

11. Compact Disc Laufwerke

11.1. Literatur

- Übersicht: www.disctronics.co.uk & www.pctechguide.com
- El Torito Format: www.phoenix.com/techs/specs.html
- DVD FAQ: www.dvddemystified.com/dvdfaq.html
- CD-R und CD-RW: www.cdrfaq.org
- C't Artikel:
 - CD „color books“ und Dateiformate, 02/93, S. 178 ff.
 - DVD, 23/99, S. 100 ff.
- Standards:
 - ECMA: www.ecma.ch,
 - ECMA-119, ISO-9660 Dateisystem,
 - ECMA-267, DVD-ROM Spezifikation,
 - SCSI-3 MMC, SCSI MultiMedia Command Set.

11.2. Compact Disc

- Aufbau der CD Scheibe:

- Daten liegen in von innen nach außen laufenden spiralförmigen Spur.
- 650 MB CD (74 Minuten): Spurweite $1,6\mu\text{m}$.
- Pits: Vertiefungen in der Metallschicht.
- Lands: Bereich zwischen zwei Pits.
- Stärke einer CD-Scheibe $1,2\text{mm}$.

- Spiralförmige Datenspur:

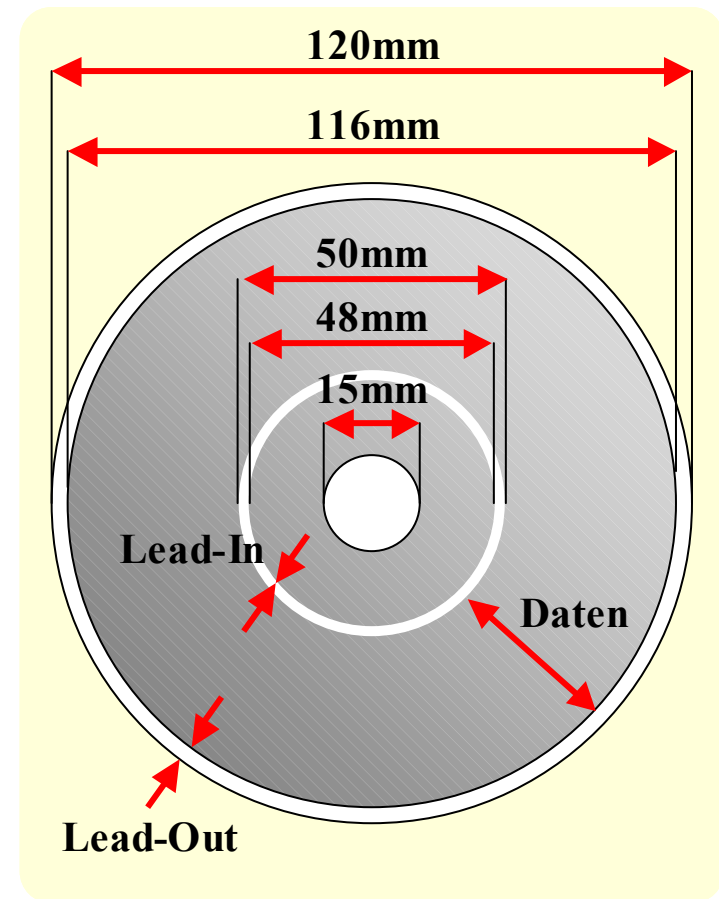
- 120nm tief und $0,5\mu\text{m}$ breit.
- max. Länge 5km .

- Lead-In:

- Enthält Inhaltsverzeichnis einer CD.
- TOC = **T**able **O**f **C**ontents.

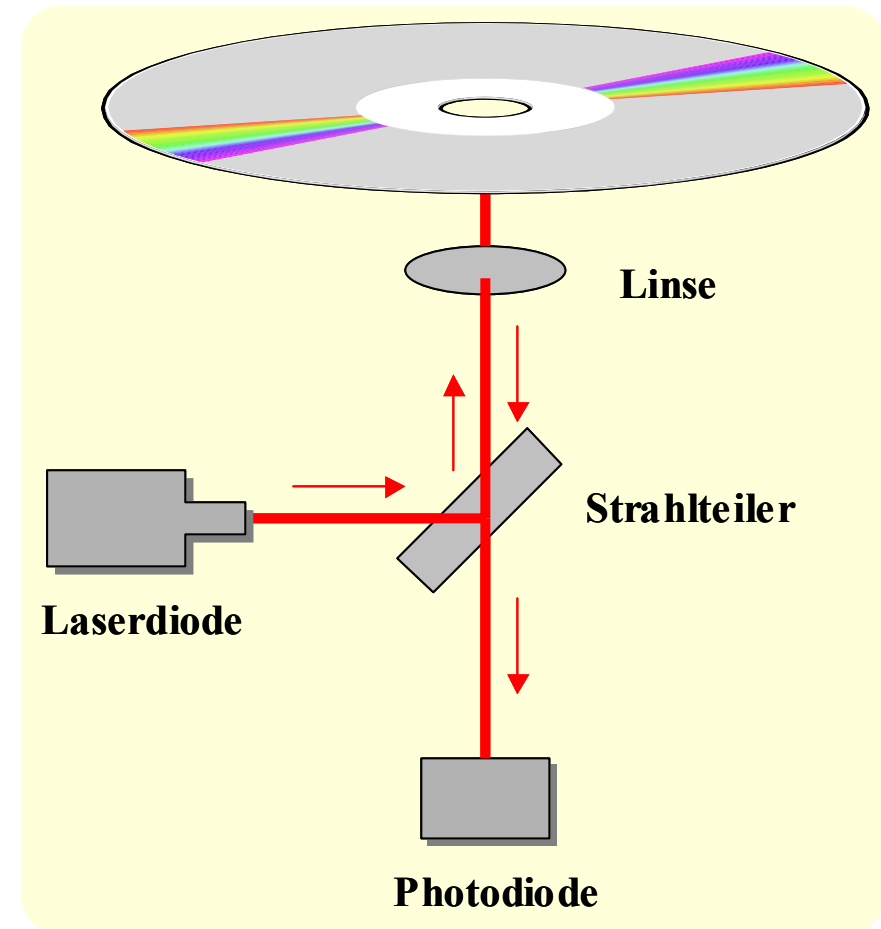
- Lead-Out:

