

Optoelektronische Speicher

Dieses Material beruht auf dem Buch

Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien.
Shaker Verlag Aachen 2007

Es ist u.a. auch vollständig auf der CD enthalten

Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Datenspeicher von der Steinzeit bis ins 21. Jahrhundert. Digitale
Bibliothek Bd. 159, Berlin 2007

Der Inhalt wurde erheblich verkürzt, auf den neuesten Stand gebracht und die Bilder farbig umgesetzt

Achtung: Material ist umfangreicher als in der Vorlesung benutzt und für eine Prüfung

Bei Angabe der Quelle ist das Material zum privaten Gebrauch voll nutzbar

Bei kommerzieller Nutzung bzw. in Publikationen usw. ist eine Abstimmung mit mir notwendig
Bilder sind in höherer Qualität ca. 2000×3000 Pixel oder *.cdr Version 12 verfügbar

Dieses Material wurde heruntergeladen von: aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF

Email: [hvoelz\(at\)fpk.tu-berlin.de](mailto:hvoelz(at)fpk.tu-berlin.de) bzw. [h.voelz\(at\)online.de](mailto:h.voelz(at)online.de)

Prof. Dr. Horst Völz, Koppenstr. 59, 10243 Berlin, Tel./Fax 030 288 617 08

Abgrenzung optischer Speicher

Zeichnungen, Bilder, Fotografien, Drucke, Schriften

Sind zwar optische Speicher, benutzen jedoch **keine elektrischen Signale**, weder zur Wiedergabe noch zur Aufzeichnung

Sind für **direktes Betrachten** bestimmt und werden deshalb hier nicht behandelt

Holographie

Ihre Bilder sind nur indirekt, virtuell gespeichert.

Es werden Welleneigenschaften statt strahlenoptische Abbildungen benutzt

Sie könnten künftig mittelbar zu speziellen opto-elektronischen führen

Bar-Codes mit vielen Varianten

Sind für uns **zwar zu sehen**, bedürfen aber zum Lesen **elektronischer Mittel**

Ihre **Generierung**, aber kaum die Herstellung erfolgt **elektronisch**

Optisch-elektronischen ROM, werden wegen **geringer Speicherdichte** und **Einfachheit** hier nicht erfasst

Bilderzeugende Verfahren z. B. in der Medizin, u.a. Tomographie

Mittels komplexer **elektronischer Apparaturen** und **Algorithmen** werden direkt zu betrachtende Bilder **generiert**

Opto-elektronische Verfahren sind **kein wesentlicher Bestandteil**

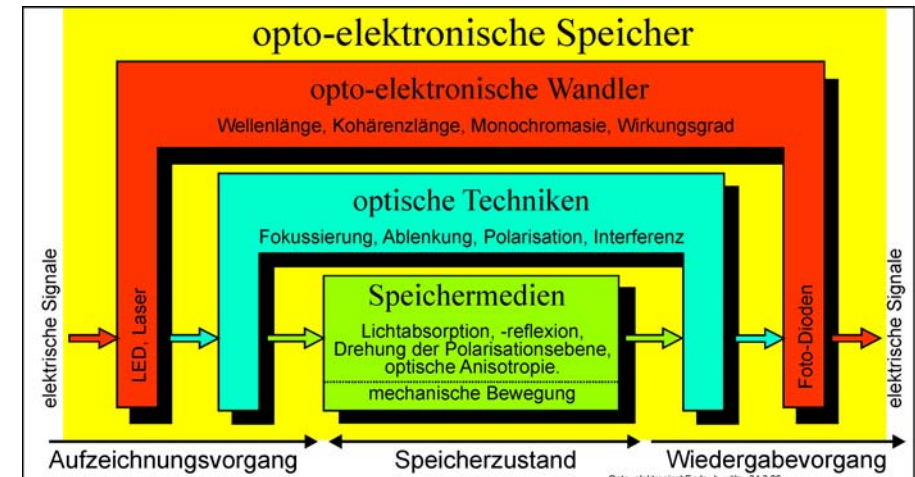
Speichern ist hier meist **nur sekundär** und erfolgt selten auf opto-elektronisch

Bildhafte Darstellungen

wissenschaftlicher, technischer, ökonomischer und soziologischer Daten

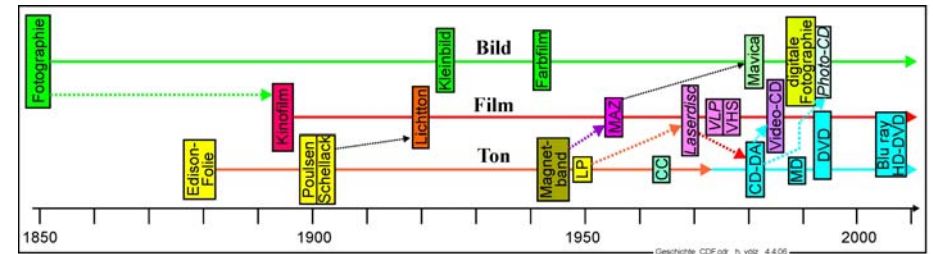
Klassifizierende Merkmale opto-elektronischer Speicher

- Ihre **Eingangs-** und **Ausgangssignale** sind **elektronisch**
- **Licht** wirkt bei **Aufzeichnung** und **Wiedergabe** mit
- Die **Inhalte** bei Aufzeichnung, Wiedergabe und im Speichermedium sind vorwiegend **sequentiell**
- Die **Speicherdichte** im Medium ist **sehr hoch**
- Fast ausschließlich werden **digitale Daten** gespeichert
- Höchst selten erfolgt eine „geometrische“ **Abbildung von Etwas**
- Meist benutzte **rotierende, auswechselbare Medien**, ähneln daher magnetischen Disketten und Festplatten
- **Sonderfälle** sind opto-elektronische **Bänder** und **Karten**
- In der **Zukunft** könnte **elektronische Lichtablenkung** und **Holografie** hinzukommen



Überblick Geschichte

1850 Fotografie
 1900 Schallaufzeichnung Walzen, Folien
 1900 POULSEN Schallaufzeichnung Draht
 1920 Lichtton
 1936 Magnetband für Schallaufzeichnung
 1950 Beginn Videoaufzeichnung auf Band MAZ
 1970 verschiedene rotierende Videoaufzeichnungen = Bildplatten
 1972 Laserdisk ≈ Laser Vision als indirekter Vorläufer der CD
 1981 Mavica = Übergang zur elektronischen Fotografie mit rotierender Diskette
 1982 Audio CD-DA
 1995 DVD
 2002 Blaue Platten, u.a. Blu Ray Disk



Zur Laser Vision ≈ Laserdisc

Ende **60er Jahre** erste Ansätze zu optischer Bild- bzw. Videospeicherung RCA (**R**adio **C**orporation of **A**merica)
 Holografisch aufgenommene Bilder wurden auf Platten gepresst
 Hieraus leitet KLAAS COMPAAN bei Philips die Idee für eine Videoplatte ab
 Mit PIET KRAMER entsteht dann der Prototyp einer Glasplatte für Bilder
 Ähnlich der Magnetbandspeicherung wird **Frequenz-Modulation** benutzt
5.9.1970 erste VLP (video long play) noch in schwarz-weiß vorgestellt, 1972 farbig
 30-cm-Platte speichert 45 000 Bilder ≈ 30 Minuten Spielzeit bei 25 Bilder/s
 Marktreife Variante = Zusammenarbeit MCA (USA), Grundig, Siemens und Sony
1977 in Europa erster Bildplattenspeicher von Philips, Ende 1978 auf amerikanischen Markt
 Je nach Firma ≈ **LV** (laser vision), **VLP** (video long play) + Weiterentwicklung **Laserdisc** (LD)
 Abzweig LV = **Archivierungssystem „Megadoc“**

Weiterentwicklungen

1982 LV mit digitalem Ton (USA)
 1987 Philips: **Laserdisc** mit dem digitalen Ton und Halbleiter-Laser heraus
 1992 Japan eine Variante für HDTV und 1994 mit AC-3-Ton
 1998 DVD bewirkt Ende aller Laserdisc-Variante
 1999 in Deutschland, 2000 in Japan letzte Platten produziert
 Insgesamt nur 50 000 Geräte verkauft, USA 12 000 produzierte Filme, Ausstattung der Haushalte <1 %

Das Ende

1985 Philips stellt **Produktion der Geräte ein** (europäischer Markt konnten keine akzeptablen Verkaufszahlen)

1998 DVD bewirkt Ende aller Laserdisc-Variante

1999 in Deutschland, 2000 in Japan letzte Platten produziert

LD gab es auch mit 12 cm Ø = CD-V bzw. CD-Video, Auf CD-Player nur Tonwiedergabe

Erfahrungen mit Bildplatten für **Entwicklung der CD wichtig**

Spekulation: CD $\Leftrightarrow$ **Cruise-Missile** (Landkarten für ferngelenkte tief manövrierende Flugsysteme)

Vor- $\Leftrightarrow$ Nachteile

Gegenüber anderen bekannten Bildaufzeichnungsverfahren **Vorteile** $\Rightarrow$ CD:

- Nur **wenig** und leicht verfügbares **Material** benötigt
- Wie bei Schallplatte schnelle, **preiswerte Massenherstellung** durch **Pressen**
- **Abtastung berührungslos ohne Verschleiß**
- Extrem hohe **Speicherdichte**: Je Vollbild nur 0,6 mm² (Super-8-Film 26 und VHS 7 mm²)
- **Zugriff sehr schnell** auf Teile der gesamten Information
- Z.T. relativ einfach **Standbild, Zeitlupe** und **Zeitraffer**
- Recht **einfache Lagerung** der Medien
- **Videoboxen mit fortlaufendem Betrieb** durch einfache Konstruktionen

Nachteile

- Keine Selbstaufnahme möglich, Vorteile für Urheberrechte (galt anfangs auch für CD)
- Komplexe, teure Optik erforderlich, bestimmt überwiegend Gerätepreis

Aufbau, Funktion der Laserdisc

Gerät und Platte sind **Vorläufer der CD**, beide stimmen daher in vielen Punkten überein

An dieser Stelle sind nur wesentliche und **abweichende** Fakten behandelt ($\Rightarrow$ CD)

