

# Kapitel 3

## Aufbau von digitalen Rechnern



September 2017

TINF – Technische Informatik  
Dr. Werner Birkelbach-Baumgartner

1

### Kapitel 3

### Aufbau digitaler Rechner

#### Grundlegendes

Der Begriff ‚Hardware‘ ist der Oberbegriff für alle materiellen Komponenten eines Computersystems (siehe Definition); diese werden in den folgenden Kapiteln besprochen.

Ein (digitaler) Rechner besteht aus allen jenen **Komponenten**, die **entsprechend** dem EVA-Prinzip der Datenverarbeitung notwendig sind;  
das sind die **Funktionseinheiten**

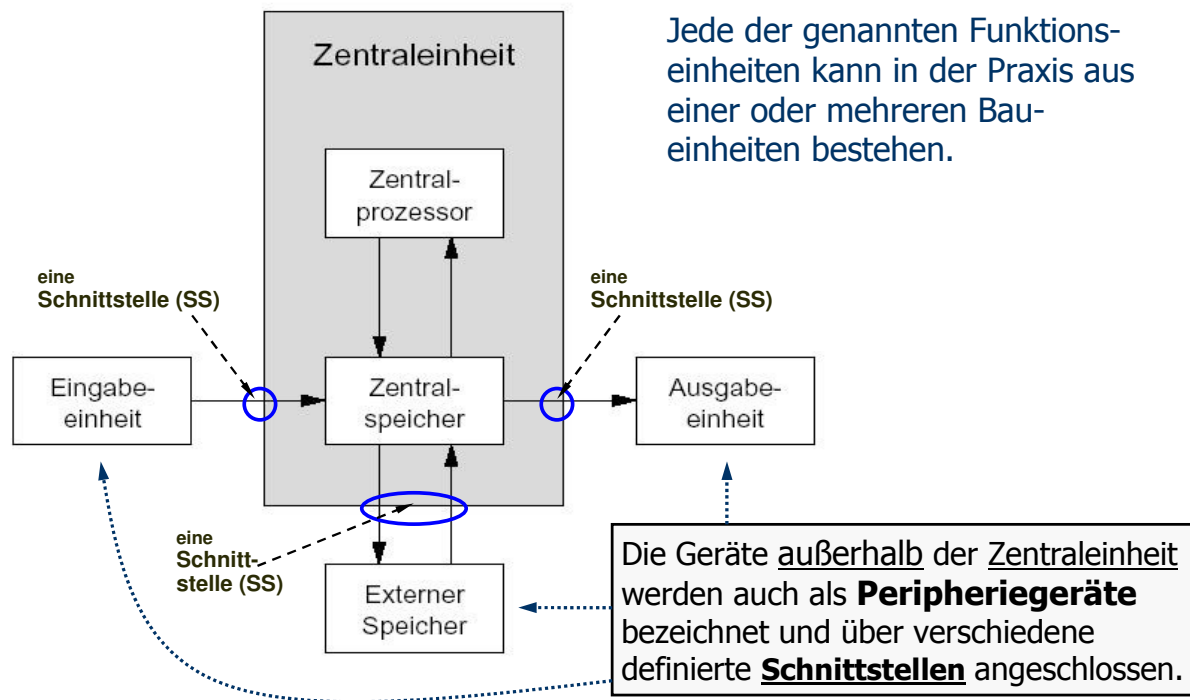
- durch die Information (von außen) aufgenommen und in Daten umgewandelt werden können --> **Eingabeeinheiten**,
- durch die diese Daten verarbeitet und aufbewahrt werden können -->  
--> **Zentraleinheit** sowie **externe Speicher** und
- durch die verarbeitete oder gespeicherte Daten wieder in Information umgewandelt und (nach außen) abgegeben werden können -->  
--> **Ausgabeeinheiten** .

September 2017

TINF – Technische Informatik  
Dr. Werner Birkelbach-Baumgartner

2

## Funktionseinheiten eines Rechners



## Funktionseinheiten eines Rechners

- Die **Zentraleinheit** (engl.: **Central Unit**) ist die Funktionseinheit innerhalb eines Rechners, die einen oder mehrere Zentralprozessoren und den Zentralspeicher umfasst.

