

A6. Digitale Speichermedien

A6.1 Optische Speicher

CD

DVD



A6.2 Magnetische Speicher

Bänder, Disketten, Festplatten

Literatur:

Henning Abschnitte 8.4 und 8.5

Johannes Webers: Handbuch der Film- und Videotechnik, 7. Auflage,
Franzis-Verlag 2002, Teil F

Jim Taylor: DVD Demystified, 2nd ed., McGraw-Hill 2001

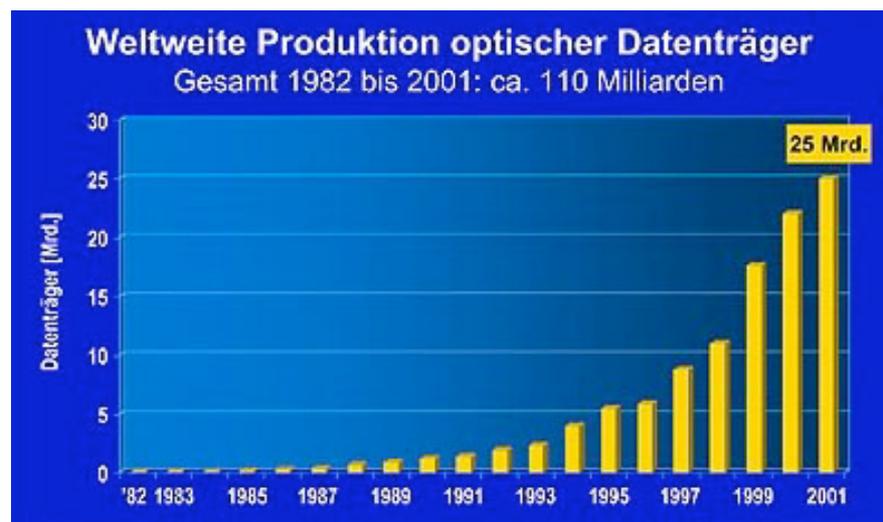
Kurze Geschichte der Speichermedien

- 1801: Joseph-Marie Jacquard: Steuerung von Webmaschinen für komplexe Muster durch Metallplatten mit gestanzten Löchern
- 1834: Charles Babbage, "Analytical Engine" nutzt Lochkarten als Speicher (nicht wirklich gebaut)
- 1890: Herman Hollerith, Lochkarten für U.S.-Volkszählung
- Später auch Lochbänder
- Die Idee, Löcher zur Speicherung zu verwenden, ist immer noch die Basis von CD, DVD und ihren Nachfolgemedien!
- 1951: UNIVAC I, Magnetbänder
- 50er Jahre: Magnettrommeln und -Scheiben
- 70er Jahre: Austauschbare flexible Magnetscheiben (floppy disks)
- 80er Jahre: Hochdichte Magnetspeicherung (Bernoulli-Prinzip) und magneto-optische (MO) Speicherung
- Seit 1982, Siegeszug der "CD" (Compact Disc)