LV-Platte

2,7 mm dick, aus zwei gleichartigen Teilen von je 1,35 mm zusammengefügt; genormte Ø = 300 und 200 mm

Vertiefungen = Pits (*englisch* Grube) $\approx$ 0,4 µm breit, 0,1 µm tief ($\lambda/4$), 0,8 - 2,5 µm lang

Werden in Platte gepresst, darüber dünne metallische Reflexionsschicht, galvanisch auf 0,4 µm verstärkt

Darüber Schutzlack $\Rightarrow$ verklebt zugleich 2 Plattenteile zu einer LV-Platte, beidseitig abspielbar

Spur = Spirale von Innen nach Außen abgespielt, Spurbstand $\approx$ 1,6 µm $\Rightarrow$ >600 Spuren/mm

Typische Herstellungskosten: 20 cm-Platte um 1980 $\approx$ 25 DM, 30-cm $\approx$ 40 DM ($\approx$ 12 bzw. 20 €)

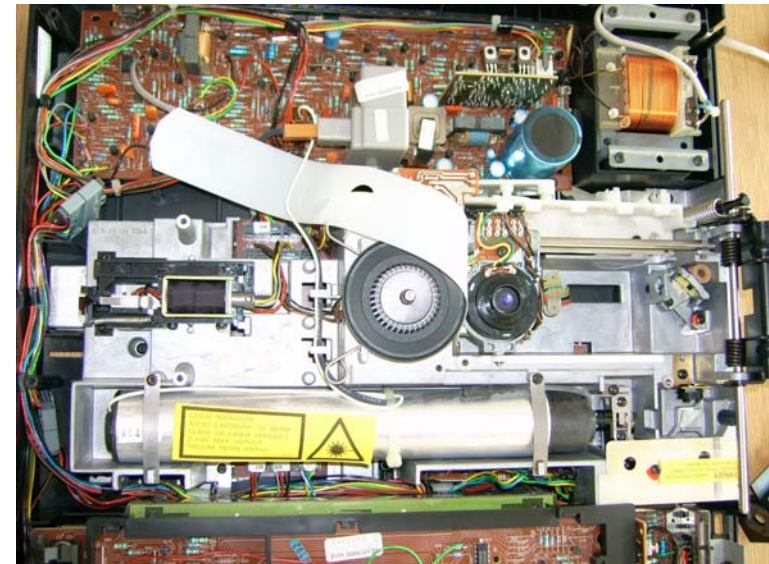
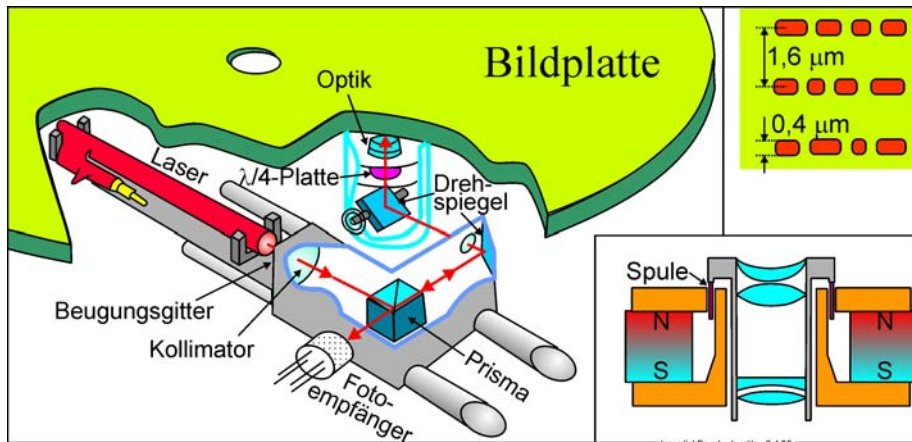


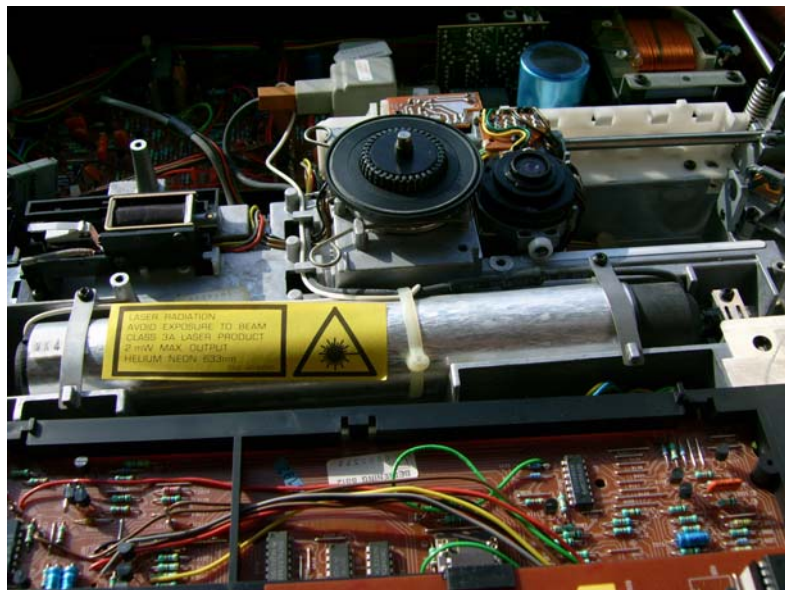
Optisches System

Gesamtes optisches System mit **Getriebemotor** $\approx 2,5$ mm/Minute auf Spiralspur gehalten
 Abtastung von unten, **Feinjustage** übernimmt optisches System selbst
 Da noch **kein Halbleiter-Laser** verfügbar, relativ großer **HeNe-Gas-Laser** mit $\lambda = 632,8$ nm, ≈ 1 mW
Laser-Brennfleck $\approx 0,9$ μm = 1,5-Fache der Pit-Breite, Fokussierung auf $0,1$ μm Höhe genau notwendig
 Auf Oberfläche lichtdurchlässigen Trägermaterials $\varnothing \approx 1,3$ mm, **Fingerabdrücke**, **kleine Partikel** kaum störend

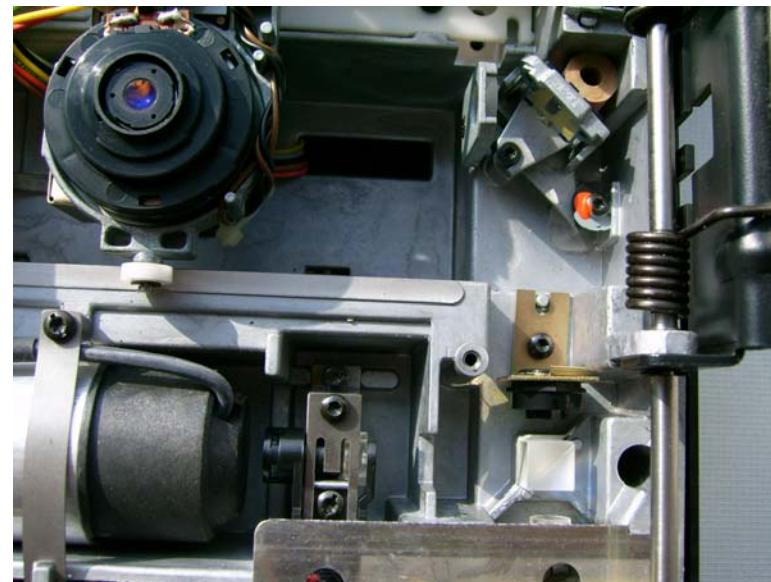
Strahlenweg

Beginnt mit **Beugungsgitter** Haupt- + 2 Nebenstrahlen zur Spurführung
 Nebenstrahlen leicht seitlich versetzt; Zusätzlich ≈ 15 μm vor bzw. hinter dem Hauptstrahl
Kollimator weitet Strahlen auf und parallelisiert sie (*lateinisch collineare* in eine gerade Linie bringen)
Prisma lässt nur linear polarisierte Lichtwelle passieren
 Über 2 elektronisch gesteuerte **Drehspiegel** so abgelenkt, dass genaue Spurnachführung erfolgt
Fokussierung mit Optik in einem Tauchspulensystem
 Hin- und Rückstrahl mittels **$\lambda/4$ -Platte** und Prisma getrennt
Foto-Empfänger besitzt **6 Sensorflächen** $\Rightarrow$ Ableitung der Steuer- und das Nutzsignale
 Der **Korrekturspiegel** ermöglicht recht einfach, zu nebeneinander liegende Spuren zu wechseln
 So Möglichkeit $\Rightarrow$ **Standbildwiedergabe**, **Einzelbildschaltung**, **Zeitupe** und **Zeitraffung**

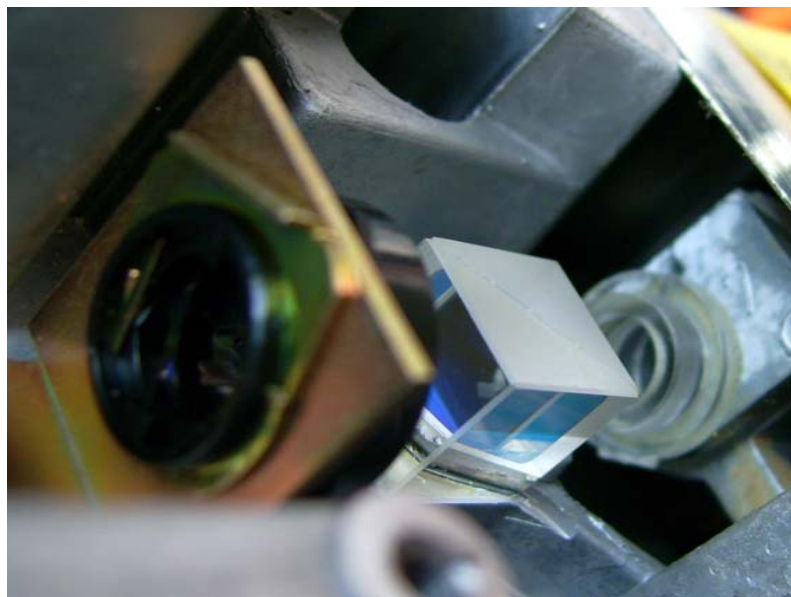




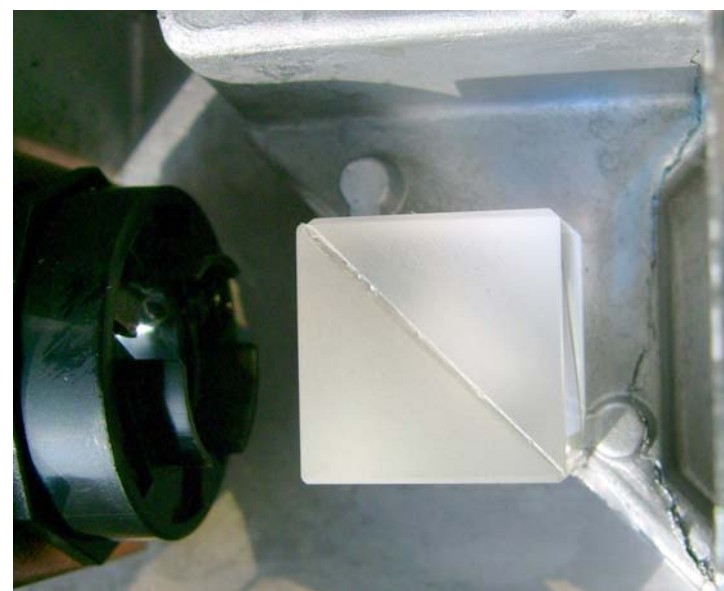
CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 17 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 18 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 19 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 20 von 277

