

Einführung in die IT

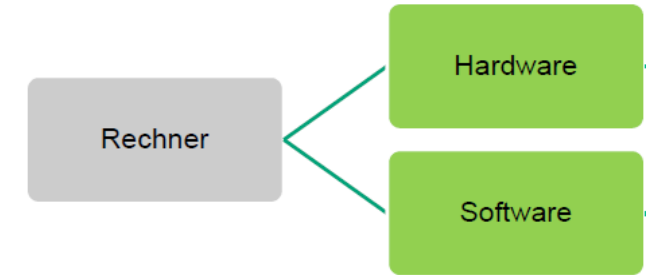
Teil4:

Rechnerarchitektur: Komponenten eines
Rechnersystems, Von-Neumann Architektur, Caches,
Systemschichten

Bernd Schöner

DHBW Mannheim

Rechnerarchitekturen



- Hardwarearchitektur
 - Ausgehend von der Beschreibung durch John von Neumann, 1946, als *Von-Neumann-Architektur* bezeichnet.
- Softwarearchitektur
 - Die grundlegenden Komponenten (Programme) zusammen mit den Verbindungen, die zwischen den Komponenten bestehen, um bestimmte Aufgaben zu bearbeiten bzw. zu lösen.
- Computersystem
 - ein Verbund aus mehreren Computern, die individuell gesteuert werden und auf gemeinsam genutzte Daten und Geräte zugreifen können, z.B. Peripheriegeräte.
- Überblick bei: <https://de.wikipedia.org/wiki/Computer>

Aufbau und Funktionsweise

- Computer sind technische Geräte, die umfangreiche Informationen mit hoher Zuverlässigkeit und großer Geschwindigkeit automatisch verarbeiten und aufbewahren können.
- Computer sind nicht vergleichbar mit Automaten, z.B. Kaffeeautomaten. Automaten erfüllen nur eine festgelegte Funktion.
- Ein Computer hat wesentliche Vorteile:
 - Flexibel einsetzbar
 - Man kann ihm die Vorschrift, nach der er arbeiten soll, jeweils neu vorgeben. Solche Vorschriften, bezeichnet man als Algorithmen (Programme, Softwareentwicklung)
- Prinzipiell unterscheidet man zwei Typen von Rechenanlagen nach ihrer Funktionsweise:
 - Analogrechner und
 - Digitalrechner

Wir erinnern uns an den Teil1: Rechnertypen

- Smartphone
- Personal Digital Assistant oder PDA, waren die Vorläufer der Smartphones.
- Tabletcomputer
- Eingebettetes System, z. B. im Auto, Fernseher, Waschmaschine usw.
- Einplatinencomputer, z. B. Raspberry Pi, billigste, sehr kleine Computer. Werden meist als eingebettete System verwendet.
- Personal Computer oder PC, hier als Desktop-Computer oder auch Arbeitsplatzrechner
- Hostrechner oder auch Server, eingebunden in einem Rechnernetz, meist ohne eigenen Display, Tastatur usw.
- Thin Client sind Rechner, die nur in Zusammenarbeit mit einem größeren Rechner, meist Server, richtig funktionieren.
- Heimcomputer (veraltet), der Vorläufer des PC.
- Spielkonsole
- Netbook, ein kleines Notebook.
- Laptop oder Notebook
- Minicomputer (veraltet)
- Superminicomputer (veraltet)
- Mikrocomputer (veraltet)
- Mainframe Computer oder Großrechner.
- Supercomputer, die schnellsten Rechner ihrer Zeit, brauchen den Platz einer Turnhalle, die Energie einer Kleinstadt und sind sehr teuer. Neue Supercomputer mit Tausenden von CPUs, "Summit" (Platz 2) mit einer Leistung von 148,6 Petaflops, 9,216 POWER9 22-core CPUs; 27,648 NVIDIA Tesla V100 GPUs

Analogrechner und Digitalrechner

- In **Analogrechnern** werden Rechengrößen durch physikalische Größen angenähert. Hier wird fast ausschließlich Elektronik verwendet, die Parameter werden durch elektrische Spannungen bzw. Ströme repräsentiert werden.
- Analogrechner wurden mittlerweile komplett von Digitalrechnern abgelöst.
- **Digitalrechner** unterscheiden sich prinzipiell dadurch, dass Zahlen nicht als physikalische Größen, sondern in diskreter Form dargestellt werden.
- Wir sprechen heute in der Regel von Digitalrechnern. Elektrische Signale werden zur Repräsentation von Daten in binärer Darstellung verwendet. Alle Daten werden in den beiden Zuständen „Spannung (bzw. Strom) vorhanden“ und „Spannung (bzw. Strom) nicht vorhanden“ codiert, wofür man üblicherweise „1“ und „0“ schreibt.
- Mithilfe der binären Arithmetik lassen sich die vier Grundrechenarten in einem Rechenwerk, das Teil eines jeden Computers ist, in einfacherer Weise ausführen als es im gewohnten Zehnersystem möglich ist.
- Alle Rechenoperationen werden durch einfache elektronische Schaltungen realisiert. Auch die Speicherung von Daten oder Programmen kann durch elektronische Bauteile mit binärer Logik bewerkstelligt werden.