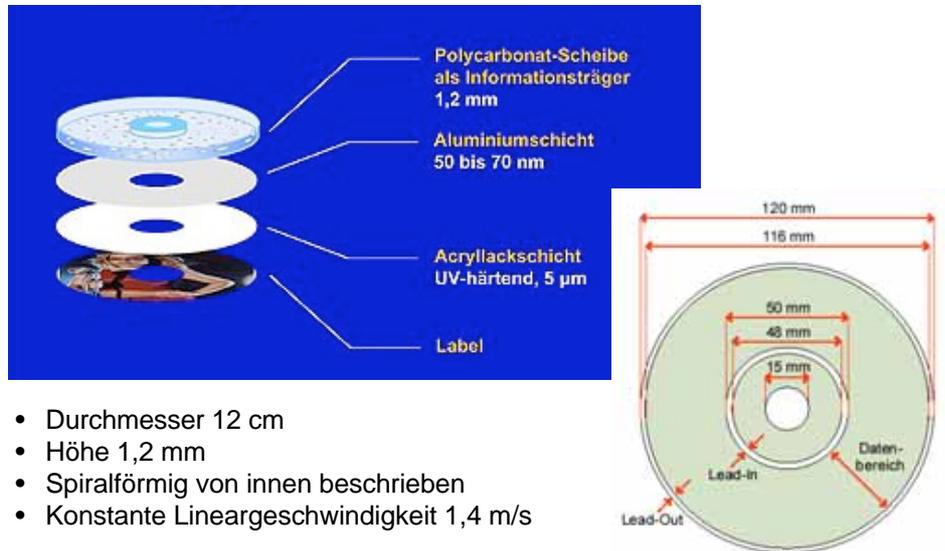
Geschichte der optischen Speicher

- 1969: Klass Compaan (Philips) entwickelt die Grundidee optisch abgetasteter Scheiben
- 1972: Erste praktische Demonstration (Compaan, Kramer)
- 1978: Markteinführung des Philips Laser-Vision-Systems
 - Video-Langspielplatte, mit Laser abgetastet, Speicherung als Wertfolge
 - Transparente Kunststoffscheiben, 20 bzw. 30 cm Durchmesser
 - Spieldauer:
 - » "Standard-Video-LP": CAV-Variante (konstante Winkelgeschwindigkeit, *constant angular velocity*): 36 Minuten je Plattenseite
 - » "Langspiel-Video-LP": CLV-Variante (konstante Lineargeschwindigkeit, *constant linear velocity*): Spiralspur, 60 Minuten je Plattenseite
- 1978: "Digital Audio Disc Convention", Tokio (35 Hersteller)
- 1982: Einführung der Compact Disc Digital Audio (CD-DA) durch **SONY** und **PHILIPS**
 - Erste fünf Jahre: 30 Mio. Abspielgeräte und 450 Mio. Tonträger verkauft
- 1984: Einführung der Daten-Variante CD-ROM
- 1995: Einführung wiederbeschreibbarer CD-Varianten
- 1997: Einführung der DVD

Wachstumsmarkt optische Datenträger



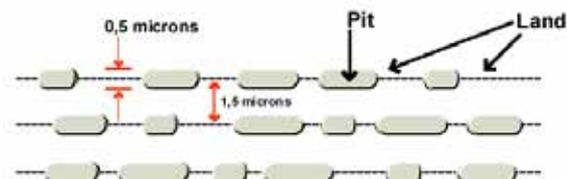
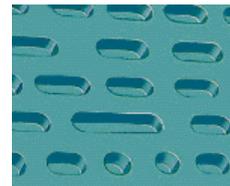
Physikalischer Aufbau der CD



- Durchmesser 12 cm
- Höhe 1,2 mm
- Spiralförmig von innen beschrieben
- Konstante Lineargeschwindigkeit 1,4 m/s

Pits und Lands

- Spiralförmige Spur auf der Polycarbonat-Scheibe dient als Informationsträger
 - Auf dieser Spur sind sog. **Pits** eingeprägt
 - Die Bereiche zwischen den Pits nennt man **Lands**
 - Abmessungen der Pits:
 - Breite: 0,6 µm (1.000 µm = 1 mm)
 - Länge: 1 – 3 µm
 - Tiefe: 0,15 µm
- Wellenlänge grünen Lichts: ca. 0,5-0,6 µm



Produktion von CDs

- Massenproduktion:
 - Photochemische Erstellung eines "Masters":
Laserstrahl beschreibt lichtempfindliche Beschichtung
 - Elektrochemische Abformung in meist 3 Stufen mit Vervielfachung der Vorlage (jeweils 3-6 mal), ergibt Pressformen
 - Pressen der CDs aus Polycarbonat
 - Bedampfen mit Aluminium (auf der Pit-Seite)
 - Schutzschicht, Mittelloch, Label etc.
- Einzelproduktion:
 - Direktes Beschreiben von Rohlingen mit Laserlicht, siehe CD-R, CD-RW