- Markiert das Ende des Datenbereichs.



11.3. Aufbau eines Abspielgerätes

- **Laserstrahl** tastet die Informationen auf der rotierenden CD ab.
- Strahl wird an der Oberfläche der CD reflektiert:
 - Pits streuen \rightarrow Reflexion schwächer,
 - Lands reflektieren Laserlicht,
 - Fokussierter Strahl ca. $1\ \mu\text{m}$,
 - Empfänger fokussiert auch.
- Photodiode erkennt Amplitudenschwankungen.
- True-X - Multi-Beam Technik:
 - 7 Laserstrahlen (6 Daten + 1 Korrektur),
 - Liest mehrere Spuren gleichzeitig,
 - Niedrigere Umdrehungszahlen,
 - *TrueX* von Zen Research.
- Gleiches Prinzip für CD und DVD.



- Die Auflösung der Laserabtastung bestimmt die Datendichte.
- **CAV = Constant Angular Velocity** [$^{\circ}/\text{sec}$]:
 - Konstante Umdrehungszahl unabhängig von der gewählten Spur,
 - Spuren weiter aussen können mehr Daten enthalten,
 - Schwierigere Taktung des Bitstromes,
 - Weiter aussen grössere Bitrate,
 - CD-ROM für Daten.
- **CLV = Constant Linear Velocity** [m/sec]:
 - Rotationsgeschwindigkeit abhängig von der Strahlenposition (in der Mitte größer).
 - Konstante lineare Geschwindigkeit (m/sec), variable Winkelgeschw. ($^{\circ}/\text{sec}$),
 - Aufwendigere Steuerung des Antriebsmotors,
 - Audio/Video CD und DVD,
 - Konstante Bitrate.

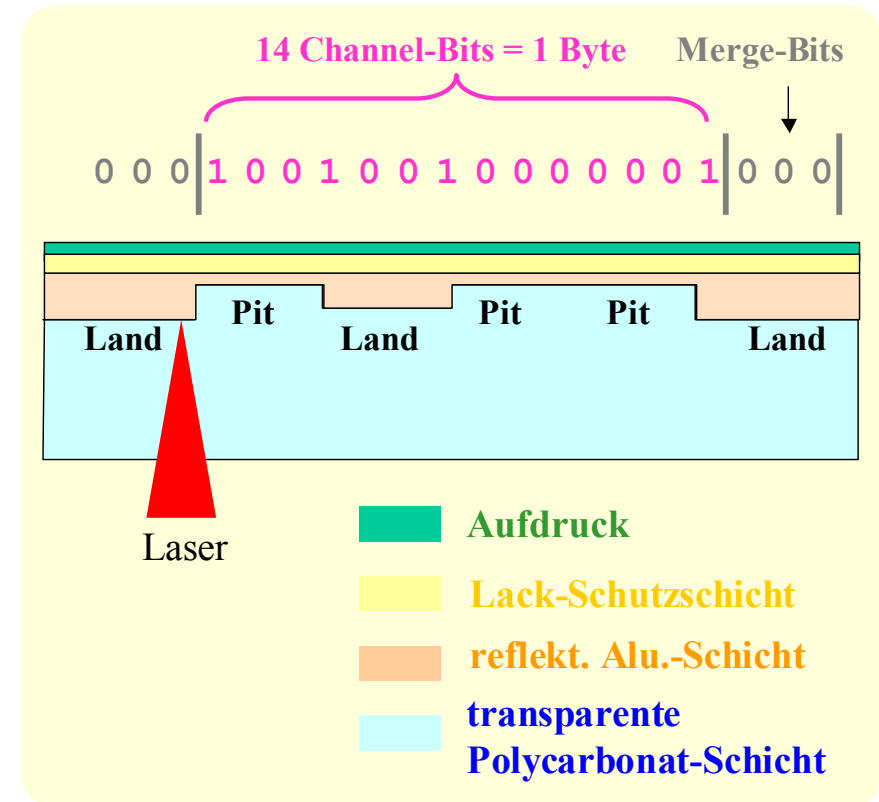
- **Umdrehungszahlen:**

CDROM Typ	Datentransferrate	Umin (innen - außen)
1-fach	150 KB/s	200 – 530
8-fach	1.2 MB/s	1600 – 4240
40-fach (CAV)	1,8– 6 MB/s	8900 (konstant)
40x40 (multi-beam)	6 MB/s	1400 (konstant)

