

Speichertechnologien und ihre Schnelligkeit

Ein detaillierter Überblick

In einem modernen Computersystem treffen verschiedenste Speichertechnologien aufeinander, jede mit eigenen Stärken und Schwächen. Von der enorm schnellen, aber flüchtigen Speicherung direkt in der Nähe des Prozessors, über den Arbeitsspeicher als zentrales Zwischenlager bis hin zu langsameren, jedoch enorm ausdauernden Festplatten oder sogar optischen Speichermedien spannt sich ein breites Spektrum an Möglichkeiten auf. Jede dieser Speicherarten ist für eine bestimmte Aufgabe optimiert und unterscheidet sich in Hinblick auf Geschwindigkeit, Zugriffszeit, Haltbarkeit der Daten und Kosten. Um diese Vielfalt besser einordnen zu können, lohnt es sich, einen Blick auf die verschiedenen Kategorien zu werfen, sie voneinander abzugrenzen und in einer Art Rangliste nach ihrer Schnelligkeit zu sortieren.

An der absoluten Spitze stehen die unmittelbar im Prozessor integrierten Register und Cache-Speicher. Register sind kleinste Speicherzellen innerhalb der CPU, die den jeweils aktuell zu verarbeitenden Datenbestand aufnehmen. Sie sind extrem schnell, aber nur winzig bemessen. Ebenfalls eng mit dem Prozessor verknüpft sind die Caches (L1, L2, L3), die etwas größer als Register sind, jedoch nach wie vor sehr schnell aufgerufen werden können. Ihre Aufgabe besteht darin, häufig benötigte Daten aus dem Arbeitsspeicher vorzuhalten, um Zugriffe auf langsamere Speicherbereiche zu minimieren. Da diese Caches physisch direkt im oder sehr nahe am Prozessor integriert sind, lassen sich Daten in nur wenigen Nanosekunden bereitstellen. Der Nachteil: Diese Kapazitäten sind begrenzt, und auch hier gilt, dass die gespeicherten Informationen beim Abschalten des Systems verloren gehen.

Eine Stufe unterhalb der Prozessor-nahen Speicher finden wir den Arbeitsspeicher, meist als RAM (Random Access Memory) bezeichnet. RAM bietet eine vergleichsweise großzügige Kapazität im Größenbereich von Gigabytes und ist wesentlich schneller als jede permanente Speichermethode. Die Zugriffszeiten liegen typischerweise im zweistelligen Nanosekundenbereich, was es der CPU ermöglicht, Befehle und Daten rasch abzurufen. Allerdings ist RAM ein flüchtiger Speicher. Sobald der Computer ausgeschaltet wird, gehen alle darin abgelegten Informationen verloren. Er eignet sich daher vor allem als temporäres „Notizbuch“, in dem das System jene Daten ablegt, die es unmittelbar benötigt, ohne sie mühsam von den langsameren, aber beständigeren Speichermedien laden zu müssen.

Bewegt man sich nun eine weitere Stufe in Richtung langzeitverfügbarer Datenaufbewahrung, trifft man auf die Solid-State-Drives (SSDs). Diese basieren auf Flash-Speichertechnologie und sind in der Regel deutlich schneller als herkömmliche magnetische Festplatten (HDDs). Sie bieten Zugriffszeiten im Mikrosekunden- bis unteren Millisekundenbereich, was im Vergleich zu RAM zwar deutlich langsamer ist, aber im Bereich der permanenten Datenspeicherung eine enorme Verbesserung darstellt. Vor allem moderne SSDs, die über den PCIe-Bus angebunden sind und den

NVMe-Standard nutzen, erreichen hohe Datenraten von mehreren Gigabytes pro Sekunde. Damit sind sie nicht nur zügiger im Lesen und Schreiben von Daten, sondern auch widerstandsfähiger gegenüber mechanischen Stößen, da sie keine rotierenden Teile besitzen.