Auslesen der Information

- Laserstrahl nahe dem Infrarot-Bereich (AlGaAs), Wellenlänge 780 nm
 - Ablesen "von unten": Land ist nun eine Vertiefung!
- Klassische (Audio-CD)-Technik:
 - Durch Spezialprisma wird ein Fotorezeptor doppelt beleuchtet:
 - Original-Lasersignal
 - Reflexion aus der Disk
 - Tiefe der Pits = $1/4$ Wellenlänge des Lasers (im Polycarbonat = 500 nm)
 - Auslöschung durch Interferenz im Land: Verzögerung ($2 \times 1/4 = 1/2$ Wellenlänge)
 - Reflexion im Pit
- Prinzipiell (Technik für alle CD-Typen):
Fotosensor stellt Unterschiede in der Reflektivität bei Pit und Land fest

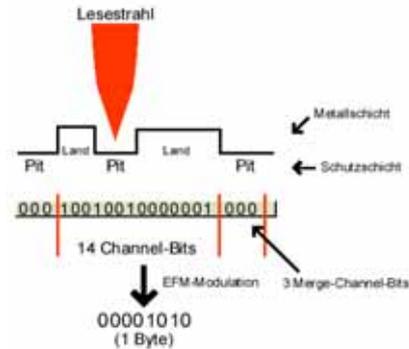


EFM

- Der ausgelesene Datenstrom erzeugt eine logische "1" beim *Wechsel* zwischen Land und Pit (*channel bit*, vs. implizite *null bits*)
 - es gilt **nicht** eine einfache Korrelation wie Land = 1, Pit = 0 oder umgekehrt!

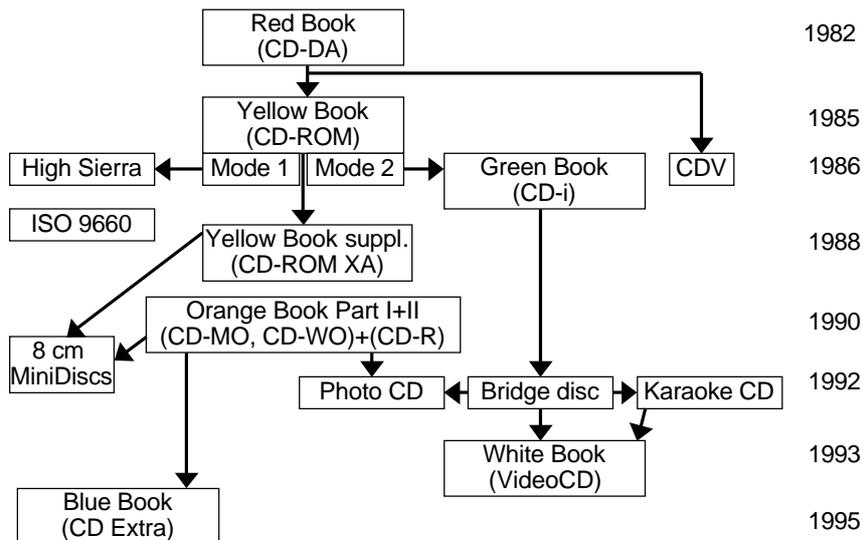
- Konsequenz für Codierung:

- Um zu kurze Pits/Lands zu vermeiden, braucht man eine bestimmte Anzahl von "0" zwischen zwei aufeinanderfolgenden "1" (Konvention: mind. 2)
- Um die Synchronisation noch zu ermöglichen, darf es keine zu langen Pits/Lands geben (Konvention: max. 11 mal "0" zwischen aufeinanderfolgenden "1")



- Eight-To-Fourteen-Modulation (EFM):
 - 8 Datenbits durch 14-Bit-Muster abgebildet
 - »Beispiele:
Datenbyte "00000000" als "010010001000000"
 - Datenbyte "00000001" als "100001000000000"
 - Nach jedem 14-Bit-Muster 3 Koppelbits (*merge-channel bits*, *padding bits*)
 - »Mindestens zwei 0, eines 0 oder 1 je nach verknüpften 14-Bit-Worten

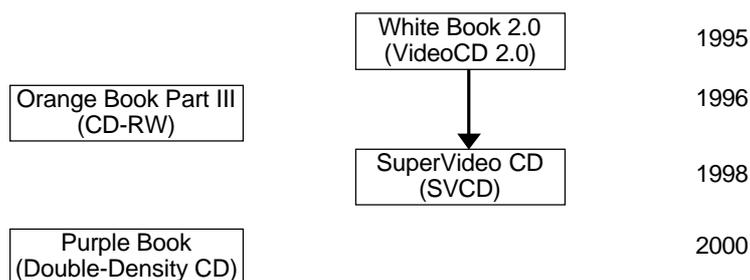
CD-Formate (1)



