

# Inhaltsverzeichnis

## Grundlagen der Computertechnik

Informationen und Daten.....	10
Informationsdarstellung.....	12
Speicherangaben und Übertragungsraten .....	16
Grundlagen der Computertechnik .....	19
Computer .....	24
PC - Personal Computer .....	26
Computer-Architektur .....	32
Systembus.....	35
Motherboard / Mainboard / Hauptplatine .....	38
Chipsatz .....	40
Datenspeicher .....	42
Speicherarchitektur .....	44
Arbeitsspeicher / Hauptspeicher .....	48
Interrupt .....	51
DMA - Direct Memory Access .....	52
BIOS - Basic Input/Output System .....	53
UEFI - Unified Extensible Firmware Interface .....	56
PnP - Plug & Play .....	58
ACPI - Advanced Configuration and Power Interface .....	59
PC-Netzteile / Computer-Netzteile .....	62
PC-Tuning .....	65

## Prozessortechnik

Prozessor / CPU.....	70
Grundbegriffe Prozessor.....	72
Prozessor-Architektur.....	78
64-Bit-Prozessor .....	84
Cache .....	86
Prozessor-Kühlung .....	89
TDP - Thermal Design Power .....	93
Parallelisierung .....	94
Virtualisierung.....	98
Multi-Core / Mehrkern-Prozessoren.....	104
Turbo Boost und Turbo Core.....	108

Intel Prozessoren.....	111
Intel Atom.....	114
Intel Pentium und Celeron.....	114
Intel Core i7 / i5 / i3.....	115
Intel Core m7 / m5 / m3.....	120
Intel Xeon .....	120
AMD Prozessoren.....	121
AMD A10 / A8 / A6 / A4 .....	123
AMD FX.....	124
AMD Opteron.....	124
ARM - Advanced RISC Machines .....	124

## Halbleiterspeicher

Elektronischer Datenspeicher .....	128
ROM - Read Only Memory.....	131
RAM - Random Access Memory .....	133
DRAM - Dynamic RAM .....	134
SDRAM - Synchronous DRAM.....	136
DDR-SDRAM - Double Data Rate SDRAM .....	139
DDR2-SDRAM - Double Data Rate 2 SDRAM .....	143
DDR3-SDRAM - Double Data Rate 3 SDRAM .....	144
DDR4-SDRAM - Double Data Rate 4 SDRAM .....	145
PC/PC2/PC3/PC4-Spezifikation (JEDEC) .....	147
Flash-Speicher / Flash-Memory .....	150

## Schnittstellen

Schnittstellen .....	160
PCIe - PCI Express.....	162
Serielle Schnittstelle (RS232 / V.24 / COM).....	167
Parallele Schnittstelle (Centronics).....	169
PS/2.....	170
USB - Universal Serial Bus .....	171
USB 2.0 / HighSpeed-USB.....	179
USB 3.0 und 3.1 / SuperSpeed-USB .....	180
USB-C-Stecker .....	183
USB-PD - USB Power Delivery.....	184
IEEE 802.3 / Ethernet .....	188
Thunderbolt .....	189

VGA-Anschluss.....	191
DVI - Digital Visual Interface .....	192
HDMI - High Definition Multimedia Interface .....	193
DisplayPort .....	195
P-ATA / Ultra-ATA / EIDE .....	198
SCSI - Small Computer System Interface .....	199
SATA / Serial-ATA.....	201
SATA 6G / SATA-600.....	203
SSD-Schnittstellen.....	204
SATAe - SATA Express.....	205
RAID - Redundant Array of Independent Disk.....	208
RAID-Level 0 .....	211
RAID-Level 1 .....	211
RAID-Level 5 .....	212
RAID-Level 6 .....	213
Bluetooth (IEEE 802.15) .....	213
Bluetooth 2.0 / 2.1 .....	214
Bluetooth 3.0+HS .....	216
Bluetooth 4.0/4.1/4.2 .....	218
Wireless LAN / WLAN (IEEE 802.11).....	221

## **Datenspeicher und Komponenten**

Festplatte.....	226
SSD - Solid State Drive .....	234
SSHD - Solid-State Hybrid Drives .....	241
Partitionen / Partitionieren.....	243
CD-ROM .....	246
CD-R.....	248
CD-Brenner .....	250
DVD - Digital Versatile Disc .....	251
DVD-Brenner und DVD-Rohlinge.....	252
Beschreibbare DVD-Formate .....	253
BD - Blu-ray Disc.....	255
Blu-ray-Disc-Brenner .....	257
USB-Speicher / USB-Stick.....	258
Speicherkarten .....	259
Computer-Maus.....	260
Tastatur.....	261
Scanner .....	261

Drucker .....	265
Grafikkarten.....	270
Bildschirm / Monitor / Display .....	280
Bildschirm-Auflösung .....	283
Soundkarte .....	287

## **Stichwortverzeichnis**

# **Grundlagen der Computertechnik**

**Grundlagen**

**Computertypen**

**Computer-Architektur**

**Motherboard**

**PC-Tuning**

# Informationen und Daten

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird "Information" mit "Bedeutung" oder "Wissen" gleichgesetzt. Im Vergleich dazu sind Daten Angaben zu Sachverhalten und Vorgänge. Daten sind also Werte und Inhalte, die eine Information darstellen können.

Bei der Betrachtung von Informationen spielen Informationsträger, der Informationstransport und die Informationsdarstellung eine Rolle.

## Information ist ...

- ... Beseitigung von Unwissenheit.
- ... eine Nachricht, die beim Empfänger interpretiert wird.
- ... darstellbar als Folge von "0" und "1".
- ... über Raum und Zeit ein sich physikalisch veränderliches Signal.

Aufgrund der Menge an Wissen besteht das Bedürfnis Informationen und Daten festzuhalten und zu übermitteln. Dazu sind Strukturen festzulegen um Informationen und Daten speichern, verarbeiten und transferieren zu können.

## Daten

- Erscheinungsform: Schrift, Ton, Bild
- Repräsentation: analog oder digital
- Aufgabe: Steuerdaten, Nutzdaten, Adressdaten

## Datentypen

- Datentypen sind Festlegungen, wie Informationen in Form von Bitfolgen zu interpretieren sind.
- Elementare Datentypen: Bit, Byte, Zahlen, Zeichen, Wort, Satz (String)

## **Strukturierte Datentypen**

- Mengen, Arrays
- Listen, Matrizen
- Tabellen, Relationen
- Bäume, Grafen
- Dateien, Verzeichnisse, Dateisysteme
- Programme
- Objekte, Klassen, Methoden

## **Dateien**

Eine Datei ist eine beliebig lange Folge von Bytes, die in einem bestimmten Zusammenhang stehen. Wobei der Dateiinhalte immer interpretationswürdig ist. Dateien enthalten Programme, Text, Musik, Grafik oder beliebig andere Daten. In der Regel weisen Dateien eine formale Struktur auf. So ist es möglich, Dateien maschinell zu verarbeiten. Das bedeutet, Informationen und Daten auf einem Datenträger abzulegen, wieder einzulesen und zu verarbeiten.

Man könnte eine Datei auch als einen festgelegten Container bezeichnen, in dem Informationen und Daten strukturiert abgelegt sind.

Mit einem Programm (Software) werden Dateien erstellt und Daten darin gespeichert, um sie später wieder aufzurufen und zu verarbeiten.

Die Dateigröße gibt die Anzahl der enthaltenen Bytes an und wird deshalb in Byte, kByte, MByte, GByte oder TByte angegeben.

## **Verzeichnisse und Ordner**

Um eine gewisse Struktur und Ordnung zu schaffen, sind Dateien in Verzeichnissen und Ordner abgelegt. Wobei ein Verzeichnis nichts weiter ist, als eine Datei in der drin steht, welche Dateien diesem Verzeichnis zugeordnet sind. Ein Verzeichnis ist also nichts weiter als eine übergeordnete Struktur, obwohl die Dateien auf dem Datenträger immer noch unstrukturiert abgelegt sind.

Verzeichnisse machen es insbesondere dem Menschen einfacher große Mengen von verschiedenen Informationen zu strukturieren, um sie später wiederzufinden.

## **Dateisysteme (File System)**

Eine wichtige Aufgabe eines Betriebssystems ist die Dateiverwaltung. Das Dateisystem ist innerhalb des Betriebssystems für die Verwaltung der Datenträger und Speichermedien zuständig. Auf den Datenträgern werden Dateien abgelegt. Das Dateisystem ordnet die Dateien in Ordner bzw. Verzeichnisse und nach Dateinamen. Es verwaltet eine Liste, in der vermerkt ist, wo auf dem Datenträger welche Datei liegt.

Jedes Betriebssystem bringt eigene Dateisysteme mit. Deshalb soll die folgende Liste nur eine Auswahl der wichtigsten und gebräuchlichsten Dateisysteme sein.

- Apple: HFS, HFS+, HFSX
- Linux: ext, ext2, ext3, ext4, ReiserFS, btrfs
- Microsoft: FAT12, FAT16, FAT32, exFAT, NTFS, ReFS
- CD-ROM/DVD: ISO9660, Joliet, UDF
- Netzwerk: AFP, NFS, SMB

## **Programme**

Programme bestehen in der Regel aus Text, der aus Befehlen und Adressen besteht. Ein Compiler übersetzt diese Text-Befehle in Maschinenbefehle. Jeder Maschinenbefehl hat eine bestimmte Bit- oder Bytefolge, ähnlich wie Zeichen in einem Zeichensatz. Die entsprechende Bitfolge wird vom Prozessor ausgeführt.

## **Informationsdarstellung**

Die Darstellung von Informationen in der Informatik erfolgt durch Nullen und Einsen. Da eine Reihe von Nullen und Einsen für den Menschen nicht lesbar sind müssen digitale Informationen andere Darstellungsformen finden.

- Bit und Byte
- Bitfolgen
- Alphanumerische Codes
- Strichcodes
- Zahlensysteme



## Bit und Byte: Verarbeitungseinheiten für Informationen und Daten

Die gebräuchlichsten Verarbeitungseinheiten in der Computertechnik sind Bit und Byte. Die kleinste Maßeinheit ist das Bit und dient zur Messung von Kommunikation und Speicherkapazität. Das Wort "Bit" stammt von Claude Shannon. Es kann zwei Zustände annehmen. Zum Beispiel JA/NEIN, AN/AUS, 1/0 oder wahr/falsch.

Physikalisch wird ein Bit in Form einer elektrischen Ladung (in einem Kondensator), in Form einer elektrischen Spannung (an einem Widerstand) oder durch Magnetisierung (an einer bestimmten Stelle) dargestellt.

### Bitfolgen

Grundsätzlich bestehen Informationen und Daten aus einer Aneinanderreihung von Bits bzw. aus einer Gruppe mehrere Bits. Eine Bitfolge von 8 Bit bezeichnet man als Byte. Ein Byte sind also 8 Bit. Eine Bitfolge von 4 Bit bezeichnet man als Nibbel oder Halbbyte. Wobei das Byte die übliche Verarbeitungseinheit ist.

Eine weitere Verarbeitungseinheit ist das Wort oder die Worte. Denn Computer verarbeiten nie einzelne Bits, sondern immer Gruppen von Bits. In der Regel sind das Gruppen mit einem Vielfachen von 8. Zum Beispiel 8, 16, 32, 64 usw. Wobei 8 Bit jeweils ein Byte sind, was die Regel, aber nicht allgemein gültig ist. Es gibt Ausnahmen. Sicher ist nur, dass ein Oktett 8 Bit sind.

- 8 Bit ( $1 \times 8 \text{ Bit}$ ) = 1 Byte
- 16 Bit ( $2 \times 8 \text{ Bit}$ ) = 2 Byte
- 24 Bit ( $3 \times 8 \text{ Bit}$ ) = 3 Byte
- 32 Bit ( $4 \times 8 \text{ Bit}$ ) = 4 Byte
- 48 Bit ( $6 \times 8 \text{ Bit}$ ) = 6 Byte
- 64 Bit ( $8 \times 8 \text{ Bit}$ ) = 8 Byte
- 128 Bit ( $16 \times 8 \text{ Bit}$ ) = 16 Byte

Eine andere Bitfolge ist das Wort. Worte werden in der Regel in Gruppe zu je 16 Bit (2 Byte) gruppiert. Aber auch das muss nicht immer so sein. Denn die Wortbreite (Anzahl der Bits) hängt von der Verarbeitungsbreite des Rechners bzw. des Systems ab.

## Beispiel: 16-Bit-Rechner

- Wort: 16 Bit / 2 Byte (Datentyp: Word)
- Doppelwort: 32 Bit / 4 Byte (Datentyp: DWord)
- Vierfachwort: 64 Bit / 8 Byte
- Halbwort: 8 Bit / 1 Byte

## Beispiel: 32-Bit-Rechner

- Wort: 32 Bit / 4 Byte (Datentyp: Word)
- Doppelwort: 64 Bit / 8 Byte (Datentyp: DWord)
- Vierfachwort: 128 Bit / 16 Byte
- Halbwort 16 Bit / 2 Byte

Bit und Byte bekommen zusätzlich Präfixe vorangestellt, wenn die Bit- oder Byte-Werte 1.000er oder 1.024er überschreiten. Zum Beispiel kBit, MBit, GBit oder kByte, MByte und GByte.

- 1.024 Bit = 1 kBit ( $2^{10}$  Bit)
- 1.048.576 Bit = 1 MBit ( $2^{20}$  Bit)
- 1.073.741.824 Bit = 1 GBit ( $2^{30}$  Bit)
- 1.099.511.627.776 Bit = 1 TBit ( $2^{40}$  Bit)
- 1.024 Byte = 1 kByte ( $2^{10}$  Byte)
- 1.048.576 Byte = 1 MByte ( $2^{20}$  Byte)
- 1.073.741.824 Byte = 1 GByte ( $2^{30}$  Byte)
- 1.099.511.627.776 Byte = 1 TByte ( $2^{40}$  Byte)

## Codierung / Darstellen von Informationen

Üblicherweise hat jede Information, Teil einer Information oder ein Wert in der Informatik einen digitalen Code. Logische Werte, Texte, Zahlen, Bilder usw. bestehen aus einer Reihe von Nullen und Einsen. Damit der digitale Code für den Menschen sichtbar, lesbar oder hörbar ist, wird er decodiert. Dabei greift man auf festgelegte Codes, Zeichensätze, Zahlensysteme und Datenformate zurück. Das heißt, zu jedem Code (bestimmte Bitfolge) gibt es eine festgelegte Zuordnung zu einem Zeichen oder einer Zeichenfolge.

## Logische Werte

Logische Werte kennen zwei Zustände. Wahr (true) und falsch (false). Logische Werte werden auch als 1 und 0 angegeben. Da logische Werte in der Regel als ganzes Byte kodiert werden, entspricht wahr = 1111 1111 und falsch = 0000 0000.

## Text

Text ist eine Folge von Buchstaben, Zahlen und Zeichen (plain text). Jedes Zeichen ist als Bitfolge kodiert, die an Stelle des Zeichens verarbeitet und gespeichert wird. Denn digitale Systeme können nur 0 und 1 verarbeiten. Die Zuordnung eines Zeichens zu einer Bitfolge wird in einem alphanumerischen Code bzw. Zeichensatz definiert. ASCII, ISO 8859 und Unicode sind solche Zeichensätze. Speziell in Großrechnern ist Text im EBCDIC-Code kodiert. Zusätzlich kann ein Text mit typografischen Informationen und Strukturen versehen sein. Zum Beispiel mit Latex oder HTML. Diese Anreicherungen werden in den "Plain Text" eingebettet.

## Zahlen

Hier gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen die Darstellung der Zahlen im ASCII-Code (oder anderer Zeichensatz) oder gemäß dem Dual- bzw. Binärsystem. Zahlen im ASCII-Code eignen sich jedoch schlecht für arithmetische Operationen, weil hier eine dezimale 1 nicht 0000 0001, sondern 011 0001 ist. Die Zuordnung zwischen Zahl und Bitfolge erschwert die Berechnung von Zahlen.

## Bilder, Fotos, Grafiken

Bilder, Fotos und Grafiken sind grafische Daten. Dabei unterscheidet man grundsätzlich zwischen Vektorgrafik und Bitmapgrafik. Vektorgrafik stellt Linien und geometrische Formen mit unterschiedlichen Strichbreiten und Füllungen dar. Dabei bestehen die Daten aus Endpunkten und Parameterauszeichnungen. Ein großer Vorteil von Vektorgrafiken ist ihre verlustfreie Skalierbarkeit.

- EPS
- SVG

Bitmapgrafiken bestehen aus einer Folge von Rasterpunkten (Bildpunkte oder Pixel). Jeder Rasterpunkt entspricht einer Bitfolge, in der Helligkeit und Farbe codiert ist.

- GIF (bis 8 Bit Farbtiefe, LZW)
- PNG (bis 48 Bit Farbtiefe, LZ77)
- TIFF
- RAW
- JPG

Die Bildauflösung (Resolution) gibt die Anzahl der Bildpunkte (Pixel) entlang der X/Y-Achse an. Zum Beispiel 1024 x 768 (Breite x Höhe) Bildpunkte oder Pixel.

Die Farbtiefe (Color Resolution) gibt die Anzahl der Farben oder Helligkeitswerte an, mit denen ein Bildpunkt eingefärbt werden kann. Wenn ein Bild 256 unterschiedliche Farben haben kann, dann spricht man von einer Farbtiefe von 8 Bit. Die Echtfarbendarstellung (True Color) wie wir sie empfinden entspricht einer Farbtiefe von 24 Bit bzw. 32 Bit (mit Alpha-Kanal).

Die Bildauflösung (Dichte) gibt die Anzahl der Bildpunkte pro Längeneinheit an. Die Längeneinheit ist Zoll bzw. Inch (1 Zoll/Inch sind 2,54 cm). Die Angabe erfolgt in dots per inch (dpi). Typische Wert für die Bildschirm-Darstellung sind 72 bzw. 96 dpi und für die Ausgabe auf einem Drucker 300 bzw. 600 dpi.

## **Speicherangaben und Übertragungsraten**

Wenn man sich mit Computertechnik beschäftigt, dann stellt man immer wieder fest, das die üblichen Angaben zu Speicherkapazität und Übertragungsrate nicht immer dem entspricht, wie es angegeben ist. So ist ein Gigabyte (GByte) nicht unbedingt ein Gigabyte (GByte). Das hat eine einfache Ursache. Es liegt an den unterschiedlichen Zahlensystemen, die der Mensch und der Computer benutzen. Während wir im Dezimalsystem (0 bis 9) rechnen, kennen Computer nur die Zustände "1" und "0". Das heißt, sie rechnen im dualen Zahlensystem. Das hat Konsequenzen.

Fast jeder Mensch weiß, dass ein Kilogramm 1.000 Gramm sind. Ebenso weiß fast jeder, dass ein Kilobyte 1.024 Byte sind. Während Kilogramm auf dem dezimalen Zahlensystem basiert, basiert Kilobyte auf dem dualen Zahlensystem.

Um den Umgang mit großen Zahlen zu erleichtern, wurden Einheitenvorzeichen, die Präfixe, eingeführt. In beiden Zahlensystemen wird Kilo, Mega, Giga usw. als Vielfache verwendet.

Präfix	Bedeutung (SI)		Bedeutung (IT)	
Kilo (k)	$10^3$	1.000	$2^{10}$	1.024
Mega (M)	$10^6$	1.000.000	$2^{20}$	1.048.576
Giga (G)	$10^9$	1.000.000.000	$2^{30}$	1.073.741.824
Tera (T)	$10^{12}$	1.000.000.000.000	$2^{40}$	1.099.511.627.776

Bei der Angaben oder Nennung einer Speicherkapazität oder Übertragungsrate stellt sich die Frage, wurde mit binären Kilobyte (1.024 Byte) oder dezimalen Kilobyte (1.000 Byte) gerechnet. Bei Datenraten und Übertragungsgeschwindigkeiten rechnet man üblicherweise mit der 10 als Basis (Dezimalzahl). Bei Speicherkapazitäten rechnet manchmal mit der 2 (Dualzahl) und manchmal mit der 10 als Basis (Dezimalzahl).

## Hintergrund des Problems

Das eigentliche Problem ist der Unterschied, wie Binärzahlen berechnet werden. So könnte ein Kilobyte 1.000 Byte oder 1.024 Byte entsprechen. Dieser Unterschied zwischen 1.000 und 1.024 liegt bei 2,4 Prozent. Im Laufe der Zeit verschob sich die Leistung von Speicher und Übertragungstechnik vom Kilo- in den Giga-Bereich. Auf einmal wurde die Differenz zwischen dezimaler und binärer Berechnung zu groß. Heutige Speicherangaben und Übertragungsgeschwindigkeiten werden in der Regel in Gigabyte (GByte) angegeben. Wenn falsch gerechnet wird, dann merkt man den Unterschied schon sehr deutlich. Wie deutlich, haben die oberen Beispiele gezeigt.

Alle Einheiten in der Informatik basieren auf dem Dualsystem. Das heißt, Zahlen mit Potenzen von Zwei, bestehend aus zwei Zuständen. Wie AN

und AUS oder 1 und 0. So wird der Zustand der Transistoren in Halbleitern wie Prozessoren und Speicher nachgebildet. Das heißt, man beziffert Datenmengen seit Jahrzehnten mit Dualzahlen. Menschen, die sich mit Informatik beschäftigen haben sich deshalb an das Dualsystem gewöhnt. Wenn also Techniker im dualen Zahlensystem rechnen und dann Präfixe, wie Kilo, Mega und Giga verwenden, dann folgen sie damit einer langjährigen Vorgehensweise in der Informationstechnik.

Doch der Rest der Welt rechnet anders. Nämlich mit dem Dezimalsystem. Das heißt, 10, 100, 1.000 und so weiter. Jedes Kind weiß, ein Kilometer hat nicht 1.024, sondern 1.000 Meter, und eine Tonne entspricht auch nicht  $2 \text{ hoch } 20$  Gramm, sondern  $10 \text{ hoch } 6$ , also einer Million Gramm. Gewichte und Entfernungen sind mit dezimalen Maßeinheiten angegeben.

Das Problem hat aber auch mit der Nichteinhaltung von Standards zu tun. Die Bedeutung der Präfixe Kilo, Mega und Giga sind im Internationalen Einheitensystem verbindlich festgelegt. Und das auf Basis des dezimalen Zahlensystems. Die Verwendung der Präfixe Kilo, Mega, Giga usw. für binäre Einheiten ist unzulässig.

Die Nichteinhaltung des Standards war anfangs nicht weiter schlimm. Man gewöhnte sich schnell daran, dass die Zahlen, je nach dem, wie sie gerechnet wurden anders ausfielen. In der Regel einigte sich die Fachwelt schnell auf eine Angabe, egal ob richtig oder falsch. Im Zweifelsfall wurde einfach gerundet oder die jeweils größere Zahl verwendet. Ganz nach dem Motto: Was nicht passt, wird eben passend gemacht. Die Marketing-Abteilungen, meist technikfern, haben sicherlich ihren Beitrag dazu geleistet.

## **Lösung des Problems**

Diesen Umstand hat die International Electrotechnical Commission (IEC) auf den Plan gerufen, dass Ende der 90er Jahre ein eigenes System für die Bezeichnung von binären Maßeinheiten entwickelte, den so genannten Binärpräfixen.

Die IEC lehnte sich dabei eng an das SI-System an. Die Präfixe Kilo, Mega, Giga usw. erhalten eine angehängte Silbe "bi" für Binär. Statt kByte und MByte also Kibibyte und Mebibyte. 1.000 Byte bleiben dabei ein Kilobyte, während 1.024 Bit als ein Kibibyte bezeichnet wird.  $10^6$  Bit sind weiterhin ein Megabit, während  $2^{20}$  Bit ein Mebibit sind.

Das entsprechende Symbol für die Einheit wird um ein "i" erweitert (aus dem bi für binär). Statt kB und MB, also KiB und MiB.

Die SI-Präfixe gelten auch weiterhin, allerdings ausschließlich auf Basis des Dezimalsystems.

Präfix		Bedeutung		SI-Einheit	Umrechnung
	b	Bit		-	-
	B	Byte		-	8 b = 1 B
Kibi	Ki	$2^{10}$	1.024	Kilo (k)	1 KiB = 1,02 kB
Mebi	Mi	$2^{20}$	1.048.576	Mega (M)	1 MiB = 1,05 MB
Gibi	Gi	$2^{30}$	1.073.741.824	Giga (G)	1 GiB = 1,07 GB
Tebi	Ti	$2^{40}$	1.099.511.627.776	Tera (T)	1 TiB = 1,10 TB

Dieses System ist seit 2000 im Standard IEC 60027-2 fest integriert. Die Akzeptanz zur Verwendung des IEC-Standards und somit zur eindeutigen Bezeichnung hält sich jedoch in Grenzen. Weder die Techniker, noch die Fachpresse mag die neuen Bezeichnungen verwenden. Tatsache ist, dass es sich bei den IEC-Bezeichnungen um einen internationalen Standard handelt. Doch wie es nun mal so ist, Standards sind Empfehlungen. Man kann sich daran halten, muss es aber nicht.

## Grundlagen der Computertechnik

Computertechnik oder auch Rechnertechnik ist der technische Bereich, der sich mit informationsverarbeitenden Anlagen und Geräten beschäftigt. In der Regel geht es um Computer. Die Grundlagen der Computertechnik bauen auf der Digitaltechnik und der Mikroelektronik auf.

Computertechnik besteht aus den Teilbereichen Rechnerarchitekturen, Prozessorarchitekturen, Speichertechniken und die Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine. Anwendung findet Computertechnik in s kroprozessoren, Computern im allgemeinen und hardwarenaher Software.

Die Computertechnik oder Rechnertechnik ist ein Bestandteil vieler

Studiengänge. Zum Beispiel Informatik, Elektrotechnik und Automatisierungstechnik.

## **Hardware**

Hardware ist der Sammelbegriff für alle Geräte oder Teile in der Computertechnik. Dazu gehört alles, was "hart" ist, also sich anfassen lässt.

## **Software**

Software steht in der Computertechnik für Programme und Betriebssysteme, die in einem digitalen Speicher abgelegt werden können. Das Betriebssystem und die Anwendungsprogramme, die dem Mikrocomputer Leben einhauchen, sind im ROM (Festwertspeicher) fest und unlöslich gespeichert. In der heutigen Zeit wird die Software eher auf einer Festplatte gespeichert. Wenn der Computer eingeschaltet wird, dann werden die Daten aus dem ROM oder von der Festplatte in den Arbeitsspeicher geladen und ausgeführt.

Die Firmware bezeichnet eine spezielle Software, die die Grundfunktionen der jeweiligen Hardware-Komponente steuert.

## **Software: Programme und Anwendungen**

- Büro-Anwendungen / Office
- Bildbearbeitung
- Videobearbeitung
- CAD
- Messtechnik
- Steuerungstechnik
- Spiele
- Systemprogramme

## **Software: Betriebssystem**

Ein Betriebssystem (Operating System, OS) ist eine Sammlung von Systemprogrammen, die die Verbindung zwischen Hardware und Anwendungs-Software herstellen. Das Betriebssystem ermöglicht das Starten und Ausführen von Anwendungsprogrammen. Das Betriebssystem



ermöglicht auch den Zugriff auf die Hardware. Zum Beispiel den Zugriff auf Dateien, die auf einem Datenträger gespeichert sind, die Bilddarstellung auf einem Bildschirm und Daten- und Befehlseingabe über eine Tastatur.

Das Betriebssystem beinhaltet Funktionen für Anwendungsprogramme, die nicht für jedes Anwendungsprogramm neu programmiert werden müssen. Ein Betriebssystem ist also ein Ökosystem, in dem Anwendungsprogramme ausgeführt werden und arbeiten können.

## **Beispiele: Betriebssysteme**

- Windows (Microsoft)
- Mac OS X (Apple)
- OS/2 (IBM)
- Linux
- Unix

## **Rechner-Architekturen**

Die verschiedenen Rechner-Architekturen orientieren sich üblicherweise an der technischen Entwicklung und verschiedenen Anwendungsfällen. So ist ein Computer für die private Nutzung anders aufgebaut, als ein Server oder ein Industrie-PC. Allerdings ist der Ursprung das Konzept des Von-Neumann-Rechners, der sich im PC-Konzept von IBM manifestiert hat. Das PC-Konzept von IBM hat dafür gesorgt, dass sich Personal Computer (PC) als Arbeitsmittel schnell durchsetzen konnten. Modulare und standardisierte Hardware und weitgehend frei programmierbare und abwärtskompatible Software galten lange Zeit als geniales Konzept. Der Nachteil dieser flexiblen Architektur sind gewaltige Kompatibilitäts- und Stabilitätsprobleme. Zwar hat man das in der Regel ganz gut im Griff. Doch leider bremst insbesondere die hochgehaltene Kompatibilität das ganze System aus und der Anwender muss über eine lange Zeit mit gewachsenen technischen Krücken leben.

Im Gegensatz dazu ist der Plattform-Ansatz bei mobilen Geräten, wie Smartphones und Tablets, eine willkommene Alternative. Bei diesen Geräten hält ein einziger Hersteller alle Fäden in der Hand. Hardware und Software werden dabei von einem Hersteller kontrolliert und optimiert. Dabei wird auf eine komplizierte Hardware- und Software-Struktur verzichtet. So kann beim Start auf die Hardware-Erkennung verzichtet

werden, weil das System hochintegriert und nicht erweiterbar ist. Auch das Nachladen von Treibern fällt weg, weil die Mechanismen von Erweiterungen bereits im Vorfeld festgelegt sind. Im Gegensatz dazu muss ein moderner PC mit allerlei Schnittstellen und externen Geräten umgehen, die auch im laufenden Betrieb angeschlossen oder entfernt werden. Klassische PCs und Notebooks weisen eine hohe Flexibilität und Erweiterbarkeit auf. Dadurch müssen die Geräte größer sein, einen dickeren Akku besitzen und sind entsprechend teurer. Doch auch bei PCs geht die Reise in Richtung hochintegrierter Systeme. Auf- und Umrüsten wird man PCs in Zukunft, wie auch bei Notebooks, nur noch über USB 3.0 und Thunderbolt.

## **Prozessor / Mikroprozessor**

Der Prozessor oder Mikroprozessor ist ein komplexer digitaler Schaltkreis, der in einem einzigen Gehäuse untergebracht ist. Der Prozessor übernimmt Berechnungs- und Steuerungsaufgaben in einem Computer.

## **Halbleiterspeicher**

Halbleiterspeicher dient der zeitlich begrenzten oder unbegrenzten Aufbewahrung von Daten, Zuständen und Programmen in Form von digitalen Signalen.

## **Schnittstellen und Bussysteme**

Zum Anschließen von externen Geräten an einen Computer sind Schnittstellen erforderlich. Eine Schnittstelle definiert die Festlegung für die physikalischen Eigenschaften der Schnittstellenleitungen.

## **System-Komponenten**

Wichtige System-Komponenten sind der Hauptprozessor, der Arbeitsspeicher, ein Datenspeicher, verschiedene Schnittstellen und ein internes Bussystem, dass alle System-Komponenten miteinander verbindet.

## **Laufwerke und externe Geräte**

Laufwerke und externe Geräte dienen dazu, Daten von außen in einen Computer zu laden oder zu speichern. Ebenso geht auch der andere Weg, um Daten vom Computer auf ein externes Gerät oder ein Speichermedium zu sichern.

## **Virtualisierung**

Eine Virtualisierungs-Software oder Virtualisierer ist ein Programm, das komplette PCs inklusive BIOS, CPU, Grafikkarte, Festplatten und so weiter in Software nachbildet. Man bezeichnet diese virtuellen PCs als virtuelle Maschinen (VM). Darauf lassen sich Betriebssysteme wie auf einem echten PC installieren. Sie laufen dann aber in einem Programmfenster des Wirts-Betriebssystems. Auf diese Weise können verschiedene Programmen von unterschiedlichen Betriebssystemen gleichzeitig installiert sein und ausgeführt werden.

## **Standards in der Computertechnik**

Standards in der Computertechnik, die von einem Industrie- oder Normungsgremium umfassend spezifiziert wurden, haben grundsätzlich bessere Chancen in der Breite zur Anwendung zu kommen, als proprietäre Komponenten oder Schnittstellen.

Im IT-Bereich werden Dateiformate und Protokolle als "proprietär" bezeichnet, die nicht allgemein anerkannten Standards entsprechen. Es handelt sich sozusagen um "hauseigene" Entwicklungen, die nicht quelloffen und meist lizenzpflichtig sind.

Während in der Anfangszeit der Computertechnik einzelne Firmen, allen voran IBM und Intel, für Industrie-Standards gesorgt haben, schließen sich heute viele Unternehmen zu Gruppierungen zusammen, um Standards gemeinsam zu entwickeln und voranzutreiben.

Standards bieten den Käufern mehr Auswahl, Kompatibilität und Investitionssicherheit. Die Hardware-Hersteller leiden allerdings darunter, dass sie sich kaum vom Wettbewerb absetzen können. Ständig sinkende Preise bei gleichzeitiger Leistungssteigerung ist für die Kunden gut. Dafür entsteht ein Marktumfeld, in dem sich Hersteller und Händler sehr schwer tun. Die Computer-Branche gilt als der Markt mit der geringsten Marge. Der Preisverfall bei Standard-Komponenten erfolgt extrem schnell.

## Kompatibilität in der Computertechnik

Kompatibilität bedeutet soviel wie Vereinbarkeit oder Verträglichkeit. Wenn zwei Geräte zueinander kompatibel sind, das eine Gerät aber verbessert oder erweitert ist, dann spricht man von abwärts- bzw. aufwärtskompatibel. Abwärtskompatibel ist etwas, wenn es auch mit einer älteren Komponente zusammenarbeitet. Aufwärtskompatibel ist etwas, wenn es auch mit einer neueren Komponente zusammenarbeitet. Zwei Programme sind zueinander datenkompatibel, wenn sie gleichartige Eingangsdaten entgegennehmen und gleichartige Ausgangsdaten liefern können. Sie sind zueinander funktionskompatibel, wenn sie aus den gleichen Eingangswerten die gleichen Ausgangswerte erzeugen. Zwei Geräte sind zueinander anschluss- oder steckerkompatibel, wenn sie an dieselben Anschlüsse bzw. Schnittstellen passen. Sie sind zueinander funktionskompatibel, wenn sie dieselben Funktionen ausführen können. Laufwerke für Wechsel- und Massenspeicher sind zum Beispiel funktionskompatibel. Aber, sie gibt es in externer und interner Ausführung. Das bedeutet, obwohl sie zueinander nicht anschlusskompatibel sind, ist ihre Funktion die gleiche. Zwei Computer sind zueinander programmkompatibel, wenn beide dieselben Programme ausführen können.

## Innovationen in der Computertechnik

Es haben sich vorwiegend die Innovationen in der Computertechnik durchgesetzt, die auf der großen Mehrzahl aller Systeme nutzbar sind. Das bedeutet, Innovationen, die auf Standards und Kompatibilität setzen haben eine große Chance sich durchzusetzen.

## Computer

Das Wort "Computer" leitet sich vom lateinischen "computare" ab. Es bedeutet soviel wie "rechnen". Im Deutschen verwendet man die Bezeichnung "elektronische Rechenanlage" oder "Rechner".

Eine mögliche Definition: Computer sind universelle programmgesteuerte Automaten zur Informationsverarbeitung.

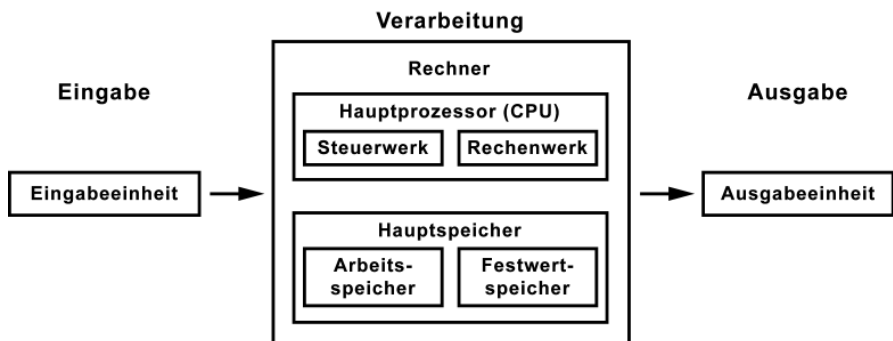
Bei der Informationsverarbeitung geht es im wesentlichen um "Rechnen". Wobei dieses Rechnen über das schulischen Rechnen mit Addieren, Multiplizieren, Subtrahieren und Dividieren weit hinaus geht.

## Das EVA-Prinzip



Die Arbeitsweise eines Computers lässt sich prinzipiell mit der des Menschen vergleichen. Dabei bedient man sich des EVA-Prinzips. Es gibt Geräte, die für die Eingabe zuständig sind, Geräte, die verarbeiten und Geräte, die Daten ausgeben. Es gibt auch Geräte, die gleichzeitig für Eingabe und Ausgabe geeignet sind.

## Struktur eines Universalrechners



## Wie der Computer, arbeitet der Mensch nach dem Prinzip der Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe:

Zur Eingabe dient beim Computer z. B. die Tastatur oder die Maus. Beim Menschen sind die Augen und die Ohren zur Informationsaufnahme gedacht.

Die Zentraleinheit mit dem Prozessor verarbeitet die Informationen im Computer. Das Gehirn des Menschen verarbeitet die Informationen und speichert sie.

Die Ausgabe von Informationen erfolgt beim Computer auf dem Bildschirm oder auf einem Drucker. Der Mensch nutzt zum Sprechen seinen Mund und zum Schreiben seine Hände.

## **PC - Personal Computer**

Der Personal Computer, im folgenden auch PC genannt, besteht aus einer Verarbeitungseinheit mit Prozessor, Arbeitsspeicher, externen Datenträgern, Betriebssystem und Anwendungsprogrammen. Der PC ist wesentlicher Bestandteil eines Bildschirm-Arbeitsplatzes, an dem der Mensch seine Arbeit verrichtet.

### **Wichtige PC-Komponenten**

- Hauptprozessor (CPU)
- Hauptplatine (Motherboard)
- Arbeitsspeicher (RAM)
- Festplatte
- Gehäuse
- Netzteil

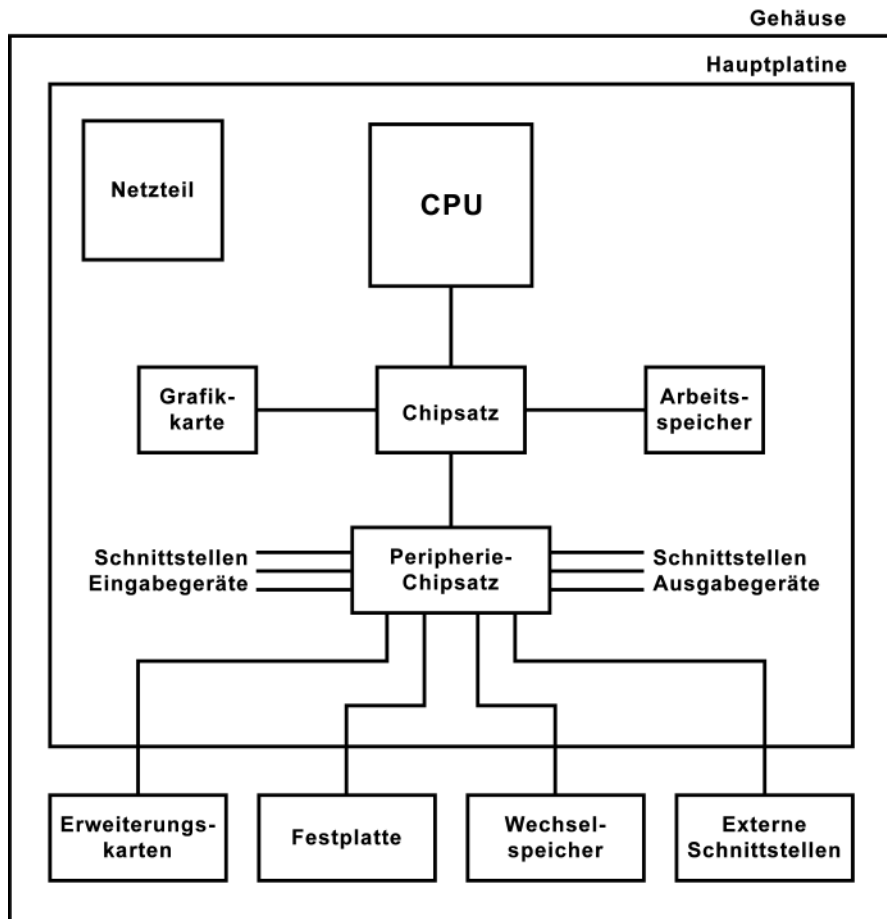
### **Optionale PC-Komponenten**

- Grafikkarte
- DVD-Laufwerk/-Brenner / Blu-ray-Laufwerk
- Kartenleser
- Soundkarte

### **Peripherie-Geräte**

- Bildschirm / Monitor
- Maus
- Tastatur
- Drucker
- Scanner

## Aufbau eines PCs: Der Blick von außen nach innen



Wer einen Personal Computer sieht, der hat mindestens einen Bildschirm, eine Maus, eine Tastatur und das Computer-Gehäuse vor Augen. Je nach Ausstattung des gesamten Systems kommen noch Scanner, Drucker, Lautsprecher und andere Geräte dazu. In der folgenden Beschreibung geht es um das, was sich im Computer-Gehäuse befindet.

Um alle externen Geräte an den Computer anschließen zu können, sind am Gehäuse Steckbuchsen angebracht. Während vorne die Auswahl meist auf USB- und Audio-Buchsen für Mikrofon und Lautsprecher beschränkt ist, ist auf der Rückseite des Gehäuses die Auswahl deutlich größer. Hier sind neben dem Netzteil-Anschluss weitere Buchsen für USB, Audio,

Bildschirm und Netzwerk angebracht. Je nach Ausstattung des Computers gibt es hier noch weitere Schnittstellen. An diesen Schnittstellen werden alle externen Geräte angeschlossen.

Schaut man in das Gehäuse hinein, dann fällt zuerst die Hauptplatine auf, die auch als Motherboard oder Mainboard bezeichnet wird. Auf dieser Hauptplatine läuft alles zusammen. Hier werden Steckplätze für Erweiterungskarten, Speichermodule und Anschlüsse für Laufwerke bereitgestellt.

Festplatten und Wechselspeicher sind ebenfalls im Computer eingebaut. Festplatten sind meist im mittleren oder unteren Teil des Gehäuses platziert. Wechselspeicher-Laufwerke, wie CD-ROM oder DVD-ROM befinden sich im oberen Bereich des Gehäuses. Über ein Kabel sind sie jeweils mit dem Motherboard und dem Netzteil verbunden.

Das Netzteil befindet sich oben im hinteren Teil des Gehäuses. Es ist ein grauer oder schwarzer Kasten, der zur Gehäuse-Rückseite einen Lüfter hat. Neben dem Lüfter befindet sich eine Buchse für den Kaltgerätestecker und manchmal auch ein Kippschalter zum Ein- und Ausschalten des PCs. Vom Netzteil aus führen mehrere Kabelstränge zum Motherboard und zu den externen Laufwerken. Manchmal werden Erweiterungskarten vom Netzteil zusätzlich mit Strom versorgt. Das Netzteil liefert Strom für alle Komponenten im Gehäuse. Für externe Geräte (außerhalb des Gehäuses) gibt es keine Stromversorgung. Sie müssen über eigene Netzteile mit Strom versorgt werden. Nur USB-Geräte können einen geringen Strom über den USB entnehmen.

Eines der wichtigsten Teile auf dem Motherboard ist der Chipsatz. Er besteht meist aus zwei Teilen. Der eine Teil ist für die Grafik, den Arbeitsspeicher und den Hauptprozessor zuständig. Der andere Teil des Chipsatzes kümmert sich um die Schnittstellen für die Eingabe und Ausgabe von Daten. Die internen und die meisten externen Schnittstellen werden über Kontaktleisten herausgeführt.

Während manche Computer die Grafikfunktion direkt im Chipsatz oder Prozessor integriert haben, befindet sich die Grafikfunktion bei vielen PCs auf einer Erweiterungskarte, die sich Grafikkarte nennt.

Der Hauptprozessor befindet sich direkt auf dem Motherboard. Man erkennt ihn daran, dass er durch Kühlkörper und Lüfter sehr viel Platz verbraucht. Er ist die leistungsbestimmende Komponente in einem Computer. Zwar sind auch andere Komponenten leistungsbestimmend, aber die reine Verarbeitungsleistung wird vom Hauptprozessor bestimmt.



Die Auswahl des Prozessors und des internen Speichers ist eng mit der Hauptplatine und dem Chipsatz verbunden.

## **Anwendungen**

Personal Computer sind im allgemeinen Universal-Computer. Man kann sie praktisch für alle Anwendungen einsetzen. Es gibt jedoch Spezialfälle, bei denen man von der Grundausstattung abweicht und bestimmte Komponenten nach bestimmten Merkmalen auswählt. So unterscheiden sich Personal Computer nicht nur über den Preis, sondern auch durch ihre Ausstattung, Leistungsfähigkeit, Erweiterbarkeit, Kompatibilität, Systemstabilität und Bauart.

Im folgenden werden einige Computer-Typen beschrieben, die dem Wesen nach Personal Computer sind.

## **Workstation**

Eine Workstation ähnelt einem Personal Computer und ist im Prinzip ein Arbeitsplatz-PC. Die Workstation dient meistens nur einer bestimmten Aufgabe, bei denen es auf viel Grafik-Performance, Rechenleistung oder einen großen Speicherausbau ankommt. Zum Beispiel bei der Bildbearbeitung. Die Hardware und Software ist speziell für diesen Anwendungsfall ausgelegt.

Da Personal Computer immer leistungsfähiger werden, verschwimmt der Unterschied zwischen Workstation und Personal Computer. Eine klare Trennung findet immer seltener statt. Meistens bezeichnet man einen leistungsfähigen PC als Workstation, wenn er eine Workstation-typische Aufgabe hat.

## **Thin-Client**

Ein Thin-Client ist ein Mini-Computer, dessen Hardware auf ein Minimum reduziert ist. Sogar der Speicherplatz für Software wurde eingespart. Stattdessen lädt der Thin-Client sein Betriebssystem und seine Anwendungen aus dem Netzwerk von einem Server. Die Daten werden ebenfalls auf einem Server gespeichert.

Thin-Clients gibt es in Miniaturausführung in der Größe eines Buchs. Nach außen wird nur ein DVI- oder VGA-Anschluss für den Monitor,

mehrere USB-Anschlüsse für Tastatur, Drucker und Maus herausgeführt. Strom bekommt das System von einem Steckernetzteil.

Inzwischen ermöglicht die hochintegrierte Bauweise, die den Thin-Client in eine Unterputz-Steckdose verschwinden lässt. In diesem Fall wird für den Netzwerk-Anschluss das Netzkabel direkt Unterputz aufgeklemmt.

## **MCPC - Media Center PC**

Media-Center-PCs sind spezielle Ausführungen eines Personal Computers, der vom Gehäuse her in den Bereich der Unterhaltungselektronik passt. Die Bedienung, Installation und Inbetriebnahme ist im Vergleich zu den üblichen Geräten der Unterhaltungsindustrie sehr aufwändig und kompliziert. Sie eignen sich nur bedingt als Ersatz für die HiFi-Anlage und den DVD-Player. Gegenüber normalen Desktop-Computern weisen sie besondere Ausstattungsmerkmale auf.

- Fernbedienung
- Anschlüsse für Antenne, Kabelanschluss oder ähnliches
- Erweiterte Anschlüsse für Audio und Video
- Speicherkarten-Leser im Gehäuse integriert

Der geringe Erfolg des Media Center PCs, liegt an der fehlenden Problemlösung beim Anwender. Der Media-Center-PC löst kein Problem. Im Gegenteil er wird zum Problem. Er ist teuer und stellt keine herausragenden Funktionen zur Verfügung. Es ist nur ein Computer. Mit allen seinen Stärken und Schwächen.

Die hohen Anschaffungskosten und eine komplizierte Bedienung verhindern, dass der Media-Center-PC zum Massenprodukt werden konnte.

## **Spiele-PC / Gaming-PC**

Ein Spiele- oder Gaming-PC ist ein auf Geschwindigkeit und Grafik optimierter Personal Computer, der an die Leistungsfähigkeit von Workstations heranreicht.

Im Gaming-Bereich kommt es darauf an, dass der Computer die Benutzer-Steuerung schnell verarbeiten kann, eine möglichst realistische und effektreiche Grafikausgabe und immer noch genug Rechenleistung für die

künstliche Intelligenz (KI) hat.

Zu den besonderen Ausstattungsmerkmalen zählen ein sehr schneller Prozessor, eine sehr schnelle Grafikkarte und ein Netzteil mit hoher Leistung. Meistens ist das Gehäuse für eine verbesserte Kühlung optimiert und optisch originell gestaltet. Manche Gehäuse erinnern an Einflüsse aus den Auto-Tuning.

## **Embedded Systeme**

Während vor einem Personal Computer (PC) ein Mensch sitzt und arbeitet, verrichten andere Computer im Verborgenen ihren Dienst. Zum Beispiel in Telekommunikationssystemen, Flugzeugen, Maschinen oder in Waschmaschinen. Sie sind in ihre jeweilige Anwendungsumgebung eingebettet. Daher auch der Name "Embedded Systeme". Im Vergleich zu einem normalen PC sind es häufig sehr kleine Computer, in denen nur spezielle Komponenten verwendet werden. Sie weisen eine hohe Stabilität und Verfügbarkeit auf.

## **Industrie-PC**

Eine Sonderform von Embedded Systeme sind die Industrie-PCs. Industrie-PCs beinhalten sehr häufig normale PC-Komponenten. Zum Beispiel Prozessoren, Chipsätze, Speicher und Schnittstellen. Während Motherboard und Gehäuse je nach Anwendung sehr stark von den üblichen Personal Computern abweichen.

Im Industrie-Umfeld kommt es auf eine hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit an. Es geht weniger um den Preis. Das bedeutet, dass auch leistungsschwache Systeme sehr hochpreisig sind.

## **Mobile Computer**

Ein normaler Standard-Computer besteht in der Regel aus lauter Einzelteilen, wie Gehäuse (Tower, Desktop), Bildschirm und Tastatur. Alles zusammen lässt sich nur sehr umständlich für wechselnde Einsatzorte verwenden. Damit ein tragbarer Computer für den mobilen Einsatz taugt, darf die Ausstattung und Leistung dem eines stationären Systems in nichts nachstehen. Wegen der wesentlich kleineren und dadurch aufwendigeren Technik sind mobile Computer teurer als stationäre Computer. Durch die immer weiter schreitende und höhere

Integrationsdichte von Halbleiterbausteinen, werden typische Hardware-Komponenten in den Prozessor und die Schnittstellen-Verarbeitung in All-In-One-Chipsätzen integriert.

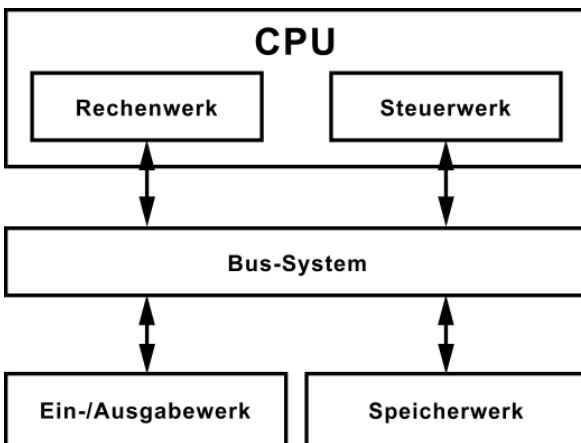
Besonders Kleinstgeräte, wie Handys und Notebooks verlangen nach Systemen, in die möglichst viele Funktionen und Schnittstellen auf einem Chip untergebracht sind. Dadurch sind sie platzsparend und preisgünstig herzustellen. Dadurch ist die Vielfalt der tragbaren Computer in Größe, Ausstattung, Leistungsfähigkeit und Preis sehr groß.

Ein echter tragbarer Computer holt sich seine Energie aus einem eingebauten Akku, der über das Stromnetz regelmäßig aufgeladen werden muss.

## Computer-Architektur

Das Funktionsprinzip eines Computers wurde vom ungarischen Mathematiker John von Neumann entwickelt. Die Architektur des Von-Neumann-Rechners besteht aus vier Funktionseinheiten:

- Rechenwerk (ALU, Arithmetical Logical Unit)
- Steuerwerk (CU, Control Unit)
- Speicherwerk (Memory)
- Ein-/Ausgabewerk (I/O-Unit)

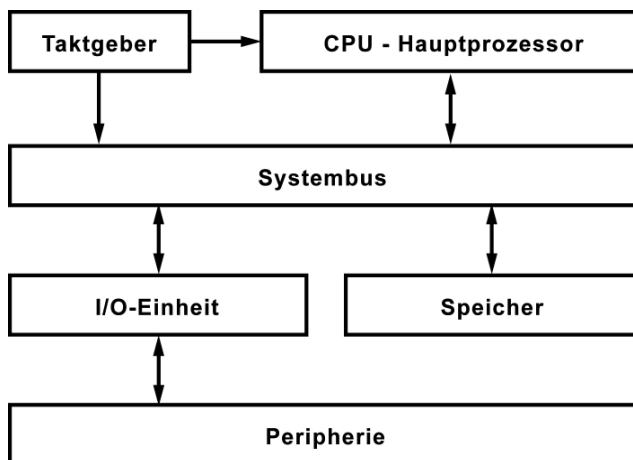


Im Von-Neumann-Rechner werden die wichtigsten Einheiten Rechenwerk (ALU) und Steuerwerk (CU) in der eigentlichen Verarbeitungseinheit, dem

Prozessor (Central Processing Unit, CPU), vereint. Die CPU übernimmt die Ausführung der Befehle und die Ablaufsteuerung. Die Befehle werden nacheinander, Schritt für Schritt, ausgeführt. Die Befehle und Daten werden vom Steuerwerk aus dem Speicher (Memory) geholt. Die Verbindung zwischen Prozessor, Speicherwerk und Ein-/Ausgabewerk bezeichnet man als Bus-System, der im eigentlichen Von-Neumann-Rechner unerwähnt bleibt, aber in der Praxis eine wichtige Rolle spielt. Im Von-Neumann-Rechner werden alle Instruktionen und Daten über das Bus-System geführt. Hier kann es schnell zu Engpässen kommen, wenn Daten aus dem Speicher geladen werden und gleichzeitig neue Instruktionen geladen werden müssten, um das Rechenwerk optimal auszulasten. Man spricht deshalb auch vom "Von-Neumannschen-Flaschenhals".

Obwohl der Von-Neumann-Rechner ein sehr einfaches Modell eines Computers ist, basieren alle modernen Computer auf diesem einfachen Prinzip.

### Erweiterte Architektur



Die erweiterte Computer-Architektur ist ein sehr einfaches Modell. Es ist aus dem EVA-Prinzip abgeleitet. Im Vergleich zum Von-Neumann-Rechner wurde diese Darstellung um einige wichtige System-Komponenten erweitert. Daher die Bezeichnung "erweiterte Architektur". Sie ist von der Darstellung eines Computers näher an der Realität dran.

## **Hauptprozessor (CPU, Central Processing Unit)**

Der Hauptprozessor (CPU) ist das zentrale Element eines Computers. Der Hauptprozessor ist die Funktionseinheit in einem Computer, die die eigentliche Verarbeitungsleistung erbringt. Er ist für die Informationsverarbeitung und die Steuerung der Verarbeitungsabläufe zuständig. Dazu holt sich der Hauptprozessor aus dem Speicher nacheinander die Befehle und veranlasst die Informationsverarbeitung.

## **Taktgeber**

Der Taktgeber schaltet das ganze System gleich. Der Systemtakt wird zentral vom Taktgeber erzeugt und mit verschiedenen Multiplikatoren auf verschiedene Taktgeschwindigkeiten hochgetaktet. Darunter auch die des Hauptprozessors und Systembusses.

## **Systembus (Bussystem)**

Der Systembus ist eine Leitungsanordnung deren Belegung und Signalpegel definiert sind. Daran werden verschiedene Komponenten angeschlossen, die darüber untereinander oder mit dem Prozessor Daten austauschen können.

Computer-Systeme verfügen in der Regel über mehrere unterschiedliche Bussysteme, über die alle Komponenten irgendwie miteinander verbunden sind. Ein einfaches Bussystem umfasst einen Adressbus, einen Datenbus und Steuerleitungen.

## **Ein- und Ausgabeeinheit (I/O-Einheit)**

Geräte, die an der Ein- und Ausgabeeinheit angeschlossen sind, werden als Peripherie bezeichnet. Die PC-Peripherie ist z. B. die Tastatur, Bildschirm, Maus, Drucker und Scanner. Prozessrechner-Peripherie sind z. B. Sensoren, Wandler, Endstufen und Stellglieder.

Festplatten und Wechselspeicherlaufwerke zählen nicht zu den typischen Ein- und Ausgabeeinheiten. Sie zählen zu den Datenspeichern.

## **Datenspeicher**

Datenspeicher sind Komponenten, die Programme und Daten dauerhaft speichern können. Dazu gehören Festplatten, Wechselspeicher und die dazugehörigen Laufwerke, sowie Halbleiterspeicher, die ihre Daten auch ohne Energieversorgung speichern können.

## **Systembus**

Der Systembus dient zur Steuerung, der Adressierung und der Übertragung von Daten. Für jede Aufgabe hat der Systembus eigene Signalleitungen. Der Systembus teilt sich in Datenbus, Adressbus und Steuerbus.

Hinweis: Das was ursprünglich der Systembus gewesen ist, das ist heute nur noch die Verbindung zwischen Prozessor und Chipsatz. Diese Verbindung lange Zeit auch als Front-Side-Bus (FSB) bezeichnet. Heute hat diese Verbindung je nach System oder Systemhersteller eine andere Bezeichnung.

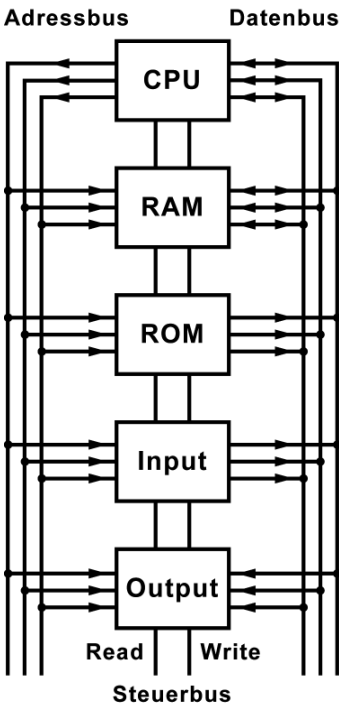
Weil aus Geschwindigkeitsgründen viele ehemals ausgelagerte Funktionen in den Hauptprozessor (CPU) integriert werden, ist das Konzept des systemweiten Systembusses nicht mehr gültig. In der heutigen Computerarchitektur gibt es den klassischen "Systembus" nicht mehr. Die Architektur besteht in der Regel aus verschiedenen seriellen und parallelen Bussystemen, die für die jeweiligen Erfordernisse speziell ausgelegt und entwickelt wurden. Es werden immer häufiger Punkt-zu-Punkt-Verbindungen eingesetzt. Das kommt daher, weil immer mehr Funktionen hochintegriert in wenigen Bausteinen untergebracht werden können und dadurch auch die Übertragungsrate zwischen den einzelnen Funktionseinheiten gesteigert werden kann.

## **Darstellung des Systembusses**

Der Systembus verbindet die einzelnen Komponenten eines Computersystems. Neben dem Prozessor (CPU), gibt es einen Festwertspeicher (ROM), einen Arbeitsspeicher (RAM) und Eingabe- und Ausgabeeinheiten (Input und Output). Adressbus, Datenbus und Steuerbus verlaufen dabei von Einheit zu Einheit. Über diesen Bus sind alle Einheiten miteinander verbunden.

Obwohl es in den heutigen Computersystemen keinen systemweiten

Systembus mehr gibt, ist die Art und Weise der Ansteuerung von Speicher und Peripherie, wie im folgenden beschrieben, gleich geblieben.



## Adressbus

Der Adressbus ist für die Übertragung von Speicher- und Peripherie-Adressen zuständig. Auf dem Adressbus wird die Adresse angelegt, von der die Daten gelesen oder wohin sie geschrieben werden sollen.

Der Adressraum bezeichnet den adressierbaren Speicherbereich. Diese Angabe zeigt, wie viele Elemente überhaupt adressierbar sind. Die Anzahl der Adressleitungen ist ein entscheidender Faktor für die Anzahl der maximal zu adressierenden Speicherplätze. Ein Adresse mit einer Länge von  $n$  Bit entspricht einem Adressraum von  $2^n$  Elementen.

## Datenbus

Zur Übertragung von Daten zwischen Prozessor, Arbeitsspeicher und Peripherie steht der Datenbus zur Verfügung. Die Anzahl der



Datenbusleitungen bestimmt die Anzahl der Bit, die pro Takt übertragen werden können.

Alle Baugruppen, die Daten an den Datenbus übergeben oder entgegennehmen können (Prozessor, Speicher, I/O), sind mit dem Datenbus verbunden. Die Datenfreigabe erfolgt durch den Prozessor über eine Steuerleitung jeweils nur für eine Baugruppe. Das heißt, es kann immer nur eine Datenübertragung zwischen zwei Baugruppen erfolgen.

## **Steuerbus**

Der Steuerbus dient der Übertragung bestimmter Signale an die einzelnen Komponenten. Auf diese Weise wird den Baugruppen mitgeteilt, was sie zu tun haben. Z. B. die Daten vom Datenbus aufnehmen oder Daten auf den Datenbus stellen.

Der Steuerbus beinhaltet auch die Interrupt-Leitungen über den die Peripherie-Geräte dem Prozessor eine Unterbrechungsanforderung signalisieren können. Typischerweise werden Unterbrechungsanforderungen bei Dateneingaben erzeugt.

### **Folgende Signale werden vom Steuerbus verarbeitet:**

- Lesen aus dem RAM
- Schreiben in das RAM
- Eingabe von peripheren Geräten
- Ausgabe an periphere Geräte
- Interruptsignale

## **Vorgänge auf dem Systembus**

### **Beispiel: Lesevorgang ROM**

Die CPU soll Daten aus der Funktionsbaugruppe ROM lesen: Die CPU ...

1. ... gibt die Adresse der Funktionsbaugruppe ROM und der Speicherzelle auf den Adressbus.
2. ... aktiviert die Steuerleitung READ, wobei die adressierte Speicherzelle ihren Inhalt auf den Datenbus gibt.
3. ... übernimmt die Daten vom Datenbus und deaktiviert die Steuerleitung READ. Der Lesevorgang ist damit beendet.

## Beispiel: Schreibvorgang OUT

Die CPU soll Daten in die Funktionsbaugruppe OUT schreiben: Die CPU  
...

1. ... gibt die Adresse der Funktionsbaugruppe OUT auf den Adressbus.
2. ... gibt die Daten auf den Datenbus.
3. ... aktiviert die Steuerleitung WRITE, wodurch die Funktionsbaugruppe OUT die Daten vom Datenbus aufnimmt.
4. ... deaktiviert die Steuerleitung WRITE. Der Schreibvorgang ist damit beendet.

## Motherboard / Mainboard / Hauptplatine

Das Motherboard ist der Grundbaustein eines Computers. Das Motherboard ist die Platine, auf der alle Systemkomponenten eines Computers eine physikalische und logische Verbindung erhalten. Die wichtigsten und einige leistungsbeeinflussenden Bauteile sind fest auf dieser Platine miteinander verbunden.

Hinweis: Für das Motherboard haben sich mehrere Bezeichnungen durchgesetzt. In Deutschland ist der Begriff "Mainboard" geläufig. Er lässt sich in "Hauptplatine" übersetzen. Im Englisch-sprachigen Raum wird dagegen eher der Begriff "Motherboard" verwendet. Deshalb wird im folgenden Text auch der Begriff "Motherboard" verwendet.

Im wesentlichen bestimmt die Ausstattung des Motherboards über System-Leistung, Erweiterbarkeit und Zukunftsfähigkeit eines Computersystems. Die meisten Motherboards sind auf eine bestimmte Anwendung mit einem bestimmten Prozessor zugeschnitten. Man kann also nicht jeden beliebigen Prozessor auf jedem Motherboard verwenden. Der Einsatz eines Prozessors hängt vom Motherboard bzw. vom Prozessorsockel und dem Chipsatz ab.

### Chipsatz

Das zentrale Element auf dem Motherboard ist der Chipsatz (engl. Chipset), der sich im Laufe der Zeit von vielen einzelnen Bausteinen hin

zu wenigen hoch integrierten Schaltungen entwickelt hat. Der Chipsatz ist das Bindeglied zwischen den einzelnen Systemkomponenten eines Computers. Egal was in einem Computer passiert, der Chipsatz hat immer damit zu tun. Er sorgt dafür, dass alle Komponenten über unterschiedliche Schnittstellen miteinander kommunizieren können. Dabei werden unterschiedliche Spannungspegel, Taktfrequenzen und Protokolle berücksichtigt und untereinander umgewandelt.

## **Prozessor / Hauptprozessor**

Der Prozessor oder Mikroprozessor ist ein komplexer digitaler Schaltkreis, der in einem einzigen Gehäuse untergebracht ist. Der Prozessor übernimmt Berechnungs- und Steuerungsaufgaben in einem Computer. Der Prozessor, der auch als Hauptprozessor bezeichnet wird, hat auf dem Motherboard einen eigenen Steckplatz bzw. Sockel.

## **Arbeitsspeicher / Hauptspeicher**

Der Arbeitsspeicher oder Hauptspeicher ist ein Halbleiterspeicher, der der zeitlich begrenzten Aufbewahrung von Daten, Zuständen und Programmen dient. Der Prozessor greift ständig auf diesen Arbeitsspeicher zu, um Daten zu verarbeiten und Programme auszuführen.

## **Schnittstellen und Bussysteme**

Zum Anschließen von externen Geräten an einen Computer sind Schnittstellen erforderlich. Es gibt Schnittstellen, die nach außen geführt sind. Sie werden als externe Schnittstellen bezeichnet. Es gibt auch Schnittstellen, die internen Zwecken dienen. Zum Beispiel zum Erweitern weiterer externer Schnittstellen oder zum Anschließen von internen Laufwerken oder Datenspeichern, wie Festplatten oder Wechselspeicherlaufwerken.

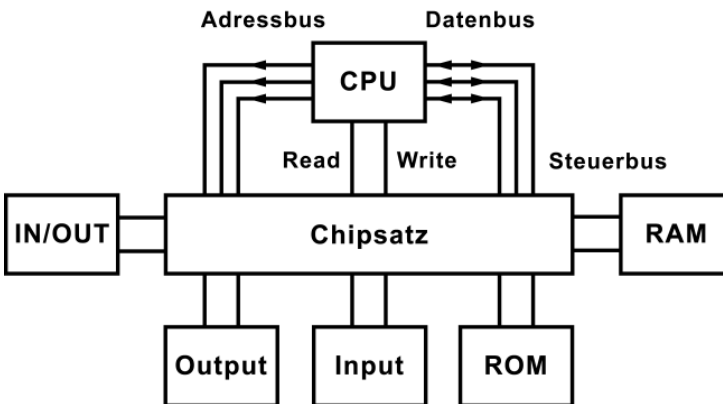
## **Onboard**

In der Anfangszeit der Computer waren viele Schnittstellen auf zusätzlichen Erweiterungskarten zu finden. Erst durch die steigende Integrationsdichte der Schaltkreise haben viele Schnittstellen-Controller ihren Weg auf das Motherboard und dann in den Chipsatz gefunden. So

bleiben die Erweiterungssteckplätze frei und können anderweitig verwendet werden.

Typischerweise werden Soundkarten, Netzwerkkarten und Grafikkarten "onboard" integriert. In der Regel kann man Onboard-Komponenten im BIOS abschalten und leistungsstärkere Schnittstellen über Erweiterungskarten nachrüsten. Das macht man typischerweise bei Grafikkarten.

## Chipsatz



Das zentrale Element auf dem Motherboard ist der Chipsatz (engl. Chipset). Zwar ist der Hauptprozessor das schlagende Element in einem Computer, aber der Chipsatz sorgt erst dafür, dass die verschiedenen Komponenten miteinander arbeiten. Der Chipsatz ist das Bindeglied zwischen den einzelnen Komponenten eines Computers. Egal was in einem Computer passiert, der Chipsatz hat immer damit zu tun. Er sorgt dafür, dass alle Komponenten über ihre Schnittstellen miteinander kommunizieren können. Dabei werden unterschiedliche Spannungspegel, Taktfrequenzen und Protokolle berücksichtigt und untereinander umgewandelt.

Der Chipsatz hat großen Einfluss auf die Gesamtleistung des Computersystems. Er steuert das Zusammenspiel und den Datenfluss zwischen dem Prozessor, dem Arbeitsspeicher, den Bussystemen, sowie den internen und externen Schnittstellen.

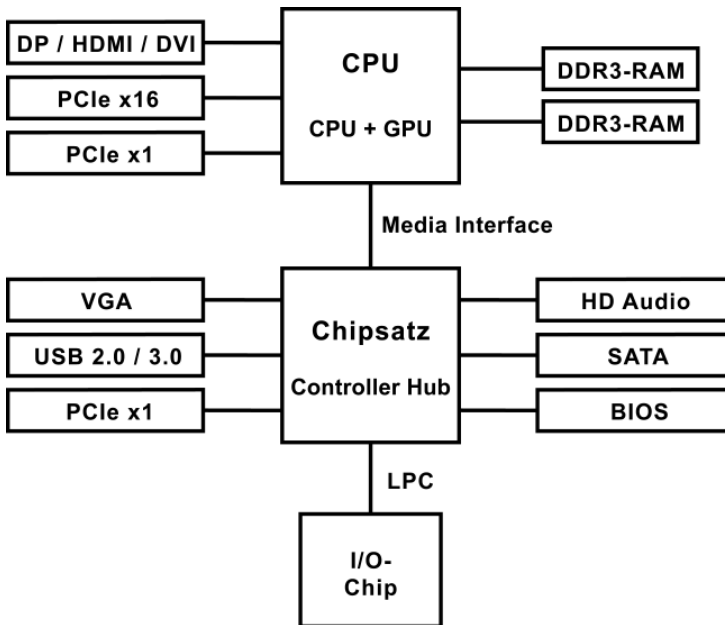
Der Chipsatz wird über die Einstellungen im BIOS konfiguriert. In

Abhängigkeit von Chipsatz, Arbeitsspeicher, und Prozessor können hier unterschiedliche Einstellungen deutliche Leistungsunterschiede auslösen. Hat der Chipsatz- oder Motherboard-Hersteller bei der Entwicklung geschlampt, kann das zu deutlichen Leistungseinbußen des gesamten Systems führen. Da spielt der Prozessortakt und der ach so schnelle Speicher keine Rolle mehr. Was der Chipsatz nicht leistet, das können andere Komponenten nur schwer wieder an Leistung beisteuern. Generell können die Chipsätze der unterschiedlichen Hersteller Leistungsunterschiede von bis zu 10% haben. Zudem legt der Chipsatz fest, welche Komponenten im Computersystem verwendet werden können. Welche Komponenten der Chipsatz unterstützt ist herstellerabhängig. Bausteine, die im Chipsatz fehlen, kann der Motherboard-Hersteller zusätzlich auf dem Motherboard einbauen. Wenn das nicht ausreicht, lässt sich ein System durch Erweiterungskarten aufrüsten. Chipsätze gibt es von den Prozessor-Herstellern, die möglichst optimale Bedingungen für ihre Prozessoren schaffen wollen. So wollen sie ihren Prozessoren eine Arbeitsumgebung bieten, in denen Ihre Leistungsfähigkeit voll zur Geltung kommt. Aber, es gibt auch noch andere Chipsatz-Hersteller. Doch die agieren meist im Low-Cost-Bereich oder entwickeln Chipsätze für Spezialanwendungen.

## **Chipsatz-Architektur**

Der Chipsatz besteht aus mehreren einzelnen Chips, die die verschiedenen Elemente eines Computers auf logischer und physikalischer Ebene miteinander verbinden. Die klassische Chipsatz-Architektur besteht grob gesehen aus zwei Bausteinen. Der eine kümmert sich um die Kommunikation zwischen Hauptprozessor (CPU), Arbeitsspeicher und Grafikkarte. Eine Verbindung zum zweiten Baustein bindet alle anderen Komponenten über Schnittstellen ins System ein.

Im Laufe der Zeit entstanden verschiedene Chipsatz-Architekturen. Die Veränderungen an der Architektur hatten vor allem die Erhöhung der Systemgeschwindigkeit zur Folge. Weil der Hauptprozessor immer leistungsfähiger wurde musste die Geschwindigkeit der Peripherie immer wieder angepasst werden. Deshalb wurden nicht nur die Bussysteme und Schnittstellen schneller, sondern auch die Anbindung der Schnittstellen-Controller an den Chipsatz.



Zwangsläufig kam es dazu, dass immer mehr Funktionen und Schnittstellen in den Prozessor wanderten. Moderne Prozessoren zeichnen sich nicht durch eine hohe Rechenleistung, sondern auch durch eine hohe Schnittstellendichte aus.

## Datenspeicher

Ein Datenspeicher dient zum Speichern von Daten bzw. Informationen. Als Datenspeicher dienen Datenträger. Der Begriff Speichermedium wird auch als Synonym für einen konkreten Datenträger verwendet. Bei der Datenspeicherung geht es darum, Daten jeglicher Art auf Datenträger zu schreiben bzw. speichern und von dort auch wieder zu lesen.

Speicher oder Datenspeicher kann viele Bedeutungen haben. Datenspeicher können Datenträger oder Speichermedien sein, die mit Hilfe elektronischer Geräte beschrieben oder gelesen werden können. Genauso können Datenspeicher elektronische Bauteile sein, die innerhalb von Schaltkreisen Daten speichern. Datenspeicher können fest oder wechselbar in elektronischen Geräten eingebaut sein.

## Arten von Datenspeicher

- Elektronischer Datenspeicher (Halbleiterspeicher)
  - ROM - Read Only Memory
  - RAM - Random Access Memory
  - SDRAM - Synchronous DRAM
- Magnetischer Datenspeicher
  - Diskette
  - Festplatten
  - Tape
- Optischer Datenspeicher
  - CD-ROM
  - DVD
  - Blu-ray Disc
- Magnetisch-optischer Datenspeicher
- Sonstige Datenspeicher

## Vergleich: Datenspeicher

Format	Kapazität	Transferrate
Diskette	1,4 MByte	-
ZIP-Drive	120 MByte	-
CD-R	700 MByte	ca. 4 MByte/s
DVD-R	4,4 GByte	ca. 18 MByte/s
BD-RE	22,6 GByte	9 bis 34 MByte/s
USB-Stick (USB 2.0)	bis 256 GByte	5 bis 34 MByte/s
Externe USB-2.0-Festplatte	bis 1 TByte	ca. 34 MByte/s
Interne Festplatte (3,5“)	bis 8 TByte	max. 600 MByte/s

## **So müsste der perfekte Datenspeicher aussehen**

- niedriger Energieverbrauch
- geringe Herstellungskosten
- hohe Performance
- hohe Speicherdichte
- nahezu unbegrenzte Lösch- und Schreibzyklen
- geringe Schaltspannung

## **Zukünftige Entwicklungen**

Alle paar Jahre wird ein neuartiger Speicher vorgestellt. Doch zwischen der Präsentation eines Prototyps und marktreifer Produkte klafft eine erhebliche zeitliche Lücke. Auch kommen viele Speichertechniken eher selten zum Einsatz. Manchen bleibt nur ein Nischendasein. Solange es wirtschaftlich vertretbar ist, wird möglichst lange die bestehende Basistechnik eingesetzt und weiterentwickelt.

Zukünftige Speichertechniken werden Molekülspeicher und Biospeicher sein, sowie Einflüssen aus der Nanotechnologie unterliegen. Allerdings wird es sich immer um einen elektronischen Speicher handeln müssen.

## **Für neue Speicherverfahren bieten sich eine ganze Reihe physikalischer Effekte an:**

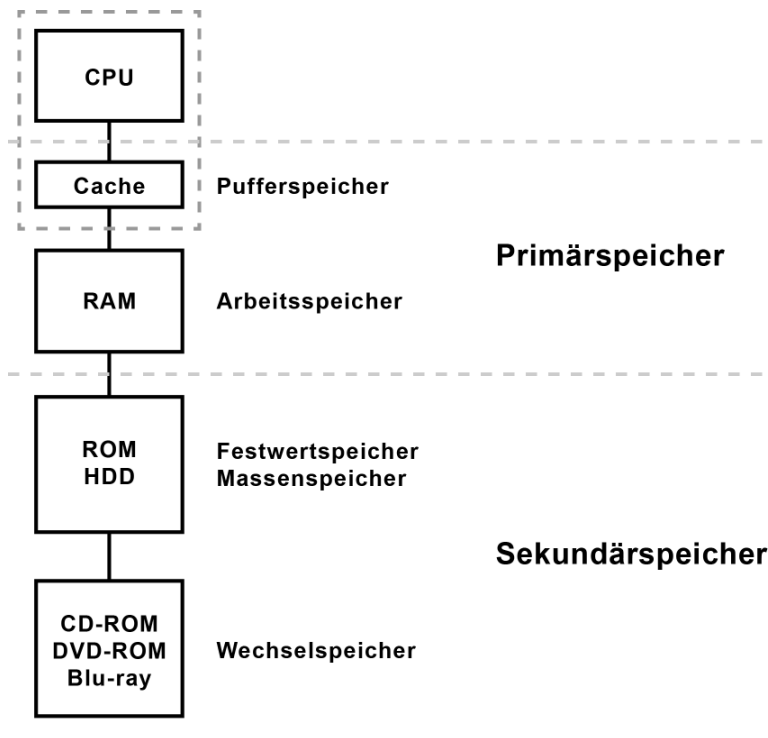
- optisch
- elektrisch
- magnetisch
- thermo-magnetisch
- thermo-mechanisch
- chemisch
- biologisch

## **Speicherarchitektur**

Speicher dienen in der Computertechnik zur Aufbewahrung von Informationen in binärer Form. In der Regel sind das Folgen von Nullen und Einsen. Gespeichert werden Programme und Informationen. Je nach Verarbeitungszustand befinden sich diese Daten an unterschiedlichen Stellen innerhalb der Speicherarchitektur eines Computersystems.