Entwurfskriterien für Rechnersysteme

- Rechner-System: die Gesamtheit der Bauelemente einer digitalen Datenverarbeitungsanlage mit ihren Beziehungen untereinander und des dazugehörigen Betriebssystems.
- Die Art und Kombination der einzelnen Komponenten bestimmt die hardwareseitige Eignung des Rechnersystems für verschiedene Datenverarbeitungsbereiche:
 - Supercomputer, Mainframe, Server, Workstation
 - PC, Prozessrechner
 - Mikroprozessoren, die in technischen Produkten verbaut sind
- Leistung (Geschwindigkeit/Durchsatz), Preis/Leistung
- Ausfalltoleranz
- Erweiterbarkeit
- Benutzerfreundlichkeit
- Wartbarkeit

Von-Neumann-Architektur/1

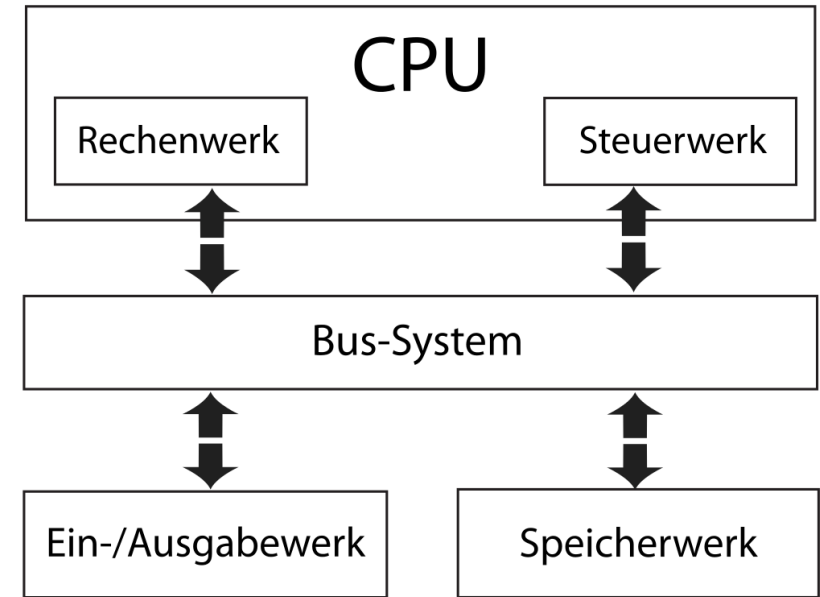


Quelle: TheFamousPeople.com

- Die Von-Neumann-Architektur (1945), heute allgemein angewandtes Prinzip, ist ein Referenzmodell zur Realisierung (EVA Prinzip: Eingabe Verarbeitung Ausgabe) universeller Rechner.
- Ein gemeinsamer Speicher enthält sowohl Computerprogrammbefehle als auch Daten.
- Von-Neumann-Architektur: <https://de.wikipedia.org/wiki/Von-Neumann-Architektur>
- Konzeption eines speicherprogrammierbaren Digitalrechners
 - Speicher,
 - Rechen-,
 - Steuer- und
 - E/A-Einheiten
- IBM 701 (1953)
 - erster wissenschaftlicher Rechner
 - arbeitete nach dem von-Neuman-Model

Von Neumann Architektur/2

- Komponenten der Von-Neumann-Systeme
 - **ALU (Arithmetic Logic Unit)** – Rechenwerk, selten auch Zentraleinheit oder Prozessor genannt, führt Rechenoperationen und logische Verknüpfungen durch.
 - **Control Unit** – Steuerwerk oder Leitwerk, interpretiert die Anweisungen eines Programms und verschaltet dementsprechend Datenquelle, -senke und notwendige ALU-Komponenten; das Steuerwerk regelt auch die Befehlsabfolge.
 - **BUS** – Bus System, dient zur Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten (Steuerbus, Adressbus, Datenbus)
 - **Memory** – (RAM/Arbeitsspeicher) Speicherwerk, **speichert sowohl Programme als auch Daten**, welche für das Rechenwerk zugänglich sind.
 - **I/O Unit** – Eingabe-/Ausgabewerk, steuert die Ein- und Ausgabe von Daten, zum Anwender (Tastatur, Bildschirm) oder zu anderen Systemen (Schnittstellen).
 - In den heutigen Computern sind die ALU und die Steuereinheit meistens zu einem Baustein verschmolzen, der so genannten CPU (Central Processing Unit, zentraler Prozessor).



Von Neumann Architektur/3

- Prinzipien der Von-Neumann-Systeme, Programmbefehle werden nach folgenden Regeln abgearbeitet:

Prinzipien des gespeicherten Programms:

- Befehle werden geladen und Steuersignale an andere Funktionseinheiten gesendet
- Befehle sind in einem RAM-Speicher mit linearem (1-dimensionalem) Adressraum abgelegt.
- Ein Befehls-Adressregister, genannt Befehlszähler oder Programmzähler, zeigt auf den nächsten auszuführenden Befehl.
- Befehle können wie Daten geändert werden.