Signalverarbeitung

Videosignal + Stereoton in HiFi-Qualität = **drei zu verkoppelnde Signale + Steuersignale**

Signale werden einzeln **vorentzerrt und frequenzmoduliert**

Nach Addition Begrenzung auf ein Rechtecksignal, das dem optischen Modulator zur Aufzeichnung dient

Flanken der Rechtecksignale bestimmen Anfang und Ende der **Pits**

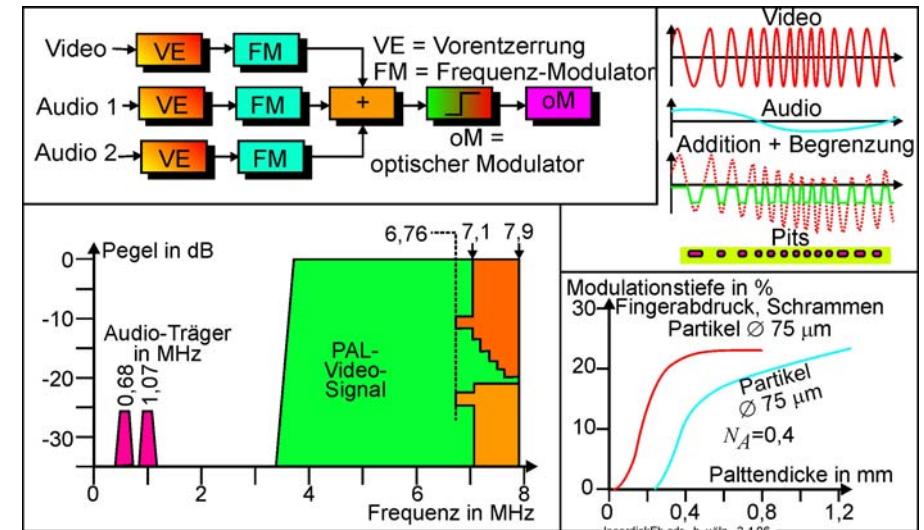
Wiedergabe: Vorverstärker, Korrekturglieder, Filter zur Trennung, 3 FM-Demodulatoren, Nachentzerrung

Videosignal Synchronpegel 6,76 MHz, Weißpegel 7,9 MHz, maximale Aussteuerung $\pm 1,4$ MHz

Spektrum begrenzt auf 3 und 8 MHz, bei einigen Zeilenrückläufen spezielle Testsignale eingefügt.

Audioträger 684 und 1066 kHz mit Frequenzhub von ± 50 kHz

Bei **Laser Vision** gibt es leicht abweichende Daten



CAV $\Leftrightarrow$ CLV

Ursprünglich rotiert Platte mit **1 500 UpM** bei konstanter Winkelgeschwindigkeit
= CAV (constant angle velocity)

Je **Umdrehung zwei Vollbilder**, volle Speicherdichte nur bei den inneren Spuren

Magnavox (USA) = Magnavisions-Bildplatte konstante Lineargeschwindigkeit = CLV (constant linear velocity)

Innen 1 800, außen 600 UpM, verlängert Laufzeit; 30-cm-Platte je Seite 90 000 Vollbilder

Entfaltet jedoch Standbild, Zeitlupe und Zeitraffer.

Philips später einen ähnlichen Betrieb, meisten LV-Geräte können automatisch richtigen Mode einschalten

Vergleich von CAV und CLV bei der Laser Vision.

	CAV	CLV
$\varnothing = 30 / 20$ cm	2×36 / 25 Minuten	2×60 / 40 Minuten
Geschwindigkeit	1 500 UpM	11 m/s, 1 500 – 500 UpM
Vorteile	Je Umdrehung 2 Halbbilder, daher auch Zeitlupe, Zeitraffer und Standbildwiedergabe möglich.	Höchste ausnutzbare Speicherdichte.
Nachteile	Nicht voll ausgelastete Speicherdichte. Sie nimmt nach außen hin ab.	Nur Schnelldurchlauf und Einzelbild-Anwahl.

Ähnliche Varianten

Bei Zenith in den USA, Optodisc, Sepo und Thomson CSF in Frankreich

Sind alle kaum bis zur Marktreife gelangt

Zeitweilig optische Bildplattensysteme für professionelle Zwecke, z. B. von Bosch (BRD) und RCA (USA)

Geringe Spielzeit (z. B. 11 Minuten bei Bosch), aber größere Frequenzbandbreite

Verwendet im Fernsehen für häufig wiederkehrende Einblendungen, ersetzten Dias und Pausenfilme

Auch Mitte der 80er Jahre kein Einsatz mehr

Übergang zur CD

1977 Management Philips mit Entwickler LOU OTTENS: Bildplatte (Laservision) $\Rightarrow$ digitale Audiospeicherung

30-cm-Platte war zu groß und unhandlich, FM-Speicherung $\Rightarrow$ digitale Technik

Gemeinsam mit Sony wurde Entwicklung der CD begonnen

1979 konnten erste Ergebnisse vorgestellt werden

1980 wird die CD vorgestellt (compact disc)

1982 Audio-CD im Handel, heißen später CD-DA (compact disc digital audio)

Bei Entwicklung wurden auch **Erfahrungen älterer analoger Videospeicher** ab 1970 berücksichtigt

- Das mechanische TED-System von AEG/Telefunken,
- die kapazitive Variante Selecta Vision von RCA und das VHD (video high definition) von JVC,
- das optische VLP (video long play) von Philips/Sony (1973)
- das magnetische Mavicard und eine magnetische Variante der Firma Bogen.

Parameter der CD

$\varnothing = 12$ cm, Dicke = 1,2 mm, Masse ≈ 18 g, Mittelloch = 15 mm

Programmbereich (Aufzeichnung) $\varnothing = 50$ bis 116 mm

Spur ist **spiralförmige** mit $\approx 25\,000$ Windungen, Steigung = $1,6\,\mu\text{m}/\text{Windung}$, Länge ≈ 25 km

Abtastung erfolgt **von der Unterseite**: Problem Schallplatte Staub in Rillen vermeiden, dafür Staub auf Objektiv

Abtastung von **Innen nach Außen**: Problem verschiedene Größen nicht vorhanden

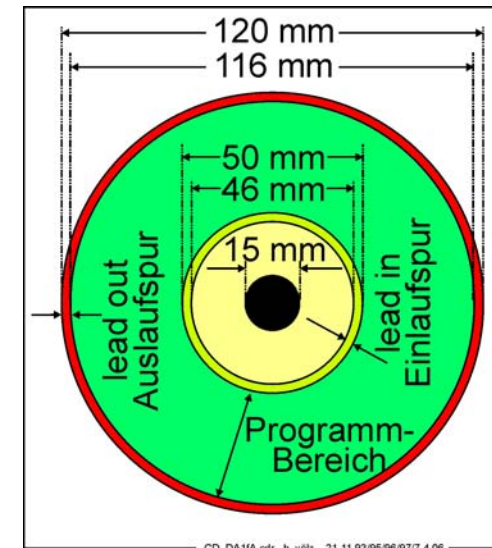
Daher einfach möglich: Single-CD mit $\varnothing = 80$ mm = CD-EB (≈ 20 Min.) sowie Sonderausführungen

Benutzt wird eine **konstante Spurgeschwindigkeit** (CLV) von 1,4 m/s (später 1,2 m/s, s.u.)

Die **Drehzahl** sinkt dabei von ≈ 500 auf 200 UpM $\Rightarrow$ überall **gleiche Speicherdichte**

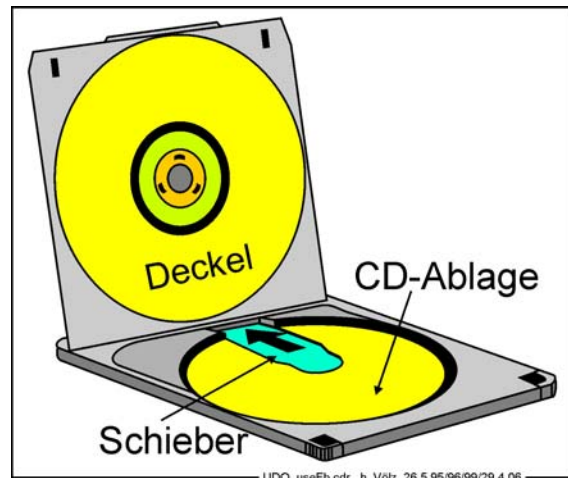
Durchsichtiges Material der ist **Polycarbonat**, besitzt hervorragende optische Eigenschaften

$\Rightarrow$ Brillengläser und Foto-Objektive, Brechungsindex $n = 1,46$ ($780 \Rightarrow 500$ nm)



Caddy

Zum Schutz der CD u. a. bei einigen Sonderanwendungen wird spezielle **Einlegekassette** Caddy verwendet
Ermöglicht auch durch Verschließen, Schutz gegen Diebstahl, damals CD und später Daten-CD extrem teuer



Pit und Land

CD-Spur besteht aus **Vertiefungen**, so genannte Pit (englisch Grube)
Tiefe $\approx 130 \text{ nm} \triangleq \lambda/4$, Stellen ohne Vertiefungen = Land

Pit Breite $\approx 0,5 \text{ }\mu\text{m}$ breit, unterschiedlich lang $\approx 0,9$ bis $3,3 \text{ }\mu\text{m}$ (s.u.);
auf einer CD $\approx 5 \cdot 10^9$ Pit $\triangleq \approx 7 \cdot 10^9$ Bit

Pit erscheinen von unten als Erhöhung $\Rightarrow$ **bumb**.

