

6. Schnittstellen und Speichermedien

6.1 Schnittstellen für Computerperipherie

Universal Serial Bus

FireWire

6.2 Halbleiterspeicher

6.3 Magnetische Speicher

6.4 Optische Speicher: CD und DVD

Literatur:

Messmer/Dembowski: PC-Hardwarebuch Kapitel 32

Hardware-Schnittstellen

Standard zur Verbindung von Geräten

z.B. Computer und Peripherie

Prinzip 1: Parallele Übertragung

so viele Datenleitungen wie Wortbreite in Bits

Prinzip 2: Serielle Übertragung

Bits werden in Folge übertragen

Synchrone Übertragung:

Takt- oder Handshake-Information separat auf eigener
Leitung übertragen

Asynchrone Übertragung:

Synchronisationsinformation in der Nachricht eingebettet
(Start- und Stopbits)

Klassische PC-Peripherieschnittstellen

Parallele Schnittstelle (Centronics)

Druckeranschluss beim IBM-PC

36-adriges Kabel, davon 18 genutzt

modernisierte Variante: IEEE-1284



parallel (DB25S) + Game port

Serielle Schnittstellen (RS-232 bzw. V.24)

25-polige und 9-polige Stecker

Standard unterstützt asynchronen und synchronen Austausch

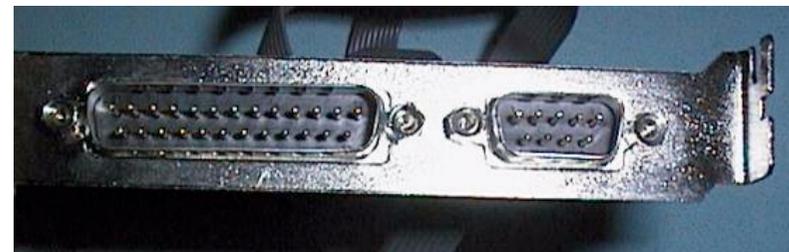
Üblich: asynchroner Austausch, 9-polige Stecker

Betriebsmodi:

Simplex: Leitung nur in einer Richtung genutzt

Halbduplex: Leitung abwechselnd in verschiedenen Richtungen genutzt

Vollduplex: gleichzeitige Nutzung in verschiedenen Richtungen
(Zwei Kabel oder logische Kanäle)



seriell (DB25P und DB9P)

Historische Vielfalt von Schnittstellen

Z.B. Anschluss von Tastatur und Maus:

DIN- und Mini-DIN-Stecker (PS/2)

Z.B. zum Anschluss schneller Peripherie

SCSI-Interface

Insgesamt: unübersichtlich, unflexibel



PS/2 Ports
(Wikipedia)



DIN 5-Pin Anschluss
(bobleroi.co.uk)



SCSI Terminator
(Wikipedia)

6. Schnittstellen und Speichermedien

6.1 Schnittstellen für Computerperipherie

Universal Serial Bus 

FireWire

6.2 Halbleiterspeicher

6.3 Magnetische Speicher

6.4 Optische Speicher: CD und DVD

Literatur:

Don Anderson (MindShare), Universal Serial Bus System
Architecture, 2nd ed., Addison-Wesley 2001

<http://www.beyondlogic.org/usbnutshell>

Universal Serial Bus (USB)

Entwickelt durch Industriekonsortium (u.a. Intel)
verbreitet seit ca. 1995

Inzwischen vier Generationen: 1.0, 1.1, 2.0 und 3.0

Vereinheitlichung von Peripherie-Schnittstellen

Entwurfsziele

Einheitliche Steckverbinder für alle Endgeräte
(von der Tastatur bis zum CD-Brenner)

Unterstützung für Vervielfachung von Anschlüssen
(Baum-Topologie, bis zu 127 Geräte an einem Port)

– *"hot plugging"*:

Ein- und Ausstecken im laufenden Betrieb

Stromversorgung integriert

verschiedene Leistungsklassen

preisgünstig

niedriger Energieverbrauch

USB: Versionen, Geschwindigkeit

	USB 1.1	USB 2.0	USB 3.0
Jahr	1996	2000	2008
Bandbreite	1,5 Mb/s (low speed) 12 Mb/s (full speed)	1,5 Mb/s (low speed) 12 Mb/s (full speed) 480 Mb/s (high speed)	1,5 Mb/s (low speed) 12 Mb/s (full speed) 480 Mb/s (high speed) 5 Gb/s (SuperSpeed)
Stromversorgung	100 - 500 mA		150 - 900 mA
maximale Kabellänge	3m		nicht spezifiziert, ca. 3m
			

USB 1.1, 2.0 - Leitungen

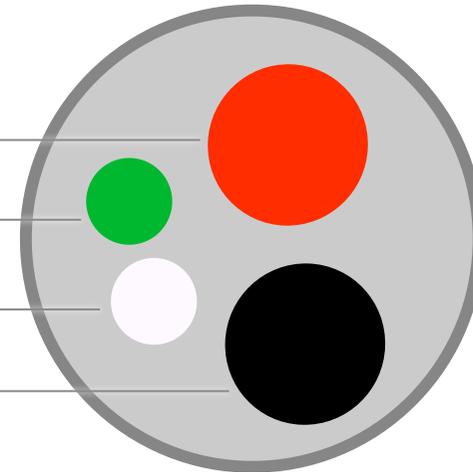
Sehr einfache Belegung:

Pin 1: Busspannung (5 Volt)

Pin 2: D+ (Daten)

Pin 3: D- (Daten)

Pin 4: Erde



Differenzielle Signalleitungen:

Spannung zwischen D+ und D- (max. 4V)

Logische Eins: $U(D+ \text{ zu } D-) > 200 \text{ mV}$

Logische Null: $U(D- \text{ zu } D+) > 200 \text{ mV}$

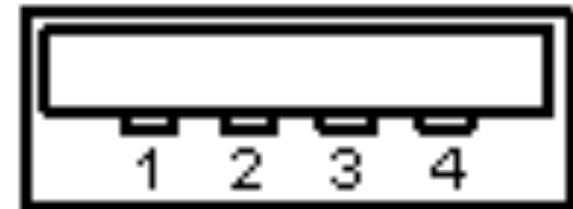
Takt im Signal durch NRZI-Codierung
(*Non-return-to-zero-inverted*)

USB 1.1, 2.0 - Stecker

- USB-A-Stecker/-Buchse für Host
- USB-B-Stecker/Buchse für Gerät
- kleinere Bauformen für mobile Geräte:
 - mini-A (selten)
 - mini-B (große Formenvielfalt)
 - micro-A/B (flacher, ersetzen offiziell mini-A/B)
- USB On-The-Go (OTG)
 - mini-AB / micro-AB
 - Host- und Device-Anschluss in einer 5-Pin-Buchse
 - Pin 5 im Stecker geerdet => Host-Betrieb



Type B USB connector
Downstream (Gerät)