Prinzipien der sequentiellen Programm-Ausführung (siehe auch Von-Neumann-Zyklus):

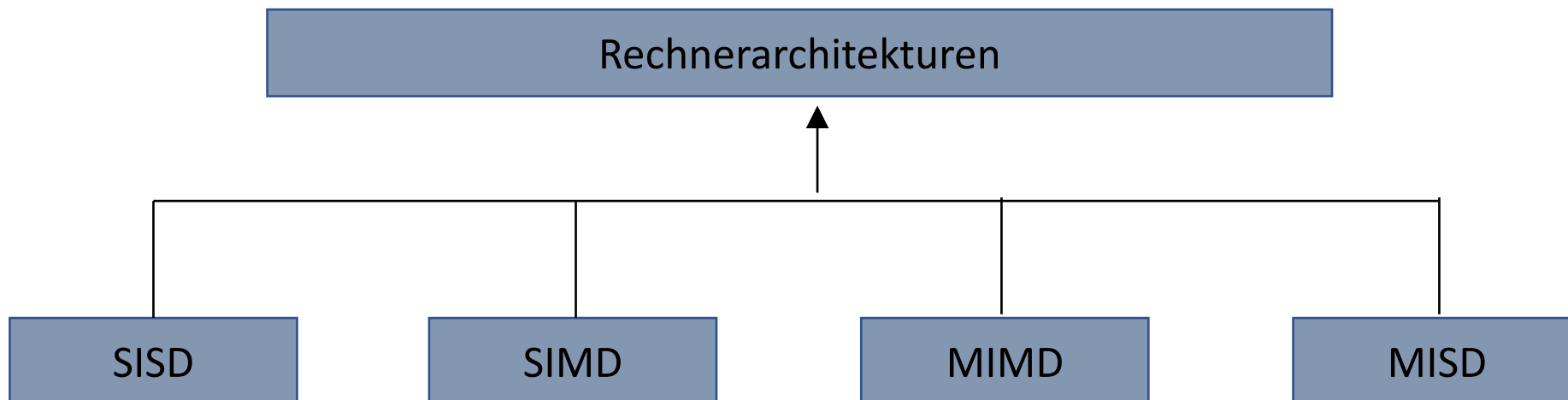
- Befehle werden aus einer Zelle des Speichers gelesen und dann ausgeführt.
- Normalerweise wird dann der Inhalt des Befehlszählers um Eins erhöht.
- Es gibt einen oder mehrere Sprung-Befehle, die den Inhalt des Befehlszählers um einen anderen Wert als +1 verändern.
- Es gibt einen oder mehrere Verzweigungs-Befehle, die in Abhängigkeit vom Wert eines Entscheidungs-Bit den Befehlszähler um Eins erhöhen oder einen Sprung-Befehl ausführen.
- Wesentlicher Vorteil: Aus der Sicht des Programmierers ist ein einfacher, deterministischer Programmablauf garantiert.

Von Neumann Architektur/4

- Der von-Neumann-Zyklus bezeichnet einen Prozess bei der Befehlsverarbeitung in einem klassischen Von-Neumann-Rechner. Die Teilschritte:
 1. FETCH – *Befehlsabruf*: Aus dem Speicher wird der nächste zu bearbeitende Befehl entsprechend der Adresse im Befehlszähler in das Befehlsregister geladen und der Befehlszähler wird um die Länge des Befehls erhöht.
 2. DECODE – *Dekodierung*: Der Befehl wird durch das Steuerwerk in Schaltinstruktionen für das Rechenwerk aufgelöst.
 3. FETCH OPERANDS – *Operandenabruf*: Aus dem Speicher werden nun die Operanden geholt. Das sind die Werte, die durch den Befehl verändert werden sollen oder die als Parameter verwendet werden.
 4. EXECUTE – *Befehlsausführung*: Eine arithmetische oder logische Operation wird vom Rechenwerk ausgeführt. Bei Sprungbefehlen und erfüllter Sprungbedingung wird an dieser Stelle der Befehlszähler verändert.
 5. WRITE BACK – *Rückschreiben des Resultats*: Sofern notwendig, wird das Ergebnis der Berechnung in den Speicher zurückgeschrieben.

Rechnerstrukturen nach Flynn (1966) /1

- Weiterentwicklungen der von-Neumann-Architektur mit dem Ziel, die Leistung des jeweiligen Prozessors in irgendeiner Weise zu verbessern: neue Rechner-Strukturen, die durch Parallelisierung der Verarbeitung entstehen.
- Eine Rechnerarchitektur beschreibt, aus welchen funktionalen Einheiten ein Prozessor/Rechner aufgebaut ist, in welcher Anzahl diese Komponenten vorhanden sind und wie diese verbunden sind.
- Die Architekturen werden nach der Anzahl der vorhandenen Befehls- (instruction streams) und Datenströme (data streams) unterteilt (Ausführungsparallelität oder Datenparallelität)
- Eine verbreitete, aber grobe Klassifikation bietet die Flynn-Notation:



Rechnerstrukturen nach Flynn/2

- Eine **Single-Instruction-Single-Data**-Architektur (SISD) beschreibt einen Rechner, bei dem in einem Bearbeitungsschritt jeweils nur eine Anweisung (single instruction) mit einem einfachen Operanden (single data) ausgeführt werden kann.
- Eine **Single-Instruction-Multiple**-Data-Architektur (SIMD) beschreibt einen Rechner, bei dem ein einzelner Befehl auf eine Vielzahl von Operanden angewendet werden kann. Man spricht hierbei auch von einem Vektorrechner (array processor).
- Eine **Multiple-Instruction-Multiple**-Data-Architektur): ein Rechnersystem, bei dem gleichzeitig mehrere Anweisungen (mehrere Befehlsströme) mit unterschiedlichen Daten (mehrere Datenströme) ausgeführt werden können (Multithreading, Multicore)
- Eine **Multiple-Instruction-Single-Data**-Architektur (Abkürzung: MISD-Architektur) beschreibt ein Rechnersystem, bei dem mehrere Operationen gleichzeitig mit denselben Daten ausgeführt werden können (in der Praxis kaum existent)

Moderne Prozessortypen

- Moderne Prozessoren enthalten SIMD und MIMD Konzepte mit Optimierungen:
 - Große Wortbreite (64-Bit) Wortbreite, Fließbandverarbeitung (Pipelining) Ein Befehl wird in mehrere einzelne Schritte zerlegt. Mehrere Teilschritte werden parallel abgearbeitet.
 - Hardwareseitiges Multithreading. Die CPU erhält mehr als einen Befehlszähler und die Registerverwaltung wird derart erweitert, dass die CPU hardwareseitig mehrere Befehlsströme (Threads) gleichzeitig ausführen kann. Die eine physische CPU stellt sich für das Betriebssystem wie mehrere logische CPUs dar.
 - Multi-Core und Many-Core Architekturen. In einem Prozessor befinden sich mehrere vollständige CPU (Kerne). Damit können auf mehreren Kernen mehrere Befehlsströme parallel ausgeführt werden. Eine CPU kann dabei mehrere identische Kerne enthalten, beispielsweise x86-Kerne oder auch spezialisierte Kerne, beispielsweise einen Grafikprozessor.
 - Cluster, Multiprozessor. Mehrere Prozessoren in größeren Computern und mehrere Computer lassen sich zu Computer- Clustern integrieren. Bei gemeinsamen Speicher spricht man von Multiprozessor-Systemen.

Befehlssätze

- Jede CPU hat einen Befehlssatz. Das sind die Maschinenbefehle, die sie ausführen kann.
- Die Art und Zusammenstellung der Befehle wird als Instruction Set Architecture, bezeichnet.
- Beispielsweise bedeutet eine x86-CPU, dass der gleiche Befehlssatz ausgeführt werden kann wie der 8086-Prozessor aus dem Jahr 1978.
- Prozessoren mit x86-Befehlssatz finden sich in den meisten Desktop-Computern und Laptops.
- ARM (Advanced RISC Machines) ist ein zweiter bekannter Befehlssatz. ARM stellt keine eigene Hardware her, sondern vergibt unterschiedliche Lizenzen an Halbleiter-Entwicklungsunternehmen und Halbleiterhersteller.
- Prozessoren mit ARM-Architektur finden sich in den meisten Smartphones und Tablet-Computern (geringe Leistungsaufnahme).
- Die Optimierbarkeit der Hardware hängt mit den Eigenschaften des Befehlssatzes eng zusammen:
 - Je einfacher der Befehlssatz einer CPU ist, desto leichter kann dessen Ausführung optimiert werden.
 - Komplexe Befehle haben in der Regel komplexe Hardware zur Folge und lassen sich demzufolge
 - schwieriger optimieren.

Multi-Core

- Hardwareprobleme bei CPU Chips: physikalische Grenze, Stromverbrauch und Abwärme (> 4GHz). Andererseits höhere Packungsdichte möglich.
- Multi-Core Architekturen (ab 2005). In einem Prozessor befinden sich mehrere vollständige CPUs (Kerne). Damit können mehrere Befehlsströme parallel ausgeführt werden. Eine CPU kann dabei mehrere identische Kerne enthalten, oder auch spezialisierte Kerne, beispielsweise einen Grafikprozessor.
- Erhöhter Durchsatz, keine Steigerung der Single-Thread Performance. Die tatsächliche Leistungssteigerung hängt vor allem davon ab, wie gut die Software parallelisiert ist.
- 8 Core CPUs sind ‚normal‘, auch in Smartphones, neuere CPUs haben bis zu 32 Cores.
- Multiprozessorsysteme sind Computer, die zwei oder mehr Prozessoren haben. Sie werden meist als Server oder Hochleistungs-Arbeitsplatzrechner genutzt.

