

Peripherie

Technische Grundlagen der Informatik (WS 2015)

Markus Bader

Automation Systems Group E183-1
Institute of Computer Aided Automation
Vienna University of Technology
email: tgi@auto.tuwien.ac.at

Peripheriegeräte

Zur Umwandlung

- elektrischer Signale in verwertbare Form: Output
 - Anzeigegeräte (Bildschirm, Drucker, etc.)
- von Daten in elektrische Form: Input
 - Eingabegeräte (Maus, Tastatur, Scanner, Kamera usw.)

Zur „externen“ Speicherung (I/O)

- Speichergeräte (z.B. Festplatten, USB-Sticks)

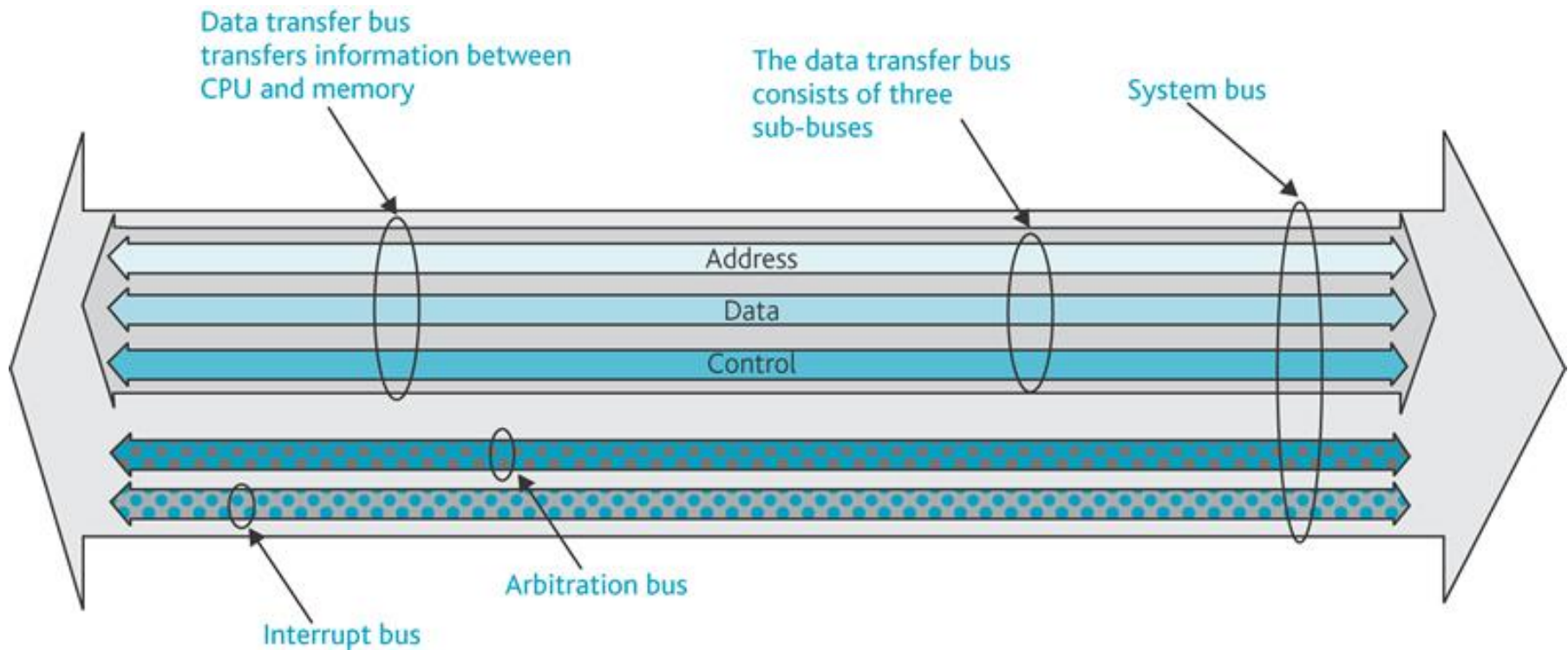
➡ Datentransfer

- Konzepte zum Datentransfer
 - Bus
 - I/O-Strategien
- Anbindung peripherer Geräte
 - Mainboard, Chipsatz, Controller - DMA
 - Schnittstellen alt – neu
- Periphere Geräte
 - Monitore: TFT
 - Externe Speichergeräte
 - Magnetspeicher
 - optische: CD/DVD, Blu-ray
 - Flash



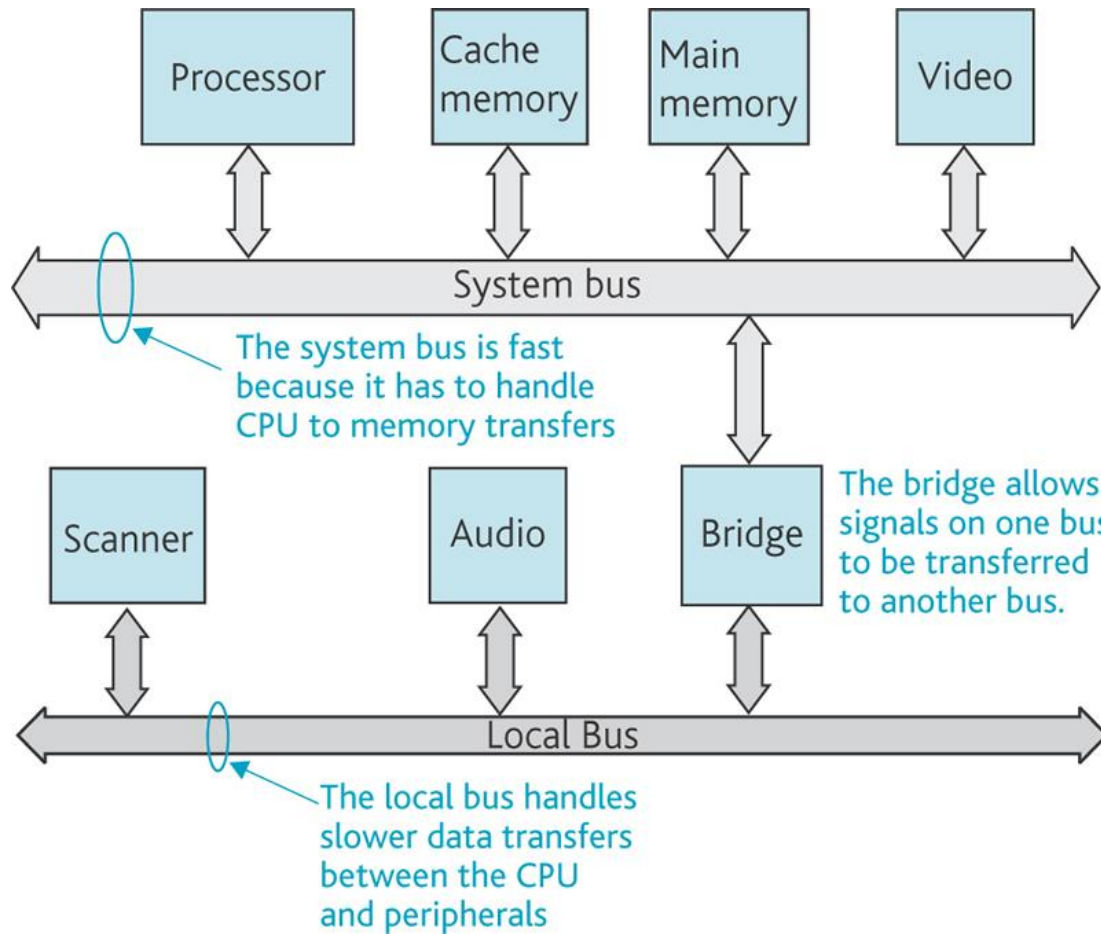
Verbindung Prozessor – Peripherie: Bus

- data transfer bus: Daten, Adressen, Steuerung



- arbitration: Zuteilung bei mehreren Nutzern
- interrupt: eigene Leitung

mehrere Busse: Bridge

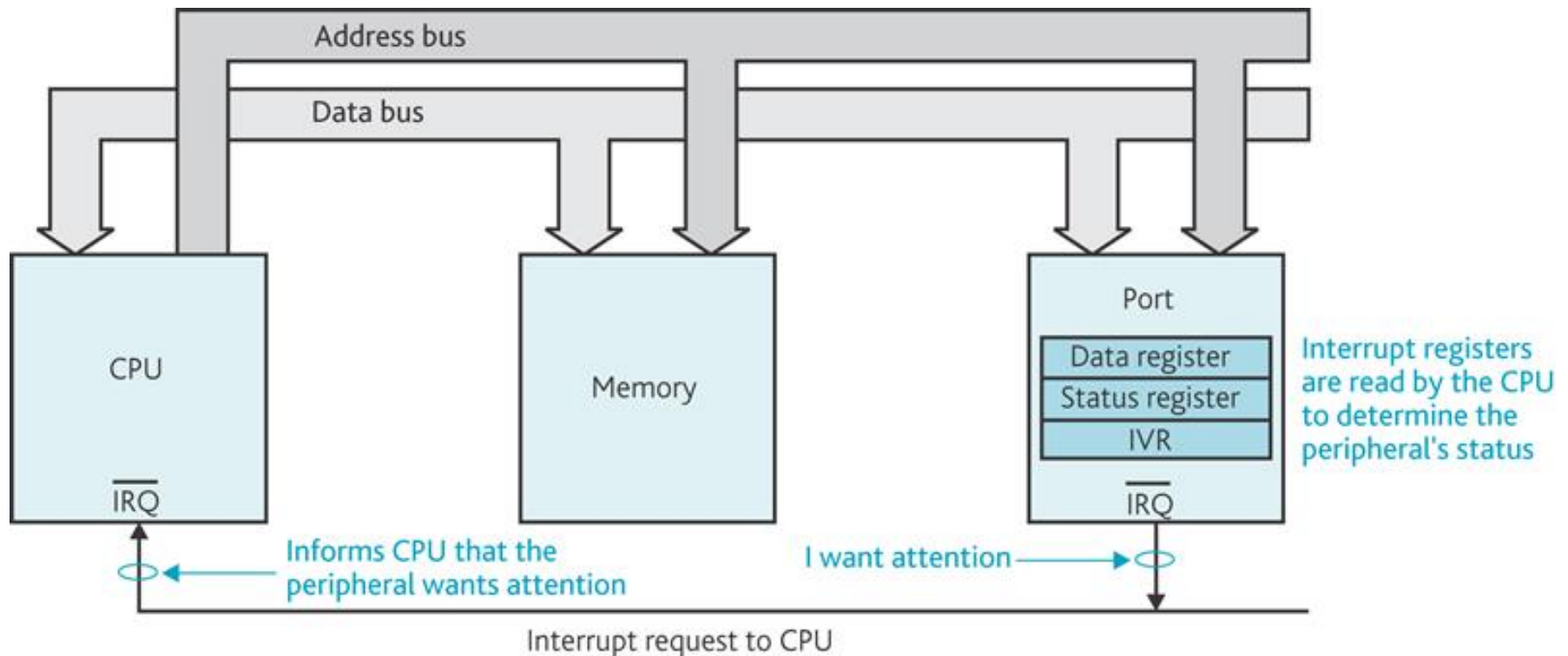


- Schneller Systembus

- Bridge bindet weitere Busse an

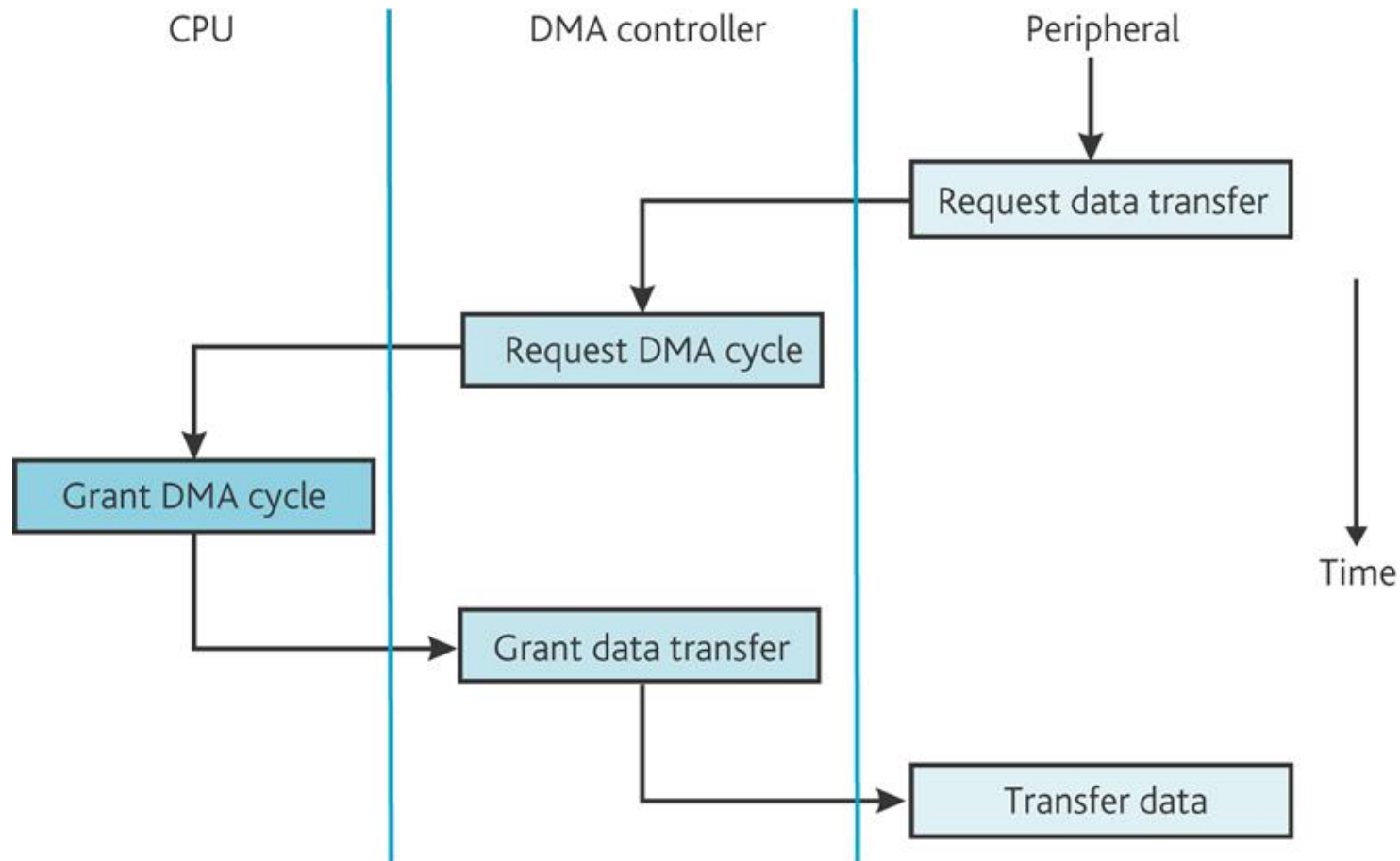
Strategien zur Ein/Ausgabe: Interrupt-driven I/O