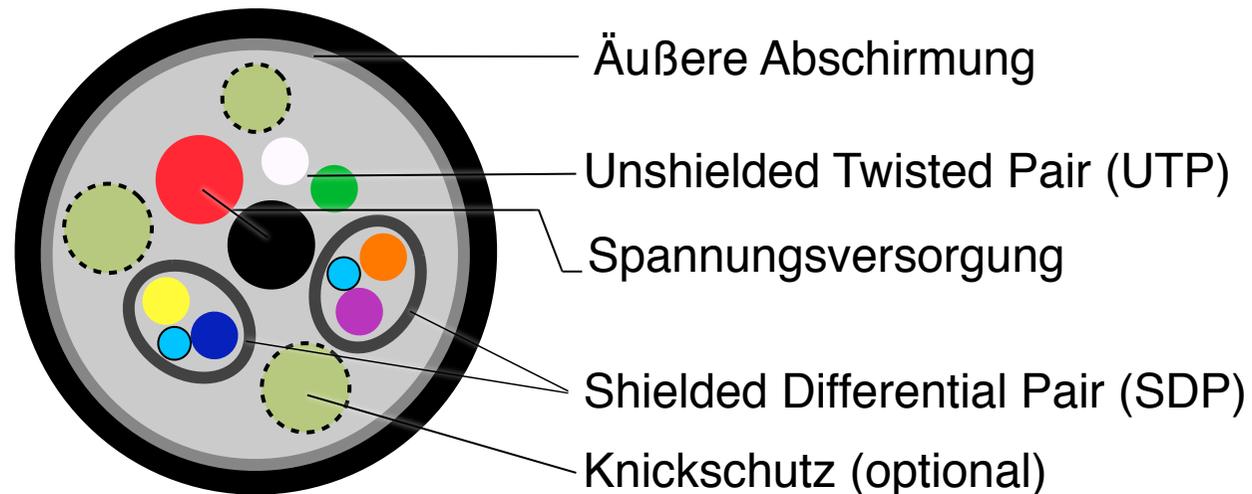
Type A USB connector
Upstream (Host, Hub)



micro-A, micro-B
USB connectors

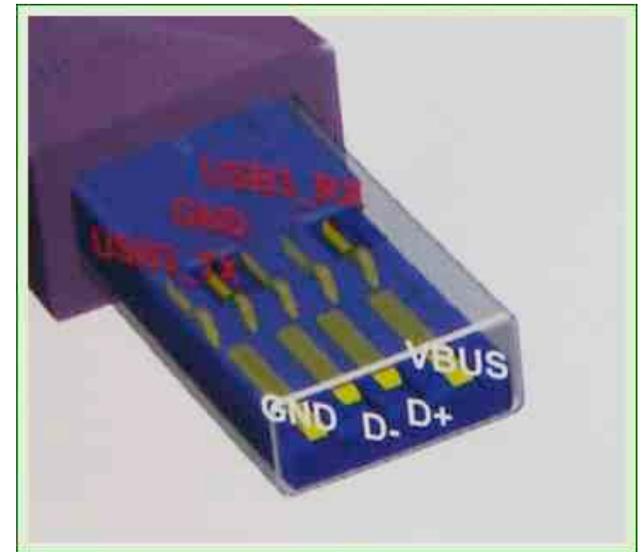
USB 3.0 - elektrisch

- Abwärtskompatibel zu USB 2.0
- Zusätzlich zwei geschirmte Leitungspaare (Rx/Tx) für SuperSpeed
- Äußere Abschirmung vorgeschrieben
- SuperSpeed verwendet 8b/10b-Encoding anstelle von NRZI

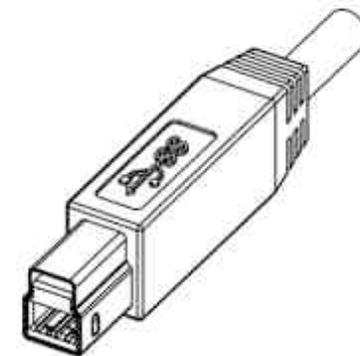


USB 3.0 - Stecker

- USB-A-Stecker / Buchse abwärtskompatibel
- 5 Kontakte hinten zwischen den existierenden Kontakten für SuperSpeed
- USB-B-Stecker hat SuperSpeed-Kontakte aus Platzgründen in aufgesetzter Kontaktreihe
- nicht abwärtskompatibel



Type A USB 3.0 connector
Upstream (Host, Hub)



Type B USB 3.0 connector
Downstream (Device)

Wireless USB



Drahtlose USB-Variante

Seit 2004 in Entwicklung

2009: Standardisierung in der Endphase

Bandbreite: 480 Mb/s (3m), 110 Mb/s (10m)

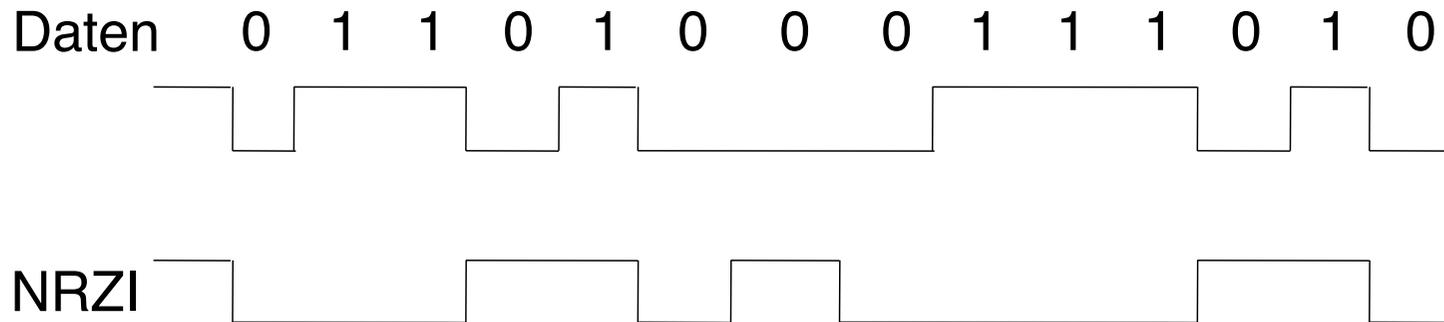
basiert auf "Ultra-WideBand"-Technologie von WiMedia

Funkfrequenz: 3,1 - 10,6 GHz

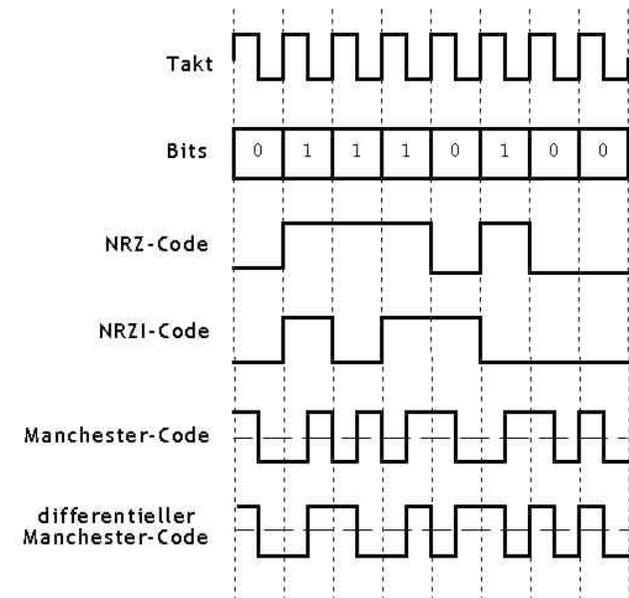
Host Wire Adapter (HWA) und Device Wire Adapter (DWA) als
Schnittstellen zwischen USB-2.0 Host bzw. Device und WUSB

Geplant: Version 1.1 mit 1 Gb/s

NRZI-Codierung



- Non-return-to-zero inverted
- Bei jeder Null Polaritätswechsel generiert
- Bei Eins bleibt Polarität unverändert
- Differentielle Codierung
- Nach sechs aufeinanderfolgenden Einsen zusätzliche Null eingefügt (*bit stuffing*)
- Zweck: bessere Ausnutzung der Bandbreite
- Bei USB komplett in Hardware realisiert