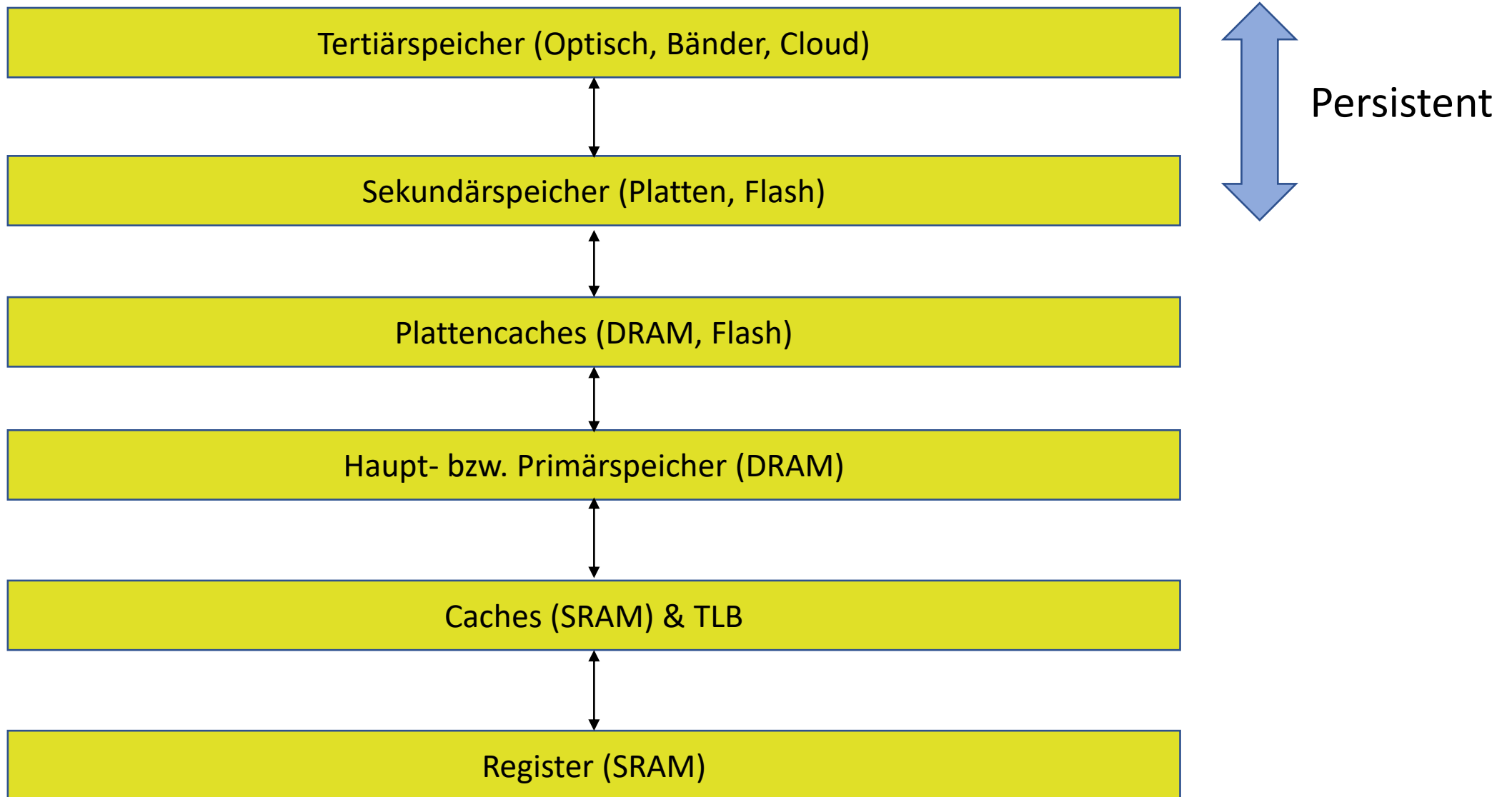
Speicherbausteine

- Ein Schreib-Lese-Speicher (engl.: read-write memory) ist ein Speicher, der gelesen und beschrieben werden kann. Im Gegensatz dazu ist ein Festwertspeicher (engl.: read only memory, Abkürzung: ROM) ein Speicher, der *während des normalen Betriebs nur gelesen werden kann*.
- *Die gespeicherte* Information ist entweder unveränderbar oder bedarf einer speziellen Operation zur Aktualisierung.
- Ein Direktzugriffsspeicher (engl.: random-access memory, Abkürzung: RAM) ist ein Speicher, bei dem jede einzelne Speicherstelle über ihre fest zugeordnete Adresse gelesen oder beschrieben werden kann. Die Zugriffszeit ist für alle Speicherstellen in etwa gleich lang.
- Ein flüchtiger Speicher (engl.: volatile memory) ist ein Schreib-Lese-Speicher, der bei Ausfall der Versorgungsspannung die gespeicherte Information verliert.
- Ein nicht flüchtiger Speicher (engl.: non-volatile memory) ist ein Speicher, dessen Inhalt auch ohne Versorgungsspannung erhalten bleibt.

Stufen der Speicherhierarchie, Begriffserklärungen

- SRAM: Static random-access memory bezeichnet einen elektronischen und flüchtigen Speicherbaustein, d. h., die gespeicherte Information geht nur bei Abschaltung der Betriebsspannung verloren. SRAM brauchen relativ viel Platz, oft als Cache eingesetzt.
- DRAM: Dynamic Random Access Memory (DRAM), ein elektronischer Speicherbaustein mit wahlfreiem Zugriff (Random-Access Memory, RAM), mit hoher Datendichte verbunden mit sehr geringen Herstellungskosten. DRAMs müssen zyklisch aufgefrischt werden, in Abständen von einigen zig Millisekunden. Sie werden eingesetzt in Computern und in anderen elektronischen Geräten wie zum Beispiel Druckern.
- TLB: Translation Lookaside Buffer bezeichnet eine funktionale Einheit der Speicherverwaltung von selbst nachladenden Speicherverwaltungseinheiten (MMU).
- Flash-Speicher (Flash-EEPROM) sind digitale Speicherbausteine für eine nichtflüchtige Speicherung ohne Erhaltungs-Energieverbrauch.