Der **Zentralprozessor** (engl.: **Central Processing Unit - CPU**) steuert entsprechend den jeweiligen Programmen den Gesamtablauf der Datenverarbeitung, koordiniert die Arbeitsschritte der beteiligten Funktionseinheiten und führt Rechenoperationen aus;

parallel dazu werden

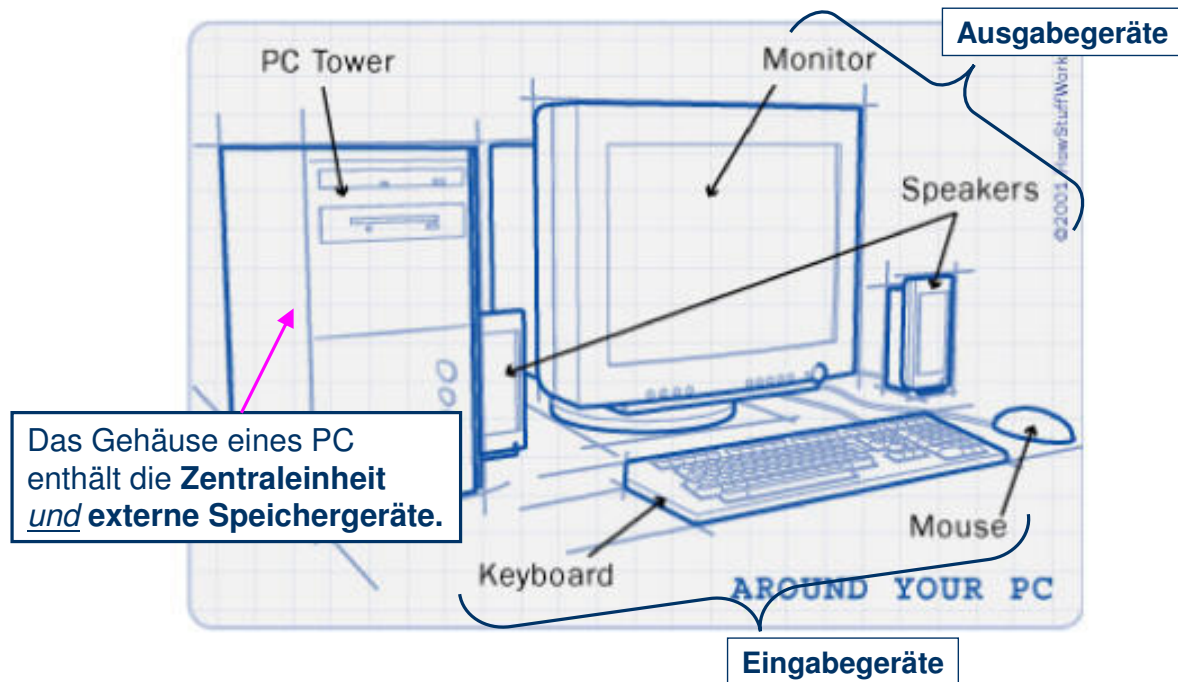
- alle **Eingabe-, Ausgabe- und externen Speichergeräte** gesteuert.

In der technischen Praxis wird die Zentraleinheit bei Bedarf durch zusätzliche **Ein-/Ausgabeprozessoren** unterstützt, die die Kommunikation und den Datenverkehr mit Peripheriegeräten steuern.

- Der **Zentralspeicher** (engl.: **Main Memory**) enthält die auszuführenden Programme und die damit zu verarbeitenden Daten sowie die Ergebnisse dieser Datenverarbeitung.

## Funktionseinheiten eines Rechners

→ dargestellt am Beispiel eines PC (Personal Computer):



September 2017

TINF – Technische Informatik  
Dr. Werner Birkelbach-Baumgartner

5

## Kapitel 3 Aufbau digitaler Rechner

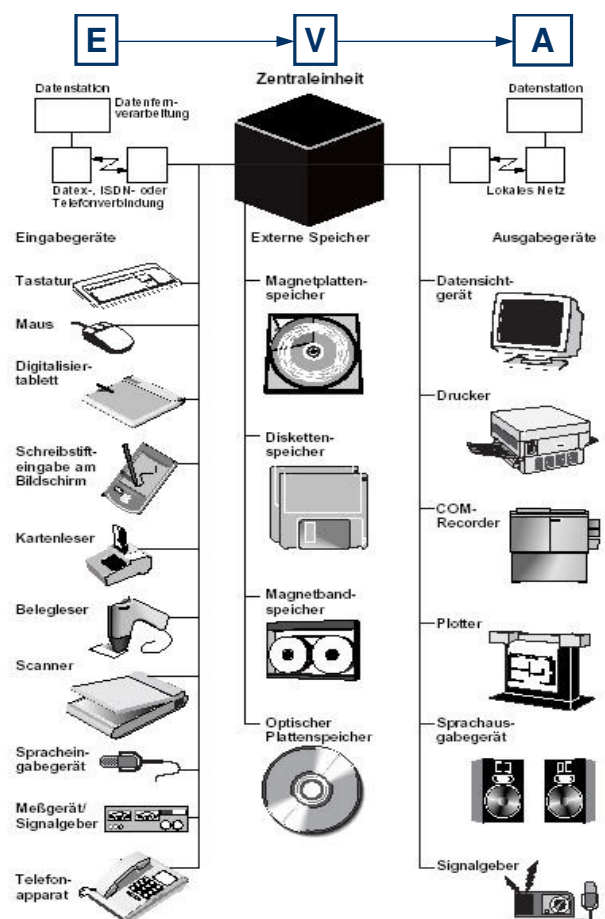
### Funktionseinheiten eines Rechners → Übersichtsdarstellung