Bunte Bücher

- Traditionell werden die verschiedenen CD-Formatstandards nach der Farbe ihrer Eingänge bezeichnet, z.B.:
 - Red Book: CD-DA (Digital Audio)
 - Yellow Book: CD-ROM
 - » In Supplement „XA“: Vermischung von (abwechselnd) Daten, Grafik, Audio
 - Green Book: CD-I
 - » Wiedergabe von interaktiven CDs, einschliesslich einfachem Betriebssystem („OS-9“)
 - » Basis für heute weit verbreitete interaktive DVDs (z.B. Szenenwahl)
 - White Book: Video CD
 - » 74 Minuten MPEG-1-komprimiertes Video
 - Blue Book: Enhanced Music CD (CD-Extra)
 - » multi-session, Daten und Musik

CD-Formate (2)



Audio-CD: Frames und Sektoren

- Kleinste Informationseinheit: *Frame*
 - Daten (6 Audio-Samples) + Synchronisation + Fehlerkorrektur + Sub-Channels (sh. unten)
 - Auflösung für Audio-Samples: 16 Bit
- *Sektor*: 98 Frames
 - Abgespielt werden 75 Sektoren/s = $75 \cdot 98$ Frames/s = 7350 Frames/s = 44.100 Samples/s = 44.1 kHz Sampling Rate

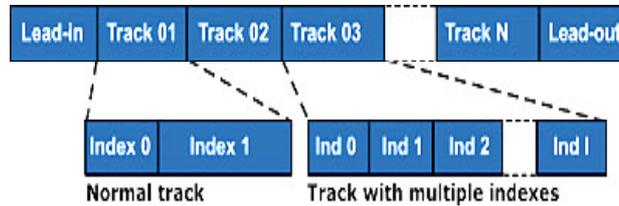
Verwendung	Channel-Bits
Synchronisation	$24 + 3 = 27$
Control-Byte für Sub-Channels	$14 + 3 = 17$
Daten	$24 * (14 + 3) = 408$ $24 = 6 \text{ Samples} * 2 \text{ Kanäle} * 2 \text{ Byte/Sample}$
Fehlerkorrektur	$8 * (14 + 3) = 136$
Σ	588

Sub-Channels

P	Q	R	S	T	U	V	W
---	---	---	---	---	---	---	---

- 1 Byte je Frame, Zusatzinformation
- Bitweise Bezeichnung: P – W
- Fest belegte Sub-Channels:
 - P: Anfang und Ende eines Titels (*track*)
 - Q: Zeit-Information, Katalog-Nummer etc.
 - R – W: Für Grafik und Text (z.B. Karaoke, CD-TEXT)
 - » zusammen 5.4 kByte/s

Audio-CD: Tracks und Indizes



- Audio-CD: Max. 99 Titel (*Tracks*)
 - Jeder Track muss mind. 4 Sekunden lang sein und eine Pause von normalerweise 2 Sek. kann zwischen ihnen bestehen
- Jeder Track enthält mindestens 2 Indizes:
 - Index 0: Markiert die Pause und den Anfang jedes Tracks
 - Index 1: Stellt den Hauptteil des Tracks dar
- Es können zusätzliche Indizes benutzt werden, falls das 99-Tracks-Limit nicht ausreicht

ISRC

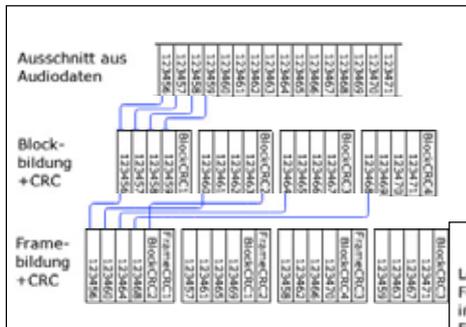


- ISRC = International Standard Recording Code (ISO 3901)
- Ermöglicht die Identifikation von Audio- und Videoaufnahmen
- Die Information befindet sich im Q-Channel der Control-Bytes und enthält 12 Zeichen:

Länge	Beschreibung
2	Land (DE, UK, ...)
3	Produktionsfirma
2	Aufnahmejahr
5	Kennzeichnungscode

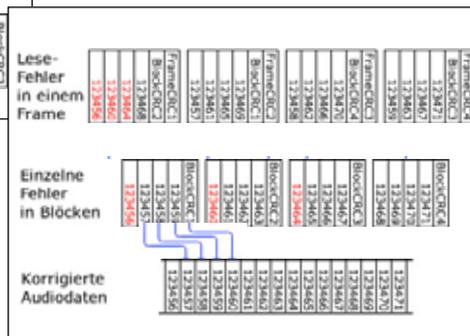
<http://www.ifpi.org/isrc>

Fehlerkorrektur (1)



- Cyclic Redundancy Check (CRC) Bytes hinzugefügt
 - Einheit *Block*
- *Frames* gebildet durch *interleaving* von *Blöcken*
 - Kompensation lokaler Leseprobleme (z.B. Schmutz)

- Weitere Möglichkeiten der Fehlerkorrektur bei Audio-CDs:
Interpolation: Fehlende Daten werden aus bekannten als Durchschnittswert errechnet



Kopierschutz bei Audio-CDs

- Grundprinzip: Ausnutzung der Unterschiede zwischen einem Computer-CD-Laufwerk und einem Audio-CD-Laufwerk
 - Audio: Kontinuierliches Streaming, großer Aufwand für Fehlerkorrektur (incl. Interpolation)
 - Computer: Blockweises Auslesen, keine Interpolation
- Effekte z.B.:
 - Computer-Laufwerk kann auf CD nicht navigieren
 - Computer-Laufwerk vermisst Lead-Out (der vom Audio-Laufwerk nicht unbedingt benötigt wird)
- Extremfall:
 - Verfälschung (absichtliche Fehler) im Audio-Signal, die durch Interpolation in Audio-Laufwerken verdeckt werden
 - Effektive Herabsetzung der gelieferten Produktqualität
- Moderne Ansätze:
 - Integration mit Digital Rights Management (DRM)
 - Zugang zu komprimierter Zweitkopie (auf CD oder im Web)

CD-ROM

- CD-ROM = CD-Read Only Memory
 - Standardisiert im Yellow Book
- Zweck: Datenablage (z.B. Archive, Software, aber auch Computerspiele)
- Erlaubt höhere Geschwindigkeiten (derzeit bis zu 52x Audio-CD)
 - Schneller wahlfreier Zugriff
- Verwendung eines Dateisystems
- Modi:
 - Mode 1: Im wesentlichen identisch zu Audio-CD, insgesamt 656 MB pro CD
 - Mode 2: Verzichtet (teilweise) auf Fehlerkorrektur
 - » z.B. bei Videodaten angemessen
 - » Höhere Kapazität als bei Mode 1 (bis zu 742 MB)

Dateisysteme für CD-ROM

- ISO 9660:
 - "High-Sierra" Group-Vorschlag: Kompatibel zu MS-DOS
 - » 8 Zeichen + 3 Zeichen Extension für Dateinamen („Level 1“)
- „Joliet“ Extension to ISO 9660:
 - Nutzt „Secondary Volume Descriptor“ in ISO 9660
 - Erlaubt Dateinamen und Baumtiefen wie in derzeit aktuellen MS Windows-Versionen (95/98/2000/XP)
- HFS:
 - Speziell für Apple Macintosh
 - » 31 Zeichen für Dateinamen, 27 für Ordner
 - » "Resource Fork" enthält Informationen zu Erzeuger/Typ einer Datei
- Hybrides Dateisystem:
 - Kombination von ISO 9660 und HFS
- Hinweis: Modernere Apple-Systeme bearbeiten problemlos ISO 9660- und Joliet-Volumes