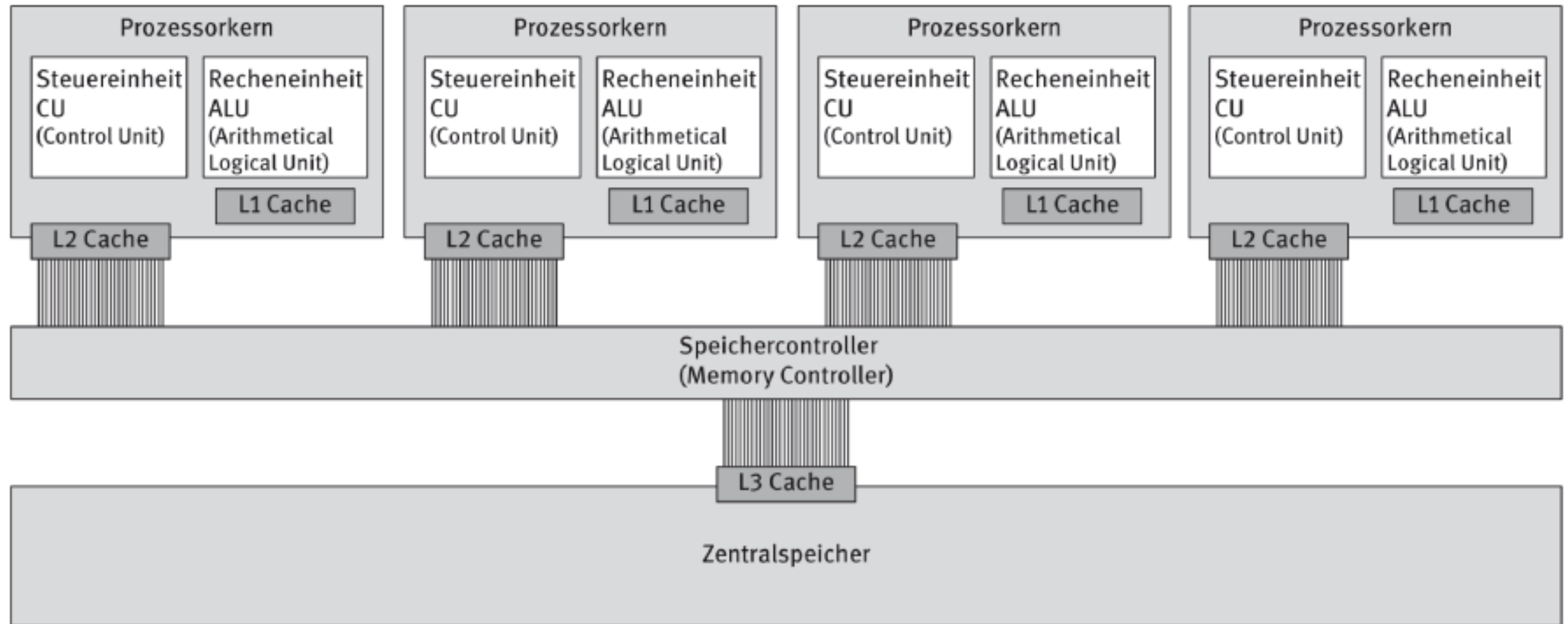
Stufen der Speicherhierarchie



Cache

- Cache bezeichnet einen schnellen Pufferspeicher, der (wiederholte) Zugriffe auf ein langsames Hintergrundmedium oder aufwendige Neuberechnungen zu vermeiden hilft.
- Daten, die bereits einmal geladen oder generiert wurden, verbleiben im Cache, so dass sie bei späterem Bedarf schneller aus diesem abgerufen werden können.
- Eine andere Variante ist read-ahead.
- Ziele beim Einsatz eines Caches sind eine Verringerung der Zugriffszeit und/oder eine Verringerung der Anzahl der Zugriffe auf ein langsames Hintergrundmedium, am Ende bessere Performance.
- Caches können als Hardwarestruktur (beispielsweise als Hauptspeicherchips) oder Softwarestruktur (beispielsweise als temporäre Dateien oder reservierter Speicherplatz) ausgebildet sein.
- Hardware: aktuelle Prozessoren (z. B. AMD Ryzen, Intel-Core-i-Serie, IBM Power 10) besitzen überwiegend drei Cache-Level: L1, L2 und L3.
- Software: z.B. Festplattencache, Browser-Cache, Webserver, Datenbanken

Hardware: Cache-Hierarchie (Vierkernprozessor)



Cachehierarchien

- Meist werden mehrere Caches verwenden – z. B. einen kleinen schnellen und einen deutlich größeren, jedoch etwas langsameren Cache.
- Auf Hardwareebene existieren meist mehrere Caches, sie bilden eine *Cachehierarchie*, als Teil der Speicherhierarchie. Die einzelnen Caches werden nach ihrer Hierarchieebene (engl. *level*) durchnummeriert, z.B. Level-1 bis Level-3.
- Der Cache mit der schnellsten Zugriffszeit wird als erstes durchsucht. Enthält der L1-Cache die Daten nicht, wird der (meist etwas langsamere, aber größere) L2-Cache durchsucht, usw.
- Die Daten werden entweder in einer Cacheebene gefunden (ein „Cache Hit“) oder alle Caches wurden ohne Erfolg durchsucht (ein „Cache Miss“). In letzterem Fall muss auf den langsamen Hauptspeicher zugegriffen werden.
- Quantitative Maßzahlen für die Bewertung der Effizienz eines Caches sind:
 - Hit Rate und Miss Rate
- Cache Verdrängungsstrategien:
 - FIFO (First In First Out), LRU (Least Recently Used), LFU (Least Frequently Used)