- Bei neuen Daten wird Interrupt angefordert (Interrupt Request)
- CPU bestätigt Interrupt (Interrupt Acknowledge) und startet zugehörige Behandlungsroutine

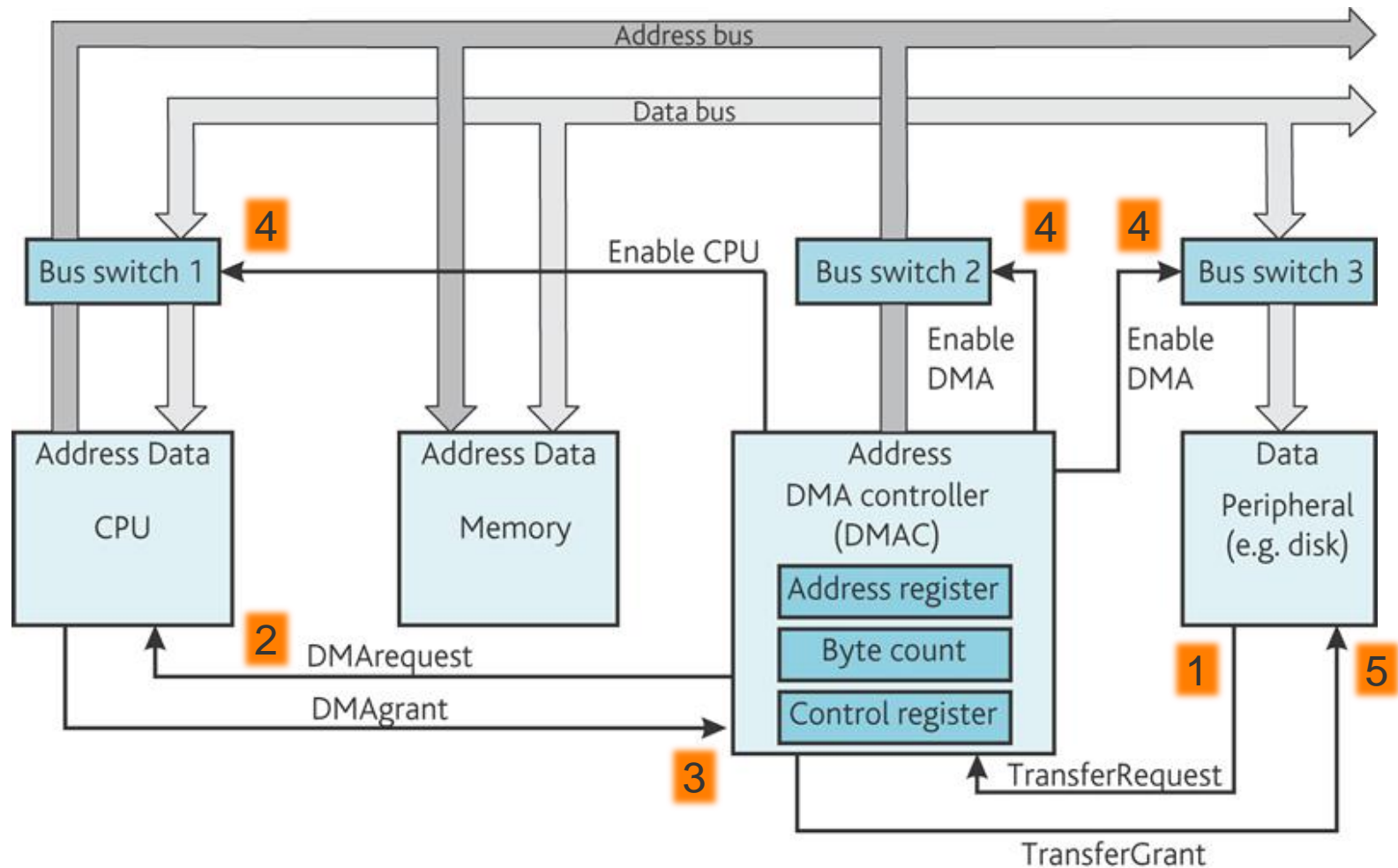


Strategien zur Ein/Ausgabe: I/O über DMA

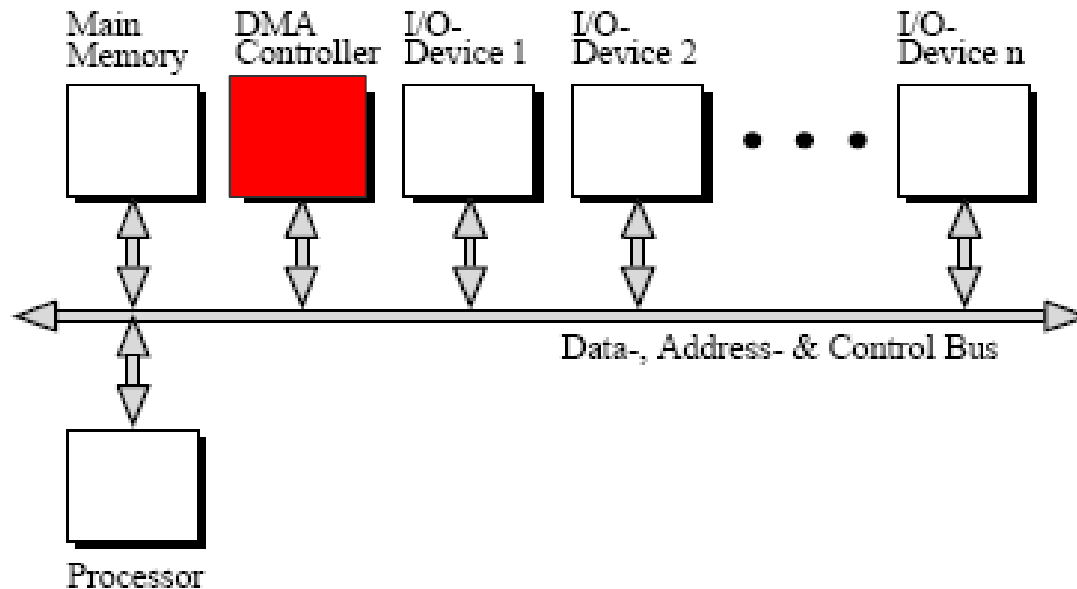
- DMA: Daten direkt in/aus Speicher über Daten- und Adressbus
- Ablauf einer DMA-Operation



Ablauf einer DMA-Operation



DMA - Wiederholung

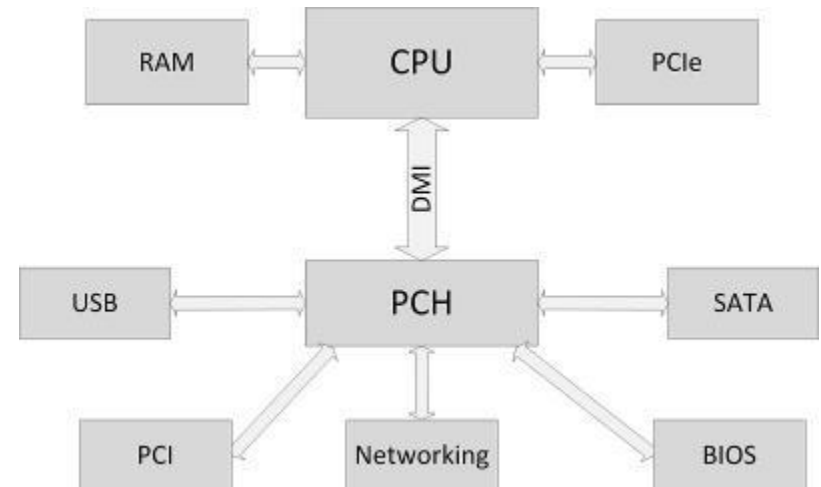
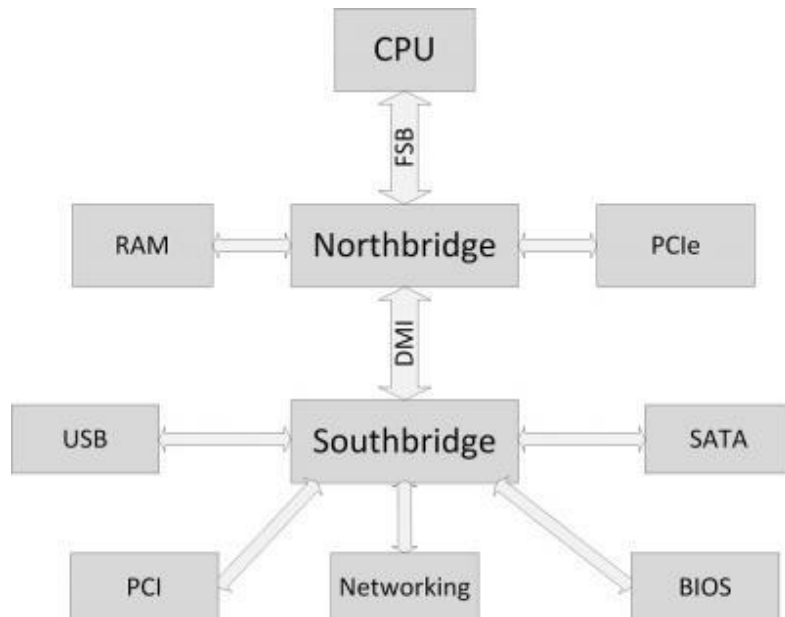


■ DMA-Controller

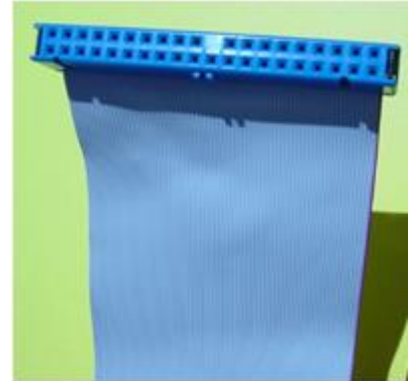
- Beschleunigung der Kommunikation zwischen Prozessor und peripheren Geräten
- Direkter Datenaustausch zwischen peripheren Geräten und Speicher ohne Belastung der CPU

Chipsatz

- Chipsätze entlasten die CPU
- Intel North- und Southbridge (bis ca. ~2010 und bei high Performance PC)
 - Northbridge: CPU, RAM, PCIe
 - Southbridge: Controller für periphere Geräte
- PCH (Platform Controller Hub) (seit ca 2010)
 - Northbridge verschmolz mit der CPU teils mit integrierter Grafikeinheit
 - Intel Sandy-Bridge, Ivy-Bridge, ..., Skylake
 - AMD APU (Accelerated Processing Unit) Ontario, Zacate, ... Llano



- IDE/ATA:
 - für Speichermedien (Festplatten, CD, etc.)
 - heute per Adapter über PCIe
- PCI (parallel, 32bit):
 - evtl. Sound- oder TV-Karten
 - neuere HW über PCIe oder USB
- Super I/O Controller Schnittstellen:
 - veraltete Schnittstelle, engl. *legacy port*
 - V24/RS232, Centronics (Parallel Printer Port), PS/2



Schnittstellen aktuell

Interne:

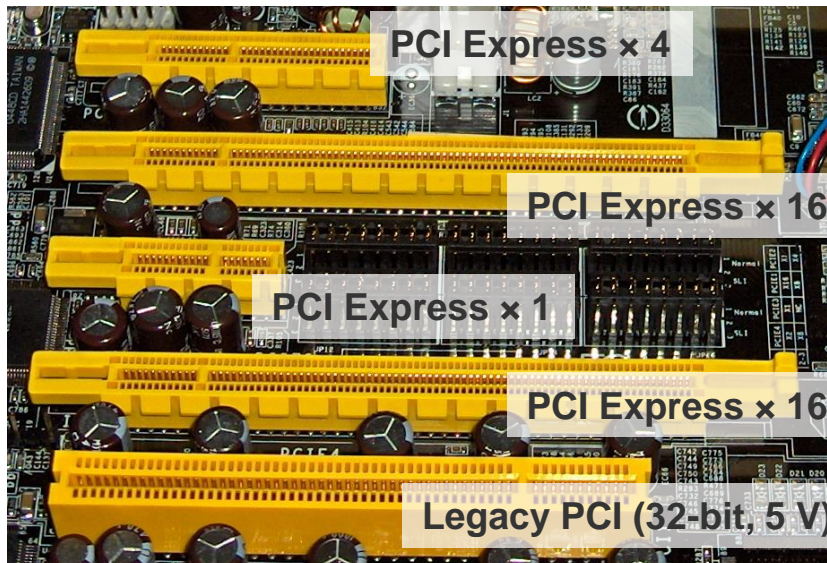
- **PCIe**
- SAS (über PCIe)
- SATA

Externe:

- eSATA
- FireWire
- **USB**
- **HDMI**
- VGA
- DVI
- **DisplayPort**

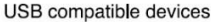


- Serielle Punkt-zu-Punkt-Verbindung
- Vollduplex pro Link mit min. 250MB/s
 - Allgemein: Es gibt Simplex, Halbduplex, Vollduplex
- PCIe ist wie PCI prinzipiell Hot-Plug-fähig
- Taktrückgewinnung erfolgt aus dem Empfangssignal
- Liefert bis zu 75W bei 12V



	Datenrate PCI Express (MB/s)			
Version	1.0	2.0	3.0	4.0 (2017)
Code	8b10b	8b10b	128b130b	128b130b
1 Lanes	250	500	985	1969
2 Lanes	500	1000	1969	3938
4 Lanes	1000	2000	3938	7877
8 Lanes	2000	4000	7877	15754
16 Lanes	4000	8000	15754	31508
32 Lanes	8000	16000	31508	63015

-



Rear panel connectors	
1. PS/2 keyboard port (purple)	7. HDMI out port
2. Optical S/PDIF Out port	8. DVI out port
3. VGA out port	9. IEEE 1394a port
4. USB 2.0 ports 3 and 4	10. External SATA port
5. LAN (RJ-45) port	11. USB 3.0 ports 1 and 2
6. USB 2.0 ports 1 and 2	12. Audio I/O ports

■ Seriell

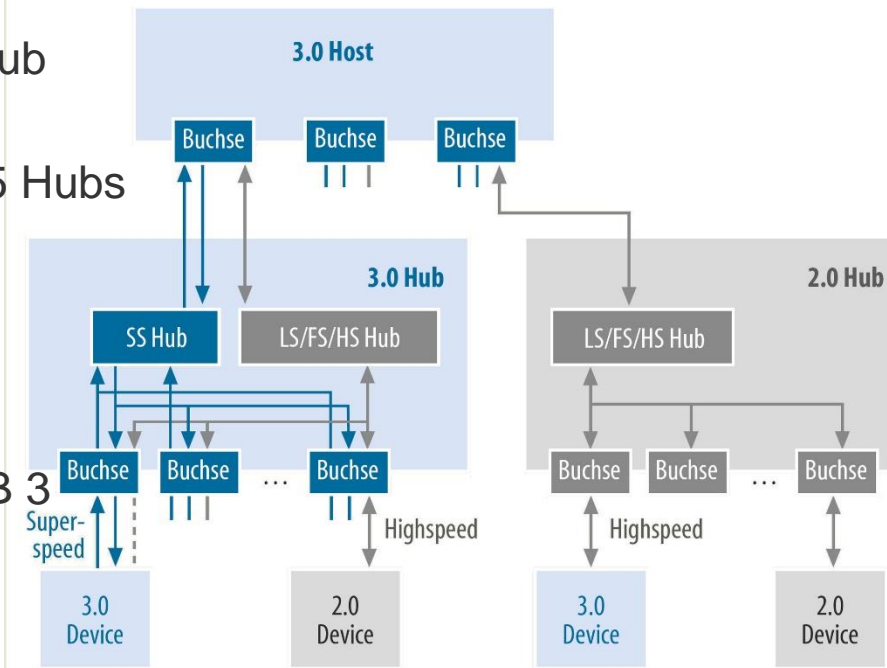
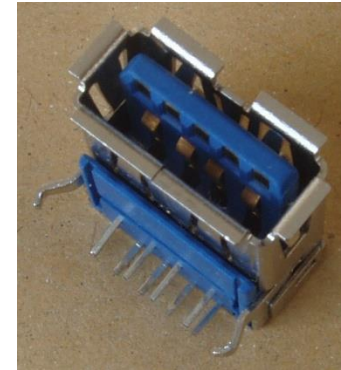
- USB 1: Low Speed, Full Speed
- USB 2: Hi-Speed
- USB 3: SuperSpeed, USB 3.1 (*USB 3.1 Gen2*) SuperSpeed +
 - Vier zusätzliche Leitungen zu USB 1 und 2

■ USB 2 Hub

- max. 127 Geräte
 - wegen Adressierung des Controllers
- Pro USB-Port: nur 1 Gerät oder ein Hub
- Baumstruktur möglich
- Spezifiziert 5m zwischen Hubs max. 5 Hubs
- Typisch: 2 – 14 USB-Ports
- „Transaction Translators“
 - Übersetzen USB 1.x zu 2.0

■ USB 3 Hub

- kein „Transaction Translators“ zu USB 3
- USB2 wird parallel geführt



USB und Festplatten

Externe Festplatten an USB

- 3,5"HDD
 - 12V bei üblicherweise 800-1000+ mA → inkompatible mit USB
- 2,5"HDD
 - 5V, Anlauf 600-1100mA, Betrieb 250-400mA, kurzzeitige Überlastung meist ok
- 1,8"HDD Anlauf 400mA, Betrieb 150mA, immer ok

USB	1.0	2.0	3.0=3.1 Gen1*/ 3.1=3.1 Gen2*
Jahr (Markt)	1995 (1996)	2000 (2002)	2008 (2010)/2013
Strom	500 mA	500 mA	900 mA
Datenraten	12 Mbit/s (1,5 MB/s)	480 Mbit/s (60 MB/s)	5 Gbit/s (625 MB/s) / 10 Gbit/s
	Low-Speed/Full-Speed	High-Speed	SuperSpeed/SuperSpeed+

*in 2015 wurde *USB 3.0* zu *USB 3.1 Gen1* und *USB 3.1* zu *USB 3.1 Gen2* umbenannt.

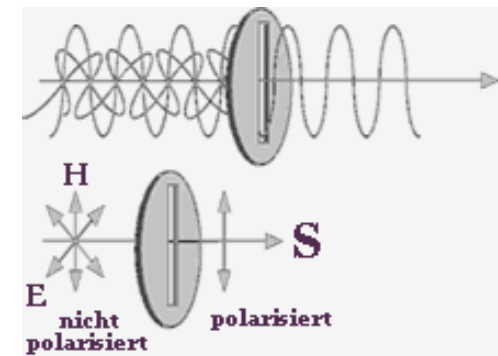
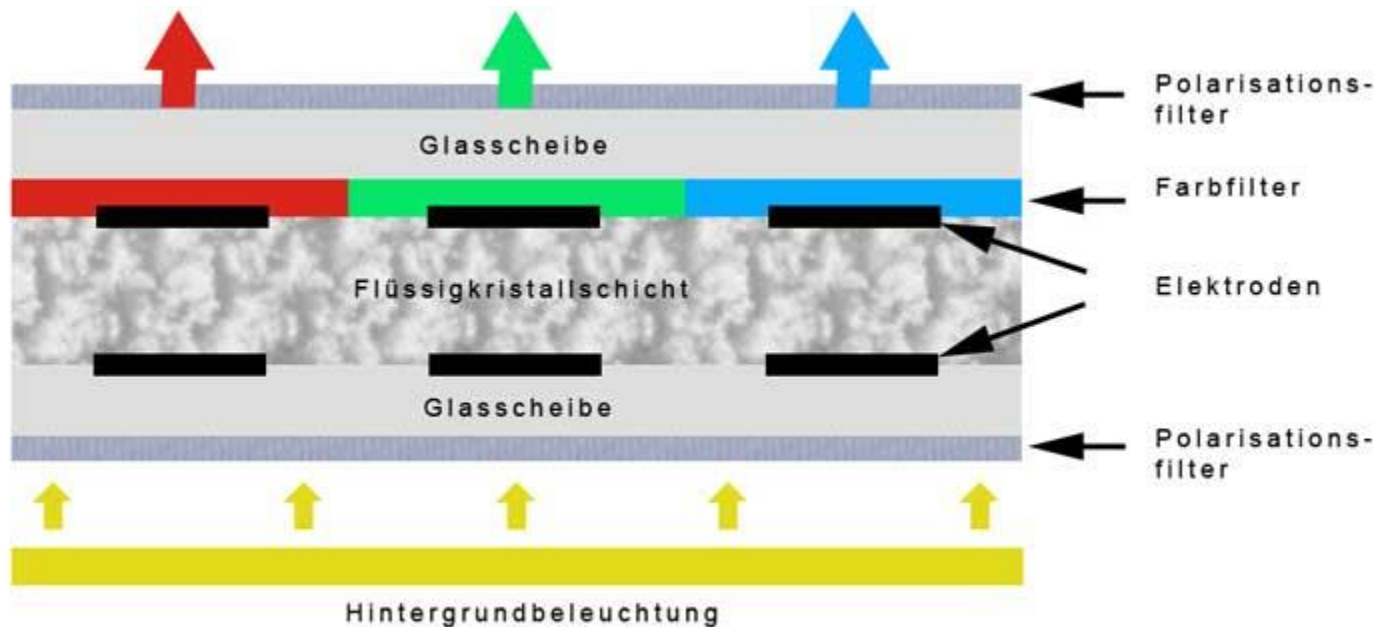
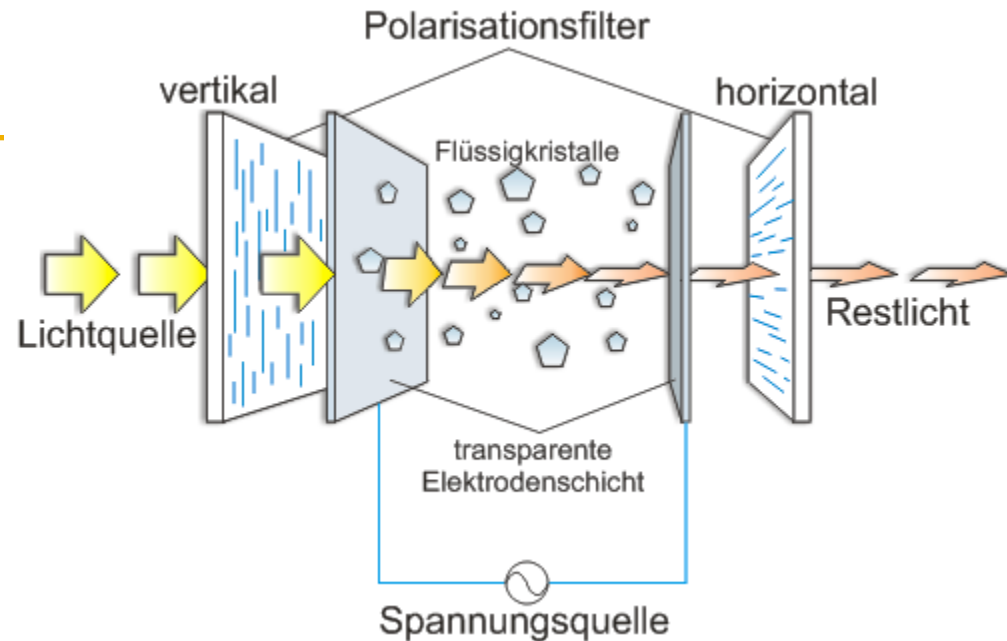
Periphere Geräte

- Monitore
 - TFT
 - Schnittstellen
- Externe Speichergeräte
 - Magnetspeicher
 - Flash
 - optische: CD, DVD, Blu-ray

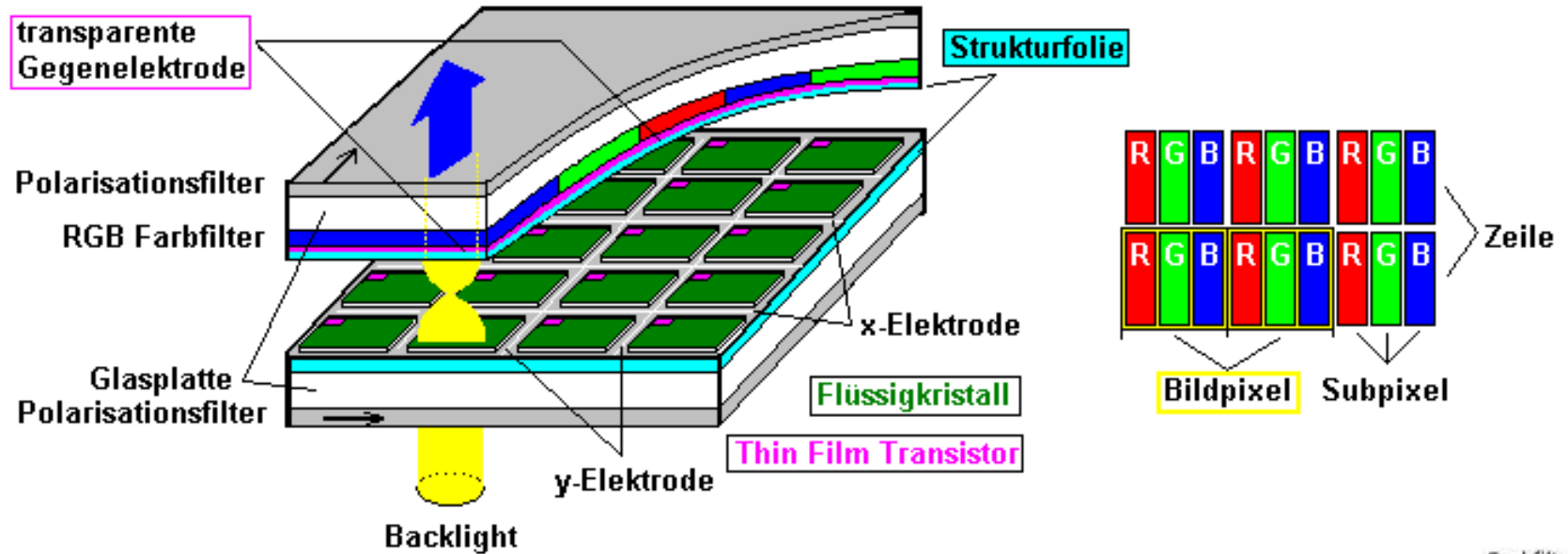
- TFT-Monitor (LCD)
 - Funktionsweise
 - Kenngrößen
- Schnittstellen
 - VGA (analog)
 - DVI
 - HDMI
 - DisplayPort