Ein optimaler Datenspeicher würde aus einem Datenträger bestehen, der große Datenmengen dauerhaft aufnehmen kann und gleichzeitig sehr schnell ist. An allen drei Eigenschaften hat man bei der Entwicklung von Datenspeichern immer wieder gearbeitet. Leider waren alle Anforderungen zusammen nie erfüllbar. Entweder war der Speicher zu klein, zu langsam oder hat bei abgeschalteter Energieversorgung seinen Speicherinhalt verloren. Aus diesem Grund hat man eine zweistufige Speicherarchitektur entwickelt, die zwischen Primärspeicher und Sekundärspeicher unterscheidet.



### Primärspeicher (Cache, Arbeitsspeicher)

Primärspeicher sind für Daten und Instruktionen gedacht, die kurz davor stehen vom Hauptprozessor verarbeitet zu werden oder die schon verarbeitet wurden. Hierzu zählen der Cache und der Arbeitsspeicher. Der Cache ist im Prozessor integriert und dient als Zwischenspeicher, der im Optimalfall mit Prozessorgeschwindigkeit arbeitet und dafür sorgt, dass

der Prozessor immer mit Daten und Programm-Code gefüttert wird. Hierdurch wird der Leerlauf des Prozessors vermieden.

Bevor Programm-Code und Daten zur Verarbeitung in den Prozessor gelangen, dient der Arbeitsspeicher als Datenablage. Die Größe des Arbeitsspeichers bestimmt die Menge der Daten, die für den Prozessor vorgehalten werden können. Durch das Ausführen von Programmen und Verarbeiten von Daten aus dem Arbeitsspeicher ergibt sich ein Geschwindigkeitsvorteil, der beim Lesen und Speichern von Programmen und Daten von sekundären Datenspeichern nicht geleistet werden kann. Der Arbeitsspeicher ist also schneller als ein Sekundärspeicher.

Die Besonderheit des Arbeitsspeichers liegen im wahlfreien Zugriff und in der schnellen Änderbarkeit der Speicherinhalte. Dagegen steht, dass er den Speicherinhalt beim Verlust der Betriebsspannung verliert. Zum Beispiel beim Ausschalten des Computers. Sollen die Daten im Arbeitsspeicher dauerhaft gespeichert werden, dann müssen sie durch den Hauptprozessor vom Arbeitsspeicher in einen Sekundärspeicher geschrieben werden.

In einem Computer war die Anbindung des Datenspeichers an den Prozessor schon immer ein Flaschenhals. Doch in der Praxis hat das kaum Auswirkungen auf die Gesamtleistung des Systems. Die Kombination aus Sprungvorhersagen des Prozessors im Programmcode und gleichzeitig großen, gestaffelten Caches fangen einen Großteil der Anfragen auf den Arbeitsspeicher und die Festplatte ab. So liegen die Daten aus dem Arbeitsspeicher meist schon vor dem Abruf im Cache des Prozessors. Muss ein Programm dann doch mal auf Daten warten, dann erledigt das Rechenwerk des Prozessors in der Zwischenzeit etwas anderes. Auf diese Weise wird die mangelnde Speichieranbindung kaschiert.

## **Sekundärspeicher (Festspeicher, Massenspeicher)**

Sekundärspeicher ist der externe Datenspeicher eines Computers, auf den der Hauptprozessor nicht direkt zugreift, sondern über Ein- und Ausgabe-Schnittstellen. Sekundärspeicher sind Festspeicher und gleichzeitig auch Massenspeicher. Ein Sekundärspeicher wird verwendet, um Daten dauerhaft zu speichern, die gerade nicht verarbeitet werden. Im Vergleich zum Primärspeicher (Arbeitsspeicher) hat er eine höhere

Speicherkapazität, kann die Daten dauerhaft auch ohne Energieversorgung speichern und arbeitet dafür viel langsamer.

Ein Sekundärspeicher, wie zum Beispiel eine Festplatte, stellt viel Speicherplatz bereit. Speziell die Festplatte ist auf hohe Speicherkapazitäten optimiert. Es geht darum, möglichst viele Daten dauerhaft zu einem möglichst günstigen Preis speichern zu können. Die Schreib- und Lesegeschwindigkeit spielt nur eine untergeordnete Rolle. Die Zugriffszeit ist durch die Schnittstelle und die Mechanik begrenzt und lässt keine, für den Prozessor übliche, Arbeitsgeschwindigkeit zu.

Daten auf Sekundärspeichern werden in der Regel mit einem Dateisystem in Dateien und Verzeichnissen organisiert.

### **Sekundärspeicher unterscheidet man anhand ihrer technischen Verfahren:**

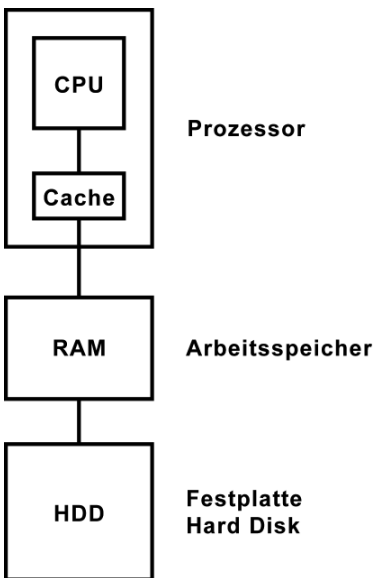
- Mechanische Sekundärspeicher
  - Lochstreifen
  - Lochkarten
- Optische Sekundärspeicher
  - CD-ROM / CD-R / CD-RW
  - DVD-ROM / DVD-R/-RW / DVD+R/+RW / DVD-RAM
  - Blu-ray Disc / BD-R / BD-RE
  - Holografischer Speicher
- Magnetische Sekundärspeicher
  - Disketten
  - ZIP
  - Festplatten
  - Tape/Magnetband
- Halbleiter-Sekundärspeicher
  - Flash-Memory

Fast alle Sekundärspeicher sind entweder magnetisch oder optisch. Mechanische Sekundärspeicher haben nur noch Museumswert. Zukunftsweisend sind Halbleiterspeicher, wie Flash-Memory, die Daten dauerhaft ohne Energieversorgung speichern können. Allerdings stehen wir hier noch am Anfang der technischen Entwicklung.

# Arbeitsspeicher / Hauptspeicher

Der Arbeitsspeicher ist ein wichtiger Teil eines Computers und ein wesentlicher Faktor für die Leistungsfähigkeit eines Computersystems, wenn es um die Verarbeitung von großen Datenmengen geht. Hier spielt die Lese- und Schreibgeschwindigkeit und auch die Speicherkapazität eine große Rolle.

Da der interne Speicher eines Prozessors in der Regel zu klein und der Zugriff auf die Festplatte zu langsam ist, dient der Arbeitsspeicher als Ablage für Daten und Programmcode, der verarbeitet und zwischengespeichert werden muss. Der Arbeitsspeicher dient als Zwischenspeicher auf dem Weg zwischen Prozessor und einer Festplatte oder einer anderen Ein- und Ausgabeeinheiten.

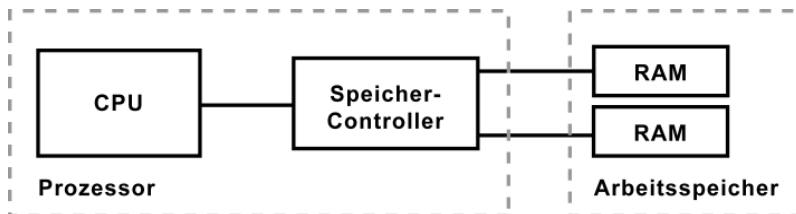


Der Arbeitsspeicher wird auch als Hauptspeicher bezeichnet. Manchmal verwendet man auch RAM, die Abkürzung für Random Access Memory. In praktisch jedem Computer, sowohl in der Vergangenheit, heute und auch in der Zukunft, wird eine Art von RAM als Arbeitsspeicher verwendet. RAM zeichnet sich durch den wahlfreien Zugriff, sowohl lesend, als auch schreibend, aus. Das ist das, was ein Arbeitsspeicher im wesentlichen können muss. Und das möglichst schnell.

## Virtueller Arbeitsspeicher

Prinzipiell ist der physikalische Arbeitsspeicher auf die Größe des eingebauten Arbeitsspeichers begrenzt. Doch Computersysteme mit Festplatte oder Massenspeicher können ihren Arbeitsspeicher virtuell vergrößern. Dazu bekommen die Applikationen nicht den physischen Speicher, sondern nur einen eigenen virtuellen Adressraum zu sehen. Der wird vom Betriebssystem zur Verfügung gestellt. Dabei kommt es vor, dass allen laufenden Applikationen zusammen mehr virtueller Speicher zur Verfügung steht, als Arbeitsspeicher physikalisch vorhanden ist. Wenn das der Fall ist, dann lagert das Betriebssystem die Daten auf die Festplatte aus. Das bedeutet aber auch, dass das Gesamtsystem langsamer wird. Denn Zugriffe auf den virtuellen Arbeitsspeicher auf der Festplatte benötigen mehr Zeit, als Zugriffe auf den tatsächlich physikalisch vorhandenen Arbeitsspeicher.

## Speichermodule / Speicherriegel

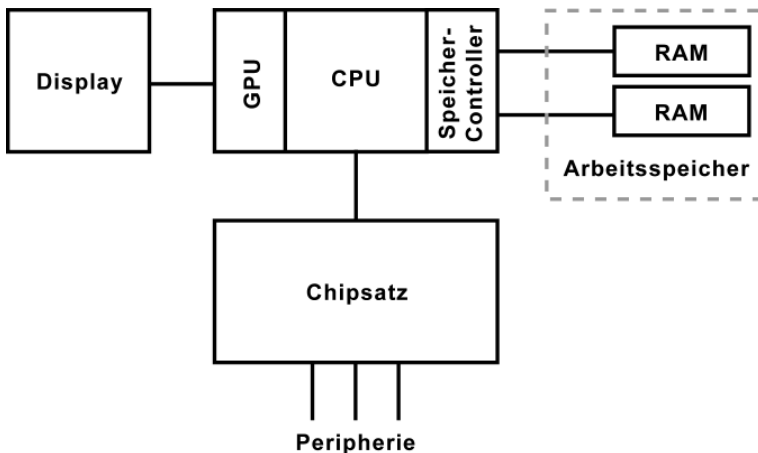


Um Computer flexibel mit Arbeitsspeicher auszustatten, wird der Arbeitsspeicher nicht fest im Computer eingebaut, sondern auf Speichermodule ausgelagert. Das sind kleine steckbare Platinen, auf denen die Speicherchips gelötet sind. Man bezeichnet diese Bauform als Speichermodule. Diese Speichermodule werden in die dafür vorgesehenen Steckplätze auf dem Motherboard gesteckt. Da nicht alle Speichermodule identisch sind, sondern für verschiedene Anwendungen optimiert und von verschiedenen Hersteller gefertigt werden, muss der Speichercontroller mit unterschiedlich vielen Bausteinen zurechtkommen. Damit das gelingt werden die Speichermodule und die Speicherorganisation von der JEDEC standardisiert.

## Speicher-Controller

Der Speicher-Controller bindet die Speichermodule des Arbeitsspeichers in ein Computersystem ein. Die Speichermodule haben keine eigene Logik. Es sind nur Platinen mit Speicherchips drauf. Den Zugriff auf den Speicher koordiniert deshalb der Speicher-Controller. Der Speicher-Controller ist das Bindeglied zwischen Prozessor und Arbeitsspeicher oder zwischen Chipsatz und Arbeitsspeicher. Die genaue Anbindung hängt von der Systemarchitektur ab.

Speicher-Controller binden die Speichermodule in einem oder mehreren Speicherkanälen an. Die Speicherkanäle sind mit einem oder mehreren Speichermodulen bestückt. Der Speicher-Controller liest zu Beginn des Bootvorgangs die zulässigen Betriebsparameter vom Speichermodul aus und nimmt diese dann in Betrieb. Anschließend verfügt das System über Arbeitsspeicher.

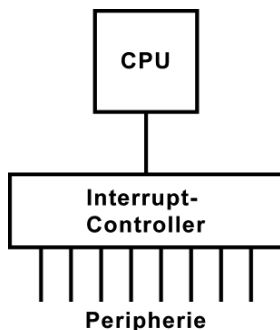


In der Anfangszeit war der Speicher-Controller im Chipsatz integriert. Daten und Programmcode musste deshalb immer den Umweg über den Chipsatz machen. Mit zunehmender Taktfrequenz und Integrationsdichte wurden Prozessoren bei der Datenverarbeitung immer schneller. Deshalb musste die Geschwindigkeit des Arbeitsspeichers im Laufe der Zeit immer wieder angehoben werden.

Kann der Prozessor die Daten aus dem Arbeitsspeicher nicht schnell genug lesen, dann sinkt die effektive Rechenleistung des Prozessors. Deshalb

sind die Prozessor-Hersteller diejenigen, die an der Beschleunigung des Arbeitsspeichers am meisten interessiert sind. Schließlich wollen sie, dass ihre Prozessoren ihre Leistungsfähigkeit optimal ausreizen können.

## Interrupt



Jedes Computersystem besteht nicht nur aus Hauptprozessor (CPU) und Datenspeicher, sondern auch aus der Peripherie, die im Gehäuse eingebaut oder an den äußeren Schnittstellen angeschlossen ist. Bei diesen Geräten handelt es sich um Ein- und Ausgabegeräte. Sie können zum Beispiel Daten von außen entgegennehmen. Zum Beispiel typische Eingaben, wie Maus-Bewegung, Tastatur-Eingaben oder Netzwerk-Verkehr. Damit die CPU mitbekommt, dass Daten von außen anstehen, muss es die Möglichkeit geben, den Prozessor bei seiner Arbeit zu unterbrechen. Hierzu gibt es die Möglichkeit, dass der Prozessor alle Eingabe-Geräte zyklisch abfragt (Polling). Was bei der Vielzahl an Komponenten in einem Computer bedeuten würde, dass der Prozessor mit nichts anderem mehr beschäftigt wäre. Eine Alternative ist die sogenannten Unterbrechungsanforderung (to interrupt, unterbrechen), die dann eintritt, wenn Daten von außen anstehen. Dazu wurde die Möglichkeit geschaffen den Hauptprozessor auf definierte Weise bei der laufenden Arbeit zu unterbrechen.

### Ablauf eines Interrupts

Wenn ein Gerät Daten zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung hat oder einfach nur eine Rückmeldung geben will, dann wird dem Prozessor in seiner laufenden Arbeit eine Unterbrechungsanforderung, also ein

Interrupt-Request (IRQ) gesendet. Das passiert durch den Interrupt (Leitung), der dem betreffenden Gerät zugewiesen ist.

Wird zum Beispiel eine Taste auf der Tastatur gedrückt, dann schickt der Tastatur-Controller einen IRQ an den Prozessor. Der unterbricht seine aktuelle Tätigkeit und führt einen Befehl an einer bestimmten Speicheradresse aus, die vom IRQ-Eingang abhängig ist und auf den Tastatur-Treiber verweist. In den daraufhin ablaufenden Lese- und Schreiboperationen wird dafür gesorgt, dass der Buchstabe auf dem Bildschirm erscheint.

## **Interrupt-Auslösegründe**

Bei jeder zeitkritischen Anwendung, bei der Daten an den Prozessor gesendet werden müssen, wird ein Interrupt ausgelöst. Für den IRQ können folgende Aktionen verantwortlich sein:

- Mausbewegung
- Datenempfang vom Modem
- Tastatureingabe
- Audioaufnahme durch die Soundkarte
- Lesen von Speichermedien

Damit aus Anwendersicht das System optimal funktioniert, ist die Gewichtung zwischen den Interrupts unterschiedlich. So kann sich die CPU um die wichtigen Aufgaben kümmern. Bei Überlastung kann es trotzdem dazu kommen, dass wichtige Daten nicht rechtzeitig oder nur verzögert vom Prozessor verarbeitet werden können.

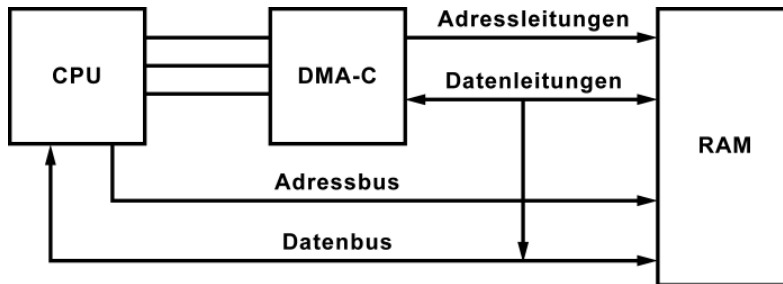
## **DMA - Direct Memory Access**

Soll von einer Eingabe-Ausgabe-Einheit Daten direkt in den Arbeitsspeicher geschrieben werden, so muss das der Prozessor veranlassen. Erst lädt er die Daten in sein internes Register. Und erst dann schreibt er es in den Arbeitsspeicher. Dafür sind mehrere Taktschritte notwendig, die die Ausführungsgeschwindigkeit laufender Programme verringert, weil der Prozessor mit dem Lesen und Schreiben von Daten beschäftigt ist. Um diese Verarbeitungsschritte vom Prozessor fern zu halten, gibt es den Direct Memory Access (DMA).



Unter DMA (übersetzt direkter Speicherzugriff) ist eine Schaltungs- und Steuermaßnahme zu verstehen, die über spezielle Datenleitungen auf dem Motherboard eine Verbindung zwischen Erweiterungen/Peripherie und dem Arbeitsspeicher herstellen. Dadurch können die Daten ohne Umweg über den Prozessor direkt in den Speicher geschrieben werden. So lässt sich die Ausführungsgeschwindigkeit eines ganzen Systems erhöhen.

## Funktionsweise des DMA-Controllers



Der DMA-Controller (DMA-C) ist in den Chipsätzen fest integriert. Er ist dafür gedacht, Daten zwischen Arbeitsspeicher und Peripherie zu transportieren und den Prozessor mit diesen Aufgaben zu entlasten. In Zeiten, als es noch sehr langsame Prozessoren gab, machte sich der Geschwindigkeitsunterschied bei großen Datenmengen deutlich bemerkbar.

Will der Prozessor Daten senden oder empfangen, trennt der DMA-Controller den Prozessor vom Bussystem. Der DMA-Controller führt dann die Anforderung mit hoher Geschwindigkeit aus. Danach wird die Verbindung zwischen Prozessor und Bussystem wieder hergestellt. Für den Speichertransfer benötigt der Prozessor ca. 40 Takte. Der DMA-Controller führt den Zugriff innerhalb von 4 Takten aus.

## BIOS - Basic Input/Output System

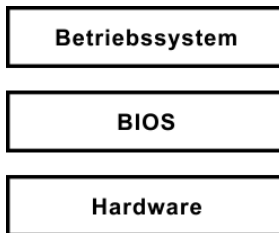
Die Geschichte des BIOS beginnt mit dem ersten IBM-PC, als IBM und Microsoft Hardware und Software (Betriebssystem) unabhängig voneinander entwickelten. Dabei kam es zu der Frage, wie das Betriebssystem auf die Hardware zugreifen kann. Deshalb wurde eine Schnittstelle zwischen Hardware und Betriebssystem entworfen. Das BIOS

ist diese Schnittstelle. Das Betriebssystem greift auf Funktionen im BIOS zurück, um die angeschlossene Hardware anzusprechen.

Das BIOS ist auf einem EEPROM- oder Flash-Memory-Chip gespeichert.

Heute hat das BIOS nicht mehr die gleiche Bedeutung, wie zu Anfangszeiten des PCs. Moderne Betriebssysteme nutzen nur noch wenige BIOS-Funktionen. Sie sprechen die PC-Hardware mit eigenen Treibern an. Das bedeutet jedoch nicht, dass das BIOS verzichtbar ist.

## **Funktionsweise des BIOS**



Das BIOS nimmt nach dem Einschalten des Computers, also beim Systemstart, die Hardware-Komponenten in Betrieb. Der Vorgang nennt sich Power-on-self-test (POST). Es erzeugt ACPI-Tabellen, mit denen das Betriebssystem später die Energieverwaltung der Hardware steuert. Das BIOS verfügt auch über die Konfigurations- und Hardware-Informationen. So ermittelt das BIOS die Zeitparameter der Speichermodule, sowie Taktfrequenz und Betriebsspannung des Hauptprozessors. Danach startet das BIOS das Betriebssystem und spielt dann keine Rolle mehr.

Das Starten des Betriebssystems bezeichnet man als Booten. Während des Boot-Vorgangs wird die Hardware anhand der Einstellungen im BIOS konfiguriert. Die Parameter (Adressen, IRQ, Steckplatz, etc.) werden ganz oder teilweise vom Betriebssystem übernommen und eigenständig verwaltet.

## **Protected Mode**

Mit dem 386-Prozessor (Intel) wurde der Protected Mode für das Windows-Betriebssystem eingeführt. Seitdem greift das Betriebssystem nicht mehr auf BIOS-Funktionen mehr zu, sondern muss die Hardware mit Hilfe von zusätzlicher Software ansteuern. Diese Software werden Treiber

genannt. Sie erfüllen noch heute dieselbe Funktion. Für ihre Entwicklung sind die Hardware-Hersteller verantwortlich. Jeder Hardware-Teil braucht seinen eigenen Treiber. Weil viele Komponenten standardisiert sind, gibt es Standard-Treiber, mit denen man fast jede Hardware zumindest rudimentär in Betrieb nehmen kann. Auch dann, wenn es einen speziellen Treiber gibt.

## **Power-on-self-test (POST)**

Wenn ein PC eingeschaltet wird, wird ein elektrisches Signal zum Prozessor geschickt und zufällige Speicherinhalte zurückgesetzt. Dieser Vorgang wird Power-on-self-test (POST) genannt und bedeutet: Selbst-Test nach dem Einschalten.

Im Prozessor befindet sich ein Programmzähler, der angibt bei welcher Speicheradresse der nächste Befehl steht, der ausgeführt werden soll. Beim Einschalten des Computers weist der Programmzähler auf eine bestimmte Adresse in einem Speicher. Dort ist das BIOS gespeichert.

### **Benutzt der Prozessor die Adresse, finden eine Reihe von Überprüfungen im System statt:**

1. Der Prozessor prüft erst sich selbst und das Selbsttest-Programm.
2. Dann sendet er Signale über den Systembus, um sicherzustellen, dass alle Komponenten funktionieren.
3. Der Prozessor prüft die Systemuhr.
4. Der Prozessor untersucht den Speicher auf der Grafikkarte.  
Danach ist zum Ersten mal etwas auf dem Bildschirm zu sehen.
5. Der Selbsttest prüft den Arbeitsspeicher.
6. Der Prozessor prüft, ob die Tastatur richtig angeschlossen ist und ob irgendwelche Tasten betätigt sind.
7. Der Prozessor schickt Signale zu den verschiedenen Laufwerken, um festzustellen, welche zur Verfügung stehen.
8. Wenn der Selbsttest eine neue Hardware gefunden hat, erhält man die Möglichkeit, die Konfiguration entsprechend zu ändern.
9. Gibt es Komponenten, die über ein eigenes BIOS verfügen (SCSI, Plug & Play), werden sie in den Selbsttest mit einbezogen.
10. Nach dem Selbsttest wird der nächste Schritt ausgeführt: Das Betriebssystem wird von einem Datenträger geladen. Man nennt das Booten.

## **Booten von einem Datenträger**

Nachdem der Selbst-Test (POST) durchgeführt wurde, sucht das Boot-Programm im BIOS auf den angeschlossenen Datenträgern nach einem Master-Boot-Record. Die Reihenfolge der Zugriffe auf die einzelnen Datenträger ist im BIOS gespeichert und kann dort auch geändert werden. Der Master-Boot-Record befindet sich immer an der selben Stelle und ist nur 512 Byte groß. Er wird in den Arbeitsspeicher geladen. Dort übernimmt er dann die weitere Kontrolle über den Computer. Der Boot-Record verweist auf Systemdateien, die je nach Betriebssystem anders heißen. Nachdem diese Systemdateien geladen sind, wird der Boot-Record überflüssig und von anderen Daten im Arbeitsspeicher überschrieben. Ab hier werden die Gerätetreiber geladen, die den Speicher und die Hardware-Komponenten steuern. Danach werden die verschiedenen Teile des Betriebssystems geladen, die der Anwender zum Arbeiten benötigt. Wenn alles geladen ist, dann ist der Boot-Vorgang abgeschlossen.

## **Booten von Flash-Memory**

In speziellen Computern, wo das Betriebssystem nicht groß ist, ist das Betriebssystem in die Hardware eingebaut. Es wird dann von einem Festwertspeicher oder Flash-Memory geladen. Das ist bei älteren Spiele- und Homecomputern (Atari, Amiga, C64) und auch bei den Videospiele-Konsolen der Fall. Auch Smartphones und Tablets haben ein integriertes Betriebssystem.

## **Booten von USB-Laufwerken**

Eine weitere wichtige Funktion ist die Unterstützung des Boot-Vorgangs von USB-Massenspeicher. Hier fügt das BIOS eine Emulationsschicht ein, damit der Bootloader des Betriebssystems das USB-Laufwerk wie eine Festplatte ansprechen kann.

## **UEFI - Unified Extensible Firmware Interface**

Das BIOS eines PCs basiert im Prinzip auf dem 1982 von IBM eingeführten BIOS. Seit dem wurde es mit Patches und Erweiterungen an die moderne Hardware angepasst. Eine der Hauptaufgaben des BIOS ist, die einzelnen Hardware-Komponenten an das Betriebssystem anzumelden.

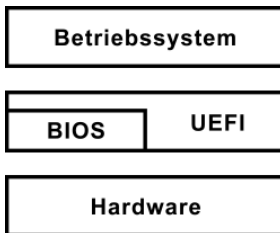
Das Problem dabei sind die nicht standardisierten Prozeduren. Jeder BIOS-Hersteller hat eine andere Grund-Konfigurationen mit vielen verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten.

Das Unified Extensible Firmware Interface (UEFI) soll das klassische BIOS in PCs mit x86- und x64-Prozessoren ablösen, um mit den Unzulänglichkeiten eines veralteten BIOS aufzuräumen, neue Funktionen zu ermöglichen und Lizenzzahlungen an IBM (BIOS-Patent) zu vermeiden.

Die UEFI-Spezifikation definiert ein Embedded-System, das sich einfacher bedienen lässt, hochauflösende Grafikkarten unterstützt und netzwerkfähig ist.

- Software ist in C geschrieben
- Kompatibilität durch BIOS-Simulation
- modulare Erweiterbarkeit
- Netzwerkfähigkeit
- hochauflösende Grafik

## BIOS und UEFI



Die Begriffe UEFI-Firmware und BIOS werden häufig synonym verwendet. Obwohl ein Motherboard eine UEFI-Firmware besitzt spricht man immer noch vom BIOS-Setup, wenn man Einstellungen verändern will.

Ein reines UEFI wird eher selten genutzt. Das würde durchgängig UEFI-taugliche Hardware voraussetzen. Aus Kompatibilitätsgründen verwendet man immer noch ein normales BIOS, dem ein UEFI übergestülpt ist.

Die meisten Systeme starten standardmäßig nicht im UEFI-Modus, sondern laden zuerst das Compatibility Support Module (CSM). CSM

stellt BIOS-Kompatibilität her, damit auch ältere Betriebssysteme von Motherboards mit UEFI-Firmware starten können. Je nach Hersteller versuchen die Systeme zuerst UEFI-kompatible Bootmedien zu erkennen oder versuchen zuerst mit UEFI zu starten, um im Misserfolgsfall in den BIOS-Startmodus zu wechseln. Bei anderen Systemen muss man zwischen UEFI- und BIOS-Startmodus umschalten. Im UEFI-Modus ist dann das Laden des Betriebssystems von herkömmlichen USB-Sticks, CDs oder DVDs nicht mehr möglich.

## **PnP - Plug & Play**

Plug & Play erlaubt dem Anwender eine beliebige Hardware mit seinem Computer zu verbinden, ohne sich um die Hardware-Konfiguration kümmern zu müssen. Das heißt, das Betriebssystem übernimmt im laufenden Betrieb in Installation der Treiber und Konfiguration der Hardware. Die dahinterliegende Technik ist für viele Anwender alltäglich und völlig selbstverständlich. Jeder hat sich an das Einstecken-und-Loslegen-Prinzip gewöhnt. Doch das war nicht immer so.

Aus den Anfangszeiten von PnP ist diese Technik auch als Plug and Pray bekannt. Die Bezeichnung entstand wegen den anfänglichen Inkompatibilitäten zwischen Hardware und Motherboards. Davor war es üblich, nach der Hardware-Installation im Betriebssystem Hardware- und Software-Ressourcen, wie Interrupts (IRQ), DMA-Kanäle, Speicheradressen und Portadressen manuell zugewiesen werden mussten. Bei Erweiterungskarten war es oft notwendig diese Parameter per Jumper oder DIP-Schalter einzustellen. Dank Plug & Play ist das heute nicht mehr nötig.

Heute ist es üblich, dass alle Hardware-Komponenten Plug-&-Play-fähig sind und die Betriebssystem in der Lage sind, die eingebaute Hardware zu erkennen, um dann die richtigen Treiber zu laden oder zu installieren.

## **Funktionsweise**

Die Technik hinter Plug & Play ist im BIOS verankert. Nach dem Einschalten eines Computers wird vom BIOS die Hardware identifiziert und konfiguriert. Danach wird die Kontrolle der Hardware an das Betriebssystem übergeben. Das Betriebssystem fragt die Hardware nach den benötigten Systemressourcen ab und speichert die Informationen in

einer Datenbank. Danach teilt das Betriebssystem die Ressourcen auf und legt fest, welche Hardware welche Ressourcen nutzen darf. Diese Information wird in die Hardware geschrieben. Die Hardware hat sich daran zu halten.

Danach werden die Gerätetreiber geladen. Ist der Treiber noch nicht installiert, kommt die übliche Aufforderung zur Treiber-Installation an den Anwender.

## **ACPI - Advanced Configuration and Power Interface**

ACPI ist ein offener Industriestandard für die Energieverwaltung. Zusätzlich stellt er Schnittstellen für die Hardware-Erkennung, Gerätekonfiguration und zum Energiemanagement zur Verfügung. ACPI wurde Ende der 90er Jahre von Intel und Microsoft eingeführt. Heute sind sehr viele PC-Hersteller, Betriebssystem-, Treiber-, BIOS-, Firmware- und Software-Entwickler an der ACPI-Spezifizierung und Umsetzung beteiligt. Entsprechend umfangreich ist diese Spezifikation. Trotzdem oder gerade deshalb finden sich in vielen Implementierungen Fehler. Deshalb gibt es immer wieder mal Probleme mit den verschiedenen Betriebszuständen der PC-Hardware.

Für eine volle ACPI-Unterstützung müssen sowohl das Motherboard mit dem Chipsatz, Timer und BIOS als auch das Betriebssystem und teilweise auch der Prozessor ACPI-fähig sein. Weil alle Komponenten von unterschiedlichen Herstellern kommen, sind Inkompatibilitäten nicht ausgeschlossen.

### **Energiemanagement**

ACPI ist hauptsächlich für das Energiemanagement bekannt, dass das Advanced Power Management (APM) abgelöst hat. Die Kontrolle über das Energiemanagement liegt bei ACPI, anders als beim älteren APM-Standard, komplett beim Betriebssystem.

ACPI ermöglicht es dem Betriebssystem, den Computer auszuschalten um ihn zu einem späteren Zeitpunkt wieder einschalten zu können, um dann genau mit dem selben Zustand weiterarbeiten zu können, den er beim Ausschalten hatte. Doch so toll sich das anhört, es funktioniert bis heute teilweise immer noch nicht fehlerfrei.

## **Betriebszustände**

ACPI unterscheidet zwischen den Betriebszuständen des gesamten Systems (S-States), des Prozessors (C- und P-States) und sonstigen Komponenten (D-States). Die Kennzeichnung setzt sich aus einem Anfangsbuchstaben zusammen, dem eine Ziffer folgt. Während der Buchstabe den Zuständigkeitsbereich des Betriebszustands kennzeichnet, bezieht sich die Ziffer auf die Sparwirkung. Der Stromverbrauch ist umso niedriger, je tiefer der Schlafzustand der CPU-Kerne und der übrigen Bestandteile des Prozessors ist. Je größer die Zahl, desto sparsamer ist der Betriebszustand und desto länger dauert die Wiederherstellung des Normalzustands.

### **ACPI S0**

Der Betriebszustand S0 steht für den normalen Zustand eines laufenden Computers. Es ist möglich, den Prozessor in den C1-Zustand zu schalten. Es ist auch möglich, andere Komponenten, wie Festplatten bei laufendem System schlafen zu legen (D3/D4).

### **ACPI S1 - S2 - S3**

Bei S1 und S3 schlummert das System und wacht dann auf, wenn zum Beispiel die Tastatur betätigt wird. Die Leistungsaufnahme zwischen S0 und S1 unterscheidet sich praktisch nicht.

Der S2-Betriebszustand ist ungenau definiert und kommt deshalb nie vor.

### **ACPI S3 - Suspend-to-RAM**

Wählt man unter Windows XP "Standby" oder Windows Vista "Energie sparen", dann fährt das System in den S3-Modus. Wenn die notwendige Hardware-, BIOS- und Treiber-Unterstützung fehlt, dann wird in den S1-Modus geschaltet. Wenn die Schaltflächen für "Standby" und "Energie sparen" fehlen, dann fehlen die notwendigen Treiber oder sind fehlerhaft installiert. Im BIOS/UEFI könnte ACPI-S1/S3 auch abgeschaltet sein. In diesem Zustand versorgt das Netzteil das Motherboard nur noch aus der 5V-Standby-Leitung. So fern ein Computer nicht stromlos war, wacht er innerhalb von Sekunden auf, wenn er gestartet wird.



## **ACPI S4 - Suspend-to-Disk**

Bei ACPI S4 wird der Arbeitsspeicher in eine Datei auf der Festplatte gespeichert. Danach darf der Computer vom Stromnetz getrennt werden. Der Systemstart dauert dann aber etwas länger als bei ACPI S3. Denn es müssen erst die Daten von der Festplatte in den Arbeitsspeicher zurückgeschrieben werden. Wenn der Arbeitsspeicher sehr groß ist und die Festplatte langsam, dann kann das Aufwachen aus dem S4-Betriebszustand länger dauern, als wenn das System komplett neu startet.

Nicht jedes Gerät ist in der Lage einen beliebigen PC aus S3 und S4 zu wecken. Das hängt von den Treibern ab, von den Einstellungen der Energieverwaltung, vom BIOS und dessen Einstellungen, sowie vom Aufbau des Motherboards. Das bedeutet, es ist in jedem PC anders.

## **ACPI S5**

Der S5-Betriebszustand wird unter Windows XP und Windows Vista als "Herunterfahren" bezeichnet.

## **Windows: Energie sparen**

Bei Windows 7 und 8 gibt es einen Standby-Modus der ACPI S3 und S4 kombiniert, und "Energie sparen" genannt wird. Den Ruhezustand, auch Hibernation, Suspend-to-Disk oder ACPI S4 genannt, kann man nicht direkt wählen. In "Energie sparen" wechselt das System nach einer eingestellten Zeit automatisch, wenn keine Nutzereingaben getätigt werden.

Beim "Energie sparen" schaltet Windows zuerst nach ACPI S3. Davor werden wichtige Daten aus dem RAM in die Datei "hiberfil.sys" auf die Systempartition geschrieben. Nach einer gewissen Zeit wechselt das System dann nach ACPI S4. Beim "Aufwachen" kopiert Windows den Inhalt von "hiberfil.sys" ins RAM zurück und startet dann aus ACPI S3. Das Problem bei ACPI S3 (Suspend-to-Disk) ist, dass man dem Rechner nicht unbedingt ansieht, ob er sich in diesem Modus befindet oder ausgeschaltet ist. Durch das Kombinieren von ACPI S3 und S4 stellt Windows sicher, dass es beim Ausfall der Energieversorgung (versehentliches Steckerziehen oder leerer Notebook-Akku) kein Datenverlust gibt.

## **Windows: Herunterfahren**

Windows 8 schaltet das System beim "Herunterfahren" nach ACPI S4, wobei der RAM-Inhalt auf die Festplatte geschrieben wird. Beim nächsten Bootvorgang lädt das Betriebssystem sein Speicherabbild aus dem RAM. Dabei spart das System das Laden des Kernels und der Treiber, weshalb es schneller wieder hochfährt.

## **ACPI C0...C7**

Die C-States kennzeichnen die Betriebs- bzw. Schlafzustände des Prozessors bzw. eines Prozessorkerns. C-States gehören zu den zentralen Stromsparmechanismen moderner Prozessoren und bilden die Grundlage für den Turbo-Modus (Übertaktungsautomatik) von Intel und AMD. Nicht alle Prozessoren beherrschen alle Betriebszustände. Aber nicht bei jedem Prozessor funktionieren die gleichen Stufen identisch.

Generell kann man sagen, dass höhere Zahlen hinter dem C eine tiefere Schlafphase kennzeichnen. Das bedeutet aber auch, je tiefer der Schlafzustand, desto länger dauert es, bis ein Kern wieder aufwacht. Der Prozessor schaltet nicht nur Kernspannung und Taktfrequenz herunter, sondern trennt auch Caches und ganze Kerne von der Stromversorgung. Das spart sehr viel Strom und ist insbesondere bei Akku-betriebenen Geräten interessant.

## **PC-Netzteile / Computer-Netzteile**

Ein normaler PC hat je nach Ausstattung eine Leistung von 10 bis 300 Watt. Manchmal sogar mehr. Zu den größten Stromschluckern gehören Prozessoren, Chipsätze und vor allem Grafikkarten. Ganz exakt kann man das aber nicht sagen, weil dank verschiedener Stromsparmaßnahmen viele Komponenten bei der Nichtnutzung nur sehr wenig Leistung verbrauchen. Der tatsächliche Leistungsbedarf eines PCs ist von der Auslastung des Systems und von der hauptsächlichen Nutzung abhängig. Neben der Stabilität ist auch der Wirkungsgrad und das Betriebsgeräusch eine wichtige Leistungsgröße von Computer-Netzteilen.

Die Aufgabe der Computer-Netzteile ist die Erzeugung von kleinen Spannungen und das Liefern von großen Strömen. Die Arbeitsspannungen in einem Computer betragen -12V, -5V, +12V, +5V und +3,3 V. Manche

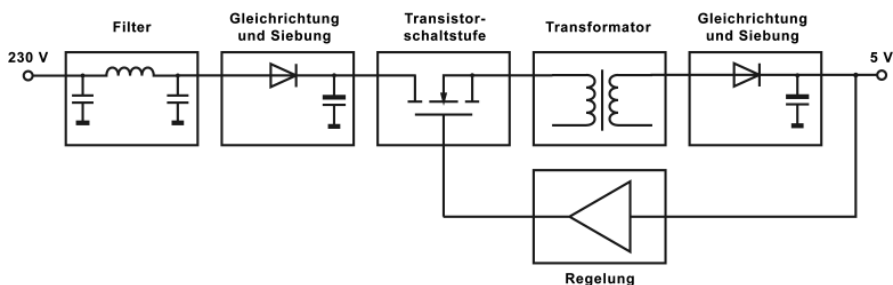
PC-Netzteile werden ohne -5V und -12V hergestellt. Prozessoren, Speicher und Chipsätze arbeiten intern mit einer noch geringeren Spannung. Spannungsregler auf dem Motherboard und dem Prozessor kümmern sich um die Regelung dieser niedrigen Spannung.

## Schaltnetzteil

Das Heruntersetzen einer Spannung bei der hohen Leistung, die ein Computer verbraucht, ist mit einem linearen Netzteil mit Transformator nicht möglich. Der Transformator wäre sehr groß und sehr schwer. Deshalb verwendet man Schaltnetzteile.

Auch sind die Bauteile in einem Computer sehr empfindlich. Die anliegende Spannung darf maximal 5% von der definierten Betriebsspannung abweichen. Instabile Spannungen können zur Beschädigung der Komponenten führen. Besonders Prozessoren reagieren empfindlich auf Spannungsschwankungen. Es kommt jedoch nicht zwangsläufig zu einer Beschädigung. Meistens reagiert das System mit unerklärlichen Systemabstürzen. Deshalb müssen die Versorgungsspannungen mit einer aufwendigen Regelung absolut konstant gehalten werden. Mit den üblichen Transformator-Stabilisierungs-Netzteilen ist das nicht möglich. Deshalb gibt es Schaltnetzteile, die speziell für diese Aufgaben ausgelegt sind.

## Aufbau eines Schaltnetzteils



Ein Schaltnetzteil besteht aus mehreren Einheiten. Zuerst wird die Netzspannung gefiltert. Überspannungen, Oberwellen und andere Netzstörungen sollen gar nicht erst in die weitere Schaltung gelangen. Danach wird durch Gleichrichtung und Siebung aus der Wechselspannung von 230 V eine Gleichspannung von 350 V gemacht.

Mit einer Transistorschaltstufe wird aus der Gleichspannung eine Wechselspannung zwischen 35 und 500 kHz erzeugt. Mit dieser hohen Frequenz können kleine Transformatoren hohe Leistungen übertragen. Diese Transformatoren haben mehrere Sekundärwicklungen. So können unterschiedliche Spannungen erzeugt werden. Eine spezielle Schaltung sorgt dafür, dass die Spannungen immer konstant bleiben. Dieser geschlossene Regelkreis sorgt auch dafür, dass das Netzteil immer die geforderten Ströme liefern kann. Die können unterschiedlich groß sein. Denn ein Computer zieht nicht immer gleich viel Strom. Die Regelungsschaltung ist darauf eingerichtet.

Damit die Regelung funktioniert muss sie mit einer Grundlast arbeiten. Das ist auch der Grund, warum Schaltnetzteile mit einem Verbraucher belastet werden müssen, damit sie beim Einschalten funktionieren. Ist die Last nicht vorhanden, dann kommt es zu Spannungsüberschlägen. Das Netzteil wird dadurch zerstört. Deshalb darf ein Schaltnetzteil nie ohne Verbraucher eingeschaltet werden.

## **Wie viel Watt sollte ein PC-Netzteil haben?**

Schon ein einfaches PC-Netzteil mit 150 bis 200 Watt würde für einen PC mit Dual-Core-Prozessor, Onboard-Grafik, wenigen Laufwerken ausreichen. PC-Netzteile beginnen meist bei um die 300 Watt.

Wer ans Übertakten denkt oder eine High-End-Grafikkarte einsetzt, der sollte gleich mal mit einem 600-Watt-Netzteil rechnen.

Eine noch höhere Nennleistung seitens des PC-Netzteils ist eigentlich nur noch in Ausnahmefällen sinnvoll oder nötig.

## **PFC - Power-Factor-Correction / Leistungsfaktorkorrektur**

Die Leistungsfaktorkorrektur (PFC) ist eine europaweit geltende Norm DIN EN 61000-3-2 (EMV-Norm für Oberschwingungsströme, Ergänzung A14) und ist ein Mittel um den negativen Effekten auf das Stromversorgungsnetz durch die unsymmetrische und nicht sinusförmige Stromentnahme durch Schaltnetzteile entgegenzuwirken.

## **Wirkungsgrad**

Der Wirkungsgrad gibt das Verhältnis von zugeführter und abgegebener Leistung in Prozent an. Ein Wirkungsgrad von 100% gibt es praktisch

nicht. Denn jede Schaltung verbraucht für sich auch etwas Energie. Je höher der Wirkungsgrad, desto ökonomischer arbeitet das Schaltnetzteil. Ein Wirkungsgrad von 50 bis 90 Prozent haben die heutigen Schaltnetzteile. Je höher der Wirkungsgrad, desto teurer das Schaltnetzteil. Gute Bauteile haben ihren Preis.

## **Energy Star 4.0 und 80-plus-Spezifikation**

Effiziente Netzteile haben nach der 80-Plus-Spezifikation ab 20 Prozent ihrer sekundären Netzlast einen Wirkungsgrad von mindestens 80 Prozent. Wobei es so gut wie keine PC-Netzteile mit einem Wirkungsgrad unter 80 Prozent mehr gibt. Unterhalb von 20 Prozent Netzlast fällt der Wirkungsgrad häufig unter 80 Prozent. Netzteile hoher Leistungsklassen erreichen unter 20 Prozent der Nennleistung selten mehr als 60 Prozent. Die 80-Plus-Spezifikation sieht bei drei exemplarischen Lastfällen einen Wirkungsgrad von mindestens 80 Prozent vor. Anfang 2008 wurde die Einstufungen in Form von Bronze, Silber und Gold vorgenommen.

## **PC-Tuning**

In Büchern, Fachzeitschriften und auf diversen Webseiten geistern allerhand Tipps und Tricks zum PC-Tuning herum. Doch nur in ganz seltenen Fällen wird man damit mehr Leistung aus einem PC herauskitzeln können. Und auch die Tipps, die tatsächlich etwas bringen, müssen für den eigenen PC nicht von Bedeutung sein. Angeblich soll so mancher Registry-Schlüssel unter Windows Wunder bewirken. Doch wer in der Windows-Registry herumfuscht setzt sein System einer unnötigen Gefahr aus. Meist haben bestimmte leistungssteigernde Einstellungen irgendwelche Nebeneffekte oder bringen Nachteile mit, die sich dann im nachhinein negativ auswirken.

Aufgrund der Individualität eines Computers bedarf effektives PC-Tuning einer gewissen Erfahrung und ist manchmal einfach auch Glückssache. Selbst wenn man alle denkbaren Tipps und Tricks zusammenzählt, kommt dabei keine deutliche Leistungssteigerung heraus.

## Optimieren und Tunen

Wer unbedingt scharf aufs Optimieren und Tunen ist, sollte nicht nur auf die nackte Rechenleistung oder Übertragungsgeschwindigkeit schauen. Damit ein PC schneller wird, müssen viele Komponenten zusammenarbeiten. Manche haben wenig, andere haben mehr Einfluss. Am Anfang empfiehlt es sich gezielt nach den Flaschenhälsen im System zu suchen. An erster Stelle Hauptprozessor und Arbeitsspeicher. Hierbei sollte geprüft werden, wie hoch die Auslastung in den betreffenden Anwendungsfällen ist, in denen man sich mehr Leistung wünscht? Zum Beispiel lohnt sich ein Blick darauf, was alles beim Start des Betriebssystems geladen wird. Alte Treiber, ungenutzte Programm und überflüssige Tools, sollte man die Autostart-Möglichkeit entziehen. Ein Programm das nicht läuft, belastet weder Prozessor noch Arbeitsspeicher. Doch Vorsicht, es ist nicht empfehlenswert alles abzuschalten. Wenn es darum geht, eine bestimmte Software zu beschleunigen, dann ist es unumgänglich zu wissen, wann diese Software welche Komponenten belastet und davon ausgebremst wird.

Hinweis: Beim Aufrüsten, Tunen und Übertakten zeigt nur ein Vorher-Nachher-Vergleich, welche Maßnahme wirklich etwas gebracht hat und welche sogar negative Auswirkungen auf die Geschwindigkeit hat. Wer keine Möglichkeit zum Messen hat, der sollte gar nicht erst anfangen. Die eigene subjektive Einschätzung taugt dabei wenig als Messwerkzeug. Unterschiede in der Systemgeschwindigkeit bemerkt man in der Regel nur bei einer Differenz von 20 bis 30 Prozent. Nur in bestimmten Situationen, wenn zum Beispiel die Grenze zwischen flüssiger und ruckelnder Video-Wiedergabe erreicht wird, merkt man auch geringfügige Leistungsunterschiede.

### PC-Tuning: Motherboard und BIOS/UEFI

Das Motherboard lässt sich über das BIOS/UEFI konfigurieren. Tuning-Maßnahmen am Motherboard sind nur dort möglich. Manche Einstellungen kann man auch in der Systemsteuerung des Betriebssystems vornehmen. Doch in den meisten Fällen muss man überhaupt keine Hand anlegen. Motherboard und BIOS konfigurieren sich automatisch. Das funktioniert normalerweise optimal. Nur selten bringen Einstellungen im

BIOS irgendwelche Leistungssteigerungen. Höchstens dann, wenn vorher schon irgendwelche Fehlkonfigurationen vorgekommen sind oder die Grundeinstellungen des Herstellers zu vorsichtig definiert sind. Die einzige Einstellung im BIOS, die tatsächlich das Betriebssystem schneller zum Starten bringt, ist die Definition der Festplatte mit dem Betriebssystem als erstes Boot-Device. Ansonsten versucht das BIOS beim Startvorgang nach einem Boot-fähigen Laufwerk zu suchen. Da können je nach BIOS 2 bis 5 Sekunden vergehen. Ansonsten reduziert sich die Zeit beim BIOS-Selbsttest, wenn man ungenutzte ATA-Controller, Netzwerk-Boot-ROMs und ungenutzte Controller abschaltet. Eine spürbare Geschwindigkeitssteigerung ergibt sich dadurch aber nur in Einzelfällen. Für den laufenden Betrieb macht es Sinn den AHCI, Stromspar-Modi und Hyper-Threading (Intel-CPU) einzuschalten. Nach dem Neustart ist dann mit der nachträglichen Installation von Treibern zu rechnen. Ansonsten kann man die Finger vom BIOS lassen. Die Voreinstellungen vom Hersteller sind oft nicht ohne Grund die besten. Auch das BIOS sollte man nur dann aktualisieren, wenn es einen guten Grund dafür gibt. Nur ganz selten bringt ein BIOS-Update eine Leistungssteigerung.

## **Aufrüsten**

Statt ständiges und zweifelhaftes Feintuning empfiehlt sich das Aufrüsten von Speicher und Prozessor. Ein PC, der an Speicherknappheit leidet, läuft nach dem Speicherausbau spürbar schneller und reagiert insgesamt flotter. Mit dem Windows-Tool CPU-Z kann man sehr leicht viele Informationen über Prozessor, Motherboard und Arbeitsspeicher in Erfahrung bringen. CPU-Z sollte als erste Informationsquelle dienen, um herauszufinden welche CPU und welcher Speicher zum Aufrüsten in Frage kommen.

## **Defragmentieren**

Unter Fragmentierung versteht man den Effekt, dass zusammenhängende Dateien nicht am Stück auf der Festplatte gespeichert werden. Sie werden verstreut auf der ganzen Festplatte verteilt. Der nachteilige Effekt äußert sich in einer geringeren Datentransferrate, die mit der Zeit immer geringer wird.

Um der Fragmentierung entgegenzuwirken gibt es

Defragmentierungsprogramme, die die einzelnen Dateifragmente zusammenführen und zusammenhängend auf die Festplatte schreiben. Weil diese Programme relativ einfach funktionieren, ist die Defragmentierung eine der ältesten und beliebtesten Tuning-Maßnahmen für PCs.

Durch schnellere Festplatten, große Caches und Multitasking-Betriebssysteme, die Festplatten-Daten zwischenspeichern und die Zugriffe intelligenter anordnen, sind die Probleme durch Fragmentierung nicht mehr so groß, wie es früher einmal war. Das bedeutet nicht, dass Fragmentierung kein Problem mehr ist. Bei wenigen Schreib-, Lese- und Löschvorgänge, insbesondere von kleinen Dateien hat die Defragmentierung kaum einen positiven Effekt. Bei der Arbeit mit großen Dateien, zum Beispiel bei der Bild- und Videobearbeitung, da macht sich Fragmentierung negativ und demzufolge Defragmentierung positiv bemerkbar.

In der Regel bringt das Defragmentieren heute keine Leistungssteigerung mehr.

## **Übertakten**

Wer sich einmal auf den Pfad des PC-Tunings begeben hat, der wird sich über noch so kleine und unmerkliche positive Effekte wie ein Kind freuen. Irgendwann später wird er jedoch feststellen, dass das alles nicht viel gebracht hat. Vielleicht wird derjenige sich dann für die Königsklasse des PC-Tunings, dem Übertakten, interessieren.

## **Hinweis zum Schluss**

Fürs PC-Tuning sollte man sich ausreichend Zeit nehmen, um das System auf Stabilität zu prüfen. Optimierungen können die Hardware außerhalb der Spezifikation betreiben. Schäden, die dadurch entstehen, fallen nicht unter Gewährleistung oder Garantie.



# **Prozessortechnik**

**Grundlagen und Grundbegriffe**

**Parallelisierung**

**Virtualisierung**

**Intel**

**AMD**

**ARM**

# Prozessor / CPU

Der Prozessor, Hauptprozessor oder die CPU ist heutzutage das Herzstück eines jeden elektronischen Geräts. Er wird in Smartphones, Taschenrechnern und in Computern, für die er eigentlich erfunden wurde, eingesetzt. Eine Welt ohne diese Rechengenie ist undenkbar.

Die bekanntesten Prozessoren stammen von Intel und AMD. Es gibt aber noch viele weitere Prozessor-Hersteller. Doch die spielen in den weiteren Ausführungen weniger eine Rolle. Im Bereich der Entwicklung und Herstellung von Prozessoren haben Intel und AMD eine führende Rolle. Das betrifft vor allem den Markt-Bereich für Embedded-PCs, Server, Desktop und Notebooks. Im Bereich der Smartphones, Tablets und Haushaltsgeräte spielen Intel und AMD keine Rolle.

## Mikroprozessor

Der Mikroprozessor ist ein Prozessor, der vollständig in einem einzigen Schaltkreis untergebraucht ist. Der Prozessor im Personal Computer ist ein solcher Mikroprozessor.

## Mikrocontroller

Ein Mikrocontroller ist ein Prozessor, der über zusätzliche digitale Ein- und Ausgänge verfügt und für Steuerungsaufgaben vorgesehen ist. Er wird bereits als vollständiger Computer angesehen, der im Embedded-Bereich eingeordnet wird.

## CPU - Central-Prozessing-Unit - Hauptprozessor

In einem Computersystem kann es mehrere Prozessoren geben. Wenn man vom Prozessor spricht, dann ist damit in der Regel immer der Hauptprozessor gemeint. Wegen seiner zentralen Stellung wird die Bezeichnung "Zentrale Verarbeitungseinheit" verwendet. Im Englischen "Central Processing Unit", kurz CPU.

Der Hauptprozessor ist die Funktionseinheit in einem Computer, der die eigentliche Verarbeitungsleistung erbringt. Der Hauptprozessor ist für die Informationsverarbeitung und die Steuerung der Verarbeitungsabläufe zuständig. Dazu holt sich der Prozessor aus dem Speicher nacheinander die Befehle und veranlasst die Informationsverarbeitung.

Neben dem Hauptprozessor gibt es noch weitere Prozessoren, die den Hauptprozessor von der Arbeit entlasten. Der Grafikprozessor (GPU) ist ein solcher Prozessor.

## **Moderne Prozesortechnik**

Die Entwicklung der Prozessoren verlief lange Zeit nach einem scheinbar einfachen Gesetz. Man optimierte den internen Aufbau, verkleinerte die Strukturen, senkte die Spannung, erhöhte die Taktfrequenz oder verbesserte den Herstellungsprozess. Schon war die nächste Prozessor-Generation geboren. Doch diesem Spiel sind enge Grenzen gesetzt. So muss mit zunehmender Chipgröße das Taktsignal immer längere Wege zurücklegen. Damit der Zeitunterschied der Taktflanken im akzeptablen Bereich liegt, muss der Takttreiber immer leistungstärker werden.

Dadurch erhöht er die Verlustleistung des Prozessors. Deshalb wird die Chipfläche regelmäßig verkleinert. Dabei werden zwischen den Schaltelementen immer dünnere Verbindungen eingesetzt. Dadurch steigt der Widerstand der Verbindungen und die Signale bewegen sich immer langsamer. Das führt unter Umständen dazu, dass die Signallaufzeit unter der Verarbeitungszeit der Gatter liegt.

Die physikalischen Grenzen zeigten sehr schnell, dass insbesondere die Taktfrequenz nicht unendlich weit gesteigert werden konnte. Die Taktfrequenz bestimmt unter anderem die entstehende Verlustleistung und damit die Lebensdauer des Prozessors. Deshalb wurden sehr bald andere leistungssteigernde Techniken entwickelt.

Um die Leistungsfähigkeit von Prozessoren zu steigern, werden einige Funktionsblöcke mehrfach integriert. Diese arbeiten parallel und erhöhen so die Rechengeschwindigkeit des Prozessors.

Während vor Jahren die Geschwindigkeit eines Prozessors immens wichtig war, ist heute ein ausgewogenes System aus Prozessor, Arbeitsspeicher und Chipsatz das Maß für einen schnellen Computer. Immer weniger Anwendungen benötigen die volle Rechenleistung eines aktuellen Prozessors. Aus diesem Grund bieten die heutigen Prozessoren viel mehr als nur reine Rechengeschwindigkeit. Sie haben mehrere Kerne, nutzen Befehlssatzerweiterungen, intelligente Zwischenspeicher, verfügen über Virtualisierungstechnik und Grafikfunktionen.

Neben dem Chipsatz ist der Speichercontroller und die Grafikausgabe heute fester Bestandteil eines jeden Desktop-Prozessors.

Aufgrund der Vielzahl an Funktionalitäten versuchen die CPU-Hersteller ihre Prozessoren modular zu gestalten. So können die einzelnen Schaltungsteile besser weiterentwickelt werden. Es hilft auch beim Stromsparen, wenn einzelne Prozessorteile abgeschaltet werden können. Zudem lassen sich verschiedene Varianten kombinieren und so neue Prozessortypen bauen.

## **Grundbegriffe Prozessor**

In Fachkreisen werden häufig Begriffe, meist in Englisch, verwendet. Die Nachfolgende Liste ist nicht vollständig. Sie erklärt jedoch die wichtigsten Begriffe im Zusammenhang mit Prozessoren.

### **Codename**

Der Codename kennzeichnet eine Prozessor-Generation, die aus einem Fertigungsprozess stammt. Der Codename wird nicht immer eindeutig verwendet und selten offiziell von den Herstellern einer Produkt-Kategorie zugeordnet. Fachleute benutzen Codenamen, um zwischen Prozessor-Generationen eines Prozessortyps unterscheiden zu können.

Beispiele für aktuelle Prozessor-Codenamen: Sandy-Bridge, Nehalem, Bulldozer.

### **Multiplikator**

Der Multiplikator ist der Faktor, mit dem die Taktfrequenz eines Prozessors eingestellt wird. Als Basis dient die Basistaktfrequenz. Die Basistaktfrequenz hängt vom Prozessor und vom Hersteller ab. Die Taktfrequenz des Prozessors ergibt sich in der Regel aus einer Basistaktfrequenz von 100, 133,33 oder 200 MHz und dem Multiplikator. Das bedeutet, bei einer Basistaktfrequenz von 100 MHz und einem Multiplikator von 20 hat der Prozessor einen internen Takt von 2,0 GHz.

## Stepping und Revision

Nicht nur Software, auch Prozessoren können Bugs enthalten. Wie bei der Software gibt es bei Prozessoren verschiedene Versionsstände. Wird ein Fehler bekannt, wird er behoben und der Prozessor in einer neuen Version hergestellt. Statt Version haben sich hier die Begriffe "Stepping" und "Revision" durchgesetzt.

## Hardware-Beschleunigung

Zur Hardware-Beschleunigung zählen Spezialfunktionen in Prozessoren, Chipsätzen und Erweiterungskarten. Meistens finden sich in Prozessoren entsprechende Erweiterungen, die Computer mit speziellen Anwendungen unterstützen. Zum Beispiel Server, PCs, Notebooks, Tablets und Smartphones. Besonders leistungsschwache und akkubetriebene Geräte sind auf Hardware-Beschleunigung angewiesen. Sie sorgt dafür, dass immer wiederkehrende rechenintensive Software-Bestandteile einen Leistungsschub durch spezielle Funktionen in der Hardware unterstützt werden.

Außerhalb kleiner mobiler Geräte hat sich die Hardware-Beschleunigung nur in Ausnahmefällen durchgesetzt. Dazu zählen DirectX und OpenGL. Software, die auf spezielle Hardware angewiesen ist, hat es besonders schwer.

Das Problem dabei ist, dass Software-Entwickler beim Programmieren mit Funktionen der Hardware-Beschleunigung mehr Aufwand betreiben müssen. Meist lohnt sich das nicht, weil dabei das Marktpotential schrumpft. Meist benötigt Software keine spezielle Hardware, sondern orientiert sich nur an einfachen Systemvoraussetzungen, wie Prozessor, Arbeitsspeicher und Betriebssystem. Weil PC-Besitzer ihre Computer nur sehr langsam austauschen, brauchen Hardware-Neuerungen sehr lange, bis sie sich im Markt durchgesetzt haben. Ein Software-Entwickler kann also nicht davon ausgehen, dass spezielle Hardware-Funktionen auf den Computern ihrer Software-Kunden vorhanden sind.

Anders sieht es bei kleinen mobilen Geräten, wie Smartphones und Tablets aus. Hier bilden Betriebssystem, Entwicklungsumgebung und Hardware häufig eine Einheit. Wobei die Hardware so speziell ist, dass nur ein bestimmtes Betriebssystem darauf läuft. Software-Entwickler haben es

hier einfacher. Sie nutzen einfach die Entwicklungsumgebung, die zum System dazugehört. Die berücksichtigt schon bei der Entwicklung die speziellen Funktionen der Hardware-Beschleunigung.

## **Virtualisierung**

Virtualisierung ist eine Hardware-Unterstützung, die den Betrieb virtueller Computer auf einem Computer erleichtert oder beschleunigt. Mit der Virtualisierung kann man mehrere Software-Systeme parallel auf einer Hardware laufen lassen. Das können zum Beispiel unterschiedliche Betriebssysteme sein.

Der Begriff Virtualisierung ist mehrdeutig. Typischerweise versteht man unter Virtualisierung die Prozessor-Virtualisierung. Neben der Prozessor-Virtualisierung gibt es auch noch andere Möglichkeiten. Dazu zählt zum Beispiel das Partitionieren von Festplatten oder die Netzwerk-Virtualisierung durch VLAN.

## **Parallelisierung**

Weil bei der Abarbeitung von Programmcode immer wieder Verzögerungen auftreten, sind moderne Prozessoren intern so strukturiert, dass die anstehenden Aufgaben auf mehrere parallel arbeitende Einheiten verteilt werden. Auf diese Weise kommt die zur Verfügung stehende Rechenleistung eines Prozessors viel besser zur Geltung.

## **Multicore**

Multicore bedeutet, dass in einen Prozessor mehrere Prozessor-Kerne eingebaut werden. Man bezeichnet diese Prozessoren als Multi-Core- oder Mehrkern-Prozessoren.

Prozessoren mit mehr als zwei Kernen haben es jedoch schwer sich bei der normalen Nutzung zu beweisen. Denn mehr als zwei Kerne bedarf Anwendungen, die ihre Berechnungen auf mehreren Prozessorkernen verteilen können.

## **Integrationsgrad und Strukturbreite**

Der Integrationsgrad ist ein Maß, wie viele Funktionen auf einem Schaltkreis untergebracht werden können. Man unterscheidet zwischen

einem niedrigen, mittleren, hohen und sehr hohen Integrationsgrad. Bei der Herstellung von integrierten Schaltkreisen, dazu zählen auch Prozessoren, bezieht man sich häufig auf die Strukturbreite. Damit ist die Breite der einzelnen Leiterbahnen auf dem Schaltkreis gemeint. Im Laufe der Zeit wird die Strukturbreite immer kleiner. Das bedeutet, dass immer mehr Transistoren in einem Schaltkreis untergebracht werden können. Das ist deshalb notwendig, weil die Prozessoren immer komplexer werden.

Je kleiner die Strukturbreite,

- desto kleiner der Schaltkreis,
- desto höher die (interne) Taktfrequenz,
- desto niedriger die Speisespannung
- und desto schwieriger und kostenintensiver die Fertigung.

Bei der Angabe der Strukturbreite bezieht man sich auf einen bestimmten Herstellungsprozess. Hierbei wird von der  $\mu\text{m}$ -Technologie oder vom  $\mu\text{m}$ -Prozess gesprochen.

### **MIPS - Million instructions per second - Mega instructions per second**

MIPS ist der Maßstab für die Schnelligkeit eines Prozessors. Dabei kommt es nicht nur darauf an, wie schnell ein Prozessor getaktet ist, sondern wie viele Befehle pro Sekunde verarbeitet werden können. Hier reicht die Taktgeschwindigkeit als Maß alleine nicht aus. Es spielt auch die Effektivität der Befehlsausführung eine große Rolle.

### **FLOPS - Floating Point Operations per Second**

3D-Grafik-, Audio- und Videoverarbeitung sind auf eine möglichst schnelle Fließkomma-Berechnung angewiesen. Deshalb wird die Multimedia-Fähigkeit eines Prozessors durch die Anzahl der durchführbaren Fließkomma-Operationen pro Sekunde angegeben. Die Bezeichnung dafür ist FLOPS (Floating Point Operations Per Second).

## Fehler in Prozessoren: Bugs

Nicht nur Software, auch Prozessoren können Bugs enthalten. Durch die steigende Größe der Prozessoren, in denen mehrere Millionen Transistoren untergebracht sind, steigt auch die Anzahl der Fehler, die sich innerhalb eines Prozessors befinden. Einige Fehler können durchaus ernster Natur sein. Besonders dann, wenn sie zum Absturz des Systems führen, falsche Daten berechnen oder einen Datenverlust verursachen. Es kann auch sein, dass diese Fehler potenzielle Sicherheitsrisiken darstellen, weil sie sich möglicherweise als Schwachstellen von Schadsoftware ausnutzen lassen.

Die meisten CPU-Fehler treten mit realem Code sehr selten auf, weshalb die Prozessor-Hersteller die Fehler selbst in Laborversuchen nur unter extremen Bedingungen finden. Sie versorgen Hardware-Entwickler und Programmierer mit Hinweisen, wie sich diese Bugs umgehen lassen. Die Fehlerdokumentation erfolgt je nach Hersteller mehr oder weniger öffentlich und schnell.

Die meisten Prozessor-Hersteller korrigieren die Fehler in optimierten Neuauflagen der CPU-Kerne, also in neuen CPU-"Steppings".

Oft lassen sich Fehler von Programmierern oder vom Compiler vermeiden, in dem bestimmte Befehle oder Befehlsfolgen nicht ausgeführt werden. Andere Fehler lassen sich durch einen Software-Patch im Prozessor Abstraction Layer (PAL) beheben.

Es gibt auch Prozessor-Fehler, die sich durch Veränderungen der CPU-Initialisierung (also per BIOS-Update) beheben lassen oder per Microcode-Update. Ein Microcode-Update findet durch ein BIOS-Update oder ein Betriebssystem-Patch statt. Die Möglichkeit der Microcode-Updates wurde bei x86-Prozessoren unter anderem deshalb geschaffen, um nachträglich erkannte Bugs korrigieren zu können. Der Microcode kann einem Prozessor auch komplett neue Befehle beibringen.

Wenn das alles nichts hilft und der Fehler kritisch ist, dann muss der Prozessor-Hersteller die betroffenen Prozessoren austauschen.

## Leckstrom

In Chips werden vor allem Transistoren verwendet. Diese Transistoren haben das so genannte Gate, das bestimmt, ob der Transistor ein- oder ausgeschaltet ist. Bestandteil des Gates ist das Gate-Dielektrikum. Es ist eine Isolationsschicht. Üblicherweise verwendet man dafür das leicht und



billig herstellbare Siliziumdioxid. Die Firma Intel hat bereits erfolgreich die Dicke des Siliziumdioxid auf 1,2 Nanometer (nm) verkleinert. Das entspricht in etwa 5 Atomlagen, also 5 Atome übereinander. Mit dieser dünnen Siliziumdioxid-Schicht nehmen die elektrischen Leckströme zu. Dabei fließt ein Teil der Ladung, der auf dem Gate des Transistors sitzen sollte, durch die Isolationsschicht hindurch. Als Folge entsteht mehr Abwärme und ein größerer Stromverbrauch. Bei vielen Millionen Transistoren in einem Chip ist das ein ernstzunehmendes Problem.

## **NX-Speicherschutz**

Die NX-Funktion soll beispielsweise Buffer- oder Heap-Overflow-Angriffe verhindern. Dazu gibt es verschiedene Begriffe. Je nach Hersteller steht NX für No Execute oder No Execution. Microsoft selbst fasst NX und andere Verfahren unter dem Begriff Data Execution Prevention (DEP) zusammen. AMD spricht vom "Hardware-gestützten Virenschutz", "Enhanced Virus Protection" oder "verbesserten Virenschutz". Dabei macht diese Funktion nichts anderes als RAM-Adressen mit einer No-Execute-Markierung (NX) zu schützen, sodass die Angriffe mancher Viren und Würmer ins Leere laufen.

## **Pipelining**

Pipelining bedeutet, dass Befehle im Programmcode in mehreren Schritten, wie an einem Fließband abgearbeitet werden. Das bedeutet, dass ein Befehl mehrere Stationen im Fließband durchlaufen muss. Während ein Befehl in der Pipeline liegt, wird am Anfang bereits der nächste Befehl zur Verarbeitung nachgeschoben. Bei einer langen Pipeline können sich aber längere Wartezeiten ergeben. Zum Beispiel beim Speicherzugriff. Durch entsprechende Programmierung und durch simultanes Multithreading (SMT) lassen sich die Zeiten überbrücken. Eine lange Pipeline arbeitet ineffizient, braucht eine sehr gute Sprungvorhersage und schluckt viel Energie.

## **In-Order-Architektur**

Wenn ein Prozessor aus einer In-Order-Architektur besteht, dann bedeutet das, dass die Operationen eines Threads in der vom Compiler vorgegebenen Reihenfolge nacheinander ausgeführt werden. Aus diesem

Grund prüfen Prozessoren mit einer In-Order-Struktur bzw. In-Order-Architektur mit einfachen Mechanismen, ob zwei aufeinanderfolgende Befehle parallel ausgeführt werden können. Wenn ja, dann werden sie in zwei Pipelines abgearbeitet. Für spezielle Befehlsgruppen gibt es sogar eigene Pipelines.

Wenn ein Befehl früher fertig ist als der Befehl in der anderen Pipeline, dann wartet er, bis auch der andere abgearbeitet ist. Erst dann geht es im Programmcode weiter. Der Compiler kann durch geschickte Sortierung der Befehle für eine Optimierung sorgen. Wenn dann aber ein Befehl auf den Speicher zugreift und die Daten nicht in einem der Caches liegen, dann muss der Prozessor warten. An dieser Stelle hätte die Out-of-Order-Execution klare Vorteile. Hier treten Wartezeiten seltener auf.

## **Prozessor-Sockel**

In der Anfangszeit der Computer wurden Prozessoren, wie bei Halbleitern üblich, fest auf dem Motherboard aufgelötet. Irgendwann kam man dem Bedarf nach, die Produkte Prozessor und Motherboard voneinander getrennt zu verkaufen. Seit dem 486er (Prozessor von Intel) ist es üblich, auf dem Motherboard einen Sockel, statt einem Prozessor anzubringen. Erst beim Zusammenbau des Computers wird der Prozessor in den Sockel gesteckt und zusammen mit Kühlkörper und Lüfter auf dem Motherboard befestigt.

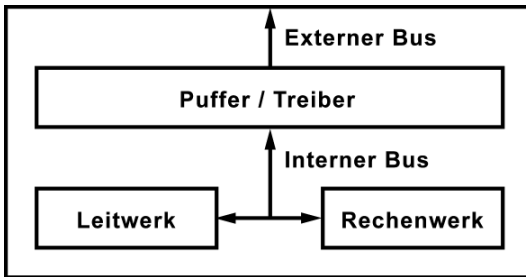
Für den Prozessorsockel sind die Prozessor-Hersteller verantwortlich, die an dieser Stelle aber mit den Chipsatz- und Motherboard-Herstellern zusammenarbeiten.

Da mit jeder neuen Prozessor-Generation auch ein neuer Prozessorsockel kommt, passen neuere Prozessoren nicht mehr in ältere Motherboards.

## **Prozessor-Architektur**

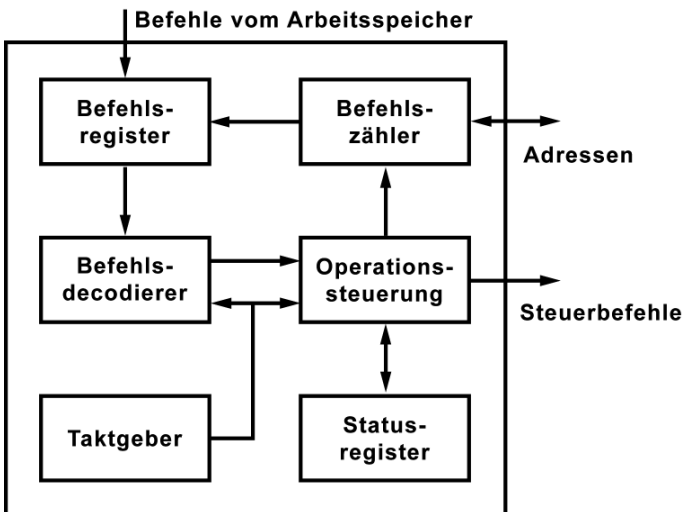
Die Architektur moderner Prozessoren ist sehr komplex. Um ein Grundverständnis für die Arbeitsweise von Prozessoren zu bekommen, verwendet man eine vereinfachte Architektur, die auch für moderne Prozessoren gültig ist.

Obwohl jeder Mikroprozessor für eine spezielle Anwendung entwickelt wird, sind sie vom Grundaufbau her alle gleich. Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die logische Zusammensetzung eines Prozessors.



Ein Prozessor besteht grob gesehen aus Rechenwerk, Leitwerk und internem Speicher. Über ein Bus-Interface greift der Prozessor auf einen externen Bus, den Systembus zu. Moderne Prozessoren haben zusätzlich interne Speicher, einen integrierten Speichercontroller und Coprozessor-ähnliche Verarbeitungseinheiten, die in den Chip integriert sind.

### Control Unit (CU) / Steuerwerk / Leitwerk / Befehlswerk



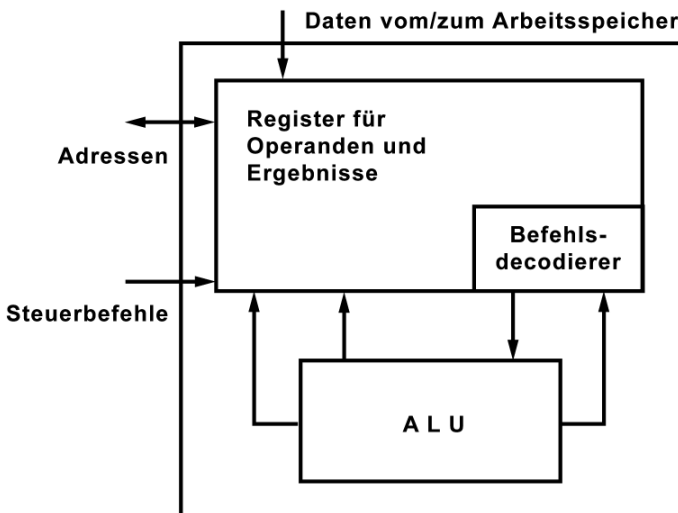
Die Control Unit (CU) bzw. das Steuerwerk wird in mancher Literatur auch als Leitwerk oder Befehlswerk bezeichnet. Das Steuerwerk ist die Steuereinheit, die für die Zusammenarbeit der einzelnen Teile des Prozessors verantwortlich ist. Für die Aufgaben des Steuerwerks steht ein internes Bussystem zur Verfügung.

- Lesen von Daten aus dem RAM
- Speichern von Daten im RAM
- Bereitstellen, Decodieren und Ausführen eines Befehls
- Verarbeiten der Eingaben von peripheren Geräten
- Verarbeiten von Ausgaben an periphere Geräte
- Interrupt-Steuerung
- Überwachung des gesamten Systems

Im Steuerwerk befindet sich das Befehlsregister, das alle Befehle enthält, die der Prozessor ausführen kann. Hier werden auch die Befehle dekodiert. Der Befehlsdecoder übersetzt die Befehle und übergibt sie der Ausführungseinheit, die den Befehl dann ausführt. Die Ausführungseinheit übergibt die Daten zur Berechnung an das Rechenwerk und erhält von dort das Ergebnis zurück. Wichtige Daten, die während der Ausführung gebraucht werden, werden in Registern zwischengespeichert. Ein Register ist der schnellste Speicher in einem Prozessor.

Dann gibt es noch eine zeitliche und logische Steuerung, die auf das Rechenwerk bei Rechenoperationen zugreift. Von hier wird auch der Steuerbus, die Interrupts und die serielle Ein- und Ausgabe gesteuert.

## Arithmetic Logic Unit (ALU) / Rechenwerk



Das Rechenwerk ist der eigentliche Rechner. Es wird als Arithmetic Logic Unit, kurz ALU, bezeichnet. In der ALU werden alle arithmetische und logische Funktionen und Berechnungen ausgeführt. Zur ALU gehören auch der Akku (Speicher) und die Flags (Ereignisspeicher). Durch das Rechenwerk wird das Befehlswerk in die Lage versetzt Daten zu verarbeiten.

## **Interner Speicher (Akku/Register)**

Der Akku ist ein interner Speicher und Teil des Rechenwerks. Während man in den ersten Mikroprozessoren den internen Speicher noch Akkumulator, kurz Akku, nannte, haben die gleiche Aufgabe heute die Register.

Zum internen Speicher gehören wichtige Register, die als Zwischenspeicher dienen und der Befehlszähler, in dem steht aus welcher Speicherzelle der nächste Befehl geladen wird.