Alle Funktionseinheiten und Komponenten sind durch eine oder mehrere parallele Leitungen miteinander verbunden, über die die Daten und Programmbefehle sowie die Adress- und Steueranweisungen mittels elektrischer oder optischer Signale übertragen werden.

Dabei kann es sich um spezielle einzelne Leitungen zwischen und innerhalb der vorhandenen Funktionseinheiten handeln oder es sind Verbindungssysteme vorhanden, die von mehreren Einheiten gemeinsam genutzt werden; das sind die verschiedenen

### Bussysteme

m.a.W.: ein *Bussystem* ist die Gesamtheit aller Adress-, Daten- und Steuerkanäle in einer Funktionseinheit mit genormten Verbindungsstellen - m.a.W.: Schnittstellen - zu anderen Komponenten des Computersystems.



September 2017

TINF – Technische Informatik  
Dr. Werner Birkelbach-Baumgartner

6

## Komponenten der Zentraleinheit

Eine *Zentraleinheit* besteht neben dem/den

- Prozessor/en und dem
- Zentralspeicher (= Hauptspeicher = Arbeitsspeicher) noch aus einer
- Bussteuerungseinheit, dem sogenannten ‚Chipsatz‘ (engl.: chipset) und der
- Stromversorgungseinheit (→ das (sogen.) Netzteil (engl.: Power Supply) erzeugt die für den Betrieb der verschiedenen Rechnerkomponenten notwendigen Gleichspannungen) und
- Kühlvorrichtungen (Lüfter, Kühlkörper und/oder einem eigenen Kühlgerät, um die beim Betrieb entstehende [unerwünschte Verlust-]Wärme abzutransportieren, die durch den elektrischen Widerstand der verwendeten Bauteile entsteht).

## Kapitel 3

## Aufbau digitaler Rechner

### Prozessor

Die am häufigsten eingesetzte **Rechnerarchitektur** basiert auf dem von John von Neumann entwickelten Konzept, dass das Programm, das den Rechner steuert, in den (Haupt)Speicher geladen wird und damit austauschbar ist.

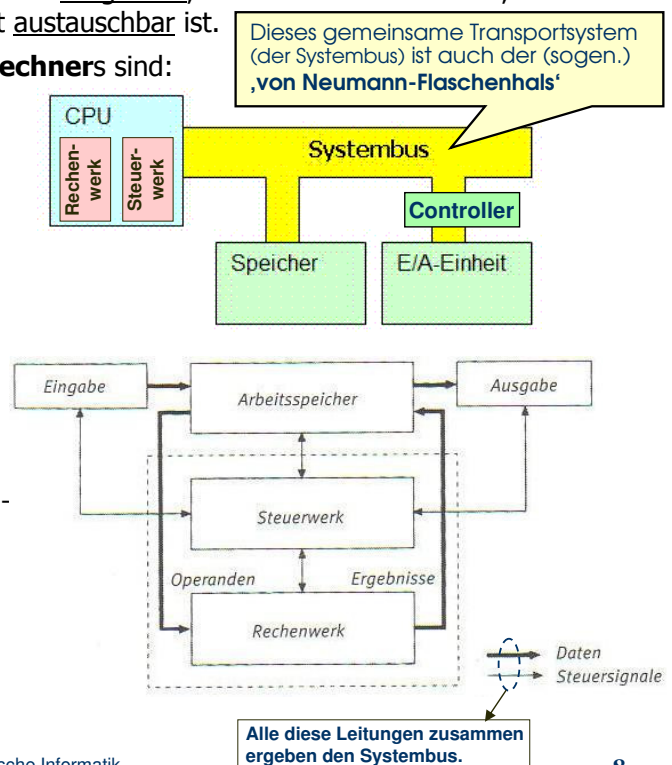
Die Hauptbestandteile eines **von Neumann-Rechners** sind:

- Steuerwerk (Taktgeber und Befehlszähler)
- Rechenwerk (arithm. und log. Operationen)
- Speicher
- E/A-(I/O-)Einheit
- Bussystem (Systembus)

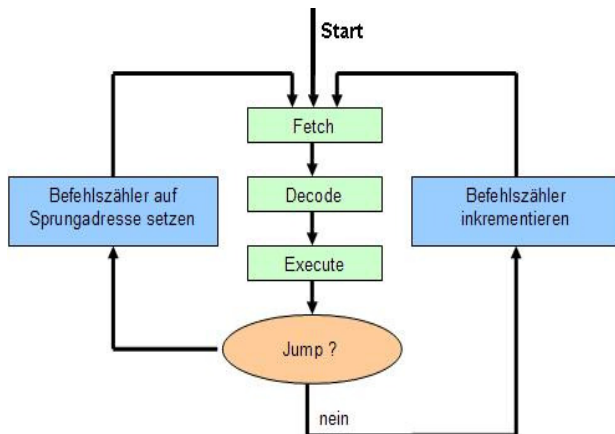
Diese **Architektur des programmgesteuerten Rechners** ist das Konzept eines einzelnen, direkt mit dem Speicher verbundenen zentralen Prozessors, in dem auch das auszuführende Programm gespeichert ist.

Die Prozesseinheit holt die gespeicherten Maschinenbefehle des Programms aus dem Hauptspeicher ab, entschlüsselt sie und führt die geforderten Aufgaben Schritt für Schritt aus.

Die Anordnung der Befehle ist sequentiell (Programmierung in Befehlsketten); Daten und Programm werden gemeinsam im zentralen Speicher abgelegt.



Die zentrale **Befehlsschleife** eines Rechners nach der von-Neumann-Architektur:



Die Interpretation und Ausführung eines Maschinenbefehls erfolgt in folgenden Phasen:

- Holen (des nächsten Maschinenbefehls) Fetch
- Dekodieren (des Maschinenbefehls - inklusive Operandenadressen berechnen) Decode
- Daten /bzw.: die Operanden holen Execute
- Ausführen des Befehls / dieser Operation

Jede dieser Phasen benötigt an Ausführungszeit mindestens einen Taktzyklus. Ein Taktzyklus ist der zeitlich kleinstmögliche Arbeitsschritt im Prozessor. Somit benötigt ein Maschinenbefehl im Allgemeinen mehr als einen Taktzyklus an Ausführungszeit ⇒

⇒ man spricht hier auch vom *„instruction cycle“* (Fetch- und Decode-Phase) und vom *„execution cycle“* (Execute-Phase), die bei Programmausführung fortwährend hintereinander durchlaufen werden.

Die **Steigerung der Leistungsfähigkeit** eines Prozessors (Stichwort: „von Neumann-Flaschenhals“) kann auf mehreren Ebenen ansetzen:

- Über die Architektur: Busbreite, Caches, Pipelines, Superskalarität, Spekulative Ausführung
- Über bestmögliche Programmausführung: Software- und Compileroptimierung
- Über die Siliziumbasis: Erhöhung der Transistordichte und der Taktraten

### Prozessor → Aufgaben der Funktionsblöcke einer CPU

Ein Prozessor besteht (im wesentlichen) aus einem **Steuerwerk**, einem **Rechenwerk** und einem **internen Pufferspeicher** (engl.: Cache).

Das **Steuerwerk**

- fordert Maschinenbefehle und Daten aus dem Arbeitsspeicher an,
- es entschlüsselt die in Maschinensprache vorliegenden Befehle (*„microprogram“*) und gibt die für ihre Ausführung erforderlichen Signale ab,
- sorgt für die Durchführung eines dekodierten Maschinenbefehls,
- steuert den Programmzähler .

Das **Rechenwerk**

verarbeitet die Daten (die jeweiligen Operanden) gemäß den dekodierten Maschinenbefehlen – das sind in erster Linie arithmetische und logische Berechnungen sowie Transportaufgaben (z.B. Übertragen der Daten vom und zum Hauptspeicher).

Die vom Steuerwerk abgegebenen Signale lösen dazu die für die Recheneinheiten (ALU, FPU) vorgegebenen *Maschinenoperationen* aus.

Der **Taktgenerator**

erzeugt die verschiedenen Taktfrequenzen (engl.: clock rate), die den zeitlichen Ablauf der Arbeitsschritte im Prozessor steuern.