Liquid Crystal Display

- Zähflüssige Kristalle aus durchsichtigen Molekülen drehen Polarisations Ebene
- Elektrisches Feld orientiert diese Moleküle

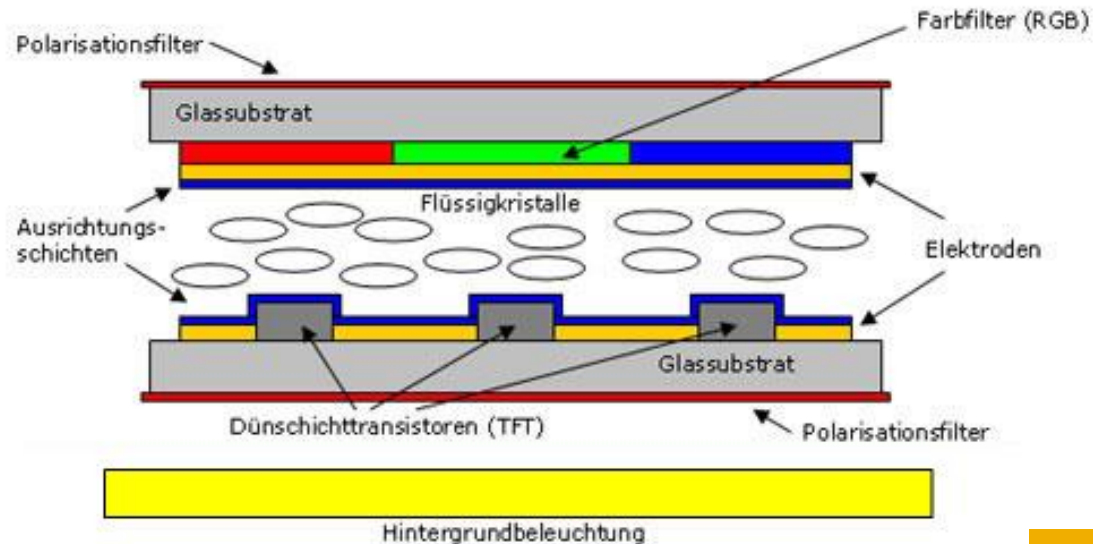


TFT-Funktionsprinzip



Jedes Subpixel wird mit
eigenem TFT angesteuert:

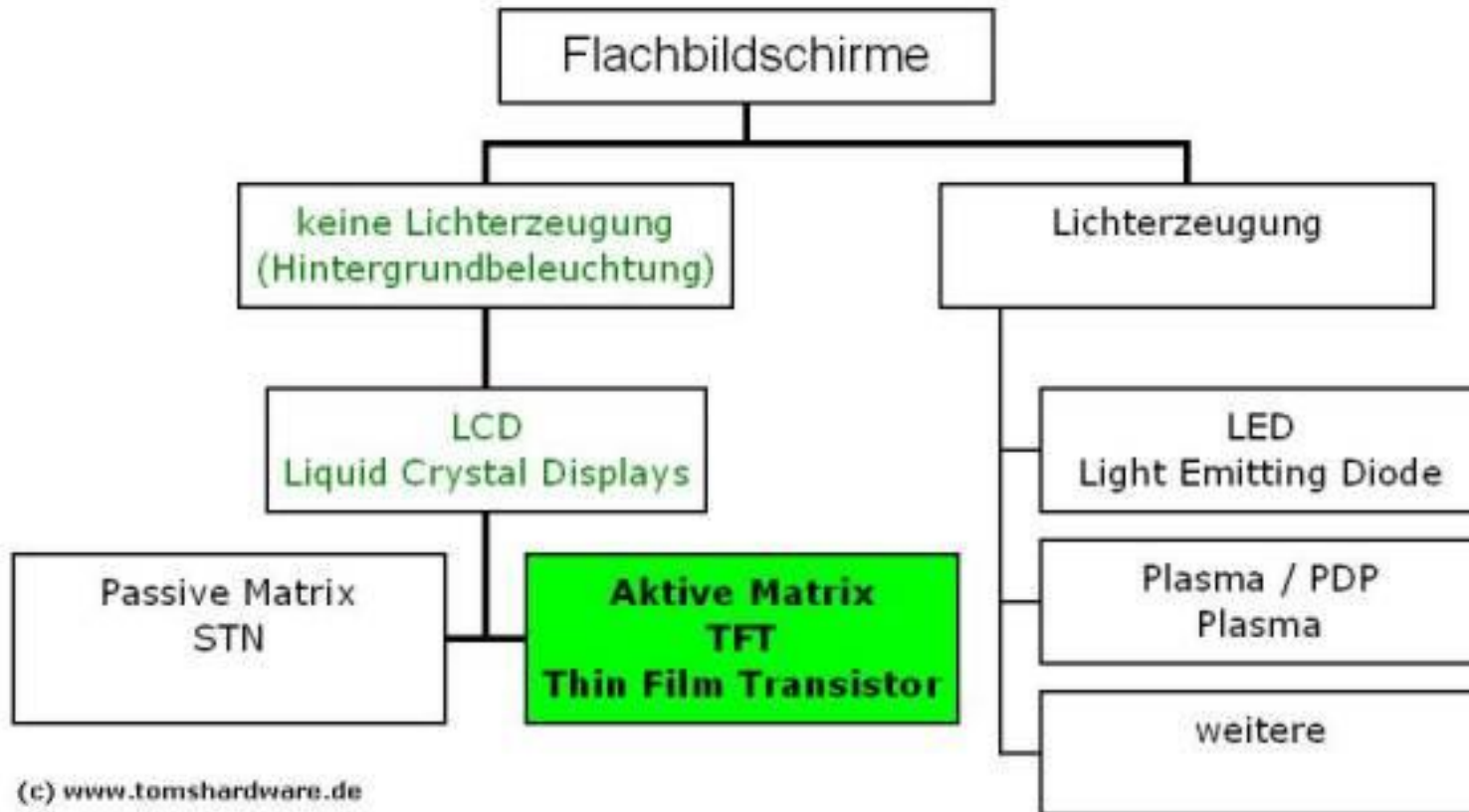
Auflösung x 3 TFTs nötig
FullHD: $1920 \times 1080 \times 3 > 6\text{Mio}$



Kenngrößen von LCDs

- Auflösung:
 - z.B. FullHD 1920x1080 Bildpunkte
- Farbtiefe:
 - 8 bit / Farbe $\rightarrow 2^{24}$ Farben = ca. 16,8 Mio
- Bildwiederholfrequenz:
 - ca. 60Hz
- Reaktionszeit:
 - Grau-zu-Grau-Zeit: praktisch 20ms (min. 2ms)
- Leistungsaufnahme:
 - Abhängig von Auflösung, Hintergrundbeleuchtung
ca. 55W

Flachbildschirme



■ Kameras

- Anschluss: USB, FireWire, SPI (Raspberry & Co)
- Daten Formate: RGB, YUV, YUYV, H.264, MJPEG,
 - YUV, RGB, BRG, ... → 3 Werte pro Pixel
 - YUYV, ... → 4 Werte für 2 Pixel
 - H.264, MJPEG, ... → komprimiert
- Protokolle: uvc, ...
 - Focus, Pan/Tilt, Belichtung, Gain,

■ Tiefenbild Kameras (Kinect, Asus Xtion, ...)

- Ähnlich wie „normale“ Kameras jedoch mit Tiefe zu jedem Pixel → 2.5D
- Daten Formate: RGBD, ...
- Funktionsweise: ToF (Time of Flight), Structured light
- Verbreitung durch Spiele und Robotik
 - z.B. Kinect 1.5, Kinect 2, Argos3D (160pix x 120pix x 120 fps), SwissRanger



Graphics Controller / Grafikkarte

- Für Berechnung der Grafik verantwortlich
- Kann auch für mathematische Berechnungen genutzt werden
 - Programmiersprachen: CUDA für NVIDIA,
- Minimal: onboard
- Grafikkarte über PCIe
- Wesentliche Bestandteile:
 - GPU
 - Grafikspeicher (inkl. Framebuffer)
 - Größe bestimmt Farbtiefe und Auflösung
 - **Display-Anschlüsse**
 - Bsp: MSI GeForce GTX 970 Gaming 4G, 4GB GDDR5
 - 1x Dual-link DVI-I, 1x Dual-link DVI-D, 1x HDMI, 1x DisplayPort



Video Graphics Array



- analoge Schnittstelle
- 1987 von IBM eingeführt
- bei hohen Auflösungen hohe Anforderung an Kabel und Signalaufbereitung
- bei digitalen Displays nicht optimal, da überflüssige Wandlung: digital (PC intern) → analog (Schnittstelle) → digital (Display)
- ab 2015 nicht mehr durch Intel und AMD unterstützt

Digital Visual Interface

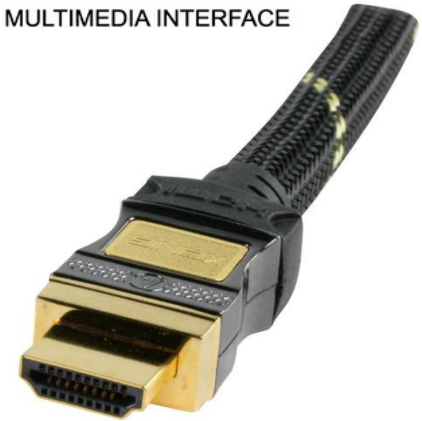


- für TFT-Monitore, aus 1999
- analoge und digitale Daten (gleichzeitig)
- Für digitale Daten: TMDS-Standard
- bei Verbindungsaufbau:
 - Single-Link-Verbindung (max. 3,72 GBit/s) oder Dual-Link-Verbindung (max. 7,44 GBit/s)
 - Auflösung, Bittiefe, Bildfrequenz und Verschlüsselung
- Kabel max. 10m, hot plug
- Mini-DVI: Apple-Variante gleicher Funktionalität
- Wird durch HDMI und DisplayPort abgelöst

High Definition Multimedia Interface 1.4a

- seit 2003 am Markt (Pioneer)
- Lizenzpflichtig
- für Unterhaltungselektronik
- Volldigitale Übertragung: TMDS
- Hot plug
- Audio und Video
- Kopierschutz (DRM)
- max. 15m Kabel (20m erhältlich), Lichtwellenleiter bis 100m
- Aktuell 5 Kabeltypen:
min. 2,2 GBit/s (ab High-Speed: 8,16 GBit/s)

HDMI™
HIGH DEFINITION MULTIMEDIA INTERFACE



DisplayPort 1.2



- Für Computer-Monitore seit 2006
- Audio und Video
- Lizenzfreier Verbindungsstandard
- Statt DVI und VGA (bis 2015)
- DRM
- Auch als interne Schnittstelle gedacht
- Seit Sep. 2014 gibt es Spezifikation für Version 1.3



Effektive Datenraten bei	Taktung 162 MHz	270 MHz	540 MHz
1 Leitungspaar	1.296 Gbit/s	2.16 Gbit/s	4.32 Gbit/s
2 Leitungspaare	2.592 Gbit/s	4.32 Gbit/s	8.64 Gbit/s
4 Leitungspaare	5.184 Gbit/s	8.64 Gbit/s	17.28 Gbit/s

DisplayPort

- 6, 8, 10, 12 oder 16 Bits pro Farbkomponente (Subpixel)
- halbduplex AUX-Kanal mit 720 Mbit/s
 - zur Kommunikation mit dem Display (inkl. Kontrolle des Displays über das Monitor Command Control Set (MCCS)).
 - für USB-Verbindungen, Kamera, Mikrofon, Touch
- unterstützt stereoskopische 3D-Formate
- bis zu 63 Video- und Audio-Streams gleichzeitig mit time-division transport multiplexing und hot-plug bandwidth allocation

Nachteil:

bei hoher Auflösung (4096×2560) nur 2m Kabellänge!