Übergänge Pit $\Rightarrow$ Land und Land $\Rightarrow$ Pit entsprechen einer logischen 1, Codierung jedoch komplexer

Oberhalb Pit und Land $\approx 50 \text{ nm}$ **Reflexionsschicht** aus Al, Ag, Au

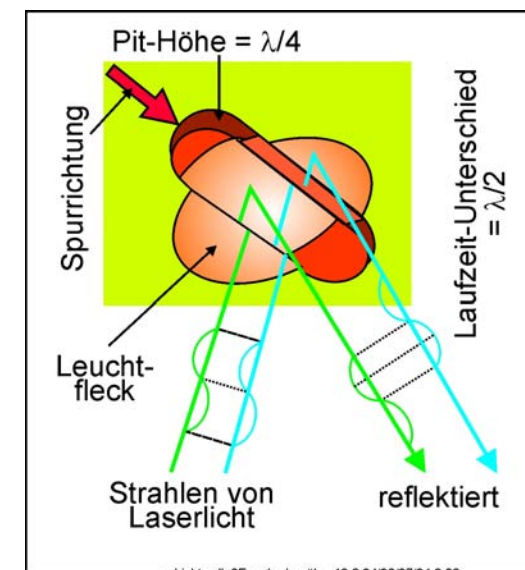
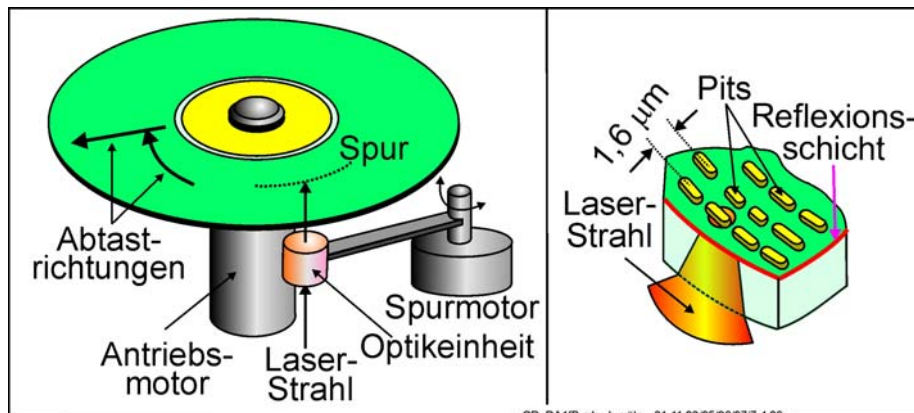
Pit und Land **reflektieren Licht gleich** gut

Pit erscheinen nur durch **Interferenz** optisch reflexionsarm

Laserfleck $\varnothing \approx 1 \text{ }\mu\text{m} >$ Pit-Breite $\approx 0,5 \text{ }\mu\text{m}$

Ganz oben Schutzlack $\approx 10 \text{ }\mu\text{m}$, enthält auch den Aufdruck (Label)

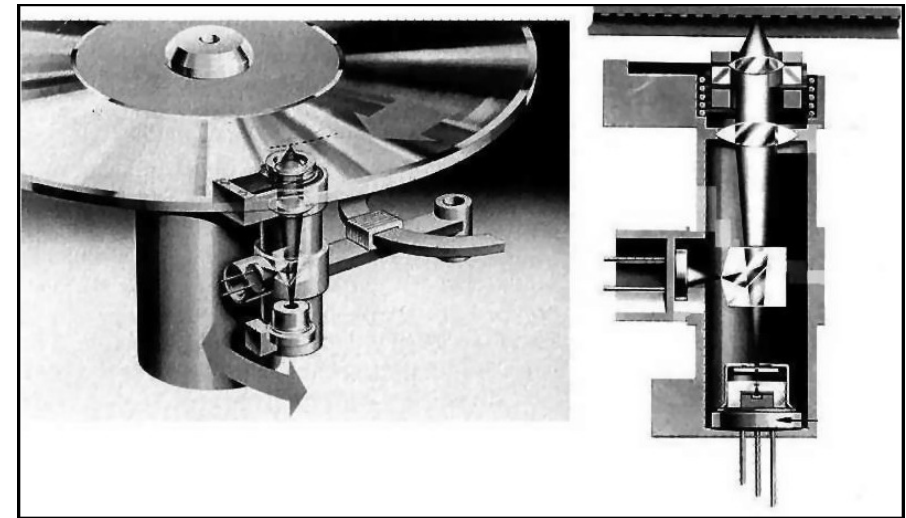
Daher ist die CD auf dieser Seite **leicht zu beschädigen**, z. B. Beschreiben mit Kugelschreiber



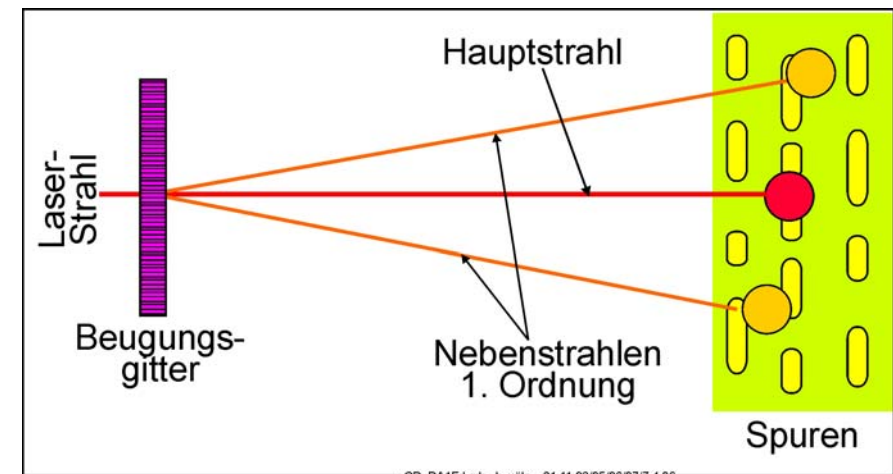
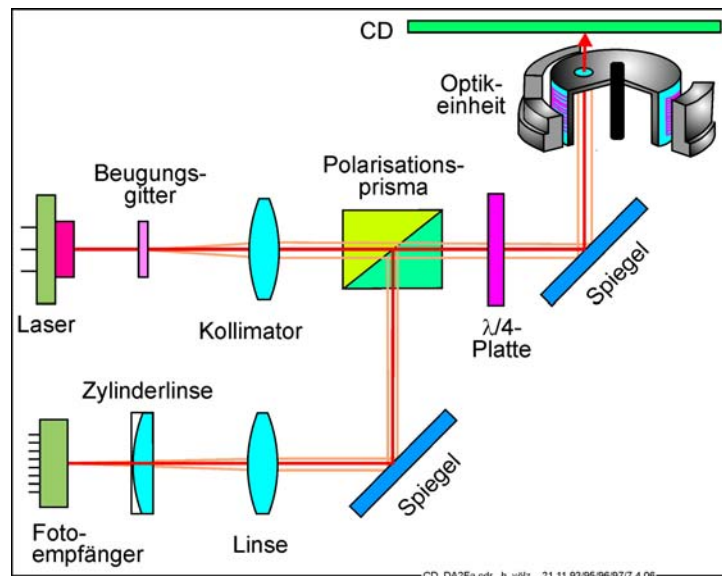
Optisches Gesamt-System

Der (historische) Standardaufbau des optischen Systems ist verändert gegenüber Laserdisk
Er besteht aus folgenden Komponenten:

1. **Halbleiter-Laser** für ≈ 780 nm mit wenigen mW
2. **Beugungsgitter** zur Erzeugung der beiden Nebenstrahlen für die Spurführung
3. **Kollimator** zur Aufweitung (geringe Energiedichte, Prima) + Parallelisierung Laserstrahl = umgekehrtes KEPLERSches Fernrohr
4. **Polarisationsprisma** zur Erzeugung von linear polarisiertem Licht
5. $\lambda/4$ -Platte: Umwandlung zwischen linear $\leftrightarrow$ zirkular polarisiertem Licht
6. **1. feststehender Spiegel** zur Umlenkung der Strahlen von waagrecht nach senkrecht
7. **Eigentliche Optik-Einheit** mit Linse und Aktuator (s. u.)
8. **2. feststehender Spiegel** zur Umlenkung der Strahlen von senkrecht nach waagrecht
9. **Linse** zur Fokussierung der Strahlen auf den Foto-Empfänger
10. **Zylinder-Linse** als Hilfsmittel zur Fokussierung des Strahle auf die CD
11. **Fotoempfänger** mit 6 Sensoren (s. u.)