## **Erweiterte Architektur**

Die Verbindung zwischen Prozessor, Speicher und Ein-/Ausgabe-Einheit ist schon immer ein Flaschenhals gewesen. Im Laufe der Zeit haben die Computer- und Prozessor-Hersteller immer wieder nach Wegen gesucht diesen Engpass zu umgehen. Der erste Schritt war, den Prozessor mit einer hierarchisch gegliederten Speicherstruktur aus Registern und verschiedenen Cache-Ebenen zu erweitern.

Da das ursprüngliche Rechenwerk, die ALU, für vielerlei Verarbeitungsprozesse wenig geeignet war, wurden zusätzliche Recheneinheiten entwickelt, die für bestimmte Aufgaben optimiert wurden.

In einem weiteren Schritt wurde die ursprünglich sequenzielle Befehlsausführung parallelisiert. Dazu bekamen die Prozessoren mehrere Funktionseinheiten und Ausführungsebenen, um pro Taktzyklus mehrere Befehle parallel verarbeiten zu können.

## **MMU - Memory Management Unit**

Die MMU ist ein wichtiger Teil eines Prozessors, wenn es darum geht, Teile des Speichers zu reservieren, um Software in geschützten Bereichen ablaufen lassen zu können. Sonst würde man ständig Gefahr laufen, dass parallel laufende Applikationen sich gegenseitig überschreiben würden. Die Folge wäre, dass ein solcher Fehler das Gesamtsystem zum Absturz bringen würde.

## **Cache**

Aufgrund der großen Datenmengen, die ein Prozessor verarbeiten muss, ist der interne Speicher mit den Registern nicht groß genug. Um die langsamen Zugriffe auf den Arbeitsspeicher zu verkürzen, werden Teile des Arbeitsspeichers vorab in den Cache geladen. Bei Bedarf stehen die Daten und Befehle schneller zur Verfügung. Der Prozessor ist dann weniger mit Warten beschäftigt.

## **FPU - Floating Point Unit - Gleitkomma-Einheit**

Eine CPU mit FPU kann Operationen mit Gleitkommazahlen schneller ausführen als CPUs ohne FPU. Die Gleitkomma-Einheit ist in x86-CPU's fast ein eigener Prozessor mit eigenen Befehlen. Seit dem i486DX von Intel ist diese Einheit in der CPU integriert. Davor war die FPU in einen Coprozessor ausgelagert. Auch andere Prozessor-Hersteller haben die Gleitkomma-Einheit in ihre Prozessoren integriert.

## **Ablauf einer Befehlsausführung**

1. Der Befehlszählerinhalt wird auf den Adressbus gelegt.
2. Über den Datenbus wird der Operations-Code des Befehls ins Befehlsregister geladen.
3. Der Befehlszähler wird erhöht.
4. Der Befehl wird decodiert.
5. Wenn nötig (bei Mehrbytebefehlen) werden weitere Bytes des Befehls ins Befehlsregister geholt.
6. Der Befehl wird ausgeführt.

## Programmierung eines Prozessors

Eine Programmiersprache ist eine Sprache, um einem Prozessor zu sagen, was er tun soll. Die Programmiersprache besteht im wesentlichen aus definierten Befehlen. Neben den höheren Programmiersprachen gibt es das sehr einfache Assembler. Einfach deshalb, weil es für jeden Assembler-Befehl eine oder mehrere genau definierte Maschineninstruktionen gibt. Der Prozessor versteht jedoch kein Assembler. Es handelt sich bei Assembler um eine bequemere Schreibweise der Maschinensprache für den Menschen. Der Assembler hat die Aufgabe die mnemonische Schreibweise in die eigentliche Maschinensprache zu übersetzen. Die Maschinensprache ist im Prinzip eine Aneinanderreihung von Bits, die bestimmte Vorgänge im Prozessor auslösen.

## Taktung

Grundsätzlich muss man zwischen Prozessoren unterscheiden, die eine Eigentaktung haben und solchen, die ihren Takt von außen bekommen. Egal wie der Takt erzeugt wird, er wird immer vom Prozessor-Hersteller festgelegt.

Hat der Prozessor eine Eigentaktung, dann wird der Takt in der Regel von einem internen RCL-Oszillator erzeugt, der aber sehr ungenau ist. Deshalb wird die Frequenz des RCL-Oszillators durch 100 geteilt und mit der Frequenz eines außen anliegenden Quarzes verglichen. Stimmt die Frequenz nicht überein, wird die Frequenz des RCL-Oszillators mit einer angelegten Spannung korrigiert, bis sie mit dem Quarz übereinstimmt. Bei einem größeren System wird von einem Quarz (~14 MHz) ein Systemtakt erzeugt. Mit Hilfe eines PLL-Chips (Phase Locked Loop) werden die verschiedenen Takte für das gesamte System erzeugt. Der PLL-Chip ist mit Steuereingängen versehen, die vom BIOS angesprochen werden. So kann man mit dem PLL-Chip verschiedene Frequenzen erzeugen.

Die Taktfrequenz eines Prozessors ergibt sich in der Regel aus dem internen Bustakt und einem Multiplikator.

## 64-Bit-Prozessor

Die 64 Bit beziehen sich auf den physisch ansprechbaren Adressraum des Arbeitsspeichers. Bei 32 Bit sind das maximal 4 GByte, die sich direkt und ohne Umwege ansprechen lassen. Doch bei den meisten Motherboards ist schon bei etwas über 3 GByte Schluss. Bei einem 32-Bit-Betriebssystem lohnt es sich nicht, mehr als 3 GByte Arbeitsspeicher einzubauen. Bei einer normalen Nutzung ist das auch gar nicht notwendig. Für einen Server dagegen sind 4 GByte viel zu wenig. Dort ist der Speicherbedarf viel größer. Deshalb setzt man hier schon länger 64-Bit-Prozessoren ein. Wenn man bedenkt, dass sich der Speicherbedarf alle paar Jahre verdoppelt, dann erkennt man schnell, dass hier ein echter Bedarf an 64 Bit besteht.

### iA-32/x86-Architektur

Die Bezeichnung iA-32 entstand zur Abgrenzung gegenüber der iA-64-Architektur. Davor wurde sie noch als x86-Architektur bezeichnet. Sie wurde mit dem 80386 von Intel eingeführt, der den 16-Bit-Befehlssatz seiner Vorgänger erweiterte. iA-32 zeichnet sich dadurch aus, dass jeder neue Prozessor zu seinen Vorgängern abwärtskompatibel war. Bereits vorhandene Programme können ohne Berücksichtigung von Geschwindigkeit und Speicher ausgeführt werden. Der Erfolgsfaktor der x86-Architektur ist die Kompatibilität und Austauschbarkeit. Computer-Besitzer können Software und Hardware fast beliebig nachrüsten. Irgendwann wurde der Adressraum von iA-32 zu klein. Der Bedarf nach mehr Speicher ist im Laufe der Zeit gewachsen. Doch der größte Engpass liegt bei der Registergröße bzw. -anzahl.

### iA-64 von Intel/HP

iA-64 ist die 64-Bit-Architektur von Intel und HP und wird unter anderem im Itanium von Intel eingesetzt. Mit der 32-Bit-Architektur (iA-32/x86) hat sie nichts mehr zu tun.

Bei iA-64 sind sehr viele neue Register dazugekommen, die alle 64 Bit breit sind. Genau genommen sind sie sogar 65 Bit breit. Das 65ste Bit hat die Bezeichnung "Not a Thing". Es kennzeichnet Registerwerte, die spekulativ in das Register geladen wurden. Bei den insgesamt 128 Registern braucht es dann auch keine Spezialregister mehr.



Selbstverständlich eignen sich diese Register auch für die 8-Bit- oder 16-Bit-Verarbeitung. Mehr Register ist vor allem eine Anforderung, wenn Befehle und Daten parallel verarbeitet werden sollen.

Vor allem der große Adressraum ist bei der 64-Bit-Architektur interessant. Doch das bedeutet nicht, dass die Verarbeitungsseite 64 Bit breit ist. Das kann auch wesentlich weniger sein.

Viele typische Rechenoperationen beherrschen die iA-64-Prozessoren gar nicht mehr. Bestimmte Funktionen, wie Division, Wurzel und Sinus muss der Compiler per Softwarebibliothek bereitstellen. Das ist jedoch kein Nachteil. Üblicherweise arbeiten Gleitkommaeinheiten bei diesen Befehlen mit einem Software-Algorithmus, der fest im Mikrocode eingebrennt ist. Diese Recheneinheiten sind während der Berechnung belegt. Die Software-Bibliothek ermöglicht es dem Compiler die Funktionen zu optimieren. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit einen Bug per Software-Update aus der Welt zu schaffen.

Intel stattete iA-64 mit einer Hardware-Emulation und PC-Virtualisierung aus, um sie zu iA-32 voll kompatibel zu machen. Dabei werden sogar Eigenheiten, wie das A20-Gate und DMA unterstützt. Für das Betriebssystem Windows ist diese Unterstützung sinnvoll. Für Linux ist es unnötig.

Ein Nachteil von iA-64 ist der verschwenderische Umgang mit Ressourcen. Prädikation und Spekulation beschäftigen viele Einheiten auch dann, wenn sie nicht gebraucht werden. Die Prozessoren auf Basis von iA-64 verbrauchen deshalb sehr viel Strom und heizen den Prozessor auf. Die Zukunftsfähigkeit einer Prozessor-Generation ohne energiesparende Architektur ist allerdings sehr begrenzt.

## **AMD64 von AMD**

Während Intel mit seinem 64-Bit-Konzept radikal mit bestehenden Prozessor-Architekturen brach, vollzog AMD die Erweiterung von 32 auf 64 Bit in nur sehr kleinen Schritten. Dabei kam ein bezahlbarer 64-Bit-Prozessor auf den Markt, die aber nicht alle einen physischen Adressraum von 64 Bit hatten.

Mit der 64-Bit-Erweiterung von AMD läuft 32-Bit-Software im Kompatibilitätsmodus fast ungestört weiter. Sie profitiert sogar von den vielfältigen Verbesserungen. Für Programmierer der Betriebssysteme ist es ein Leichtes die Änderungen für die Speicherverwaltung vorzunehmen. AMD integrierte einen Speichercontroller, der normalerweise im Chipsatz seine Arbeit verrichtet. Der Vorteil, der Zugriff auf den Arbeitsspeicher

wird um einige Takte verkürzt. Neben der Bandbreite zum Speicher ist auch die Latenzzeit wichtig. Die Ausführungsgeschwindigkeit von Anwendungen hängt in erheblichem Maße von der Wartezeit ab, wenn die Daten aus dem Speicher nicht nacheinander folgen, sondern verteilt im Speicher liegen.

Der Erfolg von AMD64 war so groß, dass Intel diesen Teil von AMD lizenzierte und in seine eigenen Prozessoren einbaute.

## **EPIC - Exlici Parallel Instruction Computing**

Moderne Prozessoren verteilen die anstehenden Aufgaben auf viele parallel arbeitende Einheiten. Während anfangs eine sehr komplexe Hardware jedes mal aufs Neue jeden Befehl analysiert und versucht diesen parallel auszuführen, macht bei EPIC diese Arbeit der Compiler. Er hat die Aufgabe, mit allen Mitteln den Code möglichst optimal in parallel ausführbare Befehlsketten zu zerlegen.

Dabei müssen einige Regeln beachtet werden. In der IA-64-Architektur besteht eine Befehlskette aus drei Befehlen zu je 41 Bit. Dazu kommen noch 5 Bit, die Auskunft über die Befehle geben und Informationen über das Ende der Parallelität enthalten. Zwischen den parallel ausgeführten Befehlen dürfen keine Abhängigkeiten bestehen. Ist das doch der Fall, unterbricht der Prozessor den Programmablauf.

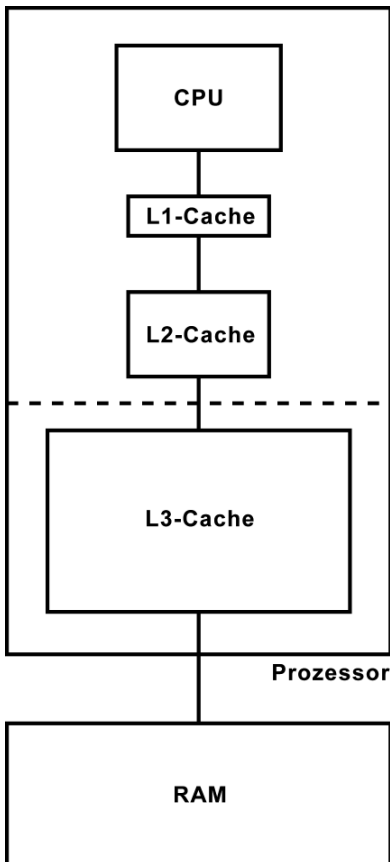
Eine wichtige Eigenschaft von EPIC ist die Prädikation. Mit deren Hilfe kann der Compiler bedingte Programmverzweigungen vermeiden. Solche Verzweigungen führen bei falscher Sprungvorhersage dazu, dass sie Verzögerungen im Ablauf hervorrufen.

## **Cache**

Der Cache ist ein spezieller Puffer-Speicher, der zwischen dem Arbeitsspeicher und dem Prozessor liegt.

Damit der Prozessor nicht jeden Programm-Befehl einzeln aus dem langsamen Arbeitsspeicher holen muss, wird gleich ein ganzer Befehls- bzw. Datenblock vom Arbeitsspeicher in den Cache geladen. Die Wahrscheinlichkeit, dass die nachfolgenden Programmbefehle im Cache liegen, ist relativ hoch. Erst wenn alle Programm-Befehle abgearbeitet sind oder ein Sprungbefehl zu einer Sprungadresse außerhalb des Caches führt, dann muss der Prozessor erneut auf den Arbeitsspeicher zugreifen.

Deshalb sollte der Cache möglichst groß sein, damit der Prozessor die Programm-Befehle ohne Wartezeit hintereinander ausführen kann.



In der Regel arbeiten Prozessoren mit mehrstufigen Caches, die unterschiedlich groß und schnell sind. Je näher der Cache am Rechenkern ist, desto kleiner und schneller arbeitet er.

### **L1-Cache / First-Level-Cache**

In der Regel ist der L1-Cache nicht besonders groß. Aus Platzgründen bewegt er sich in der Größenordnung von 16 bis 64 kByte. Meistens ist der Speicherbereich für Befehle und Daten voneinander getrennt. Die Bedeutung des L1-Caches wächst mit der höheren Geschwindigkeit der

CPU. Im L1-Cache werden die am häufigsten benötigten Befehle und Daten zwischengespeichert, damit möglichst wenige Zugriffe auf den langsamen Arbeitsspeicher erforderlich sind. Dieser Cache vermeidet Verzögerungen in der Datenübermittlung und hilft dabei die CPU optimal auszulasten.

## **L2-Cache / Second-Level-Cache**

Im L2-Cache werden die Daten des Arbeitsspeichers (RAM) zwischengespeichert.

Über die Größe des L2-Caches versorgen die Prozessorhersteller die unterschiedlichen Marktsegmente mit speziell modifizierten Prozessoren. Die Wahl zwischen einem Prozessor mit mehr Taktgeschwindigkeit oder einem größeren L2-Cache lässt sich vereinfacht wie folgt beantworten: Mit einem höheren Takt laufen einzelne Programme, insbesondere mit hohem Rechenbedarf, schneller. Sobald mehrere Programme gleichzeitig laufen, ist ein größerer Cache von Vorteil. In der Regel sind normale Desktop-Computer mit einem Prozessor, der einen großen Cache hat, besser bedient, als mit einem Prozessor, der eine hohe Taktrate hat.

Als der Speichercontroller vom Chipsatz in den Prozessor verlagert wurde und der Prozessor damit viel schneller auf den Arbeitsspeicher zugreifen konnte, sank damit die Bedeutung des L2-Caches. Während die Größe des L2-Caches geringer wurde, wurde der L3-Cache ordentlich aufgerüstet.

## **L3-Cache / Third-Level-Cache**

In der Regel verwenden Multicore-Prozessoren einen integrierten L3-Cache. Mit dem L3-Cache kann das Cache-Koheränz-Protokoll von Multicore-Prozessoren viel schneller arbeiten. Dieses Protokoll gleicht die Caches aller Kerne ab, damit die Datenkonsistenz erhalten bleibt. Der L3-Cache hat also weniger die Funktion eines Caches, sondern soll das Cache-Koheränz-Protokoll und den Datenaustausch zwischen den Kernen vereinfachen und beschleunigen.

## **Inklusiv-Cache und Exklusiv-Cache**

Mit den Multicore-Prozessoren kamen die Begriffe Inklusiv- und Exklusiv-Cache auf. Inklusiv-Cache bedeutet, dass Daten im L1-Cache auch im L2- und L3-Cache vorhanden sind. So lässt sich die

Datenkonsistenz zwischen den Kernen leichter sicherstellen. Im Vergleich zum Exklusiv-Cache wird etwas Speicherkapazität verschenkt, weil die Daten redundant in den Caches mehrerer CPU-Kerne liegen.

Exklusiv-Cache bedeutet, der Cache steht einem Prozessor-Kern exklusiv, also für ihn alleine, zur Verfügung. Er muss den Cache nicht mit einem anderen Kern teilen. Ein Nachteil davon ist, dass mehrere Prozessor-Kerne untereinander dann nur auf einem Umweg Daten miteinander austauschen können.

## **Prozessor-Kühlung**

Bis zum 486er-Prozessor von Intel war die Kühlung eines Prozessors nie ein Thema gewesen. Die Prozessoren wurden allerhöchstens handwarm. Die umgebende Luft innerhalb des Computer-Gehäuses reichte zur Kühlung vollständig aus. Seitdem die Prozessoren die Taktfrequenz von 66 MHz überschritten haben, ist zumindest eine passive Kühlung durch einen Kühlkörper notwendig. Doch auch das hat irgendwann nicht mehr ausgereicht. Bei deutlich höheren Taktfrequenzen entsteht im Prozessor so viel Hitze, dass er nur noch mit einem aktiven Kühler betrieben werden kann. Ein aktiver Kühler ist ein Kühlkörper auf dem ein Lüfter zusätzlich für einen Luftstrom sorgt.

Moderne Prozessoren werden heute nicht nur auf Rechenleistung, sondern auch auf Energieeffizienz hin entwickelt. Es geht dabei meist weniger darum Energie zu sparen, sondern Hitze Probleme in den Griff zu bekommen. Während man vor einigen Jahren ohne aktive Kühlung nicht aus kam, gibt es immer mehr Prozessoren, die für eine bestimmte Anwendung oder Umgebung leistungsfähig genug sind und dabei mit einer reinen passiven Kühlung oder sogar ganz ohne auskommen.

## **Gründe für die Hitze Probleme**

Dazu vorab eine kurze Erläuterung für Nicht-Elektroniker, warum es in einem Prozessor zu einer Wärmeentwicklung und damit zu einem Hitze Problem kommt: Der Prozessor ist ein elektronischer Halbleiterbaustein, der mit Spannung und Strom betrieben wird. Jedes elektronische Bauteil oder Gerät verbraucht Strom bzw. elektrische Leistung. Die elektrische Leistung ist ein Produkt aus Spannung und Strom. Steigt Spannung oder Strom, dann steigt die Leistung um ein

Vielfaches an Leistung wird häufig in Wärme umgesetzt. Man kennt das von einer Glühbirne, die nach längerer Betriebszeit heiß wird. Wärme bzw. Hitze ist ein Problem für die Elektronik. Insbesondere, wenn zu viel davon vorhanden ist. Elektronische Bauelemente, insbesondere Prozessoren vertragen davon nicht sehr viel. In eine Prozessor befinden sich dicht gedrängt der viele Bauelemente. Herrscht im Prozessor zu viel Hitze, bedeutet das die Zerstörung des Prozessors.

Prozessoren bestehen aus sehr vielen Transistoren (elektronisches Halbleiter-Bauelement). Betrachtet man einen einzelnen Transistor, dann funktioniert er wie ein Schalter. Er ist entweder ein- oder ausgeschaltet. Dadurch wird das digitale Bit mit den Werten "0" und "1" dargestellt. Bei beiden Zuständen beträgt die Leistung Null Watt. Der Transistor gibt also weder im ein- noch im ausgeschalteten Zustand Wärme ab. Dieser Effekt ist einer der wichtigsten Merkmale für den Erfolg der Digitaltechnik.

Nun besteht ein Prozessor aus vielen Millionen Transistoren. Da ergibt sich die berechnete Frage, warum ein Prozessor dennoch so heiß wird? Dafür gibt es drei Gründe:

1. Häufige Leistungsumverteilung beim Schaltvorgang durch eine hohe Taktrate.
2. Anstieg des Leckstroms durch Strukturverkleinerung.
3. Teile eines Prozessors haben nichts zu tun, aber verbrauchen Strom.

Zum einen wirkt der Transistor beim Umschalten von 0 auf 1 und von 1 auf 0 wie ein Kondensator. Das bedeutet, der Transistor wird beim Umschalten "aufgeladen" oder "entladen". Das dauert eine gewisse Zeit. In dieser Zeit beträgt weder der Strom noch die Spannung Null. Und deshalb entsteht im Umschaltzeitraum eine elektrische Leistung, die direkt in Wärme umgewandelt wird. Je häufiger umgeschaltet wird, desto mehr Leistung und desto mehr Wärme entsteht. So ist ein Umschalten im Megahertz-Bereich noch nahezu problemlos. Doch bereits im Gigahertz- Bereich, was bei heutigen Prozessoren normal ist, steigt der Stromverbrauch stark an. Je nach Rechenlast schalten unterschiedlich viele Millionen Transistoren. Durch einen einzelnen Transistor fließt nur ein sehr kleiner Strom. Doch alle zusammen kommen auf Spitzenwerte von über 100 Ampere.

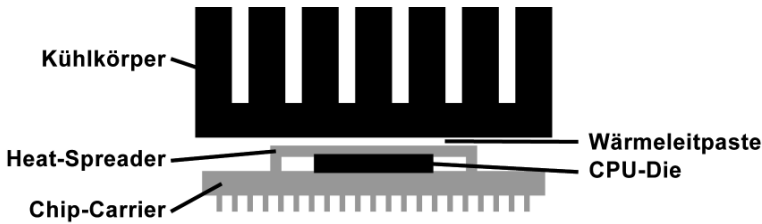
Die Folge: Die Hitze wird so groß, dass man erhebliche Maßnahmen zur Kühlung eines Prozessors einführen muss. Ein Problem besteht darin, dass der Kühlaufwand bei doppelt so viel Leistung (in Watt) nicht doppelt so groß, sondern um ein mehrfaches so groß sein muss.

Der zweite Grund, der zur Hitzeentwicklung führt, ist die steigende Anzahl der Transistoren und der damit folgenden Verkleinerung der Halbleiterstrukturen. Die kleinen Strukturen führen dazu, dass die Isolationsschichten im Transistor sehr dünn sind. Dabei kann es passieren, dass ein Leckstrom fließt. Der Leckstrom nimmt mit jeder weiteren Strukturverkleinerung zu. Man kann ihn durch Verringern der Taktrate nicht begrenzen. Er fließt immer. Er lässt sich nur durch besondere Maßnahmen bei der Herstellung und der Verwendung von anderen Isolationsmaterialien begrenzen. Er ist in jedem Fall vorhanden. Mal mehr mal weniger. Aber, der Leckstrom erhöht die Leistung und damit Wärmeentwicklung.

Der dritte Grund ergibt sich durch die steigende Vielfalt an Funktionseinheiten, die parallel oder unabhängig voneinander in einem Prozessor arbeiten. Im Prozessor schalten alle Funktionseinheiten im Rhythmus des Prozessortakts. Dabei verbrauchen auch die Teile des Prozessors Energie, die eigentlich nichts zu tun haben. Abhilfe schaffen Stromsparfunktionen, die Teile eines Prozessors abschalten können.

## **Grundlagen der Kühlung von Prozessoren**

Bei der Kühlung von Prozessoren oder einem ganzen Computersystem geht es in der Regel nicht um Kühlungsmaßnahmen, sondern um Entwärmungsmaßnahmen. Das heißt, es wird nicht Kälte zugeführt, sondern Wärme oder Hitze abgeführt. Bei diesem Vorgang wird ein Luftstrom erzeugt, der prinzipbedingt kältere Luft anzieht. Damit der Luftstrom funktioniert muss das Computergehäuse natürlich über Öffnungen verfügen, durch die kältere Luft angezogen und wärmere Luft abziehen kann. Ein Problem solcher Öffnungen ist natürlich, dass dadurch Staub und Dreck in das Gehäuse kommen können, was auf Dauer auch Schaden an der Elektronik nehmen kann.



Die Wärmeableitung erfolgt in der Regel mit Luft oder Wasser in Kombination mit einem Kühlkörper der fest mit der Hitzequelle (z. B. Prozessor) verbunden ist. Leider hat der Kühlkörper nur eine begrenzte Wärmeleitfähigkeit und eine geringe Wärmeverteilung. Deshalb wird durch Luftströmung oder Wasserdurchfluss Wärme abgeführt. Durch eine höhere Luftströmung kann mehr Wärme pro Volumen abgeleitet werden. Eine höhere Luftströmung wird durch schneller drehende Lüfter oder Ventilatoren erzeugt, wodurch aber auch eine höhere Geräuschentwicklung entsteht.

Mit Flüssigkeiten ist generell eine leisere Kühlung möglich. Der Flüssigkeitskühler wird direkt am Bauelement befestigt. Er ist ein flüssigkeitsdurchströmtes Kühlelement, dass weder Geräusche noch Vibrationen verursacht. Diese Art der Kühlung ist aufwändiger und wird dann eingesetzt, wenn Luftkühlung nicht mehr ausreicht.

## Kühlmaßnahmen

Es gibt verschiedene Maßnahmen, um einen Prozessor zu kühlen. Die eine Maßnahme, rein passiv wird bei fast allen Halbleitern eingesetzt. Zum Beispiel bei einem Transistor oder einem Spannungsregler, die eine hohe Verlustleistung abführen müssen und deren Gehäuse dafür nicht ausreicht. Mit einem Kühlkörper erweitert man das Gehäuse um eine wärmeableitende Komponente.

Bei der aktiven Kühlung wird zusätzlich zum Kühlkörper ein Lüfter angebracht, der dafür sorgt, dass der erwärmte Kühlkörper schneller abkühlt. Aktive Kühlung hat den Nachteil, dass sie zusätzlich Platz und Strom braucht.



# TDP - Thermal Design Power

Thermal Design Power (TDP) ist die maximal abgegebene Wärmeleistung eines Prozessors und liegt etwas unterhalb der maximalen elektrischen Leistungsaufnahme. Der TDP ist ein wichtiger Parameter eines Prozessors. Die TDP-Angabe bezieht sich auf die maximal zulässige Kernspannung und Temperatur eines Prozessors. Leider berechnet jeder Prozessor-Hersteller den TDP anders. Einheitliche TDP-Angaben gibt es nicht. Erschwerend kommt hinzu, dass der TDP wenig über die Leistungsaufnahme bei den verschiedenen Betriebszuständen aussagt. Wie viel Energie eine CPU bei einer bestimmten Aufgabe umsetzt, hängt im wesentlichen von der Software ab.

Prozessoren verändern ihre Leistungsaufnahme extrem schnell. Je nach Rechenlast schalten unterschiedlich viele Millionen Transistoren. Durch einen einzelnen Transistor fließt nur ein sehr kleiner Strom. Doch alle zusammen kommen auf Spitzenwerte von über 100 Ampere. Dieser Strom verursacht eine enorme Wärmeentwicklung, die abgeleitet werden muss, um den Prozessor vor dem Hitzetod zu schützen. Dabei ist eine Systemkühlung erforderlich, die nicht nur den Prozessor, sondern das ganze Computersystem kühlt. Denn auch Stromversorgung, Arbeitsspeicher, Chipsatz, Laufwerke und Erweiterungskarten sorgen für zusätzliche Wärme.

Die Systemkühlung auf die maximale Leistungsaufnahme eines Prozessors oder des gesamten Computersystems auszulegen gilt als unwirtschaftlich und ist mit unnötigem Geräuschpegel und Aufwand verbunden. Der Zustand der maximalen Leistungsaufnahme tritt in der Praxis kaum auf. Und wenn, dann nur kurzzeitig. Die mittlere Leistungsaufnahme liegt beim normalen Desktop-Einsatz näher an der minimalen Leistungsaufnahme als am TDP. Die maximale Leistungsaufnahme (maximal zulässige Kernspannung mal höchstem Stromverbrauch) liegt meist deutlich über dem TDP.

## Thermal Throtteling

Falls der Prozessor kritische Temperaturen erreicht, setzt zur Temperaturbegrenzung das "Thermal Throtteling" ein. Diese adaptive

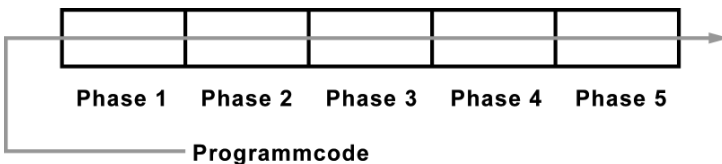
Drosselung der Leistungsaufnahme wird durch eine externe Modulation des Taktsignals erreicht.

## Parallelisierung

Die Entwickler von Prozessoren haben im Laufe der Zeit festgestellt, dass sich die Verarbeitungsgeschwindigkeit eines Prozessors nicht nur durch die Erhöhung der Taktrate beschleunigen lässt. So kommt es bei der Abarbeitung des Programmcodes immer wieder zu Verzögerungen. Zum Beispiel beim Zugriff auf den Speicher oder die Peripherie. In so einem Fall ist der Prozessor mit Warten beschäftigt. Er macht erst dann im Programmcodes weiter, wenn die Daten aus dem Speicher oder von der Peripherie in die Register geladen wurden. Diese Wartezeit führt dazu, dass ein Großteil der zur Verfügung stehenden Rechenleistung überhaupt nicht genutzt wird.

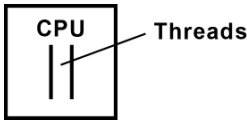
Deshalb haben sich die Prozessor-Entwickler schon sehr früh überlegt, wie sie einen Prozessor intern so strukturieren müssen, damit er im Programmcodes weitermachen kann, während Daten von außen geladen werden. Das hat dazu geführt, dass moderne Prozessoren die anstehenden Aufgaben auf viele parallel arbeitende Einheiten verteilen.

## Pipelining



Beim Pipelining erfolgt Befehlsausführung wie an einem Fließband (Pipeline). Eine Pipeline ist eine Abfolge von Verarbeitungseinheiten, die einen Befehl ausführen. Dabei wird die Ausführung eines Befehls in verschiedene Phasen eingeteilt. Für jede Phase gibt es eine Ausführungseinheit. Wenn ein Befehl von Phase 1 seiner Bearbeitung in Phase 2 tritt, betritt der nächste Befehl Phase 1. Je mehr Phasen oder Stufen eine Pipeline hat, desto mehr Befehle können parallel verarbeitet werden. Eine weitere Parallelisierung ist dadurch möglich, dass man mehrere Pipelines hat oder für bestimmte Pipeline-Stufen mehrere Ausführungseinheiten.

## Multi-Threading



Mit Multi-Threading ist die Fähigkeit eines Prozessors gemeint, der mehrere Programmabläufe (Threads) vorhalten kann und wechselweise bei der Ausführung hin und her schalten kann. Wenn ein Thread auf Speicherzugriffe warten muss, dann wird einfach in einem anderen Thread weitergemacht.

Leider lassen sich nicht alle Aufgaben gleich gut parallelisieren. Es kommt eben auch vor, dass ein Thread auf einen anderen warten muss.

Algorithmen, die sich schlecht parallelisieren lassen oder schlecht parallelisiert sind, vergeuden die Zeit mit aufwendigen Abgleichprozeduren. Erschwerend sind die vielen Engstellen im System. Zum Beispiel Schnittstellen- und Massenspeicherzugriffe.

Für den Programmierer ist nicht immer ersichtlich, welche Funktionen sich für die Auslagerung in einen eigenen Thread eignen. Das Parallelisieren von Funktionen verlangt vom Programmierer eine völlig andere Denkweise. In Echtzeitstrategiespielen könnte die Spiellogik unabhängig von der grafischen Ausgabe und der Eingabeverarbeitung arbeiten. Bei der Bildbearbeitung lohnt es sich zum Beispiel aufwendige Berechnungen in einen eigenen Thread zu verlagern. So bleibt der Zugriff auf das Programm für den Nutzer möglich. Doch nicht immer kann das so umgesetzt werden. So wird ein Großteil der Berechnungen von der Grafikkarte selbst ausgeführt. Hinzu kommt, dass die Treiber für OpenGL und DirectX nur einen Thread gleichzeitig bearbeiten können.

### SMT - Simultanes Multi-Threading (Intel)

Simultanes Multi-Threading bedeutet, dass mehrere Threads gleichzeitig abgearbeitet werden. Ein Thread ist ein Code-Faden bzw. ein Programmablauf. Wartet ein Thread auf Daten aus dem Speicher, dann wird auf einen anderen Thread umgeschaltet, der die freien Ressourcen weiterverwendet.

SMT wird deshalb gerne eingesetzt, weil ein Thread alleine die ganzen Funktionseinheiten in einem Prozessor überhaupt nicht auslasten kann. Die Auslastung ist bei zwei gleichzeitig ablaufenden Threads wesentlich

besser. Außerdem sind die Ausführungspfade unterschiedlicher Threads unabhängig voneinander. Sie kommen sich nur sehr selten in die Quere. Weil SMT relativ gut funktioniert kann man auf die Out-of-Order-Technik verzichten. Das macht sich insbesondere beim Energieverbrauch bemerkbar. Single-Thread-Prozessoren mit SMT verbrauchen einfach weniger Leistung.

## Hyper-Threading (Intel)

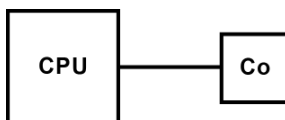
Hyper-Threading ist eine Entwicklung von Intel und eine Vorstufe zum Multicore-Prozessor. Hyper-Threading gaukelt dem Betriebssystem einen zweiten Prozessorkern vor, um dadurch die Funktionseinheiten besser auszulasten und Speicherwartezeiten zu überbrücken.

Wenn der erste Thread des Prozessors auf Daten aus dem Speicher warten muss, dann kann der Prozessor den zweiten Thread nutzen, um im Programmcode weiter zu machen. Wenn ein genügend großer Cache und ein gutes Prefetching vorhanden sind, dann stehen die Chancen nicht schlecht, dass die Wartezeit sinnvoll überbrückt werden kann.

Prefetching ist ein Verfahren, bei dem Befehle und Daten vorab geladen und ausgeführt werden.

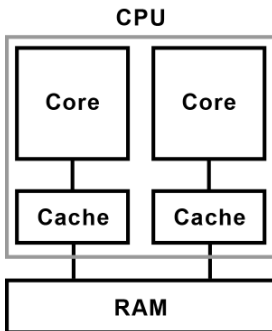
Der zusätzliche Hardware-Aufwand für Hyper-Threading liegt bei 20 Prozent und soll mit 40 bis 50 Prozent Geschwindigkeitsgewinn im Multi-Threading-Betrieb bringen.

## Coprozessor



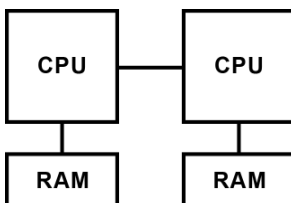
Der Coprozessor ist ein spezieller Prozessor, der den Hauptprozessor um bestimmte Funktionen erweitert und ihn bei bestimmten Rechenaufgaben entlastet. Der Coprozessor beschleunigt dadurch das ganze System. Im Lauf der Zeit wurden viele Funktionen klassischer Coprozessoren in den Hauptprozessor integriert. Beispielsweise Gleitkommeeinheiten und kryptografische Funktionen.

## Multi-Core-Prozessor



Bei der Mehrkern-Technik sind in einem Prozessor (CPU) mehrere Kerne (Core) zusammengeschaltet. Das bedeutet, moderne Prozessoren haben nicht nur eine Recheneinheit, sondern mehrere. Man bezeichnet diese Prozessoren als Multi-Core- oder Mehrkern-Prozessoren. Rein äußerlich unterscheiden sich Multi-Core-CPU's nicht von Single-Core-CPU's. Innerhalb des Betriebssystems wird der Multi-Core-Prozessor wie mehrere Einheiten behandelt. Je nach Anzahl der Kerne gibt es abgewandelte Bezeichnungen, die darauf hindeuten, wie viele Kerne im Prozessor integriert sind. Zum Beispiel Dual-Core für zwei Rechenkerne und Quad-Core für vier Rechenkerne.

## Multi-Prozessor-System



Seit Anfang der 1990er Jahre gibt es in Supercomputern mehrere Prozessoren mit eigenem Arbeitsspeicher. Diese Systeme werden als Multi-Prozessor-Systeme bezeichnet. In Personal Computern haben sich mehrere Prozessoren nicht durchgesetzt. Hier dominieren Multi-Core-Prozessoren.

## Grid / Cloud-Computing



Die Vernetzung von Computersystemen zur parallelen Berechnung und Verarbeitung von Daten bezeichnet man als Grid. Häufig wird das Grid auch als Cloud bezeichnet. Man spricht dann von Cloud Computing.

## Virtualisierung

Der Begriff Virtualisierung ist mehrdeutig. In der Regel verwendet man den Begriff Virtualisierung in der Computertechnik. Typischerweise versteht man unter Virtualisierung die Prozessor-Virtualisierung. Neben der Prozessor-Virtualisierung gibt es auch noch andere Möglichkeiten. Dazu zählt zum Beispiel das Partitionieren von Festplatten oder die Netzwerk-Virtualisierung durch VLAN.

Virtualisierung ist eine Hardware-Unterstützung, die den Betrieb virtueller Computer auf einem echten Computer erleichtert oder beschleunigt. Mit der Virtualisierung kann man mehrere Software-Systeme auf einer Hardware laufen lassen. Das können zum Beispiel unterschiedliche Betriebssysteme sein. Virtualisierung macht dann Sinn, wenn ein Hardware-System nicht ausgelastet ist und die Ressourcen parallel für weitere Systeme genutzt werden sollen.

Da eine steigende Taktfrequenz bei Prozessoren so einfach nicht möglich ist, sind die Prozessorhersteller, insbesondere Intel und AMD, auf alternative leistungssteigernde Techniken für Prozessoren angewiesen. Neben Mehrkern-Prozessoren, Multimedia-Erweiterungen und 64-Bit gelten Virtualisierungs-Funktionen als die bahnbrechende Entwicklung.

## Gründe für Virtualisierung

- Erhöhung der Ausfallsicherheit
- bessere Auslastung der IT-Systeme durch Konsolidierung der Hardware

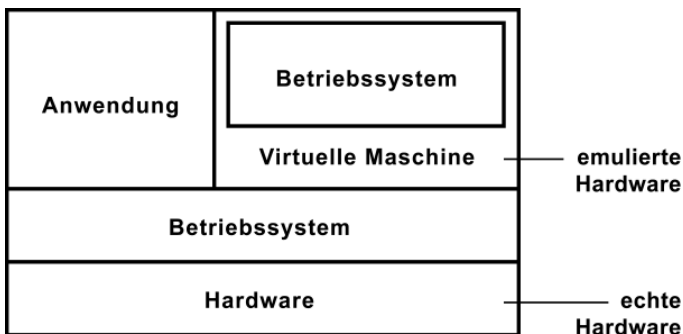
- niedrigere IT-Kosten
- geringerer Stromverbrauch

Wichtigstes Merkmal der Virtualisierung ist die Ausfallsicherheit. Wenn eine Applikation sich selbst oder sogar das gesamte Betriebssystem zum Absturz bringt, laufen die anderen virtuellen Maschinen weiter.

Der Betrieb unterschiedlicher Applikationen in mehreren Umgebungen ist die häufigste Anwendung. Zum Beispiel um Applikationen aus Sicherheitsgründen und wegen des Datenschutzes getrennt zu halten. Um aber nicht für jede Applikation eine eigene Hardware bereitstellen zu müssen, werden virtuelle Maschinen geschaffen, auf denen dann die Applikationen getrennt voneinander arbeiten können.

Auf den ersten Blick scheint Virtualisierung nur etwas für Server zu sein. Doch auch normale Anwender können davon profitieren. Zum Beispiel zwei Umgebungen für das Arbeiten mit dem Computer. Die eine ganz normal und die andere bei Verbindung mit dem Internet. Hat sich das Internet-System Würmer oder Viren eingefangen, wird sie gelöscht und neu aufgesetzt. So etwas lässt sich zum Beispiel bei jedem Systemstart automatisieren. So hat man immer ein sauberes System. Das könnte auch soweit gehen, dass unsichere Programme in einer eigenen Umgebung laufen, damit das Betriebssystem von außen nicht angreifbar ist.

## Virtuelle Maschine



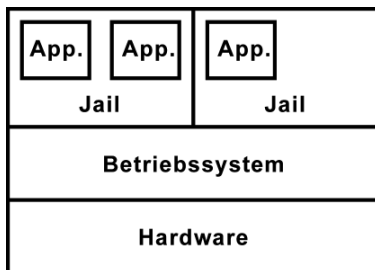
Eine virtuelle Maschine ist ein Software-Container, der einem darin installierten Betriebssystem eine Scheinwelt vorgaukelt, in dem gängige

Hardware-Komponenten emuliert werden. Üblicherweise verfügen Betriebssystem über Standard-Treiber mit denen sie die emulierte Hardware ansprechen können.

Virtuelle Maschinen verfügen nur über eine eingeschränkte Grafikleistung. 3D-Software und die Wiedergabe und Bearbeitung von Videos ist in einer virtuellen Maschine nicht ausreichend schnell machbar.

Mit virtuell ist die Hardware gemeint, die dem Betriebssystem in der virtuellen Maschine zur Verfügung steht. Denn CPU, Arbeitsspeicher, Grafikkarte, Laufwerke und Schnittstellen stehen den parallel arbeitenden Betriebssystemen nicht direkt zur Verfügung. Eine im Hintergrund laufende Virtualisierungssoftware überwacht die Zugriffe auf die Hardware. Sie organisiert und verwaltet die virtuellen Maschinen (VM). Diese Aufgabe kann zum Beispiel ein Hypervisor übernehmen. Er benötigt einen kleinen Teil der Hardware-Leistung, insbesondere von Prozessor und Arbeitsspeicher, um seine Arbeit erledigen zu können.

## Betriebssystem-Virtualisierung mit Container



Bei der Betriebssystem-Virtualisierung läuft nur ein Betriebssystem. Darauf werden mehrere virtuelle Laufzeitumgebungen erzeugt (Jails), die für die laufenden Programme als normale Betriebssysteme wirken. Die Applikationen sehen nur die Applikationen, mit denen sie ihre virtuelle Umgebung teilen. Die Laufzeitumgebungen sind schnell erzeugt, da sie nur Abbilder des Wirtssystems sind. Allerdings können einzelne Abbilder nicht verändert werden. Nur das Grundsystem kann verändert werden und dass verändert dann auch die Abbilder.



## System-Virtualisierung mit Hypervisor

Bei der System-Virtualisierung wird ein oder mehrere vollständige Systeme nachgebildet, auf dem beliebige Betriebssysteme ausführbar sind. Die Systeme orientieren sich an echter Hardware. So kann man verschiedene virtuelle Systeme nachbilden und mit unterschiedlicher Hardware ausstatten.

Beispiele sind VMWare Workstation, Virtual PC, Virtual Server und Parallels.

### Hypervisor / Virtual Machine Monitor (VMM)

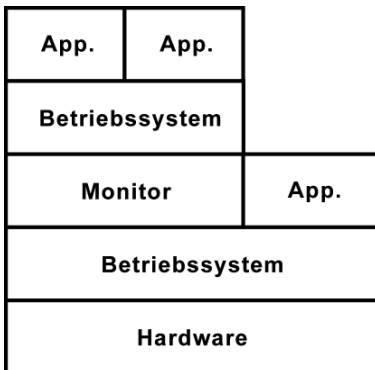
Der Hypervisor wird auch als Virtual Machine Monitor (VMM) bezeichnet. Er erstellt und verwaltet virtuelle Hardware. In der Regel stellt ein Hypervisor innerhalb der virtuellen Maschinen Standard-Schnittstellen zur Verfügung. Gleichzeitig stellt er eine Abstraktionsschicht zur Verfügung, die den Zugriff der Treiber auf die Hardware verhindert. Damit ist sichergestellt, dass sich verschiedene Betriebssysteme nicht gegenseitig in die Quere kommen.

#### Typ-1-Hypervisor

App.	App.	App.	App.
Betriebssystem		Betriebssystem	
Monitor			
Hardware			

Man unterscheidet zwischen zwei Arten. Typ 1 und Typ 2. Ein Typ-1-Hypervisor läuft als Betriebssystem direkt auf der Hardware (native). Das Gesamtsystem verbraucht so wenig Ressourcen. Aber der Hypervisor muss alle Treiber für die gesamte Hardware mitbringen.

## Typ-2-Hypervisor



Ein Typ-2-Hypervisor setzt auf einem vollwertigen Betriebssystem auf (hosted) und nutzt alle Ressourcen, die ihm in dieser Umgebung zur Verfügung stehen.

Der Hypervisor kann also ein vollwertiges Betriebssystem sein (Typ 1). Er ist dann ein Betriebssystem für ein Betriebssystem. Es bildet eine Virtualisierungsschicht, die es ermöglicht, mehrere Betriebssysteme gleichzeitig auf einem Computersystem zu betreiben.

Der Hypervisor vermittelt den Betriebssystemen den Eindruck sie würden alleine auf dem System laufen und hätten die Hardware für sich alleine. Der Hypervisor stellt gleichzeitig sicher, dass ein Betriebssystem nicht die Daten eines anderen Betriebssystems zerstört oder auch nur darauf Zugriff hat. Er verhindert, dass die Betriebssysteme miteinander in Konflikt geraten. Die Sicherheitsanforderungen an den Hypervisor sind entsprechend hoch.

## Hardware-Unterstützung

Ursprünglich war Virtualisierung reine Software-Sache. Doch für manche Funktionen braucht die Virtualisierungssoftware Hardware-Unterstützung. 64-Bit und Mehrkern-Prozessoren unterstützen die Virtualisierung. Erst mit einem großen Adressraum und viel Rechenleistung macht Virtualisierung Sinn. Mehrere parallel laufende virtuelle Computer sind

darauf angewiesen. Sonst leidet der Bedienkomfort unter der schleichenden Ausführungsgeschwindigkeit der Anwendungen.

Bei der Hardware-Unterstützung geht es weniger um die Geschwindigkeitssteigerung, sondern um Zusatzfunktionen. Das sind bestimmte Funktionen im Prozessor und im Chipsatz.

Befehlserweiterungen in Prozessoren gibt es von AMD mit AMD-V (Pacifica) und von Intel mit VT-x. Ob AMD-V oder Intel VT-x, mit der Virtualisierungsunterstützung des Prozessors kann der Hypervisor die Virtualisierung deutlich schneller ausführen.

AMD-V von AMD und VT-x von Intel reichen für die Hardware-Virtualisierung nicht aus. Zusätzlich nötig ist auch Second-Level Address Translation (SLAT). Das ist ein Adressverwaltungsbeschleuniger, der in der CPU angesiedelt ist und sich in einer höheren Geschwindigkeit bemerkbar macht. Bei AMD heißt das Nested Page Tables (NPT) oder Rapid Virtualization Indexing (RVI). Bei Intel heißt es Extended Page Tables (EPT).

Im Regelfall ist Virtualisierung ein Aufgabenbereich des Prozessors. Doch auch bei der I/O-Virtualisierung ist die Unterstützung von CPU, BIOS und Chipsatz nötig. Dann kann man eine bestimmte PCIe-Komponente direkt an eine virtuelle Maschine durchreichen, sodass sich darin ein Treiber für dieses Gerät installieren lässt. Das ist vor allem bei Grafikkarten interessant.

## **Was bringt die Hardware-Unterstützung?**

Die folgende Beschreibung ist stark vereinfacht und allgemein gehalten.

Ein Prozessor ist normalerweise darauf ausgelegt nur ein Betriebssystem auszuführen. Wenn ein Computersystem nun neben einem Host- auch ein Gast-Betriebssystem (virtuelle Maschine) beherbergt, dann ist es ohne Änderungen am Original-Code nicht möglich, bei der Befehlsausführung zwischen Host und Gast zu unterscheiden. Wenn bestimmte Instruktionen auf die gleiche Ressource zugreifen, dann kann es zu Abstürzen und Datenverlust kommen. Schon einfache Instruktionen, wie das Sichern und Schreiben von Statusregistern im Prozessor, können zu Problemen führen. Um Probleme auszuschließen muss der Code vor der Ausführung auf problematische Instruktionen durchsucht und diese gegebenenfalls ersetzt

werden. Für die Überprüfung ist der Hypervisor bzw. der Virtual Machine Monitor (VMM) zuständig. Weil jede einzelne Instruktion überprüft werden muss, geht dabei die Performance des gesamten Systems etwas in die Knie. Im Prinzip muss der VMM den virtuellen Maschinen vorgaukeln, dass sie den Prozessor für sich alleine haben.

Viel besser ist die Virtualisierungsunterstützung durch den Prozessor. Dadurch wird die Virtualisierung etwas schneller. Das hilft vor allem "einfachen" Virtualisierungslösungen. Viel wichtiger ist, dass unter einem 32-Bit-Betriebssystem auch ein 64-Bit-Gastsysteme ausgeführt werden kann, wenn der Prozessor Virtualisierung unterstützt. Denn mit speziellen Virtualisierungsinstruktionen lassen sich die virtuellen Maschinen in eine Umgebung verschieben, wo das Durchsuchen auf problematische Instruktionen nicht mehr nötig ist.

Wenn die Virtualisierungsunterstützung trotzdem nicht sehr viel zur Geschwindigkeitssteigerung führt, dann liegt das daran, weil die meisten Instruktionen immer noch vom VMM abgefangen werden müssen. Das bedeutet, dass die Virtualisierungsunterstützung des Prozessors nicht besonders umfangreich ist. Der Prozessor kann nicht alle Instruktionen selber abhandeln.

Ob Instruktionen von der VMM oder vom Prozessor behandelt werden, hängt vom Umfang der Virtualisierungsunterstützung des Prozessors ab. Die Behandlung durch den Prozessor ist auf alle Fälle schneller. Aber prinzipiell ist immer ein VMM nötig, der sich um die Organisation und die aufwendigeren Instruktionen kümmert.

## **Multi-Core / Mehrkern-Prozessoren**

Parallelrechentechnik und Multi-Core-Prozessortechnik sind Prinzipien, die seit Anfang der 90er Jahren in Supercomputern Einzug gehalten haben. Diese Systeme sind bis heute Multi-Prozessor-Systeme. Die dort verwendeten Verfahren finden ihren Weg auch in Personal Computer. Statt mehrere Prozessoren wird die Parallelisierung direkt im Prozessor vorgenommen. Das bedeutet, dass in einem Prozessor mehrere Prozessor-Kerne eingebaut sind. Man bezeichnet diese Prozessoren als Multi-Core- oder Mehrkern-Prozessoren. Rein äußerlich unterscheiden sich Multi-Core-CPU's nicht von Single-Core-CPU's. Innerhalb des Betriebssystems wird der Multi-Core-Prozessor wie mehrere Einheiten behandelt. Je nach

Anzahl der Kerne gibt es abgewandelte Bezeichnungen, die darauf hindeuten, wie viele Kerne im Prozessor integriert sind.

Seit der Einführung von Doppelkern-Prozessoren hat sich die Computer-Infrastruktur entscheidend weiterentwickelt, wodurch Multi-Core-Prozessoren immer sinnvoller werden. So sind SATA-II-Festplatten in der Lage per Native Command Queuing (NCQ) Zugriffe in ihrer Reihenfolge zu verändern und dadurch Datenanforderungen von mehreren Prozessorkernen zu bearbeiten. Ebenso PCI Express (PCIe), auf dem mehrere Datentransfers parallel ablaufen können.

## **Vom Takt-orientierten Prozessor zum Mehr-Kern-Prozessor**

Das immer schnellere Taktraten bei Prozessoren auch Nachteile haben, das haben die Prozessor-Hersteller schnell erkannt. Probleme macht vor allem die Wärmeentwicklung, die durch die Leckströme in den kleinen Transistor-Strukturen und durch hohe Taktraten verursacht werden. Herkömmliche Kühlmaßnahmen mit dicken Kühlkörpern und schnell drehenden Lüftern bleiben wirkungslos. Die Computer werden dadurch nur noch lauter.

Anstatt die Taktrate weiter zu steigern, ist man auf die Mehrkern-Technik ausgewichen, die in einem Prozessor mehrere Kerne zusammenschaltet. Das bedeutet, moderne Prozessoren haben nicht nur eine Recheneinheit, sondern mehrere. Es könnte sein, dass irgendwann für jede laufende Anwendung oder Prozess ein eigener Prozessorkern, also eine Recheneinheit zur Verfügung steht. Allerdings bringt dieses Potential nur etwas, wenn mehrere laufende Anwendungen mehrere Prozessorkerne gleichzeitig beschäftigen können. Es braucht also Software, die das ganze koordiniert und eine Hardware, die das unterstützt. Dazu gehört das Verteilen der Berechnungen auf mehrere Prozessorkerne. Man nennt das auch die "Automatische Parallelisierung". In 3D-Software wird die Parallelrechenteknik schon länger verwendet.

Doch typische Anwendungen, durch die parallele Rechenleistung gefordert wird, gibt es für den Desktop-Computer nicht. Die meisten Desktop-Anwendungen brauchen in der Regel keine parallelisierte Rechenleistung über einen längeren Zeitraum. Nur manchmal hat man das Gefühl, dass ein Mehrkern-Prozessor eine Geschwindigkeitssteigerung hervorruft. Die ist

darauf zurück zu führen, dass mehrere Programme tatsächlich parallel laufen können. Im Optimalfall nutzen mehrere leistungshungrige Anwendungen unterschiedliche Prozessorkerne. Zum Beispiel im Hintergrund (Dienste) oder Vordergrund laufende Programme. Durch mehrere Prozessorkerne entsteht eine Art Leistungsreserve, durch die Anwendungen Eingaben immer bereitwillig entgegennehmen, auch wenn im Hintergrund irgendwelche Prozesse Rechenleistung verbrauchen. Prozessoren mit mehr als zwei Kernen haben es jedoch schwer sich bei der normalen Nutzung zu beweisen. Denn mehr als zwei Kerne bedarf Anwendungen, die ihre Berechnungen selber auf mehrere Prozessorkerne verteilen können. Während ein Dual-Core-Prozessor noch durch das Betriebssystem bedient wird, bedarf es bei mehr als zwei Kernen der Unterstützung durch die Anwendungen.

Die Vorteile der ersten Dual-Core-Prozessoren waren ein geringerer Takt und weniger Energieverbrauch pro Kern und somit weniger Aufwand beim Kühlen. Das heißt, weniger Stromverbrauch bei mehr Leistung.

In Multi-Core-Systemen werden viele Aufgaben in Threads aufgeteilt. Diese Threads werden parallel von mehreren Prozessorkernen abgearbeitet. Dazu müssen das Betriebssystem und die Programme "threaded"- oder "multi-threaded"-fähig sein. Mit Hyper-Threading hat Intel die Software-Branche schon früh zur Realisierung von Multi-Threading-Anwendungen motiviert.

Auch wenn durch die wachsende Verbreitung von Computern mit Multi-Core-Prozessoren Multi-Threading-Anwendungen attraktiver werden, ändert sich die Software nur sehr langsam. Das Problem: Multi-Threading-Anwendungen sind sehr viel komplizierter in der Programmierung. Dazu kommen neue und ungewohnte Fehlerquellen hinzu.

Die Parallelisierung von Software stellt die Programmierer vor eine große Herausforderung. Erschwerend kommt hinzu, dass die meisten Anwendungen keiner Parallelisierung bedürfen. Vor allem deshalb, weil sie die meiste Zeit sowieso auf Nutzereingaben warten. Typische Anwendungen, die durch Parallelisierung deutliche Vorteile haben sind Bildbearbeitung und Videoverarbeitung. Aber auch nur dann, wenn Funktionen ausgeführt werden, die erheblich Rechenleistung anfordern. Wenn Multi-Core-Prozessoren für viele Anwendungen keinen wirklichen Vorteil bringen, werden die Programmierer eher auf die Nutzung von Multi-Threading verzichten. Billige Software nutzt in der Regel kein Multi-Threading. Und auch wenn ein Programm Multi-Threading verwendet, bedeutet das nicht, dass es das mit allen Funktionen tut.

Zwei oder mehr Prozessorkerne in einem Prozessor unterzubringen ist in etwa so, wie in ein Auto mehrere Motoren einzubauen. Ob das Sinn macht, hängt eben stark von der Nutzung und Anwendung ab. Wer nur in der Stadt herumfährt, der wird nie die Leistung von zwei Motoren brauchen. Doch Intel und AMD propagieren unaufhörlich den Wechsel zur parallelisierbaren Programmierung. Denn beide sind nicht in der Lage die Taktrate ihrer Prozessoren auf über 4 GHz zu erhöhen. Und die Software-Entwickler werden diese Entwicklung mitgehen, wenn sie mit Ihren Programmen keine Geschwindigkeitsprobleme bekommen wollen. Trotz Multi-Core-Prozessoren kommt es immer noch auf die Rechenleistung eines einzelnen Kerns an. Das haben auch Intel und AMD erkannt und deshalb in ihre Mehrkern-Prozessoren eine Übertaktungsautomatik eingebaut. Wenn mehrere Kerne nichts zu tun haben, dann werden sie abgeschaltet und ein Kern übertaktet. Und zwar so lange und so hoch, bis der eine Kern zu heiß wird. Dann wird dieser Kern wieder heruntergetaktet.

## **Typische Anwendungen für Single-Core-Prozessoren**

- Textverarbeitung
- Browser
- E-Mail
- Instant-Messaging
- Virenschanner
- MP3-Player
- einfache Bildbearbeitung (Schneiden, Skalieren, Farbkorrektur)

Bei typischen Desktop-Anwendungen, wie Office, Internet, E-Mail oder Spielen bringt ein schneller getakteter Single-Core-Prozessor mehr Leistung, als ein Multi-Core-Prozessor.

## **Typische Multi-Threading-Anwendungen für Multi-Core-Prozessoren**

- CAD
- Simulation
- HD-Video
- Compiler
- 3D-Rendering

- professionelle Audio-Bearbeitung
- professionelle Bildbearbeitung
- Videoschnittprogramme

## **Auswirkungen auf die Prozessor- und Computer-Architektur**

Bei den üblichen Multi-Core-Architekturen teilen sich die Prozessor-Kerne den Arbeitsspeicher. Je mehr Kerne ein Prozessor hat, desto mehr Speicher bzw. mehr Bandbreite zum Speicher ist erforderlich.

Der Zugriff auf Speicher und Schnittstellen bleibt auf der Strecke, wenn sich mehrere Kerne den Bus zum Chipsatz teilen müssen. Aus diesem Grund hat es sich in Multi-Core-Prozessoren schnell durchgesetzt den Speicher-Controller aus dem Chipsatz in den Prozessor zu verlegen.

Es bleibt dann nur noch das Problem, dass sich die Kerne darüber abstimmen müssen, wer gerade welche Daten im Cache hält. Eine mögliche Lösung ist eine hierarchische Cache-Struktur. Dabei bekommt jeder Kern einen eigenen L1-Cache und L2-Cache. Den L3-Cache müssen sich die Kerne teilen. Ein Cache-Kohärenz-Protokoll sorgt dafür, dass sich die Prozessorkerne bei der Nutzung des L3-Caches nicht in die Quere kommen.

## **Turbo Boost und Turbo Core**

Turbo Boost von Intel und Turbo Core von AMD sind Mechanismen zum automatischen Übertakten eines Prozessors. Da die Übertaktung vollautomatisch erfolgt und vom Prozessor gesteuert wird, kommen normale Anwender in den Genuss der Vorteile durch Übertaktung.

Der Turbo-Modus, wie Turbo Boost und Turbo Core, wurde für niedriggetaktete Mehrkern-Prozessoren entwickelt, um Software, die nicht für Mehrkern-Prozessoren optimiert ist, schneller ausführen zu können. Anwendungen, die nicht alle Kerne eines Mehrkern-Prozessors auslasten, werden beschleunigt, in dem ein einzelner Kern des Prozessors höher getaktet wird und die anderen Kerne schlafen gelegt werden.

Der Turbo-Modus ist der Betriebszustand eines Prozessors, in dem die Taktfrequenz eines Kerns erheblich gesteigert wird, sofern nur wenige Kerne ausgelastet sind. Dabei muss die TDP-Grenze berücksichtigt werden.



Der Unterschied zwischen klassischem Übertakten und Turbo Boost (Intel) oder Turbo Core (AMD) ist nicht sehr groß. Der wesentliche Unterschied ist der, dass der Turbo-Modus auf Dauer nicht wirklich mehr Leistung bringt. Das wäre nur dann gegeben, wenn man per Hand nachhelfen würde.

Der Turbo-Modus macht nur deshalb Sinn, weil die meisten Anwendungen mit wenigen, dafür schnellen Prozessorkernen besser bedient werden können, als mit mehreren langsamen Prozessorkernen. Wenn also nur ein oder zwei Kerne voll ausgelastet sind und mit höherer Taktfrequenz arbeiten dürfen, dann wirkt sich das insgesamt beschleunigend auf das ganze System aus.

## **Funktionsweise des Turbo-Modus**

Sind einige Kerne eines Prozessors nicht ausgelastet oder befinden sich im Tiefschlaf, dann werden die anderen Kerne übertaktet. Aber nur, wenn die Gesamtwärme des Prozessors im Rahmen bleibt. Man spricht auch vom Thermal Design Power (TDP). Das ist der Maximalwert der Leistung, den der Prozessor bei der Vollauslastung mit gewöhnlicher Software aufnimmt. Das ist deshalb wichtig, weil je höher ein Prozessor getaktet ist, desto mehr Strom brauchen die Transistoren, um in einer möglichst kurzen Zeitspanne sicher vom leitenden in den nicht-leitenden Zustand oder umgekehrt umzuschalten. Dabei steigt die Leistungsaufnahme und dadurch die Wärmeentwicklung an.

Der TDP gilt immer für den ganzen Prozessor, also für alle Kerne. Wenn aber nur wenige Kerne beschäftigt sind, wird der maximal mögliche TDP nie erreicht. Dabei entstand die Idee einen einzelnen Kern höher zu takten, wenn die anderen Kerne nichts zu tun haben und dabei den TDP auszureizen.

Zusätzlich machen sich Turbo Boost (Intel) und Turbo Core (AMD) einige längst etablierte Stromsparmechanismen zu Nutze.

## **Turbo Boost (Intel)**

Für Turbo Boost ist die Power Control Unit (PCU) verantwortlich. Die PCU enthält einen integrierten Mikrocontroller für das Power-Management. Die PCU ist dafür verantwortlich, dass der Prozessor seinen TDP, seine Maximalspannung und seine Maximaltemperatur nicht überschreitet. Diese Werte sind in der PCU unveränderlich vorgegeben.

Außer in den zum Übertakten geeigneten Extreme-Edition-Versionen. Dort ist die Taktfrequenz offen und der TDP variabel.

Die Monitoring-Logik der PCU misst die Auslastung, Leistungsaufnahme und Temperatur. In Abhängigkeit der drei Werte regelt die Logik den Turbo Boost. Damit Turbo Boost von Intel aktiv wird, müssen die Temperatur des Prozessors und seine Strom- und Leistungsaufnahme unterhalb bestimmter Schwellen liegen. Die Komplexität steigt zusätzlich durch Hyper-Threading. Turbo Boost wird nur dann aktiv, wenn keiner der beiden Threads eines Kerns etwas zu tun hat. Insgesamt ist Turbo Boost technisch sehr raffiniert, aber auch sehr komplex.

Sofern Turbo Boost im BIOS freigeschaltet ist und nicht alle Kerne ausgelastet sind, kann Turbo Boost die Taktfrequenz einzelner CPU-Kerne um bis zu 666,67 MHz oder fünf 133-MHz-Multiplikatorstufen höher einstellen als die nominelle Frequenz des jeweiligen Prozessors. Um wie viel Turbo Boost den Multiplikator nach oben setzt, hängt von der CPU-Version, ihrem maximalen Multiplikator, ausreichender Kühlung (CPU-Kühler) und vom Spannungswandler auf dem Motherboard ab.

Eine Weiterentwicklung ist der Super-Turbo-Boost oder Triple-Turbo, der, wenn ein Kern längere Zeit geschlafen hat und noch kühl ist, dann darf er beim Starten eine Zeitlang höher getaktet werden, als es seinem TDP entspricht. Die Dauer für die Übertaktung ist abhängig von Außentemperatur und Kühlung. Die Übertaktung kann bis zu 20 Sekunden betragen.

Hinweis: Die Nutzung von Turbo Boost bedeutet nicht, dass zwangsläufig die Taktfrequenz angehoben wird, sondern dass der Prozessor kurzzeitig mehr Wärme produzieren darf. Dabei macht man sich die thermische Trägheit zu Nutze. Wenn die Taktfrequenz erhöht wird, steigt die Hitzeentwicklung nicht sofort sprunghaft an, sondern steigt nur langsam. Erreicht die Temperatur einen bestimmten Punkt wird die Taktfrequenz wieder gesenkt. Das Kühlsystem hat dann die Möglichkeit die aufgestaute Hitze abzubauen. Erst wenn die Temperatur einen niedrigeren Punkt erreicht hat, kann Turbo Boost wieder die Taktfrequenz erhöhen. Ob der Turbo zündet hängt also auch davon ab, wie stark der Prozessor vorher in Anspruch genommen wurde.

## **Turbo Core (AMD)**

Bei AMD ist die Übertaktungsautomatik bei weitem nicht so komplex, wie bei Intel. Bei Turbo Core gilt, hat die Hälfte der Kerne nichts zu tun, dann dürfen die anderen mit einer festen Stufe hochtakten. Die Stufe liegt je nach Prozessor bei 400 oder 500 MHz. Dazu reicht es aus, wenn die inaktiven Kerne in den C1-Modus (ACPI) wechseln und zuvor ihre Taktfrequenz auf 800 MHz gesenkt haben.

## **Intel Prozessoren**

Intel ist der Hersteller von Prozessoren, die eine Vielzahl von Anwendungen abdecken. Die Bandbreite reicht von sparsam bis leistungsfähig. Intel legt bei der Entwicklung seiner Prozessoren sehr viel Wert auf Leistung und die Verbesserung der Energieeffizienz. Ausgedrückt in Performance pro Watt. Es gibt die Core-i-Baureihe für Workstations, Desktop-PCs und Notebooks. Die Core-m-Baureihe für Tablets und Tablet-PCs. Die Modelle Celeron und Pentium für den Low-Cost-Bereich und den Xeon für Server und Hochleistungssysteme.

Als Marktführer verfolgt Intel bei der Entwicklung und Vermarktung seiner Prozessoren eine Plattform-Strategie. Es geht nicht nur darum Prozessor, sondern auch Chipsätze, Netzwerkchips und weitere Komponenten zu verkaufen. Einerseits um die Wertschöpfung pro Computer zu steigern, aber auch, um die Leistungsfähigkeit seiner Prozessoren optimal zur Geltung zu bringen. Die Kombination von Intel-Prozessor und -Chipsatz ermöglicht es die PC-Hersteller die leistungsfähigsten Computer zu bauen. Kein anderer Prozessor-Hersteller konnte hier in der Vergangenheit bis heute mithalten. Als einziger nennenswerter Konkurrent ist nur noch AMD übrig geblieben. Auf dem Server-Markt steht Intel nahezu alleine da.

## **Geschichte**

Die Firma Intel ist untrennbar mit der Geschichte der Personal Computer verbunden. Der erste Mikroprozessor von Intel aus dem Jahr 1971 ist der 4004. Er ist ein 4-Bit-Prozessor. Er war aber nur für Einsatz in Taschenrechnern geeignet. Der erste Mikroprozessor von Intel, der in Home-Computern Anwendung fand, ist der 8-Bit-Prozessor 8008 aus dem

Jahr 1972. Der Nachfolger 8080 folgte im Jahr 1974. Dessen flexible Programmierbarkeit fand in Bastlerkreisen sehr viel Aufmerksamkeit. Auch in der Anlagensteuerung und in Mikrocomputern mit dem Betriebssystem CP/M wurde der 8080 verwendet. Seine Weiterentwicklung, der 8085, fand keine weite Verbreitung.

1978 stellte Intel mit dem 8086 einen Prozessor mit einem neuen Aufbau vor. Intern arbeitete er mit 16 Bit, wurde mit 4,77 MHz getaktet und verfügte mit 20 Adressleitungen über die Möglichkeit 1 MByte Arbeitsspeicher anzusprechen. Leider fand der 8086 keine große Verbreitung. Die 16-Bit-Komponenten und die Peripherie waren sehr teuer. Deshalb schob Intel schnell eine abgespeckte Variante, den 8088, nach. Dieser arbeitete extern mit den gewohnten 8 Bit. Zu diesem Zeitpunkt trat die Firma IBM mit ihrem Personal Computer (PC) auf den Plan. Dieses offene Computer-System war mit dem Prozessor 8088 ausgerüstet.

Es folgten Weiterentwicklungen, wie z. B. der 80186 und 80188. Beide bescherten Intel aber nur mäßigen Erfolg. Mit dem 80286 stellte Intel im Jahr 1982 eine neue Prozessor-Generation vor. Die Firma IBM stieg wiederum mit einem neuen Personal Computer (PC) in den Markt ein. Kaum drei Jahre später, die 80286-Systeme waren noch nicht voll ausgereizt, kam bereits der 80386 auf den Markt. Diesen ersten 32-Bit-Prozessor gab es auch in einer abgespeckten Variante, dem 80386SX, der mit 80286-Hardware funktionierte. 1989 war dann die Zeit für den 486er gekommen. Dieser Prozessor war ein 386er mit integriertem numerischen Coprozessor, 8-kByte-Cache (Pufferspeicher) und RISC-Befehlen.

Weil sich Nummern nicht als Warenzeichen schützen lassen, stellte Intel seine Prozessor-Bezeichnung auf Namen um. Mit den Bezeichnungen 386 und 486 waren auch andere Firmen, u. a. AMD und Cyrix, mit eigenen kompatiblen Prozessoren auf den Markt gekommen. Deshalb bekam die 80586-Prozessor-Generation den Namen Pentium.

## **Intel als Treiber in der Computertechnik**

Intel versucht sich nicht nur mit der Performance, sondern auch mit dem Funktionsumfang seiner Prozessoren abzusetzen. Doch der Erfolg des x86-Computers ist gerade seine absolute Kompatibilität und Austauschbarkeit.

Der Anwender kann Software und Hardware fast beliebig untereinander tauschen.

Weil Systemleistung nicht nur vom Prozessor abhängt hat Intel in den 90er Jahren damit begonnen neben den Prozessoren auch Techniken zu entwickeln und zu standardisieren, die den PC-Markt entscheidend voran brachten. Das Bussystem PCI und die Schnittstelle USB stammen maßgeblich von Intel und haben entscheidend dazu beigetragen, dass die Leistungsfähigkeit seiner Prozessoren besser zur Geltung kommt. Damit sich die Eigenentwicklungen auch im Markt durchsetzen hat Intel eigene Chipsätze für die Motherboards entwickelt und frühzeitig die Eigenentwicklungen integriert. So stellte Intel den Motherboard-Herstellern komplette Systeme mit Prozessor und Chipsatz zur Verfügung.

Bei der Leistungssteigerung geht Intel inzwischen sogar so weit und passt die Befehlssätze seiner Prozessoren auch mal an die individuellen Interessen seiner Großkunden an. So gibt es in SSE 4.2 spezielle Text- und Stringfunktionen für einen großen Suchmaschinenanbieter. Oder spezielle Funktionen, die die Datenbank eines großen Anbieters beschleunigt. Ansonsten sind diese Funktionen zu nichts nütze.

## **Prozessor-Bezeichnung (Skylake-Architektur)**

Die Modell-Bezeichnung, wie zum Beispiel "4130", dient zur Vergleichbarkeit zwischen den Modellen. Je höher die Modellnummer, desto schneller ist der Prozessor. Das bedeutet, für den Anwender und Kunde ist es absolut unerheblich welche inneren Werte der Prozessor hat. Wenn zwei Modelle die gleiche Nummer haben und sich nur noch durch einen angehängten Buchstaben unterscheiden, dann sind sie nahezu gleich schnell.

- S / 35, 65 W TDP: für Desktop-PCs und All-in-One-Geräte
- H / 45 W TDP: mobile Workstations und leistungsstarke Notebooks (Desktop-Ersatz)
- U / 15, 28 W TDP: für flache Notebooks, Mini-PCs und All-in-One-Geräte
- Y / 4,5 W TDP: lüfterlose Notebooks und Tablets (Core m)
- G / 65 W TDP: Low-Cost-CPU (Celeron und Pentium)
- T / 35 W TDP: Variante mit einer sparsameren CPU
- K / 91 W TDP: Variante mit einer übertaktbaren CPU

## Intel Atom

Der Atom von Intel ist ein Prozessor bei dem es darum geht, eine möglichst hohe Rechenleistung zu erreichen und gleichzeitig den Prozessor passiv kühlen zu können. Die Rechenleistung ist gerade so hoch, dass kein Lüfter oder andere aufwändige Kühlmaßnahmen erforderlich sind.

Die Vorzüge des Atoms kommen in der Hauptsache in Mini-Computern mit einfacher Ausstattung und kompakter Bauweise zur Geltung. Bauformen, die eine neue Gerätekategorie definieren und sich "Netbooks" oder "Nettops" nennen, haben bereits den Markt erobert. Im Prinzip kommt es bei billigen und kompakten Rechnern nicht so sehr auf die Rechenleistung an. Eher möchte man Gewicht sparen und eine möglichst lange Akku-Laufzeit haben.

Der Atom besteht im Prinzip aus einem Prozessor mit Grafikkern, Speichercontroller und Chipsatz. Speichercontroller und Grafikprozessor befinden sich zusammen mit der CPU in einem Chip. Der Rest vom Chipsatz schrumpft auf einen einzigen Chip zusammen, der per DMI (PCIe) an den Prozessor angebunden ist. Zwei-Chip-Lösung sind günstiger in der Produktion und es spart Verbindungsleitungen auf der Hauptplatine zwischen vielen unterschiedlichen Chips. Die Hauptplatine darf dann dünner und kleiner sein. Dadurch sind die Computer billiger, kompakter und energiesparender. Lüfterlose Geräte sind möglich. Der Chipsatz unterstützt nur USB, PCIe, HD-Audio und SATA.

Obwohl der Intel Atom für leichte und lüfterlose Tablets und besonders dünne Notebooks gedacht war, hat er diese Rolle nie wirklich einnehmen können. Hier behielten die ARM-Prozessoren die Vorherrschaft. Deshalb wurde der Atom in dieser Gerätekategorie vom Core m abgelöst.

## Intel Pentium und Celeron

Pentium und Celeron sind alte Markennamen, die Intel für seine Prozessoren verwendet. Der Celeron war schon immer ein Intel-Prozessor aus dem Low-Cost-Bereich. Dagegen war Pentium früher der Name für leistungsstarke Intel-Prozessoren. Heute wird dieser Name von Intel für Low-Cost-Prozessoren verwendet. Vermutlich um aus dem positiv besetzten Namen noch ein wenig Profit herauszuschlagen. Ansonsten hat

der aktuelle Pentium mit dem alten Pentium nichts zu tun. Bis Mitte 2013 waren es üblich, dass Celerons und Pentiums den abgespeckte Prozessor-Kern der vorhergehenden Prozessor-Generation erbte. Meist mit geringerer Taktrate und kleinerem Cache. Damit hat Intel die teuer entwickelten Prozessoren für billige und leistungsschwache Low-Cost-Varianten zweitverwertet und sich die Entwicklung eines billigen Prozessors gespart.

Seit Mitte 2013 sind Celerons und Pentiums höher getaktete und erweiterte Versionen des Atoms in Form von Systems-on-Chips (SoCs) und werden in Low-Cost- bzw. Low-Budget-Komplettsystemen eingesetzt.

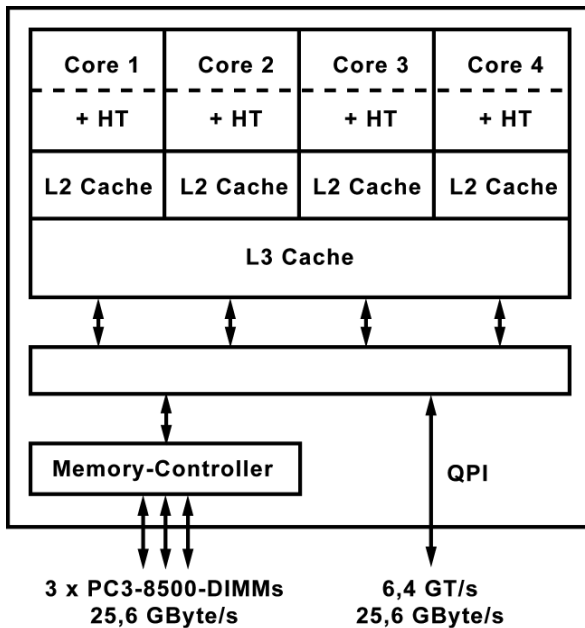
## **Intel Core i7 / i5 / i3**

Die Prozessoren Intel Core i7, i5 und i3 lösen seit Ende 2008 die Vorgänger Core 2 Duo und Core 2 Quad ab. Die Core-i-Serie basiert auf der Nehalem-Architektur, ab dem Jahr 2011 auf der Sandy-Bridge-Architektur, seit Mitte 2012 der Ivy-Bridge-Architektur. Dann folgten Haswell (2013), Broadwell (2014/2015) und Skylake (2015).

Die Bezeichnungen i3, i5 und i7 geben kaum Auskunft über die Leistungsfähigkeit der Prozessoren. Sie dienen in der Hauptsache der Klassifizierung der Leistung. Wobei Core i7 leistungsfähiger ist als Core i5. Und Core i5 ist leistungsfähiger als Core i3.