### Prozessor → Schematische Darstellung der Funktionseinheiten

Je nach Bauart versteht ein Rechner zwischen 50 und 350 **Maschinenbefehle** – das sind die elementaren Instruktionen eines Prozessors - das (sogen.) Mikroprogramm einer CPU, das durch die jeweilige Hardware fix vorgegeben ist.

Maschinenbefehle (engl.: machine code, bzw. micro-code) werden eingeteilt in:

- **arithmetische** Verarbeitungsanweisungen (Addieren, Subtrahieren, ...)
- **logische** Verarbeitungsanweisungen (Vergleichen, Verknüpfen,...)
- **Transportanweisungen** (Übertragen, Verschieben,...)
- **Ein- und Ausgabeanweisungen** (Lesen, Schreiben,...)

Prinzipdarstellung **CPU-Aufbau**

### Prozessor - Funktionseinheiten des Rechenwerks

**Register** (allg.): ein Register kann eine p-stellige Binärzahl speichern.

Der Registerinhalt wird allgemein als ein Wort bezeichnet;  
die Wortlänge hat somit den Wert p .

Das *Rechenwerk* umfasst .....

Akkumulator: enthält vor der Ausführung einer Operation einen der Operanden und danach das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes;  
er ist das Register, das typischerweise die Zwischenergebnisse von Operationen aufnimmt [= akkumuliert, d.h. (zusammen)sammelt]

Datenregister: spezielle Speicherplätze in der CPU, die von der ALU und FPU für vorübergehende Datenablage verwendet werden,  
z. B. für den zweiten Operanden einer Rechenoperation

Schieberegister: dieses kann einen Binärwert bitweise nach links oder rechts verschieben oder rotieren (das überlaufende Bit wird auf die freigewordene Stelle auf der anderen Seite zurückgeführt)

ALU: arithmetical logical unit - rechnende Einheit für ganzzahlige Werte (arithmetische Operationen) und Durchführung logischer Operationen

FPU: floating point unit - Baugruppe („Co-Prozessor“) für die Berechnung von Fließkommaoperationen (Verarbeitung gebrochener Zahlenwerte)

### Prozessor - Funktionseinheiten des Steuerwerks

Das *Steuerwerk* umfasst .....

Befehlsregister/Decoder: dessen Aufgabe ist es, den nächsten Maschinenbefehl aus dem Arbeitsspeicher zu lesen und in das Befehlsregister zu transportieren;  
sodann in den Operationsteil, die Registernummer und in den Adressteil zu trennen und an die entsprechenden Decodierschaltungen sowie an die angesprochenen Register weiterzuleiten.

Steuersignalgenerator: hier werden aus dem Operationscode eines Maschinenbefehls die jeweiligen Schaltsignale für die Steuerungsaufgaben erzeugt.

Adressregister: enthält die Speicheradresse des Maschinenbefehls, der gerade verarbeitet oder ausgeführt wird oder die Adresse des nächsten zu verarbeitenden Operanden.

Befehlszähler: enthält die Speicheradresse des nächsten auszuführenden Maschinenbefehls.

Taktgenerator: Mit Hilfe eines Schwingquarzes wird über elektronische Schaltungen eine stetige Folge von Taktimpulsen erzeugt → Grundschwingung.  
Aus dieser Grundschwingung = der Grundtakt (⇒ Rechtecksignal) werden der CPU-Takt, die Bustakte und alle weiteren Taktsignale gewonnen.



## Prozessor – weitere Funktionseinheiten

Cache: ist ein kleiner, sehr schneller Zwischenspeicher, in dem Daten und Befehle abgelegt werden, die der Prozessor mit großer Wahrscheinlichkeit bei seinen nächsten Arbeitsschritten brauchen wird.

Man unterscheidet zwischen First (L1-), Second (L2-) und Third Level-(L3-) Caches. Ersterer befindet sich auf der Chipfläche der CPU selbst, letztere werden in unmittelbarer Nähe zur CPU angeordnet.

Datenbus: überträgt die Maschinenbefehle, Operanden und die Ergebniswerte der Operationen zwischen der CPU und dem Arbeitsspeicher sowie Daten und sonstige spezifische Informationen von und zu den peripheren Geräten des Computersystems.

Adressbus: überträgt die Adressen, an denen sich im Arbeitsspeicher - oder einem Peripheriegerät - die zu transportierenden Daten / Befehle befinden.