Historischer Aufbau



Optik-Einheit

besteht aus 3 Komponenten

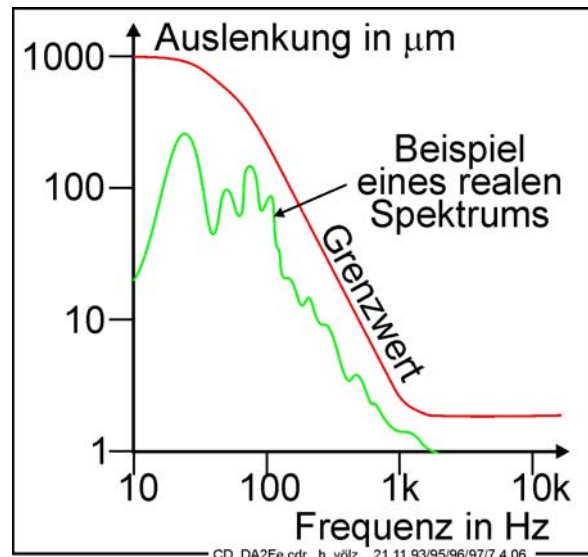
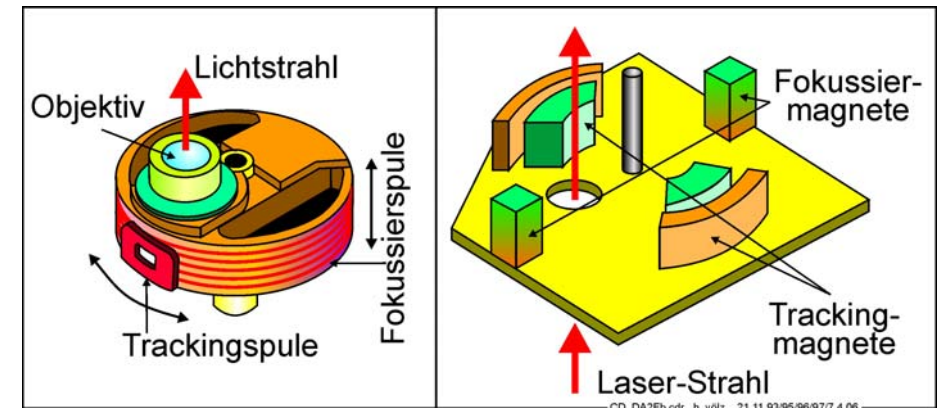
1. **Objektiv** (Hauptlinse) zur Fokussierung der Laserstrahlen auf die CD-Oberfläche (s. u.)
2. **Aktuator** zur schnellen Nachregelung der Fokussierung
3. **Aktuator** zur schnellen Nachregelung der Spurlage (tracking)

Zu 2. **Schärfentiefe** der Linse liegt bei $\pm 4 \mu\text{m}$,
 der typische **Höhenschlag** der Platte $\leq 0,5 \text{ mm}$, ist dagegen sehr groß
 Hinzu kommt noch Toleranz der **Plattendicke** $\pm 10 \mu\text{m}$
 $\Rightarrow$ sehr schnelle Nachregelung der Schärfen-Ebene erforderlich

Zu 3. **Spurführung** muss auf $\leq \frac{1}{4}$ der Pit-Breite $\approx 100 \text{ nm}$ genau sein
Exzentrizität einer Platte liegt bei $\pm 50 \mu\text{m} \approx \pm 30$ Spuren
 Hinzu kommen **Toleranzen** für das Mittelloch der CD + der Fassung im Gerät

Die Nachregelungen erfordern Frequenzen bis $\approx 1 \text{ kHz}$

Hätte die CD maßstabsgerecht $\varnothing = 120 \text{ m}$, Dicke = $1,2 \text{ m}$,
 müssten alle Abweichungen $\leq 1 \text{ mm}$ sein



Hauptlinse

Typischer **Abstand** zur CD-Oberfläche $\approx 1,5 \text{ mm}$

Apertur = $0,45$ bewirkt sie eine konvergente Öffnungswinkel $2 \times 27^\circ$

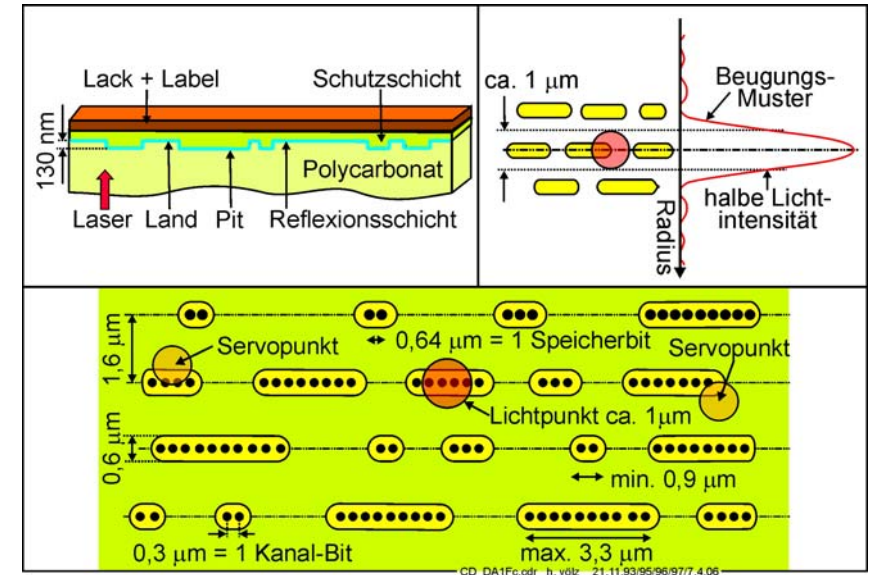
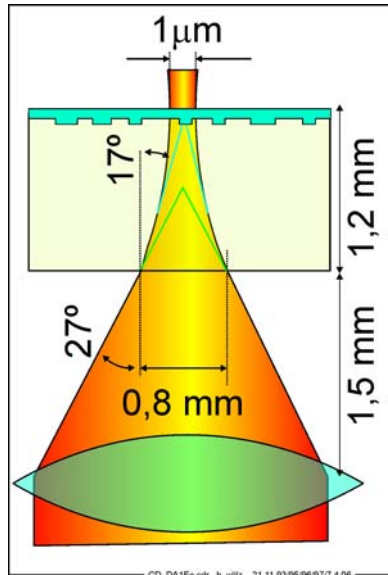
Laser-Fleck auf **CD-Oberflächen** beträgt $\varnothing \approx 0,8 \text{ mm}$

Kleinere Fehler, wie z.B. **Staub und Fingerabdrücke**, werden so unwirksam

Brechungsindex des **Polycarbonat** senkt **Konvergenz** auf $2 \times 17^\circ$

Durch Beugungen tritt in der Pit-Land-Ebene eine typische, periodische Intensitätsverteilung auf

Mit dem üblichen Intensitätswert von $\frac{1}{2}$ beträgt die **Taille des Lichtstrahls** $\approx 1 \mu\text{m} \approx 1,5\text{-mal Pit-Breite}$



Fokussierung zum Foto-Empfänger

Reflektierte Strahlen müssen auf einen Fotosensor zur Auswertung abgebildet werden

Erfolgt durch eine „übliche“ und eine **Zylinder-Linse**

besitzt absichtlich extrem starken **Astigmatismus**

(griechisch **stigma** Stich, Öffnung; **astigma** nicht punktförmig)

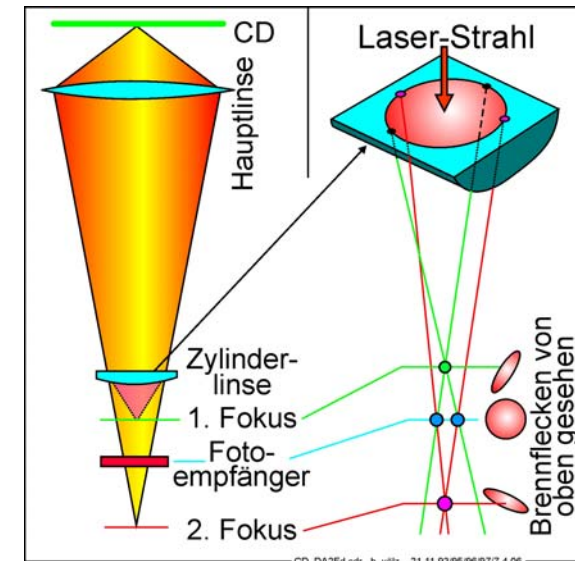
So entstehen **zwei Brennpunkte, -Ebenen** in senkrecht zueinander stehenden Richtungen

Der **Fotoempfänger** liegt in der Mitte zwischen den beiden Brennebenen.

Bei korrekter Fokussierung ergänzen sich beide Brenntiefen zu einem Kreis

Bei mangelhafter Fokussierung, wird daraus eine $\pm 45^\circ$ geneigte Ellipse mit, je nach zu nah oder zu fern

In den beiden Brennebenen treten dagegen senkrecht zueinander stehende Ellipsen auf