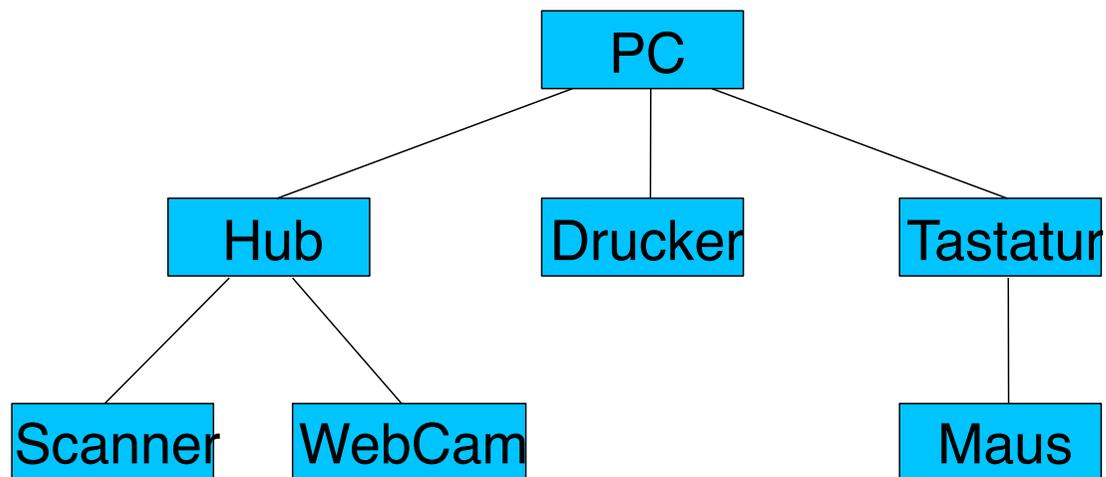


8b/10b-Codierung

- Problem: niedrige Signalfrequenzen sättigen die Kondensatoren und andere elektrische Kapazitäten im Kommunikationskanal
 - Dadurch Störung des Signals
- Lösung: Sicherstellen, dass ungefähr gleich viele 0 und 1 durch das Kabel geschickt werden
- 8b/10b: 8 Bit des Originalsignals werden auf 10 Bit gestreckt.
- Schritte:
 - aufteilen in 5-Bit- und 3-Bit-Block (5b und 3b)
 - jeder Block wird anhand einer Lookup Table auf 6 Bit / 4 Bit gestreckt (6b und 4b)
 - für jeden 5b- bzw. 3b-Block gibt es zwei verschiedene 6b bzw. 4b/Blöcke - in einem überwiegen 1er, im anderen 0er.
 - es wird der 6b- bzw. 4b-Block gewählt, der das Gesamtverhältnis von 1ern und 0ern im Ausgangssignal besser ausgleicht
 - 6b- und 4b-Block werden konkateniert und an das Ausgangssignal angefügt

USB: Topologien

- *Hubs* werden an einen USB-Port angeschlossen und bieten selbst mehrere USB-Schnittstellen an: Baum-Topologie
Auch Geräte können als Hubs dienen (z.B. Tastatur)



USB: Endpoint/Transfer-Typen

Control Transfers

z.B. zur Aushandlung von Geschwindigkeit und Geräteart (*enumeration*)
bidirektional

Interrupt Transfers

Unidirektional

Eigentlich Polling und kein Hardware-Interrupt, aber garantierte Latenzzeit
Wiederholversuch bei Fehlern

Isochronous Transfers

Stetiger und regelmäßiger Datenstrom, z.B. Audio und Video Streaming

Unidirektional

Begrenzte Latenzzeit, garantierte Bandbreite

Keine Wiederholversuche bei Fehlern

Bulk Transfers

Grosse, unregelmäßig auftretende Datenmengen (*burst*)

Unidirektional

Keine Garantien bezüglich Bandbreite oder Latenz

Nur bei Full- und High-Speed

USB: Deskriptoren

Jedes USB-Gerät enthält eine Reihe von Deskriptoren, die durch die Treiber-Software ausgelesen und interpretiert werden:

Device Descriptor

Geräteklasse, Hersteller, Anzahl möglicher Konfigurationen

Configuration Descriptors

Verschiedene Alternativkonfigurationen (Interfaces)

Interface Descriptors

Je Interface: Anzahl der Endpunkte, spezifische Attribute

Endpoint Descriptors

Je Endpunkt: Transfertyp, Richtung, Bandbreite, Abfragefrequenz, ...

String Descriptors

Textanzeigen

Class-Specific Descriptors

je nach Geräteklasse

USB: Geräteklassen

USB definiert Standardschnittstellen für die wichtigsten Geräteklassen

Erlaubt damit die Verwendung standardisierter Treiber

Audio Class

Communications Device Class

Content Security

Human Interface Device Class

Image Device Class

Mass Storage Device Class

Display Device Class (Monitor-Konfiguration)

Physical Interface Class (z.B. Force Feedback)

Power Device Class

Printing Device Class

Video Device Class (MJPEG, MPEG1/2/4, VC1, DV, H.264)

...

USB: Geräteklasse "Mass Storage Device"

Zur Steuerung der Zugriffe wird der bewährte "SCSI-2"-Befehlssatz verwendet

SCSI = Small Computer Systems Interface

ANSI-Standard X3.131

ursprünglich ein eigener physikalischer Schnittstellen-Standard

Beispiel für eine Geräteklasse mit vielen Unterklassen:

General Mass Storage Subclass (Wechselmedien)

Floppy Disk, Magneto-Optical, Zip, ...

CD-ROM Subclass

Tape Subclass

Solid State Subclass

6. Schnittstellen und Speichermedien

6.1 Schnittstellen für Computerperipherie

Universal Serial Bus

FireWire



6.2 Halbleiterspeicher

6.3 Magnetische Speicher

6.4 Optische Speicher: CD und DVD

Literatur:

Don Anderson (MindShare), FireWire System Architecture,
Addison-Wesley 1999

FireWire



Serielle Hochgeschwindigkeits-Schnittstelle

Implementierung von IEEE-Standard 1394 (1987), aktuell 1394b (1999)

Realisiert als Apple NuBus90, nicht weiterverfolgt

1994: *1394 Trade Organisation* (Computer- und Audio-/Video-Technikfirmen)

Heutzutage in allen Apple-Geräten, vielen PCs und in fast allen digitalen Videokameras (Sony-Name für FireWire: *i.Link*)

Inzwischen weitgehend von USB 2.0 verdrängt

Datenübertragungsraten:

100, 200 MBit/s (unüblich)

400 MBit/s (weit verbreitet)

Vergleich: USB 2.0 High-Speed 480 MBit/s, Fast Ethernet 100 MBit/s
800 MBit/s (aktueller Stand der Technik), eigener Stecker ("beta")

Standardisiert aber noch nicht in Produktreife:

1,6 GBit/s und 3,2 GBit/s

Seit 2004 definiert: „Wireless FireWire“ (Wireless Personal Area Network)

Siehe auch: <http://www.1394ta.org>

FireWire: Topologie

Pro Port bis zu 16 Geräte in Hintereinanderschaltung (*daisy chain*)

Nicht zulässig aber physikalisch möglich: Kreis!