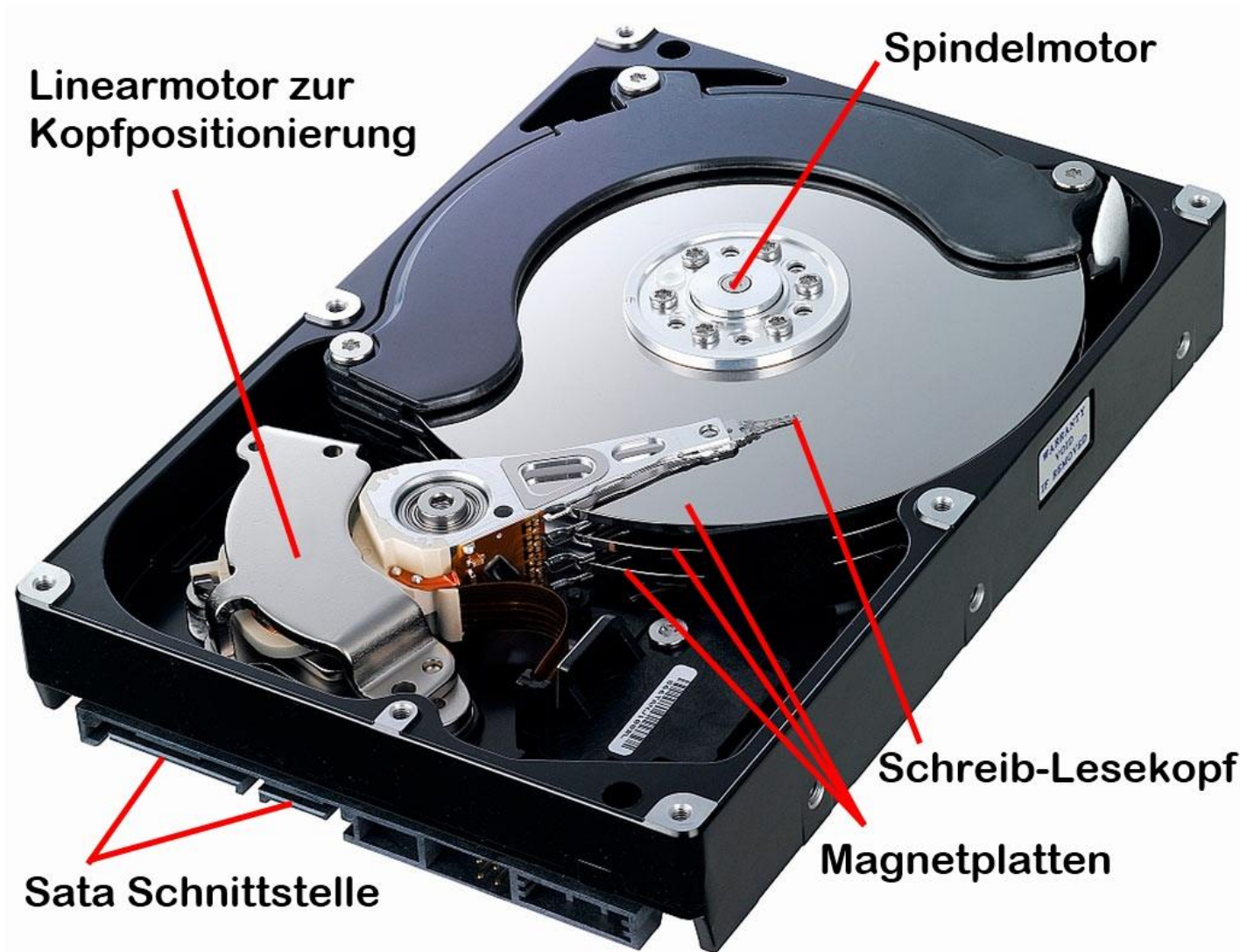
Typische Datenraten

Anforderung	Datenrate in Gbit/s	
HD-Video (720p 60 Hz 24b/px)	ca. 1,30	
FullHD-Video (1080p 60 Hz 24b/px)	ca. 3,00	
UHD-1 (4k) (2160p, 60 Hz, 24b/px)	ca. 11,9	
UHD-2 (8k) (4320p, 60 Hz, 24b/px)	ca. 47,8	
Schnittstelle		
PCIe x16 2.0/3.0	64,00	96 Gbit/s
USB 2.0/3.0	0,48	5 Gbit/s
eSATA 2.0/3.0	3,00	6 Gbit/s
DVI single/dual	3,72 bzw. 7,44	
HDMI 1.4a/2.0	2,2 bzw. 8,16	18 Gbit/s
DisplayPort 1.2/1.3	bis 17,28	bis 25 Gbit/s

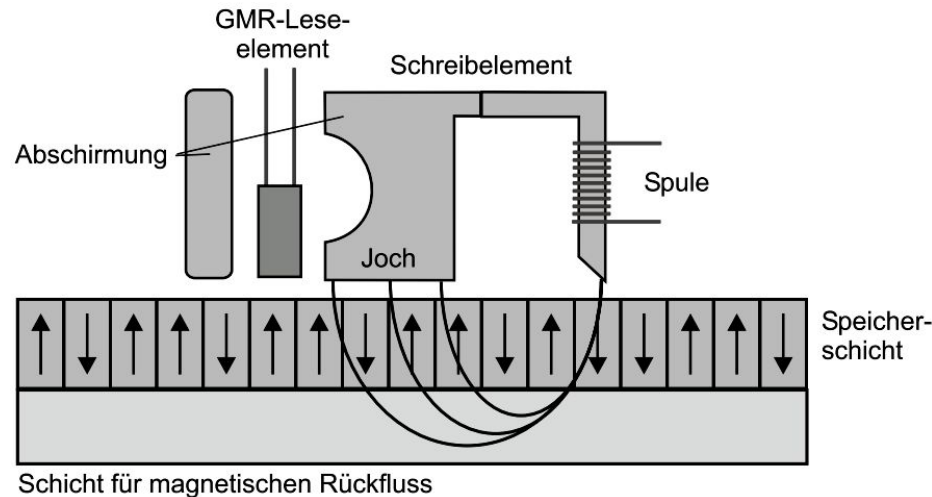
Externe Speichergeräte

- Magnetspeicher
 - HDD
- Optische Speichermedien
 - CD
 - DVD
 - Blu-ray
- Flash-Speicher

Magnetspeicher



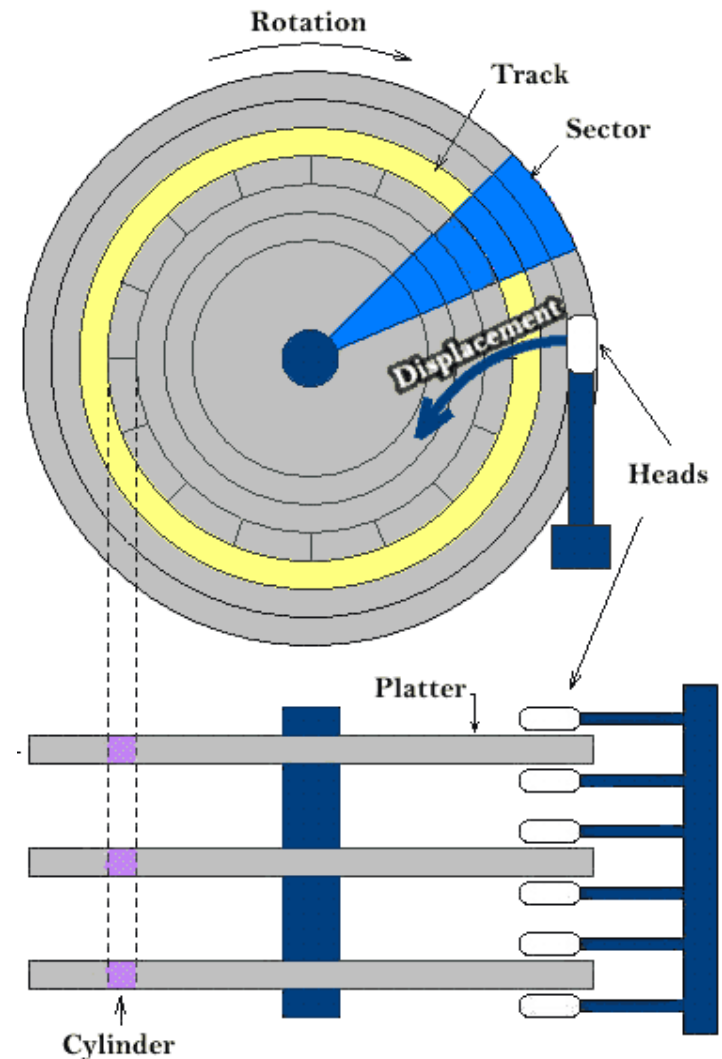
Schreib/Lesevorgang



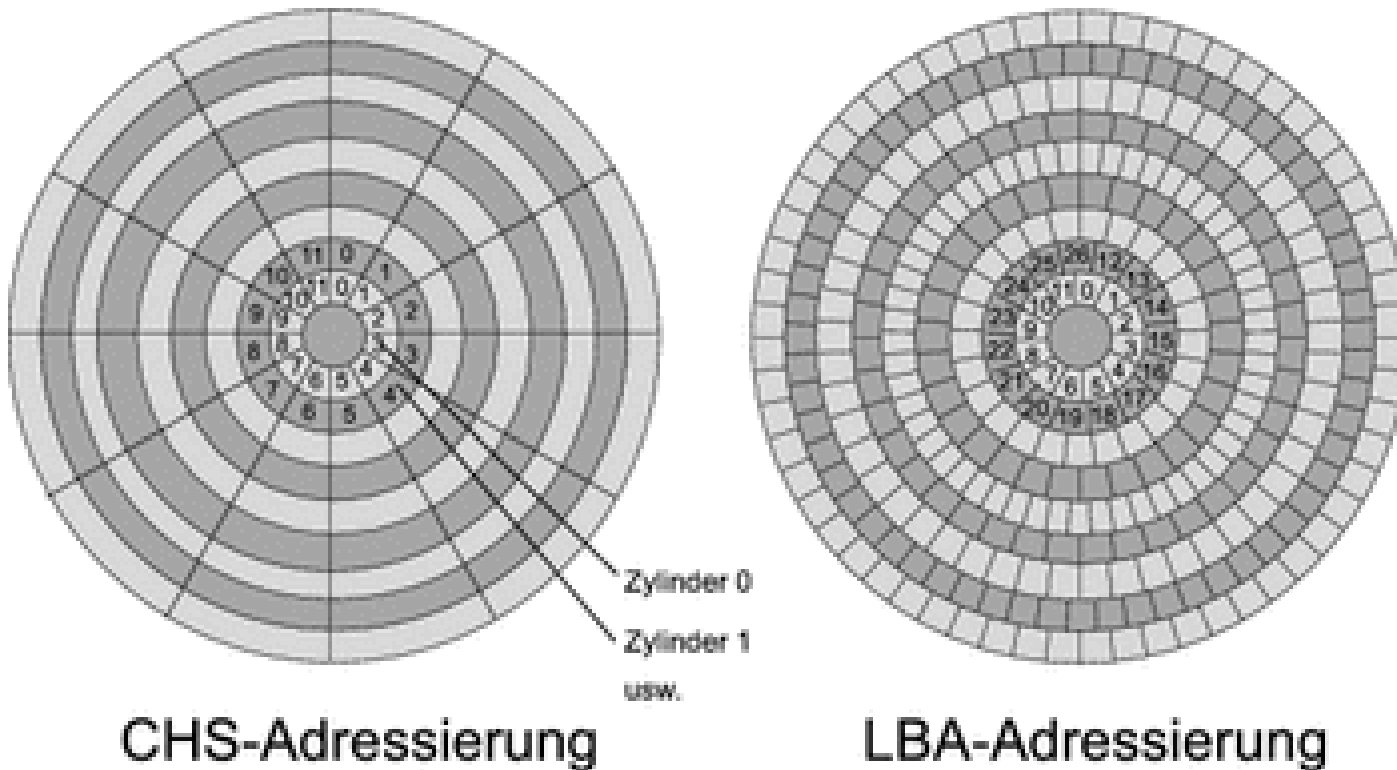
- Plattenstapel mit mehreren magnetisierbar beschichteten Scheiben aus Glas, Aluminium oder Magnesium
- Beschreiben/Auslesen mittels Schreib-Leseköpfen
- **Schreibvorgang:** Stromdurchflossener Schreibkopf erzeugt Magnetfeld bestimmter Richtung
- **Lesevorgang:** Ausrichtung des Magnetfeldes auf dem Trägermaterial induziert Lesespannung (positiv/negativ)

Aufbau

- übereinanderliegende Scheiben (platter, grau) mit
 - konzentrischen Spuren (track, gelb)
 - Sektoren (sector, blau)
 - Zylinder (cylinder, lila): die jeweils übereinander liegenden Spuren
- Adressierung über:
 - **C**ylinder (welche tracks)
 - **H**ead (welche platter+Seite)
 - **S**ector (welcher Abschnitt)
 - ergibt „Sektor“
- Sektor am äußeren Rand braucht mehr Platz als Sektor innen!