Software Cache

- Ein Software- Cache ist wie der Hardware Cache: Daten werden in einem relativ kleinen, dafür aber schnellen, Speicherbereich zwischengelagert um die Zugriffszeiten zu minimieren.
- Der Software-Cache hält Arbeitsergebnisse aus "teuren" (= langsamen) Teilprozessen der Software, z.B. Ergebnisse aus komplexen Berechnungen oder umfangreiche Abfragen einer Datenbank. Statt nun den langsamen Prozess bei jedem Zugriff erneut auszuführen, wird das Ergebnis nach der ersten Ermittlung im Cache abgelegt und die folgenden Zugriffe bekommen bis zur nächsten Aktualisierung des Caches nur noch dieses übermittelt.
- Software- Caching kann sehr effizient sein, muss aber wohldurchdacht werden. Besonders interessant ist die Frage, wie lange die Ergebnisse im Cache gültig sind und, daraus folgend, wann sie aktualisiert werden müssen um das Ergebnis nicht zu verfälschen.
- Beispiele:
 - Web Browser
 - Dateisystem
 - Datenbank
 - Speichersysteme
 - ...

Einschub: Aussagen zu SAP HANA und Cache

- Die Caches (L1, L2, L3), die in der Hardware verbaut sind, werden transparent für HANA benutzt.
- HANA Software Caches (aus help.sap.com):
 - Caching is used widely in SAP HANA as a strategy to improve performance by re-using queried data rather than re-reading and processing the data every time it is requested.
 - Static result cache and dynamic result cache are applications of this.
 - The static result cache is created for a specific view and remains valid for the duration of a user-defined retention period.
 - The dynamic result cache is similar but does not have a retention period; it guarantees transactional consistency by maintaining delta records of all changes applied to the underlying table.
 - The static result cache and the dynamic result cache are configurable applications of caching query results