Abstand zwischen Geräten max. 4,5 m

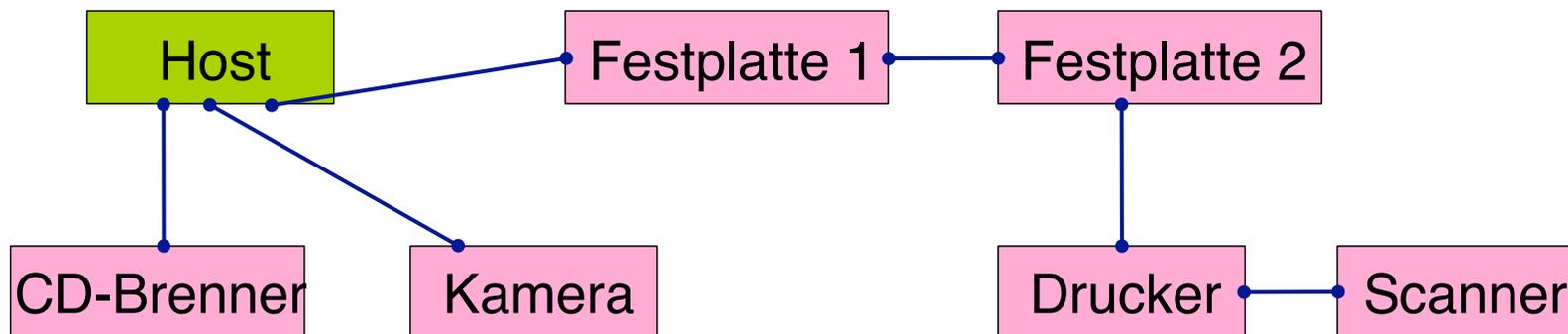
Stranglänge insgesamt max. 72 m

Automatische Adresszuweisung

Anschließen/Entfernen im laufenden Betrieb (*hot plugging*)

Firewire-Geräte können direkt auf RAM des Hosts zugreifen (DMA)

Beispiel für mögliche Topologie:



FireWire: Kabel und Stecker

6-polig:

Spannungsversorgung (8-40 V, bis zu 1,5 A)

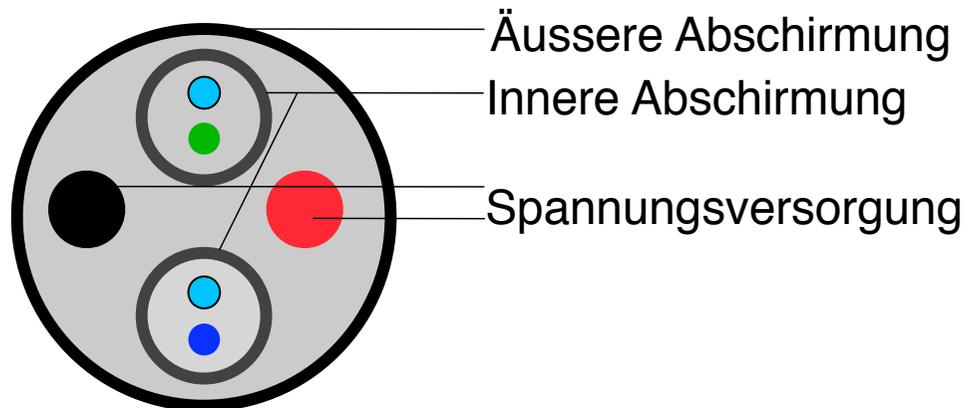
Erde

2 Paare von verdrehten Datenleitungen (*twisted pair*): Signal und Takt
beide Signalwege differenziell

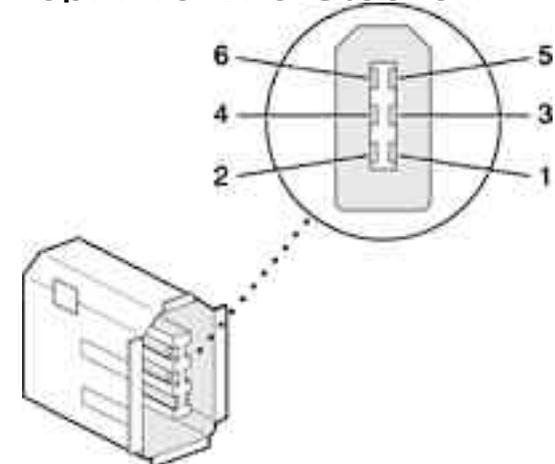
4-polig:

ohne Spannungsversorgung, z.B. in manchen Notebooks

Kabel relativ dünn und flexibel



6p. FireWire-Stecker:



FireWire: Datenübertragung

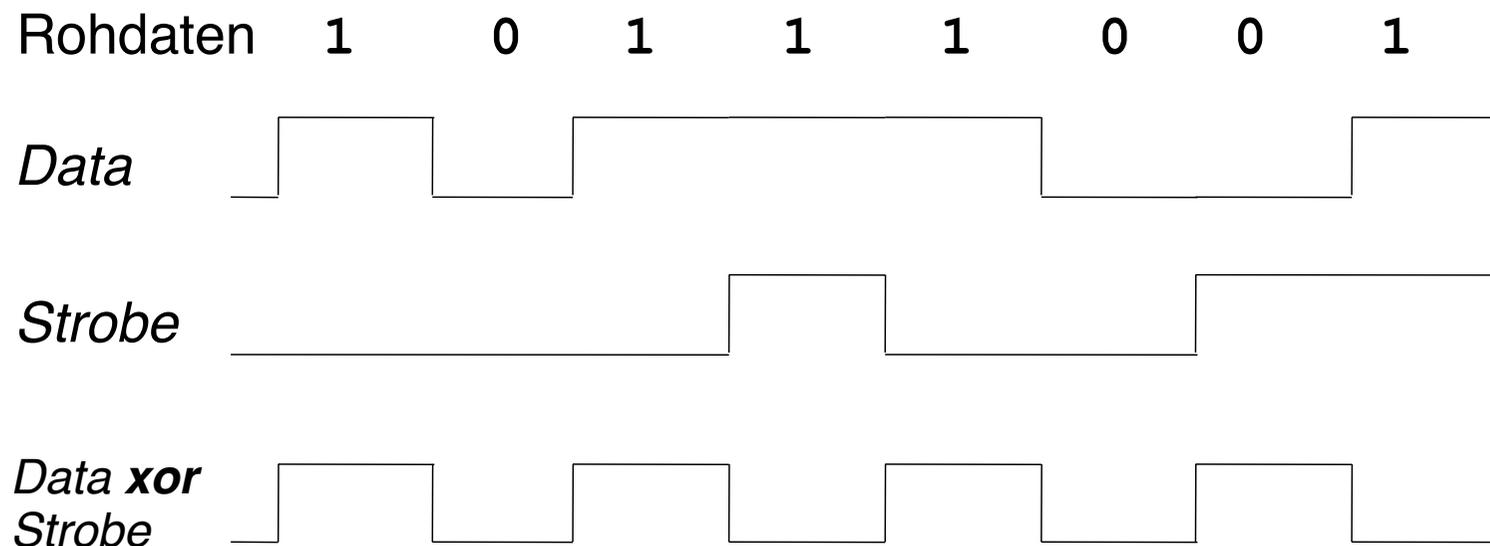
Datenübertragung immer unidirektional (Halb-Duplex)

Daten (*data*) werden NRZ- (*non-return-to-zero*)codiert

Signalwechsel nur bei Bitwechsel

Takt (*strobe*) ermöglicht Ableitung eines Rechteck-Taktsignals
(durch XOR mit dem Datensignal)

Auch hier: Bandbreite sparen!