Die Prozessor-Serie Core i7 ist für das Performance- und High-End-Segment vorgesehen. Core i5 positioniert sich als Mittelklasse-CPU. Der Core i3 kommt eher im unteren Preissegment zum Einsatz, die für typische Büroarbeiten, ein wenig Internet und Multimedia geeignet sind. Unterschiedliche Typen in diesen Serien sind dann für unterschiedliche Einsatzzwecke vorgesehen. Darunter Server- und Desktop-Prozessoren, sowie verschiedene, spezielle Varianten für Notebooks.

## Intel Core i7 (Nehalem-Architektur)

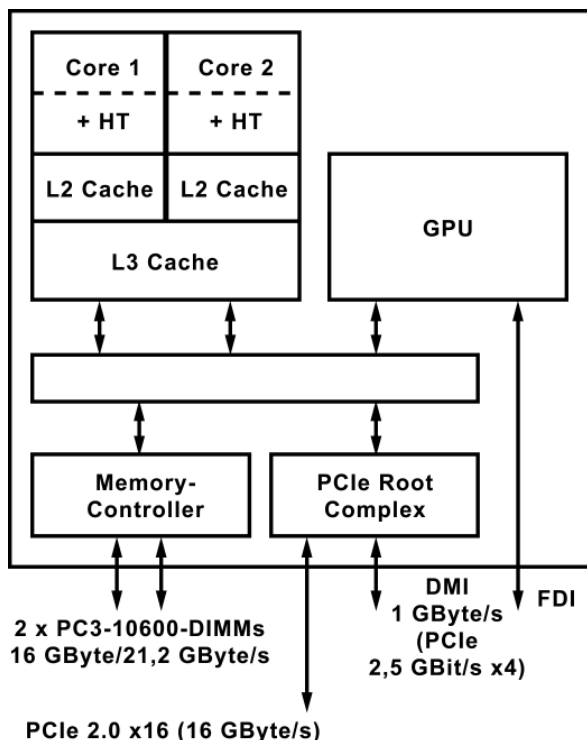


Der Intel Core i7 hat einen integrierten Speichercontroller für bis zu drei DDR3-Kanäle, statt dem klassischen Front-Side-Bus (FSB) eine Schnittstelle mit der Bezeichnung QuickPath Interconnection (QPI) mit bis zu 4 Links und einen 8 MByte großen L3-Cache.

Die Kerne takten immer gleich schnell. Der Grundtakt ist 133 MHz. Bei einer Taktfrequenz von 3,2 GHz ist ein Multiplikator von 24 eingestellt.



## Intel Core i5 (Nehalem-Architektur)

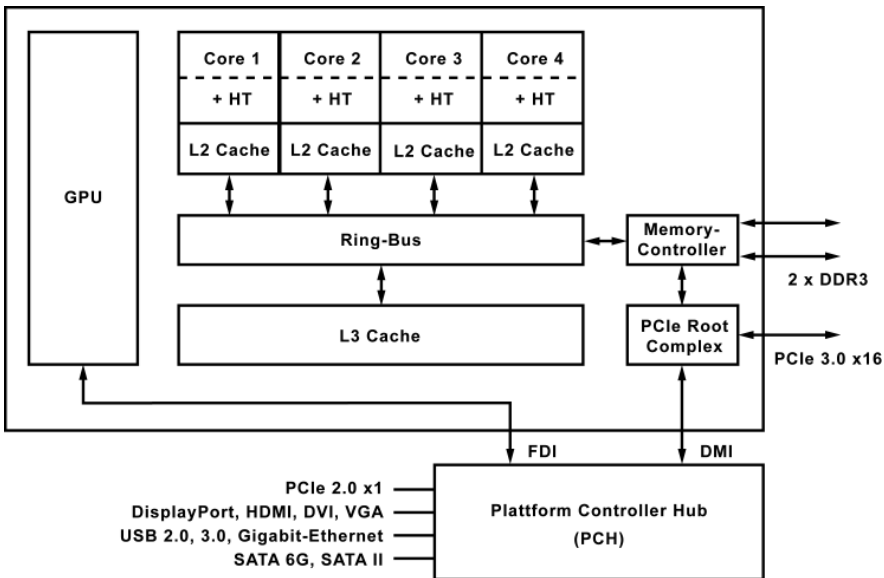


Mit der Core-i5-600er Serie vereint Intel eine CPU mit einem Grafikprozessor (GPU) zu einem Prozessor. Schaut man jedoch genauer hin, dann hat Intel einen Dual-Core-Prozessor und eine klassische Northbridge (Chipsatz) mit Speichercontroller und integrierter Grafikeinheit in ein gemeinsames Gehäuse verpflanzt. Von einem echten CPU-GPU-Prozessor ist Intel noch ein ganzes Stück weg.

## Ivy-Bridge-Architektur (3. Generation)

Ivy Bridge ist der Name der dritten Core-i-Generation. Gegenüber der Sandy-Bridge-Architektur weisen die Ivy-Bridge-Prozessoren leichte Architekturunterschiede auf und sind bei gleicher Taktfrequenz etwas schneller und sparsamer im Verbrauch. Im Vergleich zu Sandy-Bridge-Prozessoren weisen die Ivy-Bridge-Prozessoren 26 Prozent weniger Siliziumfläche bei 20 Prozent mehr Transistoren auf. Wobei die

Transistoren überwiegend für die Grafik-Einheit HD 4000 verwendet werden. Neu sind auch die Tri-Gate-Transistoren, bei denen das Gate Drain und Source von drei Seiten umschließt, auf diese Weise Leckströme reduziert und für eine bessere Energieeffizienz sorgt.



Der integrierte Grafikprozessor (HD 2500 oder HD 4000) ist DirectX-11- und OpenCL-1.1-kompatibel. Die GPU HD 4000 hat 16 Kerne. Im Vergleich dazu die HD 2000 nur 6 und HD 3000 nur 12 Kerne. Die meisten Ivy-Bridge-Prozessoren haben jedoch nur eine HD 2500, die nur geringe Vorteile gegenüber der HD 2000 hat. Wer 3D-Spiele zocken will, der sollte sich nicht auf die interne GPU verlassen, sondern lieber eine externe Grafikkarte in den PC einbauen.

Der integrierte Grafikprozessor HD 4000 ist mit einer Einsteiger-Grafikkarte vergleichbar. Die kleineren Versionen eignen sich kaum für anspruchsvolle Spiele. Höchstens für die Büroarbeit und Videoschnitt. Eine Besonderheit ist der integrierte HD-Video-Transcoder Quick Sync Video. Mit einer entsprechenden Software rechnet der Transcoder Videos in bestimmten Formaten in andere Formate sehr schnell um.

Mit Ivy Bridge ändern sich nicht nur die Prozessoren, sondern auch die Chipsätze. Hier hält unter anderem PCI Express 3.0 und USB 3.0 Einzug.

PCI Express 3.0 ist direkt als PCIe Root Complex in der CPU integriert. Ebenfalls integriert ist ein Speicher-Controller für 2 mal DDR3-SDRAM. Der Chipsatz, der als Plattform Controller Hub (PCH) bezeichnet wird, ist über das PCIe-ähnliche DMI (Direct Media Interface) mit dem Prozessor gekoppelt. Mit maximal 8 PCIe-2.0-Lanes (je nach PCH) zu jeweils 500 MByte/s.

## **Skylake-Architektur (6. Generation)**

Seit der zweiten Jahreshälfte 2015 gibt es die CPUs der Skylake-Architektur. Die Skylake-Architektur ist die erste Core-Architektur, die für Server, Desktop und Notebooks unterschiedliche Chips mit entsprechenden Optimierungen aufweist. Das komplette Design wurde überarbeitet und hauptsächlich für die Energieeffizienz optimiert. Die Skylake-CPU's sollen dank AVX3 bzw. AVX512 mit 512-Bit-Rechenwerken das Performance-Potenzial im Vergleich zu Haswell pro Kern und Taktzyklus verdoppeln. Der Basistakt ist unabhängig von der Taktfrequenz von PCIe- und der DMI-Verbindung zum Chipsatz. Zusammen mit den externen Spannungsreglern freut das die Übertakter. Der Umstieg auf DDR4-SDRAM mit DDR4-2133-Chips mit einer Bandbreite von 17 GByte/s ist vorgesehen. DDR3-SDRAM mit DDR3-1600-Chips mit einer Bandbreite von 12,8 GByte/s werden auch unterstützt. Ein neuer Speicher bedeutet, eine neue CPU-Fassung (LGA2011v3) und damit neue Mainboards. Die Intel-Chipsätze beherrschen dann auch PCIe 3.0 und USB 3.1.

## **GPU / HD Graphics / Iris Pro**

Die GPU, die integrierte Grafikeinheit, ist je nach Prozessor-Typ (i3, i5, i7) eine andere. Die einfacheren haben den Namen HD Graphics. Die leistungsfähigeren nennen sich Iris Pro. Sie unterstützen DirectX, OpenGL und OpenCL. Die Iris-Pro-Grafik hat ein eigenes eDRAM, das über einen eigenen Bus angesteuert wird. Ab der Skylake-Architektur unterstützt die GPU eine Auflösung von 4K per DisplayPort 1.2 und HDMI 1.4 (auf 3.840 x 2.160 px mit 30 Hz begrenzt).

## Intel Core m7 / m5 / m3

Der Intel Core m (ursprünglich Core M) entspricht einem Core-i-Doppelkern mit einer stark verringerten Abwärme (4,5 Watt TDP), weshalb er besonders für dünne Notebooks, Tablets und Hybride geeignet ist. Also Systeme, die besonders flach und leicht sind und ohne aktiven Lüfter auskommen sollen. Ursprünglich sollte der Intel Atom diese Rolle übernehmen. Doch die ARM-Konkurrenz war wesentlich sparsamer und brauchte weniger Platz.

Der Intel Core m schaltet sich im Dauerbetrieb weiter herunter als die Stromspar-Versionen des Core i. Die Performance im laufenden Betrieb und unter Volllast hängt aber stark von der Leistungsfähigkeit der Kühlung ab. Die Performance des Core m stimmt nur dann, wenn das Gesamtsystem so konzipiert ist, dass es den Prozessor ausreichend kühlt. Wenn nicht, dann erreicht der Core m nur einen Bruchteil seiner Leistungsfähigkeit. Dann liegt der Core m näher an einem Pentium, als an einem Core i. Wird das Gerät zusätzlich aktiv gekühlt, ist bis zu 40 Prozent mehr Rechenleistung drin. Beispielsweise in Verbindung mit einer Docking-Station. Hier bietet sich ein Notebook-Formfaktor an, dessen Display als Tablet abnehmbar ist.

## Intel Xeon

Der Intel Xeon ist ein spezieller Prozessor für Workstations und Server. Sein Prozessorkern wird aus der gerade aktuellen Prozessor-Architektur gebildet und mit zusätzlichen Funktionalitäten ausgestattet. Als wichtigstes Merkmal unterstützt der Intel Xeon Multiprozessorfähigkeit und hat meistens einen größeren Cache und höhere Taktraten. Außerdem ist dieser Prozessor der Vorreiter für technische Neuerungen, die später auch in billigeren und einfacheren Prozessoren eingesetzt werden. Zum Beispiel Hyper-Threading und Dual-Channel-Speicherzugriff.

Was Pentium und Celeron für den Low-Cost-Markt ist, ist der Xeon für den Servermarkt. Ein leistungsfähiger Prozessor für Workstations und Server. Das schlägt sich auch in einem deutlich höheren Preis nieder. Xeon-taugliche Hauptplatinen, Kühler, Gehäuse und Netzteile sind ebenfalls deutlich teurer, da sie auf Enterprise-Anwendungen ausgelegt sind.

Anfangs hieß der Xeon noch Pentium Xeon, womit die technische Nähe zu den Pentium-Prozessoren der Desktop-Reihe suggeriert wurde. Irgendwann hat Intel den Pentium Xeon aus der Produkt-Linie genommen und nur noch Xeon genannt.

## **AMD Prozessoren**

Wegen des großen Erfolgs der Intel Prozessoren für Personal Computer (PC) entwickelten einige andere Halbleiter-Hersteller Intel-kompatible Prozessoren. Unter anderem die Firma Advanced Micro Devices, kurz AMD.

Schon seit dem 8086 von Intel folgt AMD dem Marktführer Intel mit kompatiblen Prozessoren. Die Prozessoren von AMD wurden vor allem dadurch bekannt, dass ihre Prozessoren mit schnelleren Taktraten betrieben werden konnten. Allerdings kamen sie in der Regel wesentlich später auf den Markt als das jeweilige Original von Intel. Meistens war Intel mit der nächsten Prozessor-Generation schon am Start. Deshalb blieb AMD, wie auch anderen Herstellern, meist nur ein Teil des Low-Cost-Markts übrig. Auch heute ist es immer noch so, dass sich AMD-Prozessoren eher am unteren Preissegment befinden, weil deren Performance und Leistungsfähigkeit weit von Intel-Prozessoren abgeschlagen ist.

## **Eigene Prozessor-Entwicklung**

Während AMD beim 486er-Prozessor (1990er Jahre) noch eine Lizenz von Intel erwarb, begann AMD danach mit der Entwicklung eigener Prozessoren. Mit der Entscheidung einer eigenen Prozessor-Architektur hat sich AMD langfristig auf den zweiten Platz hinter Intel für Prozessoren für Personal Computer (PC) etabliert. Doch zuerst war die Prozessor-Entwicklung bei AMD lange Zeit ohne Erfolg gekrönt. So unterschätzte AMD den Entwicklungsaufwand bei der Eigenentwicklung K5, der dann eher ein Flopp war.

Erst die nachfolgenden Prozessoren wurden recht erfolgreich. Sie beruhten aber alle auf Fremd-Entwicklungen. Zum Beispiel der K6, der aus dem Nx686 von NexGen entstand. Diese Firma wurde von AMD einfach samt Entwickler aufgekauft. Damit hatte AMD praktisch über Nacht einen eigenen Prozessor, der dem damaligen Pentium Pro von Intel das Wasser reichen konnte. Leider wurde der K6 viel zu spät fertig und konnte Intel nur wenige Marktanteile streitig machen. Die direkten Nachfolger K6-2

und K6-III hatten nur kleine Verbesserungen.

Damals liefen alle Prozessoren im Sockel-7. Während Intel mit dem Pentium-II auf eine Slot-Bauform wechselte, bohrte AMD eigenmächtig den Sockel-7 zum Super-Sockel-7 auf. Der K6-2 kam mit einem 100 MHz Bus-Takt und einer Befehlssatzerweiterung für parallele Gleitkommaberechnungen (3DNow) auf den Markt. Allerdings sollte 3DNow nur die FPU-Schwäche des K6 kaschieren. Erst mit dem Pentium III hatte Intel mit ISSE einen ähnlichen Befehlssatz entgegenzusetzen. Schon damals bewies AMD seine Innovationsfreudigkeit. Auch wenn Intel mit seinem SSE-Befehlssatz deutlich erfolgreicher war.

Kurz vor der Einführung des Intel Pentium III, folgte der K6-III. Obgleich der Namensähnlichkeit kam der K6-III von der Leistung her nicht ganz an den Pentium III heran. Probleme gab es immer wieder mit der Stabilität im Zusammenhang mit Billig-Chipsätzen und -Motherboards, wie sie im Low-Cost-Bereich üblich waren. Bis heute konnte sich AMD vom Billigheimer-Image mit Zweite-Wahl-Prozessoren nicht ganz trennen.

## **Auf Augenhöhe mit Intel?**

Einen großen Schritt vollzog AMD mit dem K7, auch Athlon genannt. Dieser stammte vom ehemaligen Chefentwickler der Firma DEC. Der K7 war dem Alpha-Prozessor von DEC sehr ähnlich. Mit dem Athlon und später mit dem Athlon XP konnte AMD einige Jahre mit den Intel-Prozessoren sehr gut mithalten.

Mit AMD64, einer 64-Bit-Prozessor-Architektur, die auch noch 32-Bit-kompatibel war, gelang AMD ein großer Wurf. Der reichte sogar soweit, dass Intel die AMD64-Erweiterung lizenzierte und in die eigenen Prozessoren einbaute, weil man keine eigene brauchbare 64-Bit-Erweiterung zur Verfügung hatte.

In den darauffolgenden Jahren profitierte AMD vor allem durch das Unvermögen von Intel mit dem Pentium 4 die Leistungsgrenzen zu sprengen. So musste Intel zuerst eine neue Prozessor-Generation (Core 2 Duo/Quad/Extreme) entwickeln, um AMD klar in die Schranken zu weisen.

## **Der ewige Zweite**

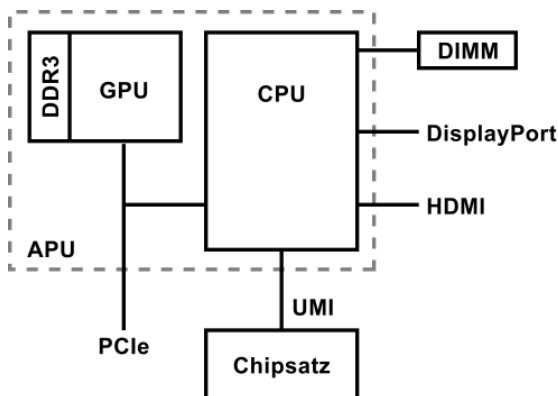
Seit jeher gilt der Prozessor-Hersteller AMD als ewiger Zweiter im Kampf um die Marktanteile im PC-Prozessor-Markt. Dazu kommt, dass AMD

lange Zeit von dem am stärksten wachsenden Markt, den Notebooks, abgekoppelt war. Mit wenigen Ausnahmen, waren die meisten AMD-Prozessoren in Low-Cost-PCs für Privatkunden verbaut. In den Bereichen, in denen richtig Geld verdient werden konnte, war Intel immer besser unterwegs.

## AMD A10 / A8 / A6 / A4

Die Baureihe A von AMD ist eine Kombination aus Prozessor (CPU) und Grafikeinheit (GPU). AMD hat diese Prozessor-Kombination ursprünglich als "Fusion" bezeichnet, für das es seit 2011 Netbook-, Notebook- und Desktop-Prozessoren gibt.

Mit dem Kauf von ATI (Grafikkartenhersteller) hat sich AMD das Know-how für Grafikchips ins Haus geholt. Seit dem plant AMD die Verschmelzung von Prozessor- und Grafikchip auf einem Die.



Bei der Baureihe A (A10, A8, A6, A4) handelt es sich um eine CPU mit 4 Kernen und einer integrierten Mittelklasse-GPU. Die CPU-GPU-Kombination wird von AMD als APU (Accelerated Processing Unit) bezeichnet.

Statt eines wohlklingenden Produktnamens, wie Sempron, Athlon, Phenom und Turion, verwendet AMD nur die Kurzbezeichnungen A10, A8, A6 und A4, gefolgt von einer Nummer.

Mit den Desktop-Prozessoren der Baureihe A lassen sich kleine, sparsame und billige PCs herstellen, die typischerweise zwischen 400 und 500 Euro liegen.

Der AMD-Prozessor, der direkt mit dem Intel Core i7 konkurriert ist der AMD FX.

## **AMD FX**

Der AMD FX ist ein Prozessor für Desktop-PCs von AMD und tritt in direkte Konkurrenz zum Intel Core i7. Es handelt sich dabei um einen Mehrkern- und x86-Prozessor mit AMD64-Erweiterung, der auf der Bulldozer- und Piledriver-Architektur basiert.

Der AMD FX soll eigentlich das High-End-Segment bedienen. Die Leistungsfähigkeit der ersten FX-Prozessoren kam bei älterem Programmcode und unter Windows 7 nicht wirklich zur Geltung. Erst mit Windows 8 wurde es besser. War aber auch nur in wenigen Einzelfällen besser als ein vergleichbarer Intel-Prozessor.

Der AMD FX verwendet einen minimal veränderten AM3-Sockel, der als AM3+ bezeichnet wird. Alle FX-Prozessoren werden ohne Multiplikator-Beschränkung ausgeliefert (Black Edition). Somit kommen Übertakter voll auf ihre Kosten.

## **AMD Opteron**

Der AMD Opteron ist ein leistungsfähiger Prozessor für Workstations und Server und ist mit dem Intel Xeon vergleichbar.

Der Opteron ist bei AMD Vorreiter für technische Neuerungen, die später auch in billigeren und einfacheren Prozessoren der A-Baureihe eingesetzt werden. Das schlägt sich in einem deutlich höheren Preis nieder. Opteron-taugliche Hauptplatinen, Kühler, Gehäuse und Netzteile sind ebenfalls deutlich teurer, da sie für Enterprise-Anforderungen ausgelegt sind.

## **ARM - Advanced RISC Machines**

Die britische Firma ARM entwickelt Prozessoren, genauer gesagt System-on-Chip (SoC). Anstatt die Prozessoren wie Intel oder AMD selber herzustellen und zu verkaufen, lizenziert ARM seine Entwicklungen an andere Hersteller, die für Ihre Geräte aus der Computertechnik, Unterhaltungs- und Haushaltselektronik spezielle Prozessoren benötigen. Um den umfangreichen Entwicklungsaufwand zu vermeiden bauen diese Hersteller aus der Vorlage von ARM maßgeschneiderte Prozessoren. Vor



allem, weil der Produktlebenszyklus extrem kurz ist. Vorgefertigte und modulare Konzepte sind hier von Vorteil.

Die SoCs von ARM enthalten neben dem Hauptprozessor (CPU) auch einen Grafikprozessor (GPU), Speicher-Controller, diverse Beschleunigungseinheiten, Mobilfunk und GPS. Wobei auch ARM nicht alles selbst entwickelt, sondern auf spezialisiertes Know-how von anderen Firmen zurückgreift und in die eigenen Konzepte integriert. So entstehen billige und sparsame Systems-on-Chip (SoC), die typischerweise in Smartphones und Tablets Anwendung finden. Die Prozessorkerne aktueller Tablets und Smartphones werden gerne vom CPU-Entwickler ARM bezogen.

## **SoC-Hersteller**

- Qualcomm (Prozessoren mit Mobilfunk- und GPS-Einheit)
- Texas Instruments (neue ARM-Kerne mit eigenen DSP-Einheiten)
- Nvidia (ARM-Kerne mit eigener Grafikeinheit)

Der SoC-Hersteller kauft die SoC-Bestandteile als Komponenten zu und kombiniert sie mit Eigenentwicklungen zu einem fertigen Bauteil, den er von einem Auftragsfertiger herstellen lässt. Die Teile eines SoC sind genau aufeinander abgestimmt, was viel Platz, Strom und Kosten spart. Dem gegenüber steht die klassische PC-Architektur, die auf eine Vielzahl von Komponenten baut, die mühsam miteinander verbunden werden müssen.

## **Anwendungen**

Die exakte Anpassung der einzelnen SoC-Bestandteile spart Kosten, Entwicklungszeit und Energie. Das alles sind wichtige Faktoren bei Geräten der Unterhaltungselektronik, Haushaltsgeräte, Smartphones und Tablets. Dabei muss man mit magerer Rechenleistung und wenigen Schnittstellen auskommen.

Den erfolgreichen SoC-Ansatz verfolgen auch die Prozessor-Hersteller Intel und AMD bei Ihren Prozessoren für Desktops und Notebooks. Ihre Prozessoren enthalten neben dem Hauptprozessor bereits Grafikprozessor, Speicher-Controller, PCI Express Root Complex, Video- und Audiobeschleuniger. In Zukunft ist zu erwarten, dass für bestimmte

Anwendungen die Intel- und AMD-Prozessoren als Single-Chip auf einen Chipsatz verzichten können.

# **Halbleiterspeicher**

**ROM**

**RAM**

**DRAM und SDRAM**

**DDR1-, DDR2-, DDR3- und DDR4-SDRAM**

**Flash-Memory**

# Elektronischer Datenspeicher

Elektronischer Datenspeicher dient sowohl der zeitlich begrenzten als auch der unbegrenzten Aufbewahrung von Daten, Zuständen und Programmen in Form von digitalen Signalen.

Elektronische Datenspeicher fassen Halbleiterbauelemente, vorwiegend Transistoren, zu integrierten Schaltkreisen zusammen, um Daten und Informationen zu speichern. Dazu werden spezielle nicht-leitende Materialien, wie zum Beispiel Silizium, gezielt verunreinigt, um sie unter bestimmten Bedingungen in einen leitenden oder nicht-leitenden Zustand zu versetzen. Die Zustände leitend und nicht-leitend können dabei die beiden binären Zuständen "0" und "1" abbilden. Die beiden Zustände können mit Halbleitern verarbeitet oder gespeichert werden. Das bedeutet, es gibt elektronische Schaltkreise, die der Datenhaltung dienen und Schaltkreise, die deren Inhalt lesen, schreiben und verarbeiten können. Die Speicherung erfolgt in der Regel in elektrischen Ladungen oder Schaltzuständen.

1. Zustand	2. Zustand
an	aus
1	0
viel	wenig
groß	klein

## Einteilung der Halbleiterspeicher

Diese Einteilung der Halbleiterspeicher richtet sich nach der Art des Speicherzugriffs. Bekannt sind Halbleiterspeicher mit seriellm Zugriff. Das heißt, auf den Inhalt des Speichers kann nur nacheinander zugegriffen werden. Unter dieser Art des Speichers fällt auch das Schieberegister. Da diese Art der Datenspeicherung und das Auslesen unflexibel ist, gibt es Halbleiterspeicher mit wahlfreiem Zugriff. Hier sind die Speicherzellen in einer Matrix angeordnet und lassen sich direkt adressieren und ansprechen. Man unterscheidet dabei zwischen der Inhaltsadressierung und der Ortsadressierung. Die ortsadressierten Halbleiterspeicher sind die am häufigsten verwendeten Halbleiterspeicher. Hierzu gehören der

Festwertspeicher ROM und der Schreib-Lese-Speicher RAM. Auch die Varianten und Abarten dieser beiden Halbleiterspeicher gehören zu den ortsadressierten Halbleiterspeichern.

- Shift Register (Schieberegister)
- SAM - Serial Access Memory (Umlaufspeicher)
- CAM - Content Adressable Memory (Assoziationsspeicher)

In der elektronischen Datenverarbeitung werden Direktzugriffsspeicher (ortsadressierter Halbleiterspeicher mit wahlfreiem Zugriff) bevorzugt, bei denen der Prozessor direkten Zugriff auf die einzelnen Speicherzellen hat. Zu den Direktzugriffsspeichern zählen das als Arbeitsspeicher verwendete RAM und das als Festwertspeicher verwendete ROM.

- ROM - Read Only Memory
- RAM - Random Access Memory

## **Einteilung der Halbleiterspeicher anhand der Datenhaltung**

Generell unterscheidet man bei Halbleiterspeichern die unterschiedlichen Arten der Speicherung bzw. Datenhaltung:

- Flüchtiger Halbleiterspeicher, bei dem die Informationen verloren gehen, wenn sie nicht aufgefrischt werden oder wenn die Energieversorgung abgeschaltet wird.
- Permanenter Halbleiterspeicher, bei dem die Informationen einmal gespeichert oder fest verdrahtet und damit unveränderbar sind.
- Semi-permanenter Halbleiterspeicher, bei dem die Informationen permanent und veränderbar gespeichert sind.

## **Flüchtiger Halbleiterspeicher**

Flüchtige Halbleiterspeicher haben den Nachteil, dass sie ihren Speicherinhalt verlieren, sobald die Energieversorgung ausgeschaltet wird. Eine dauerhafte Speicherung ist dann nur mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung möglich. Der Grund, warum sie trotzdem genutzt werden ist, dass sie besonders schnell sind und damit als Arbeitsspeicher geeignet sind.

- RAM - Random Access Memory (Schreib-Lese-Speicher)
- DRAM - Dynamic Random Access Memory
- SRAM - Static Random Access Memory

## **Permanenter Halbleiterspeicher oder Festwertspeicher**

Permanente Halbleiterspeicher sind digitale Festwertspeicher, die NICHT neu programmiert oder beschrieben werden können. Ihr Speicherinhalt ist dauerhaft unveränderlich. Typischerweise enthalten permanente Halbleiterspeicher Betriebssysteme, Anwendungsprogramme und Firmware an denen während des Betriebs keine Änderungen vorgenommen werden müssen. In der Regel werden ROM- und PROM-Bausteine nicht fest auf die Platinen gelötet, sondern sind durch Sockel austauschbar.

- ROM - Read Only Memory
- PROM - Programmable Read Only Memory

Heute dient Flash-Speicher als ROM- und PROM-Ersatz. Vor allem deshalb, weil sich der Speicherinhalt von Flash jederzeit, auch während des Betriebs, überschreiben lässt und der Speicherinhalt erhalten bleibt.

## **Semi-permanenter Halbleiterspeicher oder Festwertspeicher**

Semi-permanente Halbleiterspeicher sind digitale Festwertspeicher, die wiederholt neu programmiert werden können.

- EPROM - Erasable Programmable Read Only Memory
- EEPROM - Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
- Flash-Memory / Flash-Speicher
- FRAM - Ferroelectric RAM
- MRAM - Magnetoresistive RAM
- PCRAM - Phase Change RAM
- RRAM / ReRAM - Resistive RAM

Heute dient Flash-Speicher als EPROM- und EEPROM-Ersatz. Vor allem deshalb, weil sich der Speicherinhalt von Flash-Speicher jederzeit, auch während des Betriebs, überschreiben lässt.

# ROM - Read Only Memory

Das ROM ist ein digitaler Festwertspeicher bzw. permanenter Halbleiterspeicher, in dem Daten dauerhaft und unveränderlich gespeichert werden. Der Speicherinhalt kann also NICHT neu programmiert oder beschrieben werden. Typischerweise enthalten permanente Halbleiterspeicher Betriebssysteme, Anwendungsprogramme und Firmware an denen während des Betriebs keine Änderungen vorgenommen werden müssen. In der Regel werden ROM- und PROM-Bausteine nicht fest die Platinen gelötet, sondern werden in Sockel gesteckt und sind somit austauschbar.

Die Herstellung von ROM-Bausteinen war schon immer relativ teuer. Wenn überhaupt lohnt sich das nur bei Massenprodukten. Schon bei Kleinserien waren EPROMs oder EEPROMs besser geeignet.

Heute dienen Flash-Speicher als ROM- und PROM-Ersatz. Vor allem deshalb, weil sich der Speicherinhalt von Flash-Memory jederzeit, auch während des Betriebs, überschreiben lässt.

Speicher in der Form "Read Only Memory (ROM)" sollte man nur noch als eine Form eines Datenspeichers sehen, der in der Praxis so nicht mehr vorkommt. Höchstens nur noch dort, wo man keine Änderung des Speicherinhalts wünscht. In der Praxis ist es jedoch wichtig, dass ein Halbleiterspeicher jederzeit veränderbar ist.

## Aufbau eines ROM-Bausteins

Die einzelnen Speicherzellen bilden bei einem ROM-Baustein die Schnittpunkte zwischen den Datenleitungen und den Zeilenleitungen. Dabei stellt eine Diode als Verbindung das High-Bit dar. Ohne Verbindung ist es ein Low-Bit. Durch den Widerstand am Ende der Datenleitung ist die Leitung auf Masse gezogen. Es müssen deshalb Dioden zur Verbindung der Leitungen verwendet werden, weil sonst bei einer einfachen Drahtverbindung ein Kurzschluss der Pull-Down-Widerstände entsteht.

ROM-Bausteine werden vom Hersteller maskenprogrammiert. Ähnlich wie bei einem Fotonegativ liegen die Daten in einer Maske und werden bei der Produktion fest in der Halbleiterstruktur abgelegt. Die Daten können

weder elektrisch noch optisch gelöscht oder verändert werden. Bei Spannungsausfall oder -abschaltung bleibt der Speicherinhalt erhalten.

## **PROM - Programmable ROM**

Ein PROM ist ein programmierbarer Festwertspeicher, der sich aber nur ein einziges mal beschreiben lässt. Danach können die Daten beliebig oft ausgelesen aber nicht mehr verändert werden.

Zum Beschreiben bzw. Programmieren des PROMs wird der Bustein in ein Programmier-Gerät eingesetzt und mit bestimmten Spannungsimpulsen programmiert. Anschließend wird der PROM in den Sockel auf einer Platine gesetzt.

Die Programmierung erfolgt nach einem einfachen Verfahren. Jede Speicherzelle (1 Bit) besteht aus einer Diode und einer Schwachstelle. Die Schwachstellen werden durch das Programmier-Gerät zerstört und damit 1 Bit gesetzt. Der Zustand bleibt dann für immer erhalten.

## **EPROM - Erasable Programmable ROM**

Ein EPROM ist ein lösch- und programmierbarer Festwertspeicher. Beim EPROM nutzt man die selbe Technik zum Programmieren, wie bei den PROMs. Zusätzlich sind EPROMs löschar und können anschließend erneut programmiert werden.

Beim Löschen macht man sich die Eigenschaft von Halbleitern zunutze, dass beim Einfall bestimmter Lichtwellenlängen (UV-Licht) Ladungsverschiebungen entstehen. Dazu beinhalten EPROM-ICs ein Quarzglasfenster, durch das der Chip zum Löschen mit hartem UV-Licht bestrahlt wird. Das Löschen wird in einem Löscherät vorgenommen. Der Löschvorgang dauert einige Minuten.

Auch bei EPROMs ist es notwendig den Speicherbaustein zum Löschen und Programmieren von der Platine zu entnehmen und anschließend wieder einzusetzen. Um das versehentliche Löschen durch einfallendes Licht zu verhindern, ist das Glasfenster mit einem Etikett überklebt. Zum Löschen muss man das Etikett abkratzen.



## **EEPROM - Electrically Erasable Programmable ROM**

Ein EEPROM ist ein elektrisch löscht- und programmierbarer Halbleiterspeicher. Es besteht die Möglichkeit die Speicherzellen durch Spannungsimpulse zu programmieren und zu löschen. Die Programmierzeit ist relativ lang und die Anzahl der Programmierzyklen begrenzt.

Anders als bei ROM, PROM und EPROM wird das EEPROM üblicherweise zum Speichern von Bedienerdaten, Konfigurationen, Parametern und Einstellungen verwendet.

## **Flash-Speicher / Flash-Memory**

Der heute verwendete Flash-Speicher basiert auf der Floating-Gate-EEPROM-Technik. Flash-Speicher lässt sich nahezu beliebig oft beschreiben und ist auch noch schnell. Flash-Speicher dient heute als Datenträger, der sich wie eine Festplatte verhält. Mobile und Akkubetriebene Geräte, wie Digitalkameras, Tablets, Smartphones und Notebooks wären ohne den nichtflüchtigen Flash-Speicher kaum denkbar.

## **RAM - Random Access Memory**

RAM bezeichnet einen Speichertyp dessen Speicherzellen über ihre Speicheradressen direkt angesprochen werden können. In diesem Zusammenhang wird auch von "wahlfrei" gesprochen, was sich auf "random" bezieht und nichts mit "Zufall" oder "zufälligem Zugriff" zu tun hat. In diesem Zusammenhang spricht man von "Speicher mit wahlfreiem Zugriff" oder "Direktzugriffsspeicher". Auf andere Speicherarten (zum Beispiel Flash) kann man nur blockweise zugreifen. RAM erlaubt den Zugriff auf jede einzelne Speicherzelle. Bei ROM (Read-Only-Memory, Nur-Lese-Speicher) funktioniert das genauso. Bei RAM funktioniert es lesend, wie auch schreibend. Doch wird die Stromversorgung abgeschaltet gehen die Daten im RAM verloren.

RAM wird in Computer- und Mikrocontroller-Systemen als Arbeitsspeicher eingesetzt. Weil in der Regel nur RAM als Arbeitsspeicher verwendet wird, wird RAM gerne als Abkürzung für Arbeitsspeicher verwendet.

In diesem Arbeitsspeicher werden Programme und Daten von externen Speicherträgern und Festplatten geladen. Zur schnellen Verarbeitung kann der Prozessor darauf zugreifen, verarbeiten und danach wieder in den Arbeitsspeicher schreiben.

Prinzipiell unterscheidet man zwischen statischem RAM und dynamischem RAM. SRAM und DRAM sind flüchtige Halbleiterspeicher. Sie verlieren nach dem Ausschalten ihren Speicherinhalt.

## **SRAM - Static Random Access Memory**

SRAM ist ein statischer Halbleiterspeicher, was bedeutet, dass der Speicherinhalt mittels Flip-Flops gespeichert wird und so nach dem Abruf des Speicherinhaltes erhalten bleibt. Dadurch ist der Stromverbrauch sehr hoch, was aber zu einem schnellen Arbeiten innerhalb des Speichers führt. Aufgrund seines hohen Preises und des großen Stromverbrauchs wird SRAM nur als Cache- oder Pufferspeicher mit geringen Kapazitäten verwendet.

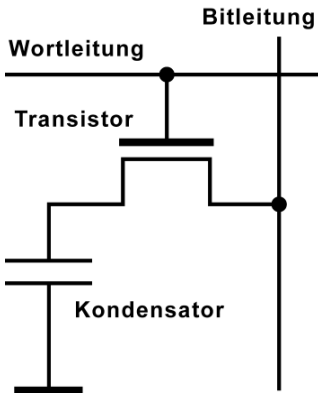
- Speicherung erfolgt in Flip-Flops
- sehr schnell
- kein Refresh nötig
- hoher Stromverbrauch
- Einsatz als L1-, L2- und L3-Cache

## **DRAM - Dynamic RAM**

DRAM ist der einfachste, langsamste und billigste Speichertyp, den es gibt. DRAM-Chips werden weltweit in gigantischen Mengen produziert. Meist in der Variante SDRAM. Lange Zeit war im Computer-Bereich für den Arbeitsspeicher bzw. Hauptspeicher nur dieser eine Speichertyp bekannt.

### **DRAM-Speicherzelle**

Eine DRAM-Speicherzelle besteht aus einem Transistor und einem Kondensator (1T1C), der das eigentliche Speicherelement ist. In einer DRAM-Speicherzelle wird ein Bit durch die Ladung des Kondensators gespeichert.

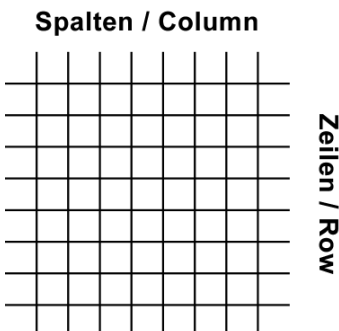


Das Lesen und Schreiben erfolgt über den Transistor, der als Schalter arbeitet und die Ladung des Kondensators isoliert oder auf die Bitleitung freigibt. Über die Wortleitung wird der Transistor angesprochen. Nachteil dieser Speicherart ist, dass sich der Kondensator durch Kriechströme entlädt und der Speicherzustand immer wieder neu aktualisiert werden muss (Refresh). Damit die Ladung im Kondensator erhalten bleibt, ist mehrere tausend mal in der Sekunde ein Refresh nötig.

## Eigenschaften von DRAM

- Datenpeicherung in einem Kondensatoren
- benötigt Refresh
- geringer Stromverbrauch
- Einsatz als Arbeitsspeicher oder Grafikspeicher

## Speicherzugriff



Ein Speicherchip besteht aus vielen Speicherzellen, die in einer Matrix angeordnet sind. Diese Speicherzellen werden über Zeilen (engl. row) und Spalten (engl. column) angesprochen.

Ein 16 MBit-Speicherchip hat  $4.096 \times 4.096$  Bit (16,8 Millionen Speicherzellen). Um diese alle adressieren zu können sind je 12 Zeilen und Spalten notwendig. Dadurch ist es möglich  $4.096 (2^{12})$  Adressen bzw. Zustände abbilden zu können.

Dieser 16 MBit-Speicherchip hat allerdings nicht weit über 24 Anschlüsse. Aus Platzspar- und Herstellungskostengründen werden weniger verwendet. Um die 4.096 Adressen trotzdem erreichen zu können macht man sich die Technik des Multiplexings zu nutze. Dabei werden die selben Leitungen zur Übertragung von Zeilen- und Spaltenadresse genutzt.

Bei der Adressierung einer Speicherzelle wird zuerst die Zeilenadresse (row access strobe, RAS) und dann die Spaltenadresse (column access strobe, CAS) übertragen.

Die externe Geschwindigkeit eines Speichers hängt unter anderem davon ab, wie schnell zwischen RAS und CAS gewechselt werden kann.

Durch die Anordnung der RAM-Speicherzellen in einer Matrix bzw. Tabelle, lässt sich die Adressierung des Speichers vereinfachen. Nach jedem Takt wird zwischen der Angabe von Spaltenadresse (RAS, Row Address Signal) und Zeilenadresse (CAS, Column Address Signal) hin und her geschaltet. Beim Fast-Page-Mode wird dieses RAS/CAS-Verfahrens optimiert und erlaubt einen bis zu dreimal schnelleren Zugriff auf die Daten, als bei herkömmlichem DRAM. Während eines fortlaufenden Speicherzugriffs wird das Anlegen der immergleichen Zeilenadresse gespart. Es genügt die Zeilenadresse einmal und die jeweilige Spaltenadresse anzugeben. Der Zugriff erfolgt erheblich schneller.

## **SDRAM - Synchronous DRAM**

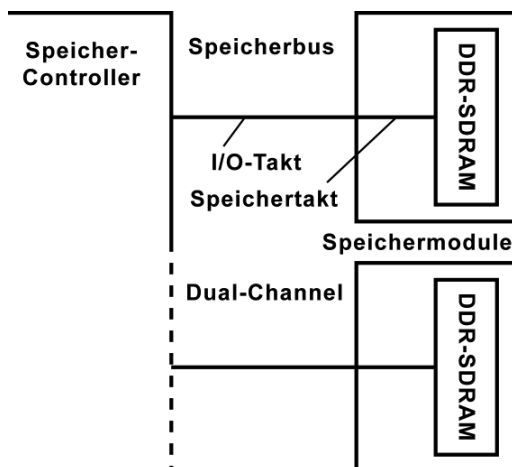
SDRAM ist der am häufigsten verwendete Arbeitsspeicher bzw. Hauptspeicher in Computersystemen. SDRAM hat die Eigenschaft, dass er seine Schreib- und Lesezugriffe am Systemtakt orientiert. Das bedeutet, er arbeitet synchron mit dem Speicherbus. Woraus die Bezeichnung "Synchronous DRAM" abgeleitet wird. Im Gegensatz dazu arbeitet normales DRAM asynchron.

Die synchrone Arbeitsweise vereinfacht und beschleunigt die Ansteuerung des Speichers. SDRAM kann programmiert und so die Art des Zugriffs

gesteuert werden. Auf diese Weise lässt sich SDRAM an jede beliebige Anwendung anpassen.

In den Jahren 1996 und 1997 erfolgte auf Druck des Prozessor-Herstellers Intel der Übergang von den verschiedenen älteren DRAM-Speichern auf synchrones DRAM (SDRAM). SDRAM fand aber erst dann eine weite Verbreitung, als der Bustakt auf 100 MHz angehoben wurde.

## SDRAM-Speicherbus



Der SDRAM-Speicherbus ist die Verbindung zwischen den Speichermodulen und dem Speichercontroller im Prozessor oder Chipsatz. Der Speicherbus von SDRAM arbeitet mit parallelen unsymmetrischen Signalen und das mit hoher Geschwindigkeit und einem engen Timing. Der Bus ist bidirektional. Das bedeutet, die Signale zwischen dem Speichercontroller und den Speicherchips fließen in beide Richtungen. Die typischen Bus-Probleme wie Übersprechen, Fehlanpassung, elektromagnetische Störungen, Jitter und Rauschen spielen auch auf dem SDRAM-Speicherbus eine große Rolle. Die Probleme nehmen auch hier mit zunehmender Geschwindigkeit zu. Mit zunehmender Geschwindigkeit werden erhebliche Anforderungen an die Speicherchips gestellt. Die Speicherchips hängen gemeinsam an den Signalleitungen und beeinflussen sich deshalb gegenseitig. Probleme entstehen vor allem durch Laufzeittoleranzen, kapazitive Effekte und Übersprechen auf benachbarte Leiterbahnen durch die hohe Taktfrequenz.

Um diese Probleme zu umgehen entwickelte ursprünglich jeder Speicherhersteller eigene Lösungen.

## **Speicher-Spezifikation**

Um Inkompatibilitäten zwischen den Speichermodulen der unterschiedlichen Speicherherstellern zu vermeiden, werden ausführliche Spezifikationen erstellt. So wird sichergestellt, dass Speicherchips, Speichermodule und Speicher-Controller unterschiedlicher Hersteller sich untereinander vertragen. Diese Spezifikation sieht folgende Parameter und Maßnahmen vor:

- minimale und maximale Leiterbahnlänge zur Signallaufzeitminimierung
- Leiterbahnbreite und Leiterbahnabstand
- Leiterbahnplatine (PCB) muss aus 6 Ebenen (Layern) bestehen
- Abstände zwischen den Layern
- Abschlusswiderstände an den Datenleitungen
- SPD-EEPROM (Serial Presence Detect) mit Modul-Daten muss auf den SDRAM-Modulen vorhanden sein
- elektromagnetische Abschirmung
- goldbeschichtete Anschlüsse

## **SDRAM-Speichermodul / DIMM**

Um PCs flexibel mit Arbeitsspeicher auszustatten, werden die einzelnen Speicherchips, sowie einige passive Bauelemente auf einer Trägerplatine zusammengeschaltet. So entsteht eine austauschbare Standard-Komponente, die als Speichermodul bezeichnet wird. Diese Speichermodule werden dann in die dafür vorgesehenen Steckplätze auf dem Motherboard gesteckt.

Für SDRAM wird das DIMM (Dual Inline Memory Module) verwendet, von dem es für jede SDRAM-Generation je eine unterschiedliche Variante gibt.

## **SPD-EEPROM (Serial Presence Detect)**

Damit jedes Motherboard die nötigen Einstellungen des Speicher-Controllers vornehmen kann, hat jedes SDRAM-Speichermodul (DIMM)

ein digitales Datenblatt. Es ist im SPD-EEPROM gespeichert (Serial Presence Detect EEPROM). Das BIOS kann diesen Chip über den System Management Bus (SMBus) auslesen. Die darin enthaltenen Informationen sind für die Konfiguration des Speicher-Controllers sehr wichtig.

## **Architektur von SDRAM**

Die Speicherzellen sind in Spalten und Zeilen angeordnet. Pro Spalte gibt es einen Schreib-/Leseverstärker.

Die Adressierung beginnt mit der Zeilenadresse (RAS). Erst nach dem Auslesen darf die Spaltenadresse folgen (CAS). Ein Decoder sorgt für die richtige Auswahl der Daten. Die Daten stehen nach Ablauf der CAS Latency (CL) am Ausgang bereit. Pro Adressierungsvorgang wandern die Daten von mehreren Spalten aus dem Sense Amps in die Pufferstufe. Von dort werden die Datenpakete Bit für Bit an die externen Anschlüsse des Chips weitergereicht.

Intern besteht SDRAM aus zwei Speicherbänken. Der Zugriff erfolgt abwechselnd, so dass die benötigte Erholungszeit zwischen den Zugriffen entfällt. Einen zusätzlichen Geschwindigkeitsvorteil bringt das Pipeline-Verfahren. Während der SDRAM-Chip noch Daten einliest, gibt er Daten bereits aus.

## **DDR-SDRAM - Double Data Rate SDRAM**

### **DDR1 / DDR2 / DDR3 / DDR4**

DDR-SDRAM und die Varianten DDR2, DDR3 und DDR4 sind gängige Halbleiterspeicher für Computersysteme. DDR-SDRAM wird als Arbeitsspeicher bzw. Hauptspeicher verwendet. Dieser Halbleiterspeicher wird nicht nur in Computern, sondern auch in Kraftfahrzeugen, Netzwerken, Kommunikationstechnik, medizinischen Apparaten und in der Unterhaltungselektronik eingesetzt.

DDR-SDRAM entspricht dem normalen SDRAM, jedoch mit einer kleinen Modifikation: Bei der Übertragung der Daten wird nicht nur die ansteigende Flanke, sondern auch die abfallende Flanke des Taktsignals zur Datenübertragung genutzt. In der Praxis entspricht das einer Taktverdopplung. Rein rechnerisch entsteht so eine Verdopplung der Übertragungsrate.

Um eine Verwechslung mit DDR-SDRAM (Double Data Rate) zu vermeiden, wird normales SDRAM als SDR-SDRAM (Single Data Rate) bezeichnet. Fälschlicherweise wird "DDR-SDRAM" auch als "DDR-RAM" oder "DDR-DRAM" bezeichnet. Um Verwechslungen und Missverständnisse zu vermeiden, sollte man die einzig richtige Bezeichnung "DDR-SDRAM" verwenden.

## **Vom Mythos der Verdopplung der Übertragungsrate durch DDR-Technik**

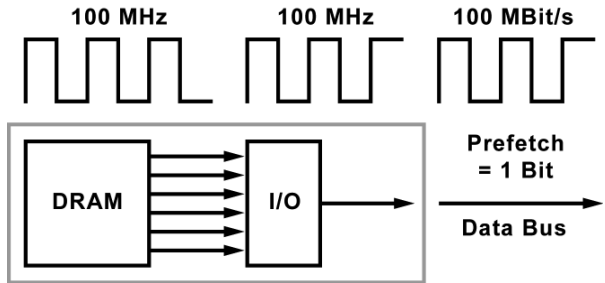
Es geht darum zu klären, wie es zu der angeblichen Verdopplung der Übertragungsrate durch die DDR-Technik kommt. So einfach ist es nämlich nicht, wie man sich das vielleicht vorstellt. Erschwerend kommt hinzu, dass die technischen Unterschiede zwischen DDR, DDR2, DDR3 und DDR4 im Detail liegen. Die folgenden Erläuterungen sind nicht vollständig und sollen auch nur einen kleinen Einblick in die DDR-Speichertechnik bieten.

Double Data Rate bedeutet, dass pro Übertragungszyklus (eine Taktrate) zweimal bzw. die doppelte Menge an Daten übertragen wird. Damit die beteiligten Komponenten des Speicherbusses synchron arbeiten orientieren sie sich am Speichertakt und nutzen durch die DDR-Technik sowohl die steigende als auch die fallende Taktflanke. Normalerweise würde man nur die steigende Taktflanke nehmen. Ein Speicherbus, der mit 100 MHz arbeitet würde bei DDR rein rechnerisch mit 200 MHz arbeiten. Soviel zur grundsätzlichen Funktionsweise von Double Data Rate (DDR).

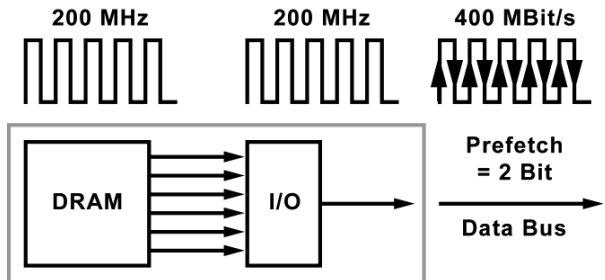
Eine weitere Erhöhung der Übertragungsrate wäre dann nur noch durch die Erhöhung der Taktrate möglich. Doch Vorsicht, man unterscheidet zwischen dem internen Speicher-Takt in den Speicherchips und dem externen Speicherbus-Takt. Das bedeutet, wenn der Speicherbus-Takt mit 100 MHz und durch DDR rechnerisch mit 200 MHz arbeitet, bedeutet das nur, dass sich die DDR-Technik als Taktverdopplung von 100 auf 200 MHz auswirkt. Denn intern arbeitet der Speicher nur mit 100 MHz. Double Data Rate bezieht sich hier nur auf den Speicherbus, nicht auf die Speicherchips.



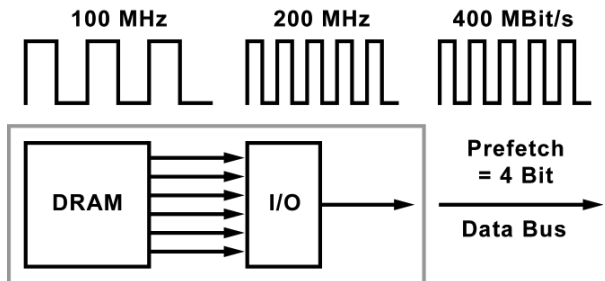
SDR-SDRAM  
(Beispiel: PC100)



DDR-SDRAM  
(Beispiel: DDR-400)

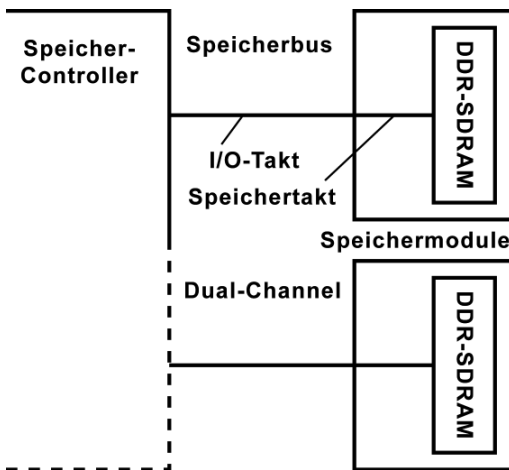


DDR2-SDRAM  
(Beispiel: DDR2-400)



Das bedeutet, die Verdopplung der Übertragungsrate auf dem Speicherbus ist nur wenig sinnvoll, wenn der eigentliche Speicher die Daten in dieser Geschwindigkeit nicht liefern kann. Die Frage ist, wie schafft man es, dass die Verdopplung der externen Datentransferrate auch wirklich genutzt werden kann. Das erreicht man nur durch Prefetching innerhalb des Speichers. Dazu werden einfach zwei (DDR) oder mehr (DDR2, DDR3) Datenbits auf einmal ausgelesen. Die Zugriffsbeschleunigung durch Prefetching funktioniert aber nur dann, wenn der Speicher-Controller

hintereinander liegende Adressbereiche aus der gleichen Speicherfeldzeile anfordert oder wenn die angeforderten Daten auf unterschiedlichen Speicherbänken liegen. Das bedeutet, die Adresszugriffe müssen optimal auf die internen Speicherbänke verteilt werden, um die Taktverdopplung für eine Verdopplung der Übertragungsrate nutzen zu können. DDR ist also erst mal nichts weiter als eine Verdopplung der Speicherbusgeschwindigkeit. Erst mit verschiedenen Tricks werden auch mehr Daten aus dem Speicher gelesen. Beim Prefetching erfolgte bei jeder Adressierung ein paralleler Zugriff auf zwei interne Speicherbänke (DDR), bei DDR2-SDRAM auf vier Speicherbänke und bei DDR3-SDRAM auf acht Speicherbänke. DDR4-SDRAM verwendet auch ein achtfaches Prefetching. Hier erfolgt der Zugriff auf zwei oder vier Gruppen von Speicherbänken.



Um die Speicherbandbreite zu erhöhen kann man die Daten auch gleich aus zwei Speichermodulen anfordern. Man bezeichnete das als Dual-Channel. Dual-Channel bezieht sich nicht auf das Speichermodul, sondern auf den Speicher-Controller. Manche Speicher-Controller können auch mehr als 2 Speichermodule gleichzeitig auslesen.

## Speicher-Bezeichnung

Mit DDR-SDRAM wurde eine neue Speicher-Bezeichnung eingeführt, um die Leistungsfähigkeit der Speichermodule leichter unterscheiden zu können. Die Bezeichnung wurde von der JEDEC offiziell festgelegt. Sie

gibt nicht wie ursprünglich die Taktrate an (zum Beispiel PC66, PC100, PC133), sondern die Speicherbandbreite (zum Beispiel PC1600, PC2100). Doch Vorsicht, die Angabe ist nach oben gerundet. PC1600 steht für rund 1,6 GByte/s. Wobei DDR200-Speicherchips verwendet werden. Die physikalische Taktrate beträgt nur 100 MHz. Durch DDR beträgt die rechnerische Taktrate 200 MHz. PC2100 steht für eine Speicherbandbreite von rund 2,1 GByte/s. Wobei DDR266-Speicherchips verwendet werden. Die physikalische Taktrate beträgt 133 MHz. Durch DDR beträgt die rechnerische Taktrate 266 MHz.

Die genaue Erläuterung zur Bezeichnung von Speicherchips und Speichermodulen ist unter PC/PC2/PC3/PC4-Spezifikation zu finden.

Hinweis: In der Praxis ist die angegebene oder berechnete Datenrate für ein Speichermodul selten erreichbar. Es braucht Zeit, bis die angeforderten Daten am Speicherbus anstehen. In der Zeit muss der Prozessor warten. Die Angabe der Übertragungsrate dient nur zur Klassifizierung des Speichermoduls, nicht zur Angabe der tatsächlichen Datenrate.

## **DDR2-SDRAM - Double Data Rate 2 SDRAM**

DDR2-SDRAM bietet verschiedene Vorteile gegenüber dem normalen DDR-SDRAM. DDR- und DDR2-Speichermodule (DIMM) arbeiten mit unterschiedlichen Spannungen und unterscheiden sich auch mechanisch voneinander.

DDR2-SDRAM wurde entwickelt, um den Energiebedarf zu reduzieren und die Signalqualität und damit die Systemstabilität zu verbessern. Beides wird durch die Senkung der Frequenz, beispielsweise von 200 MHz auf 100 MHz, und der Spannung, von 2,4 V auf 1,8 V, erreicht.

In der Regel haben DDR2-Speichermodule eine Betriebsspannung von 1,8 oder 1,9V. Liegt sie darüber eignen sich die Speichermodule zum Übertakten.

Die Senken der Taktfrequenz war wegen der schlechten Signalqualität und dem zunehmenden Rauschen notwendig. Der Zeitraum, in dem ein Datensignal als 1 oder 0 erkannt werden kann, reduziert sich bei hoher Frequenz deutlich. Das Signal ist kürzer und deshalb die Erkennung anfälliger für Fehler. Eine weitere Maßnahme ist die Verkürzung der Leitungswege zum Speichercontroller. Zum Beispiel durch On-Die-Terminatoren (ODT). Die ODT-Technik verhindert Reflektionen auf den

Signalleitungen und erhöht somit die Systemstabilität. Dabei werden die Abschlusswiderstände vom Speicher-Controller in den Speicherchip implementiert. Das verkürzt die Leitungswege und vermindert das Rauschen durch Reflektionen am Leitungsende.

DDR2 überträgt die Daten genauso wie DDR1 mit steigender und fallender Taktflanke. Die DDR2-Technik nennt sich QDR und überträgt vier Datenworte pro Takt. Durch ein 4-Bit-Prefetching liefert der interne Speicher vier, anstatt zwei Bit pro Taktschritt an ein Ein-/Ausgabe-Puffer. Somit bleibt die maximale Bandbreite von DDR400 und DDR2-400 mit 3,2 GBit/s gleich.

Zur Wiederholung: DDR400 arbeitet intern mit einer Taktfrequenz von 200 MHz, während DDR2-400 nur mit 100 MHz arbeitet. Der externe Speicherbus wird bei beiden Speichertypen mit 200 MHz getaktet. Erst durch Prefetching wird die verfügbare Bandbreite ausgereizt.

Bedeutet das, dass DDR2 gegenüber normalem DDR keinen Vorteil hat?

Doch, hinsichtlich des Energieverbrauchs und der Systemstabilität schon.

Im Lauf der Zeit wurde die interne Speichertaktrate von 100 auf bis zu 266 MHz gesteigert, um parallel dazu auch die Speicherbandbreite zu erhöhen.

Neben DDR2-400 gibt es auch Speichermodule mit 533er, 667er, 800er und 1066er Speicherchips.

## **DDR3-SDRAM - Double Data Rate 3 SDRAM**

Die Nachfrage nach einem schnellen Speicher, der wenig Strom verbraucht, hat zum DDR3-SDRAM geführt. Die Speicherchips werden mit einer Spannung von 1,5V betrieben. Dadurch wird Verlustleistung reduziert. Und die Speicherchips eignen sich noch besser für höhere Taktraten.

Die Latenzzeiten der Zugriffe sind bei DDR3 bei gleichem Takt etwas höher als bei DDR2. Höhere Latenzen ermöglichen höhere Taktraten.

Durch einen höheren Takt werden die höheren Latenzen wieder ausgeglichen.

Unterscheiden muss man auch bei DDR3 die Taktfrequenz des Speicher-Interfaces und die Speicher-interne Taktrate. Im Speicher beträgt die Taktfrequenz nur ein Viertel des nominellen Takts. Um die Daten trotzdem für die hohe Bandbreite aus den Speicherzellen lesen zu können, sind die Speicherzellen von DDR3-SDRAM gegenüber DDR1-SDRAM mit einem vierfach so breiten Interface angebunden. Nur ein Bruchteil eines

einzelnen Speicherchips wird als Speicher verwendet. Der Großteil sind I/O-Einheiten.

DDR3 stellt nichts anderes dar, als die konsequente Fortsetzung des mit DDR2 eingeschlagenen Wegs.

Die DDR3L-Version mit 1,35 V ist eine Stromspar-Variante für Notebooks und Mini-PCs. Die Stromverbrauchersparnis ist allerdings minimal und lohnt sich wirklich nur für Server mit einem sehr großen Arbeitsspeicher oder für Akku-betriebene Geräte.

Noch ein kurzer Hinweis auf die Geschwindigkeitsklassifizierung der Speicherchips: PC3-8500-Speichermodule haben DDR3-1066-Speicherchips. Die werden nicht mit 1066 MHz, sondern nur mit 533 MHz angesteuert. Die Datenübertragung erfolgt dann mit DDR (Double Data Rate), also sowohl bei steigender als auch bei fallender Taktflanke, wodurch sich rein rechnerisch 1066 MHz ergeben würde.

## **DDR4-SDRAM - Double Data Rate 4 SDRAM**

DDR4-SDRAM-Speichermodule haben verschiedene Verbesserungen gegenüber DDR3-SDRAM. Dazu zählen höhere Taktfrequenzen, verbesserte DRAM-Chips und Speicher-Controller. Die Taktfrequenzen sind auf 800, 933, 1066 und 1.200 MHz festgelegt. Das bedeutet, es gibt DDR4-1600, -1866, -2133 und -2400-Chips. Die Latenzparameter reichen von 10-10-10 bis 18-18-18. Höhere Datentransferraten und eine niedrigere Leistungsaufnahme sind das Ziel. Die Speichermodule (DIMM) laufen mit 1,2 Volt und haben 288 (Desktop und Server) bzw. 256 (Notebooks) Pins. Die Angabe, dass ein DDR4-DIMM 284 Pins hat ist veraltet und damit falsch.

Um höhere Taktfrequenzen zu erreichen bringt DDR4 ein paar technische Neuerungen. Zu den Neuerungen gehört das Übertragungsverfahren POD12 (Pseudo Open-Drain Interface mit 1,2 Volt Nominalspannung). Die Referenzspannungen zur Unterscheidung von High- und Low-Pegeln ist nicht mehr festgelegt, sondern die handeln die Chips untereinander aus. Damit kompensieren sie äußere Einflüsse durch wechselnde Temperaturen, unterschiedlich lange Busleitungen und unterschiedliche SDRAM-Chips.

Bisher wurde der Speicherbus bei jedem neuen DDR-SDRAM

beschleunigt, wobei sich das nur auf die externen Anschlüsse der Chips bezog. Doch die Daten müssen natürlich auch schneller in die Speicherzellen geschrieben und ausgelesen werden. Die Zellen lassen sich aber nicht so einfach hochtakten. Bei den vielen Tausend Transistor-Kondensator-Reihen ist das schwierig, die Geschwindigkeit zu halten, wenn auch immer wieder die Strukturen verkleinert werden. Feinere Leiterbahnen haben einen größeren Widerstand und kleinere Kondensatoren nehmen weniger Elektronen (Ladungsträger) auf, was zu schwächeren Signalen führt und damit auch zu empfindlicheren Sense Amplifiern, die den Speicherzellenzustand sicher erkennen müssen. Mehr Geschwindigkeit in den Chips ist da Gift. Deshalb laufen die Speicherchips intern schon seit Jahren nur mit 200 MHz. Damit pro Taktzyklus mehr Daten geliefert werden können greift der DDR-Speicher intern parallel auf mehrere Speicherzellen zu. Diese Parallelisierung des Speicherzellen-Zugriffs wird als Prefetching bezeichnet. Die erste DDR-Generation arbeitete mit zweifachem Prefetching, DDR2 mit vierfachem und DDR3 mit achtfachem Prefetching. Bei DDR4 wollte man das Prefetching nicht noch mal steigern. Das hätte nur Nachteile gebracht. Denn nur wenn der Inhalt aufeinanderfolgender Speicherzellen auch in unmittelbarer aufeinanderfolgenden Taktzyklen übertragen wird, dann arbeitet Prefetching effizient. Bei DDR3 sind es 64 Byte, was exakt zur Cache Line Length aktueller Prozessoren passt. Bei DDR4 bleibt das Prefetching mit 64 Byte erhalten. Statt dessen verteilt man die Zugriffe auf die internen Speicherbänke geschickter. Im Prinzip ist das auch Prefetching, aber eben auf einer anderen Ebene.

Geändert hat sich mit DDR4 auch die Schreibweise der Bezeichnungen. Ein DIMM-Speichermodul mit DDR3-1600-Chips wird mit PC3-12800 bezeichnet. Im Vergleich dazu wird ein DIMM-Speichermodul mit DDR4-2400-Chips mit PC4-2400 bezeichnet. Während sich bei DDR3, die Bezeichnung der Chips indirekt auf die Taktfrequenz beziehen, hat man das bei DDR4 auf dem Speichermodul übernommen. Ein DDR3-1600-Chip arbeitet mit einer Taktfrequenz von 800 MHz und erreicht mit Double-Data-Rate 1.600 Megatransfers pro Sekunde (MT/s). Das ist aber nicht die eigentliche Datentransferrate. Die ist von der Anzahl der Datenleitungen abhängig. Bei 64 Datenleitungen und 8 Byte pro Transfer ergibt das bei 1.600 MT/s rechnerisch 12,8 GByte/s. Bei DDR4 kann man nun auf die Taktfrequenz schließen, aber eben nicht mehr so einfach auf die Übertragungsrate des Speicherkanals. Bei PC4-2400 wäre es 19,2 GByte/s. Bei PC4-3200 wäre es 25,6 GByte/s.

## **PC/PC2/PC3/PC4-Spezifikation (JEDEC)**

Die PC/PC2/PC3/PC4-Spezifikation ist ein Bezeichnungssystem für DIMM-Speichermodule mit DDR-, DDR2-, DDR3- und DDR4-SDRAM-Speicher. Aus der ursprünglichen PC100-Spezifikation von Intel hatte sich ein kunterbuntes Bezeichnungssystem entwickelt, das in der Hauptsache vom Marketing geprägt wurde. Um dem ein Ende zu setzen hat die JEDEC die PC/PC2/PC3/PC4-Spezifikation herausgebracht.

Die JEDEC (Joint Electronic Device Engineering Council) wurde 1958 als Teil der Electronic Industries Alliance (EIA) gegründet und 1999 in JEDEC Solid State Technology Association umbenannt. Das Gremium kümmert sich unter anderem um die Spezifikationen für Speichermodule und Speicherchips von SDRAM-Speicher.

Die JEDEC legt in der PC/PC2/PC3/PC4-Spezifikation die elektrischen und zeitlichen Parameter für den Speicher-Controller und die Speicherchips fest. Festgelegt ist auch, wie die Speichermodule aufgebaut sein müssen. Die JEDEC schreibt ganz bestimmte Chip-Kombinationen vor, deren Beschaltung und technische Parameter bis ins kleinste Detail definiert sind. So wird sichergestellt, dass sich die Chips mit unterschiedlicher Kapazität und von verschiedenen Herstellern immer nach dem gleichen Schema ansprechen lassen.

Damit jedes Motherboard die nötigen Einstellungen des Speicher-Controllers vornehmen kann, trägt jedes Speichermodul (DIMM) ein digitales Datenblatt bei sich. Es ist im SPD-EEPROM gespeichert (Serial Presence Detect EEPROM), welches sich neben den Speicherchips auf dem DIMM befindet. Das BIOS kann diesen Chip über den System Management Bus (SMBus) auslesen. Die darin enthaltenen Informationen sind für die Konfiguration des Speicher-Controllers sehr wichtig.

### **Bezeichnungsformen der Speicherchips und Speichermodule**

Die JEDEC-Spezifikation sieht für die verschiedenen Speichermodule für SDR, DDR, DDR2, DDR3 und DDR4 verschiedene Bezeichnungssysteme vor. Vom Grundsatz her sind sie fast identisch. Erschwerend kommt hinzu, dass die Speicherchips ein eigenes Bezeichnungssystem haben, das aber in Zusammenhang mit den Speichermodulen steht. Denn es ist exakt festgelegt, welche Speicherchips auf welchen Speichermodulen sein müssen.

Prinzipiell handelt es sich bei den Bezeichnungssystemen um Geschwindigkeitsklassifizierungen. Hierbei unterscheidet man zwischen den Speicherchips und den Speichermodulen. Ein einzelner Chip trägt als Bezeichnung immer die Taktfrequenz (z. B. DDR400 und DDR2-667). Das Speichermodul verwendet bis DDR3 einen Code, der auf die Datentransferleistung hinweist (z. B. PC2700 und PC2-5300). Ab DDR4 trägt das Speichermodul die gleiche Bezeichnung wie die Chips, was auf die Taktfrequenz, aber nicht mehr auf die Datentransferleistung hinweist. Die verschiedenen Bezeichnungssysteme kann man leicht durcheinanderbringen. Auch der Experte verliert in diesem Bezeichnungsschaos gern mal die Übersicht. Die folgende Tabelle ist nicht vollständig, bringt aber etwas Klarheit in die Sache.

Speichermodul	Speicherchip	Bustakt	Bandbreite
PC66	PC66 (SDR)	66 MHz SDR	~ 0,49 GByte/s
PC100	PC100 (SDR)	100 MHz SDR	0,8 GByte/s
PC133 / PC1066	PC133 (SDR)	133 MHz SDR	1,066 GByte/s
PC150	PC150 (SDR)	150 MHz SDR	-
PC1600 / PC200	DDR200 (DDR)	100 MHz DDR	1,6 GByte/s
PC2100 / PC266	DDR266 (DDR)	133 MHz DDR	2,1 GByte/s
PC2700 / PC333	DDR333 (DDR)	166 MHz DDR	2,7 GByte/s
PC3200	DDR400 (DDR)	200 MHz DDR	3,2 GByte/s
PC2-3200	DDR2-400	200 MHz DDR	3,2 GByte/s
PC2-4200	DDR2-553	233 MHz DDR	4,2 GByte/s
PC2-5300	DDR2-667	333 MHz DDR	5,3 GByte/s
PC2-6400	DDR2-800	400 MHz DDR	6,400 GByte/s
PC2-8500	DDR2-1066	533 MHz DDR	8,528 GByte/s
PC3-6400	DDR3-800	400 MHz DDR	6,400 GByte/s
PC3-8500	DDR3-1066	533 MHz DDR	8,528 GByte/s
PC3-10600	DDR3-1333	666 MHz DDR	10,667 GByte/s



PC3-12800	DDR3-1600	800 MHz DDR	12,800 GByte/s
PC3-14900	DDR3-1866	933 MHz DDR	14,933 GByte/s
PC3-17000	DDR3-2133	1066 MHz DDR	17,066 GByte/s
PC4-1600	DDR4-1600	800 MHz DDR	12,800 GByte/s
PC4-1866	DDR4-1866	933 MHz DDR	14,933 GByte/s
PC4-2133	DDR4-2133	1066 MHz DDR	17,066 GByte/s
PC4-2400	DDR4-2400	1200 MHz DDR	19,2 GByte/s
PC4-3200	DDR4-3200	1600 MHz DDR	25,6 GByte/s

Das ursprüngliche Bezeichnungssystem für SDR-SDRAM sah die Taktfrequenz als Hauptkennzeichnungsmerkmal vor. So entstanden die Bezeichnungen PC66, PC100, PC166 und weitere. Zur Vereinfachung trugen die einzelnen Speicherchips und das komplette Speichermodul dieselbe Bezeichnung.

Damals gab es alternativ das Rambus-DRAM. Bei der Einführung von DDR-SDRAM hat man sich am Rambus-Bezeichnungssystem orientiert und die Bezeichnung der SDRAM-Speichermodule geändert. Alles nur um Vergleichbarkeit herzustellen wurde die Sache kompliziert. Das ehemals als DDR266 bezeichnete Speichermodul wurde in PC2100 umbenannt. Da sich die Leistungsfähigkeit eines Speichers nicht allein an der Taktfrequenz ablesen lässt, haben die Speicherhersteller die Bezeichnung aus der Übertragungsrate bzw. Speicherbandbreite von 2.100 MByte/s abgeleitet. Wobei die Angabe der Übertragungsrate nach oben gerundet ist.

Der gerundete Wert der Datenrate eines SDRAM-Speichermoduls ist bereits in der Modulbezeichnung enthalten. Beispielsweise PC3-6400. Trotzdem möchte man vielleicht wissen, wie man die Datenrate eines SDRAM-Speichers berechnet. Der Wert 6400 berechnet sich aus Taktfrequenz des Speicherbusses in MHz mal Busbreite, die 64 Bit bzw. 8 Byte beträgt.

- Datenrate (in MByte/s) = Double-Data-Rate  $\times$  Speichertakt (in MHz)  $\times$  Busbreite eines Moduls (in Byte)
- Datenrate (in MByte/s) =  $2 \times 400 \text{ MHz} \times 8 \text{ Byte} = 6.400 \text{ MByte/s}$

Geändert hat sich mit DDR4 die Schreibweise der Speichermodul-Bezeichnungen. Ein Speichermodul mit DDR4-2400-Chips wird mit PC4-2400 bezeichnet. Während sich bei DDR3, die Bezeichnungen der Chips indirekt auf die Taktfrequenz beziehen, hat man das bei DDR4 auf das Speichermodul übernommen.

Hinweis: In der Praxis ist die angegebene oder berechnete Datenrate selten erreichbar. Es braucht Zeit, bis die angeforderten Daten am Speicherbus anstehen. In der Zeit muss der Prozessor warten. Die Angabe der Übertragungsrate dient nur zur Klassifizierung des Speichermoduls, nicht zur Angabe der tatsächlichen Datentransferleistung.

## **Flash-Speicher / Flash-Memory**

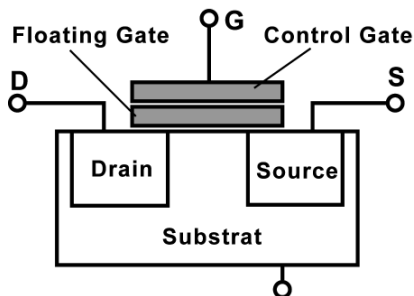
Flash-Speicher bzw. Flash-Memory kombiniert die Vorteile von Halbleiterspeicher und Festplatten. Wie jeder andere Halbleiterspeicher kommt Flash-Speicher ohne bewegliche Teile aus. Und die Daten bleiben wie bei einer Festplatte auch nach dem Abschalten der Energieversorgung erhalten.

Der Flash-Speicher hat sich aus dem EEPROM (Electrical Erasable and Programmable Read Only Memory) entwickelt. Je nach Literatur gibt es auch die Bezeichnungen Flash-EPROM und Flash-ROM.

Beim Flash-Speicher ist die Speicherung von Daten funktionell identisch wie beim EEPROM. Die Daten werden allerdings blockweise in Datenblöcken zu 64, 128, 256, 1.024, ... Byte zugleich gelesen, geschrieben und gelöscht.

Computer, deren Speicher rein auf Flash-Speicher basieren, sind der Traum eines jeden Software-Entwicklers und Anwenders. Der Computer müsste nie mehr minutenlang beim Starten booten, sondern wäre innerhalb weniger Sekunden sofort betriebsbereit. Genauso schnell wäre er auch ausgeschaltet. Und beim nächsten Start wären die gleichen Programme und Dateien geladen, wie vor dem Ausschalten.

## Flash-Speicherzelle



Die Speicherzelle eines Flash-Speichers ist dem Feldeffekttransistor (FET) sehr ähnlich. Im Gate ist jedoch eine Ladungsfalle enthalten, die Floating Gate genannt wird. Es handelt sich um eine elektrisch isolierte Halbleiterschicht. Das Floating Gate speichert die Ladung wie ein Kondensator. Es ist gegen die Anschlüsse Drain, Source und Control Gate mit einer Oxidschicht isoliert. Die Oxidschicht verhindert das Abfließen der Ladung. Im spannungslosen Zustand bleibt die Ladung über viele Jahre erhalten.

Beim Löschvorgang springt die Ladung in einem Blitz (Flash) auf das Floating Gate über. Es wird aufgeladen. Der Stromfluss zwischen Source und Drain wird abgeschnürt. Der Transistor befindet sich dann im Null-Zustand.

Zum Lesen der Speicherzelle wird Spannung an den Transistor gelegt und der Strom, der zwischen Drain und Source fließt, gemessen. Ist das Floating Gate entladen, dann fließt ein Strom zwischen Source und Drain. Der Zustand des Transistors ist dann 1.

## Unterschied NAND- und NOR-Flash

Die NAND- und NOR-Architekturen unterscheiden sich grob gesehen in der Speicherdichte und der Zugriffsgeschwindigkeit.

Bei NOR-Flash sind die Speicherzellen parallel verschaltet. Der Zugriff auf die Speicherzellen erfolgt wahlfrei und direkt. Entsprechend kurz sind die Zugriffszeiten. Die Parallelschaltung garantiert einen geringeren Widerstand zwischen Stromquelle und Auswerteschaltung. NOR-Flash wird für den Programmspeicher von Mikrocontrollern. So kommt er zum

Beispiel auch als nichtflüchtiger Speicher für das BIOS in PCs zum Einsatz.

Bei NAND-Flash ist wegen der internen seriellen Verschaltung das Lesen und Schreiben nur in Blöcken möglich. Durch die geringe Anzahl an Datenleitungen benötigt NAND-Flash weniger Platz. Da Daten auf Festplatten ebenfalls Blockweise gelesen und geschrieben werden, eignet sich NAND-Flash hervorragend als Festplatten-Ersatz und damit als Speicher für Speicherkarten, USB-Sticks und SSDs.