Logische Block Adressierung (LBA)



- Adressierung der Blöcke unabhängig von der Festplattengeometrie
- Blöcke durchgehend beginnend bei 0 nummeriert
- Ein LBA-Block entspricht einem Sektor bei CHS

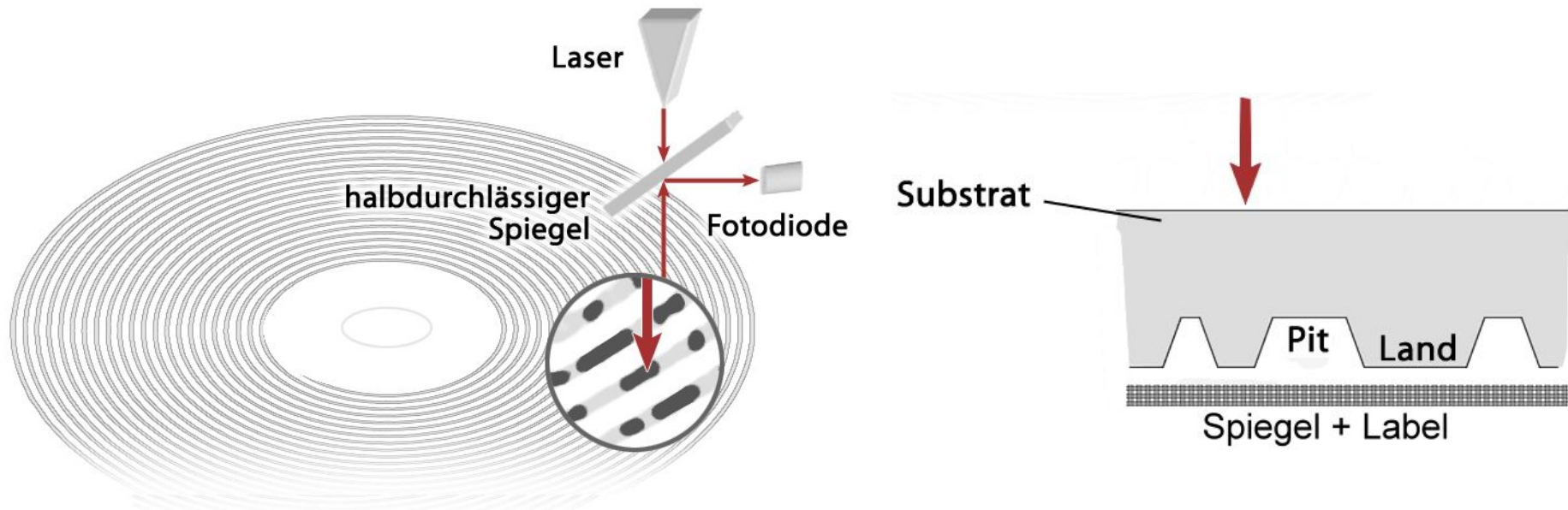
Kenngrößen

- Rotationsgeschwindigkeit
 - 5400 – 7200 rpm Consumer
 - 7200 – 15000 rpm Server
- Mittlere Zugriffszeit
 - 12ms – 8ms Consumer
 - 8ms – 3ms Server
- Cache
 - 8 – 64MB
- Interface
 - SATA, SAS, IDE/ATA

Optische Speicher

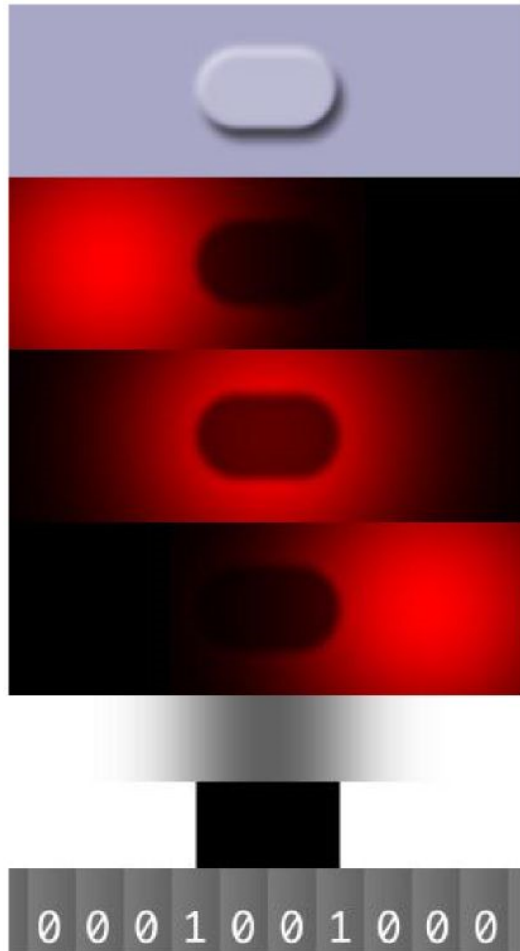
- CD-ROM / CD-RW
 - Kapazität: 650 bis 879 MB
- DVD-ROM / DVD-RW / DVD-RAM
 - Kapazität:
 - Single Layer 4,7 GB
 - Dual Layer 8,5 GB
- Blu-Ray Disc
 - Kapazität:
 - Single Layer 25 GB
 - Dual Layer 50 GB

CD-ROM Aufbau und Funktionsweise



- halbdurchlässiger Spiegel:
 - lässt einfallendes Laserlicht auf die CD-Oberfläche durch
 - lenkt rücklaufendes Licht zur Fotodiode, die Signal erkennt

Signalerkennung



Kleinstes Pit unter
Tageslichtverhältnissen

Roter Laser passiert Pit
Das Pit ist erscheint durch
Diffusion und Interferenzen
dunkel

Leseimpuls des
reflektierten Laserlichts

Schwellwert-Filter

extrahierter Digitalcode

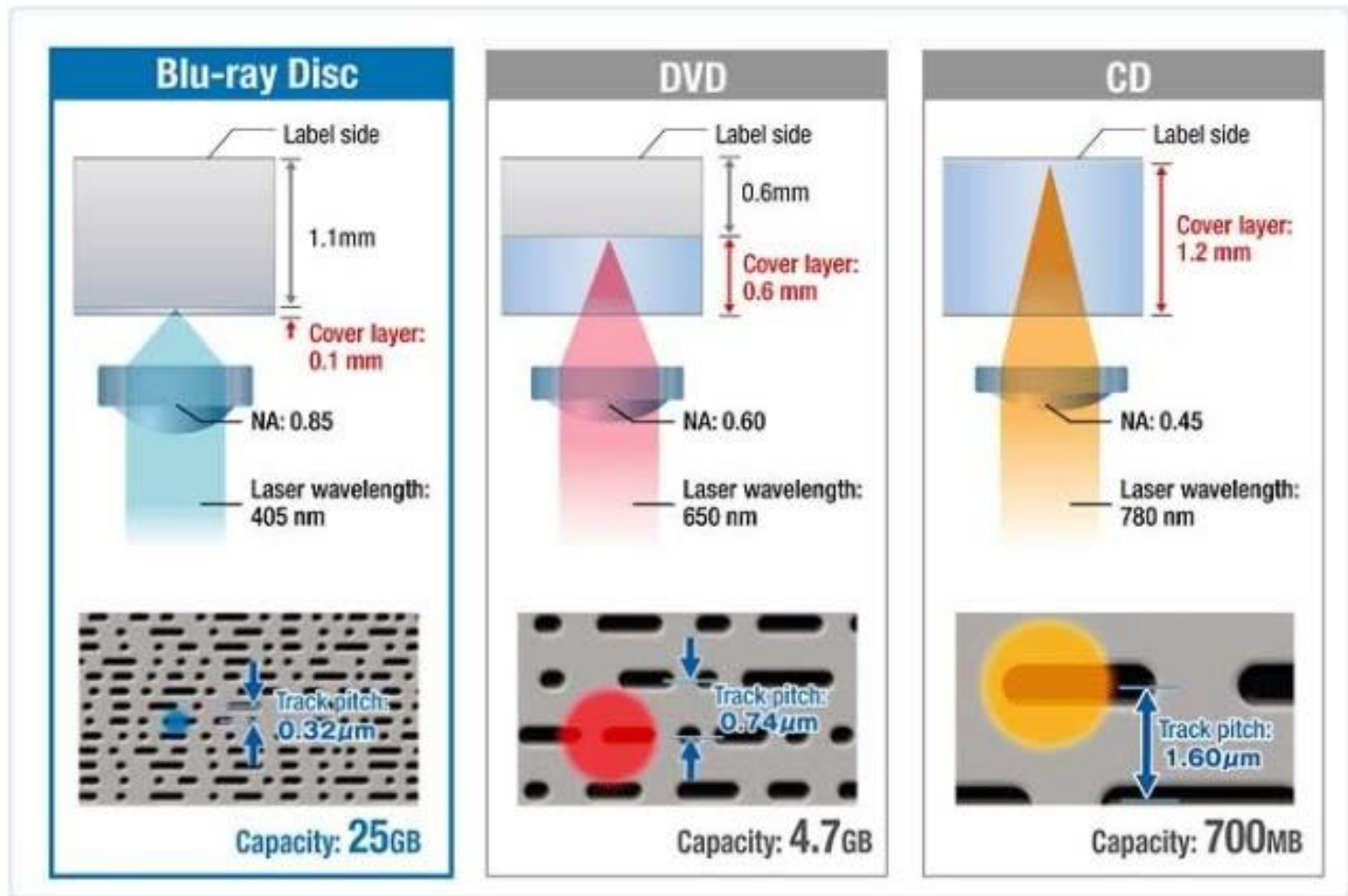
- Höhe der Pits:
 $\frac{1}{4} \lambda$ des Laserstrahls
→ Interferenz zwischen
hin- und rücklaufendem
Laserstrahl
→ partielle Auslöschung
- Am Übergang Land ↔
Pit: diffuse Reflexion
→ logische 1

Datencodierung CD

- Hierarchische, hochredundante Speicherung der Daten
- Fehlerkorrektur auf drei Ebenen:
 - Channel-Bits: unterste Ebene, EFM-Codierung (8 → 14)
 - Frames: $42 \times 14 \text{ Bit} = 588 \text{ Bit}$; evtl. keine Korrektur
 - Sektoren: 98 Frames
- Redundanz in einem Frame:
von 588 Bit nur 192 Bit Nutzdaten
- Speicherbedarf eines Sektors:
 $98 \times 588 \text{ Bit} = 57624 \text{ Bit}$ (7203 Byte)
- DVD: 8 → 16
- Blu-Ray Disk: eigene Codierung

CD, DVD, Blu-ray Disc im Vergleich

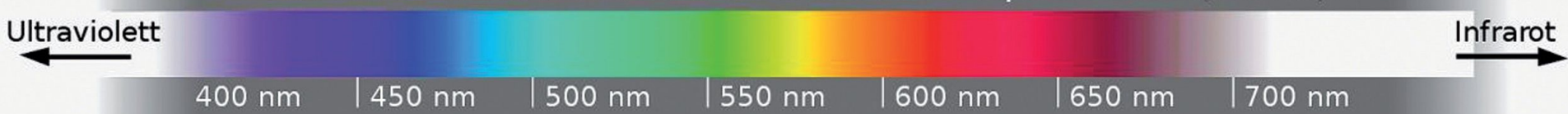
Datendichte durch Wellenlänge der Laserdiode beschränkt

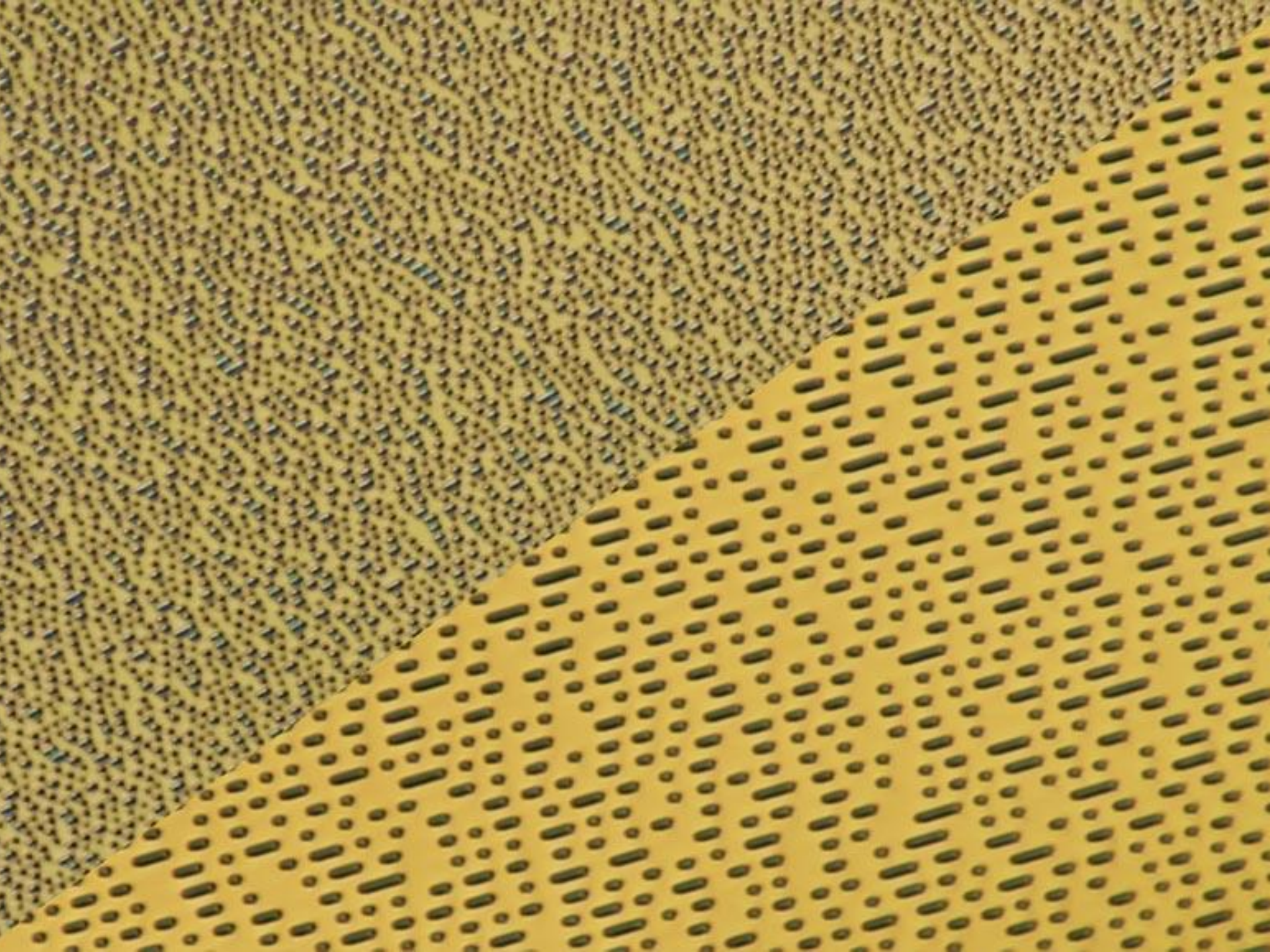


Technische Daten

	CD-ROM	DVD-ROM	BLU-RAY
Markteinführung	1982	1996	2006
Datenrate	1,228 Mbit/s	11,08 Mbit/s	36 Mbit/s
Laserwellenlänge	780 nm Infrarot	680 nm Rot	405 nm Violett
Spurabstand	1,6 µm	0,74 µm	0,32 µm
Ø Laserpunkt	2,1 µm	1,3 µm	0,6 µm

Das für den Menschen sichtbare Spektrum (Licht)





Flash-Speicher (Flash-EEPROM)

- Kommen aus dem Bereich der Digitalkamera
- Speicherkarten für mobile Geräte
- USB-Stick, MP3-Player
- Für embedded systems (z.B. weil erschütterungsresistent)
- BIOS
- Massenspeichermedium SSD

- Sind EEPROMs

Die Bezeichnung Flash entstand gemäß einer Anekdote aus dem Entwicklungslabor von Toshiba 1984 so: Shoji Ariizumi, ein Mitarbeiter des Projektleiters Fujio Masuoka, fühlte sich durch den blockweise arbeitenden Löschvorgang des Speichers an einen Blitz (engl. flash) einer Fotokamera erinnert, weshalb er aus diesem Grund Flash als Namen vorschlug.