11.4. Datenkodierung

EFM Modulation

- Interpretation der CD-Oberfläche:
 - EFM = **E**ight-to-**F**ourteen **M**odulation,
 - Übergang Land/Pit=1.
 - Pit=0 und Land=0.
 - Minimale Anzahl Pit/Land-Übergänge:
 - Min. 2 Nullen, max. 11 Nullen zw. Einsen.
 - EFM erzeugt Pit-Längen von 3-11 Bits.
 - Fehler durch zu kleine Pits vermeiden.
 - 14 Channel-Bits definieren jeweils ein Daten-Byte (Tabelle).
 - Zwischen Codewörtern 3 Merge-Bits.
- insgesamt 17 Channel-Bits pro Daten-Byte notwendig.



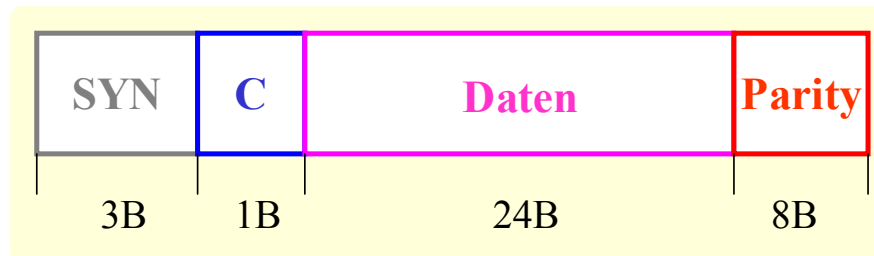
11.5. Audio CD Format

- Red Book: Audio CD Format (Sony & Philips), 1982.

11.5.1 Frames, Blocks, Tracks

- Audio-Frame:

- Fasst jeweils 24 Datenbytes zu einer Informationseinheit zusammen,
- 6 Samples (jeweils 16-Bit) für beide Audio-Kanäle.
- $16 \cdot 2 \cdot 6 = 192$ Bit = 24 Byte.

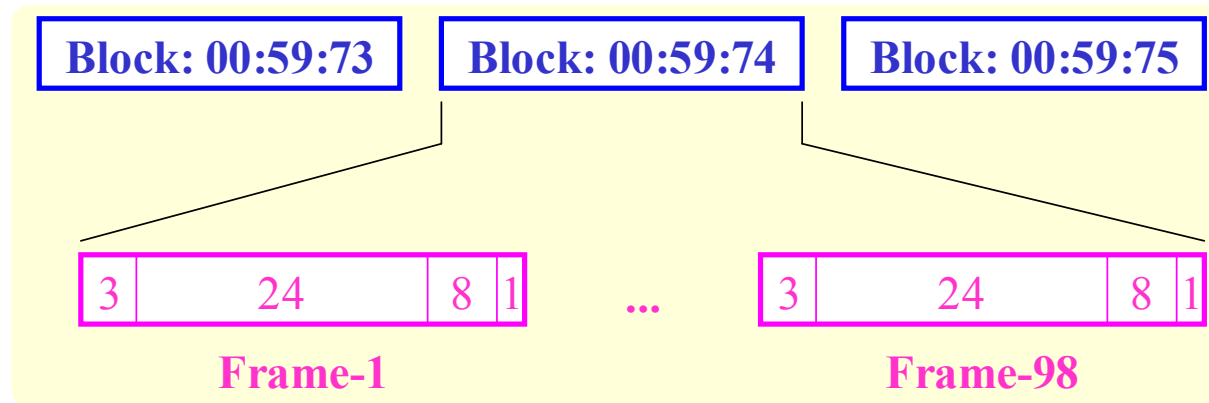


- **SYN** = Synchronisationsmuster (3 Byte = $24 + 3 = 27$ Channel-Bits).
- **C** = Control-Byte (1 Byte = $14 + 3 = 17$ Channel-Bits).
- **Daten** (24 Byte = $24 \cdot (14 + 3) = 408$ Channel-Bits).
- **Parity** (8 Byte = $8 \cdot (14 + 3) = 136$ Channel-Bits).

→ insgesamt 588 Channel-Bits für 192 Bit Nutzdaten

• Audio-Block:

- Fasst 98 Audio-Frames zusammen = 2352 Bytes.
- CD-Player liest 75 Blöcke pro Sekunde.
- Adressierung: (minute,second,block).
- 74 Minuten = 330.000 Blöcke.



• Track:

- Maximal 99 Tracks im Datenbereich einer CD.
- Zum Beispiel zur Unterscheidung von Liedern.
- Tracklänge beträgt mindestens 4 Sekunden.
- Optionale Pause zw. Tracks (max. 2s).
- Indizes zur Unterteilung von Tracks
- TOC enthält nur Trackanfänge.