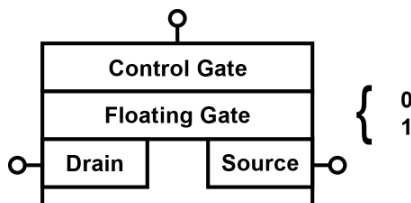
Im Vergleich zu anderen nichtflüchtigen Speicherarten erlaubt NAND-Flash höhere Speicherdichten zu geringen Kosten und arbeitet mit wesentlich schnellerer Schreibgeschwindigkeit und geringem Stromverbrauch. Die Unterschiede bei den Geschwindigkeiten liegen bei den Controllern.

### SLC-, MLC- und TLC-Flash

Typischerweise nimmt eine Speicherzelle nur zwei verschiedene Zustände an, die sich durch geladen und ungeladen ausdrücken. Wenn man in der Lage ist, mehrere Zustände in einer Speicherzelle festzuhalten, dann kann man die Speicherdichte erhöhen. Bei Flash-Speicher versucht man durch unterschiedliche Spannungsniveaus mehrere Zustände in einer Speicherzelle abzubilden.

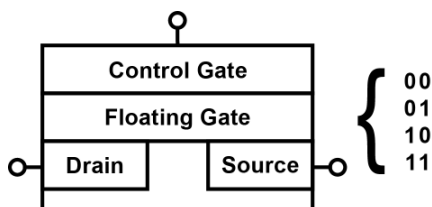
	SLC (Single Level Cell)	MLC (Multi Level Cell)	TLC (Triple Level Cell)
Bit pro Zelle	1 Bit	2 Bit	3 Bit
Speicherbare Zustände	2 ( $2^1$ )	4 ( $2^2$ )	8 ( $2^3$ )
Lebensdauer	100.000 Schreibvorgänge	3.000 Schreibvorgänge	ca. 1.000 Schreibvorgänge
Fehlerrate	sehr niedrig	mittel	hoch
Geschwindigkeit	sehr hoch	niedrig	niedrig
Stromverbrauch	sehr niedrig	hoch	hoch

## SLC-Flash (Single Level Cell)



SLC-Flash speichert nur ein Bit pro Speicherzelle. Er ist mit rund 100.000 Schreibzyklen ein zuverlässiger Flash-Speicher für SSDs und aber auch sehr teuer.

## MLC-Flash (Multi Level Cell)



MLC-Flash speichert zwei Bit pro Speicherzelle (x2-MLC). Er hat dadurch eine höhere Speicherdichte im Vergleich zu SLC-Flash, bei gleichen Siliziumkosten. MLC-Flash lässt sich deshalb günstiger fertigen und eignet sich besonders in Produkten für den Massenmarkt. Allerdings lassen sich die MLC-Speicherzellen nicht ganz so schnell beschreiben, wie SLC-Speicherzellen.

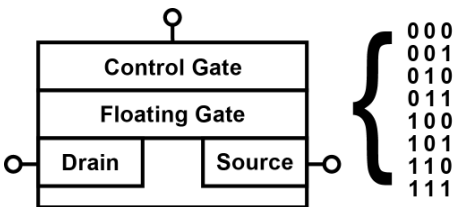
Bei 2 Bit muss eine Speicherzelle mehrere Spannungsniveaus vertragen (00, 01, 10, 11). Es treten häufig Lesefehler auf. Vor allem dann, je öfter eine Zelle beschrieben wurde. Deshalb benötigen MLCs mehr Fehlerkorrekturmechanismen. Dementsprechend dauert das Lesen länger. Auch der Lesevorgang hat eine physikalische Beanspruchung der Zellen zur Folge. Insgesamt eignen sich MLCs besonders gut für Systeme, die mehr Lese- als Schreibvorgänge haben und insgesamt mit wenig Zugriffen auf den Datenspeicher auskommen.

Anfangs war noch von 10.000 Schreibvorgängen pro MLC-Zelle die Rede. Wegen feineren Halbleiterstrukturen ist die Anzahl auf 5.000 gesunken

und ist inzwischen bei 3.000 angekommen (Stand: Oktober 2013). Wegen den Ladungsunterschieden für mehrere Bit sind die Speicherzellen mit rund 3.000 Schreibzyklen pro Zelle (bei 19-nm-Herstellungsprozess) defektanfälliger, als bei SLC. Nur durch Wear-Leveling und Reserve-Speicherzellen lässt sich die Gesamtlebensdauer des Flash-Speichers verlängern, was aber auch die Herstellungskosten erhöht.

MLC-Flash wird wegen der begrenzten Schreibzyklen hauptsächlich für USB-Sticks und Speicherkarten verwendet. MLC-Flash findet man auch manchmal in billigen SSDs.

### TLC-Flash (Triple Level Cell)



TLC-Flash speichert drei Bit pro Speicherzelle (x3-MLC). Wegen der höheren Speicherdichte im Vergleich zu MLC-Flash könnte man auf einen noch günstigeren Flash-Speicher schließen. Allerdings müssen die Speicherzellen eine hohe Qualität aufweisen, um die unterschiedlichen Ladungszustände für drei Bit stabil halten zu können, was die Herstellung wieder verteuert.

Weil dieser Flash-Speicher möglichst billig sein soll kommen einzelne TLC-Zellen auf höchstens 1.000 Schreibvorgänge. Damit ist die Lebensdauer von TLC-Flash gerade noch akzeptabel, um es in USB-Sticks und Speicherkarten einzusetzen. Beim Einsatz als SSD in normalen PCs und Notebooks muss man technische Klimmzüge machen, was den Speicher wieder verteuert. Für Server, wo häufiger geschrieben wird, ist TLC-Flash unbrauchbar.

TLC-Flash wird wegen der begrenzten Schreibzyklen hauptsächlich für USB-Sticks und Speicherkarten verwendet. TLC-Flash findet man auch manchmal in der extrem billigen SSDs.

## **Vorteile von Flash-Speicher**

- Die gespeicherten Daten bleiben auch bei fehlender Versorgungsspannung erhalten. Auf eine Erhaltungsladung kann verzichtet werden. Somit ist auch der Energieverbrauch und die Wärmeentwicklung geringer.
- Wegen fehlender beweglicher Teile ist Flash geräuschlos, unempfindlich gegen Erschütterungen und magnetische Felder.
- Im Vergleich zu Festplatten haben Flash-Speicher eine sehr kurze Zugriffszeit. Lese- und Schreibgeschwindigkeit sind über den gesamten Speicherbereich weitestgehend konstant.
- Die erreichbare Speichergröße ist durch die einfache und platzsparende Anordnung der Speicherzellen nach oben offen.

## **Nachteile von Flash-Speicher**

- begrenzte Schreib- bzw. Löschvorgänge
- begrenzte Speicherkapazität
- hoher Preis

Der gravierendste Nachteil von Flash-Speicher ist die begrenzte Zahl von Schreib- bzw. Löschvorgängen, die eine Speicherzelle vertragen kann. Typischerweise gehen die Speicherzellen nach 100.000 Zyklen bei Single-Level-Cells (SLC), 3.000 Zyklen bei Multi-Level-Cells (MLC) und schon nach 1.000 Zyklen bei Triple-Level-Cells (TLC) kaputt.

## **Endurance**

Mit Endurance bezeichnet man die maximal zulässige Anzahl an Lösch- bzw. Speicherzyklen, die ein nichtflüchtiger Datenspeicher (NVRAM) pro Speicherzelle verträgt, bis es zu spürbaren Fehlern bei Speicheroperationen kommt.

Da die Anzahl überhaupt beschränkt ist, liegt bei heutigen Flash-Speichern (die gängige Technologie zur Umsetzung des NVRAM-Prinzips) daran, dass die Speicherzellen für die Programmier- und Löschoperationen hohen Spannungen (10 bis 18 V) ausgesetzt werden, wodurch Schädigungen in der Struktur der Zelle auftreten. Die Schädigungen werden umso geringer, je geringer die Spannungen für Programmieren und Löschen gewählt werden können. Diese

Minimierungsanforderung führt dazu, dass man eine zentrale Isolationsstruktur in der Speicherzelle möglichst dünn ausführen muss. Das wiederum hat allerdings negative Auswirkungen auf die Dauer der Datenhaltung (Retention).

## **Warum geht eine Flash-Speicherzelle kaputt?**

Das Floating Gate wird mit einer Spannung von 10 bis 18 Volt geladen (Schreibzugriff). Das ist notwendig, um die Oxidschicht (Isolation) zu überwinden. Dabei nimmt die Oxidschicht Schaden. Bei jedem Schreibzugriff etwas mehr. Irgendwann isoliert sie nicht mehr und die Speicherzelle wird unbrauchbar.

Da ein Schreibvorgang Speicherblöcke zwischen 16 und 128 kByte gleichzeitig beschreibt, werden auch Speicherzellen beansprucht, die gar keiner Veränderung bedürfen. Das bedeutet, schon bei geringen Änderungen des Speicherinhalts werden viele Speicherzellen neu geschrieben.

## **Haltbarkeit und Zuverlässigkeit von Flash-Memory**

Zur Haltbarkeit und Zuverlässigkeit von Flash-Memory gibt es folgende Erkenntnisse: Die Anzahl der möglichen Schreib- bzw. Löszyklen lässt keine direkten Rückschlüsse auf die Haltbarkeit oder die Zuverlässigkeit zu. Anders als bei herkömmlichen Festplatten besteht zwischen den Speicherzellen und den Sektoren des Dateisystems keine direkte Zuordnung. Generell verteilt der Flash-Controller die Schreibzugriffe gleichmäßig über alle Flash-Speicherzellen. Die Daten in den Zellen, die mit selten veränderten Daten, wie Betriebssystem und Programmen belegt sind, werden ab und zu umgeschichtet, um so wieder an weniger stark abgenutzte Zellen zu kommen. Gleichzeitig werden alle Speicherzellen regelmäßig aufgefrischt, damit sich mit der Zeit kein Datenverlust durch den Verlust der Ladung in den Speicherzellen einschleicht. Alle Verfahren und Mechanismen, die die Lebensdauer der Speicherzellen verlängern fallen unter den Begriff "Wear-Leveling".

Generell kann man davon ausgehen, dass SSDs im alltäglichen Desktop-Betrieb länger halten, als von den Herstellern angegeben. 3.000 bis 100.000 Speicher- bzw. Löszyklen sind für die meisten Anwendungen vollkommen ausreichend. Vor allem wenn mit Wear-Leveling alle



Speicherzellen gleichmäßig belastet und so die Lebensdauer verlängert wird.



# **Schnittstellen**

**PCI Express**

**Serielle und Parallele Schnittstelle**

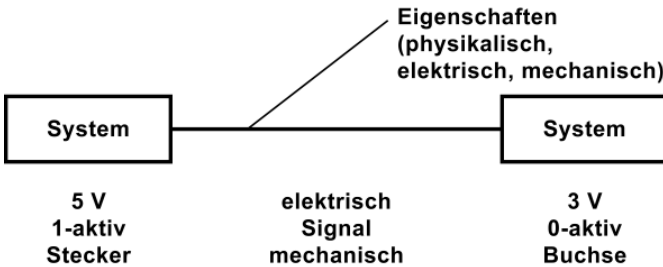
**SATA und SATA Express**

**USB**

**Thunderbolt**

**VGA / DVI / HDMI / DisplayPort**

# Schnittstellen



Eine Schnittstelle verbindet Systeme, die unterschiedliche physikalische, elektrische und mechanische Eigenschaften besitzen. Die Definition oder Spezifikation einer Schnittstelle enthält gemeinsame Eigenschaften. Dazu gehört auch ein Protokoll für die Kommunikation und den Datenaustausch. Schnittstellen befinden sich überall dort, wo unterschiedliche Systeme miteinander verbunden werden müssen. Die Schnittstellen bilden den Übergang von einem System in ein anderes System. Dieser Übergang kann zur Kommunikation oder dem Datenaustausch verwendet werden.

Die Standardisierung von Schnittstellen ermöglicht die Verbreitung kooperierender Systeme und die Automatisierung elektronischer und digitaler Systeme. Besonders in der Computertechnik sind Schnittstellen weit verbreitet. Auch in der Kommunikations- und Netzwerktechnik kommen standardisierte Schnittstellen häufig vor.

Während die Computerindustrie in ihrer Anfangszeit für jede Anwendung eine eigene Schnittstelle entwickelt und standardisiert hat, geht der Trend in Richtung Universal-Schnittstellen. Zum Beispiel USB und PCIe. Ein weiterer Trend sind Meta-Schnittstellen, die mehrere Schnittstellen in einer vereinen. Beispielhaft soll hier Thunderbolt genannt werden, dass DisplayPort und PCIe in einem Kabel vereint.

Die Spezifikation einer Schnittstelle enthält Informationen über Übertragungsgeschwindigkeiten, Übertragungsverfahren, Schnittstellenleitungen, dem Stecker, der Buchse oder Steckerleiste und deren Belegung. Sinn und Zweck einer Spezifikation oder einer Normierung ist, dass verschiedene Geräte unterschiedlicher Hersteller miteinander verbunden werden können.

## **Interne und externe Schnittstellen**

Ein Computer hat interne Schnittstellen, die sich im Computer-Gehäuse befinden und externe Schnittstellen, die aus dem Computer-Gehäuse herausgeführt sind.

Interne Schnittstellen verbinden Systeme innerhalb eines Computers. Diese Schnittstellen werden meist auf dem Motherboard als Sockel oder Slot herausgeführt. Dort werden dann Erweiterungskarten direkt oder interne Laufwerke über Kabel angeschlossen. Einige andere Schnittstellen werden nicht herausgeführt, sondern befinden sich auf der Hauptplatine zwischen den einzelnen Controllern.

Externe Schnittstellen werden aus dem Computer-Gehäuse herausgeführt. Sie verbinden Systeme oder Peripherie-Geräte mit dem Computer. Die Verbindung wird mit einer Kombination aus Stecker und Buchse realisiert.

## **Wie sind die angegebenen Übertragungsraten von Schnittstellen und Bussystemen zu interpretieren?**

Für Laien ist es sehr schwer, die Angaben zur maximalen Datentransferleistung von Schnittstellen und Bussystemen richtig zu interpretieren.

Diese Angaben gelten selten für die reine Datentübertragung, sondern eher im sogenannten Burst-Modus, bei dem die Daten lückenlos aneinander gereiht werden. Doch einige Taktzyklen eines Datentransfers unterliegen einem Protokoll-Overhead, den man von den meisten

Geschwindigkeitsangaben abziehen muss, um auf die tatsächliche Datentransferleistung zu kommen. Das heißt, es gibt eine Brutto-Geschwindigkeit und eine Netto-Geschwindigkeit. Und das ist auch nur die halbe Wahrheit, denn die praktisch mögliche Geschwindigkeit ist von den Leistungsmerkmalen und Fähigkeiten der beteiligten Controller abhängig ist.

Und dann ist da noch der Umstand, dass viele PC-Komponenten nicht schnell genug arbeiten, um die maximal verfügbare Datentransferrate ausnutzen zu können. Trotzdem haben schnelle Schnittstellen Geschwindigkeitsvorteile. Neue Schnittstellen werden meist nach ein paar Jahren der Optimierung und der Nutzung mit neuen Anwendungen ausgereizt, so dass eine neue Stufe der Geschwindigkeitssteigerung erklommen werden muss.

# PCIe - PCI Express

PCI Express (PCIe) ist eine schnelle interne Schnittstelle für Erweiterungskarten in Computer-Systemen. Mit der Einführung von PCIe im Jahr 2004 wurde dem AGP als Grafikkarten-Schnittstelle ein Ende gesetzt und auch der PCI als internes Computer-Bussystem abgelöst.

Neben dem Einsatz in Desktop-Computern gibt es mit dem PCI Express Advanced Switching eine Variante, die in modularen Servern als Backplane zum Einsatz kommt. PCI Express eignet sich grundsätzlich zum Verbinden mehrerer Server und Baugruppen zu einem Computersystem oder Telekommunikations-Server. Diese Technik eignet sich für zeitkritische Anwendungen, wie Bild- und Tonwiedergabe. Funktionen zur Reservierung von Mindestbandbreiten stehen ebenfalls zur Verfügung.

PCI Express ist für Kupferleitungen und optische Verbindungen vorgesehen. Die PCI-Express-Spezifikation beschreibt das Software-Protokoll, elektrische und mechanische Eigenschaften der Steckverbinder und Erweiterungskarten. Davon ist einiges von den seriellen Verbindungssystemen, wie USB und FireWire, bekannt. Zum Beispiel das Ein- und Ausstecken im laufenden Betrieb (Hot-Plug) und das Bündeln mehrerer Leitungen zur Steigerung der Übertragungsrate.

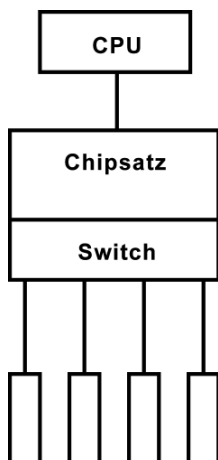
PCI Express wird in Zukunft noch mehr an Bedeutung gewinnen. Die Halbleiterschaltungen von PCI Express werden in abgewandelter Form auch für DisplayPort, SATA und SAS verwendet. So wird SATA in Zukunft von einer SSD-Schnittstelle mit dem Namen SATA Express abgelöst, die in erheblichem Maße von PCI Express beeinflusst ist.

## Architektur bzw. Topologie von PCIe

Im Gegensatz zu PCI, mit der Busstruktur, bei der sich alle angeschlossenen Komponenten die verfügbare Bandbreite teilen müssen, werden bei PCI Express serielle Verbindungen zu einem Switch geschaltet, der sich im Chipsatz befindet. Der Switch verbindet eine PCIe-Baugruppe direkt mit dem Arbeitsspeicher oder anderen Baugruppen mit der vollen Bandbreite und Geschwindigkeit.

Auf der logischen Ebene ist PCIe voll kompatibel zum alten PCI. Das

Betriebssystem merkt keinen Unterschied. Auch im Windows-Gerätemanager ist von PCIe nicht viel zu erkennen.



Statt paralleler Bussysteme werden also serielle Punkt-zu-Punkt-Verbindungen verwendet. Schon bei Ethernet wurde die alte Bus-Topologie durch eine Stern-Topologie ersetzt. Eine zentrale Schaltstelle (Switch) verbindet jeweils zwei Geräte direkt miteinander.

Die Gründe für den Umstieg von der bewährten Busstruktur zu seriellen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen liegt in der riesigen Anzahl von Adress- und Signalleitungen. Die steigende Anzahl an Signalleitungen auf dem Motherboard benötigt sehr viel Platz, verbunden mit einem hohen Stromverbrauch. Auch die Übertragungsgeschwindigkeit lässt sich nicht beliebig steigern, weil sich die parallel liegenden Leitungen gegenseitig beeinflussen (Übersprechen).

## Übertragungstechnik

Die Übertragungstechnik von PCI Express beruht auf jeweils zwei differenziellen Leitungspaaren (4 Adern), die als Link oder Lane bezeichnet werden. Das eine Leitungspaar für den Datenversand, das andere für den Datenempfang. Zur Steigerung der Geschwindigkeit darf ein Gerät mehrere Links benutzen. Insgesamt lassen sich bis zu 32 Links bündeln. In der Praxis sieht es jedoch so aus, dass einfache Erweiterungskarten nur einen Link haben. Ausnahmen bilden

Grafikkarten-Slots, die als PEG (PCI Express for Graphics) bezeichnet werden. Ihnen stehen 16 Links zur Verfügung.

Die Parallelisierung der Daten erfolgt jedoch nicht auf der elektrischen, sondern auf einer höheren Protokollebene. Hier werden auch Laufzeitunterschiede, Leitungsstörungen und Ausfälle kompensiert.

Die Aufteilung der Links des Controllers auf die Hardware-Slots und Onboard-Komponenten werden beim Design des Mainboards festgelegt. Man unterscheidet zwischen x1-, x4-, x8- und x16-Slots. Um die Karten leichter unterscheiden zu können gibt es unterschiedlich lange Steckplätze. Die für einen Link (x1) sind kurz und die für 16 Links (x16) sind deutlich länger. Steckplätze für x4 und x8 gibt es nicht.

## Übertragungsgeschwindigkeit

Die Übertragungsgeschwindigkeit bei PCIe "orientiert" sich an der Version und der Anzahl der Links bzw. Lanes. Je höher die Version und je mehr Links, desto höher die Bandbreite und desto höher ist die Übertragungsgeschwindigkeit.

Die Bandbreite gibt dabei an, wie viel Kapazität für die Datenübertragung theoretisch bzw. maximal zur Verfügung steht. Die tatsächliche Datenrate liegt jedoch darunter.

PCIe	Links	Bandbreite		Datenrate	Taktrate
1.x	x1	2,5 GBit/s	2,5 GT/s	0,25 GByte/s	1,25 GHz
	x4	10 GBit/s	10 GT/s	1 GByte/s	1,25 GHz
	x8	20 GBit/s	20 GT/s	2 GByte/s	1,25 GHz
	x16	40 GBit/s	40 GT/s	4 GByte/s	1,25 GHz
2.x	x1	5 GBit/s	5 GT/s	0,5 GByte/s	2,5 GHz
	x4	20 GBit/s	20 GT/s	2 GByte/s	2,5 GHz
	x8	40 GBit/s	40 GT/s	4 GByte/s	2,5 GHz
	x16	80 GBit/s	80 GT/s	8 GByte/s	2,5 GHz



3.0	x1	10 GBit/s	8 GT/s	0,985 GByte/s	4,0 GHz
	x4	40 GBit/s	32 GT/s	3,94 GByte/s	4,0 GHz
	x8	80 GBit/s	64 GT/s	7,88 GByte/s	4,0 GHz
	x16	160 GBit/s	128 GT/s	15,75 GByte/s	4,0 GHz

Geht man bei PCIe 2.0 von einer Bandbreite von 5 GBit/s pro Link aus, dann reduziert sich die Bandbreite durch die 8B/10B-Kodierung (10 Bit pro Byte) auf 4 GBit/s. Das entspricht einer Netto-Bandbreite von 500 MByte/s pro Richtung. Die tatsächliche Datenrate ist dann noch einmal geringer. Denn neben der reinen Datenübertragung ist noch ein Übertragungsprotokoll mit Befehlen, Adressierung und Bestätigungen aktiv, dass einen Teil der Bandbreite benutzt, weshalb die tatsächlich Datenrate noch einmal unter der Netto-Bandbreite liegt.

### **PCI Express 1.0/1.1**

Zwischen PCIe-1.0 und PCIe-1.1 besteht praktisch kein Unterschied. Die Taktfrequenz ist auf 1,25 GHz pro Link bzw. 2,5 GBit/s festgelegt, was einer Nettobandbreite von 250 MByte/s entspricht.

### **PCI Express 2.0/2.1**

Die Taktfrequenz wurde auf 2,5 GHz pro Link erhöht. Somit steht pro Link eine Bandbreite von 5 GBit/s zur Verfügung. Im Optimalfall erreicht man eine Nettotransferrate von 500 MByte/s.

PCIe 2.0 ist zu PCIe 1.0/1.1 abwärtskompatibel. Doch Vorsicht, zwar sollten PCIe-1.1-Karten in PCIe-2.0-Slots funktionieren. Wenn es doch zu Problemen kommt hilft eventuell ein BIOS-Update. In der Spezifikation von PCIe 2.0 gibt es eine Besonderheit. Dort ist vorgeschrieben, dass PCIe-2.0-Karten auch in PCIe-1.1-Slots funktionieren müssen. Einen baulichen Unterschied gibt es nicht.

Der wesentliche Unterschied zwischen PCIe 2.0 und der älteren Version liegt in der maximal möglichen Übertragungsrate. PCIe 1.1 arbeitet mit 2,5 GBit/s pro Link. PCIe 2.0 unterstützt das auch und erreicht optional eine maximal mögliche Übertragungsrate von 5 GBit/s pro Link, was einer Nettobandbreite von 500 MByte/s entspricht.

## PCI Express 3.0/3.1

Die Taktfrequenz wurde auf 4 GHz angehoben. Dank der Verringerung des Overheads bei der Datenübertragung und durch einen effizienteren Leitungscodierung konnte trotzdem die doppelte Transferrate im Vergleich zu PCIe 2.0 erreicht werden. Das bedeutet, jeder PCIe-Link hat eine Bandbreite von 8 GT/s (Gigatransfers pro Sekunde) bzw. 10 GBit/s und überträgt 1 GByte/s.

Es gibt nicht viele Anwendungen, die PCIe 3.0 ausreizen. Außer für Grafikkarten ist PCIe 3.0 nur für wenige Erweiterungskarten sinnvoll. Am ehesten noch für 40-Gigabit-Ethernet-Karten oder Hostadapter für Server-Massenspeicher. Grafikkarten können mit PCIe 3.0 über 16 Lanes mit bis zu 32 GByte/s (2 x 16 GByte/s) mit dem Chipsatz oder Prozessor kommunizieren.

Allerdings kann die Geschwindigkeit von PCIe 2.0 schon knapp werden, wenn der PCIe das zentrale Bussystem zwischen Prozessor und Chipsatz ist. Wenn die Verbindung zwischen CPU und Chipsatz nur 2 GByte/s in beide Richtungen unterstützt (PCIe-2.0-x4), gibt es PCIe 3.0 nur für externe Grafikkarten, die dann aber direkt am Hauptprozessor angeschlossen sind. In hochintegrierten Prozessoren von Intel und AMD endet bzw. beginnt der PCIe Root Complex bereits im Prozessor. Für die Zukunft kommt man dabei nicht um PCIe 3.0 herum. Darüber hinaus wird der PCIe SATA als Massenspeicher-Schnittstelle abgelöst. Das PCIe-Lane-Konzept ist SATA deutlich überlegen. Die PCIe-Lanes lassen sich leichter skalieren.

## PCI Express 4.0

Im Vergleich zu PCIe 3.0 soll PCIe 4.0 die Datentransferrate abermals verdoppeln. Pro Lane sollen 16 GT/s möglich werden. Die maximale Nettodatenrate soll auf 2 GByte/s anwachsen. PCIe 4.0 x16 schafft dann bis zu 32 GByte/s. Dafür muss sich auch bei den Speicher-Schnittstellen etwas tun. So müssen bei PCIe 4.0 x16 schon zwei Speicherkanäle mit DDR4-2133-Chips (PC4-17066) zum Einsatz kommen.

Um eine Verdoppelung der Transferrate zu ermöglichen wird die maximale Leitungslänge von 20 auf 8 bis 12 Zoll (20 bis 30 cm) schrumpfen. Auch neue Materialien für Leiterbahnen und Kontakte sind angedacht, um die Signalqualität zu erhalten.

Wie zu erwarten soll PCIe 4.0 auch weiterhin zu älteren PCIe-Karten abwärtskompatibel sein.

## **Serielle Schnittstelle (RS232 / V.24 / COM)**

Die serielle Schnittstelle entspricht den Standards RS-232(C) und V.24. Die englische Bezeichnung COM-Port, abgeleitet von "Communication" (Kommunikation), wird allerdings am häufigsten verwendet. Mit COM1, COM2, COM3, usw. wird einer physischen existierenden Schnittstelle eine logische Bezeichnung durch das BIOS und das Betriebssystem zugeteilt. Unter dieser Bezeichnung können alle Anwendungen auf diese Schnittstelle zugreifen.

Die serielle Schnittstelle gibt es mit einem 9-poligen Stecker. Ältere Systeme haben noch einen 25-poligen Stecker. Klassische Endgeräte, die an der seriellen Schnittstelle angeschlossen werden sind die Maus und das Modem.

Lange Zeit war jeder PC mit einer oder zwei seriellen Schnittstellen ausgestattet. Wobei nur ein Endgerät an einer seriellen Schnittstelle angeschlossen werden kann.

### **Die serielle Schnittstelle heute**

Mit der Einführung des USB hat die serielle Schnittstelle nur langsam ihre Bedeutung verloren. Als sich Geräte mit USB-Anschluss durchgesetzt haben wurde die serielle Schnittstelle auf Motherboards immer seltener. Irgendwann verschwand sie fast vollständig.

Doch immer noch haben sehr viele technische Einrichtungen im industriellen Umfeld eine serielle Schnittstelle. Dort kommt man ohne diese Schnittstelle nicht aus. Die Funktionalität der seriellen Schnittstelle lässt sich sehr leicht implementieren, das Übertragungsprotokoll ist ausgereift und für einfache Zwecke vollkommen ausreichend. Allerdings ist man gezwungen eine der beiden Gegenstellen mit Parametern, die zur anderen Gegenstelle passen, zu konfigurieren. Also kein Plug & Play.

Auch wenn die meisten Hardware-Schnittstellen inzwischen auf USB umgestellt wurden, kommt man auch heute nicht um das Protokoll der seriellen Schnittstelle herum. Um USB-Geräte für Anwendungen nutzbar zu machen, wird die serielle Schnittstelle im Betriebssystem durch einen Treiber simulieren. Für die Hardware-Seite gibt es spezielle USB-to-Serial-Adapter.

## **Elektrische Eigenschaften**

Die Signalspannung ist auf allen Leitungen bipolar und darf nicht zwischen +3...-3V liegen. Der maximale Spannungsbereich liegt zwischen +15...-15V.

Die nutzbare Kabellänge zwischen der Schnittstelle und dem Endgerät ist abhängig von der Signalstärke und Übertragungsgeschwindigkeit. Je schneller die Übertragung, desto kürzer und hochwertiger sollte das Kabel sein. Sind die Voraussetzungen optimal lässt sich eine Kabelstrecke von 30 Metern überbrücken. Allerdings nur mit einer sehr geringen Geschwindigkeit. Normalerweise sollten 6 bis 8 Meter nicht überschritten werden.

## **Funktionsweise**

Die Datenbits sind auf dem Datenbus parallel vorhanden. Die Serielle Schnittstelle überträgt die Datenbits aber nacheinander. Deshalb ist eine Parallel-Seriell-Wandlung notwendig. Das Datenwort wird aus dem Speicher in den Schnittstellenspeicher geschrieben. Dann wird das Datenwort aufgeteilt und die Datenbits einzeln übertragen. Ist das ganze Datenwort übertragen worden, wird ein weiteres Datenwort aus dem Speicher geholt.

Beim Empfangen der Daten wird das Datenwort wieder zusammengesetzt und in den Speicher geschrieben.

Damit der Empfänger die Daten wieder richtig zusammensetzt, müssen Sender und Empfänger zeitgleich Senden bzw. Empfangen. Um das zu gewährleisten, werden zwei Verfahren zur Aufrechterhaltung der Synchronisation angewendet. Die synchrone und asynchrone Übertragung.

## **Endgeräte für die serielle Schnittstelle**

- Maus
- Tastatur
- Modem
- serieller Drucker

## Parallele Schnittstelle (Centronics)

In den Anfangszeiten des Computers hat jeder Hersteller für seine Endgeräte eine eigene Schnittstelle entwickelt. So auch der Drucker-Hersteller Centronics. Er hat eine der ersten parallelen Schnittstellen für Drucker eingeführt. Die parallele Schnittstelle hat sich nach und nach auch bei anderen Herstellern durchgesetzt.

Die englische Bezeichnung für die Centronics-Schnittstelle ist LPT. Diese Bezeichnung ist aus der Zeit abgeleitet, wo Nadeldrucker den Text zeilenweise ausgegeben haben. Im Englischen hießen diese Drucker "Line Printer (LPT)". Übersetzt heißt das soviel wie Zeilendrucker. Die heutigen Drucker generieren den Ausdruck seitenweise. Die Schnittstellen-Bezeichnung LPT1, LPT2 und LPT3 ist immer noch geblieben.

Genauso wie die serielle Schnittstelle spielt die parallele Schnittstelle heute praktisch keine Rolle mehr. Drucker und Scanner werden über den USB angeschlossen. Bevor sich die USB-Schnittstelle durchgesetzt hat war der Anschluss von Scannern und Wechselmedien-Laufwerken (z. B. ZIP-Drive) an der parallelen Schnittstelle üblich.

### Stecker und Kabel

Die Centronics-Schnittstelle arbeitet auf den Signalleitungen mit TTL-Pegeln (+5V und 0V). Jede Daten- und Steuerleitung ist mit einer Masseleitung verdreht. Trotzdem lässt sich die parallele Schnittstelle wegen den Einschwingvorgängen nur auf kurzen Strecken verwenden. Die Länge der Leitung zwischen Computer und Drucker sollte nicht mehr als 2 bis 3 m betragen. Je hochwertiger das Kabel, desto länger darf es sein. 5 m ist jedoch die absolute Obergrenze für eine fehlerfreie Datenübertragung. Muss die Reichweite größer sein, dann müssen die Daten seriell übertragen werden.

Zusammen mit den Daten-, Steuer- und Masseleitungen kommt man auf der Druckerseite auf einen 36-poligen Amphenol-Stecker, der sich am Drucker mit Klammern befestigen lässt. Die Belegung dieses Steckers ist an Pin 1 bis 11 und 16 bei nahezu jedem Drucker gleich. Die anderen Pins weichen je nach Hersteller ab. Auf der Seite des Computers wird ein 25-poliger Sub-D-Stecker verwendet.

## Geräte für die parallele Schnittstelle

- Drucker
- Scanner
- Iomega ZIP-Drive

## PS/2

PS/2 ist eine Computer-Schnittstelle bzw. ein Anschluss für Tastaturen oder Computer-Mäuse. Die Abkürzung PS/2 stammt ursprünglich aus dem Jahr 1987, als IBM einen Personal Computer mit der Bezeichnung PS/2 auf den Markt brachte. Dieser PC hatte erstmals diesen Schnittstellen-Typ, der für die Tastatur verwendet wurde. Die Computer-Maus wurde an einer seriellen Schnittstelle angeschlossen. Später bekamen die PCs eine zweite PS/2-Schnittstelle für die Maus dazu.

PS/2 ist im Prinzip eine serielle Schnittstelle, die trotz der Universal-Schnittstelle USB nicht auszusterben scheint. Der Grund warum viele Motherboards immer noch PS/2-Schnittstellen für Maus und Tastatur haben liegt in der Nachfrage begründet.

Der USB überträgt von der Tastatur zum Rechner immer sechs Befehle gleichzeitig. Für einen schnellen Tipper ist das zu wenig. PS/2 überträgt die Tastaturanschläge kontinuierlich an den Rechner. Dadurch ist die Latenz niedriger. Die meisten Tastaturschreiber merken diesen Unterschied natürlich nicht.

Auch aus Sicherheitsgründen kann PS/2 interessant sein. Während man einen USB-Port für alle möglichen Geräte "missbrauchen" kann, eignet sich der PS/2 eben nur für den Anschluss einer Maus oder Tastatur. Computer, bei denen USB-Ports elektrische oder mechanisch blockiert sind, sind weniger anfällig für lokale Manipulationen durch "böse" USB-Endgeräte.

Leider kann man eine Tastatur am PS/2 im laufenden Betrieb nicht ausstecken, ohne Abstürze oder ein stehendes System zu provozieren. Hier ist USB einfach flexibler.

## **Stecker und Kabel**

Der PS/2-Stecker bzw. -Anschluss entspricht dem Mini-DIN-Stecker.

Die Anschlüsse für Maus und Tastatur sind mechanisch identisch. Nur die Belegung ist eine andere. Um Vertauschungen zu vermeiden, sind die Buchsen und Stecker farblich gekennzeichnet. Grün steht für die Maus und violett steht für die Tastatur. Es gibt aber auch Stecker und Buchsen, die diese Farbkennzeichnung nicht haben.

## **Endgeräte für die PS/2-Schnittstelle**

- Maus
- Tastatur

## **USB - Universal Serial Bus**

Der USB ist eine universelle, externe Schnittstelle für alle Peripheriegeräte, die an einem Computer angeschlossen werden. Egal ob Tastatur, Maus, Modem, Drucker, Mikrofon, Lautsprecher, Kamera oder Scanner. Mit dem USB sind die Anwender unabhängig von der Anzahl der verfügbaren Schnittstellen und Steckplätze für Erweiterungskarten. Der USB lässt sich durch Steckkarten oder USB-Hubs fast beliebig erweitern. Die Identifikation der Geräte wird vom USB-Hostadapter im Computer durchgeführt, der auch das Laden der Treiber und die Grundkonfiguration vornimmt. Zusätzlich verbessert sich durch Hot-Plugging, das Hinzufügen und Entfernen von Peripherie-Geräten im laufenden Betrieb, die Bedienerfreundlichkeit.

Der USB erfüllt folgende Anforderungen:

- eine einheitliche Schnittstelle für alle Peripherie-Geräte
- eine mechanisch stabile und einfache Steckverbindung
- kleine platzsparende Stecker und Buchsen

Zusätzlich weisen alle USB-Spezifikationen folgende Eigenschaften auf:

- billig
- abwärtskompatibel

## Übersicht: USB - Universal Serial Bus

USB	USB 1.0/1.1		USB 2.0	USB 3.0/3,1
	Low-Speed	Full-Speed	High-Speed	Super-Speed-/Plus
Symbolrate	1,875 MBit/s	15 MBit/s	600 MBit/s	5/10 GBit/s
Datenrate (brutto)	1,5 MBit/s	12 MBit/s	480 MBit/s	4 GBit/s
Datenrate (theoretisch)	188 kByte/s	1,5 MByte/s	60 MByte/s	600/1.200 MByte/s
Datenrate (netto)	ca. 150 kByte/s	ca. 1 MByte/s	ca. 35 MByte/s	ca. 450/800 MByte/s

### Kabel- und Stecker-Verwirrung bei USB-C-Stecker, USB 3.1 und Power Delivery

Wer ein USB-Kabel mit dem C-Stecker sieht, der denkt unweigerlich an USB 3.1 mit einer Übertragungsrate von 10 GBit/s und der Möglichkeit andere elektronische Geräte an einem USB-C-Port schnell aufzuladen (Power Delivery).

- USB 3.1 definiert SuperSpeedPlus mit 10 GBit/s
- USB Power Delivery mit bis zu 20 Volt und bis zu 5 Ampere bei maximal 100 Watt
- USB-Typ-C-Stecker und -Kabel für einen verdrehsicheren Anschluss

Alle diese Techniken haben für sich genommen nichts miteinander zu tun. Ein USB-C-Stecker bedeutet nicht, dass darüber 10 GBit/s oder USB Power Delivery funktioniert. Selbstverständlich kann USB 3.1 mit 10 GBit/s auch auf speziellen Kabeln mit dem herkömmlichen USB-A-Stecker funktionieren. Und, ein USB-3.1-Gerät muss nicht schneller sein, als ein Gerät, dass mit USB 3.0 gekennzeichnet ist.



Der C-Stecker wurde unabhängig von USB 3.1 eingeführt, um den USB-Stecker und -Kabel-Wildwuchs einzudämmen. Grundsätzlich soll der USB-C-Stecker alle anderen USB-Stecker für alle USB-Kabel ablösen. Das heißt, auch für USB 1.1, 2.0 und 3.0. Gleichzeitig soll auf beiden Seiten des USB-Kabels der selbe Stecker und auch für mobile Geräte geeignet sein.

Der Steckertyp sagt also nichts darüber aus, wie schnell ein Gerät ist oder welche Geschwindigkeit das Kabel ermöglicht. Die meisten USB-C-Kabel dürften gerade mal für USB 3.0 mit 5 GBit/s ausreichen. Bei USB 3.1 mit 10 GBit/s darf das Kabel gerade mal 1 Meter lang sein.

Ein USB-Gerät mit einer C-Steckverbindung kann unter Umständen nur USB 1.1 erreichen. Umgekehrt kann es sein, dass eine herkömmliche A-B-Steckverbindung 10 GBit/s erreicht.

Gerade bei Adaptern für den C-Stecker ist Vorsicht geboten. So degradiert allein ein Typ-C-auf-Micro-USB-Adapter ein C-Kabel auf ein USB-2.0-Kabel mit nur 480 MBit/s.

Auch bei Ladekabeln ist Verwirrung angesagt. Nur weil ein Kabel einen USB-C-Stecker oder ein Gerät eine USB-C-Buchse hat, heißt das nicht, dass Kabel und Gerät auch Power-Delivery-fähig sind.

Die USB-PD-Spezifikation verlangt "Electronically Marked Cables". In den Steckern sitzt ein kleiner Chip, der ein digitales Datenblatt enthält. Angeschlossene Geräte können damit auslesen, welche Spannungen und Ströme das Kabel maximal verträgt. Doch von außen sieht man einem solchen Kabel nicht an, für welche Leistung es ausgelegt ist. Irgendein USB-C-Kabel eignet sich also nur bedingt für das Laden per USB Power Delivery.

Warum also der Hype um USB-C, USB 3.1 und USB-PD? Nun, im Optimalfall greifen alle drei Standards ineinander. Der C-Stecker bringt mehrere Eigenschaften mit. Dazu hören mehr Pins für eine schnellere Datenübertragung, elektrische Stabilität für die Stromversorgung bis 100 Watt und eine mechanisch symmetrische Steckverbindung (Verdrehsicherheit).

## **Stromversorgung über den USB**

Über die Kabelverbindungen versorgt der USB einfache Geräte, wie Maus und Tastatur, aber auch größere Geräte, wie Scanner, mit Strom.

Unabhängig vom Stecker muss ein USB-Host oder -Hub die angeschlossenen Geräte mit mindestens 100 mA versorgen. Bis zu 500 mA (2,5 Watt) kann er dem Gerät auf Anforderung liefern.

Mit USB Power Delivery (USB-PD) kann ein Gerät sogar bis 100 W Leistung eine Stromversorgung bereitstellen. Zum Beispiel zum Laden eines Notebooks.

## **Probleme mit dem USB**

Die meisten Probleme mit dem USB sind auf schlechte und zu lange Kabel zurückzuführen. Das bezieht sich auch auf die mitgelieferten USB-Kabel. Die teilweise sehr billigen Kabel mit Steckverbindern im Cent-Bereich sind für die hohen Geschwindigkeiten im hohen MBit- und GBit-Bereich nicht gemacht. Anfangs waren Kabellängen von 5 Metern erlaubt. Heute gelten 3 Meter bereits als kritisch. Und bei USB 3.1 ist nicht mehr als 1 Meter drin. Außerdem ist jede Steckverbindung eine Fehlerquelle. Verlängerungskabel sind seit USB 3.0 tabu und auf USB-Hubs sollte man möglichst verzichten.

Außerdem ist der USB mit der Zeit recht komplex geworden. Mehrere Geschwindigkeitsstufen und Stromsparmodi, sowie die Abwärtskompatibilität bringen einiges an Entwicklungsaufwand mit. Dadurch sind viele Hersteller gezwungen, die USB-Spezifikationen frei zu interpretieren. Man sucht dann eher einfache statt stabile Lösungen. Generell gilt, je weniger Steckverbindungen und je kürzer die Kabel, desto weniger Probleme. Verlängerungskabel und USB-Hub-Kaskaden sollte man grundsätzlich vermeiden.

## **Installation von USB-Geräten**

Die Installation eines USB-Geräts ist vergleichsweise einfach. Die Installation ist ohne technisches Wissen und im laufenden Betrieb möglich. Bei den meisten Geräten reicht es aus, den Stecker einzustecken. Danach installiert das Betriebssystem die Treiber selbst. Nach einer kurzen Installationsphase ist das Gerät betriebsbereit. Manche USB-Geräte verfügen über einen internen Speicher in dem der Treiber gespeichert ist.

Er wird automatisch beim erstmaligen Einstecken installiert. Bei den meisten USB-Geräten ist es jedoch so, dass nach dem Einstecken nach einer Treiber-CD gefragt wird. Der Treiber muss dann von CD installiert werden. Alternativ lässt sich auch der aktuelle Treiber von der Webseite des Herstellers herunterladen und installieren.

Bei manchen Geräten ist etwas mehr Aufwand nötig. Der Treiber muss zuerst von einer CD-ROM installiert werden, um nach einem Systemneustart das Gerät einstecken und in Betrieb nehmen zu können. Doch auch das erweist sich als einfach, da man in der Regel nur die CD oder DVD einlegen muss und danach der Treiber fast automatisch installiert wird. Alle weiteren Handgriffe seitens des Anwenders werden während des Installationsvorgangs erklärt, manchmal sogar in einer beiliegenden Kurzanleitung erläutert.

## **Warum der USB die serielle und parallele Schnittstelle nicht ersetzen kann!**

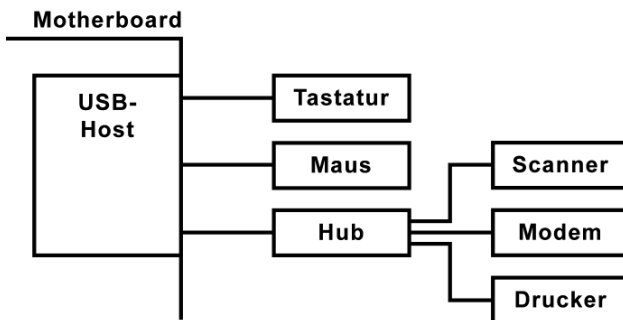
Der USB sollte ursprünglich alle anderen externen Schnittstellen ersetzen. Ausgenommen die Schnittstelle für den Bildschirm und fürs Netzwerk. Doch trotz ihrer langsamen Übertragungsgeschwindigkeit hielten sich die parallele und auch die serielle Schnittstelle sehr lange. Der Grund, sie lassen sich einfacher programmieren als der USB.

Die serielle Schnittstelle lässt sich sehr einfach ansteuern. Jede Programmiersprache hat die dafür notwendigen Befehle und Bibliotheken integriert. So muss man nur den gewünschten Port öffnen (COM1, COM2, ...) und die Daten in den Port schreiben oder daraus lesen. Die gesamte Steuerung des Datenflusses übernimmt der Treiber des Betriebssystems. Inzwischen gibt es keinen Grund mehr auf die alten Schnittstellen zurückzugreifen. Über programmierbare Schnittstellen (API) lassen sich alle elektronischen Geräte mit einem USB-Port ausstatten.

Trotzdem sind USB-Stecker im industriellen Umfeld weniger gern gesehen. Die Standard-USB-Stecker sind nicht industrietauglich. Sie lassen sich nicht gegen Herausziehen sichern. Außerdem sind sie nicht vibrationsfest. Die Auswahl industriekompatibler USB-Stecker ist gering und teuer. Der Stecker der seriellen und parallelen Schnittstelle lässt sich dagegen festschrauben. Wenn nötig kann man sich so einen Stecker auch selber an ein Kabel löten und so zum Beispiel ein paar Meter mehr überbrücken, als es mit dem USB-Kabel möglich ist.

Ein weiterer Nachteil des USB ist das fehlende Übertragungsprotokoll auf der Anwendungsebene. Das hat den Effekt, dass für die USB-Geräte immer Treiber entwickelt werden "müssen". Der einfache Wechsel von einer alten Schnittstelle zum USB ist nicht möglich, weil dazu ein neues Protokoll notwendig wäre. Für bestimmte USB-Geräte, wie zum Beispiel Maus, Tastatur und Massenspeicher haben sich Standard-Treiber vom Betriebssystem durchgesetzt. Für viele andere Anwendungen, die die serielle Schnittstelle unterstützen, wird ein VCP-Treiber (Virtual COM Port) installiert, der im Betriebssystem eine serielle Schnittstelle emuliert. Der Zugriff auf Anwendungsebene erfolgt dann wie auf eine physikalisch vorhandene serielle Schnittstelle. Das hat den Vorteil, dass für bestehende Anwendungen, die eine serielle Schnittstelle unterstützen kein neuer Treiber entwickelt werden muss.

## Topologie und Verkabelung



Obwohl der USB von der Namensgebung her ein Bus sein müsste, handelt es sich eher um eine mehrstufige Sterntopologie. Der Mittelpunkt des Sterns wird jeweils von einem Hub gebildet. Der Ausgangspunkt des USB ist der Host-Controller (Root Hub) auf dem Motherboard des Computers. Der Host-Controller steuert den gesamten Datenverkehr des USB. Am Host-Controller können bis zu 127 Geräte angeschlossen werden. Das können einzelne Geräte (Node) oder Hubs sein, an denen wiederum Geräte (Node) hängen.

Neben der Stromverteilung sorgen die Hubs auch dafür, dass immer nur ein USB-Gerät seine Daten zum Host-Controller schickt. Die Hubs können beliebig kaskadiert werden, wodurch ein pyramidenförmiger Aufbau entsteht. Wobei jedes Leitungssegment eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung ist.

Ursprünglich ist eine direkte Kommunikation zwischen den USB-Geräten nicht vorgesehen. Eine Ergänzung (durch USB 2.0) ist USB-on-the-Go (OTG). Innerhalb eines USB-Baums, der an einem PC hängt, kann ein Gerät ein anderes Gerät dadurch ansprechen.

## **Standard-Treiber für USB-Geräte**

Für viele USB-Geräte gibt es Standard-Treiber in den Betriebssystemen. Dazu zählen Tastaturen, Mäuse, Digitalkameras, Scanner und Massenspeicher. Im Prinzip kann man jede Tastatur, Maus oder USB-Stick an jedem Computer ohne Probleme in Betrieb nehmen.

Die Treiber in Windows bestehen aus einer oder mehreren \*.sys-Dateien (der eigentliche Treiber) sowie einer oder mehreren Windows-DLL-Dateien. Die DLL-Dateien enthalten die Softwareschnittstelle zum Treiber. Jedes Windows-Programm kann die DLL-Funktionen benutzen, um mit dem Geräte-Treiber zu kommunizieren.

- HID / Human Interface Device: Tastatur und Maus
- CDC / Communication Device Class: virtuelle serielle Schnittstelle
- USB-Mass-Storage-Protocol: USB-Sticks und -Festplatten

## **Grundlagen der Übertragungstechnik (Low-Speed und High-Speed)**

Neben den beiden Leitungen für die Stromversorgung (+5V und GND) gibt es zwei Datenleitungen. Die Datenübertragung erfolgt symmetrisch über zwei verdrehte Leitungen. Die eine Leitung überträgt das Datensignal, die andere das invertierte Datensignal. Man spricht von einer differenziellen Übertragung. Dabei ist der Spannungsunterschied bei der Signalspannung doppelt so groß, als wenn das Datensignal gegen Masse übertragen werden würde. Beim Empfänger wird die Differenz zwischen beiden Signalen gebildet, wobei Signalstörungen ausgeblendet werden.

Das erhöht die Übertragungssicherheit, unterdrückt Gleichtaktstörungen und verbessert die elektromagnetische Verträglichkeit.

Um langsame Geräte wie Tastatur, Maus und auch schnelle Geräte wie Modems oder Videokameras über ein und den selben Bus zu führen, wurde die Übertragung in Kanäle unterteilt.

Es gibt einen Low-Speed-Kanal bis 1,5 MBit/s (Maus, Tastatur) und einen Medium-Speed-Kanal mit 12 MBit/s (ISDN, Audio) die über dieselbe Schnittstelle geführt werden. Ein High-Speed-Kanal mit 480 MBit/s (Video, Speichermedien) ist auch vorgesehen (USB 2.0).

Neben der Geschwindigkeitskategorie gibt es auch unterschiedliche Prioritäten bei der Übertragung. Die höchste Priorität haben Geräte, die Daten in Echtzeit liefern und bei denen der Datenfluss nicht unterbrochen werden darf. Die mittlere Priorität ist für Interrupt-Übertragungen, wenn z. B. ein Gerät die Aufmerksamkeit des Prozessors erhalten will. Die niedrigste Priorität haben Massentransfer-Geräte. Die Übertragung dieser Daten ist meist nicht besonders dringend.

## **Mögliche USB-Geräte**

- Maus
- Tastatur
- Joystick
- ISDN-Adapter
- WLAN-Adapter
- Netzwerk-Adapter
- Digitalkamera
- Modem
- Drucker
- Scanner
- Dongle
- Lautsprecher (ohne Soundkarte nutzbar)
- USB-Speichersticks
- USB-Parallelport-Adapter
- USB-V.24-Adapter
- USB-EIDE-Adapter

## **Stecker und Kabel**

Besonders verwirrend ist die Steckerverbindungsvielfalt von USB. Neben den normalen A- und B-Stecker gibt es verschiedene Varianten für mobile Endgeräte und USB 3.0. Damit soll der C-Stecker aufräumen und alle anderen Steckertypen ablösen.

## USB 2.0 / HighSpeed-USB

Der USB hat sich als Computer-Schnittstelle für Drucker, Scanner, Tastaturen und Mäuse durchgesetzt. Allerdings verlangen neue Anwendungen nach höheren Datenübertragungsraten. Webcams, USB-Sticks, externe Festplatten und WLAN-Adapter benötigen deutlich höhere Datenraten, als der USB 1.0/1.1 liefern kann

Die wesentliche Neuerung von USB 2.0 ist die vierzigmal schnellere Datenübertragung als bei USB 1.0/1.1. USB 2.0 ist trotzdem vollständig abwärtskompatibel zum älteren Standard. Vorhandene Kabel und Geräte können weiterhin genutzt werden. Für kleine, schmale und flache Geräte umfasst USB 2.0 eine kompakte Steckerbauform und zusätzliche Stromspar-Funktionen.

Die USB-2.0-Spezifikation sieht eine vierzigfach höhere Datenrate von 12 MBit/s auf 480 MBit/s vor. In der Praxis erreicht man an einem USB-2.0-Port kaum mehr als 30 MByte/s. Die theoretische Grenze liegt sowieso bei 48 MByte/s.

Beim Einstecken eines USB-Geräts schaltet der USB-2.0-Controller automatisch auf die jeweils geforderte Übertragungsgeschwindigkeit um. Dank der Abwärtskompatibilität können sämtliche Datenraten ohne Geschwindigkeitsverlust gleichzeitig genutzt werden.

Ein USB-2.0-Gerät, angeschlossen an einem USB-1.1-Controller, kann allerdings nur die maximale Übertragungsrate von 12 MBit/s nutzen.

### USB-On-The-Go (OTG)

Normalerweise können USB-Geräte nur als Slave von einem Host- Rechner angesprochen werden. Mit USB-On-The-Go können zwei Endgeräte ihre Daten direkt miteinander austauschen. So kann zum Beispiel eine Digitalkamera Bilder ohne zwischengeschalteten Computer direkt an einen Drucker schicken. Allerdings sind die Host-Fähigkeiten der On-The-Go-Geräte im Punkt-zu-Punkt-Betrieb nur auf das notwendigste beschränkt. Nicht jedes USB-Gerät kann mit jedem anderen USB-Gerät kommunizieren.

## **USB 3.0 und 3.1 / SuperSpeed-USB**

USB 3.0 ist eine Universal-Schnittstelle mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 4 GBit/s (Brutto 5 GBit/s) und trägt die Bezeichnung "SuperSpeed-USB". Mit 600 MByte/s ist es rund zehn Mal so schnell wie USB 2.0. USB 2.0 hat eine Übertragungsgeschwindigkeit von 480 MBit/s bzw. 60 MByte/s, wobei davon nur gut die Hälfte in der Praxis erreicht werden kann. USB 3.0 erreicht mit 4 GBit/s bzw. 600 MByte/s das Niveau eines PCIe-2.0-Links (500 MByte/s).

USB 3.1 spezifiziert den Übertragungsmodus SuperSpeed+ bzw. SuperSpeedPlus mit 10 GBit/s (Brutto).

Obwohl USB 3.0 und 3.1 viele Neuerungen mitbringen, steht Abwärtskompatibilität im Vordergrund. Der USB-3.0-Host besteht intern aus einem USB-2.0- und USB-3.0-Teil. Dadurch wird die Kompatibilität zu älteren Geräten mit USB 1.1 und 2.0 erreicht.

Derzeit ist das Marktpotenzial für schnelle USB-3.1-Peripherie noch sehr klein. Das liegt unter anderem daran, weil die Peripherie aktuell ohne 10 GBit/s auskommt. Der Bedarf liegt meist weit darunter. USB 3.1 ist hauptsächlich für die Verbindung zwischen einem Notebook und einer Docking-Station interessant, wo die Kommunikation von mehreren Peripherie-Geräten über ein Verbindung erfolgen soll.

### **USB 3.0 mit 5 GBit/s (SuperSpeed)**

USB 3.0 erreicht eine rechnerisch, maximale Transferrate von 500 MByte/s. Doch mit dem klassischen BOT-Übertragungsmodus (Bulk Only Transport) erreicht man damit kaum mehr als 250 MByte/s. Doppelt so schnell geht es nur mit dem USB Attached SCSI Protocol (UASP). Alle modernen Betriebssysteme unterstützen das automatisch, vorausgesetzt der Hostadapter im Storage-Device unterstützt es auch. UASP kommt eigentlich auch erst bei SSDs zum Einsatz. Denn die schnellsten herkömmlichen Festplatten kommen selbst im RAID-0-Verbund selten über 200 MByte/s hinaus. Das heißt, USB 3.0 macht USB-Festplatten ordentlich Beine, aber eben nur begrenzt. Doch nicht der USB begrenzt die Geschwindigkeit, sondern das Endgerät selber.



## USB 3.1 mit 10 GBit/s (SuperspeedPlus)

USB 3.1 spezifiziert den Übertragungsmodus SuperSpeedPlus (Enhanced SuperSpeed Gen 2) mit 10 GBit/s, wobei der Übertragungsmodus SuperSpeed (Enhanced SuperSpeed Gen 1) mit 5 GBit/s wie bei USB 3.0 ebenso gültig ist. Das heißt, nur weil auf einem Endgerät USB 3.1 drauf steht, unterstützt es nicht zwangsläufig auch 10 GBit/s. Es könnten auch nur 5 GBit/s sein.

Das Update der USB-3.0-Spezifikation auf USB 3.1 sieht vor, die Geschwindigkeit von 5 auf 10 GBit/s zu verdoppeln. Ohne neue Steckverbinder, Protokolle oder Treiber. Außerdem, statt 20 Prozent Overhead, wie bei 3.0 geht bei 3.1 nur noch 3 Prozent verloren. Netto steht also mehr als das doppelte an Datenrate zur Verfügung. Hier kommt die volle Transferrate aber nur zustande, wenn alle Beteiligten diesen Übertragungsmodus beherrschen.

SuperSpeedPlus arbeitet mit den selben differenziellen Leitungspaaren wie SuperSpeed (USB 3.0). Nur dass der Takt doppelt so hoch ist und eine effizientere Kodierung verwendet wird (128b/132b statt 8b/10b). Unterm Strich soll sich dadurch eine Übertragungsrate von etwa 1 GByte/s ergeben. In der Praxis kommt man auf ca. 760 MByte/s. Bei SuperSpeed (USB 3.0) sind es nur ca. 460 MByte/s.

Mit 10 GBit/s kommt man also auf etwa 800 MByte/s nutzbare Transferrate, was mehr als bei SATA-6G (600 MByte/s) ist und eine Konkurrenz zu Thunderbolt darstellt.

Der Übergang von USB 3.0 zu USB 3.1 gilt als schwierig. Das Nachrüsten mit Erweiterungskarten erfordert PCIe-x2-Slots, die offiziell nicht spezifiziert sind und deshalb nicht existieren (nur x1 und x16). Außerdem erlauben nur wenige Chipsätze die erforderlichen PCIe-Verbindungen, die für 10 GBit/s notwendig wären. Auch das ungefähr gleich schnelle Thunderbolt 2 scheitert an diesem Erfordernis.

## Steckverbindung

Der SuperSpeed- und SuperSpeedPlus-Modus funktioniert nur mit neuen USB-Kabeln, die zusätzlich zu dem bisherigen Datenleitungspaar (D+/D-), für beide Transferrichtungen je ein separat geschirmtes Adernpaar

(Shielded Differential Pair, SDP) sowie zwecks Einhaltung von EMV-Grenzwerten eine gemeinsame Abschirmung des gesamten Kabels benötigen.

Anstatt Kabellängen sind in der USB-3.0/3.1-Spezifikation Grenzwerte für die elektrischen Parameter definiert, bei nur denen der SuperSpeed- und SuperSpeedPlus-Modus sicher funktioniert. Die typische Leitungslänge dürfte bei 3 Metern liegen. Besonders gute, aber auch teure Kabel dürften 4,5 Meter erreichen. USB-3.0-Steckverbinder sind durch ein blau gefärbtes Innenteil erkennbar. Ältere USB-Kabel sind in der Regel innen weiß oder schwarz.

USB-3.0-Stecker haben fünf zusätzliche Kontakte, wobei der Typ-A-Stecker zu den alten USB-Buchsen kompatibel ist. Im Stecker vom Typ A befinden sich die neuen Kontakt in dem Bereich, wo im alten Stecker nur Plastik ist. Der Vorteil dabei, alle Stecker und Buchsen vom Typ A passen zusammen. Bei Micro-USB- und Typ-B-Steckern sieht das anders aus. Hier bekommt der Stecker einen Anbau, der die zusätzlichen Pins aufnimmt. Das bedeutet, die Verbindung hat einen USB-2.0- und einen USB-3.0-Teil. Somit passen alte Stecker in die neuen Buchsen, aber nicht umgekehrt. Ein USB-3.0-Geräte-Stecker findet in einer USB-2.0-Geräte-Buchse keinen Platz. Hat man für ein USB-3.0-Gerät nur ein USB-2.0-Kabel, dann lässt sich das Gerät auch nur mit USB-2.0-Geschwindigkeit betreiben.

Neue Steckverbinder sind für USB 3.1 nicht erforderlich. Die Kompatibilität bleibt somit erhalten. Nur die elektrischen Bedingungen für die Schirmung und Erdung wurden angepasst. Das bedeutet, dass es für USB 3.1 neue Kabel gibt. Die Kabel dürften dann in der Regel nur 1 Meter lang sein. Längere Kabel sind für die Geschwindigkeitsstufe 10 GBit/s ungeeignet.

## **Warum kann USB 3.1 nur 5 GBit/s?**

USB 3.1 Gen 1 = USB 3.0 + 5 GBit/s

USB 3.1 Gen 2 = USB 3.1 + 10 GBit/s

Zur allgemeinen Verwirrung ist in der Spezifikation von USB 3.1 ein kleine Gemeinheit eingebaut. Dort steht, dass Geräte mit USB 3.0 und 5

GBit/s mit "USB 3.1 Gen 1" gekennzeichnet dürfen. Das verwirrende daran ist, dass USB 3.0 mit 5 GBit/s (SuperSpeed) und USB 3.1 mit 10 GBit/s (SuperSpeedPlus) gleichgesetzt wird. Doch "USB 3.1 Gen 1" ist eben nur USB 3.0 mit 5 GBit/s. Echtes SuperSpeedPlus mit 10 GBit/s gibt es nur mit "USB 3.1 Gen 2".

## USB-C-Stecker

Der USB-C-Stecker und die dazugehörigen Kabel sollen den Wildwuchs bei den USB-Steckern und -Kabeln beseitigen. Hier gibt es nicht nur A- und B-Stecker, sondern auch die vielen Mini- und Micro-Stecker, sowie jeweils unterschiedliche Varianten für USB 2.0 und 3.0.

Der C-Stecker ist für USB 2.0, 3.0 und auch 3.1 gemacht. Die Kabel vertragen bei 5 V bis zu 5 A. Mit speziellen Kabeln für USB Power Delivery (USB-PD) ist bei einer höheren Spannung eine Gesamtleistung bis zu 100 W zulässig.

Damit sich der C-Stecker auch für mobile Geräte eignet hat er eine Abmessung von 8,25 x 2,4 mm. Die Buchse ist 8,34 x 2,56 mm groß. Das entspricht ungefähr einem USB-2.0-Micro-Anschluss, der bei Smartphones verwendet wird. Damit die korrekte Orientierung nicht mehr zur Qual wird, passt der C-Stecker auch in umgekehrter Steckposition.

Eine kurze Übersicht mit den wichtigsten Merkmalen des USB-C-Steckers:

- Der C-Stecker ist so konstruiert, dass es egal ist, wie herum er in die Buchse gesteckt wird. Man kann den C-Stecker nicht mehr falsch herum stecken.
- Der C-Stecker wird auf beiden Seiten eines Kabels verwendet. So kennt man es auch von anderen Steckverbindungen, wie HDMI, DisplayPort und RJ45.
- Der C-Stecker ist mit allen anderen USB-Steckverbindungen nicht kompatibel. Allerdings gibt es Adapter, die zu USB 2.0 abwärtskompatibel sind.
- Der C-Stecker hat in etwa die Größe eines Micro-USB-Steckers (USB 2.0) und ist somit auch für mobile Geräte geeignet.
- Der C-Stecker ist für 100 Watt Leistung ausgelegt. Die Kabel sollen sich mit Power Delivery (USB-PD) für das Laden von Notebooks eignen.

## Alternate Modes

Die Verwendung des USB-C-Steckers soll nicht nur auf USB-Datentransfers beschränkt bleiben. Der USB-C-Stecker soll künftig weiteren Schnittstellen als Steckverbindung dienen. Zum Beispiel dem DisplayPort oder Thunderbolt 3.

Offiziell dürfen andere Organisationen die zur Verfügung stehenden Kontakte für alternative Betriebsformen (Alternate Mode) nutzen. Das bietet sich allein deshalb an, weil der C-Stecker mehr Pins hat, als für den USB-Datentransfer nötig ist. Der C-Stecker besitzt 2 differenzielle Lanes, die normalerweise für den SuperSpeed- und SuperSpeedPlus-Datentransfer verwendet werden. Man kann beide aber auch für einen DisplayPort oder eine PCIe-x2-Verbindung verwenden.

Das Standardisierungsgremium VESA möchte den C-Stecker für die Übertragung von DisplayPort-Signalen nutzen. Denkbar ist auch ein Parallelbetrieb von USB und DisplayPort bzw. PCIe. Das Weiterleitung des DisplayPorts ist aber nur in Kombination mit integrierter Grafik sinnvoll. Damit zieht USB mit Thunderbolt funktional gleich. Denkbar ist auch, dass die freien Adern über Adapter für analoge Audiokanäle verwendet werden.

## USB-PD - USB Power Delivery

USB-PD ist eine Spezifikation um über USB-Steckverbindungen elektronische Geräte aufzuladen. Der Standard USB-PD ist dafür vom eigentlichen USB-Standard unabhängig.

Bei Handys und Smartphones ist das Laden von Akkus per USB-Kabel normal. Bei Tablets dauert das Laden aber schon relativ lange. Bei Notebooks ist das Laden per USB praktisch nicht möglich. Mit USB Power Delivery sollen in Zukunft auch Tablets und Notebooks per USB geladen werden. Dabei berücksichtigt USB-PD die Laderichtung der miteinander verbundenen Geräte.

Die Stromversorgung über den USB war in der Vergangenheit immer problematisch. Und mit USB-PD wird sich das nicht ändern. Es lässt sich schwer beurteilen, wie gut die Aushandlung von Spannung und Strom zwischen den Geräten unterschiedlicher Hersteller gelingt. Abhängig von Gerät, Netzteil und Kabel werden einige Geräte zwar laden, aber dann nur langsam. Ohne eine Spannung über 5 Volt sind nur maximal 15 Watt

möglich. Dass das Laden nur mit 3 Ampere möglich ist, dafür reicht schon das falsche Kabel. Es bedarf eines aktiven USB-Kabels mit elektronischen Komponenten im C-Stecker, damit mehr als 3 Ampere durchgeleitet werden dürfen.

## Übersicht: Stromversorgung über den USB

Über die Kabelverbindungen versorgt der USB einfache Geräte, wie Maus, Tastatur und Flachbett-Scanner mit Strom. Abhängig vom Standard reicht die Leistung von 500 mW, 2,5 bis 4,5 und 7,5 Watt. Leider ist das in der Regel zu wenig, um USB-Geräte mit ausreichend Strom zu versorgen. Deshalb werden viele USB-Ports außerhalb der zulässigen Leistungswerte betrieben

Um die bei der Stromversorgung auftretenden Probleme zu lösen, wurde mit USB Power Delivery (USB-PD) eine Spezifikation zur Stromversorgung über den USB herausgebracht. So kann man einem Gerät über eine USB-C-Steckverbindung bis zu 100 Watt Leistung liefern. Zum Beispiel zum Laden eines Notebooks.

- USB 1.1 erlaubt nur 500 mW. Das heißt, bei 5 Volt dürfen die Geräte höchstens 100 mA Strom ziehen.
- Bei USB 2.0 sind 2,5 Watt erlaubt. Das heißt, bei 5 Volt dürfen die Geräte 500 mA Strom ziehen. Für Tastaturen, Mäuse und USB-Sticks reicht das aus. Aber nicht für externe Festplatten. Trotzdem ziehen einige Geräte einen höheren Strom. Entweder liefert das Motherboard mehr Strom oder man arbeitet mit Y-Adaptern, die eigentlich verboten sind.
- Bei USB 3.0 sind 4,5 Watt erlaubt. Das heißt, bei 5 Volt dürfen die Geräte 900 mA Strom ziehen, was das Problem mit der Stromversorgung über den USB meistens löst, aber nicht immer.
- Mit USB Battery Charging (USB-BC) kommt ein Modus hinzu, der bis zu 7,5 Watt erlaubt, was bei 5 Volt 1,5 Ampere pro Port ermöglicht. Damit ist das Laden von Smartphones und Tablets über den USB möglich. Die Grenze von 7,5 Watt ist allerdings nicht willkürlich festgelegt. Für mehr sind die alten USB-Stecker nicht ausgelegt.
- Mit USB Power Delivery (USB-PD) gibt es ein Protokoll, bei dem die elektronisch markierten Kabel (integrierter Chip) aushandeln, wie viel Strom über das Kabel übertragen werden darf. Das heißt, die Quelle liefert dem Verbraucher die möglichen

Spannungs- und Stromwerte. Der Verbraucher sucht sich davon etwas aus und fordert das von der Quelle an. Erst dann schaltet die Quelle die Spannung auf die entsprechenden Pins. Grundsätzlich dürfen Quellen auch andere Werte, als die in der USB-PD-Spezifikation angegebenen Werte liefern. Aber maximal nur 5 Ampere bei 20 Volt, also maximal 100 Watt.

- Die Spezifikation des USB-C-Steckers kennt aber auch noch ein vereinfachtes Verfahren für bis zu 7,5 Watt bei normalen und 15 Watt mit aktiven Kabeln.

Spezifikation	Spannung	Strom	Leistung
USB 1.0/1.1	5 Volt	0,1 A	0,5 W
USB 2.0	5 Volt	0,5 A	2,5 W
USB 3.0/3.1	5 Volt	0,9 A	4,5 W
USB-BC 1.2	5 Volt	1,5 A	7,5 W
USB-Typ-C	5 Volt	3 A	15 W
USB-PD	5 bis 20 Volt	5 A	100 W

### USB Power Delivery mit bis zu 100 Watt

Profil	Spannung	Strom	Leistung	Endgeräte
1	5 V	2 A	10 W	Standard-Profil für die Inbetriebnahme, kleine mobile Geräte, Endgeräte, Smartphones, Handys, usw.
2	5 V 12 V	2 A 1,5 A	18 W	Tablets, kleine Notebooks zukünftige Endgeräte
3	5 V 12 V	2 A 3 A	36 W	Kleine Notebooks, größere Endgeräte

4	5 V	2 A	60 W	Große Notebooks, Hubs, Docking-Stationen
	12 V	3 A		
	20 V	3 A		
5	5 V	2 A	100 W	Workstations, Hubs, Docking-Stationen
	12 V	5 A		
	20 V	5 A		

Die Spezifikation sieht fünf Profile für unterschiedliche Einsatzzwecke vor. Profil 1 entspricht den heutigen 10-Watt-Netzteilen (5 V mit maximal 2 A) und ist das einzige Profil, welches mit den üblichen USB-Kabeln realisierbar ist. Die höheren Profile benötigen spezielle Kabel, die für höhere Spannungen und Ströme ausgelegt sind.

Die Profile 2 und 3 bieten zusätzlich zur Standardspannung von 5 Volt auch 12 Volt mit maximal 3 A, die Profile 4 und 5 darüber hinaus auch 20 Volt mit maximal 5 A (100 Watt).

Hinweis: Über Micro-USB-Steckverbinder gehen maximal 3 Ampere (bei 5 Volt). Über normalgroße Steckverbinder (A- und B-Stecker) 5 Ampere (bei 5 Volt). USB-PD setzt im hohen Leistungsbereich eine USB-C-Steckverbindung bei beiden Kabelenden voraus.

## USB-PD-Topologie

Damit sich ein Smartphone an einem Notebook auflädt, und nicht umgekehrt, gibt es eine definierte Flussrichtung, die unabhängig vom Betriebssystem und Betriebszustand funktioniert. Auf diese Weise lassen sich auch ausgeschaltete Geräte laden.

Dazu sieht USB-PD Stromlieferanten (Provider), Konsumenten (Consumer) und Kombigeräte vor. Die lassen sich in einem USB-Baum beliebig verteilen. Ladeflussrichtung und Maximalleistung des Profils werden pro Kabelverbindung individuell ausgehandelt.

Damit das Gebilde auch mit älteren Geräten funktioniert, sind USB-A-Buchsen zuerst Provider und USB-B-Buchsen Consumer. Sofern nichts dagegen spricht, stellt sich die Ladeflussrichtung automatisch um.

# IEEE 802.3 / Ethernet

Ethernet ist eine Familie von Netzwerktechniken, die vorwiegend in lokalen Netzwerken, aber auch zur Verbindung großer Netzwerke zum Einsatz kommt.

Für Ethernet gibt es eine Vielzahl an Standards, für die das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) verantwortlich ist. Seit der Einrichtung einer Arbeitsgruppe für den Standard eines lokalen Netzwerks ist der Name Ethernet das Synonym für alle unter der Arbeitsgruppe 802.3 vorgeschlagenen und standardisierten Spezifikationen.

## Übertragungsmedium und Netzwerk-Topologie

Das ursprüngliche Ethernet nutzte ein Koaxialkabel als Übertragungsmedium. Dabei wurde mit einem Kabel jeweils eine Station mit mehreren anderen Stationen verbunden. Das Netzwerk wurde dann als sogenannter Bus aufgebaut. Jeweils am Kabelende wurde die Kabelstrecke mit einem Widerstand abgeschlossen.

Wegen den Nachteilen von Netzwerken mit der Bus-Topologie und dem Koaxialkabel wurde Ethernet um den Einsatz von Twisted-Pair-Kabel der Kategorie 3 und 5 (UTP) erweitert. Es handelt sich dabei um 8-adrige Kabel, deren Adern jeweils paarweise verdreht sind. Die Leitungsführung ist als Stern-Topologie aufgebaut. Am zentralen Punkt arbeitet ein Hub oder Switch als Verteilstation. Twisted-Pair-Kabel dürfen allerdings nur eine Länge von 100 Metern haben, was es für die Vernetzung von Gebäuden oder als Backbone ungeeignet macht. Aus diesem Grund wurde Ethernet auch für Glasfaserkabel standardisiert. Heute spielt das Koaxialkabel keine Rolle mehr. Für Neuinstallationen werden generell Twisted-Pair-Kabel eingesetzt. Zur Überbrückung von längeren Strecken wird Glasfaserkabel verwendet.

## Übersicht: Standards und Übertragungsgeschwindigkeit

- IEEE 802.3u / Fast-Ethernet mit 100 MBit/s
- IEEE 802.3z / Gigabit-Ethernet mit 1.000 MBit/s (1 GBit/s)
- IEEE 802.3an / 10-Gigabit-Ethernet mit 10.000 MBit/s (10 GBit/s)

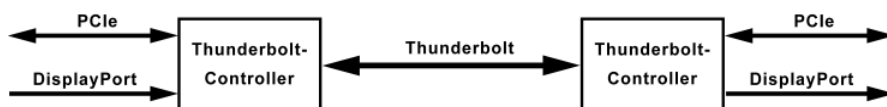


# Thunderbolt

Thunderbolt ist eine externe Universal-Schnittstelle mit zwei DisplayPort-Kanälen und einem PCIe-x4-Kanal für Erweiterungen. Thunderbolt bildet damit einen Tunnel für PCIe und DisplayPort und erreicht eine Geschwindigkeit von 10 bzw. 20 GBit/s.

Ursprünglich wurde Thunderbolt von Intel unter dem Namen Light Peak als optische Schnittstelle entwickelt. In leicht veränderter Form wurde die Technik auf Kupferkabel adaptiert und mit Hilfe von Apple als Nachfolger von FireWire auf den Markt gebracht.

## Übertragungstechnik



Thunderbolt bildet einen gemeinsamen Tunnel für die PCIe- und DisplayPort-Signale. Die Signale werden beim Eintritt in den Thunderbolt-Controller von der PCIe-Codierung 8b10b in die 64b66b-Codierung umgewandelt. Dabei entstehen zwangsläufig größere Datenblöcke. Vom Thunderbolt-Host-Adapter wird das Thunderbolt-Signal über die Mini-DP-Buchsen und Mini-DP-Kabel an das Peripherie-Gerät übertragen. Die miteinander verbundenen Thunderbolt-Chips arbeiten mit einem synchronen Taktsignal, um Laufzeitprobleme zu vermeiden. Für die Übertragung stehen zwei Vollduplex-Kanäle mit je 10 GBit/s pro Kanal bereit. Das bedeutet eine Datenrate von 20 GBit/s in beide Richtungen. Die Übertragung erfolgt mit 10,3125 GBit/s brutto und einer 66/64-Bit-Codierung, also 10 GBit/s netto (Berechnung:  $10,3125 \text{ GHz} / 66 \times 64 = 10 \text{ GBit/s}$ ).

## Buchsen, Stecker und Kabel für Thunderbolt

Als Steckverbinder kommen modifizierte Mini-DisplayPort-Steckverbinder zum Einsatz, die mit den üblichen Mini-DisplayPort-Steckern kompatibel sind und sich somit auch für flache Notebook-Gehäuse eignen. Thunderbolt-Kupferkabel überbrücken bis zu 3 Meter und liefern auch die Stromversorgung für die Peripherie-Geräte. Thunderbolt erkennt man am Blitz-Symbol an der Mini-DisplayPort-

Buchse und -Stecker. Daran erkennt man, dass nicht nur DisplayPort-Signale, sondern auch ein PCIe-Signal herauskommt. Beim Anschluss eines herkömmlichen DisplayPort-Kabels liefert die Thunderbolt-Schnittstelle automatisch DisplayPort-Signale, wenn daran ein DisplayPort-Display angeschlossen ist.