Etwas langsamer, aber immer noch weit verbreitet, sind die klassischen Festplatten (HDDs). Diese speichern Daten auf rotierenden magnetischen Scheiben. Der Lese- und Schreibkopf fährt über die Oberfläche dieser Platten, um die gewünschten Bits und Bytes zu finden. Dies ist ein mechanischer Prozess, der Zugriffszeiten im Millisekundenbereich verursacht. Trotz des Geschwindigkeitsnachteils waren HDDs lange Zeit das bevorzugte Speichermedium, da sie über viele Jahre hinweg ein unschlagbares Preis-pro-Gigabyte-Verhältnis boten. Mit dem Sinken der SSD-Preise wird die HDD heute vor allem für große, archivierende Datenbestände oder in Serverlandschaften für Massenspeicher verwendet, bei denen es nicht primär auf maximale Geschwindigkeit ankommt.

Außerhalb der Massenmedien, die fest im Computer verbaut sind, gibt es noch andere Speichertechnologien, die je nach Einsatzzweck ihre Berechtigung haben. Dazu zählen optische Medien wie DVDs, Blu-rays oder noch seltener verwendete CDs. Sie sind im Vergleich zu SSDs und HDDs deutlich langsamer, da das Abtasten mithilfe eines Lasers längere Zugriffszeiten erzeugt und der Datendurchsatz niedriger ist. Zudem ist ihre maximale Speicherkapazität pro Medium begrenzt, wenn man sie mit aktuellen Festplatten oder SSDs vergleicht. Dennoch eignen sich optische Datenträger für die Langzeitarchivierung bestimmter Inhalte, da sie relativ unempfindlich gegenüber magnetischen Feldern und zuverlässig über Jahre hinweg lesbar bleiben, sofern sie sorgfältig gelagert werden.

Noch langsamer, aber dafür extrem haltbar und für große Datenmengen in Rechenzentren eingesetzt, sind magnetische Bänder. Sie werden in Backup-Systemen oder in Archiven genutzt, um enorme Datenbestände kostengünstig und langfristig zu sichern. Das Auslesen bestimmter Daten auf Band kann sehr lange dauern, da der Bandlauf erst an die entsprechende Stelle spulen muss. In Sachen Zugriffsgeschwindigkeit spielen Bänder damit die langsamste Rolle, aber ihre Haltbarkeit, Kapazität und niedrigen Kosten im Verhältnis zum Speicherplatz machen sie für bestimmte Szenarien interessant.

Fasst man all diese Speichertechnologien zusammen, lässt sich eine grobe Rangfolge nach Geschwindigkeit aufstellen. An der Spitze stehen die CPU-nahen Speicher (Register und Caches), gefolgt vom Arbeitsspeicher (RAM). Danach kommen die dauerhaften Speichertechnologien: SSDs, speziell die mit NVMe über PCIe angebundenen Modelle, sind aktuell die schnellsten permanenten Speichergeräte in einem typischen PC. Danach folgen klassische SATA-SSDs mit etwas geringerer Leistung und herkömmliche HDDs mit ihren mechanischen Komponenten. Unterhalb dieses Spektrums finden sich schließlich optische Medien und ganz am Ende die Bandlaufwerke, die hauptsächlich für Archivierungszwecke eingesetzt werden.

Diese Reihenfolge ist nicht in Stein gemeißelt, da sich Speichertechnologien kontinuierlich weiterentwickeln. Neue Schnittstellen, verbesserte Controller und fortschrittliche Speichermedien können die Lücken zwischen diesen Kategorien verkleinern. Dennoch bietet diese Hierarchie einen guten Ausgangspunkt, um zu verstehen, welche Technologien in einem Computer koexistieren und wie sie in puncto Geschwindigkeit, Zugriffszeit und Einsatzgebiet zueinander in Beziehung stehen.