Vor-/Nachteile

- + Schneller sequentieller Zugriff, hohe Transfer-Raten
- + Stoßfestigkeit
- + Großer nutzbarer Temperaturbereich

- Lebensdauer: abhängig von Löschzyklen
 - MLC: einige 10.000
 - SLC: einige 100.000

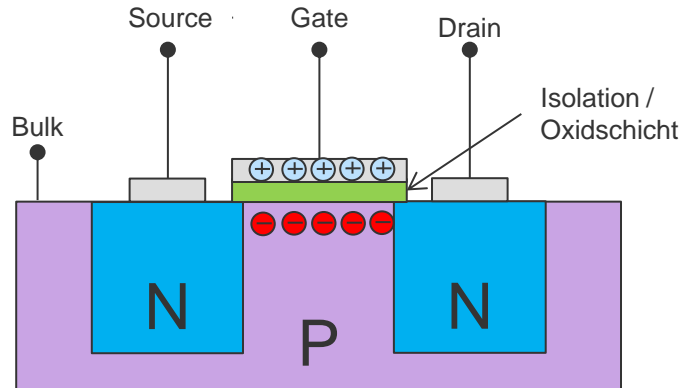
- Controller
 - verteilt Löschvorgänge möglichst gleichmäßig (Wear-Leveling)
 - Reservezellen (ca. 7-10%)

- TRIM
 - BS sollte TRIM unterstützen, um der SSD mitzuteilen, welche Daten nicht mehr in Verwendung sind

Funktionsprinzip

MOSFET-Transistor

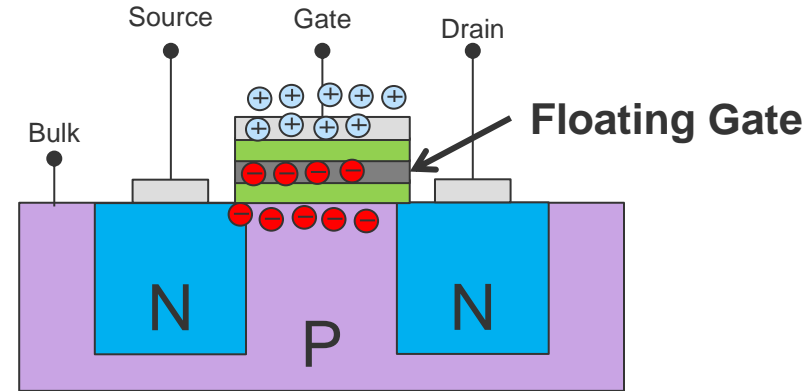
Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor



https://www.youtube.com/watch?v=rTiww_2Vi60

FGMOS-Transistor

Floating-Gate-Transistor



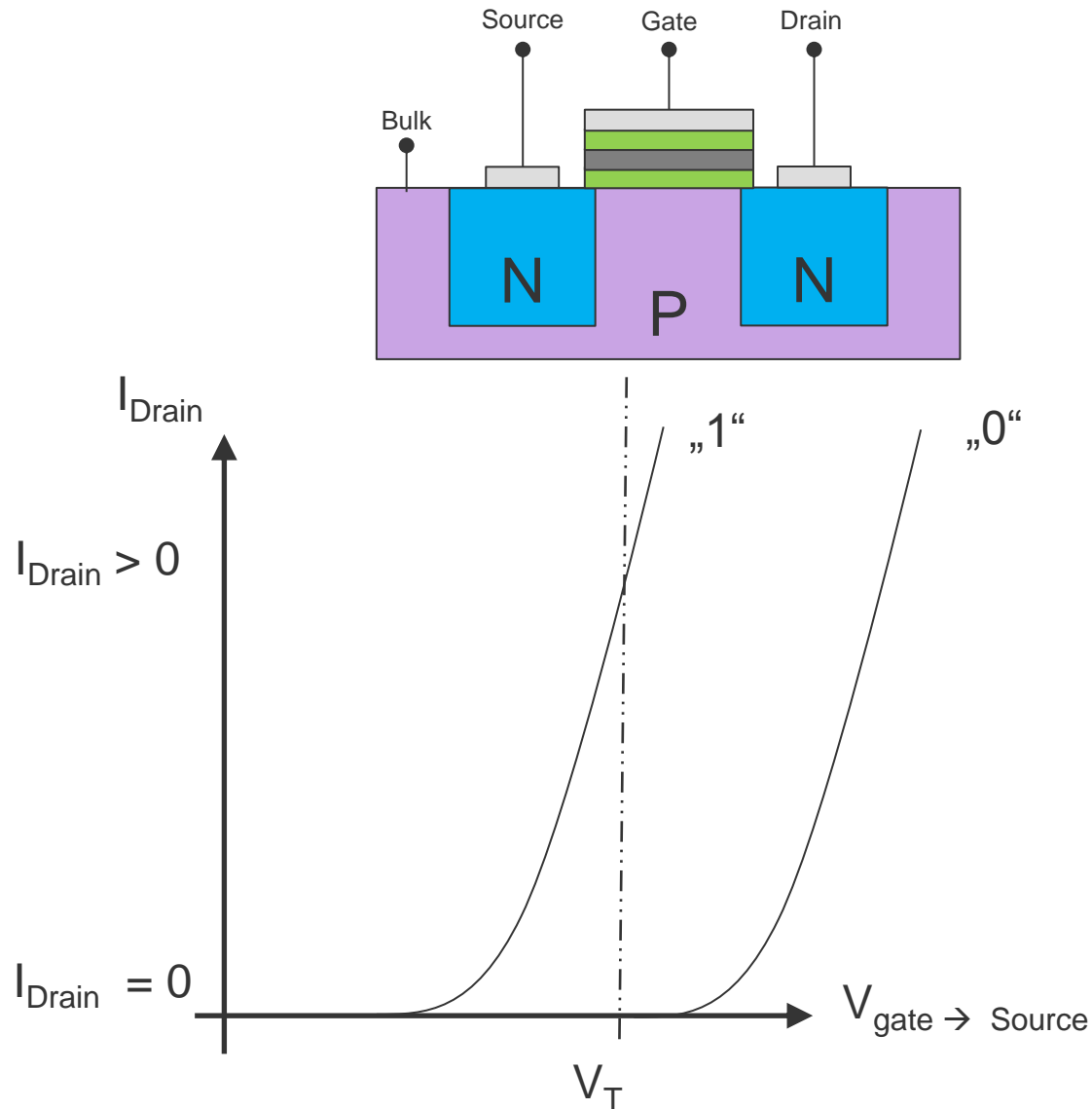
<https://www.youtube.com/watch?v=s7JLXs5es7I>

- Speicherung der einzelnen Bits erfolgt im Floating Gate eines **Floating-Gate-Transistors**
- durch diese zwei Zustände kann die Informationsmenge eines Bits gespeichert werden
- zum Löschen/Beschreiben wird Spannung zwischen Gate und Substrat angelegt (Richtung entscheidet über Beschreiben/Löschen)
 - Quantum Tunneling
 - Hot Electron Injection

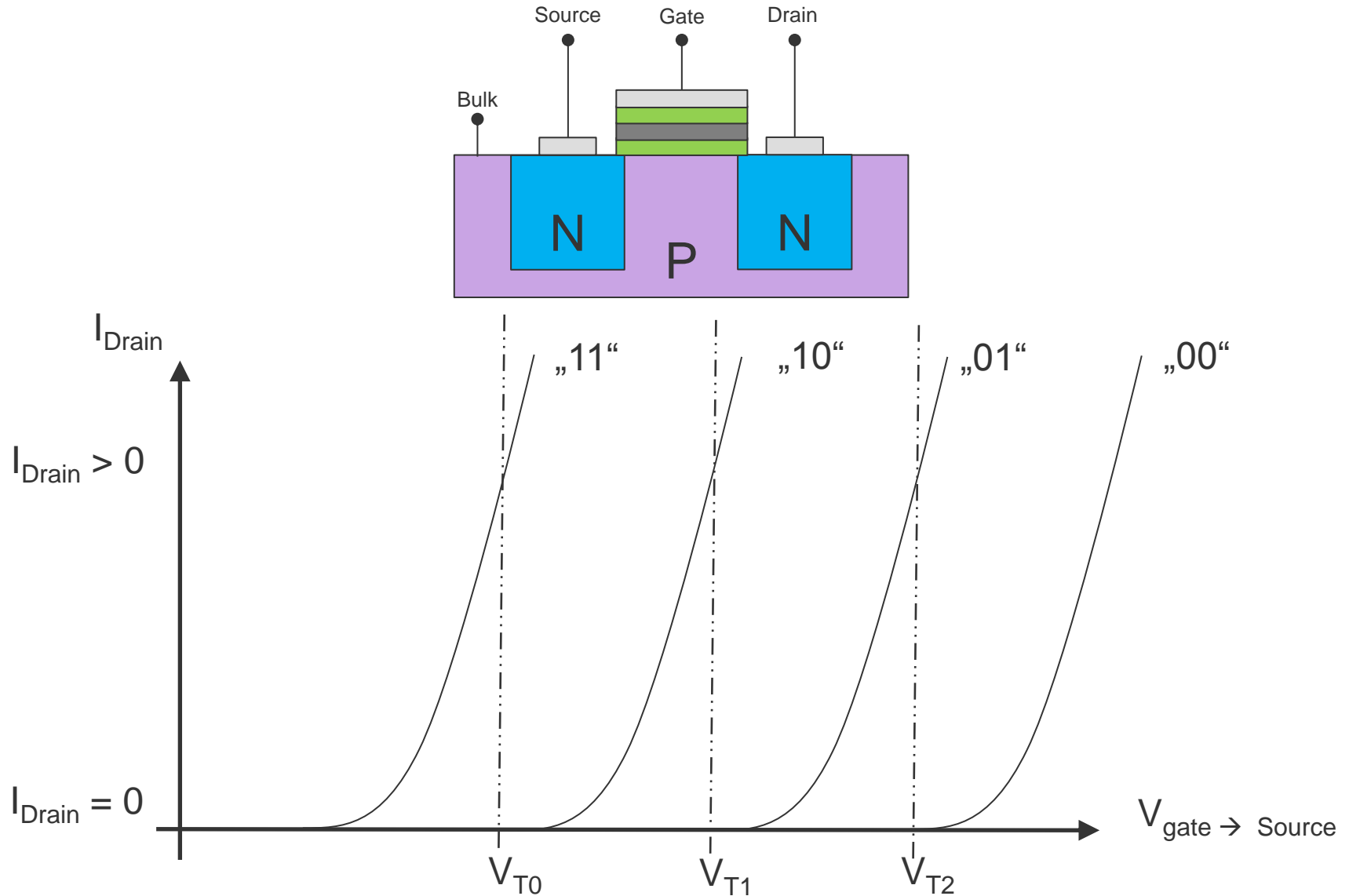
Arten von Speicherzellen

- Single-Level-Cell (1 Bit)
 - speichert nur ein Bit im Floating Gate
 - durch einzelnes Spannungslevel robuster gegen Löschvorgänge
 - schneller beschreib- und lesbar als MLC
- Multi-Level-Cell (2-4 Bits)
 - multiple Spannungslevel für 2-4 Bits
 - anfälliger für Fehler durch Löschvorgänge

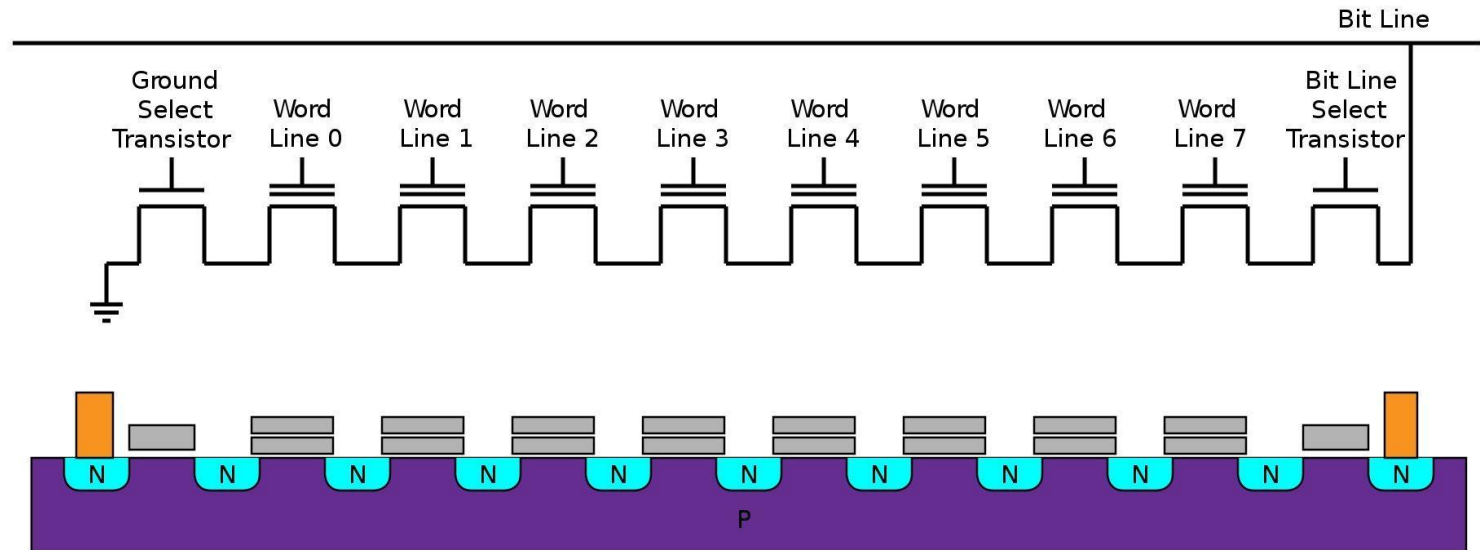
Floating-Gate-Transistor Reading SLC (Single Level Cell)