Thunderbolt-Buchsen müssen sowohl DisplayPort- als auch PCIe-fähig sein. Nur dann darf sich dieser Anschluss Thunderbolt nennen.

In den Steckern der Thunderbolt-Kabel stecken spezielle Transceiver-Chips, die die schnelle Übertragungsrate ermöglichen. Hierbei muss man berücksichtigen, dass die Kabel für eine bestimmte Thunderbolt-Version hergestellt wurden und die gerade aktuellen Thunderbolt-Transceiver die Geschwindigkeitssteuerung der nächsten Version nicht mitmachen.

## **Thunderbolt 2 (20-GBit-Modus)**

Beim 20-GBit-Modus werden beide Thunderbolt-Kanäle, die bislang je 10 Gigabit an Daten pro Sekunde übertragen, zu einem 20-GBit/s-Kanal gebündelt. Das bedeutet, dass in Summe nicht mehr Daten pro Sekunde übertragen werden als bisher. Durch die Bündelung ist es möglich, ein 4K-Display anzubinden um 4K-Videodaten zu übertragen. Der 20-GBit-Modus arbeitet mit denselben Steckverbindungen und Kabeln wie bei Thunderbolt 1.

In der Praxis spricht man davon, dass Thunderbolt 2.0 bis zu 1.300 MByte/s erreicht. Im Vergleich dazu schafft USB 3.0 nicht mehr als 400 MByte/s.

## **Thunderbolt 3**

Die wesentliche Änderung von Thunderbolt 3 ist der PCI Express 3.0 und die damit verbunden deutlich höheren Leistungen mit bis zu 40 GBit/s. Es soll möglich sein, zwei 4K- bzw. UHD-Displays hintereinander über ein einziges Kabel anzuschließen (DisplayPort 1.2 und HDMI 2.0). Zusätzlich sollen zum Laden von Akkus und Mobilgeräten bis zu 100 Watt Leistung übertragen werden.

# VGA-Anschluss

VGA steht für Video Graphics Array. Es handelt sich dabei um einen Grafikkarten-Standard. Als dieser Standard eingeführt wurde, war auch ein Anschluss für Monitore vorgesehen, der VGA-Anschluss. Obwohl die heutigen Grafikkarten keine VGA-Grafikkarten mehr sind, hat sich der VGA-Anschluss zur Übertragung von analogen Bildsignalen lange Zeit gehalten.

Hinweis: Die Bezeichnung VGA-Anschluss ist nur bedingt richtig. Für den VGA-Anschluss wird meist ein D-Sub-Stecker verwendet. Eine Variante der Bauform dieses Steckers wird auch für LPT-, COM- (Parallel und Seriell) und andere Schnittstellen verwendet. Den Sub-D-Stecker, der für VGA-Anschlüsse verwendet wird, erkennt man an den 15 Stiften im Innenteil des Steckers. Es gibt aber auch VGA-Kabel, die auf der Monitorseite 5 BNC-Stecker haben. Der VGA-Anschluss darf eigentlich nicht mit der Stecker-Form oder der Übertragungstechnik in Verbindung gebracht werden. In der Praxis nimmt man es damit aber nicht so genau.

Nach den Plänen von AMD, Intel, LG und weiteren Computer- und Bildschirm-Herstellern, soll der VGA-Anschluss spätestens im Jahr 2015 nicht mehr hergestellt werden. An dessen Stelle sollen nur noch die digitalen Ausgänge DisplayPort oder HDMI verbaut und verwendet werden.

## Was die Bezeichnung VGA in der Computertechnik bedeuten kann:

- Ein Grafikkarten-Standard für einen IBM-kompatiblen PC.
- Ein analoger Bildschirmanschluss für VGA-Grafikkarten mit Sub-D-Stecker/-Buchse.
- Eine Bildschirmauflösung von 640 x 480 Bildpunkten (Pixel) und davon weitere abgeleitete Auflösungen (SVGA, QVGA, WVGA, ...), die mit dem VGA-Signal, der VGA-Grafikkarte und dem VGA-Anschluss nichts zu tun haben.

## Übertragungstechnik

Die Übertragung zwischen Grafikkarte und Bildschirm erfolgt mit analogen Signalen auf 5 Leitungen. Jeweils eine Leitung dient für die Übertragung einer der 3 Grundfarben (RGB) und zwei für die vertikale und horizontale Synchronisation. Die Intensität und damit die Anzahl der Farben bestimmt die stufenlos regelbare analoge Spannung auf den Signalleitungen. Das ist auch der Grund, warum die Leitungslänge die maximale Auflösung begrenzt.

Die VGA-Schnittstelle hat den Nachteil, dass die analogen Signale bei langen Kabeln oder minderwertigen Anschlüssen und Kabeln schlechter werden, was sich auf die Bildqualität niederschlägt. Außerdem sind sie für hohe Auflösungen nur bedingt geeignet.

### Anwendungen

Der analoge VGA-Anschluss wird immer noch verwendet, obwohl sich DVI, HDMI und DisplayPort als digitale Video- und Grafikschnittstellen durchgesetzt haben. Aber, alte Röhrenbildschirme, billige Flachbildschirme und Beamer werden immer noch über die alte VGA-Schnittstelle mit Bildsignalen gespeist.

Der große Vorteil von VGA. Bei nur geringen Auflösungen, z. B. Beamer-Projektionen, kann man mit einem sehr hochwertigen Kabel bis zu 15 m oder mehr überbrücken. Das geht mit DVI, HDMI und DisplayPort nicht. Außerdem verfügen nicht alle Notebooks über einen digitalen DVI-Anschluss. Und deshalb brauchen Beamer immer noch einen VGA-Anschluss.

## DVI - Digital Visual Interface

DVI ist eine Schnittstelle für die Übertragung von analogen und digitalen Bildsignalen von einem Computer zu einem Flachbildschirm. Die alte VGA-Schnittstelle für analoge Signale gilt immer noch und wird auch für Flachbildschirme verwendet.

Die Besonderheit von DVI ist die Übertragung von digitalen Signalen und die damit einhergehende bessere Bildqualität. Die VGA-Schnittstelle hat den Nachteil, dass die analogen Signale bei längeren oder schlechteren Anschlusskabeln schlechter werden, was sich auf die Bildqualität niederschlägt. Der Vorteil von DVI ist, dass die digitalen Bildsignale der

Grafikkarte nicht in analoge Bildsignale umgewandelt werden müssen, sondern direkt ohne Qualitätsverlust an den digital arbeitenden Flachbildschirm übergeben wird.

## **DVI-Varianten**

Die DVI-Stecker teilen sich in zwei Bereiche. Einmal der digitale Teil mit bis zu 24 Pins und der analoge Teil mit bis zu 5 Pins, wobei ein Pin immer vorhanden ist und wie ein breiter Stift aussieht. Wenn man auf den Stecker schaut, dann ist er links zu sehen. Um ihn herum sind die analogen RGB-Pins angeordnet. Man nennt diesen Teil des Steckers auch Microcross.

- DVI-I (integrated) überträgt analoge wie auch digitale Signale. Es gibt sie in den Varianten 18+5 (Single Link) und 24+5 (Dual Link).
- DVI-D (digital) überträgt ausschließlich digitale Signale. Es gibt sie in den Varianten 18+1 (Single Link) und 24+1 (Dual Link).
- DVI-A (analog) überträgt ausschließlich analoge Signale. Diese Variante kommt aber nur selten vor.

## **HDMI - High Definition Multimedia Interface**

HDMI ist eine digitale Schnittstelle zur Übertragung von kopiergeschützten, hochauflösenden, digitalen Video- und Audio-Daten. HDMI verbindet Abspielgeräte, wie Tuner und Player mit Wiedergabegeräten, wie Flachbildschirme, Lautsprecher und Projektoren. In der einfachsten Konstellation verbindet HDMI DVD- und Blu-ray-Player mit einem Fernseher.

Um den Anforderungen der Unterhaltungselektronik-Industrie gerecht zu werden, wurde DVI zur HDMI-Schnittstelle weiterentwickelt. HDMI ist zu DVI abwärtskompatibel. Das bedeutet, DVI-Signale lassen sich mittels eines Adapters über HDMI übertragen. Aber umgekehrt, also HDMI-Signale über DVI, ist nicht möglich.

Obwohl HDMI eigentlich eine Schnittstelle aus der Unterhaltungselektronik ist, gibt es Grafikkarten, die HDMI-Buchsen haben. Aus diesem Grund ist die HDMI-Schnittstelle zumindest in Teilen auch in der Computertechnik relevant.

## HDMI, der SCART-Nachfolger

HDMI sollte als digitale Schnittstelle SCART ablösen. Doch leider ist HDMI nicht ansatzweise so durchdacht wie SCART. Beispielsweise unterstützt HDMI keine Aufnahmegeräte.

### 4K, UHD oder 2160p mit HDMI

Bei der Bezeichnung 4K handelt sich um eine Auflösung für TV und Video von 4.096 x 2.160 Pixel, die von der Digital Cinema Initiative (DCI) spezifiziert wurde. Es gibt allerdings auch Displays mit einer Auflösung von nur 3.840 x 2.160 Pixel, was man Ultra-HD (UHD) oder 2160p nennt. Das entspricht in etwa dem vierfachen einer Full-HD-Auflösung von 1080p bzw. 1.920 x 1.080 Pixel.

UHD bzw. 4K lässt sich bereits mit HDMI 1.4 übertragen. Allerdings ist die Bildwiederholrate auf 30 Hz (2160p30) bzw. 24 Hz (4K24) begrenzt (Hz = Bilder pro Sekunde, fps). Für die meisten Kinofilme ist das ausreichend. Sportveranstaltungen und Filme mit schnellen Action-Szenen benötigen schon 60 Bilder in der Sekunde, um eine ruckelfreie Übertragung von Ultra-HD zu ermöglichen. Für 2160p60 bzw. 4K60 ist deshalb HDMI 2.0 erforderlich.

Displays mit HDMI 2.0 gibt es schon länger. Aber nicht jede PC-Grafikkarte mit HDMI beherrscht auch HDMI 2.0. Ebenso kritisch ist die Situation in der Unterhaltungselektronik. Nicht jeder Blu-ray-Player beherrscht HDMI 2.0.

Damit sich HDMI-Kabel für 4K-Monitore eignen sollten Hinweise wie "4K", "UHD" oder "2160p" auf der Verpackung aufgebraucht sein. Nur dann hat man gute Chancen, dass sich das Kabel für eine 4K-Übertragung eignet. Ein gutes HDMI-Kabel macht sich also nicht am Preis fest. Wenn es dann mal nicht klappt, dann liegt es am TV-Gerät und nicht am Kabel. An einem anderen Gerät würde das Kabel funktionieren. Hier muss man anmerken, dass es einige empfindliche Geräte gibt, die nicht mit jedem HDMI-Kabel zusammenarbeiten wollen. Wenn ein TV-Gerät mehrere HDMI-Eingänge hat, dann kann man die der Reihe nach auszuprobieren. Eventuell funktioniert das Kabel an einem anderen HDMI-Eingang.

## Übertragungsgeschwindigkeit

HDMI überträgt Video- und Audiodaten mit einer Datenrate von bis zu 10,2 GBit/s (340 MHz) bei einer Single-Link-Verbindung.

Vorgesehen ist auch das Übertragen von Filmen mit einer Auflösung von bis zu 4K. Das sind Vollbilder mit einer Auflösung von 4.096 x 2.160 Pixel und einer Bildwiederholfrequenz von 30 Bildern in der Sekunde. Die Datenrate soll dabei unter 10,2 GBit/s bleiben.

Mit HDMI 2.0 überträgt HDMI Ultra HD (4K) mit 60 Bildern pro Sekunde mit einer Geschwindigkeit von 18 GBit/s. Weiterhin unterstützt die neue HDMI-Fassung die Übertragung von bis zu 32 Audiokanälen.

## DisplayPort

DisplayPort, kurz DP, ist eine Schnittstelle zur Übertragung von Audio- und Videosignalen zwischen Computer und Bildschirm. Verantwortlich für den DisplayPort-Standard ist die VESA (Video Electronics Standard Association). Dahinter stehen über 100 Firmen aus der Computer-Industrie. Entwickelt wurde der DisplayPort von AMD (ATI), Dell, Genesis, HP, Intel, Lenovo, Nvidia und Samsung.

Die Spezifikation von DisplayPort definiert ein digitales Übertragungsverfahren für Bild- und Audio-Signale, die dazugehörigen Steckverbindungen und Kabel. Außerdem gibt es eine Richtlinie für Adapter zu HDMI und DVI.

DisplayPort soll die Anschlüsse VGA und DVI ablösen. Während VGA noch für den Anschluss von Notebooks an Beamer oder von PCs an billigen Monitoren eine Rolle spielt, spielt DVI seit der Verfügbarkeit von DisplayPort keine Rolle mehr.

Während DVI auf 1.920 x 1.200 (Single Link ) bzw. 2.560 x 1.600 (Dual Link) Bildpunkte beschränkt ist, kann DisplayPort Bilddaten mit einer Auflösung von bis zu 5.120 x 2.880 Pixeln (5K) bei einer Bildwiederholrate von 60 Vollbildern pro Sekunde übertragen. 3D-Anwendungen mit Full-HD-Bildern bei 120 Hertz sind ebenso möglich.

### **Auflösung: 4K (UHD, 2160p), 5K und 8K**

Bei der Bezeichnung 4K handelt sich um eine Auflösung für TV und Video von 4.096 x 2.160 Pixel, die von der Digital Cinema Initiative (DCI)

spezifiziert wurde. Es gibt allerdings auch Displays mit einer Auflösung von nur 3.840 x 2.160 Pixel, was man Ultra-HD (UHD) oder 2160p nennt. Das entspricht in etwa dem vierfachen einer Full-HD-Auflösung von 1080p bzw. 1.920 x 1.080 Pixel.

DisplayPort 1.3 und Embedded DisplayPort 1.4a (eDP) eignen sich bereits für 5K- und 8K-Auflösungen. Am PC ist die Übermittlung von 4K-Inhalten und mehr kein Problem. Der DisplayPort bewältigt die Datenmenge problemlos. Unterstützung für HDCP 2.2 und Kompatibilität zu HDMI 2.0 ist ebenfalls vorhanden, was vor allem im Heimkino interessant ist. Insgesamt gibt es Bestrebungen den DisplayPort stärker in Fernsehern und mobilen Endgeräten zu integrieren. Hier ist aber nach wie vor HDMI vorherrschend.

### Übertragungsgeschwindigkeit, Auflösung und die Leitungslänge

Bei VGA, DVI und HDMI ist die nutzbare Auflösung immer auch von der Kabellänge anhängig. Beim DisplayPort ist es kein Problem Full-HD-Bilder über ein 15-Meter-Kabel zu schicken. HDMI und DVI sehen da einfach alt aus.

Standard	DP 1.1	DP 1.2	DP 1.3
Datenrate (netto)	8,64 GBit/s	17,28 GBit/s	25,92 GBit/s
Max. Auflösung	3.072 x 1.920	4.096 x 2.560 (4k)	5.120 x 2.880 (5k)

Für DisplayPort sind pro Kanal Übertragungsraten von 1,62, 2,7, 5,4 und 8,1 GBit/s vorgesehen. Welche Übertragungsrate verwendet wird, hängt maßgeblich von der Leitungslänge ab. Bei schlechter Verbindungsqualität schaltet der Sender zum Beispiel von 2,7 GBit/s auf 1,62 GBit/s zurück. Die maximale Leitungslänge liegt bei 7 bis 10 Meter. Prinzipiell gibt es auch längere Kabel. Allerdings hängt die mögliche Auflösung immer auch von der Anzahl und der Geschwindigkeit der Kanäle des Zuspilers (Grafikkarte) und des Abspielgeräts (Bildschirm) ab.



Geht man von einer Verbindung mit 4 Kanälen mit jeweils 2,7 GBit/s aus, dann erreicht man bis zu 10,8 GBit/s. Das sind netto 9,72 GBit/s (wegen der 8b/10b-Kodierung). Das reicht für ein WQXGA-Display mit 2.560 x 1.600 Bildpunkten bei 30 Bit Farbtiefe pro Pixel.

Erst bei einer höheren Auflösung braucht man mehr als zwei Kanäle. Mit 4 Kanälen zu 5,4 GBit/s wäre eine maximale Gesamtbandbreite von 21,6 GBit/s möglich. Mit vier Kanälen zu 8,1 GBit/s kann man 32,4 GBit/s brutto oder 25,92 GBit/s netto (nach Abzug des Übertragungs-Overhead) übertragen. Das reicht für eine Auflösung von 5.120 x 2.880 Pixeln (5K). Schließt man nur einen UHD-Monitor an, belegt dieser nur zwei der vier Kanäle. Auf den anderen beiden Kanälen lässt sich zum Beispiel SuperSpeed-USB nutzen und ein Dock per Thunderbolt anschließen.

## **Direct Drive**

DisplayPort hat noch einen weiteren Vorteil. Jedes Display-Panel, egal ob intern im Notebook oder extern im Monitor, kann über den DisplayPort direkt angesteuert werden. Das bedeutet, dass ein Display-Controller im Display entfallen kann. Denkbar wären reine digitale Monitore. Diese Monitore enthalten außer dem Netzteil und dem Display-Controller keinerlei Elektronik mehr. Der Controller erhält das Bildsignale direkt von der Grafikkarte aus dem DisplayPort. Diese Monitore sind günstiger und erlauben eine flachere Bauweise.

## **Kompatibilität zu VGA, DVI und HDMI**

Auch wenn VGA und DVI bestimmten Einschränkungen unterliegen, war den Entwicklern des DisplayPorts klar, dass es kaum möglich ist eine digitale Schnittstelle, ohne Kompatibilität zu anderen Schnittstellen, als industrieweiten Standard zu etablieren. Damit die Attraktivität des DisplayPorts voll zum Tragen kommt und ein Umschwenken von VGA, DVI und HDMI auf DisplayPort leichter ist, ist der DisplayPort elektrisch kompatibel zu den anderen Schnittstellen. Zum Anschluss von Geräten mit den Videoschnittstellen VGA, DVI oder HDMI. In der Regel reicht ein einfacher (fast) passiver Adapter.

Technisch wird das relativ einfach erreicht: Erkennt die Grafikkarte am DisplayPort-Ausgang ein Gerät mit einem DisplayPort-Eingang, dann werden die Signale im DisplayPort-Format gesendet. Wird auf dem Weg

zum Endgerät ein Adapter zwischengeschaltet erkennt die Grafikkarte eine andere Schnittstelle. Zum Beispiel VGA, DVI oder HDMI. Intern erzeugt die Grafikkarte dann ein Signal im richtigen Format und schickt es an den DisplayPort-Ausgang. Der Adapter sorgt dafür, dass die Signale zu den richtigen Kontakten geleitet wird. Speziell bei HDMI hebt er die Spannungspegel auf die richtigen Werte an. Hierbei nutzt er die Spannung, die zusätzlich über das DisplayPort-Kabel übertragen wird.

## **P-ATA / Ultra-ATA / EIDE**

EIDE bzw. ATA sind alte Schnittstellen für den Anschluss von Festplatten und Wechselspeicher-Laufwerken, wie CD-ROM, DVD oder Streamer in einem Computer. EIDE wurde von SATA abgelöst.

Die EIDE-Schnittstelle (Enhanced Integrated Drive Electronics) ist eine Weiterentwicklung des IDE-Standards. Die EIDE-Schnittstelle bezeichnet man auch als ATA-Schnittstelle. ATA steht für Advanced Technology (AT) Attachment. Die Bezeichnung EIDE wird nur noch selten verwendet. Mit dem Aufkommen von Serial ATA (S-ATA) wurde die Bezeichnung P-ATA immer gebräuchlicher. Wobei das P für parallel steht.

Hinweis: Bei EIDE und ATA muss man noch etwas Grundsätzliches unterscheiden, bevor man sie in einen Topf wirft. EIDE definiert den Anschluss der Laufwerke, wie Pinbelegung, Stecker, Kabel und elektrische Signale. ATA definiert das Protokoll, mit dem die Daten über die Leitungen transportiert werden.

### **EIDE-Architektur**

EIDE und ATA unterstützen bis zu 4 Laufwerke und ermöglichen nicht nur den Anschluss von Festplatten, sondern auch von Wechselspeicher-Laufwerken (ATAPI), wie CD-ROM, CD-Brenner, DVD und Streamer.

# SCSI - Small Computer System Interface

SCSI ist ein Protokoll zur Steuerung der Kommunikation zwischen Massenspeicher und Controller. In seiner ursprünglichen Ausführung war SCSI auch ein Bus-System, das eine interne und externe Schnittstelle für Peripherie zur Verfügung stellte. Daran konnten Festplatten, CD-/DVD-Laufwerke, Brenner, Streamer und Scanner an einem Computer angeschlossen werden. Die Besonderheit dabei, gerätspezifische Eigenschaften verbleiben in den Geräten. Das Betriebssystem selber fragt nur die technischen Daten und veränderbaren Parameter ab.

SCSI besteht grundsätzlich immer aus zwei Teilen: dem Kabelbus, der das Kabel, die Stecker und die elektrischen Signale festlegt. Und das Software-Protokoll, das die Übertragung von Daten und den Zugriff auf den Bus regelt.

Für die physikalische Datenübertragung gibt es mehrere parallele und serielle Übertragungsmedien. Das Protokoll, das SCSI zugrunde liegt, wird auch für Fibre Channel, FireWire, ATAPI und SAS verwendet.

Auch wenn SCSI als Hardware-Schnittstelle heute keine Rolle mehr spielt, wird das Protokoll SCSI heute immer noch vielfach verwendet, wenn es um die Übertragung von Daten auf Massenspeicher geht. Beispielsweise SAS (Serial Attached SCSI), iSCSI und SCSI Express.

Grundsätzlich sind alle SCSI-Geräte und SCSI-Hostadapter zueinander kompatibel. Z. B. kann an einem Ultra-SCSI-Hostadapter durchaus ein Fast-SCSI-Gerät betrieben werden. Allerdings kann das Fast-SCSI-Gerät trotzdem nur 10 MByte/s übertragen. Alle anderen Geräte spricht der Ultra-SCSI-Hostadapter auf ihre bestimmte maximale Datenrate an. Mit Ultra-2-SCSI hat die Abwärtskompatibilität ein Ende. Generell lassen sich Ultra-2-Geräte an jedem anderen SCSI-Hostadapter betreiben. Aber nur mit der Maximalgeschwindigkeit des Hostadapters. Ältere SCSI-Geräte lassen sich auch am Ultra-2-Hostadapter betreiben. Dieser schaltet dann aber den Ultra2-Modus komplett ab, wenn ein nicht Ultra2-Gerät am Bus hängt. Das Ultra2-Gerät wird dann im Ultra-Wide-Modus betrieben.

## **Serial Attached SCSI (SAS)**

SAS nutzt die Übertragungstechnik von Serial ATA um SCSI- Kommandos zu übertragen. SAS und SATA sind elektrisch zueinander kompatibel. Sie unterscheiden sich nur durch das Dual-Porting, Full- Duplex, Adressierung von bis zu 128 Geräten, höhere Performance und die Zuverlässigkeit. Das alles bietet SAS.

Das Dual-Porting erlaubt den Anschluss einer SAS-Festplatte an zwei unterschiedlichen Systemen gleichzeitig. Kabellängen bis zu 25 Metern sind möglich. SAS-Controller unterstützen auch SATA-Geräte umgekehrt allerdings nicht.

## **iSCSI-Standard**

Die Storage Networking Industry Association (SNIA) hat die Spezifikation des iSCSI-Standard fast fertiggestellt.

Die SNIA ist ein Zusammenschluss von mehr als 300 im Storage-Bereich aktiver Firmen.

iSCSI ist ein Protokoll, das die Übertragung von SCSI-Befehlen über ein TCP/IP-Netzwerk regelt. Dabei werden die SCSI-Kommandos in ganz normalen TCP-Paketen verschickt. Das Netzwerk muss sehr schnell sein, um akzeptable Datenraten hinzubekommen, weil die eigentlichen Daten mit drei Headern (IP, TCP, SCSI) versehen über die Leitung gehen. Dem gegenüber steht der Vorteil, jederzeit und überall auf Daten zugreifen zu können, wo ein Netzwerkanschluss vorhanden ist.

## **SCSI Express / SCSI over PCI Express (SOP)**

Bei SCSI Express werden die SCSI-Befehle über PCI Express übertragen. Der SCSI-Befehlssatz ist für die Zusammenarbeit mit SSDs erweitert und optimiert. Vereinfacht ausgedrückt ist SCSI Express = NVMe + SCSI. Der hauptsächliche Einsatz von SCSI Express findet in Servern und Workstations statt.

# SATA / Serial-ATA

Serial-ATA, kurz SATA oder S-ATA, ist eine Schnittstelle zum Anschluss von Massenspeichern, wie Festplatten und Wechselspeicher-Laufwerken. Schnittstellen für Massenspeicher waren ursprünglich immer Bussysteme mit parallel geführten Signalleitungen in Leiterbahnen und Anschlusskabeln. Mit zunehmender Übertragungsgeschwindigkeit ergaben sich technische Schwierigkeiten, die für die Übertragungsrate eine obere Grenze setzten. So blieb auch die ATA (EIDE)-Schnittstelle nicht davon verschont, dass sie auf eine seriellen Betriebsart umgestellt wurde.

Im Jahr 2000 setzten sich mehrere Firmen aus dem IT-Sektor zusammen, um eine Spezifikation über Serial-ATA (Seriellles ATA) zu erstellen. Im Jahr 2001 wurde die erste Version von Serial-ATA vorgestellt. Anfang 2003 waren bereits die ersten Controller und Festplatten erhältlich. Bis zur vollständigen Marktdurchdringung hat es noch bis zum Jahr 2004 gedauert.

Mit 150 MByte/s hat SATA direkt an die parallele EIDE-Schnittstelle (P-ATA) mit 133 MByte/s angeknüpft.

Die SATA-Schnittstelle unterstützt 1,5 GBit/s bei einer Nettodatenrate von ca. 150 MByte/s. Festplatten mit 10.000 Umdrehungen in der Minute (U/m) liefern rund 75 MByte/s an Daten. Mit SATA 6G erreichen herkömmliche Festplatten fast 500 MByte/s (Schreibgeschwindigkeit).

Bei den Festplatten hat sich die SATA-Schnittstelle sehr schnell durchgesetzt. Bei den optischen Laufwerken, wie CD-ROM und DVD blieb SATA lange Zeit uninteressant. Ein Umschwenken im Markt fand erst statt, als Intel bei seinen Chipsätzen auf die IDE/ATA-Schnittstelle verzichtete. Die Computer-Hersteller mussten sich entscheiden, ob sie einen zusätzlichen IDE-Controller oder SATA-Laufwerke einbauten. Da man damals noch nicht ohne ein optisches Laufwerk auskam, setzte sich die SATA-Schnittstelle auch bei optischen Laufwerken durch.

## SATA-Nachfolger

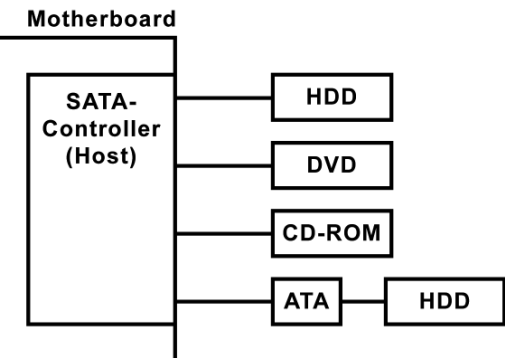
Zwar wurde SATA mit SATA-II und SATA 6G noch zwei mal auf maximal 600 MByte/s beschleunigt. Für Datenspeicher mit Flash-Memory (SSD, Solid State Drive) ist das aber nicht schnell genug. Allerdings gibt es SSDs, die Daten mit weit über 1.000 MByte/s lesen und schreiben

können. Dafür bedarf es auch einer Schnittstelle, die diese Datenmenge bewältigen kann. SATA kann das nicht leisten. Deshalb wird SATA durch SATA Express (SATAe) oder PCI Express (PCIe) als Massenspeicher-Schnittstelle abgelöst.

**Übersicht: SATA/SAS**

Schnittstelle	Transferrate	
SATA (SATA 1)	1,5 GBit/s	150 MByte/s
SATA II (SATA 2)	3 GBit/s	300 MByte/s
SATA 6G / SATA 600 (SATA 3)	6 GBit/s	600 MByte/s
SAS (SAS 1)	3 GBit/s	300 MByte/s
SAS 6G (SAS 2)	6 GBit/s	600 MByte/s
SAS 12G (SAS 3)	12 GBit/s	1.200 MByte/s

**Serial-ATA-Architektur**



Serial ATA verwendet bis zu vier geschaltete Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Das heißt, jedes Laufwerk bekommt seinen eigenen Kanal, das es nicht mit einem anderen Gerät teilen muss. Somit beschränkt sich der Installationsaufwand auf den Einbau der Laufwerke und das Anschließen der Kabel. Alte EIDE-/ATA-Geräte lassen sich über Adapter an den SATA-Controller anschließen.

## **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 die selben Kabel wie bei SATA-II verwendet werden. Zu empfehlen ist jedoch der Einsatz hochwertiger Kabel, um Datenintegrität und stabile Transferraten zu gewährleisten.

### **Streaming-Kommando für NCQ**

Ein neues Streaming-Kommando macht eine isochrone Datenübertragung möglich, wie sie von allen datenintensiven Anwendungen, wie zum Beispiel Video-Streaming benötigt wird.

# 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.

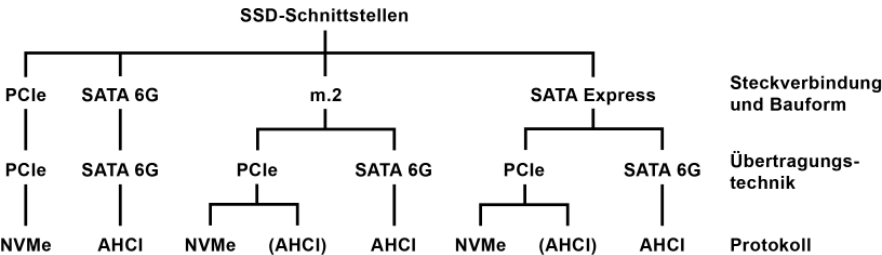
Allerdings gibt es SSDs, die Daten mit weit über 1.000 MByte/s lesen und schreiben können. Dafür bedarf es auch einer Schnittstelle, die diese Datenmenge bewältigen kann.

## 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.

### Übersicht: SSD-Schnittstellen





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

## **SATA 6G, SATAe, m.2 oder PCIe**

Mit SATAe, m.2 und PCIe in Verbindung mit NVMe können SSDs neue Geschwindigkeitspotentiale erschließen, die SATA 6G in den Schatten stellen.

Grundsätzlich beseitigen die Anschlüsse SATAe und m.2 den Flaschenhals SATA 6G. Der tatsächliche Unterschied liegt im wesentlichen in der Bauform und der Art des Steckverbinders. m.2 als kompaktes Speichermodul für die Montage auf dem Motherboard oder im Notebook und SATAe für SSDs in 2,5- oder 3,5-Zoll-Bauform mit der Anbindung per Kabel. Beiden ist gemeinsam, dass sie wahlweise PCIe (NVMe oder AHCI) oder SATA 6G (AHCI) beherrschen.

Was noch nicht sicher ist, welche Steckverbindung und Bauform sich durchsetzen wird. Kompakte SSDs in Form einer Speicherkarte mit m.2, die besonders für Notebooks geeignet und auch schon auf Motherboards für Desktop-PCs zu finden sind. Oder in Form klassischer Laufwerke mit SATAe, die sich am ehesten für herkömmliche Desktop-PCs eignen, deren Resonanz aber durchwachsen ist.

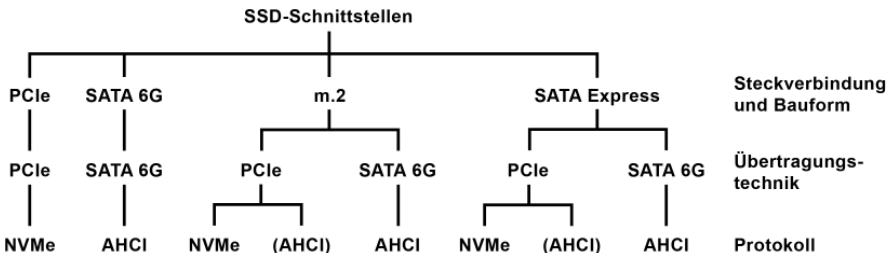
Es ist davon auszugehen, dass es sich bei SATAe und m.2 nur um Übergangslösungen handelt. Mittelfristig wird sich für SSDs der PCI Express als Standardschnittstelle durchsetzen.

## **SATAe - SATA Express**

SATA Express (SATAe) ist eine Massenspeicher-Schnittstelle für SSDs und der Nachfolger von SATA 6G. Dahinter steckt die Idee, auf die SATA-Schnittstelle für SSDs zu verzichten und statt dessen den PCI Express (PCIe) an die Erfordernisse von SSDs anzupassen. Dabei entsteht eine Kombination aus SATA und PCI Express. Auf diese Weise kann man SSDs über eine eigene Steckverbindung am PCI Express anschließen.

Bei SATA Express kümmert sich nicht SATA, sondern PCI Express um die physikalische Übertragung und beschränkt sich auf die Definition von Steckverbindern und Bauformen.

An den SATAe-Anschlüssen funktionieren auch herkömmliche SATA-Laufwerke. Der dafür eingesetzte Steckverbinder kann sowohl SATA- als auch PCIe-Signale verarbeiten.



Die per PCIe angebotenen SSDs können wahlweise die Protokolle AHCI oder NVMe/NVMe (NVM Express) verwenden. Momentan werden PCIe-SSDs noch als SATA-AHCI-Laufwerke erkannt. Da AHCI für herkömmliche Festplatten entwickelt wurde, wird es irgendwann von NVMe abgelöst. NVMe ist weitaus besser für die Ankopplung von Flash-Massenspeichern mit vielen internen Kanälen an Rechnern mit Multi-Core-Prozessoren ausgelegt als SATA-AHCI. Allerdings gibt es noch keine NVMe-Laufwerke für den Massenmarkt (Stand: Mitte 2014).

## Übertragungsgeschwindigkeit

Vorgesehen ist, dass SATA Express wahlweise eine, zwei oder vier PCIe-3.0-Lanes (x1, x2 oder x4) nutzen und darüber Daten mit 1 GByte/s pro Lane übertragen kann. Das bedeutet eine Datenrate von bis zu 4 GByte/s. Das bedeutet aber nicht, dass jede SATAe-SSD das unterstützt. Der Grund ist schlicht und einfach, dass die Anbindung des Chipsatzes für PCIe 3.0 zu gering ist und deshalb mit 2 PCIe-Lanes (PCIe x2) Version 2.0 bspw. nur insgesamt 1 GByte/s möglich ist.

Aktuelle Chipsätze (Mitte 2014) binden die beiden Schnittstellen mit zwei PCIe-2.0-Lanes an, was eine Datenrate von 1 GByte/s ergibt. Gegenüber SATA 6G mit nur 600 MByte/s profitieren vor allem SSDs von der höheren Übertragungsgeschwindigkeit.

## **SATA Express = SATA + PCI Express 3.0**

SATA Express (SATAe) ist vereinfacht ausgedrückt eine Kombination aus SATA und PCI Express.

Während einer Übergangsphase wird AHCI (Advanced Host Controller Interface) zum Einsatz kommen. AHCI ist ein herstellerunabhängiger Schnittstellen-Standard zur Ansteuerung von SATA-Adaptern.

Die Bezeichnung SATA Express ist im Prinzip eine reine Marketing-Bezeichnung und hat mit SATA nicht mehr viel zu tun. Die Übertragung erfolgt per PCIe.

Weil es keine Flash-Controller mit direkter PCIe-Anbindung gibt kommt in den Controllern eine PCIe-SAS-Bridge zum Einsatz. Dafür braucht man momentan hersteller- und betriebssystemspezifische Treiber. Abhilfe soll NVMe schaffen. Was bereits unter Linux funktioniert. Unter Windows gibt es nur einen einfachen Open-Source-Treiber.

## **SATA Express = NVM Express + PCI Express 3.0**

In Zukunft wird man auf die alten SATA-Elemente verzichten und auf die mit Non-Volatile Memory Express (NVM Express, NVMe) spezifizierten Konzepte setzen. Für PCs und Notebooks fehlen noch NVMe-Treiber in den Betriebssystemen und der UEFI-Firmware. Nur in Einzelfällen kommen in Servern oder Workstations bereits NVMe-SSDs zum Einsatz.

## **NVMe / NVM Express / Non-Volatile Memory Express**

NVM Express oder Non-Volatile Memory Express (NVMe) ist ein Protokoll für einen nichtflüchtigen Datenspeicher. Dabei handelt es sich in der Regel um einen Flash-Speicher, der unterschiedliche Bauformen haben kann. Zum Beispiel als Steckkarte oder eine Festplatte. NVM Express ist also ein Protokoll für SSDs mit direkter PCI-Express-Anbindung, die mit Universaltreibern unter verschiedenen Betriebssystemen funktionieren. Das bedeutet, SSDs werden zukünftig nicht mehr über die SATA-Schnittstelle mit dem Chipsatz verbunden, sondern direkt mit PCI Express und dem Protokoll NVM Express.

Ein erster Schritt ist die Spezifikation von Non Volatile Memory Express. Darin ist ein Host Controller Interface (NVMeHCI) definiert, der zwischen

PCI Express und den Besonderheiten von SSD-Speichern vermittelt. Die physikalische Übertragung bleibt dabei dem PCI Express vorbehalten, während NVMe die darüberliegenden Protokollschichten übernimmt. Unter anderem geht es darum, die vielen kleinen Einzelzugriffe zu großen Datentransfers zusammenzufassen, damit eine hohe Übertragungsrate möglich ist. Desweiteren kümmert sich NVMe darum Strom zu sparen, CPU-Ressourcen zu schonen und einen einheitlichen Treiber bereitzustellen. Dank eines Standard-NVMHCI-Treibers wird eine SSD in jedes Betriebssystem als Massenspeicher eingebunden.

## **Leistungsmerkmale**

SATA Express enthält optimierte Funktionen, damit PCIe-SSDs in Multi-Threading-Umgebungen mit Multi-Core-CPU's effizienter arbeiten. SATA Express stellt sicher, dass Threads auf einzelnen CPU-Kernen mit jeweils eigenen Interrupts laufen, ohne sich gegenseitig zu blockieren. Darüber hinaus legt die Spezifikation Standards für Datenverschlüsselung, Verwaltungsfunktionen und Fehlerbenachrichtigung fest.

## **RAID - Redundant Array of Independent Disk**

RAID-Systeme basieren Speicherkonzepte um Daten redundant zu speichern. In der Regel erreicht man dadurch eine Steigerung der Geschwindigkeit der Schreib- und Lesezugriffe (RAID-Level 0) oder die Verbesserung der Datensicherheit (RAID-Level 1). Das eigentliche Ziel beim Einsatz eines RAID's ist die Verfügbarkeit der Daten zu verbessern. In der Regel geht es darum, sich vor dem physikalischen Ausfall einer Festplatte zu schützen. Das erreicht man, indem man die Daten redundant auf mehreren Festplatten speichert, die zu einem logischen Laufwerk zusammengefasst sind.

Für spezielle Anforderungen, wo Datensicherheit und Geschwindigkeit gefragt sind, gibt es weitere RAID-Level, die aber nicht alle standardisiert sind. Der RAID- bzw. Redundanz-Level drückt aus, wie viele Festplatten ausfallen dürfen, bis das ganze RAID defekt ist.

## **Ein RAID kommt immer dann zum Einsatz, wenn folgende Ziele erreicht werden sollen:**

- Datensicherheit verbessern
- Geschwindigkeit steigern
- oder beides zusammen

In der Regel geht es bei einem RAID um die Verfügbarkeit der Daten. Das kann sich in der Datensicherheit, Geschwindigkeit oder in beidem ausdrücken.

## **Drei Dinge die man über RAID wissen muss**

1. Es gibt viele verschiedene Implementierungen für unterschiedliche RAID-Varianten. Nicht alle schützen die Daten ausreichend vor Hardware-Defekten.
2. Eine redundante Konfiguration macht nur dann Sinn, wenn es auf hohe Verfügbarkeit ankommt, die auch bei einem Plattendefekt erhalten bleiben muss.
3. Die oft beworbenen Geschwindigkeitsvorteile sind in der Praxis meist nicht relevant.
4. RAID ersetzt kein Backup.

## **RAID-Prinzip**

Ein RAID-Adapter oder eine RAID-Funktion fassen mindestens zwei oder mehr Festplatten zu einem logischen Verbund zusammen. Für ein Betriebssystem sieht dieser Verbund wie ein einziges Laufwerk aus, das besondere Eigenschaften besitzt, die ein einzelnes Laufwerk nicht hat. Die Daten werden nach einem fest definierten Schema auf alle Festplatten verteilt. Dabei erfolgt die Arbeit des RAIDs unauffällig im Hintergrund. Im Zusammenhang mit RAID und Speichersystemen (Storage) spricht man häufig von Arrays. Das ist die Bezeichnung von Festplatten, die zu einer logischen Einheit zusammengefasst sind.

## **Was kann ein RAID nicht?**

RAID hilft nur beim Ausfall einer Festplatte (nicht bei RAID 0). Wenn gleichzeitig eine zweite Festplatte ausfällt, dann hilft RAID nicht gegen

Datenverlust (außer RAID 6). Deshalb gilt es bei einem Festplattenausfall schleunigst Ersatz zu beschaffen. Insbesondere dann, wenn man mehrere Festplatten aus der gleichen Produktion einsetzt. Wenn eine Platte davon ausfällt, dann ist die Gefahr, dass eine andere auch den Geist aufgibt relativ groß.

Auch schützt ein RAID nicht vor Viren, Würmern oder versehentlichem Löschen von Dateien. RAID erhöht die Verfügbarkeit der Daten. Eine Datensicherung (Backup) ist trotzdem notwendig.

## RAID-Level

Mit RAID werden mehrere physikalische Festplatten zu einem großen logischen Laufwerk zusammengeschaltet. Die verschiedenen Möglichkeiten werden in RAID-Leveln definiert.

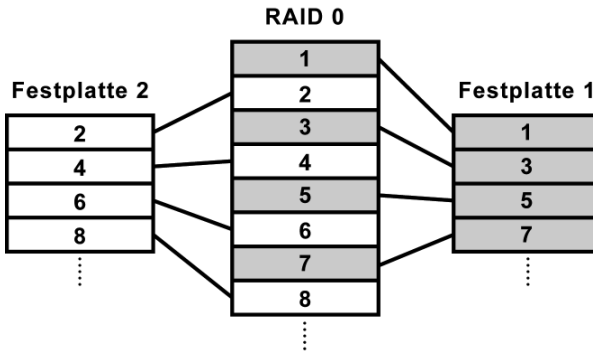
Offiziell gibt es 8 RAID-Level (0 bis 7), wobei nur die Level 0 bis 5 spezifiziert sind. Einige Hersteller haben weitere RAID-Level eingeführt, die in der Praxis aber nur in Ausnahmen eine Rolle spielen. So sind die RAID-Level 6 und 7 untereinander nur bedingt vergleichbar. In der Praxis haben sich die RAID-Level 0, 1 und 5 durchgesetzt und reichen aus, um die meisten Anforderungen abzudecken. Die RAID-Level 2, 3 und 4 spielen in der Praxis keine Rolle.

RAID-Level	Lesen	Schreiben	Sicherheit	Kapazität
RAID 0	++	++	--	+
RAID 1	++	+	++	--
RAID 5	+	-	+	-

Bewertungen sind ein Vergleich zu einer einzelnen Platte (neutral oder Null).

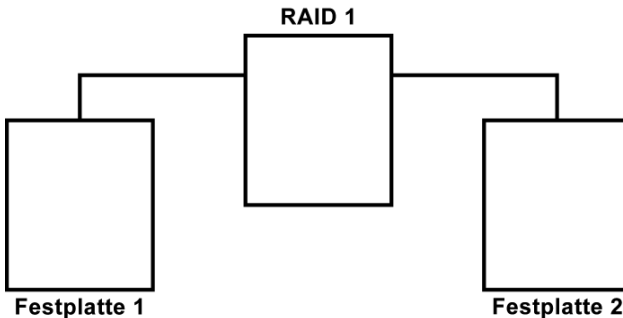
- RAID 0: Nicht ausfallsicher, dafür schnelle Lese- und Schreibgeschwindigkeit
- RAID 1: Ausfallsicher, aber teuer
- RAID 5: Ausfallsicher, je nach Controller langsame Schreibgeschwindigkeit

## RAID-Level 0



Der RAID-Level 0 ist ein Festplatten-Verbund von zwei oder mehr Festplatten. Die Transferrate und Speicherkapazität der einzelnen Festplatten lassen sich einfach aufaddieren. Die 0 im RAID-Level steht für Null Daten-Redundanz. Die Daten werden nur abwechselnd auf zwei oder mehr Festplatten verteilt. Dadurch erhöht sich die Geschwindigkeit beim Lesen und Schreiben. Fällt jedoch eine Festplatte aus, sind alle Daten weg.

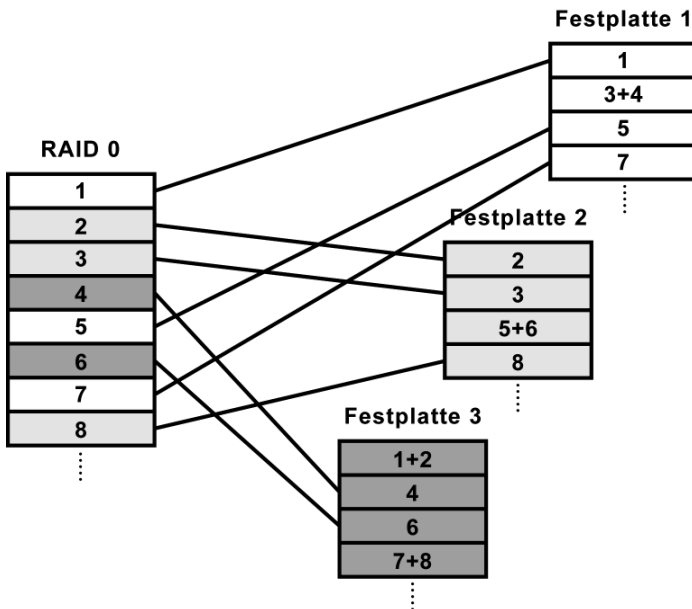
## RAID-Level 1



Der RAID-Level 1 ist ein Festplatten-Verbund von zwei oder mehr Festplatten. Bei RAID 1 werden die Daten doppelt, also mindestens auf zwei Festplatten gespeichert. Man bezeichnet das als Datenspiegelung oder Mirroring. RAID 1 bietet so den bestmöglichen Schutz vor Datenverlust durch Festplattenausfall. Und beim Lesen von Daten hat man annähernd die doppelte Datentransferrate wie bei einem einzelnen Laufwerk.

Aber, die Kapazität eines RAID-Laufwerks beträgt die Hälfte der eingesetzten Laufwerke. Man muss also doppelt so viel Geld ausgeben oder man hat nur halb so viel Speicherkapazität, wie bei einem Laufwerk. Doppeltes Laufwerk bedeutet auch doppelter Stromverbrauch und Kühlaufwand.

## RAID-Level 5



Der RAID-Level 5 ist ein Festplatten-Verbund von drei oder mehr Festplatten mit besonderen Eigenschaften, die eine einzelne Festplatte nicht hat.

Bei großen Datenmengen, die redundant gespeichert werden müssen, ist RAID 0 nicht akzeptabel und RAID 1 zu teuer, platzraubend und meistens überdimensioniert. Der RAID-Level 5 ist eine Weiterentwicklung aus den RAID-Levels 3 und 4. Wie bei RAID 0 werden die Daten in Blöcke und zusätzlich Paritätsblöcke über alle Festplatten verteilt.

Der RAID-Level 5 ist eine gute Kombination aus Datensicherheit und Speicherausnutzung. Bei 5 Festplatten beträgt die Speicherkapazität 80% von der Gesamtkapazität aller Festplatten.



Beim Ausfall einer Festplatte geht die Datentransferrate zurück, weil die Daten aus der Parität berechnet werden müssen.

## **RAID-Level 6**

Beim RAID-Level 6 wird wie bei RAID 5 ebenfalls mit verteilten Blöcken Paritätsblöcken gearbeitet. Zusätzlich wird ein Paritätslaufwerk verwendet, das über einen asynchronen Datenpfad und einen Cache verfügt. Bei RAID 6 werden also gleich zwei Paritätsblöcke gespeichert, so dass sich aus den Daten von verbliebenen Laufwerken die Daten rekonstruieren lassen. Während RAID 5 nur den Ausfall eines Laufwerks verkraftet, verträgt RAID 6 den Ausfall von zwei bei mindestens 4 Laufwerken.

## **Bluetooth (IEEE 802.15)**

Bluetooth ist eine standardisierte, universelle und lizenzfreie Funktechnik zum Übertragen von Sprache und Daten. Bluetooth ist in kleine mobile Geräte integriert und wird üblicherweise für Kurzstrecken verwendet. Bei der Entwicklung von Bluetooth wurde besonderen Wert auf geringe Störanfälligkeit, niedrigem Stromverbrauch, kleine Bauform und integrierte Sicherheitsmechanismen gelegt. Bluetooth ist so flexibel ausgelegt, das es andere Drahtlos-Techniken ablösen kann (z. B. DECT und IRDA). Jede Anwendung in einem Computer kann Bluetooth für die Datenübertragung nutzen.

Mit Bluetooth kann man bis zu 8 Geräte ohne Sichtverbindung aktiv miteinander verbinden (Piconet). Weitere 248 Geräte können sich anmelden, müssen aber passiv bleiben. Jedes dieser Geräte hat seine eigene individuelle 48-Bit-Adresse (MAC-Adresse), die weltweit einzigartig ist und zur Identifikation des Gerätes dient.

### **Übersicht: Bluetooth**

- Bluetooth 1.0/1.1/1.2
- Bluetooth 2.0/2.1
- Bluetooth 3.0+HS
- Bluetooth Low Energy / Bluetooth Smart (4.0/4.1/4.2)

## Übertragungsgeschwindigkeit

Der Bruttodurchsatz einer Bluetooth-Datenübertragung beträgt 1 MBit pro Sekunde. Ein asymmetrische Bluetooth-Verbindung hat eine Netto-Datenrate von 723,2 kBit/s in Download-Richtung und 57,6 kBit/s in Upload-Richtung. Die symmetrische Verbindung überträgt 432,6 kBit/s in jede Richtung, zusammen also 865,2 kBit/s. Unter guten Bedingungen sind bis zu 640 kBit/s in Download-Richtung möglich.

Mit EDR (Enhanced Data Rate) wird die Brutto-Datenrate auf bis zu 3 MBit/s erhöht. So sind Netto-Datenraten von bis zu 2 MBit/s möglich.

## Bluetooth in der Praxis

Für eine schnelle und flexible Verbindung zwischen verschiedenen Geräten verschiedener Hersteller ist Bluetooth eigentlich die optimale Lösung. Doch leider auch sehr bedienerunfreundlich.

Bluetooth setzt eine fehlerfreie Implementierung der Profile voraus. Leider ist das nicht immer gegeben, so dass oftmals keine Verbindung zustande kommt. Und wenn, dann nur ein einziges mal. Je nach Hersteller und Produkt hat man das Gefühl, dass die Umsetzung mit der heißen Nadel gestrickt ist. Inkompatibilitäten zwischen den Geräten unterschiedlicher und auch gleicher Hersteller sind normal. Zwar lassen sich mit Geduld und Experimentieren viele Probleme lösen. Doch leider wirkt das dann sehr instabil und in der Praxis bedingt einsetzbar. Anwender von Headsets und Freisprecheinrichtungen für Handys kennen das Problem besonders gut. Die Paarung der Geräte läuft selten automatisch. Häufig muss man erst ein Kennwort eingeben, dass man zuvor im anderen Gerät gesetzt haben muss. Ein schwer wiegender Makel von Bluetooth ist die Instabilität der Verbindungen. Erschwerend kommt hinzu, dass die Reichweite durch Wände und Decken drastisch abnimmt. In einen oder anderen Fall wäre eine Kabelverbindung sicherer und stabiler.

## Bluetooth 2.0 / 2.1

Bluetooth 2.0/2.1 ist eine Übertragungs- und Verbindungstechnik für Kurzstrecken. Typische Anwendungen finden sich in der Computer- und Kommunikationstechnik. Zum Beispiel um einen PC oder ein Handy mit einem Headset per Funk zu verbinden.

Herkömmliches Bluetooth mit der Version 1.0, 1.1 oder 1.2 beherrscht ausschließlich den Basic-Rate-Modus mit maximal 723,2 kBit/s. Für schnurlose Verbindungen für Synchronisieren, Drucken, Headset und manchmal auch Surfen, ist diese Übertragungsrate vollkommen ausreichend. In dieser Form ersetzt Bluetooth die Irda-Kommunikation (Infrarot) und Kabelverbindungen (z. B. USB). Doch sobald Bluetooth mehr als zwei Geräte miteinander verbindet und kleine Netzwerke mit mehreren Geräten entstehen und auch noch Audio- und Video-Daten übertragen werden, reicht die Bandbreite nicht mehr aus. Verzögerungen bei der Datenübertragung sind deutlich spürbar. Vor allem bei Echtzeit-Anwendungen mit Audio- und Video-Daten. Damit das etablierte Bluetooth nicht gleich wieder veraltet, wurde die EDR-Technik (Enhanced Data Rate) mit 1446,4 oder 2169,6 kBit/s entwickelt und in Bluetooth mit der Version 2.0 integriert.

## **EDR - Enhanced Data Rate**

EDR macht Bluetooth nicht nur schneller. EDR kann je nach Modus 1.446,4 oder 2.169,6 kBit/s übertragen und bleibt kompatibel zum Basic-Rate-Modus. Das ist möglich, weil die Verbindungsaufnahme und der Austausch der Verbindungsparameter ausschließlich im Basic-Rate-Modus vorgenommen wird. Und erst, wenn beide Stationen EDR-Leistungsmerkmale besitzen, wird in das EDR-Verfahren geschaltet. Hin und wieder wird in den Basic-Rate-Modus zurückgeschaltet, um den Nicht-EDR-Geräten auch eine Chance zur Datenübertragung zu geben. EDR hat den Vorteil, dass es auf der Anwendungsseite keinerlei Veränderungen bedarf. Die Anwendungen profitieren einfach vom schnelleren Übertragungskanal. Somit bekommen mehrere parallele Verbindungen genügend Kapazität, ohne Übertragungsverzögerungen zu provozieren. Vor allem Audio- und Video-Anwendungen brauchen viel Übertragungskapazität.

## **Bluetooth 2.1**

Die Version 2.1 bietet gegenüber den Bluetooth-Geräten mit der Version 2.0 verschiedene Verbesserungen. Dazu gehört eine einfachere Kopplung der Geräte, geringerer Stromverbrauch und eine höhere Sicherheit. Die Kopplung von Bluetooth-Geräten ist mit der Version 2.1 wesentlich einfacher. Wenn sich zwei Geräte in unmittelbarer Nähe befinden, dann

erfolgt die Paarung durch den Austausch der Sicherheitsschlüssel per NFC nach Tastendruck. Dazu reichen auch schon einfache passive NFC-Chips in den Bluetooth-Geräten. Aufwändige Anmeldeprozeduren und die Eingabe von Sicherheitscodes sind somit überflüssig. Leider gibt es noch keine Bluetooth-Produkte mit NFC-Unterstützung.

Um noch mehr Strom zu sparen, bekommen die Bluetooth-Geräte mit Sniff Subrating einen erweiterten Schlafmodus. Besonders Computer-Mäuse und Tastaturen, die mit Bluetooth verbunden sind, profitieren davon. Die Akkus dieser Geräte halten länger.

Trotz der Änderungen bleiben die Bluetooth-Geräte mit der Version 2.1 zu den Geräten mit der Version 2.0 abwärtskompatibel. Die neuen Fähigkeiten können aber nur zwischen den Geräten mit der neuen Version verwendet werden.

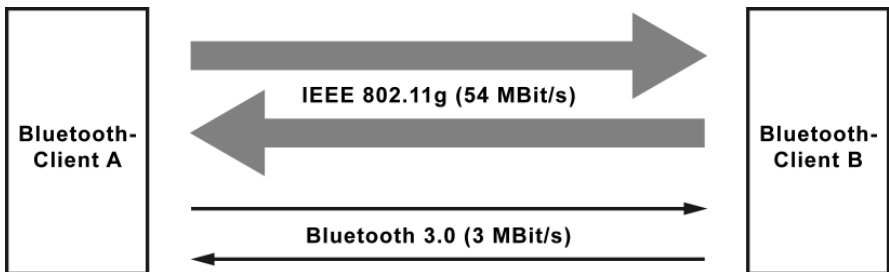
## **Bluetooth 3.0+HS**

Bluetooth 3.0+HS ist ein Kurzstreckenfunk für mobile und tragbare Geräte. Die Spezifikation wurde im April 2009 vorgestellt. Durch einen Highspeed-Modus ist Bluetooth 3.0+HS für die Übertragung von Fotos, Videos und Musik zwischen PC, Kamera, Camcorder und MP3-Player geeignet. Die Vorgänger-Versionen 1.0/1.1/1.2 und 2.0/2.1 von Bluetooth waren für die Übertragung von MByte-großen Dateien zu langsam.

### **Bluetooth mit WLAN-Technik**

Bluetooth 3.0+HS sieht als Basis eine 3-MBit-Funkverbindung vor, über die Steuerdaten und Sitzungsschlüssel übertragen werden. Wenn es darum geht, sehr große Datenmengen zu übertragen, dann wird auf den Highspeed-Modus umgeschaltet.

Um nichts Neues erfinden zu müssen, hat man kurzer Hand einfach auf die WLAN-Übertragungstechnik von IEEE 802.11g zurückgegriffen. Die arbeitet im selben Frequenzbereich, wie Bluetooth. Dabei ist kein Umweg über einen Access Point notwendig. Es handelt sich um einen Ad-hoc-Betrieb. Die Sendeleistung wird dabei an die Funksituation angepasst, so dass parallel betriebene WLAN-Funkzellen unbeeinträchtigt bleiben.



Mit Bluetooth 3.0+HS kommt das Beste aus der Bluetooth- und WLAN-Welt zusammen. Die WLAN-Geschwindigkeit und die herstellerübergreifenden Bluetooth-Profile werden miteinander kombiniert. Dafür setzt Bluetooth einen Ad-hoc-Modus ein, der nur die Verbindung mit WLAN-Technik zwischen zwei Geräten vorsieht. Eine Anmeldung an eine WLAN-Basisstation ist nicht möglich. Außerdem wird die WLAN-Komponente nur bei Bedarf zugeschaltet, wenn größere Datenmengen übertragen werden müssen.

### **Bluetooth 3.0+HS ist unabhängig von der Funktechnik**

In der neuen Spezifikation wurde die fixe Verbindung zwischen Protokollstapel und Funktechnik aufgehoben. So ist es möglich, dass die zahlreichen Bluetooth-Profile auf einer beliebigen Transport-Schicht aufgesetzt werden können. Dazu wurde ein Alternate MAC/PHY Manager (AMP) eingeführt, der je nach Anwendung zwischen verschiedenen Controllern wählen kann. Das Host Controller Interface (HCI) bringt Bluetooth mit 2.1+EDR schon mit. Über die Zwischenschicht AMP-HCI greift der AMP-Manager auf andere Funktechniken zu. In Bluetooth 3.0+HS sind die IEEE-Spezifikationen 802.11b/a/g berücksichtigt. Weil die Spezifikation 802.11n zum damaligen Zeitpunkt noch nicht verabschiedet wurde, konnte sie nicht berücksichtigt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass irgendwann die IEEE-Spezifikation 802.11n nachträglich in Bluetooth integriert wird.

# Bluetooth 4.0/4.1/4.2

## Low Energy / Bluetooth Smart

Bluetooth mit den Versionen 4.0, 4.1 und 4.2 wird auch als Bluetooth Low Energy (LE) oder Bluetooth Smart bezeichnet. Es handelt sich um eine sehr stromsparende Version von Bluetooth. Dadurch ergeben sich erstmals Anwendungen für ein Wireless-Personal-Area-Network (WPAN) in den Bereichen Gesundheit, Sport, Medizin, Unterhaltungselektronik, Heimautomation und Autoelektronik.

Bluetooth Smart spielt heute eine entscheidende Rolle bei Wearables, Spielzeug, Sportsensoren und Smartwatches, die an ein Smartphone gekoppelt werden.

Für die gehypte Hausautomatisierung fehlt Bluetooth noch die Mesh-Network-Fähigkeit. Mit Smartphones und Tablets hätten die Nutzer bereits die Fernbedienung.

Ursprünglich hatte Nokia Wibree als Ergänzung zu Bluetooth entwickelt. Es sollte alles können, was Bluetooth auch kann und das mit einem möglichst geringen Energieverbrauch. Wibree basiert auf Bluetooth, allerdings in einer abgespeckten Variante, die kleine und stromsparende Chips und Module erlaubt. Es wurde in Uhren, kabellosen Tastaturen und Sensoren eingesetzt.

Der Bluetooth Special Interest Group (SIG) ist irgendwann aufgefallen, dass Wibree ziemlich gut ins Bluetooth-Konzept passt. Deshalb hat man kurzerhand Wibree und Bluetooth fusioniert. Das Ergebnis ist Bluetooth 4.0.

Mit Bluetooth 4.0, 4.1 und 4.2 ist Bluetooth 3.0 nicht veraltet oder überflüssig, sondern bleibt weiterhin aktuell und wird für bestimmte Anwendungen um einen Niedrig-Energie-Modus ergänzt.

Allerdings ist Bluetooth 4.x nur bedingt abwärtskompatibel. Das gilt für normale Bluetooth-Geräte, nicht jedoch für spezielle Sender, die ausschließlich Low-Energy-Bluetooth beherrschen und demzufolge einen passenden Empfänger benötigen. Gemeint ist, dass ein Gerät, das nur Bluetooth 4.x beherrscht bei seiner Gegenstelle ebenfalls Bluetooth 4.x voraussetzt. Bluetooth 3.0 reicht nicht aus.

## **Bluetooth Low Energy**

Das klassische Bluetooth (bis Version 3.0) bietet im Prinzip nur ein Übertragungssystem an, das unterschiedliche Anwendungen und Geräte unterstützt. Leider ist der Stromhunger von Bluetooth recht hoch. Eingeschaltetes Bluetooth kann den Akku eines Smartphones sehr schnell leer saugen. Spezielle Low-Energy-Geräte ab Bluetooth 4.0 sind für Anwendungen ausgelegt, die in größeren Intervallen geringe Datenmengen übertragen. Um genau zu sein, nicht mehr als 220 kBit/s. Die angedachten Anwendungen brauchen auch nicht mehr. Das zeigt aber auch, dass Anwendungen, die eine höhere Datenrate brauchen, das gewöhnliche Bluetooth nutzen müssen. Das bedeutet aber auch, dass dann die Stromsparfunktionen von Bluetooth ab Version 4.0 nicht zum Tragen kommen.

Eine weitere Einschränkung von Bluetooth Low Energy ist die Reichweite von knapp 10 Meter. Darüber hinaus brechen die Verbindungen ab.

Die Low-Energy-Chips von Bluetooth ab 4.0 benötigen nur eine kleine Batterie um mehrere Jahre arbeiten zu können. Der Energiespareffekt wird durch die Verlagerung der Funktionen vom Host in den Controller hervorgerufen. Der Controller wickelt die Hintergrundkommunikation selbst ab und lässt den Host länger im Schlafmodus. Außerdem verringert ein schnellerer Verbindungsaufbau den Strombedarf.

## **Bluetooth Smart und Bluetooth Smart Ready**

Ein Gerät mit Bluetooth Smart entspricht einem Bluetooth-Funkmodul mit Low Energy (LE). Ein Gerät mit Bluetooth Smart Ready entspricht einem normalen Bluetooth-Gerät, das zusätzlich Low Energy beherrscht. Das sind dann typischerweise Smartphones. Reine Low Energy-Geräte sind Smartwatches, Sportsensoren und Aktivitätstracker, die sich mit einem Smartphone verbinden können. Es ist aber nicht möglich, dass sich Low-Energy-Geräte untereinander verbinden. Das können wiederum nur Smartphones, also Geräte mit Bluetooth Smart Ready.

## **Bluetooth 4.1**

Mit Bluetooth 4.1 wurden verschiedene Verbesserungen eingeführt. So kann jedes Gerät als Peripherie und Hub dienen. Auf diese Weise könnte eine Smartwatch Daten von einem Puls- oder Herzfrequenzsensor entgegennehmen.

Dann wurde die Kontrolle über Auf- und Abbau der Verbindung verbessert. Konkret soll das in der Praxis so aussehen, dass wenn die Verbindung abbricht, dann soll sie wieder aufgebaut werden, sobald wieder Funkkontakt besteht. Auf diese Weise können die Geräte zwischenzeitlich aufgezeichnete Daten übertragen und anschließend wieder in eine Live-Übertragung übergehen.

Integriert ist eine Unterstützung für IPv6 durch das Internet Protocol Support Profile (IPSP), mit dem sich IPv6-fähige Geräte finden lassen. Beispielsweise damit Bluetooth-Sensoren und -Aktoren über ein Gateway eine Verbindung ins Internet herstellen können. Die Idee ist, dass Bluetooth als kabellose Verbindung für das Internet der Dinge geeignet ist, bei dem jeder Smart-Sensor und -Aktor seine eigene IP-Adresse hat. Zusätzlich wurde das Protokoll aktualisiert, um einen freien Funkkanal durch Adaptive Frequency Hopping zu finden, und um Störungen durch LTE besser auszuweichen.

## **Bluetooth 4.2**

Mit Bluetooth 4.2 wurden verschiedene Dinge verbessert, um die Laufzeit mit einer Akkuladung zu verlängern und die Reaktionsgeschwindigkeit zu erhöhen. Beispielsweise wurde die Funktion zur Auflösung einer Adresse in den Controller verlagert und damit die Leistungsaufnahme verringert.

Gleichzeitig wurde an der Datenpaketlänge gedreht, um eine 2,5-fache Geschwindigkeitssteigerung herauszuholen. Dadurch sollen sich Aktivitätstracker mit Smartphones schneller austauschen.

Auch auf bekannte Sicherheitsschwächen wurde eingegangen. So soll das Pairing zwischen den Geräten nur noch Algorithmen verwenden, die die US-amerikanische Standardisierungsbehörde NIST als sicher betrachtet. Hierzu zählen ECC-Verfahren und AES-CMAC.



## **Wireless LAN / WLAN (IEEE 802.11)**

IEEE 802.11 ist eine Gruppe von Standards für ein Funknetzwerk auf Basis von Ethernet. Damit ist IEEE 802.11 das am weitesten verbreitete drahtlose Netzwerk bzw. Wireless Local Area Network (WLAN).

Seit 1997 gibt es mit IEEE 802.11 erstmals eine verbindliche Luftschnittstelle für lokale Funknetzwerke. Davor war der breite Einsatz lokaler Funknetzwerke wegen der fehlenden Standardisierung und der geringen Datenübertragungsrate undenkbar. Der Standard baut auf den anderen Standards von IEEE 802 auf. IEEE 802.11 ist, vereinfacht ausgedrückt, eine Art schnurloses Ethernet. IEEE 802.11 definiert die Bitübertragungsschicht des OSI-Schichtenmodells für ein Wireless LAN. Dieses Wireless LAN ist, wie jedes andere IEEE-802-Netzwerk auch, vollkommen Protokoll-transparent. Drahtlose Netzwerkkarten lassen sich deshalb ohne Probleme in jedes vorhandene Ethernet einbinden. So ist es mit Einschränkungen (Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit) möglich, eine schnurgebundene Ethernet-Verbindung nach IEEE 802.3 durch eine WLAN-Verbindung nach IEEE 802.11 zu ersetzen.

IEEE 802.11 ist der ursprüngliche Standard, der Übertragungsraten von 1 oder 2 MBit/s ermöglicht. Darauf aufbauend wurde der Standard laufend erweitert. Hauptsächlich um die Übertragungsrate und die Datensicherheit zu erhöhen und die Zusammenarbeit zwischen den Geräten unterschiedlicher Hersteller zu verbessern.

### **WLAN (Wireless LAN) oder IEEE 802.11**

Gelegentlich wird die Bezeichnung "Wireless LAN" und der Standard "IEEE 802.11" durcheinander geworfen. Der Unterschied ist dabei ganz einfach. "Wireless LAN" ist die allgemeine Bezeichnung für ein schnurloses lokales Netzwerk (Wireless Local Area Network). "IEEE 802.11" dagegen ist ein Standard für eine technische Lösung, die den Aufbau eines Wireless LAN ermöglicht. Es ist also durchaus denkbar, dass es noch andere Standards gibt, mit denen ein Wireless LAN aufgebaut werden kann.

Im allgemeinen Sprachgebrauch hat es sich durchgesetzt ein lokales Funknetzwerk, dass auf dem Standard "IEEE 802.11" basiert als Wireless LAN bzw. WLAN zu bezeichnen.

## Übersicht: Übertragungsgeschwindigkeit

IEEE	Frequenz	Streams	Datenrate (brutto)	Datenrate (Praxis)
802.11	2,4 GHz	1	2 MBit/s	0,5 - 1 MBit/s
802.11b	2,4 GHz	1	11 MBit/s	1 - 5 MBit/s
802.11a	5 GHz	1	54 MBit/s	bis 32 MBit/s
802.11g	2,4 GHz	1	54 MBit/s	2 - 16 MBit/s
802.11n	2,4	1	150 MBit/s	bis 50 MBit/s
		2	300 MBit/s	bis 100 MBit/s
		3	450 MBit/s	bis 150 MBit/s
		4	600 MBit/s	bis 200 MBit/s
	5 GHz	1	150 MBit/s	
		2	300 MBit/s	
		3	450 MBit/s	
		4	600 MBit/s	
802.11ac	5 GHz	1	433 MBit/s	
		2	867 MBit/s	
		3	1.300 MBit/s	
		4	1.733 MBit/s	
		5...8	bis 6.936 MBit/s	
802.11ad	60 GHz	1	4.620 MBit/s	
			6.757 MBit/s	

Schaut man sich die Angaben der Hersteller und Händler zur Bruttodatenrate ihrer Produkte an und vergleicht die Werte, die man damit in der Praxis erreicht, riecht das fast schon nach einem Reklamationsgrund. Tatsache ist, die Bruttodatenraten, wie sie auf den Produktverpackungen und vom Standard angegeben sind, dass die in der Praxis nie erreicht werden können.

Dazu muss man wissen, dass alle WLAN-Standards des IEEE mit ihrer theoretisch maximalen Übertragungsgeschwindigkeit spezifiziert werden. In der Praxis sind die angegebenen Übertragungsraten aber viel geringer,

222

als angegeben. So erreichen WLANs nach IEEE 802.11g mit 54 MBit/s in der Praxis selten mehr als 16 MBit/s. Ein WLAN nach IEEE 802.11b mit 150, 300, 450 und 600 MBit/s erreicht selten mehr als die Hälfte davon. Der Standard IEEE 802.11ac verspricht brutto eine Datenrate von sagenhaften 7 MBit/s. Doch diese Werte sind davon abhängig, welche Funkkanalbreite, Übertragungsart und die Anzahl der Antennen verwendet wird. Doch auch das ist reine Theorie. Denn in der Praxis muss jede Funktechnik mit weiteren Einschränkungen kämpfen. So ist die Funkkanalbreite begrenzt, ebenso die Anzahl der Antennen. Das heißt, die typischen Datenraten liegen darunter und aufgrund spezifischer Funkbedingungen in der Praxis noch weiter darunter. Doch auch das sind nur Richtwerte. Was in der Praxis dann wirklich möglich ist, ist von den lokalen Begebenheiten abhängig. Decken, Wände, Möbel und andere Funknetzwerke stören die Funkübertragung eines WLANs. Je nach Umgebungsbedingungen, Anzahl der teilnehmenden Stationen und deren Entfernung erreicht man auch nur einen Bruchteil der typischen Datenrate.

Die Differenz zwischen der Brutto-Übertragungsgeschwindigkeit und dem, was in der Praxis tatsächlich möglich ist, ist der Tatsache geschuldet, dass es sich bei Funk um einen geteilten Übertragungskanal handelt, den mehrere Teilnehmer gleichzeitig nutzen wollen und deshalb ein spezielles Verfahren den Zugriff aushandelt. Das CSMA/CA genannte Verfahren regelt wann eine Station senden darf. Die anderen Stationen müssen während dieser Zeit warten. Anschließend fällt dann noch eine Pause an. Die Funkschnittstelle ist deshalb nie zu 100% belegt. Für jeden einzelnen Teilnehmer bedeutet das, es bleibt nur ein Bruchteil der typischen Übertragungsgeschwindigkeit übrig.

## **WLAN-Sicherheit und Verschlüsselung**

Funksignale bewegen sich im freien Raum. Das bedeutet, jeder kann die gesendeten Daten abhören oder stören. Um zumindest das Abhören zu verhindern, werden WLANs mit Verschlüsselung betrieben. Ein weiterer Knackpunkt ist die Nutzung des WLANs und die Nutzung des damit bereitgestellten Internet-Anschlusses durch fremde Personen. Der Betreiber eines ungesicherten WLANs kann rechtlich in die Verantwortung und damit Haftung genommen werden, wenn ihm unbekannte Personen seinen Internet-Zugang für Rechtsverletzungen missbrauchen. Dazu haben bereits die Landgerichte Hamburg (2006) und

Düsseldorf (2008) geurteilt. Es gibt zwar auch gegenteiligen Urteile. Doch es empfiehlt sich, gerichtliche Auseinandersetzungen im Voraus zu vermeiden. Deshalb sollte die Verschlüsselung immer aktiviert sein. Vorzugsweise WPA2. Die älteren Verschlüsselungsverfahren WPA und WEP sollte man nicht mehr verwenden. WLAN-Geräte, die WPA2 nicht beherrschen, sollte man dringend austauschen.

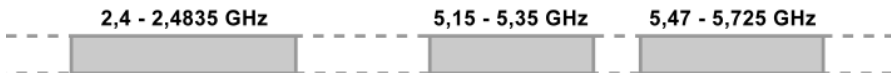
## WLAN-Authentifizierung

Nicht jeder soll ein WLAN nutzen dürfen. Zwar kann der Zugriff auf ein WLAN durch ein Passwort eingeschränkt werden. Doch ist das Passwort erst einmal bekannt, dann ist damit nicht nur der Zugriff, sondern auch die Verschlüsselung ungesichert.

Zusätzlich zur Verschlüsselung kann bei größeren WLANs mit vielen Nutzern eine zusätzliche Authentifizierung mit dem Protokoll IEEE 802.1x integriert werden, bei der jeder Nutzer eigene Zugangsdaten benötigt (Benutzername und Passwort). An einer zentralen Stelle kann der Zugriff auf einfache Art und Weise freigegeben oder eingeschränkt werden.

Die Entsprechenden Einstellungen stehen häufig im begrifflichen Zusammenhang mit WPA2-Enterprise oder WPA2-RADIUS.

## Frequenzen und Kanäle



IEEE 802.11n beherrscht sowohl das 2,4-GHz- wie auch das 5-GHz-Band. Das bedeutet, es stehen zwei Frequenzbänder zur Verfügung. Doch Vorsicht, die meisten billigen 11n-Geräte beherrschen nur das 2,4-GHz-Band.

Im 2,4-GHz-Band gibt es 13 Kanäle, die jeweils 5 MHz umfassen. Da man jeweils 4 Kanäle zu einem großen 20 MHz Kanal zusammenfasst, ergibt sich eine Kanalzuteilung von 1, 7 und 13 oder besser 1, 5, 9 und 13. Auf diese Weise sind jeweils zwei Kanäle unterhalb und oberhalb der eingestellten Kanalfrequenz für einen Übertragungskanal belegt.

Im 5-GHz-Band sind 19 verschiedene nicht überlappende Kanäle mit jeweils 20 MHz Kanalbreite nutzbar.

# **Datenspeicher und Komponenten**

**Festplatte und SSD**

**CD-ROM, DVD und Blu-ray Disc**

**Eingabegeräte**

**Ausgabegeräte**

**Grafikkarte**

**Soundkarte**

# Festplatte

Festplatten sind Massenspeicher, die auf einem magnetischen Datenträger beruhen, auf dem die Daten fest gespeichert werden und auch ohne Energieversorgung gespeichert bleiben. Festplatten werden typischerweise in einen Computer eingebaut. Auf Festplatten werden alle Daten und Anwendungen eines Computers gespeichert.

Der Begriff Festplatte (engl. Harddisk bzw. Hard Density Disc, HDD) kommt durch die Unterscheidung zur inzwischen veraltete Diskette (engl. Floppydisk, FDD), die als wechselbarer Datenträger lange Zeit vor der Festplatte verwendet wurde. Die Festplatte ist durch ihre Art, fest in das Gehäuse eines Computers eingebaut zu sein, benannt worden. Festplatten ersetzen den Festwertspeicher ROM und die Diskette. Festplatten können viel mehr Daten speichern als Disketten. Im Gegensatz zum ROM kann man Daten von einer Festplatte nicht nur lesen, sondern auch darauf schreiben und jederzeit ändern.

1954 wurden Festplatten erstmals industriell eingesetzt. Seit dem hat sich sehr viel getan. Vor allem die Speicherdichte führte zu der uns heute bekannten Speicherkapazität. Im Prinzip funktioniert die heutige Festplatte genauso wie die ersten Modelle.