11.5.2 Sub-Channels (ECMA_130)

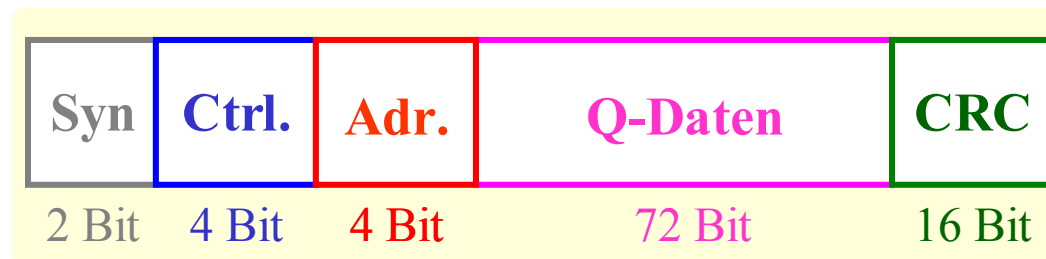
- **Control-Byte:**

- Einzelne Control-Bits innerhalb eines Blocks bilden einen **Sub-Channel**,
- Die Bits des Control-Bytes heissen: P, Q, R, S, T, U, V und W,
- Weiterführende Informationen für den CD-Player.

- **P-Kanal:** markiert Lead-in, Lead-out und Tracks: 98 Bits.

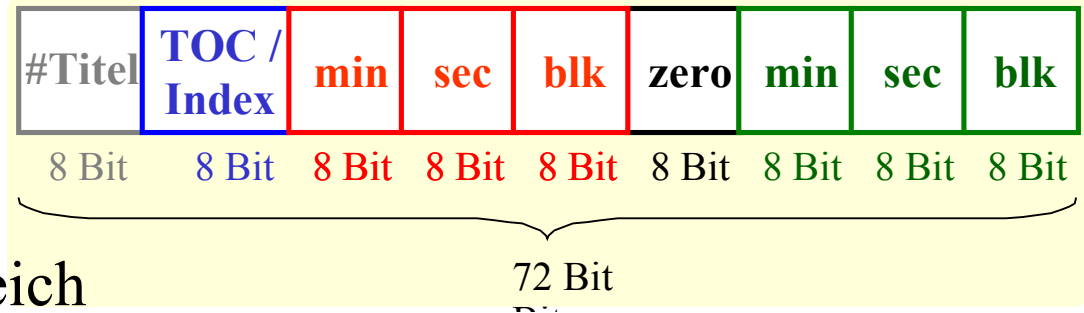
- **Q-Kanal:**

- **Control:** 2/4 Kanal, Kopierschutz, ...
- **Adressierung:** Modus 1, 2 oder 3.
- **Q-Daten:** abhängig vom Adressierungsmodus.
- **CRC:** Fehlerkorrektur.



- Q-Daten im Modus 1: Lead-In Bereich

- #Titel =0 (Not a title, lead-in) ;
- **TOC Info**: Track# (BCD, 01..99);
- **Zeitdauer** des Lead-In;
- **Startzeit** des Tracks.



- Q-Daten im Modus 1: Daten-Bereich

- #Titel: aktuelle Tracknummer(1..0xA9); **Index**: aktueller Index im Track.
- **Verstrichene Zeit** innerhalb des einzelnen Tracks.
- **Insgesamt verstrichene Zeit** über alle Tracks.

- Q-Daten im Modus 2:

- EAN-Katalog#, welche CD eindeutig identifiziert → CD Programmreihenfolge speicherbar.
- blk-Nummer aus vorherigem Block wird weitergezählt.

- Q-Daten im Modus 3:

- ISRC-Code (International Standard Recording Codes).
- gibt Auskunft über: Land, Eigentümer, Aufnahmejahr und Seriennummer.

- **Subcode-Kanäle R bis W**: abhängig vom Format

- Beispielsweise für CD-Text oder Bilder.
- Subkanal-Datenrate 75x98Bit/s = 918 Byte/s (für Audio).

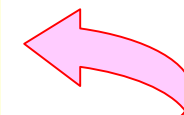
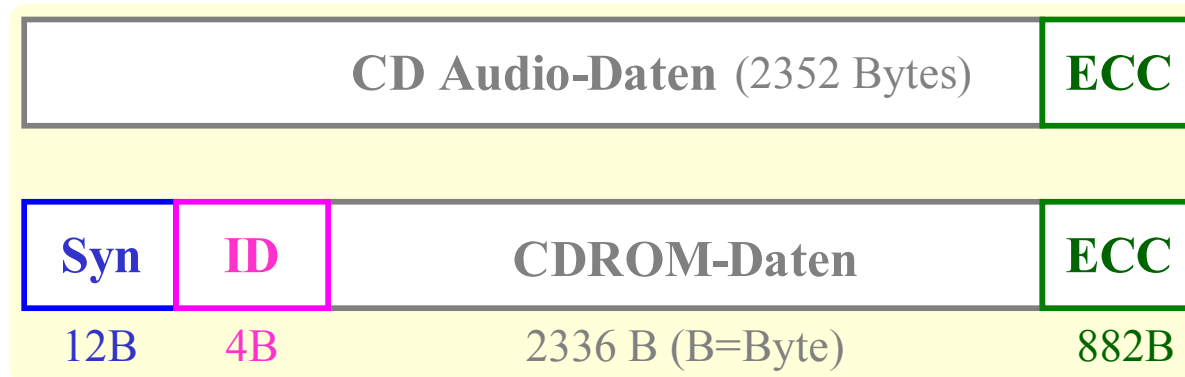
11.5.3 Fehlererkennung und Korrektur