Fotoempfänger und Signalverarbeitung

Der Fotoempfänger besteht aus **6 Sensoren**

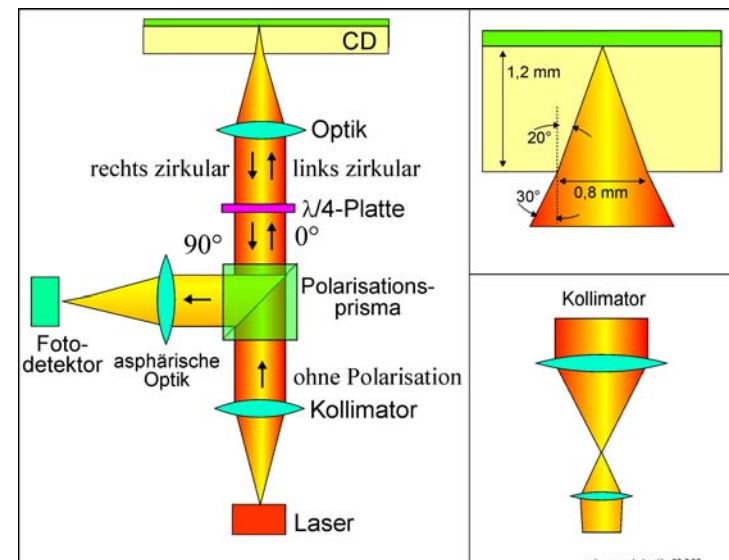
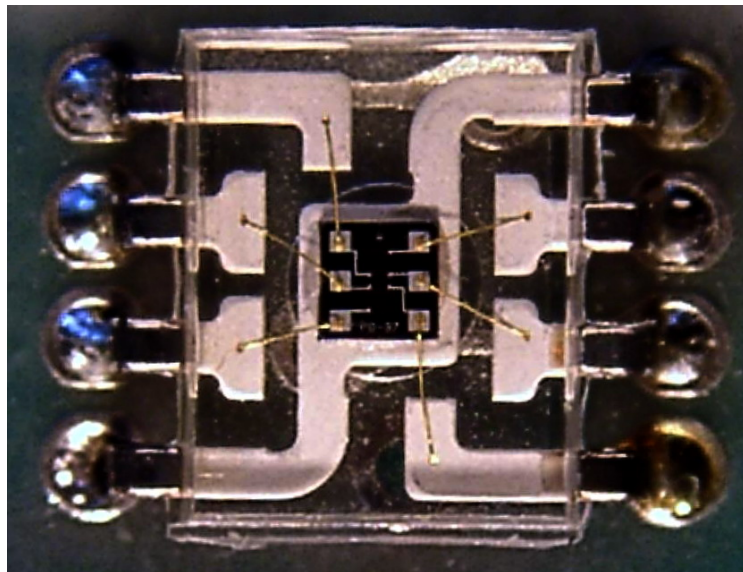
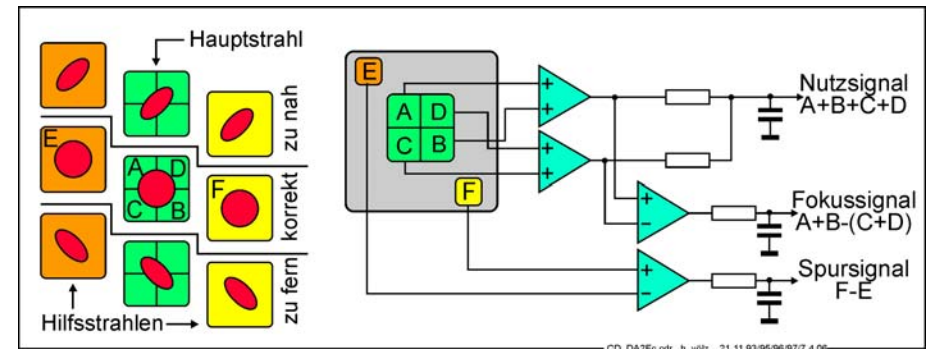
Im Mittelfeld sind 4 Sensoren (A bis D) für den Hauptstrahl

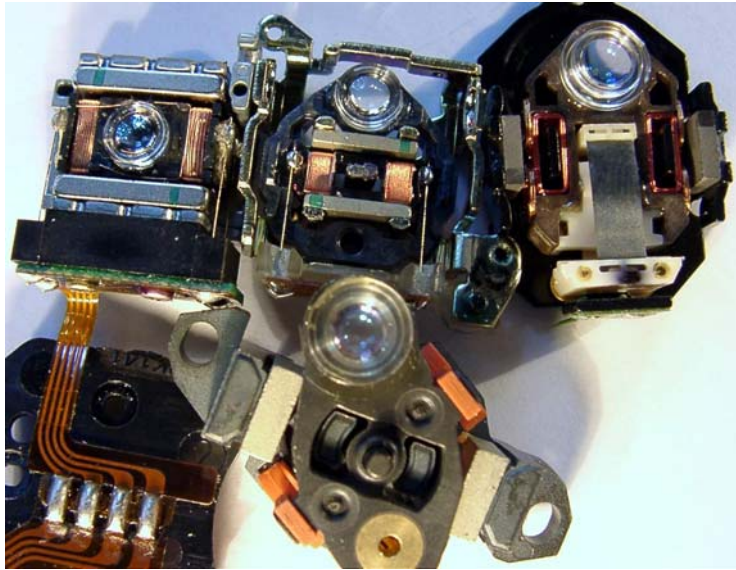
Seitlich je einer für die beiden Nebenstrahlen E und F

Je nach Fokussierung und Spurbewegung treten an den Empfängerflächen unterschiedlich große Signale auf

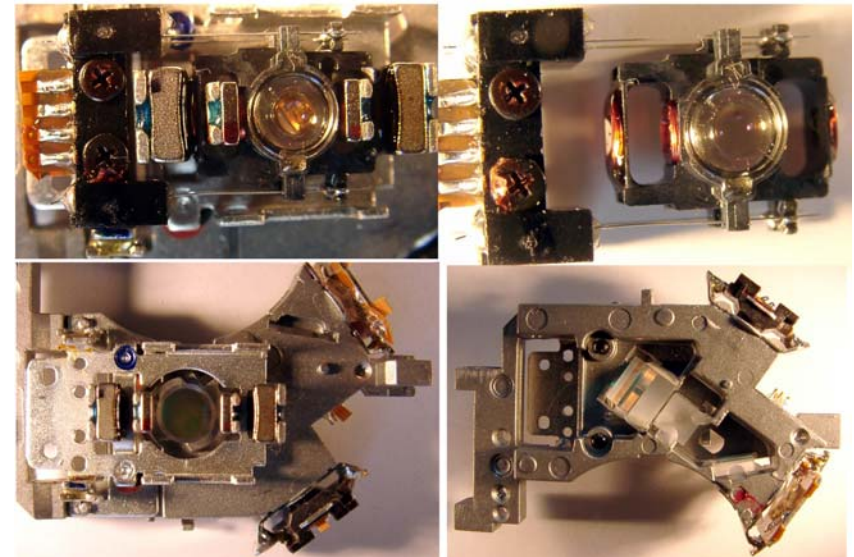
Durch eine elektronische Schaltung können so **3 Signale** abgeleitet werden

- **Nutz-Signal** ist die Summe der Spannungen von den vier mittleren Sensoren (A bis D)
- **Fokussierungs-Signal** entsteht mittels Summen-Differenz-Bildung gemäß $A + B - (C + D)$
- **Spurnachführungs-Signal** ergibt die Differenz von $F - E$

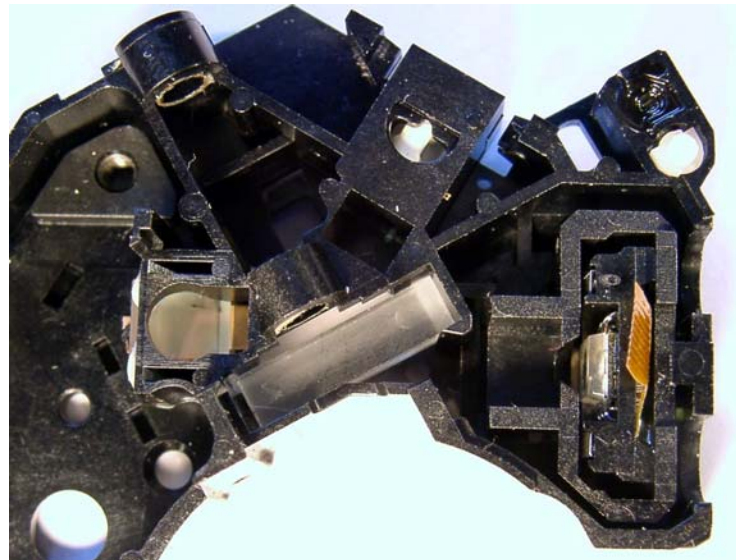




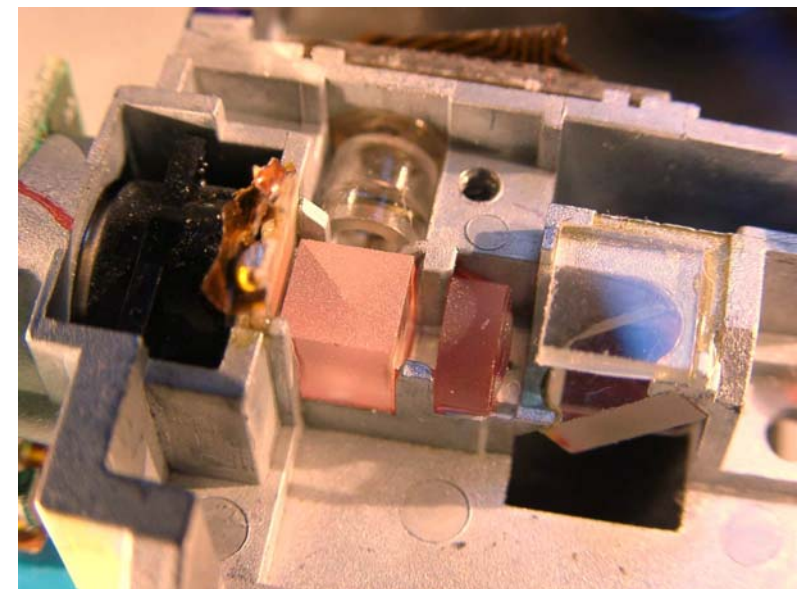
CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 49 von 277



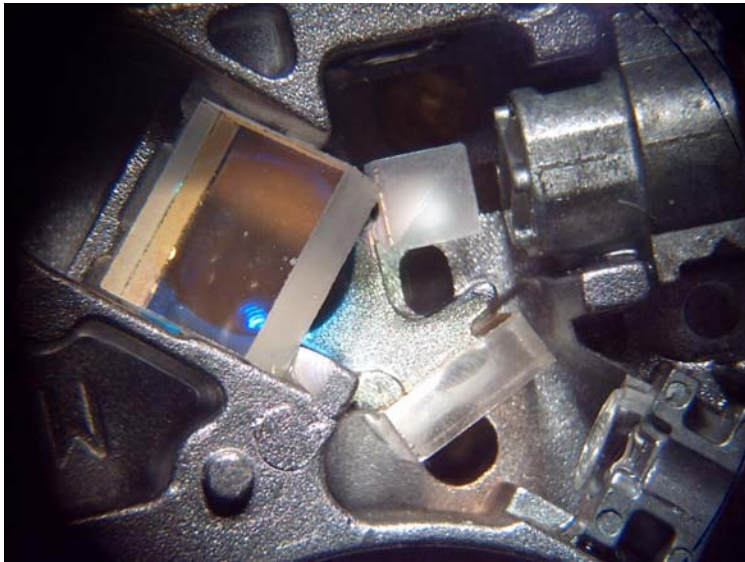
CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 50 von 277