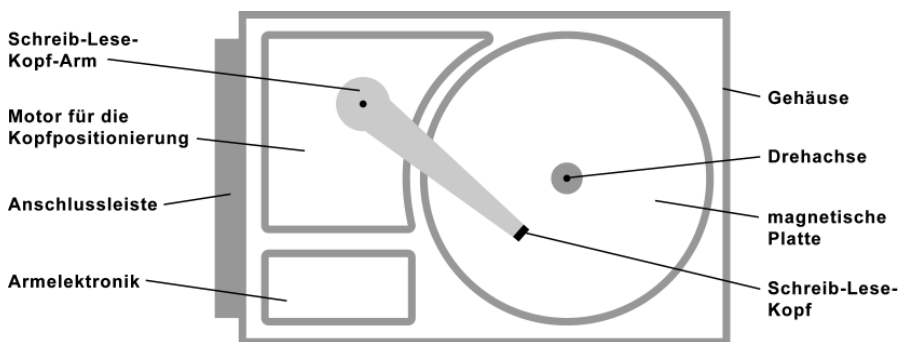
Festplatten unterscheiden sich in ihrer Zuverlässigkeit, Geschwindigkeit, Speicherkapazität und damit auch im Preis. Für unterschiedliche Anwendungsfälle haben die Festplatten-Hersteller unterschiedliche Festplatten-Typen. Im Vergleich zu anderen Datenspeichern haben Festplatten ein sehr gutes Preis-Leistungsverhältnis. Das bedeutet, geringe Kosten pro Byte.

Momentan liegt die größtmögliche Speicherkapazität bei 6 bis 8 TByte pro Einzellaufwerk. Wobei es diese Festplatten nur für spezielle Anwendungen gibt. Bis 2020 soll die Speicherkapazität auf 20 TByte pro Einzellaufwerk steigen.

Im Zuge der Weiterentwicklung von Halbleiterspeicher wurde auch Flash-Speicher entwickelt, der wie die Festplatte Daten dauerhaft ohne Stromversorgung speichern kann. Flash-Speicher wird in Solid State Drives (SSD) verwendet, die mit einer herkömmlichen Festplatte

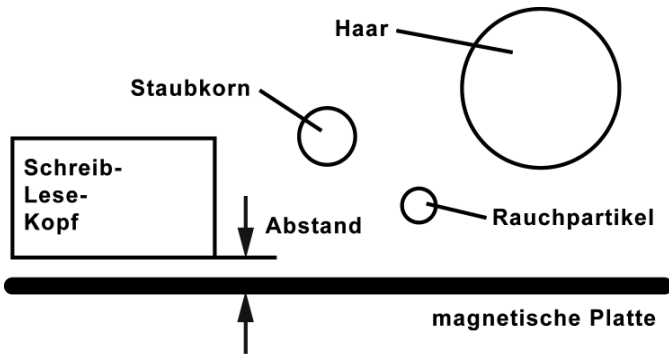
vergleichbar sind. Im Gegensatz zur Festplatte hat eine SSD keine beweglichen Teile. Das äußert sich in einer höheren Lese- und Schreibgeschwindigkeit, oft in anderen Bauweisen (Platinen und Steckkarten), geringerem Energieverbrauch und natürlich ein geräuschloser Betrieb.

## Aufbau einer Festplatte



In einem geschlossenen Metallgehäuse befinden sich alle Komponenten, die für das Funktionieren der Festplatte wichtig sind. Um das Eindringen von Staub und Schmutz in das Gehäuse zu verhindern, sind die einzelnen Teile einer Festplatte in ein nahezu luftdichtes Gehäuse verschlossen. Als einziger Kontakt zum Computersystem dient eine Anschlussleiste für eine Schnittstelle (IDE, SATA, SCSI, etc.), über die die Daten übertragen werden.

Der eigentliche Datenspeicher einer Festplatte ist eine oder mehrere Metallscheiben, die mit einem magnetisierbaren Material beschichtet sind. Um die Speichermenge zu erhöhen liegen mehrere Scheiben übereinander. Die Scheiben sind um eine Drehachse mittels Halteklammern befestigt und dadurch voneinander getrennt. Zwischen den Metallscheiben greifen die Schreib-Lese-Kopf-Arme hinein. Auf diesen Armen befindet sich eine federnde Aufhängung. Auf dieser ist der Kopf befestigt, der zum Lesen und Schreiben der Daten dient.



Der Abstand zwischen Kopf und Scheibe ist geringer, als ein Haar, Staub- oder Rauchpartikel. Die Berührung von Kopf und Scheibe führt zum Head-Crash, der wiederum zum Datenverlust führt. Dabei wird der Datenträger zerstört, was die Festplatte unbrauchbar macht.

Normalerweise können sich Kopf und Platte nicht berühren. Denn bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten, bei der sich eine Festplatte dreht, bildet sich ein Luftpolster zwischen Kopf und Platte.

Die Schreib-Lese-Arme werden von einem Motor gesteuert, der zur Kopfpositionierung dient. Zur Steuerung des Motors befindet sich direkt daneben die Armelektronik. Unterhalb dieser ganzen Konstruktion befindet sich die Platine, auf der sich die Laufwerkselektronik befindet. Während des Festplattenbetriebs rotieren die Scheiben ständig. Während des Schreib- oder Lese-Vorgangs werden die Arme und damit die Köpfe hin und her bewegt. Damit die Schreib-Lese-Köpfe beim Transport keinen Schaden nehmen, werden die Arme beim Stromverlust in eine Parkposition gebracht und arretiert. Der dafür nötige Strom wird von einem Generator erzeugt, der die Schwungmasse der Plattenrotation ausnutzt. So ist es möglich, dass die Parkposition auch bei einem plötzlichen Stromausfall eingenommen werden kann.

## Geschwindigkeit einer Festplatte

Je schneller eine Festplatte ist, desto flüssiger laden die Daten und laufen die Programme. Besonders beim Start von Betriebssystem und Anwendungen spürt der Anwender eine schnelle Festplatte. Und nur mit einem schnellen Massenspeicher speichert ein Computer große Datenmengen mühelos.



## Umdrehungsgeschwindigkeit

Die Umdrehungsgeschwindigkeit wird in Umdrehungen in der Minute (UPM, U/Min) angegeben. Je geringer die Drehzahl, desto länger dauert der Zugriff auf zufällig ausgewählte Sektoren.

Üblich sind die Umdrehungsgeschwindigkeiten 10.000, 7.200 und 5.400 U/Min. Sehr schnelle Festplatten laufen mit 10.000 U/Min. Dafür bedarf es einer zusätzlichen Kühlung. Deshalb findet man sie selten in normalen PCs. Normale Festplatten laufen mit 7200 U/Min. Das ist die Standardumdrehungsgeschwindigkeit. Geräuscharme und Strom sparende Festplatten laufen mit 5.400 U/Min.

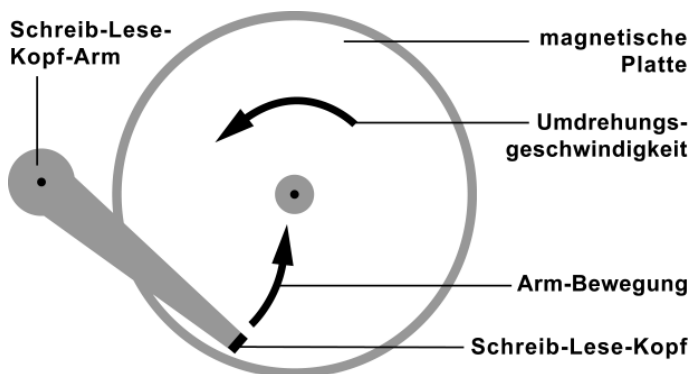
## Anzahl der Datenscheiben

Je mehr Datenscheiben eine Festplatte hat, desto höher ist ihre Kapazität. Doch auch die Lese- und Schreibgeschwindigkeit steigt, wenn der Datenstrom über mehrere Lese- und Schreibköpfe summiert wird.

## Datendichte auf den Datenscheiben

Je höher die Datendichte, desto mehr Bit ziehen pro Sekunde am Schreib-Lese-Kopf vorbei und können gelesen oder geschrieben werden.

## Zugriffszeit / Access Time / Datenzugriffszeit

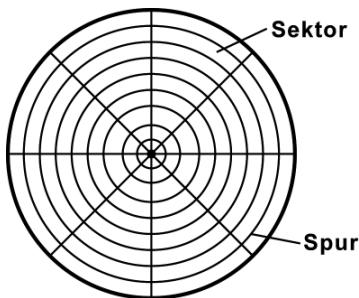


Die Zugriffszeit gibt an, wie lange es dauert, bis die Festplatte die gewünschten Daten auf ihren Datenschreiben gefunden hat und die ersten

Bit liefert. Die Zugriffszeit ist die Summe aus Such- und Latenzzeit und wird hauptsächlich von der Umdrehungsgeschwindigkeit der Festplatte bestimmt. Je schneller sich die Platte dreht, desto geringer ist diese Zeit. Doch die Zugriffszeit hängt noch von zwei weiteren Faktoren ab: Als erstes braucht der Lese-/Schreibkopf eine bestimmte Zeit, um sich über eine bestimmte Spur zu platzieren (mittlere Suchzeit). Danach dauert es etwas, bis die Daten unter dem Lesekopf vorbeikommen (Latenzzeit). Im Schnitt benötigt die Platte eine halbe Umdrehung. Von der Anfrage, zur Positionierung des Lese-/Schreibkopfes auf der gewünschten Spur und Erscheinen des richtigen Sektors, bis zur Auslieferung der Daten können zwischen 4 und 20 Millisekunden vergehen.

Ein weiterer Faktor beeinflusst die Zugriffszeit. Zum Beispiel, wenn wegen Fragmentierung viele Sektoren an verschiedenen Stellen der Festplatte gelesen und geschrieben werden müssen. Dann müssen die Datenscheiben öfter gedreht werden, bis der Lesekopf an allen Sektoren vorbeigekommen ist. Besser ist es, wenn die zu lesenden Daten in einem Stück hintereinander abgelegt sind. In dem Fall hilft eine Defragmentierung.

## Organisation der Daten auf einer Festplatte (Spuren und Sektoren)



Damit die Daten, die auf den magnetischen Platten abgelegt sind, wieder gefunden werden, ist es notwendig eine Einteilung der Magnetscheiben vorzunehmen. Als erster Schritt wird eine herstellerseitige Low-Level-Formatierung vorgenommen. Dazu werden auf den Scheiben Spuren angelegt. Es handeln sich dabei um konzentrische Kreise, die auf allen Magnetscheiben gleich sind. Die Spuren werden vom äußeren Rand der Platte nach innen, beginnend bei 0, durchnummeriert. Der Abstand der

Spuren, die Spurdichte, bestimmt die Speichermenge. Diese Dichte wird in Spuren pro Zoll (Tracks per Inch, TPI) angegeben.

Die Anordnung mehrerer Spuren (durch übereinander gelagerte Magnetscheiben) nennt man Zylinder.

Die Spuren werden wiederum in kleinere Abschnitte eingeteilt. Dieser Abschnitt nennt sich Sektor und entspricht einem Kreisausschnitt.

## **Sektorengröße**

Der Speicherplatz auf Festplatten ist in Spuren und Sektoren eingeteilt. Alle Festplatten hatten mit 512 Byte lange Zeit die gleiche Sektorengröße. Auch spezielle Festplatten, die intern mit einer Sektorgröße von 4 kByte arbeiteten, gaben nach außen hin 512 Byte große Sektoren an. Intern bilden diese Festplatten acht logische 512-Byte-Sektoren auf einem physikalischen 4-kByte-Sektor ab. Durch die Umrechnung wurde die Festplatten allerdings langsamer.

Für solche Festplatten wurde die Bezeichnung Advanced Format Drives (AFD) verwendet und zusätzlich ein "512e" angehängt. Das "e" steht dabei für emulated. Das bedeutet, bei 512e werden die 512 Byte großen Sektoren auf einer 4-kByte-Sektoren-Festplatte nur emuliert.

Seit Mitte 2014 sind Festplatten mit 4 kByte Sektorengröße im Handel, die 4 kByte auch nach außen hin bekannt geben. Man bezeichnet das als "4 kByte native" oder kurz "4Kn".

Die Umstellung von "512e" auf "4Kn" hat natürlich Konsequenzen. Und zwar abhängig vom Betriebssystem und Dateisystem. Man kann nicht mehr in den Laden gehen und einfach eine beliebige Festplatte mit der gewünschten Speicherkapazität kaufen. Man muss vorher klären, ob Betriebssystem, Dateisystem und sonstige Hardware auch mit 4Kn-Festplatten klarkommen. Während einer Übergangsphase ist also mit Schwierigkeiten und Missverständnissen zu rechnen. Es ist aber davon auszugehen, dass in mittlerer Zukunft nur noch 4Kn-Festplatten angeboten werden.

Folgende Betriebssysteme sind mit nativen 4-kByte-Sektoren kompatibel:

- Windows 7 (Achtung: nicht bootbar und nur eingeschränkt nutzbar)
- ab Windows 8.1 mit Microsoft-Treiber storahci.sys (nicht mit Intel Rapid-Storage-Treiber iastor.sys)
- ab Windows Server 2012 R2
- jedes aktuelle Linux
- Mac OS X (Achtung: nicht bootbar)

### **4-kByte-Sektoren: Advanced Format Drives (AFD) / Advanced Format Technology**

Advanced Format Drives (AFD) sind Festplatten mit einer physikalischen Sektorengröße von 4 kByte. Meist sind diese Laufwerke mit "4Kn" gekennzeichnet, was für "4 kByte native" steht. Doch nicht jede Hardware und Software ist darauf vorbereitet. Deshalb melden AFDs oft noch eine Sektorengröße von 512 Byte ("512e").

Der Vorteil größerer Sektoren oder Speicherblöcken ist das Einsparen von Overhead, den jeder logische Speicherblock umschließt. Dazu gehört ein Synchronisationsblock (Sync Section), eine Data Allocation Map (DAM), eine Prüfsumme (ECC) und ein kleiner Leerbereich zwischen den Speicherblöcken. Fasst man acht 512-Byte-Blöcke zu einem 4-kByte-Block zusammen, dann fallen sieben mal die Steuer- und Korrekturblöcke weg. Die Prüfsumme wird zwar größer, aber insgesamt reduziert sich der Overhead bei 4K-Sektoren um 75 Prozent. Das gilt auch für 512e-Festplatten. Bei 4Kn-Festplatten fällt in Zukunft nur noch die Umrechnung der externen Sektorgröße weg.

Dateisysteme, wie NTFS oder HFS+, verwalten den Speicher auf Festplatten schon lange mit 4 kByte großen Einheiten. Auch der Arbeitsspeicher wird in den gängigen Betriebssystemen mit 4 kByte großen Blöcken (Pages) adressiert.

Desweiteren erleichtert es die Fertigung von Festplatten mit hoher Speicherkapazität. Parallel entsteht so mehr Platz für die Nutzdaten auf der Magnetscheibe. In der Regel profitiert man auch von einer Geschwindigkeitssteigerung.

Wie erkennt man 4K-Sektor-Festplatten? Unter Windows gibt es die "smartmontools", mit denen man unter anderem die Sektorgröße auslesen kann.

## **MTBF - Mean Time Between Failures**

Grob übersetzt bedeutet MTBF soviel wie Hardware-Ausfallwahrscheinlichkeit. Der MTBF wird in Stunden angegeben. Die typischen Werte für Enterprise-Festplatten liegen bei 1.000.000 Stunden und bei normalen Festplatten bei 600.000 Stunden.

Das ist allerdings kein garantierter Wert. Der MTBF basiert auf Stichproben, die hochgerechnet werden. Also mehr so eine Art Durchschnitt. Man muss dabei auch berücksichtigen, dass die Betriebsbedingungen auf den MTBF Einfluss haben. Ohne diese Berücksichtigung ist der Wert eigentlich nutzlos.

## **Partitionierung**

Das Partitionieren ist das Aufteilen eines physikalischen Laufwerks oder einer erweiterten Partition in mehrere kleinere logische Partitionen, um sie als eigenständige Laufwerke ansprechen zu können.

## **Fragmentierung / Defragmentierung**

Unter Fragmentierung versteht man den Effekt, dass zusammenhängende Dateien nicht am Stück auf der Festplatte gespeichert werden. Sie werden verstreut auf der ganzen Festplatte verteilt. Das äußert sich in einer geringeren Datentransferrate, weil die Festplatten-Logik die Daten erst an verschiedenen Stellen lesen und zusammensetzen muss.

Defragmentieren ist ein Vorgang, bei dem die Einzelteile von Dateien nachträglich so auf die Festplatte geschrieben werden, dass sie zusammenhängend gespeichert sind. In der Regel erhöht man dadurch die Lesegeschwindigkeit. Besonders beim Starten von Betriebssystem und Anwendungen.

# SSD - Solid State Drive

Ein Solid State Drive, kurz SSD, ist ein Massenspeicher, vergleichbar mit einer Festplatte. Im Gegensatz zur Festplatte hat eine SSD keine beweglichen Teile. Bei der SSD ist das Speichermedium ein Flash-Speicher (z. B. NAND-Flash).

Flash-Speicher wird hauptsächlich in mobilen Endgeräten, wie Handys, Digitalkameras und MP3-Player, eingesetzt. Flash-Speicher arbeitet vollkommen geräuschlos, hat kurze Zugriffszeiten und schont den Akku, weil keine mechanischen Teile durch Motoren bewegt werden müssen. Die SSD wird wie eine herkömmliche Festplatte angesprochen. Um einen bestimmten Sektor zu lesen, muss eine Festplatte die Köpfe auf die richtige Spur bewegen. Diese Bewegung unterliegt einer gewissen mechanische Trägheit, die überwunden werden muss. Dann vergeht noch eine geringe Zeit, bis der gewünschte Sektor am Lesekopf vorbeidreht. Dieser ganze Zeitverlust fällt bei der SSD weg. SSDs zeichnen sich also durch eine sehr hohe Lese- und Schreibgeschwindigkeit, sowie einen geringeren Energieverbrauch aus.

## Vorteile von SSD (Solid State Drive)

- hohe Transferraten
- kurze Zugriffszeiten, vor allem beim Lesen
- niedrige Leistungsaufnahme
- geräuschloser Betrieb

## Lesen und Schreiben

Beim Lesen holt der Flash-Controller immer 2 bis 4 kByte aus den Flash-Zellen und schreibt sie in einen Pufferspeicher. Da beim Lesen keine Lese-/Schreibköpfe mechanisch positioniert werden müssen ergeben sich äußerst geringe Zugriffszeiten.

Während das Lesen sehr schnell geht, gestaltet sich das Schreiben von Daten etwas aufwändiger. Flash-Speicher ist blockweise organisiert. Typischerweise hat ein Speicherblock 128 bis 512 kByte. Auch dann, wenn es nur ein paar Bit sind, muss der betreffende Block vollständig neu geschrieben werden. Vor dem Beschreiben einer Speicherzelle, muss sie gelöscht werden. Dazu wird eine hohe Löschspannung angelegt. Dabei

verlieren alle Zellen dieses Blocks ihren Inhalt. Erst dann werden die Daten geändert und dann wieder zurück geschrieben. Dieser Vorgang führt dazu, dass schnelle Festplatten beim Schreiben schneller sein können, als langsame SSDs.

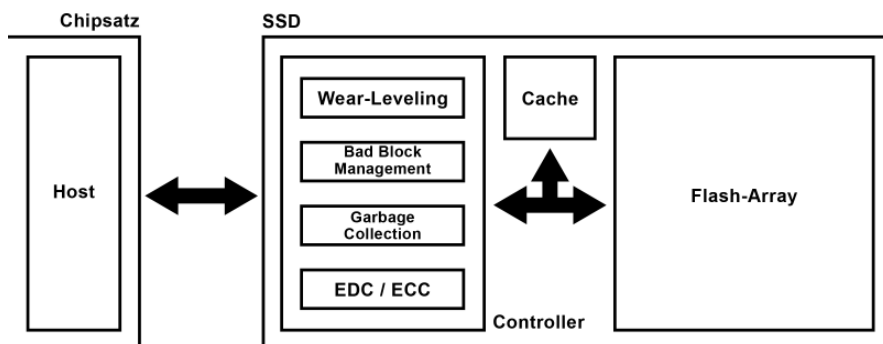
Um die niedrige Schreibgeschwindigkeit zu beschleunigen wird der Flash-Speicher um einen Puffer ergänzt. Davon profitiert vor allem NCQ. NCQ fängt die Schreibzugriffe ab und sortiert sie um, damit sie möglichst intelligent auf die einzelnen Speicherblöcke verteilt werden. Obwohl dieses Verfahren mit dem Namen NCQ (Native Command Queuing) für herkömmliche Festplatten eingeführt wurde, ermöglicht es auch SSDs einen Geschwindigkeitsgewinn.

Bei normalem Nutzungsverhalten machen sich die hohen Zugriffszeiten beim Schreiben nicht negativ bemerkbar. Die meisten Daten werden immer noch aus dem Speicher gelesen. Schreibzugriffe treten wesentlich seltener auf.

## SLC-, MLC- und TLC-Flash

SSDs mit SLC-Flash sind sehr zuverlässig und dafür teuer. SSDs mit MLC-Flash haben eine langsamere Schreibgeschwindigkeit und weisen eine geringere Haltbarkeit gegenüber SLCs auf. Dafür sind MLCs günstig, aber eben weniger zuverlässig. Mit Wear Leveling versucht man diese Nachteile zu kompensieren. Die langsamere Schreibgeschwindigkeit ist nicht so das Problem. Bei der typischen PC-Nutzung werden sehr viel mehr Daten gelesen als geschrieben.

## Aufbau einer SSD



## Wear-Leveling

Ein Hauptproblem von Flash-Speicher und damit auch bei SSDs ist die begrenzte Lebensdauer. Je nach Flash-Typ geht eine Speicherzelle nach rund 1.000 bis 100.000 Speichervorgängen kaputt. Zwar wird nicht der gesamte Speicher zerstört. Doch es machen sich Verschleißerscheinungen bemerkbar, die auch zu Datenverlust führen können. Deshalb ist eine ständig auf den Speicher schreibende Anwendung für Flash-Speicher eher ungeeignet.

Wear-Leveling sind eine Kombination aus Verfahren und Mechanismen, die die Lebensdauer von Flash-Speicher insbesondere in SSDs verlängern. Beispielsweise verteilt der Flash-Controller die Schreibzugriffe gleichmäßig über alle Speicherzellen. So müssen einzelne Speicherblöcke nicht durch ständige Speicherzugriffe leiden.

Über die exakte Arbeitsweise der Wear-Leveling-Algorithmen ist wenig bekannt. Die SSD-Controller-Hersteller halten sie verständlicherweise unter Verschluss. Doch so viel ist bekannt, man unterscheidet zwischen dynamischen und statischen Wear-Leveling.

Beim dynamischen Wear-Leveling verteilt der Flash-Controller die Schreibzugriffe gleichmäßig über die freien oder frei werdenden Blöcke. Dabei nutzen sich Bereiche, die häufiger geändert werden stark ab und fallen irgendwann aus. Deshalb verschiebt man beim statischen Wear-Leveling immer mal wieder Daten in stark abgenutzte Bereiche, die sich nicht oder selten ändern. Auf diese Weise wird der Ausfallzeitpunkt einzelner Zellen hinausgezögert. Das erhöht die Lebensdauer des Flash-Speichers. Die zusätzlichen Lese- und Schreibzugriffe kosten jedoch Performance.

Beim statischen Wear-Leveling macht sich jedoch ein Mechanismus des Betriebssystems negativ bemerkbar. Denn beim Löschen von Dateien bekommt der Flash-Controller nichts mit. Lediglich ein paar Bit im Dateinamen und der Dateistruktur ändern sich. So merkt sich das Betriebssystem, dass der Platz anderweitig genutzt werden kann. So kann es passieren, dass der Flash-Controller beim statischen Wear-Leveling mit viel Aufwand Daten verschiebt, die bereits vom Anwender gelöscht wurden. Genau aus diesem Grund ist ein vom Betriebssystem frisch formatierter Speicher aus Sicht des Flash-Controllers nahezu voll. Deshalb



gibt es das Trim-Kommando, mit dem das Betriebssystem dem Flash-Controller mitteilt, welche Speicherbereiche es nicht mehr braucht.

Als Anwender kann man der Belastung der Speicherzellen dadurch entgegenwirken, dass man das Speichermedium im Vergleich zur schreibenden Datenmenge sehr groß wählt. Dadurch kommt jede einzelne Zelle seltener an die Reihe. Mit der Größe der Speicherkapazität steigert also indirekt auch die Lebensdauer.

Wenn also eine SSD nur wenig befüllt ist, hat der Controller keine Schwierigkeiten die Daten auf dem Speicher zu verteilen. Erst bei zunehmender Speicherbelegung gehen dem Controller die unbelegten Speicherblöcke aus und er muss die Daten auf verschiedene Blöcke verteilen. Wenn dann nur noch teilweise beschriebene Blöcke vorhanden sind, dann muss der Controller diese Blöcke lesen, modifizieren und wieder zurückschreiben. Das kostet Zeit und macht sich mit größeren Verzögerungszeiten und geringen Transferraten bemerkbar. Aus diesem Grund werden SSDs im Lauf der Zeit beim Schreiben immer langsamer.

Um diesen Effekt möglichst lange hinauszuzögern, ist es empfehlenswert Defragmentierung, Dateindexierung und Prefetching des Betriebssystems abzuschalten. SSDs brauchen diese Optimierungsmechanismen aufgrund ihrer geringen Lesezugriffszeit überhaupt nicht. Im Gegenteil. Sie schaden, weil unnötigerweise sehr viele zusätzliche Schreibzugriffe anfallen. Dadurch brauchen normale Schreibzugriffe länger und die Lebensdauer des Flash-Speichers reduziert sich.

## **Bad Block Management / Defect Management**

Das Bad Block Management bzw. Defect Management überwacht die Flash-Speicherzellen auf Abnutzung. Wird eine Speicherzelle zu stark abgenutzt und steht kurz vor einem Ausfall, wird ein ganzer Zellenblock als fehlerhaft markiert und durch einen Zellenblock aus der Reserve ersetzt.

Bei SLC-SSDs ist die Gefahr der Abnutzung nicht so groß. Hier steht in der Regel eine Reserve von 2% der Gesamtspeicherkapazität zur Verfügung. Bei MLC-SSDs ist die Abnutzung größer. Hier steht in der Regel eine Reserve von 7% zur Verfügung.

Durch das Bad Block Management verliert eine SSD auch nach Jahren und großer Beanspruchung keine Speicherzellen. Die Lebensdauer,

Zuverlässigkeit und Speicherkapazität einer SSD bleiben so langfristig erhalten.

## **Error Correction Code / Error Detection Code**

Bei ECC und EDC geht es um das Erkennen und die Korrektur von Bitfehlern. Die Anzahl der Bitfehler nimmt zu, wenn eine Flashzelle in die Nähe ihrer maximalen Schreib-/Löschzyklen kommt. In dem Fall schlägt das Bad Block Management zu. Doch schon vorher kann es zu einem Bitfehler kommen. Die Folgen könnten zum Beispiel Datenverlust oder inkonsistente Daten sein.

Bei MLC-SSDs kommen 24 Bit für die Fehlerkorrektur auf 1 kByte. Bei SLC-SSDs kommen nur 8 Bit für die Fehlerkorrektur auf 512 Byte. Die Gefahr durch Bitfehler ist bei SLC-SSDs geringer.

## **Garbage Collection**

Hinter Garbage Collection steckt ein Hintergrundprozess, der vom Betriebssystem mit dem TRIM-Befehl angestoßen wird.

Da beim Löschen einer Datei nur der Name im Dateisystem gelöscht wird und die eigentliche Informationen in den Speicherzellen erhalten bleiben kann das Betriebssystem nicht geleerte Speicherzellen prüfen und leeren lassen. Dadurch steigt die Schreibgeschwindigkeit bei gelöschten Zellen

## **Haltbarkeit und Zuverlässigkeit von SSDs**

Es wurde bereits die begrenzte Lebensdauer von Flash-Speicher und damit von SSDs angesprochen. Hierzu gibt es folgende Erkenntnisse:

Die Anzahl der möglichen Schreib- bzw. Löschzyklen lässt keine direkten Rückschlüsse auf die Haltbarkeit oder die Zuverlässigkeit zu. Anders als bei Festplatten besteht zwischen den Speicherzellen und den Sektoren des Dateisystems keine direkte Zuordnung. Generell verteilt der Flash-Controller die Schreibzugriffe gleichmäßig über alle Zellen. Die Daten in Zellen, die mit selten veränderten Daten, wie Betriebssystem und Programmen belegt sind, werden ab und zu umgeschichtet, um so wieder weniger stark abgenutzte Zellen zu bekommen.

Generell kann man davon ausgehen, dass SSDs im alltäglichen Desktop-Betrieb länger halten, als von den Herstellern angegeben. 3.000 bis 100.000 Speicher- bzw. Löschzyklen sind für die meisten Anwendungen

vollkommen ausreichend. Außerdem wird mit zusätzlichem technischen Aufwand die Anzahl der Zugriffe auf die Speicherzellen verringert.

Prinzipiell darf man sich von den Angaben zur Lebensdauer von Flash-Speicher nicht irritieren lassen. Die Webseite "The Tech Report" hat hierzu einige SSDs einem Langzeittest unterzogen. Hierbei kam heraus, dass die Datenmenge, die auf eine SSD geschrieben werden muss, um sie zu zerstören, zwischen 700 TByte und 1 PByte liegt. Das ist 10 mal mehr als die Hersteller garantieren. Beispielsweise beträgt die Garantie bei einer SSD von Sandisk bei 80 TByte geschriebenen Daten in 10 Jahren. Hierbei der Hinweis, dass das für Server-SSDs zu wenig ist. Bei einem gewöhnlichen PC oder einem Notebook mit typischer Nutzung müsste man schon mehr als 20 GByte pro Tag auf die SSD schreiben, um die SSD nach mehreren Jahren ins Nirvana zu schicken. Das ist dann doch eher unwahrscheinlich. Das Schreiben kommt in typischen Client-Systemen sehr viel seltener vor als Lesen.

Diese Tests sind schon etwas älter und damit nicht auf aktuelle SSDs und Flash-Controller übertragbar. Allerdings ist ersichtlich, dass die Gefahr eines Ausfalls einer SSD bei angemessener Nutzung eher unwahrscheinlich ist. Angemessen bedeutet, dass die richtige SSD für den jeweiligen Einsatzzweck anhand ihrer Parameter und Leistungsangaben ausgewählt wurde.

Wenn bei einer SSD irgendwann mal die Verschleißgrenze erreicht ist, dann stellt sie ihren Betrieb unter Umständen in einer äußerst unangenehmen Form ein. Sie lässt sich überhaupt nicht mehr ansprechen und das ohne Vorwarnung. Aber das ist bei herkömmlichen Festplatten nicht anders.

## **Preis und Speicherkapazität**

SSDs sind im Vergleich zu herkömmlichen, magnetischen Festplatten relativ teuer. Während Festplatten pro Gigabyte billiger werden, ist das bei SSDs nicht immer der Fall. Je nach Flächendichte, Performance und Technik ergeben sich unterschiedliche Preise.

Außerdem ist die Speicherkapazität noch begrenzt. Während man bei herkömmlichen Festplatten schon weit im TByte bereich ist, liegt man bei SSDs noch weit darunter (Stand Mitte 2015).

## Übersicht: SSD-Schnittstellen

Wegen immer schnellerer Flash-Speicher und -Controller nimmt die Geschwindigkeit von SSDs unaufhörlich zu. Da SSDs als Festplatten-Ersatz dienen, ist die SATA- bzw. SAS-Schnittstelle als Massenspeicher-Schnittstelle hier maßgeblich im Einsatz. Im Vergleich zur Weiterentwicklung von SSDs bleibt die Weiterentwicklung von SATA leider zurück. Während es schon SSDs gibt, die Daten mit 2 GByte/s schaufeln können, hängt SATA 6G bei 600 MByte/s bzw. SAS bei 1,2 GByte/s fest. In der Praxis können SATA-6G-Desktop-Festplatten Daten linear mit ca. 180 MByte/s lesen. Sehr schnelle Server-Festplatten erreichen ca. 250 MByte/s. Mit der bisherigen Übertragungstechnik und den dazugehörigen Steckverbindern ist es leider nicht möglich, die Datenrate von SATA zu steigern.

- SSD in Form einer 2,5-Zoll-Festplatte mit SATA 6G
- SSD in Form einer Speicherkarte mit m.2-Anschluss
- SSD in Form einer 2,5-Zoll-Festplatte mit SATAe
- SSD in Form einer PCIe-Erweiterungskarte mit PCIe

Vermeintliche PCIe-SSD-Steckkarten für Server und Workstations benutzen einen integrierten SATA- oder SAS-Hostadapter für die Anbindung des Flash-Speichers. Das bedeutet, trotz PCIe-Anbindung wird intern bei den meisten SSDs mit SATA 6G gearbeitet. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich PCIe mit m.2 oder SATAe in Workstations und Servern durchsetzen wird.

Sicher ist auch, dass sich bei SSDs der PCIe als Standardschnittstelle durchsetzen wird. Was noch nicht sicher ist, welche Steckverbindung und Bauform das sein wird. Während m.2-Steckplätze bei allen Motherboard-Herstellern zumindest auf den teuren Motherboards aufgelötet sind, ist die Resonanz für SATA Express durchwachsen.

In Zukunft soll der PCI Express (PCIe) als Basis für Massenspeicher-Schnittstellen dienen. PCI Express erreicht pro Lane 500 MByte/s (Version 2.0) oder 1.000 MByte/s (Version 3.0). Bündelt man mehrere Lanes kann man in Zukunft sehr schnelle SSDs möglich machen.

## SSD oder Festplatte?

Obwohl die SSD in den letzten Jahren sich immer mehr durchgesetzt hat, hat die klassische Festplatte immer noch ihre Daseinsberechtigung. Trotz der typischen Vorteile, wie hohe Geschwindigkeit bei nicht-sequenziellen Zugriffen und niedrigen Energieverbrauch ist eine SSD nicht zwangsläufig der bessere Datenspeicher. Mit einem Blick auf Speicherkapazität, Preis und Zuverlässigkeit spricht mehr für die herkömmliche Festplatte.

Hohe Performance erreichen SSDs bisher nur mit rechenstarken Controllern, die ausgefeilte Wear-Leveling-Algorithmen beherrschen, viele Flash-Chips parallel anbinden und SDRAM-Cache nutzen. Eine Zwischenlösung zwischen Festplatten und SSDs sind Hybrid-Festplatten (SSHD, Solid-State Hybrid Drives), die neben dem Plattenspeicher auch einen Chip-Speicher haben, der das Booten des Betriebssystems und den Start von Anwendungen beschleunigen kann.

## SSHD - Solid-State Hybrid Drives

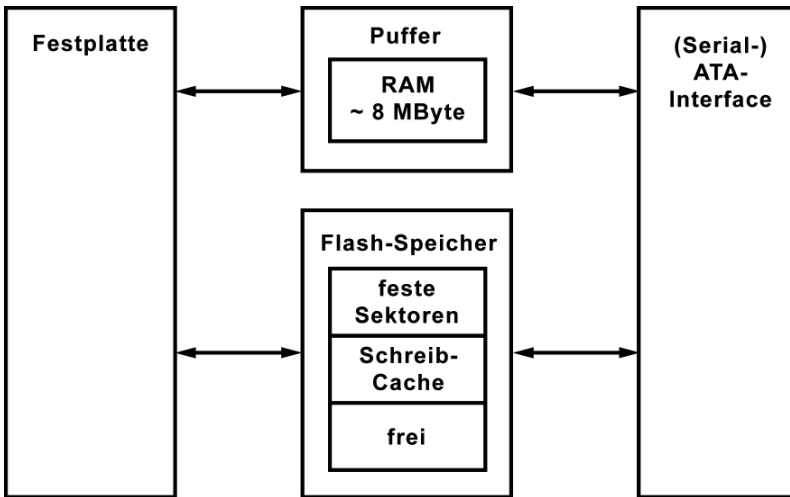
### Hybrid-Festplatten

Solid-State Hybrid Drives, kurz SSHDs, sind Hybrid-Festplatten, die aus einer herkömmlichen Festplatte mit einem zusätzlichen Flash-Speicher bestehen. Der Flash-Speicher dient als Datenpuffer für Schreib- und Lesezugriffe und soll für kürzere Zugriffszeiten sorgen. Im Flash-Speicher speichert der Festplatten-Controller häufig von den Magnetscheiben gelesene Daten zusätzlich ab, so dass diese von dort mit SSD-Tempo gelesen werden können. Gleichzeitig werden Schreibvorgänge mit geringem Datenumfang in den Flash-Speicher und später am Stück auf die Magnetscheiben geschrieben. Das spart Strom, weil die Magnetscheiben in der Festplatte seltener anlaufen müssen.

Zusammenfassen kann man sagen, dass dieses Verfahren die Leistungsaufnahme von Festplatten reduziert und die Lese- und Schreibgeschwindigkeit erhöht. Hierbei gilt, je größer der Flash-Speicher, desto besser funktioniert es. Denkbar wäre, dass ein Computer vom Flash-Cache aus bootet oder aus dem Ruhezustand aufwacht. So könnte ein Computer in weniger als einer Sekunde betriebsbereit sein.

Beim Lesen und Schreiben arbeiten Hybrid-Festplatten rund 20% schneller, wodurch die Systemleistung aber nur um ca. 10% steigt. Hinweis: Geschwindigkeitssteigerungen von unter 20% bemerkt der Anwender in der Regel kaum. In der Regel lohnt sich der Einsatz von Hybrid-Festplatten nicht.

## Aufbau und Funktionsweise einer Hybrid-Festplatte



Ein Teil des Flash-Speichers wird zum Puffern von Schreibzugriffen verwendet. Anstatt die Daten gleich auf die Hybrid-Festplatte zu schreiben, werden die Daten im Flash-Speicher abgelegt. Der Speicher wird so lange beschrieben, bis er voll ist. In dieser Zeit bleibt das Laufwerk im Stromsparmodus. Erst dann, wenn der Flash-Speicher voll ist, wird das Laufwerk aufgeweckt und der Inhalt des Flash-Speichers auf den Magnetspeicher übertragen.

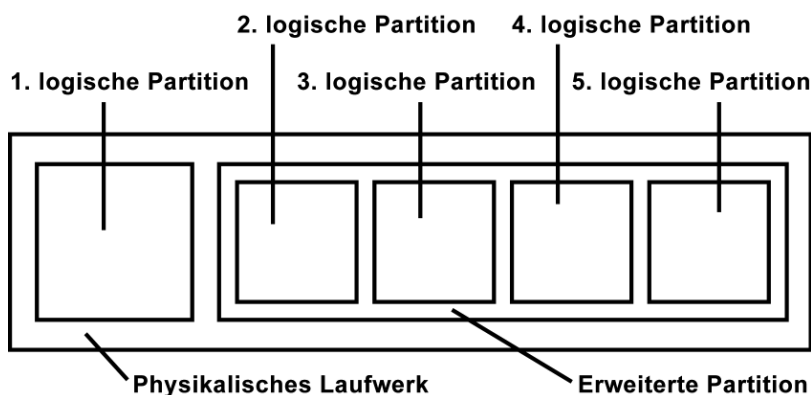
Auf diese Weise beschleunigt der Flash-Speicher die Schreibzugriffe. Vor allem die nichtlinearen Zugriffe, bei denen der Schreib-/Lese-Kopf der Festplatte sich mehrmals über die Platte bewegt. Das ist sehr zeitintensiv. Beim Schreiben auf den Flash-Speicher fallen die mechanischen Vorgänge erst mal weg.

Auch beim Lesevorgang können Geschwindigkeitsvorteile entstehen. Interessant sind Hybrid-Festplatten vor allem in Notebooks. Hier kommt es auf geringe Leistungsaufnahme und schnelle Startzeiten an. Es gibt ein spezielles ATA-Kommando, mit dem eine Hybrid-Festplatte angewiesen

werden kann den Flash-Speicher zum Stromsparen zu verwenden. Dabei wird das Laufwerk möglichst oft schlafen gelegt und alle Schreibzugriffe erst mal im Flash-Speicher abgelegt.

Bei Hybrid-Festplatten mit einem Flash-Speicher mit nur 8 GByte lassen sich natürlich nur wenige Zugriffe beschleunigen. Und das funktioniert auch nur dann, wenn die selbstlernenden Controller diese Zugriffe als puffernswert feststellen. Und dazu müssen die Daten auf den Magnetscheiben parallel im Flash-Speicher gepuffert werden. Mit einem kleinen Flash-Speicher werden dann nur regelmäßig genutzte Anwendungen beschleunigt.

## Partitionen / Partitionieren



Eine Partition ist ein logischer Teil einer Festplatte, der wie eine physikalische Festplatte angesprochen wird. Unterschieden wird zwischen logischer, primärer und erweiterter Partition.

Das Partitionieren ist das Aufteilen eines physikalischen Laufwerks oder einer erweiterten Partition in mehrere kleinere logische Partitionen um sie als eigenständige Laufwerke ansprechen zu können.

## Physikalische Laufwerke

Die magnetische Platte ist der Datenspeicher einer Festplatte. Er wird als physikalisches Laufwerk bezeichnet.

## Logische Partition

Die logische Partition ist ein Bestandteil einer oder mehreren Festplatten, die sich über eine eigene Laufwerksbezeichnung ansprechen lässt.

Unter einem Windows-Betriebssystem werden logische Partitionen wie physikalische Festplatten durch einen Buchstaben zwischen C und Z gekennzeichnet.

Unter Linux wird jede physikalische Festplatte, jede logische, primäre und erweiterte Partition einzeln gekennzeichnet. Die physikalischen Festplatten werden mit hda, hdb, hdc und fortlaufend gekennzeichnet. Wobei hda die erste Festplatte am primären Controller, hdb die zweite Festplatte am primären Controller, hdc die erste Festplatte am sekundären Controller und so weiter wären. Die Partitionen werden mit hda1, hda2, hda3 usw. gekennzeichnet. Wobei hda1 bis hda4 ausschließlich die primären Partitionen sind. hda5 ist die erweiterte Partition und hda6, hda... die logischen Partitionen.

## Primäre Partition

Die primäre Partition ist der Teil einer Festplatte, von der ein Betriebssystem gebootet werden kann. Pro Festplatte ist es möglich 4 primäre Partitionen einzurichten, ohne den Bootsektor der Festplatte anzupassen.

## Erweiterte Partition

Muss eine Festplatte in mehr als 4 Partitionen unterteilt werden, dann kann eine zusätzliche erweiterte Partition pro physikalisches Laufwerk eingerichtet werden. Die erweiterte Partition ist nicht bootfähig. Sie kann allerdings in kleinere logische Partitionen unterteilt werden.

## Warum wird partitioniert?

Der Grund liegt in der Art und Weise, wie Dateien auf der physikalischen Festplattenstruktur abgelegt werden. Man spricht von Dateisystemen, die irgendwann entwickelt wurden, um Dateien und Ordner auf der Festplatte zu speichern.

Ein Problem waren die Festplatten-Controller, die nicht in der Lage waren, einen größeren Adressbereich anzusprechen. Und, der technische



Fortschritt und die höheren Kapazitäten von Festplatten wurden schneller eingeführt als neue und bessere Dateisysteme. Vor allem unter Windows-Betriebssystemen war das FAT-Dateisystem (File Allocation Table) lange führend. FAT ermöglichte durch die Zusammenführung mehrerer Blöcke zu einer logischen Ansprecheinheit (Cluster), um die Adressierungsbeschränkung zu umgehen. Es hatte den Nachteil, dass es Festplatten nur bis zu einer bestimmten Kapazität verwalten und die Dateien nicht besonders platzsparend speichern konnte.

Bei FAT16 ist die Partitionsgröße auf 2 GByte beschränkt. Der Nachfolger von FAT16 war FAT32. Damit wurde der Adressierungsbereich auf 32 Bit vergrößert. Allerdings blieb FAT32 aus Kompatibilitätsgründen auf eine gewisse Größe beschränkt. Bei FAT32 ist die Partitionsgröße auf 2 TByte begrenzt. Über 32 GByte verwendet man üblicherweise das Dateisystem NTFS.

Um die überschüssige Festplatten-Kapazität trotzdem nutzen zu können, teilte man die Festplatten mindestens in zwei Partitionen auf. Man umging somit die Adressierungsbeschränkung der Festplatten-Controller und die Kapazitätsbeschränkung von FAT.

Der andere Nachteil bestand in der logischen Aufteilung (Cluster) der physikalischen Festplatte. Je nach Festplatte oder Partitionsgröße waren die Cluster unterschiedlich groß. Je größer die Partition, desto größer waren die Cluster. Jede gespeicherte Datei belegte mindestens einen Cluster. War die Datei zu groß für den Cluster wurde die Datei so oft geteilt, bis die Datei in mehrere Cluster passte. War die Datei kleiner als ein Cluster, wurde sie im Cluster gespeichert. Der freie Speicherplatz im Cluster war dann verloren. Er konnte nicht belegt werden. Besonders kleine Dateien mit wenigen Byte konnten so genauso viel Speicher belegen, wie mehrere große Dateien. Um den Speicherplatz nicht unnötig zu verschwenden, teilte man eine physikalische Festplatte in mehrere kleinere Partitionen mit einer gerade noch akzeptablen Clustergröße auf.

Da es heute für alle Betriebssysteme bessere Dateisysteme gibt, partitioniert man aus den genannten Gründen nicht mehr. Im Prinzip gibt es keinen wirklichen Grund mehr zu Partitionieren.

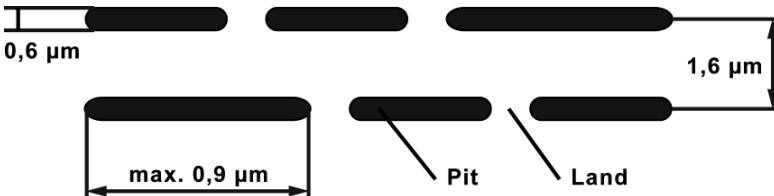
# CD-ROM

Die CD-ROM ist ein Massenspeicher mit 650 bis 879 MByte Speicherkapazität. Als Vorlage diente die Compact-Disc (CD), die bereits Anfang der 80er Jahre als digitales Medium für Musik entwickelt wurde.

Im aufkommenden Multimedia-Zeitalter wurde es nötig die umfangreichen Computerdaten sinnvoll zu speichern. Dazu reichte die alte Diskette mit 1,4 MByte nicht mehr aus. Mit der Musik-CD war bereits ein zuverlässiger Datenträger für digitale Daten auf dem Markt. Somit war es naheliegend die Compact Disc als Speichermedium auch in der Computertechnik einzusetzen.

## Aufbau einer CD-ROM

Der Durchmesser einer CD-ROM beträgt 12 cm. Die CD besteht aus Polycarbonat mit einer Dicke von 1,2 mm. Darin liegt eine reflektierende Aluminiumschicht. Sie ist einseitig mit Daten beschrieben und hat eine Speicherkapazität von 650 MByte bzw. 74 Minuten Abspielzeit.



Die Daten sind auf einer spiralförmigen, von innen nach außen, führenden Spur in Vertiefungen gespeichert. Diese Vertiefungen werden Pits (Täler) genannt. Sie sind 0,2 µm tief, 0,6 µm breit und maximal 0,9 µm lang. Der Abstand zwischen den Spuren beträgt 1,6 µm. Die Zwischenräume zwischen den Pits werden Lands genannt.

## Struktur einer CD-ROM

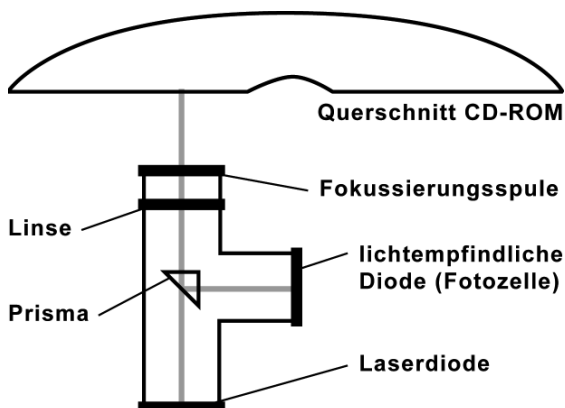
Die Daten auf der Audio-CD werden in Tracks gespeichert. Die einzelnen Tracks werden über ein Inhaltsverzeichnis, dem Table-of-Content (TOC) angesteuert. Ein Track besteht aus mehreren Sektoren, die mit einem Zeit-

Code identifiziert werden. Diese Technik ist gut für die Audio-CD. Für die Nutzung als Daten-CD mussten einige Erweiterungen her:

- Zusätzliche Header
- Dateisystem zur Verwaltung der Dateien

Die Daten auf einer CD-ROM werden in gleich großen Sektoren gespeichert. Diese Sektoren werden auf einer einzigen Spur, die spiralförmig angelegt ist, untergebracht.

## Lesen der Daten



Die Laserdiode erzeugt einen Laserstrahl, der zusätzlich durch eine Linse gebündelt wird. Dieser Laserstrahl trifft auf die Unterseite der CD-ROM, durchdringt die Schutzschicht und trifft auf die Aluminium-Schicht. Dort wird er reflektiert. Das Prisma leitet den Laserstrahl zur Fotozelle weiter. Der Laserstrahl, der die Fotozelle trifft, erzeugt eine geringe elektrische Spannung.

Trifft der Laserstrahl auf einen Übergang zwischen Pit und Land, dann wird der Laserstrahl abgelenkt, was eine andere elektrische Spannung in der Fotozelle verursacht. Auf diese Weise entsteht eine Reihe von Einsen und Nullen.

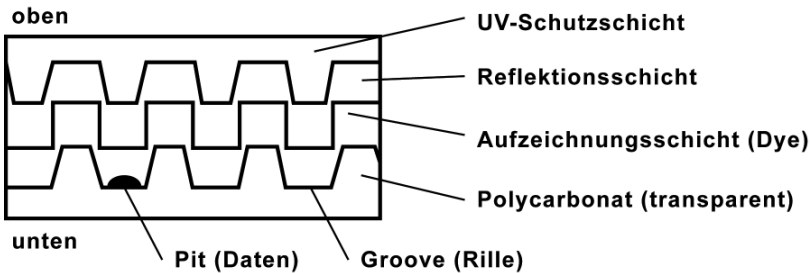
## Lesegeschwindigkeit von CD-ROM-Laufwerken

Eine Audio-CD wird mit einer konstanten Datenrate von 150 kByte/s ausgelesen. Dieser Datendurchsatz wird mit "1x" bezeichnet. Laufwerke, die einen 52-fachen Datendurchsatz haben, erreichen 7.800 kByte/s.

## CD-R

Eine CD-R ist eine einmal beschreibbare CD, die von einem CD-ROM- oder DVD-Laufwerk gelesen werden kann. Um die CD-R zu beschreiben, muss das CD-Laufwerk brennfähig sein.

### Aufbau



Eine CD-R besteht aus 4 Schichten. Eine Trägerschicht aus Polycarbonat (Plastikscheibe), das Dye (eine Farbschicht), eine reflektierende Gold- oder Aluminiumschicht und eine Schutzlackschicht.

In den drei unteren Schichten hat die CD-R eine helixförmige Führungsrille, die Groove (Rille, Graben) genannt wird. Beim Lesen und Brennen weist diese Rille dem Laser den Weg über die CD-R. Der Erfolg eines Brennvorgangs hängt davon ab, wie genau die geometrischen Abmessungen der Rille sind. Bei hochwertigen Rohlingen verläuft die Groove gleichmäßig über die gesamte Scheibe:

- die Tiefe beträgt 200 nm
- die Breite oben beträgt 700 nm
- die Breite unten beträgt 400 nm
- die Groove-Seitenkante ist 50° geneigt

Schlechte Rohlinge halten diese Maße nicht ein. Dadurch hat der Laser Orientierungsschwierigkeiten beim Lesen und Brennen. Beim Brennen der Daten brennt der Laser in den Dye. Dadurch schmilzt die Farbe weg und legt die Reflexionsschicht an dieser Stelle frei.

## **Qualitätsunterschiede bei Rohlingen**

Die Qualität eines Rohlings hängt zum Einen von der Güte der Führungsrille und die gleichmäßige Verteilung des Farbstoffs (Dye) ab. Durch die Fertigungsmaschinen entstehen allerdings durch Abschaltungen und Wartungsarbeiten Fertigungstoleranzen. So brauchen die Maschinen nach einer Abschaltung eine gewisse Anlaufphase, in der die engen Toleranzen für Markenrohlinge nicht eingehalten werden. Bis die Maschine optimal eingestellt sind, werden einige tausend Rohlinge produziert, die als Noname auf den Markt kommen. Deshalb kann es vorkommen, dass Noname-Rohlinge die Qualität von Markenrohlingen haben.

Die Farbe, der Unterseite, eines Rohlings entsteht aus der farblichen Addition der metallischen Reflexionsschicht und der Farbschicht, dem zwischen der Metallschicht und dem Polycarbonat-Träger liegendem Dye. Die Farbschicht (Dye) besteht in der Regel aus folgenden Materialien: Cyanin (blau), Phthalocyanin (farblos), Azo (dunkelblau) und Gold. Für die Reflexionsschicht wird Gold, Silber oder Aluminium (CD-RW) verwendet. Von den vielen möglichen Kombinationen kommen in der Regel die folgenden vor:

- Cyanin/Gold (grün)
- Cyanin/Silber (hellgrünblau)
- Phthalocyanin/Gold oder Silber (gelbgold)
- Azo/Silber (blau)

Weil unterschiedliche Brenngeschwindigkeiten und unterschiedliche Brenntechniken auch unterschiedliche Rohlinge benötigen, braut jeder Rohling-Hersteller sein eigenes Süppchen, was die Zusammensetzung seiner Rohlinge betrifft.

## **Haltbarkeit von CD-Rs**

In Belastungstests hatten CD-Rs mit Phthalocyanin-Dye und einer Gold-Silber-Legierung als Reflexionsschicht die beste Haltbarkeit.

CD-Rs mit Cyanin-Dye waren lichtresistent aber empfindlich bei hohen Temperaturen und Luftfeuchtigkeit.

Als problematisch gelten CD-Rs mit Azo-Dye, obwohl die Hersteller mit besonders hoher UV-Beständigkeit und Haltbarkeit werben.

## **CD-Brenner**

Das WORM-Laufwerk, ist der klassische CD-Brenner, der die CD (Rohling) nur einmal beschreiben, dafür beliebig oft lesen kann (Write Once, Read Multiple). Das WORM-Laufwerk ist ein magnetooptisches Laufwerk, das beim Lesen wie ein CD-ROM-Laufwerk arbeitet. Meist hat es sogar einen separaten Lese-Laser. Der Schreib- bzw.

Aufzeichnungsvorgang wird allgemein als Brennen bezeichnet. Dafür ist ein spezieller Laser zuständig.

### **CD-R brennen**

Der Laser lässt sich während des Brennvorgangs von einer vorgegebenen Rille führen. Soll nun ein Pit auf die Rille gebrannt werden, wird das Dye an dieser Stelle vom Laser erhitzt. Der Farbstoff brennt an dieser Stelle weg. Dabei kommt die darunterliegende Reflexionsschicht zum Vorschein. Je schneller ein Brenner brennen muss, desto schneller muss an dieser Stelle der Farbstoff wegbrennen. Dafür sind nur Rohlinge mit einer bestimmten Brenngeschwindigkeit geeignet.

### **CD-RW brennen**

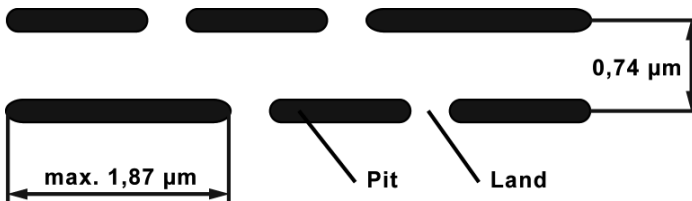
Die Anforderungen an die Laser-Modulation ist bei CD-RW wesentlich höher, wodurch auch die geringeren Schreibgeschwindigkeiten herrühren. Der CD-RW-Brennvorgang ist ein Überschreibvorgang, bei dem nicht nur der Laser ein- und ausgeschaltet werden darf. Die Phase-Change-Technik verlangt zusätzlich eine Modulation des Laserstrahls, damit die unterschiedlichen Schichten mit unterschiedlicher Intensität bestrahlt werden.

# DVD - Digital Versatile Disc

Die DVD ist ein Massenspeicher, ähnlich wie die CD-ROM. Mit einer Speicherkapazität von 4,7 GByte (Single Layer) bzw. 8,5 GByte (Dual Layer) konnten viel mehr Daten gespeichert werden, als auf einer CD-ROM. Parallel dazu wurden beschreibbare und wiederbeschreibbare DVD-Varianten entwickelt.

Ursprünglich stand DVD für Digital Video Disc. Ein Großteil der Anwendungen liegen jedoch im Computerbereich. Daher ist heute die korrekte Bezeichnung Digital Versatile Disc.

## Aufbau einer DVD



Die Daten auf einer DVD werden in Erhöhungen (Pits) und Vertiefungen (Lands) in der Reflektionsschicht gespeichert. Der Übergang von einem Pit zu einem Land bzw. umgekehrt wird als logische 1 gewertet. Findet kein Wechsel statt, wird das als logische 0 gewertet. Um mehr Daten auf ein gleich großes Medium wie die CD unterzubringen, werden die Pits und deren Abstand zueinander verkürzt und die Daten auf vier übereinanderliegende Schichten verteilt. Dadurch entsteht ein Speichermedium, das bis zu 17 GByte speichern kann.

Um die kleineren Pits lesen zu können, ist die Wellenlänge des roten Lasers auf 635 nm bzw. 650 nm verkürzt. Zum Vergleich: die CD-ROM wird mit einem infraroten Laser und einer Wellenlänge von 780 nm gelesen.

## Speicherkapazität

Die Speicherkapazitäten einer DVD sind eine Vorgabe der Filmindustrie. Diese geht von einer Standardlänge pro Film von 135 Minuten aus. Durch Addieren der Datenrate pro Sekunde kommt man mit Bild und Ton in mehreren Sprachen und Untertitel auf 4,69 MBit. In der Minute sind das

281,4 MBit. Bei 135 Minuten ergibt das eine Datenmenge von ca. 38 GBit, was umgerechnet etwa 4,7 GByte entspricht. Das ist die Speicherkapazität einer DVD-5 (Single Layer). Diese wird für Video-DVDs verwendet. Wenn die Speicherkapazität nicht ausreicht, dann greift man auf die doppelagige DVD-9 (Dual-Layer) zurück.

Bei der Speicherkapazität rechnet man in 1 kByte. Wobei 1 kByte gleich 1.000 Byte (dezimal) und nicht 1.024 Byte (binär) ist. Bei der Bezeichnung des Typs wird dann die Speicherkapazität noch mal großzügig aufgerundet. So kommt es zu den unterschiedlichen Werten bei der Angabe der Speicherkapazität.

## Übersicht der DVD-Typen

DVD-Typ	Seiten	Schichten	Speicherkapazität	
			binär	dezimal
DVD-5	1	1	4,38 GibiByte	4,7 GByte
DVD-9	1	2	7,92 GibiByte	8,5 GByte
DVD-10	2	1	8,76 GibiByte	9,4 GByte
DVD-14	2	1/2	12,3 GibiByte	13,2 GByte
DVD-18	2	2	15,84 GibiByte	17 GByte

## DVD-Brenner und DVD-Rohlinge

DVD-Brenner sind spezielle DVD-Laufwerke, die auf DVDs Daten speichern können. Den Speichervorgang nennt man auch brennen, weil die Daten mit einem Laser in die Scheibe gebrannt werden. Dafür sind spezielle DVDs notwendig, die DVD-Rohlinge. Rohlinge deshalb, weil es sich dabei um leere DVDs handelt.

Es gibt verschiedene beschreibbare und wiederbeschreibbare DVD-Standards. Alle Hersteller bieten ihre DVD-Brenner als Multifunktionslaufwerke bzw. Multinorm-Brenner an. Einige Brenner beherrschen sogar das sehr exotische DVD-RAM. Allerdings nur die Typ-



II- oder Typ-III-Medien, die es ohne Gehäuse gibt oder die man zumindest aus dem Gehäuse ausbauen kann.

## **Brenn- bzw. Schreibgeschwindigkeit**

Wer hin und wieder eine DVD brennt, dem ist die Geschwindigkeit vielleicht nicht so wichtig. Gefordert ist eher eine gute Brenn-Qualität, vor allem dann, wenn die gebrannte DVD öfters, vielleicht sogar in unterschiedlichen Laufwerken, verwendet werden soll. Es empfiehlt sich dann lieber eine Geschwindigkeitsstufe herunterzuschalten. Das Brennen dauert länger, aber das Brennergebnis ist dafür in der Regel besser. Wenn DVDs mit mehr als 8x geschrieben werden, nimmt die Brennqualität merklich ab.

Wer bei schnellen Brennern auf schnelles Brennen hofft, der dürfte enttäuscht sein. Von der Geschwindigkeit bleibt in der Praxis wenig übrig. Die meisten Brenner brennen sowieso anfangs mit einer geringeren Brenngeschwindigkeit und steigern diese über die gesamte Brenndauer bis zum Maximum.

Die Tabelle soll helfen das Kriterium der Geschwindigkeit zu bestimmen. Wobei ein schnelleres Gerät nicht zwangsläufig teurer sein muss.

## **Beschreibbare DVD-Formate**

Auf dem Markt der beschreibbaren und wiederbeschreibbaren DVD-Medien gibt es die DVD-R und DVD-RW. Beide haben das DVD-Forum auf ihrer Seite. DVD+R und DVD+RW sind Varianten, die zwar von einigen Mitgliedern des DVD-Forums entwickelt wurden, aber nicht von selbigen abgesegnet wurde.

Der fünfte im Rennen, die DVD-RAM, spielt keine besondere Rolle. Trotz der DVD im Namen, hat es technisch gesehen mit den anderen DVD-Formaten wenig zu tun. Eine DVD-RAM sich aber bis zu 100.000 mal überschreiben. Sie eignet sich deshalb hervorragend als Backup-Medium.

Die DVD-Formate der Plus-Minus-Fraktion sind sich technisch sehr ähnlich. DVD-R und +R, DVD-RW und +RW, sogar DVD-RAM setzen in weiten Teilen auf die gleiche Technik. Alle DVD-Rohlinge arbeiten mit ähnlichen Farbstoffen und kommen sogar aus den selben Produktionsmaschinen. Der wesentliche Unterschied liegt in den Pressformen für die Spiralen, denen der Laser beim Lesen und Schreiben

folgt. Die Pressform bestimmt auch die Kapazität eines DVD-Rohlings. Einzig allein die DVD-RAM funktioniert anders. Die DVD-RAM hat jedoch den Nachteil, dass sie nur wenige DVD-Laufwerke lesen können.

Der Auslöser für die Entwicklung der Plus-Formate (+R, +RW) waren die Lizenzkosten, die an das DVD-Forum für -R und -RW gezahlt werden müssen. Weiterhin ist es mit -R und -RW nicht möglich eine DVD-Video zu kopieren. Mit DVD+R und DVD+RW geht das hingegen schon. Bei der Medien-Erkennung in DVD-Playern schenken sich die Medien fast nichts. Es kommt eher selten vor, das eine selbstgebrannte DVD nicht erkannt wird.

## Übersicht: Beschreibbare DVDs

DVD-Typ	Seiten	Schichten	Kapazität	Methode
DVD-R 1.0	1	1	3,95 GByte	beschreibbar
DVD-R 2.0	1	1	4,70 GByte	beschreibbar
DVD-R DL	1	2	7,95 GByte	beschreibbar
DVD+R	1	1	4,70 GByte	beschreibbar
DVD+R DL	1	2	7,95 GByte	beschreibbar
DVD-RW 1.0	1	1	3,95 GByte	wiederbeschreibbar
DVD-RW 2.0	1	1	4,70 GByte	wiederbeschreibbar
DVD-RW DL	1	2	8,50 GByte	wiederbeschreibbar
DVD+RW	1	1	4,70 GByte	wiederbeschreibbar
DVD+RW DL	1	2	8,50 GByte	wiederbeschreibbar
DVD-RAM 1.0	1	1	2,58 GByte	wiederbeschreibbar
DVD-RAM 1.0	2	1	5,16 GByte	wiederbeschreibbar
DVD-RAM 2.0	1	1	4,70 GByte	wiederbeschreibbar
DVD-RAM 2.0	2	1	9,40 GByte	wiederbeschreibbar

## **BD - Blu-ray Disc**

Die Blu-ray Disc (BD) wurde für die Speicherung von hochauflösenden Videodaten (HDTV) entwickelt. Die Speicherung von mehr als zwei Stunden Audio- und Videodaten ist das maßgebliche Kriterium bei der Entwicklung gewesen. Die Speicherkapazität einer DVD reicht für diese Datenmenge nicht aus.

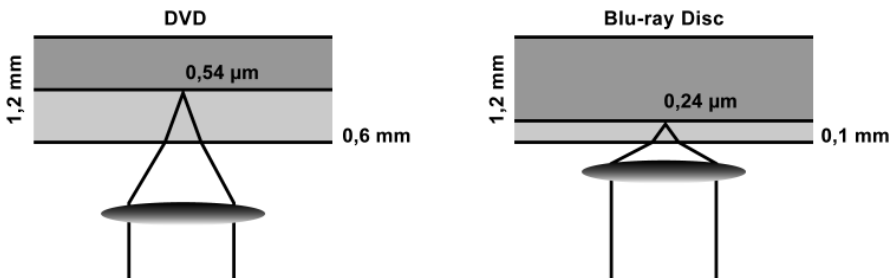
Für die Entwicklung und Fortführung des Blu-ray Disc Standards ist die Blu-ray Disc Association (BDA) verantwortlich. Dort sind die Hersteller aus der Unterhaltungselektronik und IT-Industrie zusammengeschlossen, die die Blu-ray Disc unterstützen.

Die Bezeichnung Blu-ray Disc ist von der Farbe des Lasers abgeleitet. Weil sich eine Farbe nicht als Warenzeichen schützen lässt, hat man einfach das "e" aus dem Wort "Blue" weggelassen. Deshalb findet man ab und zu fälschlicherweise die Bezeichnung "Blue-ray Disc".

BD-Laufwerke kommen nicht nur in Video-Playern, sondern auch in PCs zum Einsatz. Sie eignen sich zum Beispiel als Datenspeicher. Das Abspielen von Videos ist ebenfalls möglich. Zum Abspielen von hochauflösenden Filmen reicht schon ein Zweikern-Prozessoren mit einer einfachen Grafikkarte aus. Für den einen oder anderen Onboard-Grafikchip auf dem Motherboard stellt das Dekodieren von Video-Daten kein Problem dar. Um einen Standard-PC zum Abspielen von Blu-ray Discs zu verwenden, braucht man in der Regel nur ein entsprechendes Laufwerk. Doch nur die wenigsten Computer werden mit Blu-ray-Laufwerken ausgestattet. Der Grund, es gibt nicht genügend Inhalte für Blu-ray, die den Kunden dazu bewegen bei einem neuen Computer mehr Geld für ein Blu-ray-Laufwerk auszugeben. Im Regelfall reicht ein DVD-Laufwerk aus. Das ist günstiger. Langfristig ist jedoch davon auszugehen, dass sich Blu-ray-Disc doch noch durchsetzen wird. Blu-ray-Laufwerke können auch CDs und DVDs lesen, Brenner sogar beschreiben.

### **Aufbau der Blu-ray Disc**

Mit Hilfe eines blauen Lasers mit einer Wellenlänge von 405 nm können 25 GByte auf einer einlagigen, einseitig beschreibbaren Blu-ray Disc gespeichert werden. Zweilagige Blu-ray Discs haben sogar die doppelte Kapazität (50 GByte). Denkbar wären Medien mit 8 Schichten, also 200 GByte. Allerdings wäre die Produktion dieser Medien sehr schwierig.



Um auf dem gleichen Medium, wie die CD bzw. DVD, eine höhere Speicherkapazität möglich zu machen, wurde die Struktur auf der Blu-ray Disc verkleinert. Dazu wird ein Laser im blauvioletten Bereich verwendet und die Wellenlänge auf 405 nm abgesenkt. Blaues Licht lässt sich feiner fokussieren und ermöglicht so eine höhere Datendichte auf der Scheibe. Dadurch muss aber auch der Abstand zwischen Scheibe und Schreib-/Leseoptik verringert werden. Nur lassen sich Schreib- und Lesefehler verringern.

Die Blu-ray Disc hat eine Schutzschicht von nur 0,1 mm. Aus diesem Grund war sie ursprünglich in einer Cartridge (Gehäuse) vorgesehen. Im Laufe der Weiterentwicklung gab es dann Materialien, die deutlich härter und als sehr dünne Schutzschicht geeignet waren. Deshalb wird die Blu-ray Disc ohne Gehäuse hergestellt. Der Formfaktor bleibt jedoch zur CD und DVD identisch. 12 cm Durchmesser und 1,2 mm Dicke. Damit ist die Kompatibilität zu Laufwerken gegeben, die neben der Blu-ray Disc auch CDs und DVDs lesen und schreiben können.

## Formate und Speicherkapazität der Blu-ray Disc

Format	Speicherkapazität
BD-ROM SL	25 GByte
BD-ROM DL	50 GByte
BD-R (Recordable)	25 GByte
BD-RE SL (Rewriteable)	25 GByte
BD-RE DL (Rewriteable)	50 GByte
BDXL	100 und 128 GByte (40 MByte/s)

## Regionalcode

Wie bei der DVD gibt es auch bei der Blu-ray Disc einen Regionalcode. Der soll verhindern, dass in den USA gekaufte Medien nicht in Europa oder Asien gekauften Geräten abgespielt werden können. Damit will die Filmindustrie verhindern, dass ein Film der in den USA bereits erhältlich ist die Verkäufe in anderen Ländern kaputt macht.

Allerdings unterscheidet sich die Aufteilung der Regionalcodes von denen der DVD. Insgesamt gibt es nur 3 Regionalcodes.

Regionalcode	Gebiet
A/1	Nordamerika, Mittelamerika, Südamerika, Japan, Nordkorea, Südkorea, Taiwan, Hongkong und Südostasien
B/2	Europa, Grönland, französische Überseegebiete, Mittlerer Osten, Afrika, Australien und Neuseeland
C/3	Indien, Nepal, China, Russland, Zentral- und Südasien

## Blu-ray-Disc-Brenner

Die Blu-ray-Brenner basieren auf der Technik für die Blu-ray Disc und können Blu-ray-Rohlinge (BD-R) mit Daten beschreiben. Die Funktionsweise des Brennens und der Aufbau der Rohlinge ist den Verfahren zum Brennen von CD-ROMs und DVDs sehr ähnlich. Mit dem Unterschied, dass die Strukturen feiner und die Toleranzen enger sind.

Die Datenträgerschicht der BD-R befindet sich unter einer 0,1 mm dicken Schutzschicht. Zweilagige BD-Rs (45 GByte) haben sogar nur eine Schutzschicht von 0,075 mm. Sozusagen ein Hauch von Nichts. Durch den geringen Abstand zur Schutzschicht und die kürzere Wellenlänge kann der Laser stärker fokussiert werden und dadurch kleinere Markierungen in die Datenschicht brennen. Die feinere Struktur hat den Nachteil, dass der Laser empfindlicher bei Kratzern und Verunreinigungen reagiert. Ein Kratzer auf einer BD-R kann mehr Daten beschädigen als bei einer CD-ROM oder DVD. Deshalb hat die BD-R zwei Sicherheitsmechanismen. Das ist eine extrastarke Schutzschicht. Ein kratzfester Schutzlack, der

deutlich härter ist, als das übliche Polycarbonat. Die zweite Maßnahme ist eine Fehlerkorrektur, die Burst-Fehler erkennen und mit verschiedenen Mechanismen lokalisieren kann. So ist die BD-R besser vor mechanischer Beschädigung geschützt als die DVD.

Natürlich müssen die BD-Brenner auch engere Toleranzen einhalten, um die Fehlerrate niedrig zu halten. Damit die BD-R gelesen werden kann, muss der Laser auf die Eigenschaften der Aufnahmeschicht der Rohlinge abgestimmt sein. Der Laser darf weder zu stark, noch zu schwach brennen. Die Einhaltung der Grenzwerte wird mit zunehmender Schreibgeschwindigkeit immer schwieriger, So kämpfen schon DVD-Brenner im Außenbereich der Scheibe mit sehr hohen Fehlerwerten. Dort werden die Scheiben mit sehr hohem Tempo beschrieben. Beim BD-Brenner wird noch schneller gebrannt.

BD-Brenner mit 2- bis 4-fachem Tempo entsprechen DVD-Brenner mit 7- bis 13-fachem Tempo oder CD-ROMs mit 60- bis 120-fachem Tempo. Kommen Brenner mit der nächsthöheren Brenngeschwindigkeit auf den Markt, so hinkt das Angebot an passenden Rohlingen meist um mehrere Wochen hinterher. Nicht nur das diese schwer zu bekommen, sondern auch teuer sind. Erst nach mehreren Monaten wird die Verfügbarkeit besser und Einzelstückpreise günstiger.

Statt ihre Daten auf DVD oder Blu-ray zu brennen, greifen viele Anwender heute auf externe Festplatten zurück. Gegen Blu-ray stehen günstige mobile Festplatten und USB-Sticks mit hoher Speicherkapazität. Trotzdem ist die Blu-ray Disc ein günstiger und schneller Datenspeicher. Die durchschnittliche Transferrate liegt zwischen 9 MBit/s (2x) und 34 MBit/s (10x). Der letzte Wert entspricht einer externen Festplatten an USB 2.0.

## **USB-Speicher / USB-Stick**

Ein USB-Speicherstick bzw. USB-Stick ist ein Wechselspeicher, der direkt an einen USB-Port eines Computers steckbar ist. Der Datenspeicher auf einem USB-Stick besteht aus Flash-Halbleiterspeicher.

USB-Sticks zeichnen sich durch eine hohe Speicherkapazität und Zugriffsgeschwindigkeit aus. Dadurch sind sie eine Alternative zu Disketten, wiederbeschreibbaren CDs oder DVDs. Weil die USB-

Schnittstelle eine Standard-Schnittstelle ist, die jeder Computer hat, eignen sich USB-Sticks als Wechselspeicher. Der Zugriff ist so einfach, wie bei einer Festplatte. Der USB-Stick ersetzt damit auch die beliebten beschreibbaren CDs und DVDs, wenn es um den Transport und die Archivierung großer Dateimengen geht.

## Speicherkarten

Speicherkarten sind kleine Datenspeicher, die als Wechselspeicher in mobilen Geräten eingesetzt werden. Speicherkarten verwenden Flash-Speicher als Speichertechnik. Die Flash-Speicherzellen behalten die Daten auch ohne Stromversorgung. Die kleine und leichte Bauweise erlaubt den Einsatz in kleinen mobilen Geräten. Auch der Stromverbrauch hält sich in Grenzen. Das ist besonders bei Akku-betriebenen Geräten wichtig. Zum Lesen und Beschreiben der Speicherkarten gibt es Lesegeräte in den unterschiedlichsten Ausführungen. Egal ob als Gehäuse-Einbaukit, als Karten-Adapter für USB oder fest eingebaut in Notebooks.

In der Regel werden Speicherkarten für Digitalkameras und Handys verwendet. Für Handys gibt es auch ganz kleine Speicherkarten, die nur so groß wie ein Fingernagel sind. Noch vor ein paar Jahren war die Auswahl an Speicherkarten sehr groß. Man musste zwischen CompactFlash, Memory Stick, Secure Digital, xD und MultiMediaCard wählen. Wobei durch das mobile Gerät, der Speicherkartentyp meist schon vorgegeben war.

Die MultiMediaCard (MMC) wurde im Prinzip nur als günstige Alternative zur SD-Card verwendet. Da der Preisverfall in der Computertechnik sehr schnell voranschreitet, war die MMC nur für eine kurze Zeit interessant. Als nächstes verabschiedete sich die xD-Card von Fuji und Olympus, weil zu teuer, langsam und damit unbeliebt. Etwas länger hielten sich dann noch die Memory Sticks von Sony. Sony hat sich aber dazu entschlossen die Memory Sticks zugunsten der SD-Cards aufzugeben.

Übrig blieben nur noch die SD-Card und Compactflash, die aber im Prinzip nicht miteinander konkurrieren. SD-Speicherkarten gelten als universelle Massenspeicher für Digitalkameras und Navigationsgeräte. Für Smartphones gibt es die kleine microSD-Variante. Nur im professionellen

Bereich für Digitalkameras gelten CompactFlash-Speicherkarten mit ihrer hohen Kapazität und schnellen Schreibgeschwindigkeit als unverzichtbar. Andere Speicherkarten existieren praktisch nicht mehr. Außerdem findet man SD-Speicherkarten und CompactFlash auch in Mini-PCs und im Embedded-Bereich als Festplattenersatz.

## **Computer-Maus**

Die Computer-Maus ist ein Eingabe- bzw. Steuergerät, um Software zu bedienen. Im Dezember 1968 wurde die Computer-Maus vom Ingenieur Doug Engelbart vom Stanford Research Institute auf einer Konferenz in San Francisco erstmals als Zeigegerät vorgeführt. Bis heute wird mit der Computer-Maus die grafische Oberfläche eines Computers bedient. Beliebter ist nur noch die berührungsempfindliche Oberfläche eines Touchscreens.

Die Computer-Maus besteht aus einem Gehäuse in der Größe einer Zigarettenschachtel, einem Anschlusskabel (oder Funkeinheit), mehreren Tasten und meist auch einem Scrollrad. Die Computer-Maus dient zum Steuern des virtuellen Zeigers (Cursor), der auf dem Computer-Bildschirm dargestellt ist. Die Tasten dienen zum Ausführen von Aktionen, die von der Position des Zeigers auf dem Bildschirm abhängig sind. Und mit dem Scrollrad kann man den Inhalt von Fenstern vertikal verschieben.

Mobile Computer, wie Notebooks, kommen auch ohne Maus-Steuerung aus. Hier ist unterhalb der Tastatur eine berührungsempfindliche Fläche angebracht, mit der sich der Mauszeiger bewegen lässt. Anders bei Tablet-PCs oder Tablets. Hier ist die gesamte Bildschirmoberfläche berührungsempfindlich. Auf dem so genannten Touchscreen wird die grafische Oberfläche mit dem Finger bedient.