- Flächenfehler ("Kratzer") bei CDs häufiger, als einzelne Bitfehler.
- Korrektur durch Interleaving:
 - Aufeinanderfolgende Werte nicht benachbart abspeichern.
 - Beim Einlesen finden ein De-Interleaving statt.
 - Flächenfehler werden zu Einzelfehlern.
- CDs verwenden **CIRC** Fehlerkorrektur:
 - Zweistufige Reed Solomon Codes mit Interleaving (<http://web.usna.mil/~wdj//reed-sol.htm>).
 - CIRC = **C**ross **I**nterleaved **R**eed **S**olomon **C**ode.
 - <http://web.usna.mil/~wdj//reed-sol.htm>,
 - Fehlerrate 10^{-8} .
- Nicht korrigierbare Fehler:
 - Führen zu hörbaren „Klicks“.
 - Audio CD-Player unterdrücken evt. diese Ausreißer.
 - Alternativ fehlende Werte durch Interpolation der Nachbarstellen ersetzen.

11.6. CD-ROM Format

11.6.1 Sektor-Formate:

- Basieren alle auf dem **Red Book**, aber:
 - Daten werden in Sektoren unterteilt und werden damit einzeln adressierbar,
 - Zusätzlich ist ein Datei-System notwendig.
- Sektor:
 - Größe wie bei Audio-Block = 2352 Byte.
 - Adressierung mit (minute, second, sector).
 - Bei 1-facher Geschwindigkeit 75 Sektoren pro Sekunde lesen.
 - Nur bei Sektor vorhanden, nicht aber beim Block: **Syn, ID (min,sec,#sector,mode)**.
 - Jeder Sektor ist einzeln ansprechbar → Sync.-Pattern vor jedem Sektor



Frame-Parity & Ctrl,
 $98 \cdot (8+1) = 882$

11.6.2 Standards in „bunten“ Büchern:

Red-Book (CD-Audio)	1980
Yellow-Book (CD-ROM)	1984
Mode-1 (m. Fehlerkorrektur)	
ISO9660 & friends	1985
Mode-2	
Green Book (CD-I)	1987
CD-ROM XA	89/91
Form-1	Form-2
Orange Book (CD-R/RW)	1990
White Book (Video CD)	1993
Blue Book (CD-Extra)	1995

11.6.3 CD-ROM: Yellow Book

- Spezifikation für CD-ROM (**CD-Read-Only Memory**), 1984.
- CD-ROM Mode-1:
 - **Für Computer-Daten gedacht (2048 Byte Nutzdaten + 288 Bytes ECC pro Sektor).**
 - Im Treiber oder Firmware des Laufwerks implementiert.
 - Zusätzliche Fehlerbehandlung → Fehlerquote $\sim 10^{-12}$.
- CD-ROM Mode-2:
 - **Verzichtet auf weitere ECCs → 2336 Byte Nutzdaten pro Sektor.**
 - Für komprimierte Audio- und Video-/Bild-Daten.
 - Modus nicht mehr in Gebrauch.

11.6.4 CD-I: Green Book

- **Green Book** (Philips), 1987:
 - CD-I = **CD-Interactive**.
 - War auf dem Markt wenig erfolgreich.
 - Spezifiziert Eigenschaften von Hard- & Software.
- CD-I Player: eingebauter MPEG-Decoder; Anschluß an TV.

11.6.5 CD-ROM/XA: Erweiterung des Yellow Books

- **CD-ROM/XA = CD-ROM/eXtended Architecture:**
 - Entstand aus dem Green Book.
 - Level-1: 1989; Level-2: 1991; Sony, Philips, Microsoft.
- Ziel: gleichzeitige koord. Wiedergabe verschiedener Datenströme.
- Für Multimedia-CDs: Audio-, Text- und Video gemischt in einem Track.
- Erweiterung der CD-ROM Mode-2 Sektoren:
 - Realisiert durch 8 Subheader-Bytes, die den Dateninhalt spezifizieren.
 - Form 1: für Computerdaten, mit Fehlerkorrektur (2048 Byte).
 - Form 2: für komprimierte Audio-, Video-, und Grafikdaten (2324 Byte).
 - Kann von PC und CD-I Player gelesen werden → „Bridge-Format“.

11.6.6 Video-CD: White Book

- **White Book (Philips & JVC), 1993:**
 - Sektorformat entspricht dem der CD-ROM/XA Mode-2, Form 2.
 - Speichert bis zu 74 Minuten MPEG-1 Video (PAL/NTSC).
 - Lesbar mit CD-I- oder CD-ROM-Laufwerken.