Letztlich findet in einem Computersystem stets eine Art Tanz zwischen diesen Speichern statt. Die CPU bezieht ihre Befehle aus ihren Caches und dem RAM, der wiederum Daten und Programme von SSDs oder HDDs lädt. Optische Laufwerke kommen ins Spiel, wenn bestimmte Daten von Discs gelesen oder installiert werden, und Bänder treten auf den Plan, wenn es um langfristige, kostengünstige Sicherung großer Datenmengen geht. Jede dieser Technologien hat ihre Nische und erfüllt einen bestimmten Zweck, sodass ihr Zusammenspiel ein optimales Gleichgewicht zwischen Leistung, Kapazität, Kosten und Haltbarkeit ermöglicht.

(Louis Dauphin, 2023)

Quellen:

1. Patterson, David A., und John L. Hennessy. "Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface."
2. Messmer, Hans-Peter. "PC-Hardwarebuch." Addison-Wesley
3. Tetzner, Frank. "Hardware kompakt: Grundlagen der PC-Technik."
4. c't Magazin (Heise-Verlag), Artikel zu Speichertechnologien, SSD-Tests und HDD-Analysen: <https://www.heise.de/ct/>
5. golem.de, Artikel über NVMe-SSDs, RAM-Technologien und Speichertrends: <https://www.golem.de>
6. Fachartikel zu Tape-Archivlösungen und optischen Medien, StorageReview: <https://www.storagereview.com/>

Aufgabe:

Lies Dir den Text genau durch und beantworte folgende Fragen:

1. Welche zentrale Aufgabe erfüllen die Register und Caches im Inneren des Prozessors, und warum gelten sie als besonders schnell?
2. Warum ist der Arbeitsspeicher (RAM) zwar deutlich schneller als permanente Speicherlösungen, aber dennoch nicht für die langfristige Datenspeicherung geeignet?
3. In welchem Geschwindigkeitsspektrum bewegen sich Zugriffszeiten auf RAM üblicherweise, und inwiefern ist dies für die Leistungsfähigkeit des gesamten Systems relevant?
4. Warum sind SSDs in der Regel schneller als HDDs, und welche technischen Unterschiede sind dafür verantwortlich?
5. Welche Rolle spielen NVMe-SSDs bei der Steigerung der Datenübertragungsraten, und über welchen Bus sind sie typischerweise angebunden?
6. Warum werden klassische Festplatten (HDDs) trotz ihrer im Vergleich zu SSDs geringeren Geschwindigkeit nach wie vor häufig verwendet?
7. Welchen Einfluss hat die mechanische Funktionsweise von HDDs auf ihre Zugriffszeiten, und welche Konsequenzen ergeben sich daraus für den praktischen Einsatz?
8. In welchen Einsatzszenarien sind optische Speichermedien wie DVDs oder Blu-rays nach wie vor sinnvoll, obwohl sie langsamer sind als SSDs oder HDDs?
9. Welche Eigenschaften machen Bandlaufwerke in bestimmten Situationen trotz ihrer langsamen Zugriffszeiten attraktiv?
10. Wie lässt sich die grundsätzliche Hierarchie der Speichermedien in einem modernen Computersystem anhand von Geschwindigkeit und Verfügbarkeit von Daten grob einteilen?
11. Welche Art von Speicher geht nach dem Ausschalten des Computers verloren, und welcher bleibt auch ohne Stromzufuhr erhalten?
12. Warum ist die Nähe zum Prozessor ein entscheidender Faktor für die Geschwindigkeit von Register- und Cache-Speichern?
13. Was versteht man unter dem Preis-pro-Gigabyte-Verhältnis, und welche Rolle spielt es bei der Entscheidung für ein bestimmtes Speichermedium?
14. Wie hat sich die Verfügbarkeit von SSDs auf die Bedeutung von HDDs im privaten und professionellen Umfeld ausgewirkt?
15. Welche Entwicklungen könnten in Zukunft dazu führen, dass sich die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Speichertechnologien verringern?