Photo CD, Picture CD

- Von Kodak definierte und unterstützte Spezialformate zur Speicherung von Fotos
- Photo CD
 - Speicherung von Bildern in einer Vielzahl von Auflösungen und Präsentationsmodi (mehrere Versionen je Bild: ImagePac)
- Picture CD
 - Stark vereinfachte "Consumer"-Version
 - Basiert auf JPEG
 - Für Filmentwicklungslabors und private Kunden
- Trend derzeit noch unklar:
 - Vereinheitlichung: universelle Datenträger, PC-basiert
 - Spezialdatenträger mit extrem einfacher Bedienung (z.B. weitgehend automatisierte Slideshow am Fernseher über CD/DVD-Spieler)

CR-R und CD-RW

- Grundprinzip CD-R (CD-Writeable):
 - CD-Rohling enthält
 - » zusätzliche Farbstoffschicht
 - » Eingeprägte Leerspür (*pre-groove*) für die Spurführung
 - Schreiben ("Brennen") erfolgt mit Laser
 - » Farbe wird erhitzt
 - » Erhitzte Stellen verändern Reflexionseigenschaften
 - » Entstehende Blasen entsprechen Pits
- Grundprinzip CD-RW (CD-ReWriteable):
 - Phase Change Eraseable Disc
 - Reversible Umwandlung des Materials zwischen kristallin-geordnet und amorph
 - Nur begrenzt viele Wiederbeschreibungsvorgänge (derzeit ca.100)
 - Mit älteren Audio-CD-Spielern inkompatibel

Schreibmodi, Multi-Session CDs

- Schreibmodi:
 - *Track at once (TAO)*: CD wird Track für Track gebrannt, Laser dazwischen ausgeschaltet
 - » *Program Memory Area (PMA)* für Zwischenspeicherung des Inhaltsverzeichnisses
 - *Disc at once (DAO)*: Ganze CD wird in einem kaum unterbrechbaren Vorgang gebrannt
 - » z.B. für Audio-CDs und Master-Produktion
- Eine *Session* wird definiert durch Lead-in- und Lead-out-Bereiche
 - Bei CD-DA: eine Session pro CD (*single session*)
 - Bei CD-ROM:
 - » prinzipiell mehrere Sessions möglich
 - » d.h. nach Lead-out starte neues Lead-in
 - Praktische Anwendung:
 - » Ergänzung bereits geschriebener CDs (auch CD-R, nicht nur CD-RW)
 - Ältere Lesegeräte und alle Audio-Player geben nur die erste Session wieder

A6. Digitale Speichermedien

A6.1 Optische Speicher

CD

DVD



A6.2 Magnetische Speicher

Bänder, Disketten, Festplatten

Literatur:

Henning Abschnitte 8.4 und 8.5

Johannes Webers: Handbuch der Film- und Videotechnik, 7. Auflage,
Franzis-Verlag 2002, Teil F

Jim Taylor: DVD Demystified, 2nd ed., McGraw-Hill 2001

Geschichte der Bildplatten



- 1927: Erste experimentelle Bildplatten (Baird)
- 1970: TED-Bildplatte von AEG/Telefunken
 - Weiterentwicklung der mechanischen Schallplatte, "Tiefenschrift"
- Ab 1965: Entwicklung eines Bildplattensystems bei RCA
 - RCA "SelectaVision Video Disc" wurde 1981-1985 erfolgreich vermarktet (Millionenabsatz von Titeln)
 - Schallplattenprinzip, Abtastung von Tiefenschrift kapazitiv
- 1972: Philips' Demonstration eines Laser-Disc-Prototypes
- 1978: Philips Laser-Vision Bildplatten
- 1987: Video-CD
 - ursprünglich nur wenige Minuten Video
 - dank MPEG-Kompression heute bis zu 75 Minuten
 - Super-Video-CD arbeitet mit MPEG-2 (bessere Auflösung, Mehrkanal)
- 1997: DVD (Digital Video Disc, Digital Versatile Disc)