11.6.7 CD-R & CD-RW: Orange Book

- Orange Book (Sony & Philips), 1990:
 - Definiert Beschreibungstechniken für verschiedene Medien.
 - Teil-1: CD-MO (= **CD Magento Optical**).
 - Teil-2: CD-WO (= **CD Write Once**).
 - Teil-3: CD-RW (= **CD Rewriteable**).
- CD-R (= **CD-Recordable**):
 - Einmalig beschreibbare CD (→CD-WO).
 - Keine mechanische Prägung von Pits und Lands.
 - Rohlinge enthalten eine bereits vorbereitete Spiralspur.
 - Laser zerstört Farbstoffe beim Schreiben → verschied. Reflexionseigenschaften.
- CD-RW:
 - Reflektierende Schicht aus Metall-Legierung (zunächst polykristalline Struktur).
 - Schreiben (~700°C): Legierung wird amorph und verliert Reflektionskraft.
 - Löschen (~200°C): Legierung kehrt in polykristallinen Zustand zurück.
 - Pits: polykristalline Bereiche; Lands: amorphe Bereiche.
 - Theoretisch 1000 Mal wiederbeschreibbar.
 - Reflektionsverhalten nicht mit CD-R identisch → Probl. mit alten Laufwerken!

- **Schreiben von Multisession-CDs:**
 - Pro Sitzung eine Lead-In (TOC), Datenbereich und Lead-Out.
 - Letztes Lead-In umfasst das gesamte Inhaltsverzeichnis der CD.
→ jede neue Session verursacht ca. 20 MB Verwaltungsaufwand!
 - CD-ROM Laufwerk sucht immer automatisch das letzte Lead-In.
 - Nach explizitem Abschließen der CD keine weiteren Sessions möglich.

11.6.8 CD-Extra: Blue Book

- **Daten-Tracks wurden von Audio Playern nicht erkannt:**
 - U.U. Schädigung der Lautsprecher.
 - Deshalb saubere Trennung notwendig.
- **Blue Book (Sony & Philips), 1995:**
 - Definiert Mixed Mode CD.
 - Erste Session enthält Audio-Daten.
 - Zweite Session speichert Daten im CD-ROM/XA-Format.
 - Oft als Multisession CD bezeichnet → Verwechslungsgefahr mit Orange Book.

11.7. CD Dateisysteme

11.7.1 ISO 9660

- Plattformunabhängiges Dateisystem.
- Speicherzuteilung:
 - CD-Sektorgröße = 2048 Byte.
 - Log. Blöcke mit 512, 1024 oder **2048**.
- Verzeichnis:
 - Realisiert als Datei.
 - Enthält Menge von Directory-Records.
 - Directory-Record beschreibt Datei oder Directory.
 - Hat auch Verweis auf übergeordnetes Verzeichnis.
 - Max. Pfadlänge = 255 Zeichen; bis zu 8 Verzeichnisebenen.
- Dateinamen:
 - 32 Zeichen.
 - Nur Großbuchstaben.
 - Ziffern und Unterstrich.

- **Volume Descriptors:**

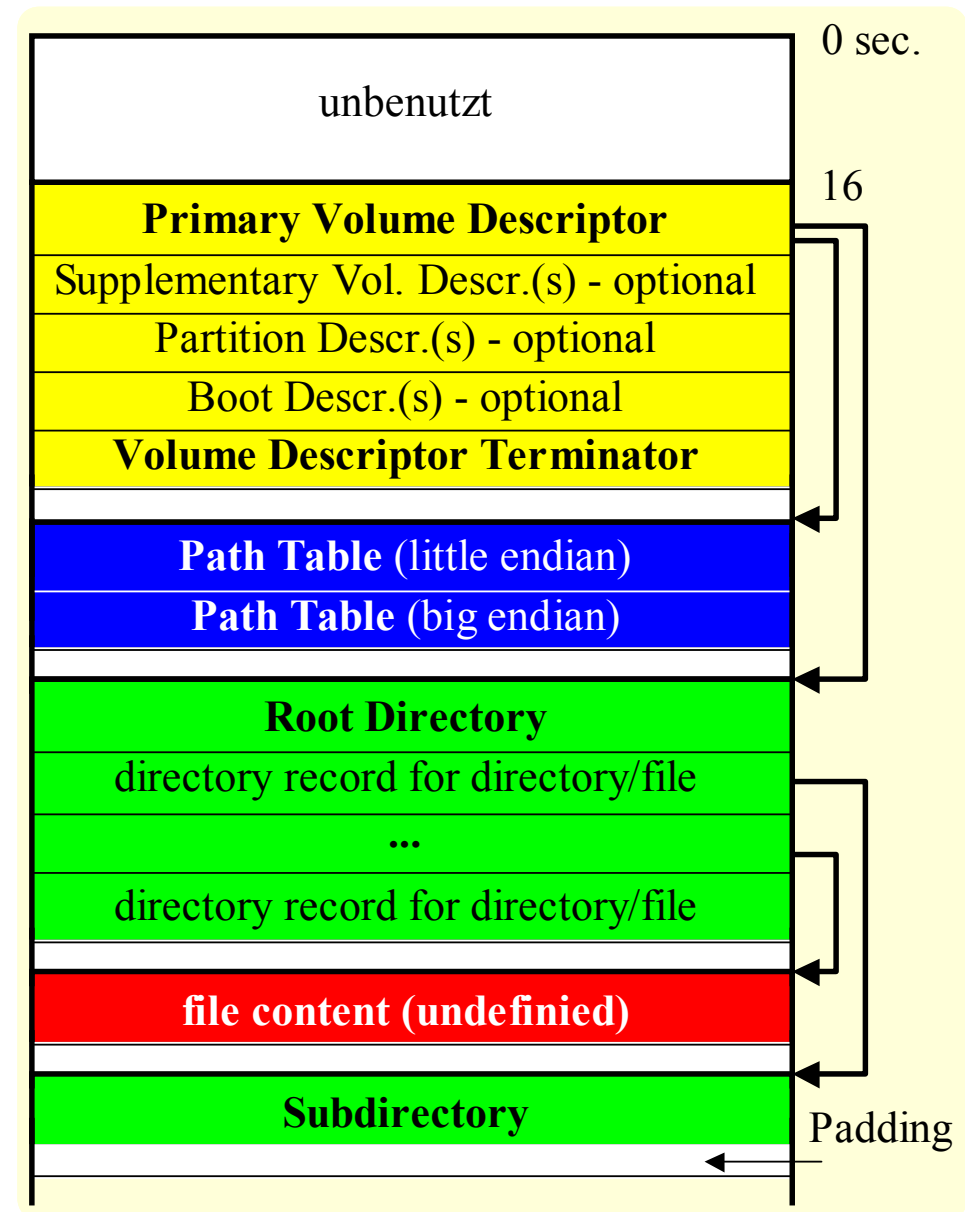
- Belegen je 1 Sektor.
- Länge der Path-Table.
- Root-Directory Record.
- IDs, Datum, Uhrzeit, ...