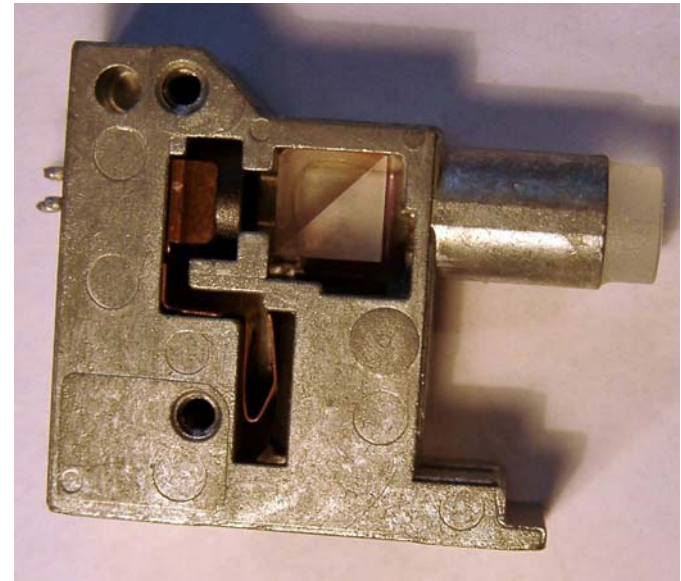
CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 51 von 277



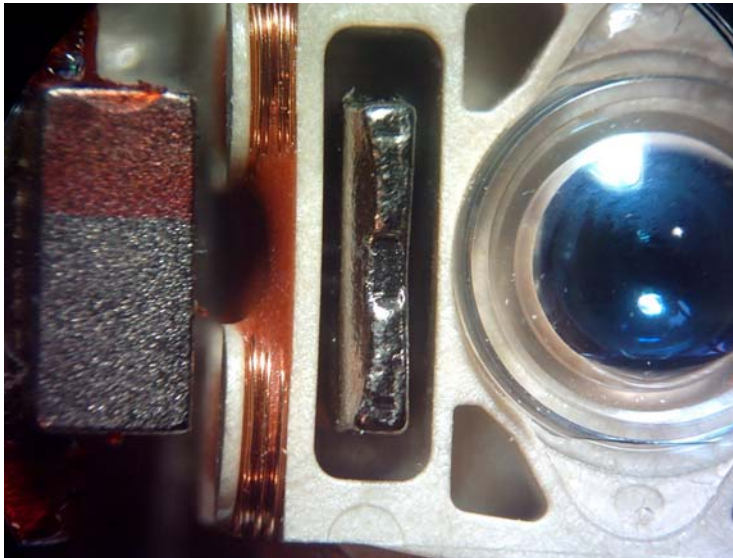
CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 52 von 277



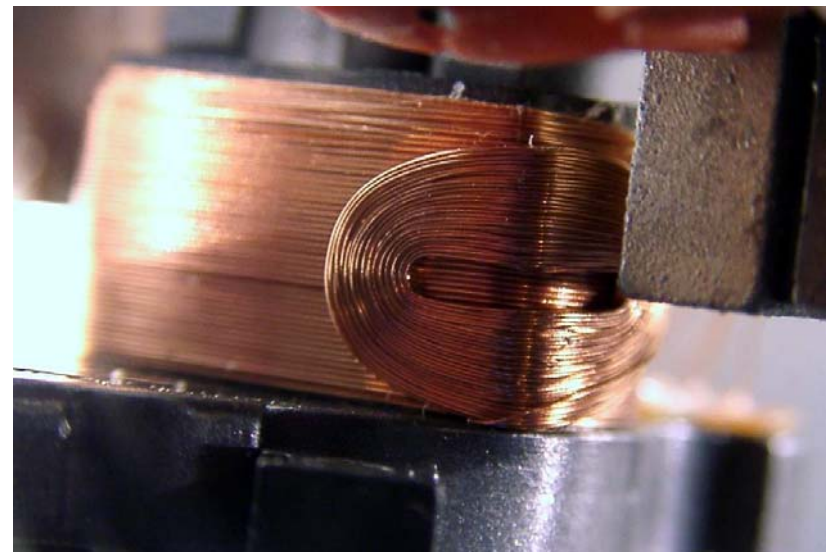
CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 53 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 54 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 55 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 56 von 277

Problem Zugriffzeit

Das **vollständige optische System** muss **in seiner Gesamtheit bewegt** werden
Das kann (ähnlich der Festplatte) **rotatorisch** oder **linear** erfolgen
Es muss realisieren: **Zugriff** auf die gewünschte Spur, **Haltung** der Spur und **Schafstellung** des Laserflecks
Trotz zusätzlicher Bewegung des Objektivs (s. o.) sind wegen der erheblichen Masse *m* von einigen g aufwändige elektromechanische, elektronische Komponenten erforderlich
Für die Zugriffszeit *t* auf ausgewählte Daten mit Spurbstand *x* ist dann erhebliche Energie *E* erforderlich

$$t = \sqrt{\frac{x \cdot m}{E}} \text{ .}$$

Trotz ständiger Verkleinerung von Masse sind bis heute Werte **≈100 ms** kaum erreichbar, ursprünglich ≈ 1 s
Wirkt sich jedoch meist wenig aus: Bei Audio und Video liegt ein **konstanter Datenfluss (stream)** vor

Vergleich: Festplatte ≈ 10 ms, Disketten ≈ 100 bis 400 ms

Herstellung der CD

Fertigung in drei Prozessstufen

- 1. **Premastering**
- 2. **Mastering**
- 3. **Serienfertigung** = Duplikation = Replikation

Mastering und die Duplikation müssen unter sehr guten **Reinraumbedingungen** ablaufen ≈ Halbleiterfertigung

Getrennte Verantwortungen

- **Auftraggeber** für **Inhalt der Daten**, muss Presswerk u.a. bestätigen, alle urheberrechtlichen Bedingungen sind erfüllt übergibt die Daten auf einem Datenträger R- bzw. RW-Medium oder DLT-Bänder
- **Presswerk** für Einhaltung der **technischen Standards** und **solide Produktion**

Premastering

Rohdaten ⇒ spezielle **Datenstruktur der CD**, erfolgt heute meist bereits beim Auftraggeber
Verlangt **Einhaltung von Standards**, wie Dateinamen, Verzeichnistiefe usw.
Einfügen EDC (error detection code), ECC (error correction code), Merge-Bits, Spreizen, Time-Code, TOC (table of content)
Endprodukt eine Datei = „**Spiegel**“ = englisch „mirror“: *.iso, *.cue oder *.nrg
Erfordert erheblichen **Rechenaufwand**, dauerte in den 80er Jahren viele Stunden, oft über Nacht gerechnet
Premastering **notwendig**, damit beim späteren Laser-Schreiben keine zeitlichen Verzögerungen auftreten (s.u.)

Kosten einer typischen CD-DA

Gültig für 2001, Gesamtwert ≈35 DM (leicht geändert c't 3/00, S. 127)
In Vertriebsmarge ≈5 DM für Lager und Transport enthalten. 1 DM ≈ 0,50 €

Was	DM
CD-Herstellung	2,00
Vertriebsmarge	7,00
Händlermarge	9,00
Label	2,10
Werbung	5,00
Musiker	2,80
Komponist (GEMA)	2,10
MWST (16 %)	4,80

Aufbau der CD-Datei

Festgelegt ISO 9660

Kleinste Dateneinheit = Kanal-Bit (Channel Bit), logischer Wert durch Übergang Land $\leftrightarrow$ Pit; NRZ-I-Code
Audiosignale = **Stereo 16 Bit Tiefe** = 32 Bit je Sample, Abtastrate = 44,1 kHz

Small-Frames (englisch Rahmen, Gestell) = **6 Sample**: $6 \times 32 \text{ Bit} = 192 \text{ Bit} \Rightarrow 24 \times 8\text{-Bit-Wörter} = \frac{1}{75} \text{ Sekunde}$

Daten werden umsortiert auf CD verteilt = **Signal-Spreizung**

Zusammenhängende Mehr-Bit-Fehler (Kratzer, Fingerabdrücke usw.) $\Rightarrow$ leichter zu korrigierende 1-Bit-Fehler

8-Bit-Wörter wegen Signalmängel mittels **EFM** (eight to fourteen modulation) zu 14 Kanal-Bit

Tabellentechnik hilft vor allem bei Taktgewinnung, Lauflänge 3 bis 11

Es werden **3 Koppelbit** angehängt, um den Gleich-Anteil des Signals auszugleichen (DSV = digital sum value)

Vollständiges Frame besteht aus $98 \text{ Small-Frames} \times \frac{192}{8} = 2352 \text{ Byte}$

Hinzugefügt **784 Byte** (2 Layer zu 392) für **Fehlererkennung und -korrektur** + **98 Byte** für **Kontrollzwecke**

Es sind 250 Fehler je Sektor korrigierbar, typische Fehlerrate 10^{-9}

Physikalischer Sektor = $2352 + 784 + 98 = 3234 \text{ Byte}$

Pro Sekunde 75 Sektoren, = 176400 Byte/s bzw. 172 KByte/s

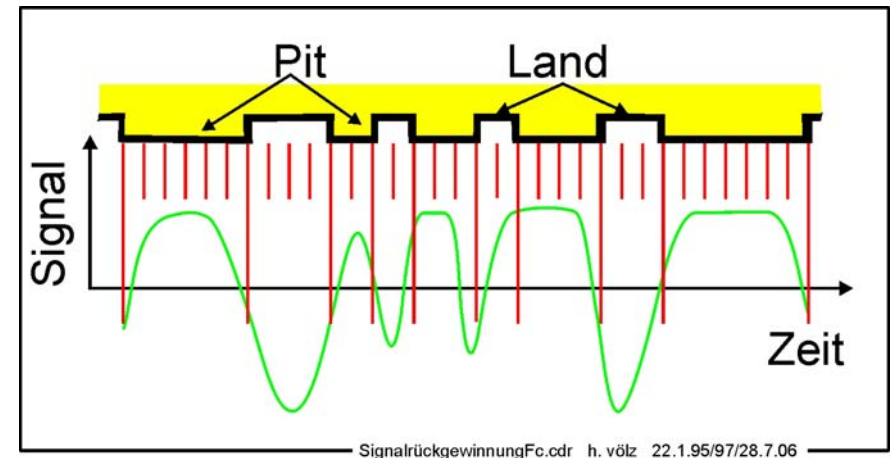
Der erste Bereich heißt **lead in**, enthält **Inhaltsverzeichnis** TOD (table of content, to lead führen, leiten)