FireWire: Transfertypen und Arbitration

Zwei Verkehrsarten: *asynchron* und *isochron*

Elektrotechnisch auf dem Bus erkennbar: frei, A->B, B->A

Knoten müssen die Benutzung des Busses *aushandeln*

- *Asynchroner Transfer:*

Für unregelmäßige Übertragung kleiner Datenmengen

Arbitration gibt jedem Knoten in fairer Weise Buszugang

- *Isochroner Transfer:*

Für gleichmäßige Übertragung großer Datenmengen (z.B. Video)

Arbitration gibt jedem Knoten den gewünschten Anteil an der verfügbaren Bandbreite, falls vorhanden

Typischerweise 80% für isochronen Verkehr reserviert

Kombination Asynchron/Isochron:

Asynchroner Verkehr benachteiligt, deshalb Möglichkeit von *Prioritäten*

6. Schnittstellen und Speichermedien

6.1 Schnittstellen für Computerperipherie

Universal Serial Bus

FireWire

6.2 Halbleiterspeicher

6.3 Magnetische Speicher

6.4 Optische Speicher: CD und DVD

Literatur:

z.B. Messmer/Dembowski, PC-Hardwarebuch, Kapitel 16

Klassifikation von Speichermedien

Speicherdauer:

permanent vs. temporär

Zugriffsart:

sequentiell vs. wahlfrei/adressierbar

Benutzungsmodus:

nur lesen, lesen und schreiben, (nur schreiben)

Zuverlässigkeit:

Anzahl der zulässigen Schreib-/Lesezyklen

Generelle Ausfallwahrscheinlichkeit

Halbleiterspeicher: Übersicht (1)

DRAM: Dynamic Random Access Memory

Prinzip: Gezielt ansprechbare grosse Menge von Kleinstkondensatoren

Kondensator speichert elektrische Ladung

Benötigt regelmässige Auffrischung (*refresh*) des Speicherinhalts

Basis für Arbeitsspeicher aller modernen Computer

Wichtig: Optimierung der Zugriffsgeschwindigkeit, z.B. mit RAMBus und Double Data Rate Synchronous DRAM (DDR)

SRAM: Static Random Access Memory

Prinzip: Information als Zustand von bistabilen Schaltungen (Flip-Flops)

Inhalt bleibt erhalten solange Versorgungsspannung anliegt

Relativ geringe Kapazität, schneller Zugriff

Verwendung z.B. in Zwischenpuffern (*Cache*)

ROM: Read-Only Memory

Prinzip: Information durch feste "Verdrahtung" dargestellt

PROM: Programmable ROM

Prinzip: Dauerhafte (einmalige) Programmierung, etwa durch "Durchbrennen" von Leitungen

Halbleiterspeicher: Übersicht (2)

EPRM: Erasable Programmable ROM

- Prinzip: Laden eines sogenannten "Floating Gate" in einem Feldeffekt-Transistor (Ladung erhält sich mindestens 10 Jahre)
- Löschen des Speichers durch UV-Licht möglich

EEPROM: Electrically Erasable PROM

- Prinzip: Feldeffekt-Transistor mit Floating Gate, Floating Gate durch lange und starke Spannungsimpulse aufladbar und (bei umgekehrter Polarität) entladbar

Typischerweise geringe Kapazität (mehrere KByte) und lange Schreibzeiten

Flash-Memory

- Prinzip: Analog zu EEPROM, aber dünneres Tunneloxid, geringere Programmierspannung, ca. 10.000 Programmierzyklen möglich
- Verwendung als langsamer (400-800 KByte/s), sehr robuster (keine Mechanik) und permanenter (ca. 10 Jahre) Wechselspeicher
- Praktische Erscheinungsformen: Flash Memory Devices, Flash-Speicherkarten (z.B. CompactFlash, MemoryStick)
- Heute deutl. schneller: bis 20 Mbyte/s lesen + schreiben (Digicams!)

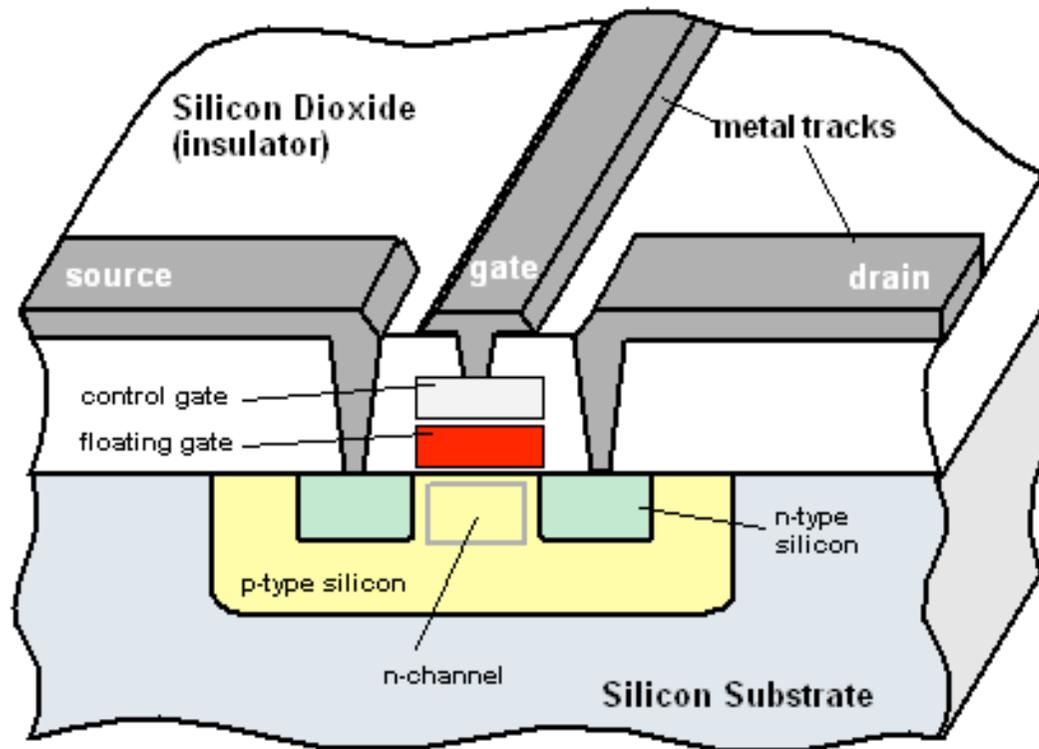


EPROM

Floating Gate Transistor (in EEPROM/Flash)

From Computer Desktop Encyclopedia
© 2005 The Computer Language Co. Inc.

EEPROM and Flash Transistor



6. Schnittstellen und Speichermedien

6.1 Schnittstellen für Computerperipherie

Universal Serial Bus

FireWire

6.2 Halbleiterspeicher

6.3 Magnetische Speicher

Bänder, Disketten, Festplatten

6.4 Optische Speicher: CD und DVD

Literatur:

z.B. Messmer/Dembowski, PC-Hardwarebuch, Kapitel 16

Magnetbänder: Grundlagen

Prinzip:

Kunststoffstreifen, mit ferromagnetischem Material beschichtet

Grundsätzlich nur sequentieller Zugriff

Start/Stop-Verfahren oder „Streaming“

Geschichte:

entwickelt bei IBM (ca. 1951), Produkt ab 1953

IBM "Reel-to-Reel" System 726

Standard seitdem: Bandbreite 1/2 Zoll

Band/Festplatte:

Bis 1995 Magnetbänder
immer preisgünstigster
Massenspeicher

Ab ca. 2000: Festplatten
teilweise günstiger?

Trends:

WORM (nur einmal schreibbar)
(verlustfreie) Kompression



Magnetband-Standards

Linearverfahren (Parallels Spuren im „Serpentinenverfahren“):

Magnetbänder in "Cartridges":

z.B. Digital Linear Tape (DLT) von DEC/Quantum

- Kapazität 800 GByte in letztem "DLT-S4" Standard; höher geplant

Magnetbänder, die die Cartridge nicht verlassen (Kopf fährt in Cartridge):

QIC (Quarter Inch Cartridge) von 3M, 1972

- Kapazität 40 GByte in "Travan"-Standard

Diagonalaufzeichnung (*helical scan*):

8mm-Standardbänder aus dem Heimvideobereich
(ab 1985: Exabyte)

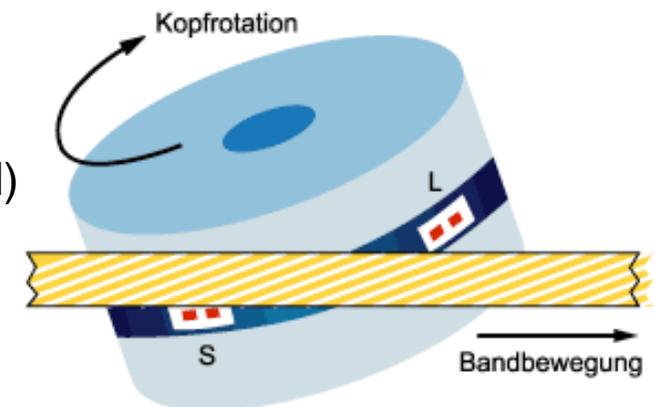
- Kapazität 320 GByte (aktueller VXA-4-Standard)