## **Maus-Schnittstellen**

- PS/2 - Mini-DIN
- USB - Universal Serial Bus
- Bluetooth



# Tastatur

Die Tastatur, auch Keyboard (Englisch) genannt, ist das älteste Dateneingabegerät das im Computerbereich bekannt ist. Älter dürfte nur der Lochstreifen sein, der aber gleichzeitig als Datenspeicher genutzt wurde. Die Tastatur erfüllt im wesentlichen nur die Funktion der Dateneingabe und der Steuerung des Betriebssystems und der Anwendungsprogramme.

Im Vergleich zum Prozessor, dem Arbeitsspeicher und der Festplatte genießt die Tastatur die geringste Aufmerksamkeit. Obwohl viele Computer-Besitzer den Innereien Ihres Computers viel Aufmerksamkeit widmen, ist die Tastatur für sie der unbedeutendste Teil ihres Computers. Vor allem bei Komplettrechnern vom Discounter wird an der Tastatur gespart. Wenn Sie überhaupt dabei ist. Was viele nicht wissen: Ohne Tastatur funktioniert ein Computer überhaupt nicht.

Vor allem Vielschreiber sollten sich eine hochwertige Tastatur kaufen, die stabil ist und deren Tasten einen angenehmen Druckpunkt haben.

## Tastatur-Schnittstellen

- PS/2 - Mini-DIN
- USB - Universal Serial Bus
- Bluetooth

# Scanner

Scanner können Texte und Bilder von glatten Vorlagen, z. B. Papier, digitalisieren. Die Daten werden nach dem Scanvorgang an den Computer übertragen, wo sie dann von einer Software als Bild-Datei abgespeichert werden.

Ein Scanner gehört im Privatbereich praktisch zur Standard-Ausrüstung eines Computers. Egal ob Ausschnitte aus Zeitungen, Zeitschriften und sogar Fotos. Für fast alle Digitalisierungsvorgänge sind auch günstige Einsteiger-Geräte zu haben. Nur wer spezielle Anforderung hat, sollte schon genau hinsehen, was die Scanner alles können.

Um Platz zu sparen werden häufig Multifunktionsgeräte eingesetzt, in denen ein Drucker und ein Scanner kombiniert sind. Dabei entstehen vor allem Business-Geräte, die sich auch als Kopierer und/oder Faxgerät eignen. Im Privatbereich sind sie aber genauso beliebt. Da man sowieso

einen Drucker braucht, kauft man sich ein Multifunktionsgerät und hat den Scanner integriert.

Inzwischen ist der Scanner als Zusatzausstattung eines Computers eher unüblich geworden. Die Kameras in Smartphones und Digicams sind inzwischen so gut, dass sich damit gute Kopien von Papierdokumenten machen lassen. Für Smartphones gibt es Apps, die Aufnahmen zurechtschneiden, in PDF-Format umwandeln und automatisch in die Cloud hochladen. Die Qualität ist dabei vergleichsweise so gut, wie bei einem Flachbettscanner.

## **Funktionsweise eines Flachbettscanners**

Der Flachbettscanner ist ein Kasten mit einer großflächigen Klappe an der Oberseite. Unter dieser Klappe befindet sich eine Glasscheibe, auf die die Vorlage mit der Oberseite nach unten gelegt wird. Unter der Glasscheibe befindet sich die gesamte Steuerelektronik, der Scankopf und eine sehr starke Lichtquelle.

Die Lichtquelle strahlt das Papier an. Die bedruckte Oberfläche des Papiers reflektiert das Licht unterschiedlich stark. Leere bzw. weiße Flächen reflektieren das Licht mehr als farbige oder schwarze Flächen. Beim Scan-Vorgang bewegt ein Motor den Scankopf unter der Glasscheibe entlang. Dabei nimmt er fortlaufend das reflektierte Licht auf. Der Scankopf leitet das Licht über ein Spiegelsystem weiter, bis es auf eine Linse trifft. Dort wird das Licht fokussiert und an lichtempfindliche Dioden geleitet. Diese Dioden wandeln die unterschiedlichen Lichtintensitäten in elektrische Spannung um. Je heller das Licht, desto höher die Spannung. Je dunkler das Licht, desto kleiner die Spannung. Wird ein Farbscan gemacht, dann wird das Licht vorher durch Filter mit den Grundfarben Rot, Grün und Blau geschickt. Ein Analog-Digital-Wandler setzt die analogen Spannungswerte in digitale Signale um. Anschließend werden die Daten an den Computer übertragen.

## **Auflösung**

Die Auflösung der Wert, wie viele Details ein Scanner von einer Vorlage einscannen kann. Die Angaben zur Auflösung werden in dpi, Punkte pro Zoll, angegeben. Sie sind aber nur theoretischer Natur und haben mit der physikalisch erzielbaren Auflösung in der Praxis nichts zu tun. Generell

kann man sagen, dass alle Scanner, außer im Profi-Bereich, nur ein Drittel dessen erreichen, was angegeben wird. Auflösungen von über 2400 dpi sind reine Utopie, die Otto-Normal-Verbraucher auch gar nicht braucht. Welche Auflösung ist dann überhaupt sinnvoll? Man kann sagen, dass es davon abhängig ist, mit welcher Auflösung die Vorlage gedruckt wurde und für welchen Zweck der Scan verwendet werden soll. Es bringt z. B. nichts, ein Foto mit 1200 dpi einzuscannen, wenn es nur mit 300 dpi gedruckt wurde.

Es gibt ein paar einfache Werte aus der Praxis und die uneingeschränkt zur Anwendung kommen können.

Vorlage	Auflösung
Zeitschrift, Zeitung, Buch	150 bis 300 dpi
Texterkennung (OCR)	200 bis 300 dpi
Papierfotos	300 dpi
Dia für 10 x 15	1260 dpi
Dia für 13 x 18	1600 dpi

Mehr als 300 dpi für normale Scanvorgänge sind sinnlos und erzeugen nur unnötigen Datenmüll. Allerdings wird die Auflösung ausschlaggebend, wenn Dias in einem Durchlichtscanner gescannt werden sollen. Je nachdem, was man aus diesen Bildern machen will, benötigt man eine hohe Auflösung. Sollen die Bilder entwickelt werden, ist zwingend eine hohe Auflösung vor dem Scannen einzustellen. Normale Standard-Scanner sind dann schlicht überfordert. Außerdem ist die Scan-Qualität meist so schlecht, dass man hier zu speziellen Durchlichtscannern für Dias raten muss.

Soll die gescannte Vorlage nach dem Scannen vergrößert oder nachbearbeitet werden, muss die eingestellte Scan-Auflösung größer sein, als die Zielauflösung. Wichtig ist, dass die Angabe der interpolierten Auflösung des Scanners vernachlässigt werden kann. Interpolieren bedeutet, dass dem tatsächlich abgetasteten Pixeln weitere hinzugerechnet werden. Das Bild wird matschig und unscharf. Interpolation ist also kein geeigneter Weg um ein Bild mit einer größeren Auflösung zu versehen.

## Farbtiefe

Die sinnvollste Farbtiefe beträgt 32 Bit. Das ist die Standard-Farbtiefe, die jeder Bildschirm darstellen kann. Mehr geht technisch nicht. Mehr als 32 Bit ist also nicht sinnvoll. Auch nicht, wenn man die Bilder anschließend ausdrucken will. Streng genommen reichen auch schon 24 Bit vollkommen aus. Je geringer die Farbtiefe, desto geringer die erzeugte Datenmenge.

## Scan-Qualität

Die Scan-Qualität lässt sich anhand technischer Werte nicht erkennen. Aber evt. helfen weitere Leistungsmerkmale weiter. Beim Scannen von Zeitungen und Zeitschriften entsteht im Bild ein unerwünschtes Moiré-Muster. Die Scan-Software sollte in der Lage sein, dieses Muster zu entfernen. Idealerweise hat der Scanner einen Hardware-gestützten Staub- und Kratzerentferner. So kann man sich nachträgliche Bildbearbeitung nach dem Scan-Vorgang sparen.

Farbverfälschungen lassen sich häufig in der Bildbearbeitung nachträglich korrigieren. Auch Fotos, die ursprünglich nichts geworden sind.

Wer jedoch eine möglichst exakte Farbwiedergabe wünscht, der muss zusätzlich ein Farbkalibrierungstool einsetzen und auch seinen Bildschirm kalibrieren.

Bei der Wahl eines Scanners stellt sich immer die Frage, ob Dias und Negative eingescannt werden sollen und ob die Vorlage nach dem Scannen vergrößert werden soll.

Bei Dias und Negative braucht man zwingend die sogenannte Durchlichteinheit. Eine zusätzliche Lichtquelle durchleuchtet beim Scannen die Durchlichtvorlage (Dia oder Negativ) von hinten. Dabei wird das Bild erhellt. Und kann dann vom Auflichtvorlagenscanner eingescannt werden. Die Auflösung sollte 1200 bis 1800 dpi betragen. Meistens befindet sich die Durchlichteinheit im Deckel des Scanners. Die Dias und Negative werden in Schablonen eingelegt und unter den Deckel gelegt. Spezielle Dia- oder Negativ-Scanner sind bei häufigerer Nutzung besser geeignet. Nicht nur bei der Geschwindigkeit, sondern auch wegen der besseren Scan-Qualität.

## **Optische Zeichenerkennung (OCR)**

In der Regel werden eingescannte Vorlagen als Bild-Datei gespeichert. Eingescannter Text ist dann zur Weiterverarbeitung allerdings unbrauchbar. Um das zu umgehen wird statt dem Grafikmodus die optische Zeichenerkennung (OCR) vor dem Scan-Vorgang aktiviert. Mit einem ausgeklügelten Verfahren stellt das OCR-Programm fest, wo sich der Text auf der eingescannten Vorlage befindet. Das Verfahren identifiziert Spalten, Überschriften und Textbausteine. Mit Hilfe der gleichmäßigen Zwischenräume hält das Programm die Textzeilen auseinander.

Anhand gespeicherter Buchstabenschablonen verschiedener Schriftarten vergleicht das Programm mit der gescannten Vorlage. Je besser die Vorlage ist, desto schneller und präziser wird er Text erkannt.

Problematisch sind die Zeichen "1" und "l". Für ein OCR-Programm sind diese praktisch identisch. Genauso die "5" und das "S" oder "cl" und "d". Eine integrierte Rechtschreibprüfung kann diese Fehler finden und beheben. Meist bleibt die händische Nachbearbeitung des Textes trotzdem nicht aus. Danach kann der Text in ein beliebiges Text-Format gespeichert werden.

## **TWAIN**

Der TWAIN-Standard sieht im Betriebssystem einen Treiber vor, mit dessen Hilfe jedes Anwendungsprogramm direkt auf den Scanner zugreifen und eine Vorlage einscannen kann. Diese sehr komfortable Funktion steht meist in einem Menüpunkt der Bildbearbeitungsprogramme zur Verfügung.

TWAIN-kompatibel sind alle Scanner. Über die TWAIN-Schnittstelle (Software) kann man aus nahezu jeder Anwendung heraus eine Vorlage einscannen und so in die Anwendung übernehmen. Z. B. per Texterkennung in ein Textverarbeitungsprogramm.

## **Drucker**

Waren Drucker in den Anfängen der Personal Computer sehr teuer, so sind günstige und gute Drucker heute kein Luxus mehr. In der Regel hat jeder Computer-Besitzer einen Drucker. Im Privatbereich werden hauptsächlich Tintenstrahldrucker verkauft. Deren Verbrauchsmaterial (Farbpatronen

und Spezialpapier) ist allerdings vergleichsweise teuer. Die Anschaffungskosten für das Gerät jedoch gering. Als Bürodrucker wird eher ein Laserdrucker verwendet. Der Ausdruck ist meist qualitativ hochwertiger.

Grundsätzlich kann man sagen, dass billige Drucker enorme Folgekosten nach sich ziehen, wenn man sehr viel ausdruckt. Deshalb ist den meisten Druckerkäufern schon aufgefallen, dass die Preise für Patronen und Kartuschen fast so hoch sind, dass man sich dafür einen neuen Drucker kaufen kann. Daran erkennt man, dass der Kauf eines Druckers durch den Kauf von Zubehör finanziert wird. Dumm für denjenigen, der seinen Drucker sehr häufig benutzt.

## **Druckertypen**

- Typenraddrucker
- Thermodrucker
- Thermotransferdrucker
- Thermosublimationsdrucker
- Nadeldrucker
- Tintenstrahldrucker
- Laserdrucker
- LED-Drucker
- Multifunktionsdrucker

Außer Nadeldrucker, Tintenstrahldrucker und Laserdruckern spielen alle anderen Druckerarten keine Rolle im Computerbereich.

## **Typenraddrucker**

Im Typenraddrucker befindet sich das Typenrad bzw. der Kugelkopf, auf dem alle druckbaren Ziffern, Buchstaben und Zeichen eingestanzt sind. Ein Typenraddrucker kann ausschließlich Zahlen, Buchstaben und Satzzeichen drucken.

Soll ein Buchstabe gedruckt werden, dreht ein Motor das Typenrad bis der Buchstabe vor einem Hammer platziert ist. Der Hammer schlägt dann den Buchstaben auf ein Farbband. Der Buchstabe wird dabei auf das Papier gedrückt.

Dieses Druckverfahren erlaubt wegen der umfangreichen und schweren

Mechanik nur wenige Zeichen in der Sekunde. Das Druckbild ist mit dem einer Schreibmaschine vergleichbar.

## **Nadeldrucker (Matrixdrucker)**

Ein Nadeldrucker hat einen Druckkopf, der aus mehreren Nadeln besteht. Es gibt Druckköpfe mit 9, 24 und 48 Nadeln. Schwarz-Weiß-Nadeldrucker haben in der Regel 9 Nadeln. Farbdrucker 24 Nadeln. Wegen des deutlich schärferen Druckbilds der Tintenstrahldrucker und Laserdrucker haben sich Nadeldrucker mit 48 Nadeln nicht durchgesetzt.

Beim 9-Nadeldrucker stehen die Nadeln in einer Reihe untereinander. Bei 24-Nadeldrucker stehen sie in zwei Reihen zu je 12 Nadeln untereinander. Je nach Anwendungsprogramm und Ausdruck wird ein Nadeldrucker unterschiedlich angesprochen. Entweder werden die Nadeln über einen Bit-Code gesteuert, wobei der Drucker den Buchstaben selbständig druckt. Grafiken werden in einzelnen Bit-Strukturen zum Nadeldrucker gesendet. Dieses Druckverfahren druckt 150 bis 400 Zeichen in der Sekunde. Der große Nachteil der Nadeldrucker ist deren Geräuschentwicklung beim Druck. Der Mechanismus, der die Nadeln durch das Farbband auf das Papier schleudern erzeugt einen hohen Lärmpegel. Abdeckhauben vermindern beim Drucken diesen Lärm.

Obwohl dieses Druckverfahren im Prinzip veraltet ist, werden diese Drucker in Industrie-Betrieben immer noch eingesetzt. Hier hat der Endlospapiereinzug und das Erstellen eines Durchschlags Vorteile.

## **Tintenstrahldrucker**

Tintenstrahldrucker sind leistungsstarke und günstige Standard-Drucker. Sie arbeiten ähnlich wie Nadeldrucker. Statt der Nadeln, wird Flüssigwachs, eine Art Tinte, auf das Papier gespritzt. Die Drucktechnik ist so gut, dass praktisch Fotoqualität erreicht wird. Weil großflächige Drucke auf Normalpapier das Papier Wellen schlagen lässt, ist für Fotodrucke ein Spezialpapier notwendig. Der Ausdruck ist allerdings nicht dokumentenecht und empfindlich gegen Feuchtigkeit und dauerhaftem UV-Licht.

## **Laserdrucker**

Laserdrucker funktionieren ähnlich wie Fotokopierer. Der erzeugte Ausdruck ist dokumentenecht, wischfest und hat ein gestochen scharfes Druckbild. Der Druckvorgang erfolgt vollkommen anschlagslos mit 6 bis 25 Seiten in der Minute.

Das Druckbild wird zeilenweise mit einem Laserstrahl auf ein Bildtrommel aufgetragen. Der Toner bleibt an den geladenen Stellen der Bildtrommel haften und wird dann auf das Papier aufgebracht und mit Hitze fixiert. So entsteht eine perfekte Druckqualität.

In der Regel ist der Anschaffungspreis höher als bei Tintenstrahldruckern. Die Geräte sind größer und sondern Gerüche (z. B. Ozon) ab. Der Standort eines Laserdruckers sollte deshalb gut belüftet sein. Günstige Laserdrucker sind nur als Monochrom-Laserdrucker erhältlich. Farb-Laserdrucker und der Farbtoner sind um einiges teurer.

## **LED-Drucker**

LED-Drucker sind Laserdrucker ähnlich. Denn bei LED-Druckern wird auch Toner verwendet. Die Druckqualität ist mit der von Laserdruckern vergleichbar.

Statt eines Laserstrahls wird die Belichtungseinheit mit Leuchtdioden (LEDs) belichtet. Eine LED-Leiste bringt Licht auf die lichtempfindliche Bildtrommel. Dabei wird die Beschichtung der Bildtrommel elektrostatisch negativ aufgeladen. Dort wo das Licht auf die Bildtrommel trifft, wird die Ladung aufgehoben. Dann dreht sich die Bildtrommel am Tonerlager vorbei und zieht an den Stellen, wo das Licht gefallen ist, die Tonerpartikel an. Dann dreht sich die Trommel am Papier vorbei. Der Toner wird dabei auf das Papier übertragen. Die Fixiereinheit erhitzt und presst den Toner auf das Papier, wodurch der Toner auf dem Papier fixiert bleibt.

## **Multifunktionsgeräte (MFG) / Multifunktionsdrucker (MFD)**

Multifunktionsgeräte (MFG) oder Multifunktionsdrucker (MFD) sind Drucker, die zusätzlich mit einem Flachbettscanner, Fax und Kopierfunktion ausgestattet sind. Wobei das Multifunktionsgerät nur aus Drucker, Scanner und Modem besteht. Ein Mikroprozessorsystem schaltet die einzelnen Teile zu Funktionseinheiten zusammen. So wird aus dem



Scanner und Drucker ein Fotokopierer. Scanner und Modem dienen zum Faxversand. Und Drucker und Modem dienen zum Faxempfang. Drucker und Scanner arbeiten auch für sich alleine. Die Druckereinheit ist in der Regel ein Tintenstrahldrucker. Es gibt aber auch Multifunktionsgeräte mit Laserdrucker.

Die einzelnen Komponenten haben nicht immer die gleiche Qualität. In der Regel ist der eingebaute Scanner im Vergleich zu normalen günstigen Flachbettscanner schlechter. In der Regel kann man davon ausgehen, dass der Drucker das einzige Teil des Multifunktionsgeräts ist, das am besten funktioniert.

Ein weiterer Vorteil von Multifunktionsgeräten ist der geringe Platzbedarf im Vergleich zu allen Einzelgeräten. Ein Multifunktionsgeräte ersetzt in der Regel einen eigenständigen Scanner, Faxgerät und Kopierer.

## Vergleich der Druckertypen

Drucker	Vorteile	Nachteile
Typenraddrucker	gutes Schriftbild, dokumentenecht	laut, langsam, keine Grafiken
Nadeldrucker	für Durchschläge geeignet	schlechtes Schriftbild, laut, langsam
Tintenstrahldrucker	günstige Geräte, Fotoqualität	kein Durchschlag, Licht- und Farb-empfindlich
Laserdrucker	sehr gutes Schriftbild, dokumentenecht	teuer, kein Durchschlag, Umweltbelastung durch Ozon

## Drucker-Schnittstellen

- Serielle Schnittstelle (RS232 V.24 COM)
- Parallele Schnittstelle (Centronics)
- USB - Universal Serial Bus
- Ethernet
- WLAN

# Grafikkarten

Die Grafikkarte berechnet visuelle Daten und gibt sie über eine Schnittstelle aus, an der ein Bildschirm angeschlossen ist. Auf dem Bildschirm wird dann die Benutzeroberfläche von Betriebssystem und Anwendungsprogrammen dargestellt.

Grafikkarten bzw. deren Funktionen bestimmen maßgeblich die Systemleistung und Eigenschaften eines Computers. Wobei die Leistung der Grafikkarte in der Hauptsache für Computerspiele und umfangreiche Grafikdarstellungen relevant ist. In komplexen Spielszenen berechnet die Grafikkarte detaillierte Objekte und die richtige Beleuchtung. Während der Hauptprozessor allgemeine Berechnungen erledigt und zum Beispiel das Verhalten von Spielfiguren berechnet, übernimmt die Grafikkarte die Berechnung beispielsweise von physikalischen Phänomenen, Explosionen und einstürzenden Gebäuden. Wenn die Bildschirmdarstellung bei diesen Bewegungen oder Verschiebungen ruckelt, dann ist die Grafikkarte, insbesondere der Grafikprozessor (GPU), bei der aktuell gewählten Auflösung und Detailtiefe nicht leistungsfähig genug.

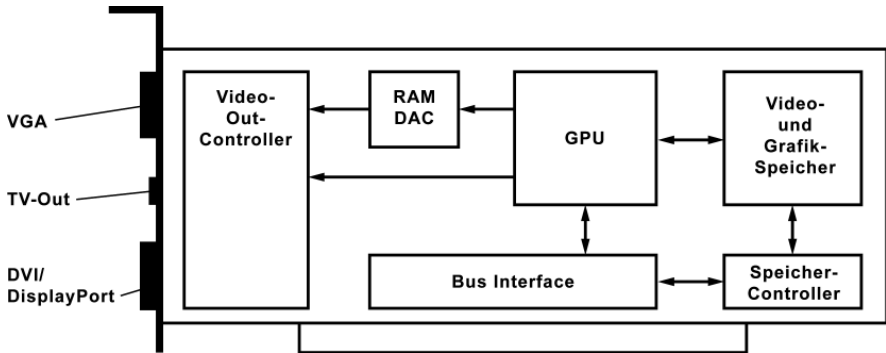
Zunehmend wird die Grafikverarbeitung von der Grafikkarte in den Hauptprozessor verlagert. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Zeit der Grafikkarten vorbei ist. Es ist eher so, dass die Grafikfunktionen, die bereits "onboard" im Chipsatz integriert sind, gleich in den Prozessor zu integrieren. Konsequenterweise muss die Grafikausgabe dann auch vom Prozessor aus erfolgen.

Anders als man denkt profitieren Bildbearbeitungsprogramme vor allem von einer schnellen CPU und viel Arbeitsspeicher. Die Grafikkarte bzw. der Grafikprozessor verbessert in der Hauptsache die Geschwindigkeit der Bildschirmdarstellung. Zum Beispiel beim Verschieben von Fenstern und Bildelementen, stufenloses Zoomen und Drehen der Zeichenfläche. Nur in bestimmten Fällen unterstützt die Grafikkarte das Computersystem direkt bei der Verarbeitung von Bild- und Videodaten. Zum Beispiel beim Abspielen und Transcodieren von Videos.

## Aufbau einer Grafikkarte

Eine Grafikkarte besteht aus folgenden mechanischen und elektronischen Teilen:

- Abdeckung
- Lüfter
- Kühlkörper
- Grafikprozessor
- Speicher
- Platine
- Slotblech
- weitere Abdeckung



Die wichtigste Aufgabe einer Grafikkarte ist die Ausgabe eines Bildsignals für Bildschirme. Dazu überträgt der Hauptprozessor die Daten an die Grafikkarte.

Aufgrund des hohen Datenaufkommens zwischen Prozessor und Grafikkarte, werden Grafikkarten mit einem eigenen Prozessor ausgestattet. Er soll den Hauptprozessor mit parallel laufenden Rechenoperationen entlasten. Das Herz der Grafikkarte ist der Grafikprozessor (GPU), der die wesentlichen Leistungsmerkmale einer Grafikkarte bestimmt. Es gibt auch Grafikkarten, die zwei GPUs haben und die aufgrund der hohen Verlustleistung mit einem Kühlkörper oder sogar Lüfter gekühlt werden müssen.

Um die enormen Datenmengen verarbeiten zu können haben Grafikkarten einen eigenen Arbeitsspeicher und eine spezielle Speicheranbindung mit hohen Taktraten. Der Grafikspeicher kann durchaus die Größe des normalen Arbeitsspeichers haben. Ein Speichercontroller steuert den Zugriff auf den Grafikspeicher.

Der RAM-DAC ist die Ausgangsstufe, die die digitalen Informationen des Bildspeichers in ein analoges Signal für den VGA-Anschluss umwandelt. Die Leistungsfähigkeit des RAM-DAC wird durch seine Geschwindigkeit

in MHz angegeben. Je höher dieser Wert, desto höhere Auflösungen und Farbtiefen (Farbanzahl) sind möglich. Da heute in der Regel digitale Signale an die Displays geschickt werden, hat der RAM-DAC seine Bedeutung verloren. Sofern die Grafikkarte einen VGA-Anschluss hat oder über DVI VGA-Signale ausgibt, existiert der RAM-DAC immer noch.

Ein Bus-Interface sorgt für die Anbindung der Grafikkarte an das Computersystem. Das Bus-Interface nutzt PEG (PCIe) zur Übertragung der Daten mit dem Chipsatz oder dem Prozessor. Ältere Grafikkarten verwenden AGP oder PCI.

## **GPU - Graphic Processing Unit**

Die GPU ist nichts anderes als ein Co-Prozessor, der für 3D-Berechnungen ausgelegt ist. Die realistische und räumliche Darstellung von Gegenständen mit Schatten und bewegten Szenen ist die Hauptarbeit einer Grafikkarte. Spezielle Physik-Engines bilden in 3D-Spielen oder -Anwendungen physikalische Gesetzmäßigkeiten aus der Mechanik nach. So ist es zum Beispiel möglich, dass Autos nach einer Kollision realistische Schäden davontragen. Eine normale CPU ist für solche Berechnungen viel zu langsam.

Die 3D-Leistung einer GPU wird hauptsächlich durch Parallelisierung erreicht und dadurch, dass typische Grafikverarbeitungsfunktionen in Hardware umgesetzt sind. Für spezielle Aufgaben sind GPUs sehr viel schneller als die teuersten Prozessoren. Dazu gehört zum Beispiel das HD-Video-Transcoding, dass einen normalen Prozessor ganz schön zum Schwitzen bringen kann.

Die GPU sitzt entweder im Chipsatz, im Prozessor oder auf einer Grafikkarte.

## **Shader**

Ein Shader ist ein kleiner Prozessor innerhalb der GPU. Eine GPU hat mehrere hundert Shader. Die Shader sind auf unterschiedliche Funktionen oder auf bestimmte Berechnung optimiert. In älteren GPUs war es üblich zwischen speziellen Recheneinheiten für Vertex- und Pixel-Berechnungen zu unterscheiden. Allerdings waren die Einheiten dann eher ungleichmäßig ausgelastet. Seit DirectX-10 gibt es nur noch Unified Shader, die je nach Bedarf als Vertex- oder Pixel-Shader in Aktion treten.

Der Vertex-Shader berechnet die Position eines Objekts und kümmert sich auch um die korrekte Beleuchtung. Haben die Vertex-Shader ihre Berechnungen erledigt, wird das Objekt mit Farbe oder Strukturen beklebt. Dafür sind die Pixel-Shader verantwortlich.

Bei den Strukturen spricht man auch von Texturen. Eine Textur ist eine digitale Kachel, die auf ein Objekt geklebt wird. Sie wird mehrmals in einem Bild oder einer Bildabfolge verwendet. Diese Texturen müssen vor der Berechnung in den Grafikspeicher geladen werden. Den größten Teil des Grafikspeichers belegen Texturen. Fehlt es an Speicher, dann muss die Grafikkarte immer wieder Texturen von der Festplatte nachladen. Dabei können Bildruckler entstehen. Je größer der Speicher, desto mehr Texturen können vorgeladen werden.

## **Bildverbesserung**

Damit 3D-Darstellungen realistischer aussehen, verfügen Grafik-Prozessoren über weitere Funktionen. Die anisotrope Filterung schärft die Texturen von Oberflächen. Sie wirken klarer und es scheinen Unebenheiten hervorzutreten.

Bildinhalte werden von der GPU immer mit einer höheren Auflösung berechnet und anschließend auf die Auflösung des Monitors heruntergerechnet. Dabei entstehen hässliche Treppenstufen an Kanten. Mit Antialiasing (Kantenglättung) wirkt das Bild weicher und die Treppenstufen sind fast verschwunden.

Tessellation erhöht die Detailgenauigkeit von Bildern, in dem die Grafikkarte weitere Punkte im Bild hinzufügt und noch feinere Strukturen modelliert.

## **3D-Beschleunigung**

Damit jeder Spiele-Hersteller die 3D-Funktionen der einzelnen Grafikkarten-Hersteller nicht neu programmieren muss, wurden Grafikschnittstellen, sogenannte Application Program Interfaces (APIs), entwickelt. Diese APIs machen die Software weitgehend unabhängig von der Grafikkarte. Sie stellen Funktionen zum Berechnen und Aufbauen des Bildes bereit. Es gibt zwei dieser Schnittstellen. Die eine ist DirectX von Microsoft und die andere ist OpenGL. OpenGL ist ein offener Standard, der in fast allen Betriebssystemen enthalten ist.

## Wie produziert eine Grafikkarte ein Bild?

Die Darstellung bzw. Berechnung eines Bildes beginnt in der Software. Zum Beispiel in einem Spiel oder einer Bildbearbeitungssoftware. Innerhalb des Programmcodes werden auch Befehle zur Darstellung von Bildinformationen abgearbeitet. Diese Befehle werden an das Betriebssystem übergeben. Hier steht zum Beispiel DirectX oder OpenGL zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Ein Grafikkarten-Treiber übersetzt dann die Befehle von DirectX, die dann von der Grafikkarte ausgeführt werden. Jede Grafikkarte benötigt einen eigenen Treiber für jedes Betriebssystem, um optimal zu arbeiten. Betriebssysteme stellen auch Standard-Treiber zur Verfügung. Die unterstützen aber nur rudimentäre Funktionen. Ein Treiber dient als Schnittstellen zwischen Hardware und Software.

Die Pixel werden in Pipelines nacheinander verarbeitet. Im Optimalfall stehen mehrere Pipelines zur Verfügung. Dann können mehrere Bearbeitungsschritte parallel ablaufen und der Bildaufbau schneller berechnet werden. Innerhalb der Pipeline gibt es die Shader, die den Pixelflächen Farben oder geometrische Formen geben können. Shader treten vor allem dann in Aktion, wenn grafische Effekte gefordert sind. Ist ein Bild vollständig, dann vergisst die Grafikkarte alle Berechnungen und beginnt beim nächsten Bild mit den Berechnungen wieder von vorn. Nur die geladenen Vertex-Buffer, Texturen und Shader-Programme bleiben erhalten, wenn die GPU sie im nächsten Bild wieder benötigt. Es werden dann nur neue Daten ergänzt. Zum Beispiel dann, wenn neue Objekte oder Details im Bild auftauchen.

## Auswahl einer Grafikkarte

Grafikkarten unterscheidet man im Hinblick auf ihre 3D- bzw. Spieletauglichkeit, ihre Performance und Funktionsvielfalt. Die Grafikkarte ist nach den Anforderungen des Einsatzzwecks auszuwählen. Man unterscheidet Grafikkarten nach ihrem Preis in Einsteiger-, Mittelklasse-, Performance- und High-End-Modellen. Je nach Preis unterscheiden sich Grafikkarten in Ihrer 3D-Leistung und Ausstattung. Typische Leistungsmerkmale sind Taktfrequenz, Shader-Anzahl, Speichertakt und Speicherbandbreite.

Bei einer Einsteiger-Grafikkarte ist die Spieletauglichkeit eingeschränkt, die Performance schwach und die Funktionsvielfalt begrenzt. Einfache Büro- und Internet-Anwendungen kommen mit einer günstigen Grafikkarte oder Onboard-Lösung aus. Bei einer High-End-Grafikkarte ist die Spieletauglichkeit unschlagbar, die Performance enorm und die Funktionsvielfalt lässt keine Wünsche offen. Insbesondere (Action-)Spiele erfordern zwangsläufig eine leistungsfähige Grafikkarte.

Bis vor einigen Jahren musste man immer die schnellste und damit teuerste Grafikkarte in seinen PC einbauen, wenn man aktuelle Computerspiele spielen wollte. Doch seit viele Computerspiele auch für die Xbox von Microsoft und Playstation von Sony entwickelt werden, gehen die Anforderungen zurück. Das liegt daran, dass die Spielekonsolen länger in Betrieb bleiben und nachträglich nicht aufgerüstet werden können. Deshalb orientieren sich die Entwickler an den Hardware-Vorgaben der Spielekonsolen und adaptieren diese Spiele als Multi-Plattform-Spiele auch auf den PC. Das hat zur Folge, dass sogar Einsteiger-Grafikkarten für den PC um ein Vielfaches leistungsfähiger sind, als die Grafikfunktion einer Spielekonsole.

Für 120 bis 150 Euro bekommt man eine Grafikkarte, die unter Windows schon sehr leise arbeitet und deren Leistung ausreicht, um die meisten Multi-Plattform-Spiele in Full-HD-Auflösung flüssig darzustellen und problemlos zu spielen. Außerdem eignen sich diese Grafikkarten auch, um Filme von Blu-ray Disc wiederzugeben.

## **Prozessorgrafik / Chipsatzgrafik / Onboard-Grafik**

Neben der Grafikkarte zum Einbau in einen Computer gibt es auch Onboard-Varianten. Entweder als eigenständiger Chip auf dem Motherboard oder in den Chipsatz oder Prozessor integriert. Um die Leistungsaufnahme, Komplexität und Kosten des Chipsatzes gering zu halten, wird insbesondere die Leistungsfähigkeit des Grafikchips stark eingeschränkt. Hinzu kommt, dass ein Teil des Arbeitsspeichers von der Onboard-Grafik verwendet wird (Shared-Memory). Es steht also nicht mehr der volle Arbeitsspeicher zur Verfügung. In der Regel liegen die Onboard-Grafikchips in ihrer Leistungsfähigkeit hinter den Grafikkarten zurück.

Motherboards mit integrierter Grafikprozessoren zeichnen sich durch eine sehr schlechte Qualität der Signale an der VGA-Schnittstelle aus. Grundsätzlich empfiehlt es sich bei Onboard-Grafik die digitale DVI-

Schnittstelle zu wählen.

Für das Arbeiten mit Office, Surfen im Internet und Lesen von E-Mail reicht eine integrierte Grafikeinheit vollkommen aus. Auch bei der Bild- und Videobearbeitung spielt die Grafikleistung keine Rolle. Hier sind ein schneller Hauptprozessor und viel Arbeitsspeicher gefragt. Nur wenige Bildbearbeitungsprogramme benutzen die GPU für ihre Berechnungen. Die interne Grafikeinheit eignet sich zur Beschleunigung des Bildaufbaus. Dafür ist jedoch keine besonders schnelle Grafikeinheit nötig. Das können alle DirectX-tauglichen Onboard-GPUs. Auch HD-Video-Decoding gehört standardmäßig zu den Aufgaben einer Onboard-Grafikeinheit. Hier gibt es Unterschiede bei der Qualität und Effizienz. Die hängen von den Einstellungen der Abspielsoftware und dem Grafikkartentreiber ab.

### **Einsteiger-Grafikkarten (Low-End / Low-Cost)**

Zu den Einsteiger-Grafikkarten zählen häufig ehemals moderne Grafikkarten, die inzwischen durch neuere Modelle ausgetauscht wurden. Es handelt sich dabei um Grafikkarten, die absolut problemlos laufen. Der Preis liegt bei unter 50 Euro. Sie befinden sich damit am unteren Ende des Preis- und Leistungssegments. Sie beeindrucken weniger durch eine gute Leistung, sondern eher durch den Mehrwert an Treiber- und Softwareausstattung im Vergleich zur integrierten Chipsatzgrafik. Im Vergleich zu Mittelklasse- oder High-End-Grafikkarten verfügen sie über weniger Verarbeitungseinheiten, geringere Chip- und Speichertaktraten und einer langsameren Speicheranbindung. Für viele 3D-Spiele sind sie zu langsam. Manche Spiele lassen sich mit reduzierter Auflösung und geringeren Details spielen. Darunter leidet jedoch der Spiele-Spaß. Durch die geringe Leistungsaufnahme kommen sie mit einer passiven Kühlung (Kühlkörper) aus.

### **Mittelklasse-Grafikkarten**

Mittelklasse-Grafikkarten können die meisten Computerspiele ruckelfrei zeigen. Bei sehr aufwendigen Spielen dürfte aber nicht die maximale Detailtiefe einstellbar sein. Das bedeutet, man muss gewisse Abstriche bei der Darstellung von Licht und Schatten hinnehmen. Doch erst mit Mittelklasse-Grafikkarten werden Spiele interessant. Durch Herumschrauben an den Grafikoptionen lassen sich auch anspruchsvolle Spiele zur flüssigen Darstellung überreden.



## **Performance-Grafikkarten**

Performance-Grafikkarten lassen kaum noch Wünsche offen. Sie lohnen sich aber nur für Computerspieler, die auch eine höhere Leistungsaufnahme und somit einen höheren Stromverbrauch akzeptieren können.

## **High-End-Grafikkarten**

High-End-Grafikkarten lohnen sich nur für anspruchsvolle Spieler. Das sind Grafikkarten, die Funktionen besitzen, die kaum ein aktuelles Computerspiel unterstützt. Meist müssen die Spiele für die speziellen Funktionen programmiert sein.

Mit der enormen 3D-Leistung steigt auch die Leistungsaufnahme. Weil ein PCIe-Steckplatz nicht mehr als 75 Watt liefert, müssen High-End-Grafikkarten über ein oder zwei zusätzliche Stromanschlüsse (6-Pin, je 75 Watt) mit Strom versorgt werden. Je externer Stromanschluss ist ein 450 Watt starkes Netzteil erforderlich. Dabei muss man berücksichtigen, dass das Gesamtsystem ebenfalls Strom verbraucht. Um die Abwärme dieser Grafikkarten abzuführen, sind auf den Grafikkarten Kühlkonstruktionen angebracht, die zwei Gehäusesteckplätze belegen.

Modelle mit zwei Prozessoren (GPUs) verdoppeln nicht die Performance. Bestenfalls erreicht man eine Steigerung von 50 bis 70 Prozent. Das gilt auch für den AMD-Crossfire- oder Nvidia-SLI-Betrieb von zwei Grafikkarten. Außerdem profitieren nicht alle Spiele von zwei oder mehr GPUs. Ihr Einsatz ist deshalb nur begrenzt sinnvoll.

## **Multi-GPU-Architektur**

Um die Grafikleistung eines PCs zu steigern setzt man auf Multi-GPU-Architekturen. Beliebt ist es zwei oder mehr Grafikkarten in einen PC einzubauen. Dafür ist ein Spezial-Chipsatz erforderlich und ein oder mehrere Netzteile mit insgesamt 800 bis 1000 Watt. Um zwei Grafikkarten miteinander zu verbinden verwendet man die SLI- oder Crossfire-Schnittstelle.

## Die Leistung von Grafikkarten vergleichen

Vergleiche von Grafikkarten werden häufig auf Basis Ihrer Ausstattung und Leistungsmerkmale getroffen. Dabei werden Taktfrequenzen, Shader-Anzahl, Speichertakt, Speicherbandbreite und Grafikspeicher gegenüber gestellt. Leider sagt ein solcher Vergleich wenig über die Leistung einer Grafikkarte aus. Schön wäre es, wenn diese Leistungsmerkmal so aufeinander abgestimmt sind, dass die bestmögliche Leistung dabei herauskommt. Doch das weiß man im Voraus nicht so genau.

Im Zusammenhang mit Grafikkarten findet man häufig die Angabe FPS, was Frames per Second bedeutet. FPS gibt an, wie viele Bildschirmdarstellungen eine Grafikkarte pro Sekunde erzeugen kann. Man spricht auch von der Framerate. Das bedeutet, wie oft das Bild neu berechnet und aufgebaut wird. Zu geringe FPS-Werte bewirken ein ruckelndes Bild. Generell kann man sagen, dass ab einer Framerate von 30 fps ein flüssiges Bild dargestellt wird. Bei manchen Spielen dürfte es etwas mehr sein.

Im Prinzip sagt die Framerate aus, was eine Grafikkarte zu leisten fähig ist. Damit die Framerate aussagekräftig ist, braucht man in der Regel noch die Angabe für welche Auflösung eine bestimmte Framerate gilt. Denn je größer die Auflösung, desto mehr Speicher und Rechenleistung verbraucht eine Bildschirmdarstellung. Nur die Kombination aus Auflösung und Framerate lassen Vergleiche zwischen Grafikkarten zu.

Die Framerate ist in der Regel nur für Computerspieler interessant. Für sie ist es zum Beispiel wichtig, dass die realistische Darstellung in Ego-Shootern flüssig läuft.

### Adaptive-Sync / G-Sync

Adaptive-Sync ist ein Standard der VESA (Video Electronics Standards Association) und ein Teil von DisplayPort ab Version 1.2a, mit dem Displays ihre Bildwiederholfrequenz dynamisch an die Bildausgabe der Grafikkarte anpassen. Die Idee dahinter ist, die Bilddarstellung immer erst dann zu ändern, wenn die Grafikkarte ein neues Bild geliefert hat. Dabei spielt es keine Rolle wie schnell die Bildrate in Frames pro Sekunde ist (Frames per Second, fps).

Adaptive-Sync ist deshalb notwendig, weil mit zunehmender Geschwindigkeit und Bilddetails die Framerate einbricht, was die Bilddarstellung auf dem Display ruckeln lässt. Insbesondere Gamer kennen das Problem. Adaptive-Sync basiert auf AMDs FreeSync. Hierzu muss sowohl die Grafikkarte als auch das Display miteinander kompatibel sein.

Neben Adaptive-Sync gibt es noch eine Lösung von nVidia mit dem proprietären G-Sync, was aber vom Prinzip her das selbe macht.

## **Schnittstellen für Grafikkarten**

Anfangs wurden Grafikkarten über den internen Systembus betrieben. Mit steigender Auflösung, Forderung nach Multimedia und 3D-Darstellung wurden die Datenmengen immer größer, die zur Grafikkarte transportiert werden mussten. Um die steigenden Datenmengen zwischen Prozessor, Arbeitsspeicher und Grafikkarte bewältigen zu können, hat Intel den AGP-Steckplatz für Grafikkarten eingeführt. Dieser Steckplatz war ausschließlich für Grafikkarten gedacht. Ein paar Jahre später wurde der AGP zusammen mit dem PCI durch den PCI Express (PCIe) ersetzt. Die heutigen Grafikkarten sind PEG-Grafikkarten (PCIe).

## **Anschlüsse für Bildschirm/Monitor**

Ist die Darstellung schlecht, dann wird fast immer der Bildschirm dafür verantwortlich gemacht. Wird der Bildschirm analog, also über den VGA an die Grafikkarte angeschlossen, dann kann die Signalqualität des VGA für das schlechte Bild verantwortlich sein. Obwohl man annehmen könnte, dass das heute kein Problem mehr sein sollte, weisen manche Grafikkarten eine jämmerliche Signalqualität auf. Insbesondere die VGA-Anschlüsse haben diese Probleme. Vorzugsweise sollte man den DVI- oder DisplayPort-Anschluss verwenden.

Obwohl mit DVI eine digitale Schnittstelle für qualitativ hochwertige Bild- und Video-Signale verfügbar ist macht die Einführung neuer Schnittstellen durchaus Sinn. Denn DVI ist für hohe Auflösungen nicht geeignet. Der DisplayPort soll DVI (Digital Visual Interface) im PC und HDMI (High Definition Multimedia Interface) in der Unterhaltungselektronik ersetzen. Der DisplayPort ist elektrisch kompatibel zu den bestehenden Digitaleingängen DVI und HDMI. Er unterstützt auch den HDCP-

Kopierschutzmechanismus und beherrscht zusätzlich ein eigenes Protokoll namens DPCP (Display Port Content Protection).

- DVI für digitale und analoge Displays
  - Mit bis zu 1.920 x 1.600 Pixeln (mit einem Single-Link-Anschluss)
  - Mit bis zu 2.560 x 1.600 Pixeln (mit zwei Dual-Link-Anschlüssen)
- analoger TV-Ausgang (häufig als siebenpolige Kombi-Buchse herausgeführt)
  - S-Video-Kabel direkt anschließbar
  - Adapter für HD-Geräte am YUV-Eingang
- DisplayPort für digitale Displays
  - Mit bis zu 3.840 x 2.160 Pixeln (4K)
- HDMI für digitale Displays
  - Mit bis zu 3.840 x 2.160 Pixeln (4K)
- VGA für analoge Displays
  - Mit einem hochwertigen Kabel bis zu 1.280 x 1.024 Pixeln oder mehr möglich.

## **Bildschirm / Monitor / Display**

Der Computer-Bildschirm, Monitor oder Display genannt, dient der Darstellung der Benutzeroberfläche und der Datenausgabe. Als Schnittstelle zwischen Computer und Bildschirm dient die Grafikkarte, die die nötigen Berechnung für die Darstellung auf dem Bildschirm dem Prozessor abnimmt. Die Übertragung zwischen Bildschirm und Grafikkarte erfolgt über eine Video-Schnittstelle mit einem entsprechenden Anschlusskabel.

### **Röhrenbildschirm**

Die ersten Bildschirme waren Kathodenstrahl- oder Elektronenstrahl-Röhrenbildschirme. Die Anzeigefläche dieser Bildschirme ist eine Glasröhre mit einer ebenen Oberfläche, auf die das Bildsignal "gestrahlt" wird. Die Funktionsweise ist generell die gleiche, wie bei einem Röhren-Fernseher.

Hauptnachteil der Röhrenbildschirme ist der enorme Platzbedarf durch die tiefe Bauform und geringere Qualität der Darstellung.

Röhrenbildschirme gelten als veraltet. Es werden in der Regel nur noch Flachbildschirme eingesetzt.

## **Flachbildschirm**

Flachbildschirme sind Bildschirme, die hauptsächlich wegen ihrer dünnen Bauweise auffallen. Die Technik für die Darstellung ist so gut, dass Röhrenbildschirme nicht mehr mithalten können. Im Gegensatz zum Röhrenbildschirm ist ein Flachbildschirm absolut flimmerfrei, weil hier jeder Bildpunkt einzeln angesteuert wird.

Bei Flachbildschirmen gibt es sehr viel unterschiedliche Techniken. Allen voran LCD, Plasma, TFT, OLED, FED und SED. Der Unterschied zwischen den Techniken sind so gering, dass sie im Alltag kaum auffallen. Weiterführende Entwicklungen versuchen sich an besonders energiesparenden Displays und der 3D-Technik.

## **3D-Bildschirm**

Prinzipiell unterscheidet man zwischen der Autostereoskopie, Shuttertechnik und Polfilter-Technik. Sowohl für die Shuttertechnik als auch die Polfilter-Technik benötigt der Betrachter eine Brille. Nur die Autostereoskopie kommt ohne Hilfsmittel aus. Allerdings muss hier die Position des Betrachters bekannt sein.

Egal welche 3D-Technik, bei genauerer Betrachtung sind es alles technische Krücken, die in der Praxis nur bedingt tauglich sind.

Alle 3D-Techniken für Bildschirme stellen nicht wirklich 3D dar, sondern machen sich die Trägheit des menschlichen Auges und bestimmte Mechanismen bei der Erzeugung von Bildern im Kopf des Menschen zu Nutze, um einen 3D-Effekt im Kopf zu erzeugen.

Die Zukunft der künstlichen dreidimensionalen Darstellung sind holografische Displays, die das 3D-Bild zum Drumherumgehen in den Raum hineinprojizieren. Bis es soweit ist, wird es noch einige Zeit dauern.

## **Beamer / Projektor**

Der Beamer oder Projektor ist kein Bildschirm im klassischen Sinne. Der Beamer erzeugt die Darstellung über eine Lichtquelle und projiziert es auf eine helle und möglichst glatte Oberfläche.

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden Projektoren als Beamer

bezeichnet. In Fachkreisen wird korrekterweise die Bezeichnung Projektor verwendet. Allerdings wird der Begriff Beamer im allgemeinen Sprachgebrauch eher verwendet.

Beamer eignen sich für den Einsatz in Besprechungszimmern und Präsentationsräumen.

## **Fernseher als Bildschirm-Ersatz?**

TV-Geräte sind für den Fernsehempfang im Wohnzimmer gedacht. Der HDMI-Eingang kann aber auch von einem PC gespeist werden. Dank herkömmlicher Displays und integrierten Lautsprechern eignen sich diese auch für den Betrieb an einem PC. Allerdings muss man mit einigen Eigenheiten leben. So schaltet sich ein TV-Gerät nicht automatisch ein, wenn der PC hochgefahren wird und auch nicht aus, wenn er ausgeschaltet wird. Außerdem sind die Werkseinstellungen eines Fernsehers fürs Fernsehen gedacht und deshalb auf eine knackige, bunte und grelle Darstellung optimiert. Deshalb ist man gezwungen an den Bildeinstellungen zu optimieren. Außerdem sind die meisten Geräte unflexibel. Sie lassen sich nicht drehen und auch nicht in der Höhe verstellen. Beides ist aber notwendig, um eine optimale Blickposition angenehmen Arbeiten einzustellen zu können.

## **Der Bildschirm der Zukunft**

Der Bildschirm der Zukunft besteht aus einer Glasscheibe in der oder auf der sich komplexe nicht sichtbare Schaltkreise befinden. Auf diese Weise bekommt der Bildschirm völlig neue Funktionen. Vorstellbar wäre neben der Touchbedienung auch Akustik-Schaltkreise, die den externen Lautsprecher ersetzen. Weitere Möglichkeiten sind integrierte Bildsensoren, die als Dokumenten-Scanner, Visitenkartenleser oder als Fingerabdruck-Scanner dienen.

Am Ende der Vision steht ein Display, in das CPU, Speicher und Schnittstellen im Glas integriert sind.

## **Funktionsweise der Darstellung**

Die Darstellung auf dem Display besteht aus einzelnen Bildpunkten, die Pixel benannt werden. Die Anzeige der Pixel erfolgt zeilen- und spaltenweise. Multipliziert man Zeilen- und Spaltenpixel, so erhält man die

Auflösung eines Bildes bzw. der Bilddarstellung. Die Auflösung gibt gleichzeitig auch die Anzahl der angezeigten Bildpunkte an.

Für jeden Pixel muss nun die Farbe gespeichert werden. Bei Fotos sind das 24 Bit bzw. 3 Byte je Pixel. Wobei jeweils 1 Byte für die Grundfarben Rot, Grün und Blau stehen. Jede Farbe hat 8 Bit. Das sind  $2^8 = 256$  Farbwerte pro Farbe. Kombiniert man die 256 Farbwerte pro Farbe miteinander ( $256^3$ ) dann erhält man 16.777.126 mögliche Farbwerte. Bei 1.024 Spaltenpunkten und 768 Zeilenpunkten (VGA-Auflösung von 1.024 x 768) entspricht das einem Speicherplatz von 2.359.296 Byte oder 2,25 MByte.

## **Bildschirm-Auflösung**

Die Bildschirm-Auflösung gibt an, aus wie vielen Pixeln die Bilddarstellung besteht. Je mehr Pixel, also je größer die Auflösung ist, desto mehr Details sind auf dem Bildschirm zu sehen oder desto mehr Platz steht für die Darstellung von Objekten zu Verfügung.

Die Auflösung wird in unterschiedlichen Schreibweisen, Werten und Einheiten angegeben. Bei einer Digitalkamera verwendet man zum Beispiel 12 Megapixel. Dabei handelt es sich um das Produkt aus den Seitenlängen Breite mal Höhe. Beispielsweise 4.256 x 2.848 Pixel. Das Produkt wird gerundet mit 12 Megapixeln (MP) angegeben. Bei der Bildschirm-Auflösung ist aber nicht das Produkt interessant, sondern die Anzahl der Pixel pro Seitenlänge. Also Breite und Höhe. Da wir die Breitbilddarstellung bevorzugen sind unsere Bildschirme breiter als höher. Demnach werden für die Breite mehr Pixel angegeben als für die Höhe.

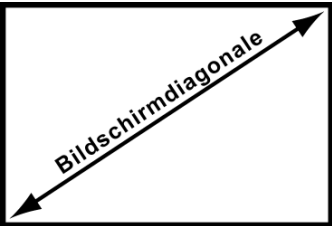
Bekannte Bildschirm-Auflösungen sind VGA (640 x 480), Super-VGA (800 x 600) und Full-HD (1.920 x 1.080).

## **Bildschirmgröße / Bildschirmdiagonale**

Die Bildschirmgröße wird in Zentimeter (cm) oder Zoll (") angegeben. Gemessen wird von der rechten oberen Ecke bis zur linken unteren Ecke. Je nach Hersteller kann es hier zu deutlichen Unterschieden bei der Bilddiagonale kommen. Die echte Bilddiagonale wird von der Gesamtausdehnung des Bildschirms angegeben. Weil die alten Bildröhren

größer sind, als der tatsächlich sichtbare Bereich, wird die Größe der Bildröhre gerne zu Werbezwecken angegeben, obwohl der sichtbare Bereich kleiner ist. Bei Flachbildschirmen wird die tatsächlich sichtbare Bildschirmdiagonale angegeben.

**Bildschirmgröße und Auflösung**



Bei der Bewertung eines Bildschirms ist neben der Bilddiagonalen auch auf die maximal mögliche Auflösung zu achten. Denn beide Werte hängen nicht zwangsläufig zusammen. Grundsätzlich sollte ein Bildschirm danach ausgewählt werden, welche Auflösung eingestellt wird.

Wenn eine Auflösung von 1.600 x 1.200 Pixel eingestellt werden soll, kommen dafür Bildschirme mit 20,1", 21,3" und 23,1" in Frage. Doch Vorsicht: Während die Darstellung bei einem 21,3"-Bildschirm optimal erscheint, ist sie bei einem 23,1"-Bildschirm zu groß und bei einem 20,1"-Bildschirm vielleicht zu klein. Die Schriften und Symbole fallen im PC-Betrieb merklich kleiner aus. Das geht zu Lasten der Ergonomie. Die gleiche Problematik ergibt sich bei anderen Auflösungen und Bildschirmgrößen.

**Auflösungen für 4:3-Displays (normales Seitenverhältnis)**

Bezeichnung	Bedeutung	max. Auflösung
CGA	Color Graphics Adaptor	320 x 200
EGA	Enhanced Graphics Adaptor	640 x 350
VGA	Video Graphics Array	640 x 480
SVGA	Super Video Graphics Array	800 x 600
XGA	Extended Graphics Array	1.024 x 768



SXGA	Super Extended Graphics Array	1.280 x 1.024
SXGA+	Super Extended Graphics Array Plus	1.400 x 1.050
UXGA	Ultra Extended Graphics Array	1.600 x 1.200
QXGA	Quad Extended Graphics Array	2.048 x 1.536
QSXGA	Quad Super Extended Graphics Array	2.560 x 2.048
QUXGA	Quad Ultra Extended Graphics Array	3.200 x 2.400

### **Auflösungen für 16:10- bzw. 16:9-Widescreen-Displays (Breitbildschirme)**

Neben den inzwischen unüblich gewordenen 4:3-Displays gibt es die beliebten Widescreen-Displays bzw. Breitbildschirme. Hier unterscheidet man zwischen 16:10 und 16:9. Das 16:9-Format war lange den TV-Flachbildschirmen vorbehalten. PC-Displays bekamen standardmäßig das 16:10-Format verpasst. Doch 16:9-Panels lassen sich günstiger herstellen. Die niedrigeren Kosten werden an die Kunden weitergegeben. Inzwischen bekommen alle Bildschirme, egal ob für TV oder Computer, das TV-Format 16:9 verpasst. Die Auflösung von Computer-Monitoren wird dann an das TV-Format angepasst. Deshalb sind Flachbildschirme mit 18,5 Zoll (1.366 x 768 Pixel), 21,5 Zoll (1.920 x 1.080 Pixel) und anderen krummen Werten die Regel.

Bezeichnung	Bedeutung	max. Auflösung
WXGA	Wide Extended Graphics Array	1.366 x 768
WSXGA	Wide Super Extended Graphics Array	1.600 x 1.024
WSXGA+	Wide Super Extended Graphics Array	1.680 x 1.050
WUXGA	Wide Ultra Extended Graphics Array	1.920 x 1.200
WQXGA	Wide Quad Extended Graphics Array	2.560 x 1.600
WQSXGA	Wide Quad Super Extended Graphics Array	3.200 x 2.048

WQUXGA	Wide Quad Ultra Extended Graphics Array	3.840 x 2.400
--------	---	---------------

Wer denkt, dass sich ein Widescreen-Display mit 16:9 zum Anschauen von Kinofilmen eignet, der wird enttäuscht. Die meisten Kinofilme werden nicht mit einem Seitenverhältnis von 1,78:1 (16:9-Format), sondern mit 2,33:1 (Cinemascope) produziert. Ein normaler Flachbildschirm, auch mit einem Seitenverhältnis von 16:9 hat immer einen schwarzen Balken am oberen und unteren Bildschirmrand oder er beschneidet das Bild links und rechts. Ein kompromissloses Kinoerlebnis ist nur mit einem Fernseher möglich, der eine Seitenaufteilung von 21:9, respektive ein Seitenverhältnis von 2,33:1 hat. Dabei kommt es noch zu einer leichten Abweichung zu 2,37:1, weil das Display eine Auflösung von 2.560 x 1.080 Bildpunkten hat.

### Auflösung: TV und Kino

	Full HD	UHD (TV)	4K (Kino)
Auflösung (Pixel)	1.920 x 1.080	3.840 x 2.160	4.096 x 2.160
Seitenverhältnis	16:9	16:9	17:9
TV-Ausstrahlung	50 Halbbilder (1080i)	25 Vollbilder (2160p)	
Audio	5.1	5.1	
unkomprimiertes Signal	1,2 GBit/s	4,8 GBit/s	
typische Bandbreite	12 bis 15 MBit/s (mit H.264)	25 bis 50 MBit/s (mit H.264)	
verfügbar	seit 2005 (in DE)	ab 2015 (in DE)	

## **Auflösung: 4K / Ultra-HD (UHD) / 2160p**

Bei der Bezeichnung 4K handelt sich um eine Auflösung für TV und Video von  $4.096 \times 2.160$  Pixel (8 Millionen Pixel), die von der Digital Cinema Initiative (DCI) spezifiziert wurde.

In 4K-Fernsehern befindet sich jedoch in der Regel ein Display mit einer Auflösung von nur  $3.840 \times 2.160$  Pixel, was man Ultra-HD (2160p) nennt und der vierfachen Full-HD-Auflösung von 1080p bzw.  $1.920 \times 1.080$  Pixel (2.073.600 Pixel) entspricht. Wenn bei TV und Video von 4K die Rede ist, dann ist meistens Ultra-HD (UHD) gemeint.

Da die passenden Inhalte noch fehlen, rechnen alle 4K-Geräte intern von Full HD auf 4K hoch. Und nur weil ein Video 4K hat, muss es nicht besonders qualitativ hochwertig sein. Wenn das Video stark komprimiert ist, dann kann es sogar schlechter aussehen, als ein Full-HD-Video.

Und trotzdem sollte man bei der Anschaffung eines Fernsehers einen 4K-Fernseher bevorzugen, weil die Fertigung der 4K-Panels nicht viel schwieriger als die großer Full-HD-Panels ist und demnach die Preise nur geringfügig höher liegen. Außerdem sind die Display-Hersteller bei 4K-Panels bestrebt eine knackigere Farbdarstellung zu liefern, um bessere Verkaufsargumente für 4K-Fernseher zu haben. Allein das rechtfertigt den Mehrpreis.

## **Auflösung: 5K und 8K**

Bei der Bezeichnung 5K handelt es sich um eine Auflösung für TV und Video von  $5.120 \times 2.880$  Pixel (14,7 Millionen Pixel). Diese Auflösung zeigt ein noch schärferes Bild als 4K-Displays an.

Bei der Bezeichnung 8K handelt es sich um eine Auflösung für TV und Video von  $7.680 \times 4.320$  Pixel (33.177.600 Pixel).

## **Soundkarte**

Die Soundfunktion, in Form einer Soundkarte oder im Chipsatz integriert, ist ein fast unersetzlicher Teil eines Computers. Erst mit der Möglichkeit Sprache und Musik wiederzugeben und aufzunehmen, wird ein Computer zum Multimedia-Computer.

In den Anfangszeiten der Soundkarte waren Erweiterungskarten für den ISA-Bus üblich. Diese Karten mussten per Jumper konfiguriert werden (Interrupt, DMA, Speicher) und gaben den Ton mit einer Auflösung von 8 Bit wieder. Das entsprach 256 möglichen Zuständen. Mehr als Piepsen war den Lautsprechern nicht zu entlocken. Später kamen Soundkarten mit einer Auflösung von 16 Bit. Daraus resultierten 65.536 Klangabstufungen. Das entspricht Hifi-Qualität.

Da der ISA-Bus am Aussterben war, haben führende Soundkarten-Hersteller auf PCI-Karten (mit Plug & Play) umgestellt. Neben der automatischen Konfiguration durch das BIOS und Betriebssystem waren auch höhere Datenraten zwischen Soundkarte und Prozessor möglich. Inzwischen ist es üblich, dass Soundfunktionen auf dem Motherboard integriert sind (onboard). Anfangs hat die Klangqualität sehr zu wünschen übrig gelassen. Heute ist die Klangqualität vollkommen ausreichend und genügt auch anspruchsvollen Ohren. Fast jedes Motherboard bietet heute einen integrierten Sound-Chip, der eine ausreichend gute Klangqualität liefert.

Heute hat die Soundkarte ihre Bedeutung verloren. Die meisten Spiele und Filme klingen seit HD-Audio sehr gut. In Zeiten von Multicore-Prozessoren ist für die Berechnung von Klangeffekten auch keine gesonderte Hardware mehr erforderlich. Die Hersteller von Soundkarten haben sich deshalb auf Spezialfunktionen und -anwendungen ausgerichtet, mit denen Raumklangeffekte noch natürlicher wirken.

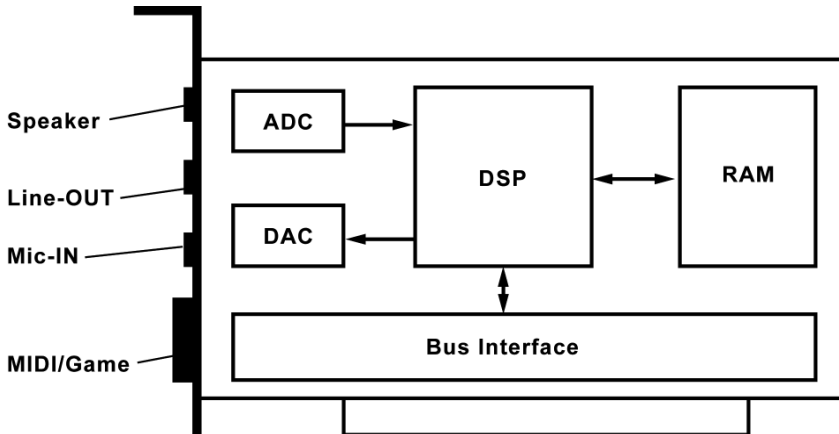
Audio-Aufnahmen bilden die einzige Ausnahme, bei der Soundkarten noch eine Rolle spielen. Insbesondere, wenn man mit einem Mikrofon aufnehmen will empfiehlt sich sogar ein externes Audio-Modul, das über den USB angeschlossen wird. Aufnahmen über Onboard-Lösungen leiden unter Einstreuungen, die durch das PC-Netzteil und ungünstig angeordnete Leiterbahnen herrühren.

## **Soundkarten-Anschlüsse**

- Speaker (Ausgang für Headset)
- Line-OUT (Ausgang für Aktiv-Lautsprecher)
- Line-IN (optionaler Eingang für Aufnahmen)
- Mic-IN (Mikrofoneingang)
- MIDI/GAME-Port (veraltet)

- analoge Ein- und Ausgänge in Cinch-Buchsen (Stereo, 5.1, 7.1)
- digitale Ein- und Ausgänge (SPDIF, HDMI)

## Funktionsweise einer Soundkarte



Über das Mikrofon und den Mikrofon-Eingang (Mic-IN) wird das Signal an den Analog-Digital-Konverter (ADC) geleitet. Dieser Chip wandelt das analoge Signal in ein digitales Signal (Binär) um. Hier ist nicht nur die Abtasttiefe von 16 Bit wichtig, sondern auch die Abtastrate. Das ist die Frequenz, mit der die 16 Bit Auflösung erzeugt wird. Eine Abtastrate von 8 kHz erreicht das Klangniveau eines Telefons. Eine Frequenz von 44 kHz ermöglicht CD-Qualität. Die Aufnahmequalität wird durch das Mikrofon und den ADC beeinflusst.

Der ADC sendet die binären Datenströme an den digitalen Signalprozessor (DSP). Er entlastet den Prozessor des Computersystems vor Arbeiten mit den Sound-Daten. Der DSP enthält Befehle und Anweisungen mit denen er die Sound-Daten verarbeitet. Da Sound-Daten sehr große Datenmengen sein können, übernimmt der DSP z. B. auch die Komprimierung der empfangenen Daten. Diese Daten werden dann in einem bestimmten Format (z. B. WAV, MP3, etc.) vom Arbeitsspeicher auf die Festplatte geschrieben.

Um digitalisierte Sound-Daten durch die Soundkarte wiederzugeben werden die Daten vom Prozessor von der Festplatte oder von einem Wechselspeicher-Laufwerk gelesen. Diese Daten werden in den DSP geladen. Der DSP dekomprimiert die Daten und sendet sie zum Digital-Analog-Konverter (DAC), der aus den binären Daten analoge Signale

erzeugt. Das analoge Signal wird dann verstärkt und über die Buchsen an die Lautsprecher ausgegeben. Die Qualität der Tonwiedergabe wird durch die Qualität der Klangaufnahme, dem DAC und den Lautsprechern bestimmt.

# Stichwortverzeichnis

## A

A10 / A8 / A6 / A4 .....	123
ACPI .....	59
Adaptive-Sync .....	278
Adressbus .....	36
AFD .....	232
Akku .....	81
ALU .....	80
AMD .....	121
AMD64 .....	85
Arbeitsspeicher .....	48
ARM .....	124
Atom .....	114
Auflösung .....	283
Auflösung 4K .....	287
Aufrüsten .....	67

## B

Beamer .....	281
Befehlswerk .....	79
Bilder .....	15
Bildschirm .....	280
Bildschirmdiagonale .....	283
Bildschirmgröße .....	283
BIOS .....	53
Bitfolgen .....	13
Bluetooth .....	213
Bluetooth 2.0 .....	214
Bluetooth 3.0 .....	216
Bluetooth 4.0/4.1/4.2 .....	218
Bluetooth Low Energy .....	219
Bluetooth Smart .....	219
Blu-ray Disc .....	255
Booten .....	55
Bugs .....	76

## C

Cache .....	86
CAS .....	136
CD-Brenner .....	250
CD-R .....	248
CD-ROM .....	246
Celeron .....	114
Centronics .....	169
Chipsatz .....	40
Cloud .....	98
Codename .....	72
Codierung .....	14
COM .....	167
Computer .....	24
Control Unit .....	79
Coprozessor .....	96
Core i7 / i5 / i3 .....	115
Core m7 / m5 / m3 .....	120
CPU .....	70

## D

Dateien .....	11
Dateisysteme .....	12
Daten .....	10
Datenbus .....	36
Datenspeicher .....	42
Datentypen .....	10
DDR1 .....	139
DDR2-SDRAM .....	143
DDR3-SDRAM .....	144
DDR4-SDRAM .....	145
DDR-SDRAM .....	139
Defragmentieren .....	67
DIMM .....	138
DirectX .....	274
Display .....	280
	291

DisplayPort .....	195
DMA .....	52
DRAM .....	134
Drucker .....	265
DVD .....	251
DVD-Brenner .....	252
DVD-Rohlinge .....	252
DVI .....	192

## E

EEPROM .....	133
EIDE .....	198
Embedded Systeme .....	31
Endurance .....	155
Energy Star .....	65
EPIC .....	86
EPROM .....	132
Ethernet .....	188
EVA-Prinzip .....	25

## F

Festplatte .....	226
Festwertspeicher .....	130
Flachbildschirm .....	281
Flash-Speicher .....	150
FLOPS .....	75
FPU .....	82

## G

Gaming-PC .....	30
GByte .....	14
GPU .....	272
Grafikkarten .....	270
Grid .....	98
G-Sync .....	278

## H

Halbleiterspeicher .....	128
Hardware .....	20
Hauptplatine .....	38
Hauptspeicher .....	48
HDMI .....	193
Hybrid-Festplatten .....	241
Hyper-Threading .....	96
Hypervisor .....	101

## I

IEEE 802.11 .....	221
IEEE 802.15 .....	213
IEEE 802.3 .....	188
Industrie-PC .....	31
Information .....	10
Informationsdarstellung .....	12
Innovationen .....	24
Integrationsgrad .....	74
Intel .....	111
Interrupt .....	51
iSCSI .....	200

## J

JEDEC .....	147
-------------	-----

## K

Kompatibilität .....	24
Kühlung .....	89

## L

L1-Cache .....	87
L2-Cache .....	88
L3-Cache .....	88
Laserdrucker .....	268



Leckstrom.....	76
LED-Drucker.....	268
Leitwerk.....	79
Logische Werte.....	15

## M

m.2.....	205
Mainboard.....	38
MByte.....	14
Media Center.....	30
Mikrocontroller.....	70
Mikroprozessor.....	70
MIPS.....	75
MLC.....	152
MMU.....	82
Monitor.....	280
Motherboard.....	38
MTBF.....	233
Multi-Core.....	97
Multifunktionsgeräte.....	268
Multiplikator.....	72
Multi-Prozessor.....	97
Multi-Threading.....	95

## N

Nadeldrucker.....	267
NAND-Flash.....	152
Netzteile.....	62
Netzwerk.....	188
NOR-Flash.....	151
NVM Express.....	207
NVMe.....	207

## O

OCR.....	265
Onboard.....	39
OpenGL.....	273

Opteron.....	124
Optimieren.....	66
Ordner.....	11

## P

Parallelisierung.....	94
Partitionen.....	243
P-ATA.....	198
PC.....	26
PC/PC2/PC3/PC4.....	147
PCI Express.....	162
PCIe.....	162
PC-Netzteile.....	62
PC-Tuning.....	65
Pentium.....	114
Personal Computer.....	26
PFC.....	64
Pipelining.....	94
PnP.....	58
POST.....	55
Primärspeicher.....	45
Programme.....	12
Projektor.....	281
PROM.....	132
Prozessor.....	70
PS/2.....	170

## R

RAID.....	208
RAID-Level.....	210
RAID-Level 0.....	211
RAID-Level 1.....	211
RAID-Level 5.....	212
RAID-Level 6.....	213
RAM.....	133
RAS.....	136
Register.....	81
Revision.....	73

Röhrenbildschirm .....	280
ROM .....	131
RS232 .....	167

## S

SAS .....	200
SATA .....	201
SATA 6G .....	203
SATA Express .....	205
SATAe .....	205
Scanner .....	261
Schaltnetzteil .....	63
Schieberegister .....	129
Schnittstellen .....	160
SCSI .....	199
SCSI Express .....	200
SDRAM .....	136
Sektoren .....	230
Sektorengröße .....	231
Sekundärspeicher .....	46
Shader .....	272
SLC .....	152
SMT .....	95
SoC .....	124
Software .....	20
Soundkarte .....	287
SPD-EEPROM .....	138
Speicherangaben .....	16
Speicherarchitektur .....	44
Speicherbus .....	137
Speicher-Controller .....	50
Speicherkarten .....	259
Speichermodule .....	49
Spuren .....	230
SRAM .....	134
SSD .....	234
SSHD .....	241
Stepping .....	73
Steuerbus .....	37

Steuerwerk .....	79
Strukturbreite .....	74
Systembus .....	35

## T

Taktgeber .....	34
Taktung .....	83
Tastatur .....	261
TByte .....	14
TDP .....	93
Text .....	15
Thin-Client .....	29
Thunderbolt .....	189
Tintenstrahldrucker .....	267
TLC .....	152
Tuning .....	65
Turbo Boost .....	108
Turbo Core .....	108
TWAIN .....	265
Typenraddrucker .....	266

## U

Übertakten .....	68
Übertragungsraten .....	16
UEFI .....	56
Ultra-ATA .....	198
Ultra-HD .....	287
Universalrechner .....	25
USB .....	171
USB 2.0 .....	179
USB 3.0 .....	180
USB 3.1 .....	181
USB-C-Stecker .....	183
USB-PD .....	184
USB-Stick .....	258

## **V**

V.24 .....	167
Verzeichnisse.....	11
VGA .....	191
Virtualisierung.....	98
Virtuelle Maschine .....	99
VMM .....	101
VT-x .....	103

## **W**

Wear-Leveling.....	236
--------------------	-----

Wireless LAN .....	221
WLAN .....	221
Workstation.....	29

## **X**

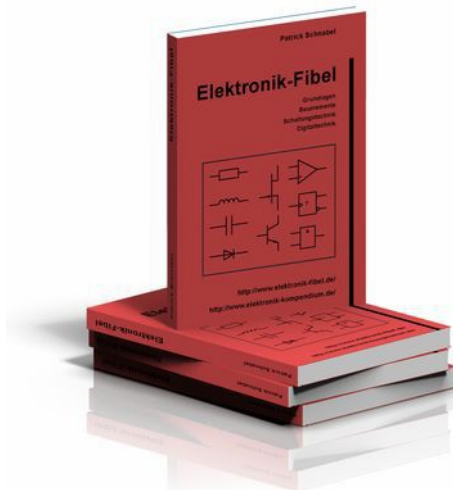
x86 .....	84
Xeon.....	120

## **Z**

Zahlen .....	15
--------------	----



# Elektronik-Fibel



"Die Elektronik-Fibel ist einfach nur genial. Einfach und verständlich, nach so einem Buch habe ich schon lange gesucht. Es ist einfach alles drin was man so als Azubi braucht. Danke f!r dieses Sch#ne Werk."

"Vor allem gefällt mir, dass die Formulierungen einfach und gut verständlich sind. Das macht die Elektronik-Fibel f!r mich als Anfängerin zugänglicher."

"F!r mich als Sch!ler, der nicht gerade sehr viel Ahnung von der Elektrotechnik hat, ist dieses Buch sehr hilfreich. Was mir vor allem zusagt, ist diese leichtverständliche Sprache mit der das Buch verfasst ist. Ein wirklich sehr gutes Buch, das ich jederzeit ohne Einschränkungen weiterempfehlen w!rde."

<http://www.elektronik-fibel.de/>

<http://www.elektronik-kompodium.de/>

# Kommunikationstechnik-Fibel



„Die B!cher Kommunikationstechnik-Fibel und Netzwerktechnik- Fibel sind sehr informativ und verständlich. Genau das habe ich schon seit langem gesucht. Endlich mal ein Buch, das kurz und b!ndig die moderne Informationstechnik beleuchtet.“

„Als Ausbilder im Bereich Elektronik und Telekommunikation bin ich über den Inhalt sehr begeistert.“

„Die Kommunikationstechnik-Fibel übertraf bei weitem meine Vorstellung. Sogar die Beschreibung des alten analogen Telefonapparates ist enthalten, was ich nicht erwartet hätte. Einfach Klasse und umfassend. Das Buch "hat etwas"!“

**<http://www.kommunikationstechnik-fibel.de/>**

**<http://www.elektronik-kompendium.de/>**

# Computertechnik-Fibel



„Ich lese lieber in diesen Büchern als in meinen Aufzeichnungen, da ich in der Computertechnik-Fibel alles sofort finde.“

„Die Computertechnik-Fibel ist wirklich verständlich geschrieben, frei von Ballast und ein tolles Nachschlagewerk. Man muss nicht alles wissen, man muss nur wissen, wo es steht. Insgesamt ein sehr empfehlenswertes Buch.“

„Ich empfinde diese Art der Wissensvermittlung als angenehm und einleuchtend. Nur sehr selten kommt mir ein so leicht verständliches Buch unter.“

**<http://www.computertechnik-fibel.de/>**

**<http://www.elektronik-kompendium.de/>**

# Netzwerktechnik-Fibel



„Ich habe vor Kurzem ein Exemplar der Netzwerktechnik-Fibel erworben. Das Buch gefällt mir ausnehmend gut.“

„Ein dickes Lob möchte ich Ihnen aussprechen. Die Netzwerktechnik-Fibel sind sehr informativ und verständlich. Genau das habe ich schon seit langem gesucht.“

„Ich habe mir die Netzwerktechnik-Fibel angesehen und finde sie interessant, da auf einfachem Wege grundlegende Themen erklärt werden. Ich werde mich demnächst auf meine Gesellenprüfung vorbereiten für die ich eine Zeit lang Unterstützung gesucht habe. Da Bücher die einfach zu verstehen sind, schwer zu finden sind, habe ich die Investition in die Netzwerktechnik-Fibel nicht bereut.“

<http://www.netzwerktechnik-fibel.de/>

<http://www.elektronik-kompodium.de/>



# ElektronikQuest

ElektronikQuest ist ein webbasiertes Lernsystem. Es stellt Fragen, wie sie in Klassenarbeiten und Prüfungen gestellt werden. Dabei werden falsch beantwortete Fragen automatisch wiederholt.

ElektronikQuest ist eine Ergänzung zur Schule oder Ausbildung, um Themen zu wiederholen und zu festigen. Und natürlich, um festzustellen, ob man das Thema begriffen hat oder nicht.

## Bessere Noten

Kein Bock mehr auf schlechte Noten? Willst Du endlich mal wieder gute Noten haben? Dann bist Du hier genau richtig.

## Stressfrei lernen

Hast Du Stress beim Lernen? Einfach und stressfrei mit weniger Aufwand für die Klassenarbeit, Klausur oder Prüfung lernen.

## Wie gut bist Du wirklich?

Wie gut kennst Du Dich in Elektronik, Computertechnik und Netzwerktechnik aus? Zeig mal was Du drauf hast.

## Kostenlos anmelden und testen

<http://www.elektronik-quest.de/>