Floating-Gate-Transistor Reading MLC (Multi Level Cell)

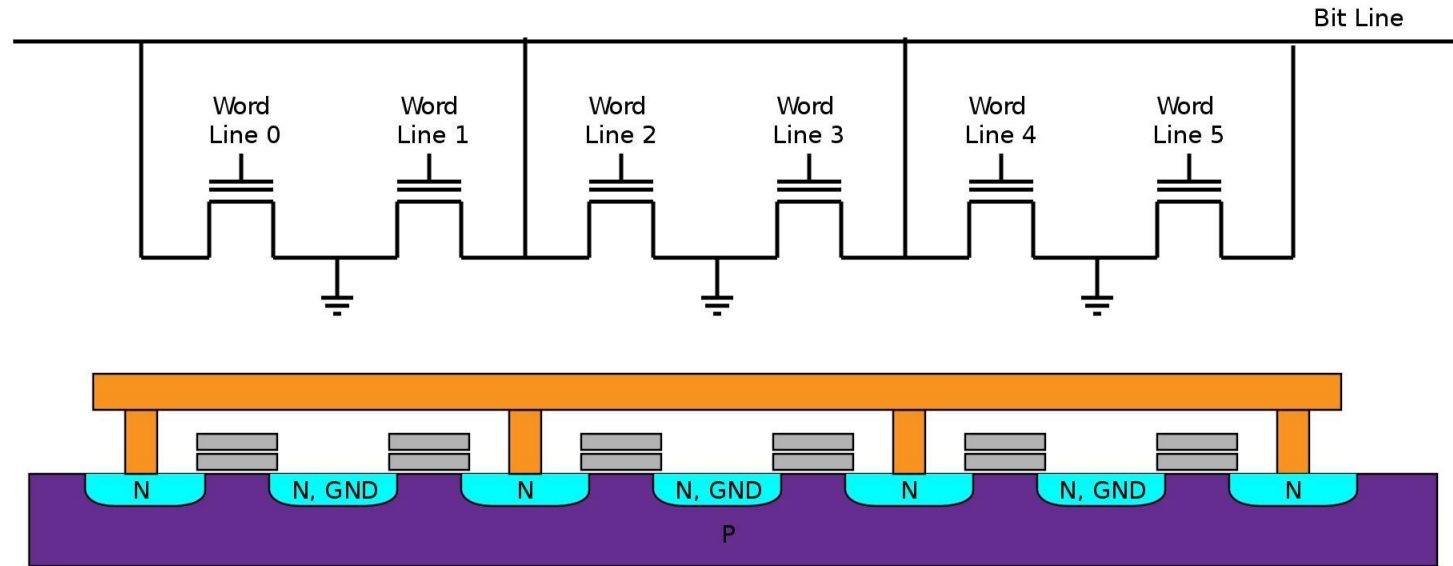


NAND-Flash



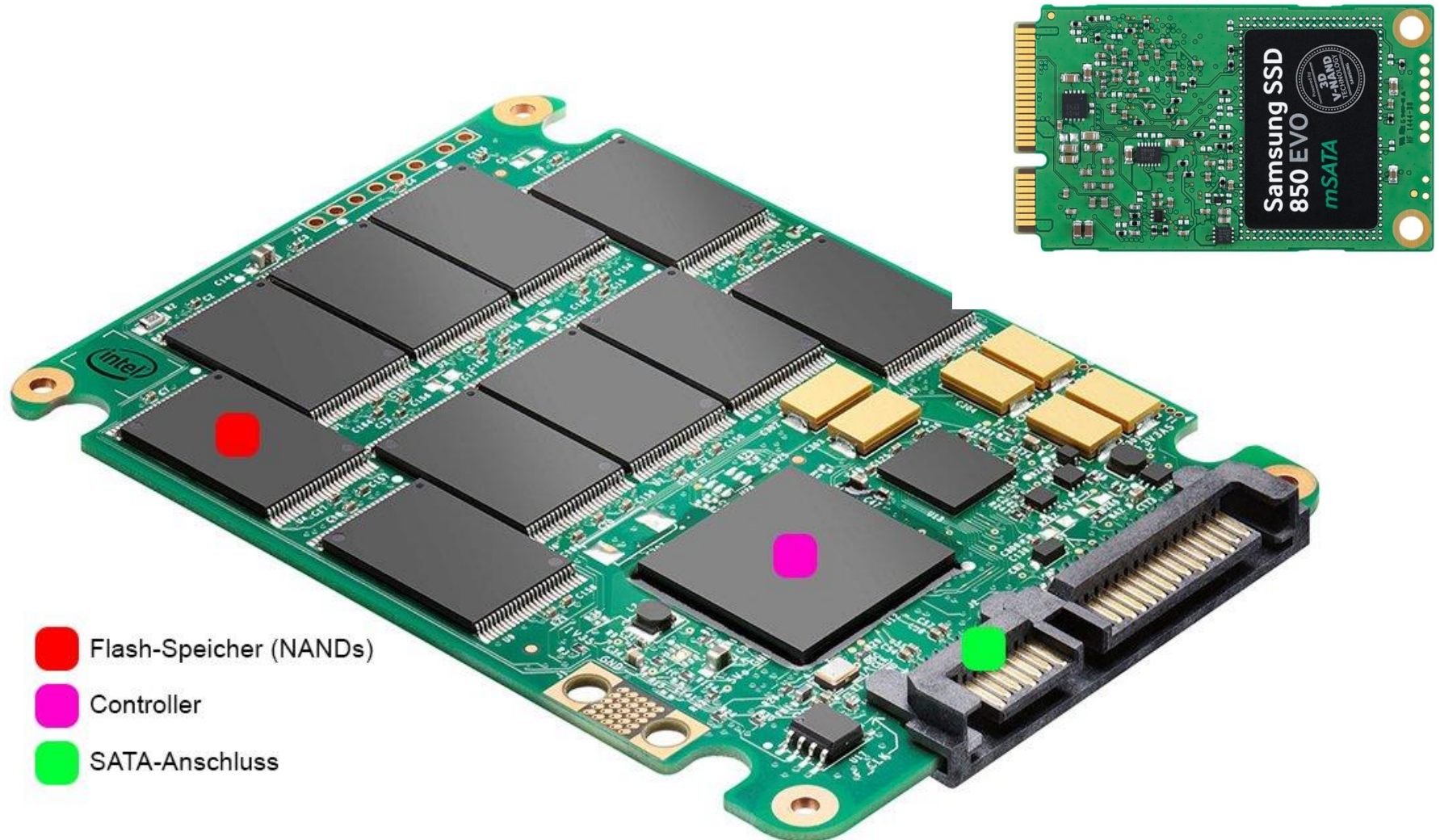
- in Reihe geschaltete FG-Transistoren
- höhere Speicherdichte als NOR, billiger
- Adressierung erfolgt Page- und Block-orientiert
- Page: 512 ... 4096 Bytes bei größeren Flashbausteinen
- Pages sind zu Block gruppiert → Blockgröße 16...512KB
- Löschen blockweise; **Lesen/Schreiben pageweise**

NOR-Flash



- Parallel geschaltete, einzeln adressierbare Speicherzellen (Byte!)
- geringere Speicherdichte als NAND, teurer
- schneller lesbar als NAND-Flash
- Löschen blockweise, **Lesen/Schreiben byteweise**
- meist 64KB Blöcke

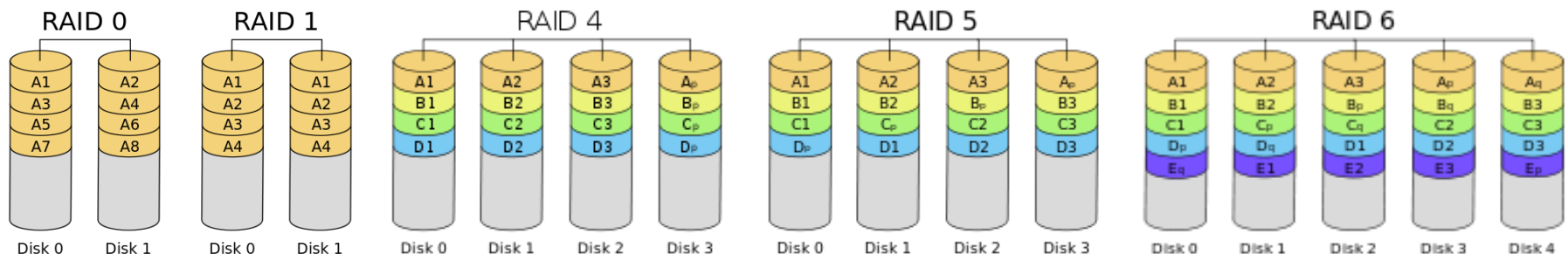
SSD-Aufbau



RAID

n Anzahl, p Ausfallswahrscheinlichkeit und g Größe jeweils einer Festplatte

- RAID 0: Striping – Beschleunigung ohne Redundanz
 - „[Array of Independent Disks](#)“ → Kein RAID
 - Ausfallswahrscheinlichkeit: $1 - (1 - p)^n$, Kapazität: $n \times g$
- RAID 1: Mirroring – Spiegelung
 - Ausfallswahrscheinlichkeit: p^n , Kapazität: $n \times (g \text{ der kleinsten Festplatte}) / 2$ bei einfacher Spiegelung
- RAID 4: Block-Level Striping mit Paritätsinformationen auf separater Festplatte
 - Ausfallswahrscheinlichkeit: $1 - (1 - p)^n (1 + p \times n)$, Kapazität: $g (n - 1) \times (g \text{ der kleinsten Festplatte})$
- RAID 5: Leistung + Parität, Block-Level Striping mit verteilter Paritätsinformation
 - wie RAID 4
- RAID 6: Block-Level Striping mit doppelt verteilter Paritätsinformation
 - verkraftet den gleichzeitigen Ausfall von bis zu zwei Festplatten
- RAID(n,m)
 - n = Anzahl der Festplatten insgesamt, m = Anzahl der Festplatten, die ohne Datenverlust ausfallen dürfen
→ m = 1 entspricht RAID 5, m = 0 entspricht RAID 0, m = n - 1 entspricht RAID 1



Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/RAID>

RAID Ausfallswahrscheinlichkeit

Die gebräuchlichsten RAID Level sind die RAID Level 0, 1 und 5.

- Bei der Präsenz von 3 Platten à 1 TB, die jeweils eine Ausfallswahrscheinlichkeit von 1 % in einem gegebenen Zeitraum haben, gilt:
 - *RAID 0* stellt 3 TB zur Verfügung. Die Ausfallswahrscheinlichkeit des RAIDs beträgt 2,9701 % (1 in 34 Fällen).
 - *RAID 1* stellt 1 TB zur Verfügung. Die Ausfallswahrscheinlichkeit des RAIDs beträgt 0,0001 % (1 in 1 000 000 Fällen).
 - *RAID 5* stellt 2 TB zur Verfügung. Die Ausfallswahrscheinlichkeit des RAIDs beträgt 0,0298 % (1 in 3 356 Fällen).

Terminologie

- Arbitration (Arbitrierung)
 - Buszuteilung
- Bandwidth (Bandbreite)
 - Datenmenge/Zeit, Durchsatz, Kanalkapazität
- Latenz
 - technisch bedingte Verzögerung eines Signals
- Main Board (Hauptplatine)
 - wesentliche Bauteile eines PCs verbaut:
Steckplätze für Hauptprozessor (CPU), Speicher und Erweiterungskarten,
sowie Komponenten zur Verbindung aller Teile, wie Chipsatz und Busse
- Chipsatz
 - Schaltkreise/Controller auf der Hauptplatine
 - bindet CPU über Controller an die Peripherie an
- Interrupt
 - kurzfristige Unterbrechung der normalen Programmausführung

Terminologie

- Open-loop / closed-loop data transfer
 - open-loop: Ankunft der Daten wird angenommen, aber nicht überprüft
 - closed-loop: Rückmeldung an den Sender
- Handshake
 - Handshake als Prozess: dynamisches Aushandeln von Parametern
 - Handshaking während Übertragung: Synchronisation durch Steuermeldungen
- Polling / Busy Waiting
 - Polling: aktives Überprüfen von Geräte-Status in periodischen Abständen
 - Busy Waiting: aktives Warten auf Eintreten einer bestimmten Änderung
- Vollduplex / Halbduplex / Simplex
 - Simplex: Übertragung nur in eine Richtung möglich
 - Halbduplex: Übertragung in beide Richtungen, aber nicht gleichzeitig
 - Vollduplex: Übertragung in beide Richtungen zur gleichen Zeit
- Hot plug
 - Austausch von Komponenten bei laufendem Betrieb ohne Neustart

Zusammenfassung

- Konzepte zum Datentransfer
 - Bus
 - I/O-Strategien
- Anbindung peripherer Geräte
 - Über Mainboard/Chipsatz
 - Schnittstellen: USB, PCIe, HDMI, DisplayPort
- Periphere Geräte
 - Externe Speichergeräte
 - magnetisch
 - optisch
 - solid state
 - TFT-Monitore
 - Kamera