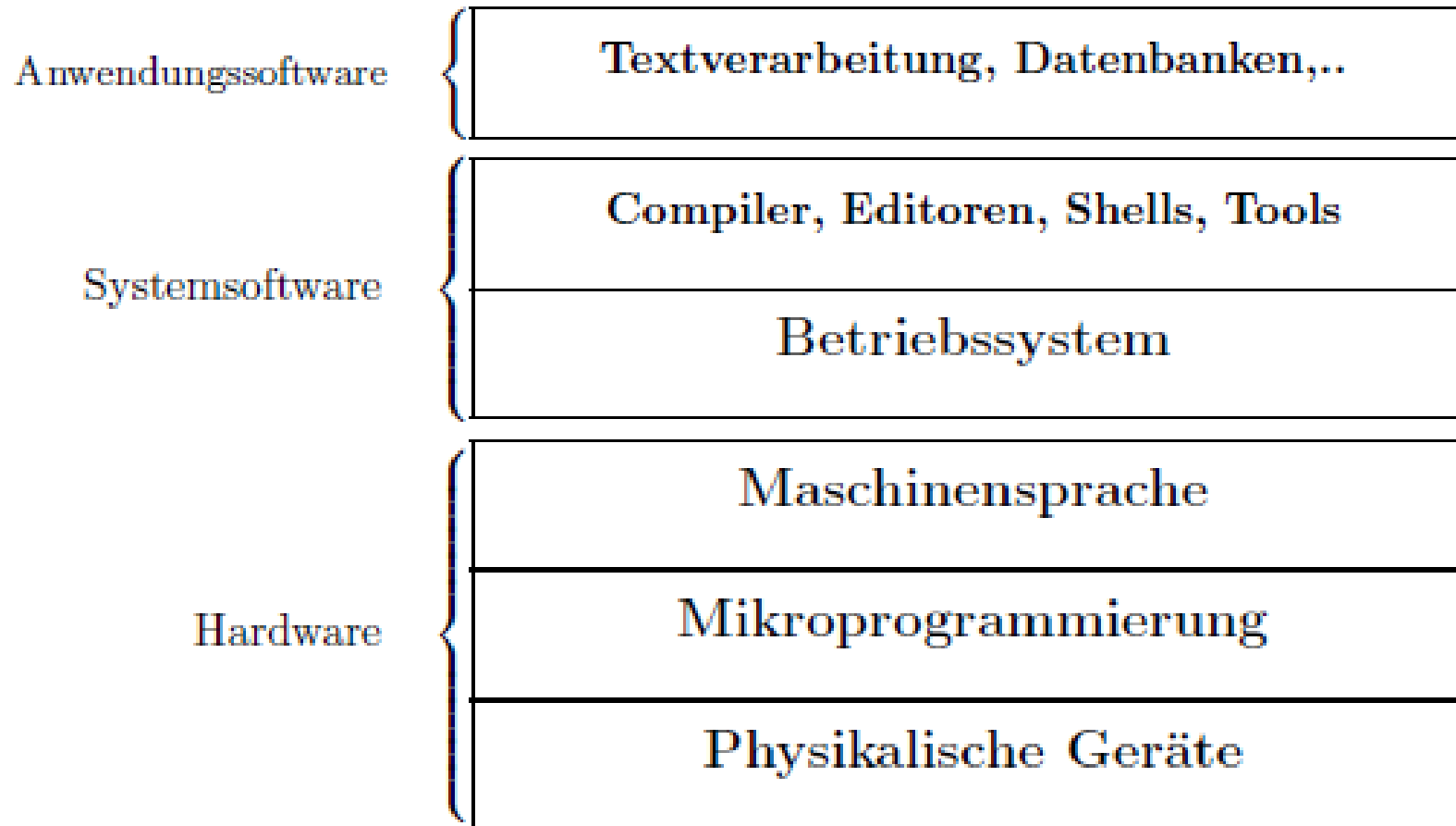
CISC – RISC Architekturen/1

- Mikroprozessoren sollen universell für verschiedene Anwendungszwecke geeignet sein. Hierfür waren viele unterschiedliche, flexible Maschinenbefehle notwendig.
- Diese umfangreicheren Maschinenbefehle konnten/können nicht komplett als Hardware abgebildet werden. Alternativ erhalten die CPUs interne Mikro-Maschinenbefehle über welche die komplexeren außen sichtbaren Befehle der CPU in Form von Mikroprogrammen implementiert wurden.
- Der Aufruf eines Maschinenbefehls führt dazu, dass ein internes Mikroprogramm auf der CPU ausgeführt wird. Diese Architektur ist sehr flexibel, denn die internen Mikroprogramme lassen sich leichter anpassen, korrigieren oder austauschen.
- Vorteil: Prozessoren, die intern sehr verschieden strukturiert sind, können nach außen denselben Befehlssatz anbieten. Rechnern mit unterschiedlicher Hardware können trotzdem dieselben Programme ausgeführt werden.
- Nachteile sind jedoch die schwankenden Ausführungszeiten der verschiedenen Befehle. Denn diese sind vom Mikroprogramm abhängig: ein Befehl kann mehrere Taktzyklen brauchen.
- Prozessoren mit vielen verschiedenen Befehlen und Befehlsvarianten werden auch als CISC Prozessoren bezeichnet. CISC steht hierbei für **Complex Instruction Set Computer**.

CISC – RISC Architekturen/2

- **RISC: Reduced Instruction Set Computer:** Rechner mit reduziertem Befehlssatz ist eine Designphilosophie für Computerprozessoren (1980).
- Verzicht auf einen komplexen, komfortablen Befehlssatz hin zu einfach zu dekodierenden und schnell auszuführenden Befehlen (meist nur 1 Takt). Dies ermöglichte zudem höhere Taktfrequenzen.
- RISC Prozessoren haben eine Reihe von gemeinsamen Eigenschaften, das sind:
 - Jeder Befehl ist vollständig in Hardware ausgeführt. Auf Mikroprogramme wird verzichtet. Damit kann die Zahl der benötigten Taktzyklen für den Befehl gesenkt werden.
 - Viele Register: Zugriffe auf den Hauptspeicher werden reduziert.
 - Die über diese Vereinfachungen erreichte einfachere Struktur ermöglicht den Bau effizienterer Compiler und weiterer Hardware-Optimierungen.
- Kommerziell erfolgreich wurden RISC-Prozessoren wie die SPARC- und POWER-Prozessoren, sowie die ARM-Prozessoren, die sich derzeit in fast jedem Smartphone finden.
- In der heutigen Zeit hat die Unterscheidung in RISC und CISC weitgehend an Bedeutung verloren, z.B. der Core i7 von Intel ist Mischform zwischen RISC und CISC. Ein RISC-Kern wird um Mikroprogramme für die komplexeren Befehle ergänzt, so dass die Grenze zwischen RISC und CISC fließend ist.

Struktureller Aufbau eines Rechensystems, bestehend aus Hardware, Systemsoftware und Anwendungsprogrammen



Verfügbarkeit - Hochverfügbarkeit

- Wesentliche Merkmale
 - Kein Single Point-of-Failure (SPOF) innerhalb eines Systems oder den Komponenten durch Redundanz.
 - Failover/failback sind automatisiert.
 - Reduzierte und eliminierte Downtime durch redundante Komponenten
 - Systemverfügbarkeit wird reduziert während geplanter und ungeplanter Wartung
 - Software basiert, z.B. Cluster u.a.
 - Hardware basiert:
 - Redundante Power Supplies, redundante Lüfter
 - Redundante Server und Disk Arrays
 - Redundante Speichersysteme bieten Schutz vor einem Fehler einer Platte oder eines Controllers
 - Redundanter Speicher schützt falls eine Memory Bank ausfällt
 - Error-correcting code (ECC) Speicher erkennt und korrigiert Single-bit Fehler
 - Redundant Bit Steering nutzt unbenutzte Bits in jedem Speicher DIMM (hot spare bits)
 - Redundante Netzwerk Karten
 - Power-on Monitoring ,während des Power on Tests (POST) kann der Server fehlerhafte Startup Bedingungen erkennen

Schichten eines Rechensystems