Video-Discs und Videobänder

- Videobänder haben die frühe Verbreitung von Video-Discs behindert
 - 1975: Sony Betamax-System
 - 1976: JVC VHS-System
 - 1970-1978: Entstehung von Video-Disc-Systemen
 - Ab ca. 1977 massive Verbreitung von VHS, Videoverleih
 - 1976: Rechtsstreit zwischen MCA/Universal und Sony über privates Video-Kopieren, von Sony gewonnen
- VHS-Qualität ist auch auf CD möglich
 - Video-CD, SuperVideo CD (SVCD)
 - Extrem erfolgreich in Ländern *ohne* vorherige VHS-Verbreitung
 - Beispiel: VR China

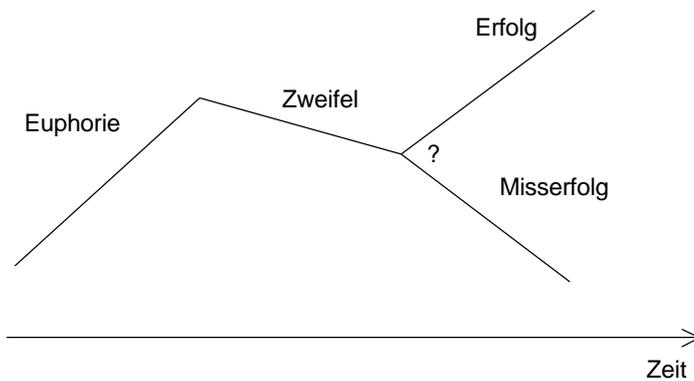
Geschichte der DVD

- 1994: Hollywood Filmfirmen und Matsushita & Sony schlagen vor, einen neuen weltweiten Standard für digitales Video auf optischen Medien zu schaffen
- 1994-1995: Komplexer Systemstreit zwischen "Multimedia CD MMCD" (Sony/Philips) und "Super Disc SD" (Hitachi, Matsushita, JVC, Pioneer u.a.)
- 1995: Kompromiss unter Druck der Computerindustrie
 - 4,7 GB statt möglicher 5 GB (SD Spezifikation)
 - Henk Both, Philips: "Certainly I don't think that these players will replace the videocassette recorder."
- 1996: Filmindustrie erzwingt den Einbau von Kopierschutztechnologie (CSS) in den DVD-Standard
- 1997: DVD-R, DVD-RAM
- 1999: DVD-Audio, DVD-RW

Divx

- 1997: Digital Video Express kündigt elektronischen Videoverleih an
- Idee:
 - Niedriger Standard-Preis von Divx-Discs (digitale Kinofilme) ermöglicht die volle Nutzung für 48 Stunden vom ersten Abspielen an
 - Die Nutzung für jeweils weitere 48 Stunden zu einem späteren Zeitpunkt kostet Zusatzgebühren
 - "Abonnement" für unbegrenztes Abspielen kaufbar
- Ökonomisch sinnvoll
- Technisch schwierig: Rückkanal
- Große Protestwelle
- Letztlich erfolglos

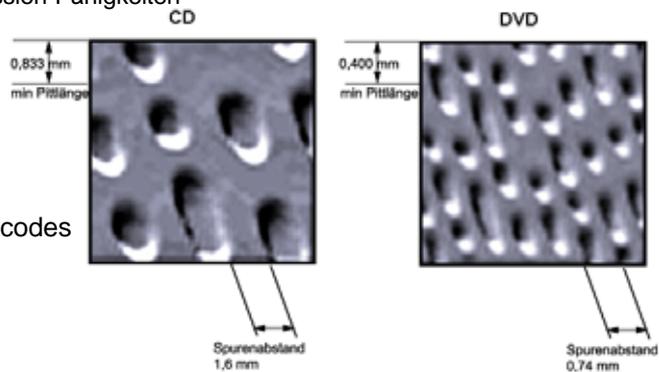
Lebenszyklus neuer Technologien



DVD

- Digital Versatile Disc
 - Spezifikation im August 1997 veröffentlicht
 - Hardware-kompatibel mit den gängigsten CD-Formaten
 - wesentlich höhere Kapazität
 - Dateiformat UDF (Universal Disk Filesystem): Verallgemeinerung von ISO 9660 mit Multisession-Fähigkeiten

- kleinere Pits
- kleinerer Spurabstand
- Bessere Platzausnutzung
- weniger Parity-Bits
- Weglassen der Subcodes
- Kopierschutz