Digital Data Storage (DDS)

- analoges System basierend auf
(erfolglosem) Audio-Standard DAT

(Super) Advanced Intelligent Tape (S-AIT)

- Kapazität (Stand 2005) 500 GB unkomprimiert



S = Schreibkopf L = Lesekopf
(schematische, nicht maßstabgerechte Darstellung)

© tecChannel.de

Vergleich Magnetbänder-Festplatten 2009

Kapazität:

2 TB Festplatte (Seagate Constellation ES)

Modernes lineares Band (IBM TS1130): 1 TB

Preise:

Festplatte ca. 200 € (pro GByte 0,1 €)

Band: Laufwerk 40.000 €, Medium 120 €

(pro GByte 0,06 € zuzüglich Abschreibung für Laufwerk = 20€)

Transferrate:

Festplatte 6 Gbit/s (SAS)

Bandlaufwerk 320 MByte/s (UltraSCSI 320)

Bandgeräte sind (wieder) dabei, den Wettlauf mit den Festplatten um die günstigste Speichertechnologie zu verlieren.

Vergleich Magnetbänder-Festplatten 2006

Kapazität:

750 GB Festplatte (Seagate Barracuda 7200.10)

Modernes DLT-Band (DLT S-4): 800 GB

Preise:

Festplatte ca. 400 € (pro GByte 0,53 €) (2007: 230 € = 0,3€/GB)

Band: Laufwerk 4.000 €, Medium 100 €
(pro GByte 0,12 € zuzüglich Abschreibung für Laufwerk)

Transferrate:

Festplatte 300 MByte/s (Serial ATA/-2)

Bandlaufwerk 320 MByte/s (UltraSCSI 320)

Bandgeräte und Festplatten liefern sich einen Wettlauf um die günstigste Speichertechnologie.

Festplatten sind „nahe an“ den Bandlaufwerken

Vergleich Magnetbänder-Festplatten 2003

Kapazität:

200 GB ATA Festplatte

Modernes DLT-Band (S-DLT 320): 160(/320) GB

Preise:

Festplatte ca. 300 € (pro GByte 1,45 €)

Band ca. 200 GB: Laufwerk 5.000 €, Medium 180 €
(pro GByte 1,13 € zuzüglich Abschreibung für Laufwerk)

Transferrate:

Festplatte 133 MByte/s

Bandlaufwerk 16 MByte/s

Diese Zahlen sind beispielhaft und grob abgeschätzt, geben aber einen klaren Trend wieder: Bandgeräte sind auch als Backup-Medium kaum mehr relevant.

Quelle: www.tecchannel.de/storage

Magnetische Festplatten

Geschichte:

1878: Oberlin Smith (USA): magnetisierter Draht als Speicher
Trommelspeicher in den 50er Jahren (z.B. in der Münchner PERM)

Erste Festplatte (ferromagnetisch beschichtete Scheiben):

IBM 305 RAMAC, September 1956

Kapazität 5 MByte

50 Scheiben mit je 60 cm (24 Zoll)
Durchmesser

Entwicklung der Flächendichte:

1957: 2 kBit/in²

2003: 60 GBit/in²

2009: 344 GBit/in²



<http://wapedia.mobi/de/Festplatte>

Festplatte: Physikalischer Aufbau

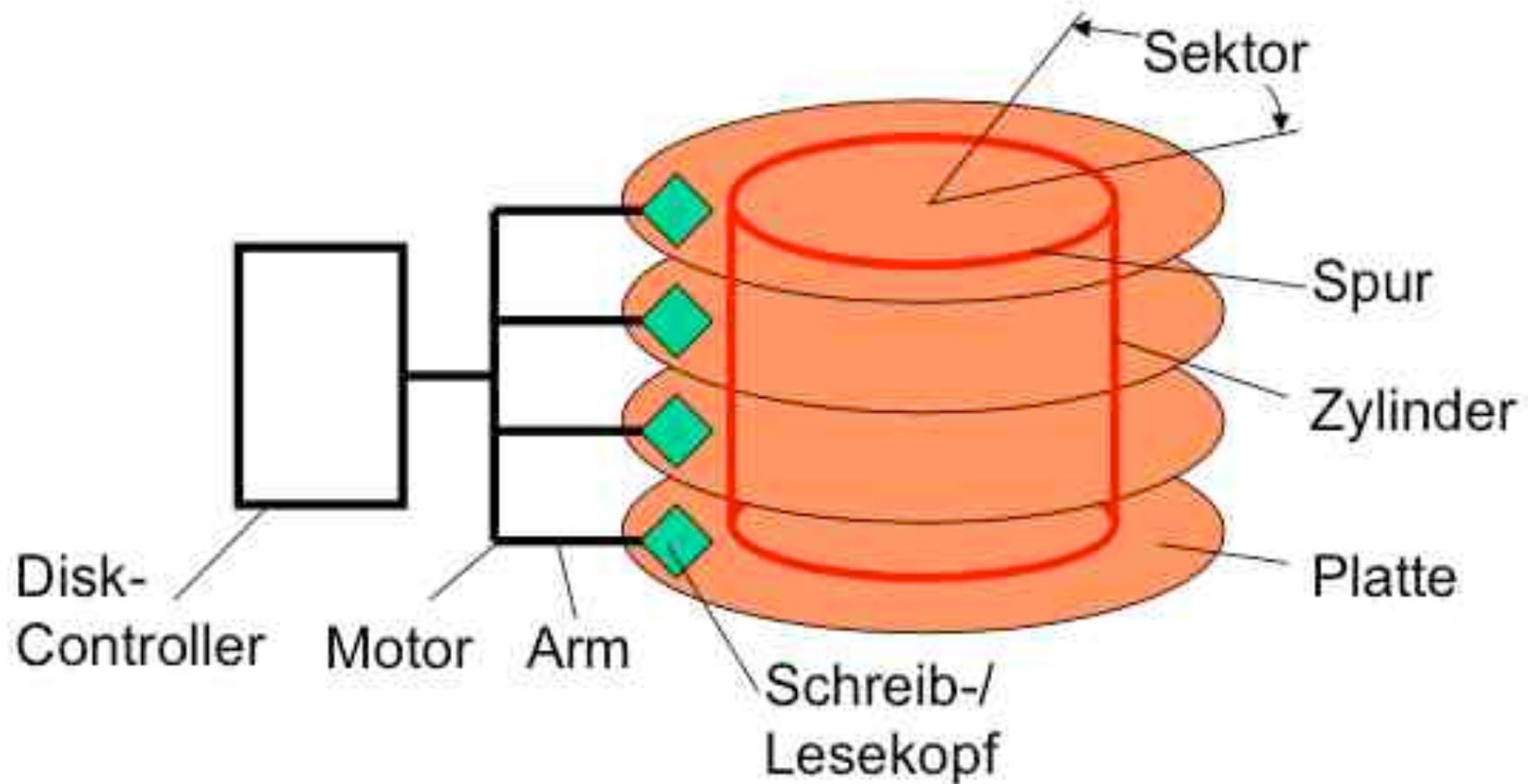


Abb.: Linnemann, TFH Berlin

Aufbau moderner Festplatten

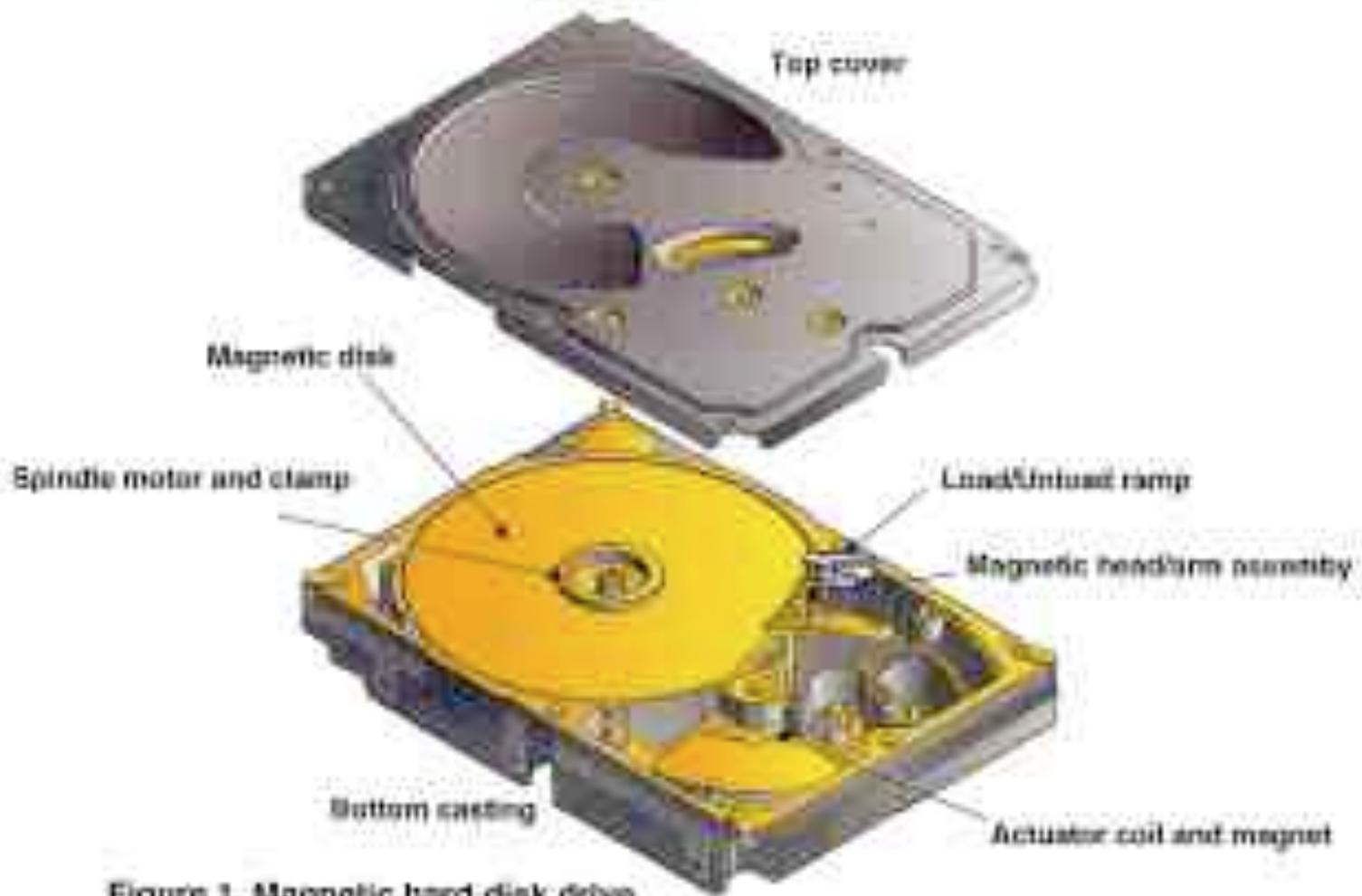


Figure 1. Magnetic hard disk drive

E Grochowski, IBM

„Flughöhen“ bei Festplatten

Grundsätzliche Alternative:

Kontakt zwischen Magnetplatte und Kopf (z.B. bei Floppy Disk)

Berührungsloser „Flug“ - je niedriger, desto bessere Signalstärke

Flughöhen und ihre Folgen:

Flughöhen (2006) im Bereich von 20 nm

Staubfreie Fertigung, gekapselte Gehäuse

Parktechnologien

Extra-Spur

spezielle

Parkrampen

Stromgenerator

für „Autopark“



© tecChannel

Längs- und Senkrecht-Aufzeichnung

Längsaufzeichnung (*longitudinal recording*):

Magnetische Momente entlang der Rotationsrichtung

Grundprinzip der Kapazitätssteigerung (bei *longitudinal recording*):

Verkleinerung der verwendeten magnetischen "Körner" (grains)

Superparamagnetismus:

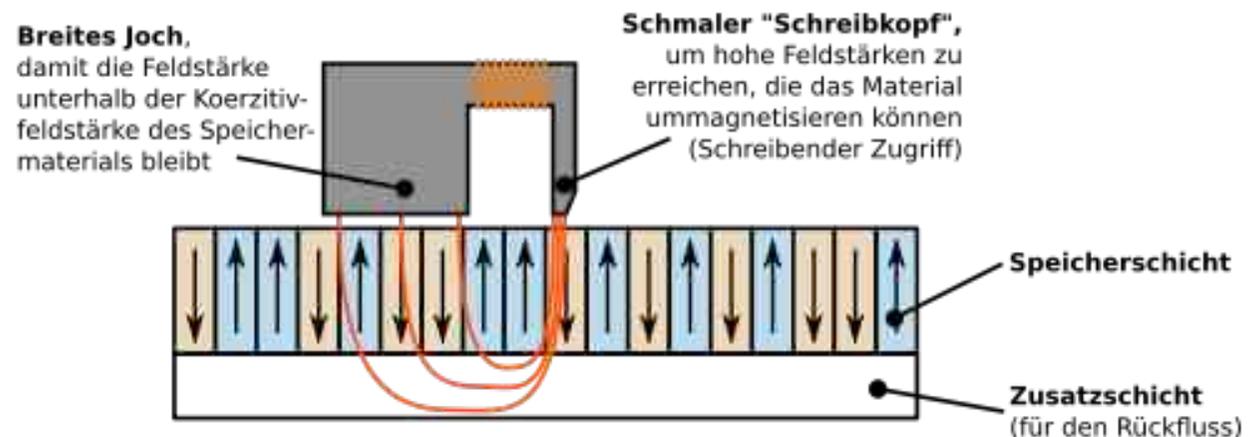
Körner sind so klein, dass Temperaturschwankungen Bits umkehren

Führt zu einem physikalischen Limit der Kapazität

Wesentlicher Sprung durch *perpendicular recording*:

Magnetische Momente *senkrecht* zur Rotationsrichtung

In Produkten
für den Massenmarkt
seit 2005



Entwicklungstrend bei Speicherdichte

Speicherdichte (in Bit/cm²):