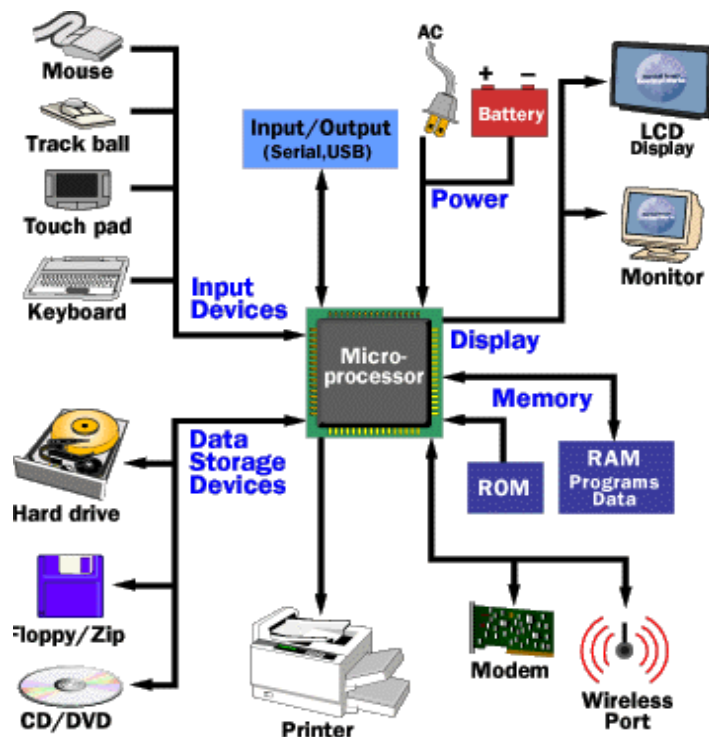
Steuerbus: überträgt die Steuersignale zwischen dem Steuerwerk und den anderen Teilsystemen des Computers, wodurch u. a. die jeweiligen Zeitpunkte, zu denen eine Komponente des Rechners Daten senden darf, festgelegt werden.

# Kapitel 3

# Aufbau digitaler Rechner

## Übersichtsdarstellung eines PC-Systems: die Funktion der CPU als zentrale

Steuerungseinheit ist hier sehr deutlich dargestellt



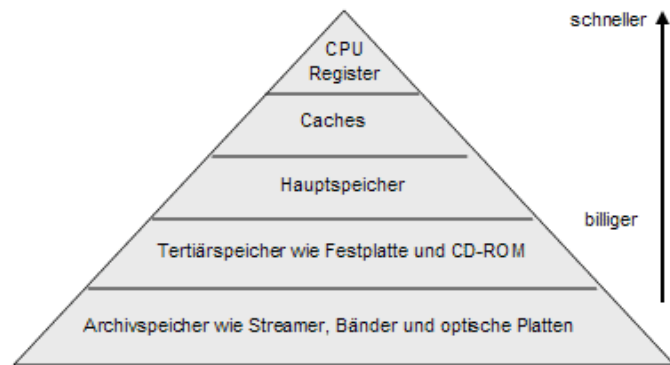


## Kapitel 3

### Speicherung

Jeder Speicher, der nicht Zentralspeicher ist, wird als externer Speicher bezeichnet. Externe Speicher arbeiten langsamer als der Hauptspeicher (d.h., mit höheren Zugriffszeiten, daher sind sie nicht im Direktzugriff der CPU), dafür sind sie billiger, speichern die digitale Information dauerhaft und verfügen über sehr große Speicherkapazitäten.

## Aufbau digitaler Rechner



Daten und Programme, die nicht ständig im direkten Zugriff des Prozessors gehalten werden müssen, werden extern gespeichert und nur bei Bedarf in den Hauptspeicher geladen (siehe: Auslagerungsdatei im Betriebssystem ‚Windows‘).

Externe Speicher werden auch als Ein- und Ausgabegeräte verwendet (z.B. zur Datensicherung).

Wegen ihrer hohen Speicherkapazitäten werden sie auch als Massenspeicher (engl.: mass storage) bezeichnet.

Externe Speicher sind z.B.: Magnetplatten, CD-ROMs, Magnetbänder .

## Kapitel 3

### Speicherung

Der **Speicher** (engl.: **storage; memory**) ist die Funktionseinheit eines Rechners, die digitale Informationen (Programme, Daten) aufnimmt, aufbewahrt und wieder abgibt.

Ein in der Zentraleinheit enthaltener Speicher wird **Zentralspeicher (interner Speicher)** genannt. Der größte interne Speicher ist der **Arbeitsspeicher**, bzw. **Hauptspeicher** (engl.: **main memory**).