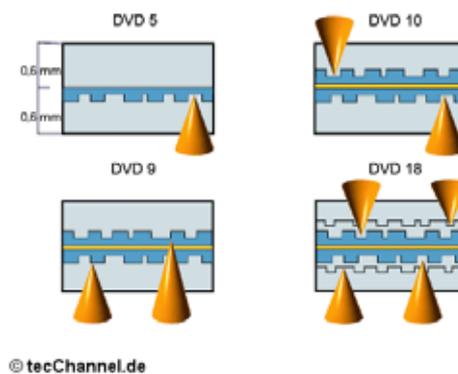


Content Scrambling System CSS

- Verhindert Abspielen auf nicht lizenzierten Geräten
- Einzelne Sektoren des audiovisuellen Signals werden so verschlüsselt, dass *title key* und *disc key* benötigt werden
 - *Title key* wird im Sektoren-Header gespeichert, der von DVD-ROM Laufwerken nicht gelesen wird
 - *Disk key* wird in der *control area* der Disk gespeichert
- 400 *player keys* werden auf jeder CSS-verschlüsselten Disk gespeichert
 - Jeder CSS-Lizenznehmer erhält einen *player key*
- CSS-Algorithmus verschlüsselt *title key* und *disk key* auf Basis des *player key*
- 1999, MoRE und Jon Johansen (Norwegen): DeCSS
 - Nutzt Schwäche des *Xing* Players aus
 - *player keys* mittlerweile bekannt

Varianten der DVD-ROM

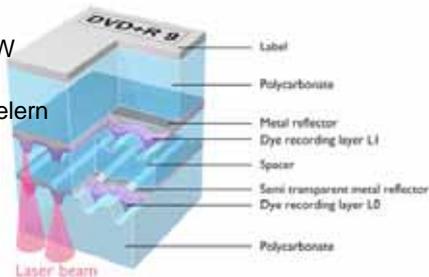
- DVD-5:
 - einseitig, eine Schicht
 - 4,7 GB
- DVD-10:
 - zweiseitig, muss man wenden
 - 9,4 GB
- DVD-9
 - zwei Schichten
 - 8,5 GB
- DVD-18
 - zwei Schichten
 - zweiseitig, muss man wenden
 - 17 GB



- Inhaltsbezogen:
- Video-DVD
 - Audio-DVD
 - Daten-DVD

DVD-RAM, DVD-R, DVD-RW, DVD+R, DVD+RW

- Für wiederbeschreibbare DVDs viele konkurrierende Standards:
- DVD-RAM:
 - auf Datenanwendungen ausgelegt, auch doppelseitig, 4,7 oder 9,4 GByte
 - sehr oft (100.000 mal) wiederbeschreibbar
 - verschiedene Varianten, teilweise nicht kompatibel mit Video-DVD-Spielern
- DVD-R, DVD-RW:
 - 4,7 GByte, ähnlich zu CD-R und CD-RW, Wiedergabe von DVD-RW auf Video-DVD-Spielern oft problematisch
- DVD+R, DVD+RW:
 - Inkompatibles Alternativformat zu DVD-RW
 - Gehört **nicht** zur DVD-Familie !
 - Bessere Kompatibilität zu Video-DVD-Spielern
 - Zielmarkt: DVD-basierte Videorecorder
 - Siehe www.dvdrw.com
 - 2003: Zweischicht-Technologie (8,5 GB)



Nachfolgesysteme für DVD

- Blaue Laser mit 405 nm Wellenlänge
- Blu-Ray Disc (BD)
 - 12 Firmen: Matsushita, Sony, Philips, Apple, ...
 - Einfache Kapazität 27 GB
 - Benötigt derzeit noch Schutzhülle ("Cartridge")
- HD-DVD (früher: Advanced Optical Disk)
 - DVD Forum, ca. 230 Firmen
 - Einfache Kapazität 15 GB
 - Ohne Schutzhülle
- Hitachi/Maxwell 2005: 200 Layer-Disc mit Terabyte-Kapazität
- HVD (Holographic Versatile Disc)
 - 2 Laser, Interferenz ausgenutzt, ca. 1 Terabyte Kapazität

