached SCSI, kurz SAS, ist eine Massenspeicher-Schnittstelle, die SCSI-Kommandos über eine serielle Schnittstelle transportiert, die mit SATA Ähnlichkeiten hat. In der ersten Generation unterstützt SAS eine Bruttodatenrate von 3 GBit/s. Mit SAS 2 wurde die Datenrate auf 6 GBit/s verdoppelt. Mit SAS 3 bzw. SAS 12G sind 12 GBit/s vorgesehen.

Hinweis: Die in Servern und Storage-Systemen weit verbreitete Anschlusstechnik Serial Attached SCSI (SAS) ist nur noch selten zu finden. Sie wurde von PCIe bzw. NVMe abgelöst.