Merkmale eines Zentralspeichers sind die direkte Zugriffsmöglichkeit (engl.: direct access) durch den Prozessor, die nicht dauerhafte Speicherung („volatile memory“) der digitalen Daten (RAM-Elemente) und die kurze Zugriffszeit;

da die Bauteile für einen schnellen Direktzugriffs-Speicher üblicherweise teuer sind, ist die Kapazität des Arbeitsspeichers (im Vergleich zu einem Massenspeicher) nicht groß.

**Damit der Rechner arbeiten kann, müssen sowohl die erforderlichen Daten wie auch das auszuführende Programm im Arbeitsspeicher verfügbar sein.**

**Während des Programmablaufs holt der Prozessor schrittweise die Maschinenbefehle und die Daten aus dem Arbeitsspeicher, dekodiert und interpretiert die Anweisungen und verarbeitet dementsprechend die Daten** --

> siehe auch das Blatt ‚Maschinenbefehle‘.

**Die Ergebnisse dieser Verarbeitung werden wieder vom Arbeitsspeicher aufgenommen; danach müssen sie auf einem externen Speichermedium dauerhaft abgelegt werden.**

## Kapitel 3 Aufbau digitaler Rechner

### Busstruktur

Ein Bus ist eine Anzahl paralleler Leitungen ( $\Rightarrow$  Busbreite), über die verschiedene **Informationen** (Daten, Adressen, Steuersignale) zwischen dem **Prozessor** und dem **Arbeitsspeicher** sowie den **Peripheriegeräten** ausgetauscht, d.h. übertragen werden.

Ein **Bussystem** ist somit eine Leitungsstruktur, die von allen angeschlossenen Einheiten gemeinsam genutzt wird.

Je physischer Leitung wird ein Bit transportiert.

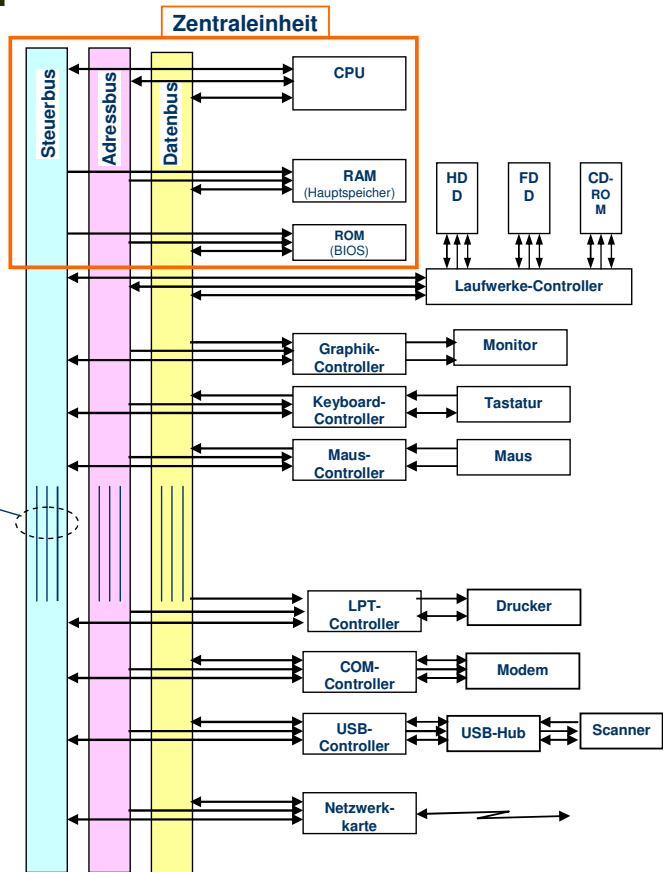
Die Anzahl der parallel geführten Leitungen ergibt die Busbreite.

Sie bestimmt mit der Bustaktrate die Arbeitsschwindigkeit des Systems:

z.B. 32 Bit Busbreite  $\rightarrow$  mit jedem Taktschritt werden somit 4 Bytes übertragen.