Exponentielles Wachstum
Verdoppelung in 1,5 Jahren

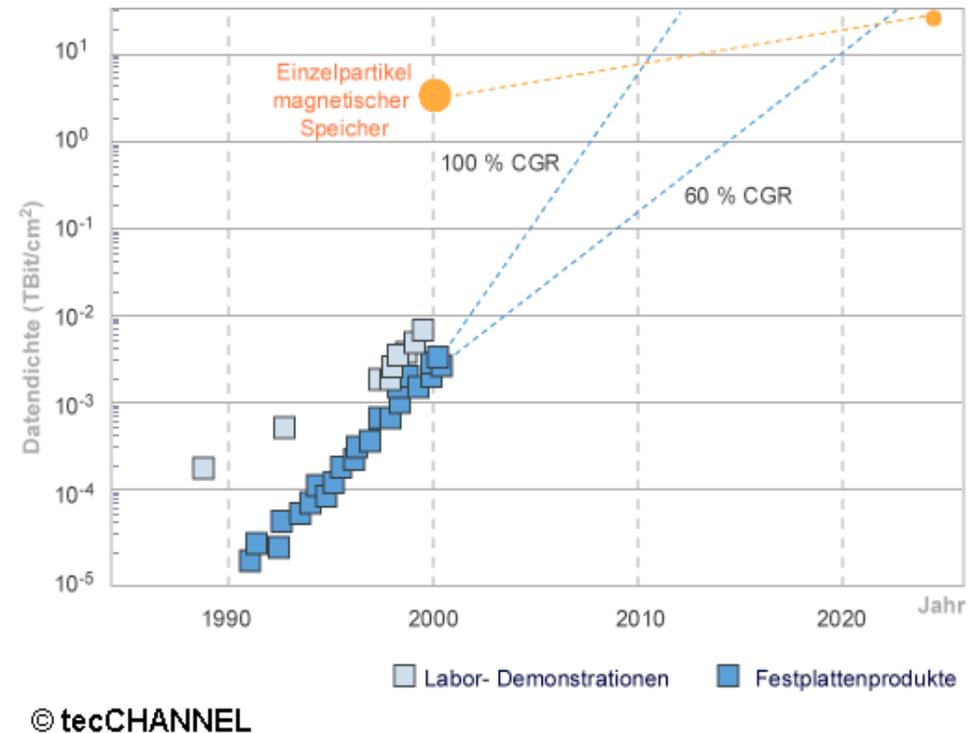
Aktuelle Produkte (2009):

- 344 GBit/cm²

Projektion:

- 2010: 400 GBit/cm²
- 2012: 1,2 TBit/cm²
- 2014: 2,4 TBit/cm²

(T. Kokubo, Mag. Storage Device Market Committee of JEITA)



Hinweis: Die theoretische Obergrenze für die Speicherdichte wurde und wird immer wieder nach oben verschoben.

Future Trends in Storage Technology

“... technologies bring along the potential for devices as small as flash drives to hold as much data in 10 years as the world's largest data centers held only 10 years ago”

According to

<http://pcquest.ciol.com/content/techtrends/2009/109050101.asp>

- Carbon nanotubes
 - "NRAM": Faster than DRAM, as portable as Flash memory, permanent
- Bit patterned media
 - Create magnetic layer as an ordered array of highly uniform islands of nanometer scale "grains"
- Heat-assisted magnetic recording
 - Laser heats disk medium while magnet writes it
- Holographic optical drives
 - 3-dimensional optical storage

RAID-Technologie

RAID = Redundant Array of Inexpensive Disks
(Patterson/ Gibsen/ Katz, Berkeley 1988)

Ursprünglich fünf RAID-"Level" (verschiedene Verfahren), heute
0 bis 7

RAID Level 0:

keine Redundanz, Zugriffsbeschleunigung durch „Striping“
relevant für grosse Medienserver

RAID Level 1:

Spiegelung auf zweiter Festplatte

RAID-Level 2-7:

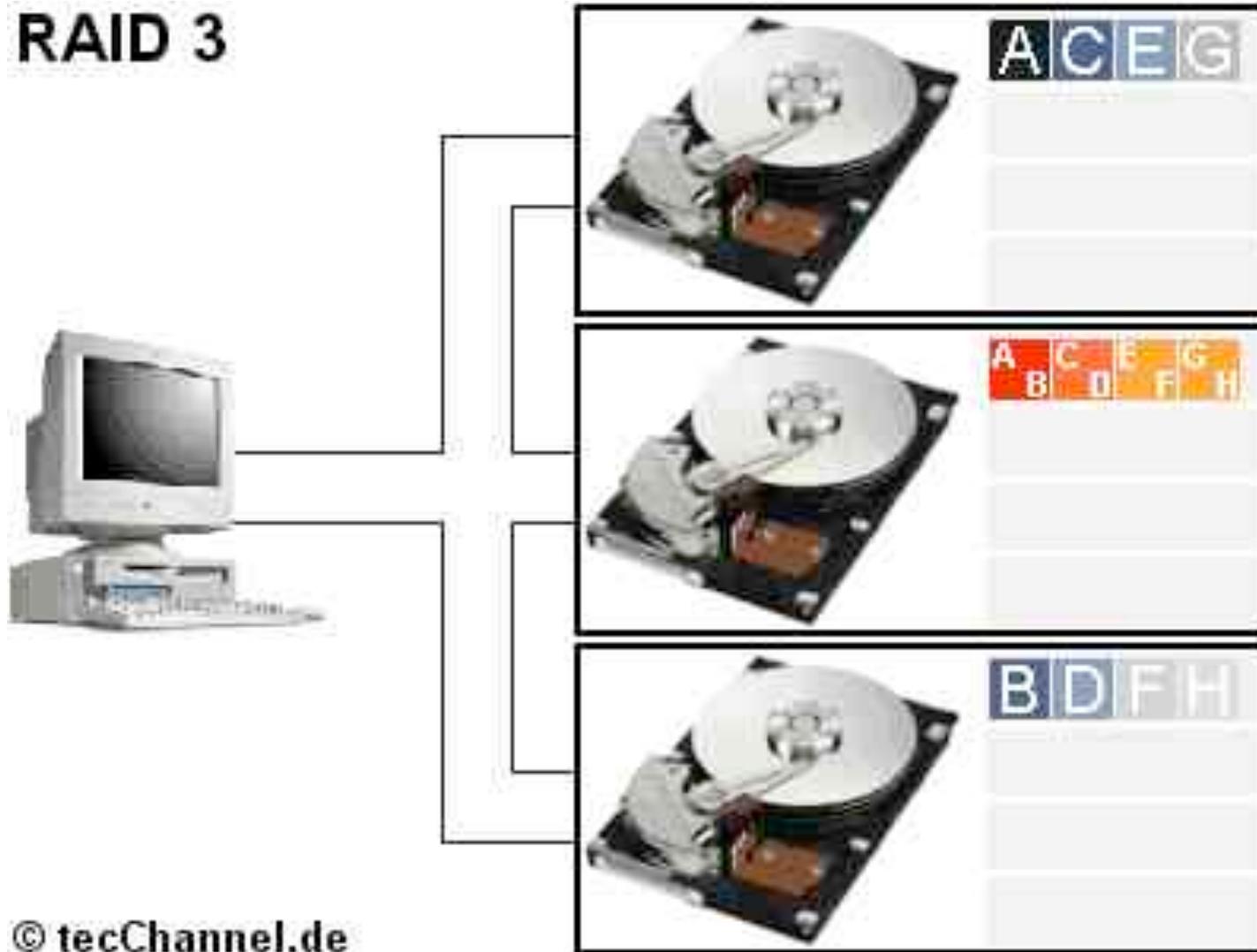
Nutzdaten auf mehrere Laufwerke verteilt

Redundante Information (Paritätsinformation) zusätzlich gespeichert

Damit auch bei Laufwerksausfall Information rekonstruierbar

Gut erklärt auf <http://de.wikipedia.org/wiki/RAID>

Beispiel: RAID Level 3



Weitere magnetische Datenspeicher

Disketten (*floppy disk*)

Kontakt der Schreib-/Leseköpfe mit der Magnetschicht

Hoher Verschleiß, kleine Kapazität

Weiterentwicklung „SuperDisk“ (240 MB und mehr) wenig erfolgreich

ZIP-Laufwerke

Inkompatible Weiterentwicklung der Disketten-Technologie

Berührungsloser Flug wie in Festplatten (Bernoulli-Effekt)

100 bis 750 MB

Magneto-Optische Laufwerke (MO)

Erhitzen des magnetischen Materials zusätzlich zu magnetischem Schreiben

Beliebig oft wiederbeschreibbar

Wesentlich haltbarer als Disketten

Kapazität z.B. 1,3 GB