- **Path Table:**

- Schnelles Finden eines Pfades.
- Aufbau:
 - Erste Ebene alphabetisch sortiert.
 - Anschließend zweite Ebene für ersten Eintrag in erster Ebene.
 - Danach zweite Ebene für zweiten Eintrag in erster Ebene usw.

- **Verschiedene Levels:**

- Level-1: Dateinamen im 8.3 Format.
- Level-2: nur lineare Dateien möglich.
- Level-3 erlaubt fragmentierte Dateien.

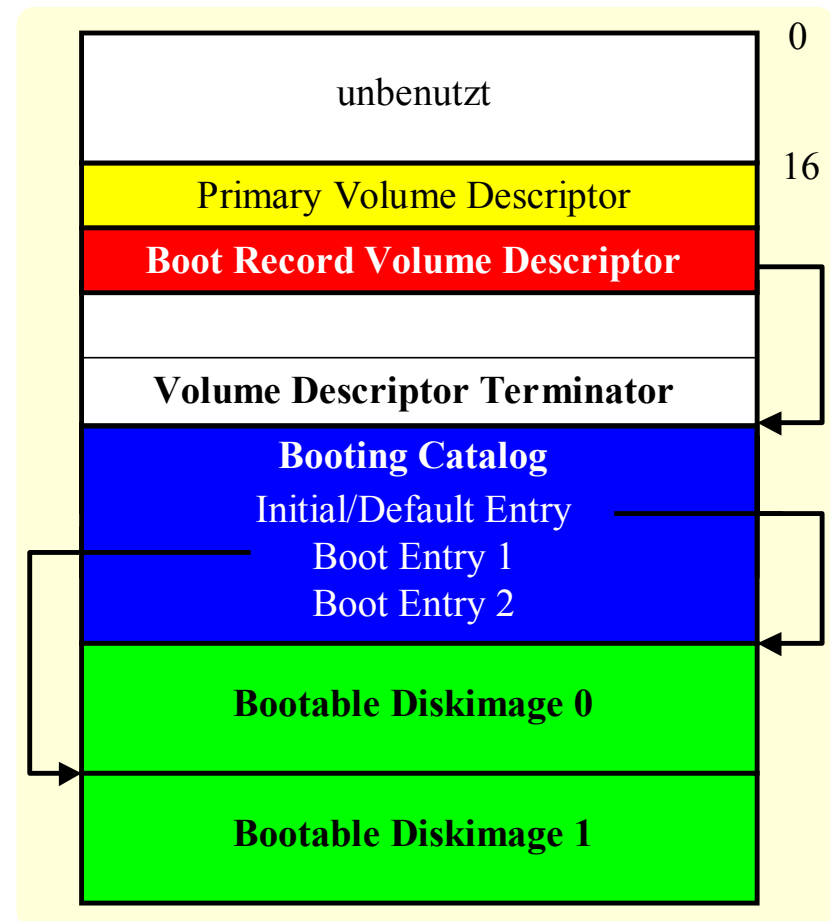


Joliet

- Microsoft Erweiterung von ISO 9660, 1995.
- Erlaubt Windows 95 Dateinamen.
- Namen bis zu 64 Zeichen (Unicode), inklusive Sonderzeichen.
- Mehr als 8 Verzeichnisebenen.
- Verwendet zwei Volume Descriptoren:
 - Primary Volume Descriptor:
 - MSDOS Kompatibilität.
 - Path-Table mit 8.3 Dateinamen.
 - Zusätzlich **Supplementary Volume Descriptor:**
 - Win95/W2K Kompatibilität.
 - Eigene Path-Table mit langen Dateinamen.
- www-plateau.cs.berkeley.edu/people/chaffee/joliet.html

El Torito für bootbare CD-ROMs

- Spezifikation von Phoenix und IBM (www.phoenix.com), 1994.
- Grundidee: BIOS ersetzt Diskette oder Festplatte durch CD-ROM.
- Basiert auf ISO 9660-Dateissystem.
- Daten werden bei Bedarf sektorweise (hier 512 Byte) gelesen.
- Bootvorgang:
 - Zunächst Bootsektor laden.
 - Hierin enthaltener Urlader kann mit INT-13 Schnittstelle nachladen.
- Hier Multi-Boot Format (Single Boot Variante entsprechend).