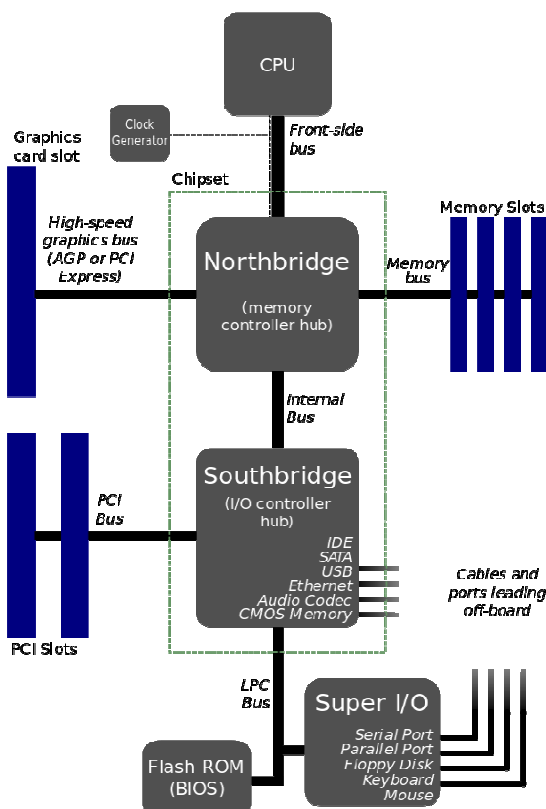
Busse gibt es in unterschiedlichen Breiten und mit unterschiedlichen *Protokollen*, die die Übertragung der Informationen steuern.

Die Leistungsfähigkeit eines Busses wird an der Anzahl von Bytes gemessen, die pro Sekunde übertragen werden können. Diese Datenrate liegt bei neueren Bussystemen im GB/s-Bereich.



## Kapitel 3

### Busstruktur - Bussteuerungseinheit: der Chipsatz (das 'Chipset')



Ein Chipsatz besteht üblicherweise aus der in den 1990er Jahren von Intel eingeführten Zwei-Brücken-Architektur, bestehend aus Northbridge und Southbridge.

Diese beiden Schaltkreisgruppen dienen zur Steuerung der einzelnen Bus-Komponenten der Hauptplatine und der peripheren Geräte sowie der Abwicklung des Datentransfers in der Zentraleinheit.

In der Regel wird der Mikrochip der Northbridge für die Realisierung von Schnittstellen größerer Bandbreite verwendet; die Southbridge integriert dagegen die langsameren Peripherieschnittstellen.

### Busstruktur - Zugangssteuerung

Der Buszugang für eine Rechnerkomponente außerhalb der Zentraleinheit wird mittels eines Controller oder Interface geregelt, dadurch können mehrere und verschiedene Peripheriegeräte gleichzeitig am selben Bus angeschlossen werden.

--> Mit dem „Zugang (Zugriff) zum Bus“ ist gemeint, wann welches Peripheriegerät mit der CPU kommunizieren, bzw. Daten austauschen darf.

Busgeschwindigkeiten und Bandbreiten (→ Datenübertragungskapazität) entwickeln sich wegen immer schneller werdender Prozessoren auch weiter;

typische Busse und Busbreiten in einem PC sind:

- |  |   |                  |
|--|---|------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>ISA</b> – Industry Standard Architecture - 8 MHz (16 Bit)</li> <li>- <b>EISA</b> – Extended Industry Standard Architecture – 8 MHz (32 Bit)</li> <li>- <b>PCI</b> – Peripheral Component Interconnect – 66 MHz (32 oder 64 Bit)</li> <li>- <b>AGP</b> – Accelerated Graphics Port – 66 MHz (32 Bit)</li> </ul> | } | <b>ältere PC</b> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>PCIe</b> – PCI-Express: serielle Punkt-zu-Punkt-Verbindung, bis 4 GHz</li> <li>- <b>USB</b> – universelles serielles Bussystem zu externen Geräten, bis 4 Gbit/s</li> </ul>  | } | <b>neuere PC</b> |

### Abwicklung des Datenflusses

Bei mittleren und großen Rechnern sind die Zentraleinheit und die Peripheriegeräte oft physisch getrennt aufgestellt.

Bei einem Personal Computer sind hingegen die Komponenten der Zentraleinheit und die Massenspeichergeräte meist in ein gemeinsames Gehäuse eingebaut.

Der Informationsverkehr mit peripheren Geräten zur Ein- und Ausgabe von Daten und Programmen wird oft durch selbständige Funktionseinheiten mit eigener CPU gesteuert, die auch als **Ein-/Ausgabeprozessoren** bezeichnet werden.

Ein Ein-/Ausgabeprozessor ist eine funktionelle Einheit in einem Rechner, die die Informationsübertragung zwischen peripheren Geräten und dem Arbeitsspeicher selbständig steuert.

Ein Ein-/Ausgabeprozessor bewirkt dadurch einen Ausgleich zwischen der sehr hohen internen Rechengeschwindigkeit der Zentraleinheit und den wesentlich langsameren Ein-, bzw. Ausgabegeschwindigkeiten der peripheren Geräte.