11.7.2 UDF

- **UDF = Universal Disk Filesystem:**
 - Informationen unter www.osta.org.
 - Plattformunabhängiges Dateisystem für DVDs und CDs.
 - Basiert auf ISO 9660, aber erweitertes, flexibleres Dateisystem.
 - Keine Beschränkungen bezüglich Verzeichnis-Schachtelungstiefe.
 - 512 Byte Blöcke, Unicode-Namen, 255 Zeichen für Dateinamen, ...
- **CD-R Medien sind nur einmal beschreibbar:**
 - ISO 9660 erwartet TOC und Verzeichnisse an fester Position.
 - Damit sind spätere Änderungen unmöglich.
- **UDF führt deshalb "virtual allocation tables" ein:**
 - Gültiges TOC jeweils im letzten geschriebenen Block.
 - Hierin sind Verweise auf Dateien und ältere TOC-Blöcke.
 - Modifizieren von Dateien: neues TOC mit Verweis auf neue Datei.
 - Löschen von Dateien: neues TOC ohne Verweis auf gelöschte Datei schreiben.

- **Packet Writing:**

- UDF-Treiber notwendig.
- CD muss formatiert werden.
- Brenner erscheint wie Festplatte (64k Blöcke).
- Dateien in einzelnen kleinen Paketen schreiben.
- Dateiverwaltung zunächst nur im Hauptspeicher.
- Weniger Overhead als herkömmliche Multisession-CDs.
- Beim Abschließen der Session wird Inhalt der Session geschrieben.
- Beim Finalisieren der CD wird ein ISO 9660 kompatibles TOC geschrieben
→ CD dann auch ohne UDF-Treiber lesbar.

- **Neuere Entwicklung Mount Rainer:**

- CD-MRW = **CD-Mount Rainer ReWrite**.
- Benötigt spezielle CD-RW Laufwerke.
- Firmen: Compaq, Microsoft, Philips und Sony.
- Verbesserte Packet Writing Technik (2k Blöcke).
- UDF-Formatierung geschieht nun im Hintergrund.
- CD jederzeit auswerfbar, ohne Session abzuschließen.

11.8. Schreibtechniken

- **DAO = Disc-At-Once:**
 - Für Audio-CDs (Single-Session).
 - CD in einem Durchlauf schreiben und Laser am Ende abschalten.
 - Hierdurch werden Störungen vermieden.
 - Nur eine Session.
- **TAO = Track-At-Once:**
 - Wegen Lücken nicht für Audio-CDs geeignet.
 - Eine einzige Session, aber als *Multitrack-Technik* bezeichnet.
 - Tracks sind in Run-In/Out Blöcke eingebettet.
 - Nach jedem Track wird der Laser abgeschaltet.
 - Inhaltsverzeichnis wird erst am Ende geschrieben.
- **SAO = Session-At-Once:**
 - Für Mixed Mode CDs.
 - Erste Session (Audio), zweite Session Daten.
 - Nach dem Schreiben der ersten Session wird der Laser abgeschaltet.
- **Packet Writing: Laser kann nach jedem Paket abgeschaltet werden.**

11.9. DVD

- DVD = **D**igital **V**ersatile **D**isc, (Spezifikation 1.0, 1996).
- Kopierschutz und Ländercode für Video- und Audio-CDs.
- Vergleich mit CD:

	CD	DVD
Laser-Wellenlänge	780nm	635/650nm
Spurabstand	1,6 μ m	0,74 μ m
Pits & Lands	0,9 μ m	0,4 μ m
Speicherkapazität	665 MB	-17 GB

- DVD Merkmale:
 - 8/16-Modulation.
 - Sektoren zu 2064 Byte.
 - Verwendet UDF Datei-System.

- **Verschiedene teilweise inkompatible Medien:**
 - DVD-R, DVD-RW, DVD+RW und DVD-RAM,
 - Unterschiedliche Wellenlänge und Reflexionseigenschaften,
 - Fingerhakeln zwischen den Herstellern (Panasonic, Philips, ...).
- **Eventuell zwei Schichten und 2 Seiten:**

DVD-4	4,7 GB	eine Schicht, eine Seite, ROM
DVD±R/±RW	4,7 GB	eine Schicht, eine Seite, recordable, compatible
DVD-9	8,5 GB	zwei Schichten, eine Seite, ROM
DVD-10	9,4 GB	eine Schicht, zwei Seiten, ROM
DVD-18	17,4 GB	zwei Schichten, zwei Seiten, ROM
DVD-RAM	2,6 GB	eine Schicht, eine Seite, recordable
DVD-RAM-2	5,2 GB	eine Schicht, zwei Seiten, recordable

- Schreibbare DVDs auf 4,7 GB beschränkt (1 Schicht, 1 Seite).
- <http://www.tech-report.com/reviews/2002q1/dvdrw/>