Es können maximal **99 Musiktitel** (1 bis 99 aufsteigend gezählt) untergebracht werden

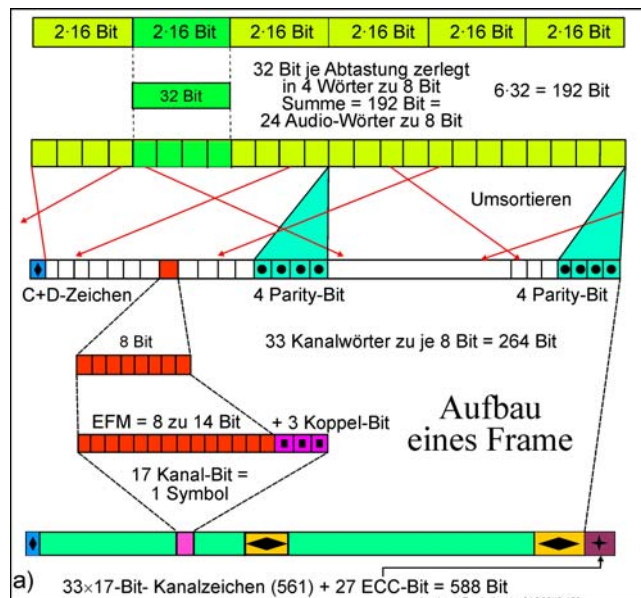
Die Spur endet mit dem **lead out**

Auslesen erfolgt über **elektronischen Puffer**, der immer zu 50 % gefüllt sein soll und quartzgesteuert ist

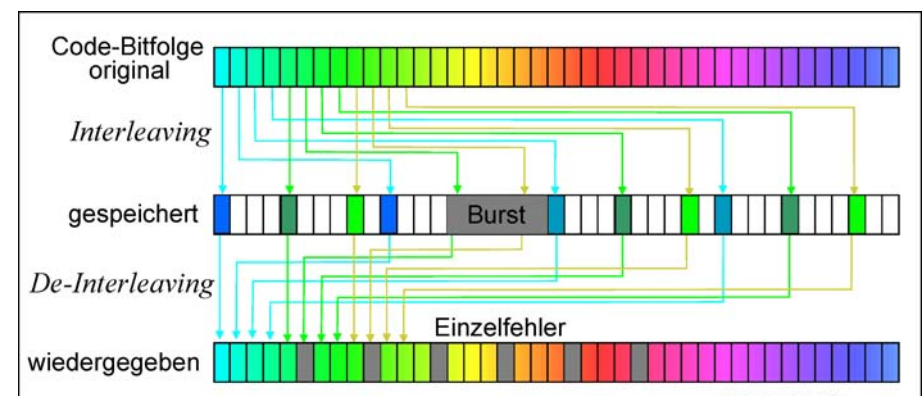
CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 61 von 277



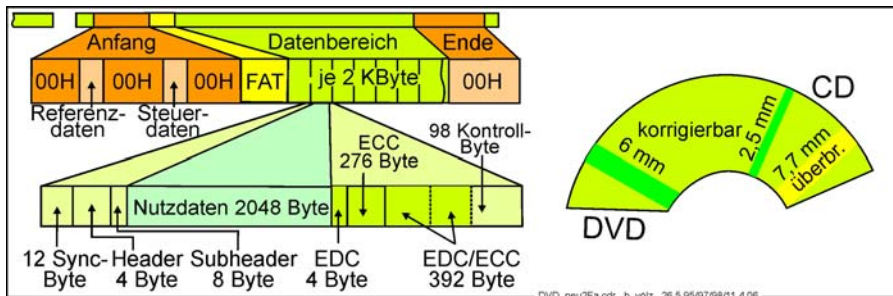
CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 62 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 63 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 64 von 277



Tabellenausschnitt der EFM-Codierung

Signalbit	Kanalbit
00000000	01001000100000
00000001	10000100000000
00000010	10010000100000
00000011	10001000100000
00000100	01000100000000
...	...
11111011	01001000010010
11111100	01000000010010
11111101	00001000010010
11111110	00100000010010
11111111	00100000010010

Mastering 1 ⇒ Glasmaster

Ausgangsmaterial; sehr **hochwertige Spezialglasscheibe** ≈5 mm Dicke, mehrfach feinpoliert ⇒ Unebenheit <1 µm

Mittels einer **Düse** wird einseitig eine definierte Menge **Foto-Resist aufgebracht** (englisch **to resist** standhalten, widerstehen) = organisches Vielstoffsystem ≈ Halbleitertechnik

Durch **Schleudern** (schnelles Rotieren) gleichmäßig dünn auf der Glasplatte verteilt

Beschichtete Glasplatte in **LBR** (laser beam recorder), dort auf massiver Stahlplatte befestigt

Mittels **geregelten Antrieb** eng toleriert in **gleichmäßige Rotation** versetzt

LBR enthält einen (Halbleiter-) **UV-Laser ≈20 mW**, früher HeCd mit 422 nm

Lichtstrahl auf Glasplatte umgelenkt, sehr genau reproduzierbar radial verschoben

Trotz geringer Toleranz der Glasplatte muss **Fokus ständig nachgeregelt** werden

Einhaltung Drehzahl <10⁻³, Radius <1 µm bei 12 cm Ø (entspricht <1 mm bei 12 m)

Schutz gegen **Erschütterungen** notwendig: gesamter LBR luftgelagert auf massiven Betonfundament

Nur so kann genau definierte Spiralspur auf der Glasplatte von innen nach außen erzeugt werden

Entsprechend den Bit der Datei wird der **Laser ein-ausgeschaltet**

Die lokale **UV-Belichtung** bewirkt im Resist chemische Reaktionen, **Löslichkeit wird geändert**

Geeignete **Lösungsmittel** waschen „geschriebenen“ Bits heraus

Es gibt auch Negativlacke, bei denen nur die Pits stehen bleiben

Mastering 2 ⇒ Preßmatrizen herstellen

Strukturen auf Glasmater **chemisch härten**

Struktur **elektrisch leitend machen** ⇒ dünne Silberschicht (um 50 nm) aufdampfen / aufputtern

Oberfläche **elektrolytisch** mit ≈0,3 mm starke **Ni-Schicht** verstärken ⇒ vom Glasmaster **abgetrennen**

Nickelabzug = „Negativ“ späterer CD = Bumps (englisch **to bump** stoßen, rütteln, prallen; Erhöhungen) statt Pits

Wird oft „**Vater**“ genannt, könnte zum Pressen verwendet werden

Wird nach Säubern zur Kontrolle optisch abgespielt

Ermöglicht nur einige 1000 Pressungen, es werden aber Millionen benötigt

Daher zunächst einige Hundert „positive“ Kopien, **Mütter** genannt

Von ihnen je einige Hundert „negative“ Kopien auch **Söhne** genannt

= **stamper**, Pressmatrizen,, (**to stamp** stempeln, prägen); mit ihnen erfolgen die Pressungen

Eine Generationsfolge weniger ist mit negativ arbeitenden Foto-Resist (Negativlack) möglich

Kosten für das Mastering betragen jetzt nur noch 200 bis 3 000 €

Ab etwa 2 000 produzierte CD (DVD usw.) werden sie meist nicht mehr gesondert in Rechnung gestellt

Bemerkung: Die **Begriffe Vater, Mutter und Sohn** als Generationsfolge wurden von EMILE BERLINER (1851 - 1929) für die Schallplatte eingeführt. Sie sind allen feministischen und ähnlichen Bewegungen zum Trotz bis heute als Fachbegriffe erhalten geblieben. Viele Prozesse der CD-Fertigung entsprechen jenen der Schallplatte

Serienanfertigung = Duplikation = Replikation

1. Grundmaterial
2. Pressung
3. Vakuumbedampfung
4. Schutzlack
5. Label
6. Konfektionierung

Grundmaterial = Polycarbonat

genauer ein Bisphenol-A-Polycarbonat (BPA-PC)

chemischen Struktur $[-CO_3-CH_6-(CH_3)_2-C_6H_4-]_n$. Darin C_6H_4 -Gruppen = Phenyl-Ringe

Die Glasübergangs- und Schmelztemperatur sind in gewissen Grenzen einstellbar

Glasartig erstarrt (amorph) besitzt Polycarbonat hervorragende optische Homogenität
gute Schlagzähigkeit und Duktilität

Um Verwerfungen nach der Pressung zu minimieren

Notwendig: geringe Wärmeempfindlichkeit und Wasseraufnahme

Vielfach wird die spezielle Variante **Makrolon** benutzt

Pressung

Erfolgt in **Spritzgussmaschine** (Ausnahmen s. u.)

Beginnt mit Polycarbonat-**Granulat**, wird bei $\approx 320^\circ\text{C}$ **geschmolzen** und in die Maschine **gespritzt**

Pressmatrize (Stamper) mit rund **15 MPa** (50 t, 150 bar) in **flüssige Masse gedrückt**

Wichtig ist richtige Adhäsion an der Grenzfläche Schmelze $\Leftrightarrow$ Stamper

Spannungen und ungleichmäßige Belastungen müssen gering bleiben
sonst störende Gangunterschiede und Doppelbrechungen

Die **erstarrte**, noch $\approx 100^\circ\text{C}$ heiße Polycarbonat-Scheibe wird **von Robotern entnommen**

Pressungen erfolgen im **3-Sekunden-Takt**

Erreichbare **Tagesproduktion** einer Pressmaschine beträgt **einige Zehntausend** CD

Weiterbearbeitung

Nach Abkühlung werden Scheiben auf der Pit-Seite mit $\approx 50\text{ nm}$ Al-Schicht – selten Cu, Au, Ag versehen

Erfolgt **Vakuumbedampfung** oder **Kathodenzerstäubung** (Sputtern)

Schutzlack in Mitte aufgetragen, mittels Rotation ($\approx 5000\text{ UpM}$) gleichmäßig verteilt „abgeschleudert“ $5 - 10\text{ }\mu\text{m}$

UV-Strahlung **härtet** der Acryllack in 2 Sekunden aus, notwendig, um Presstakt zu folgen

Nach Laser-Justierung auf die Spuren wird **Mittelloch** präzise **herausgestanzt**

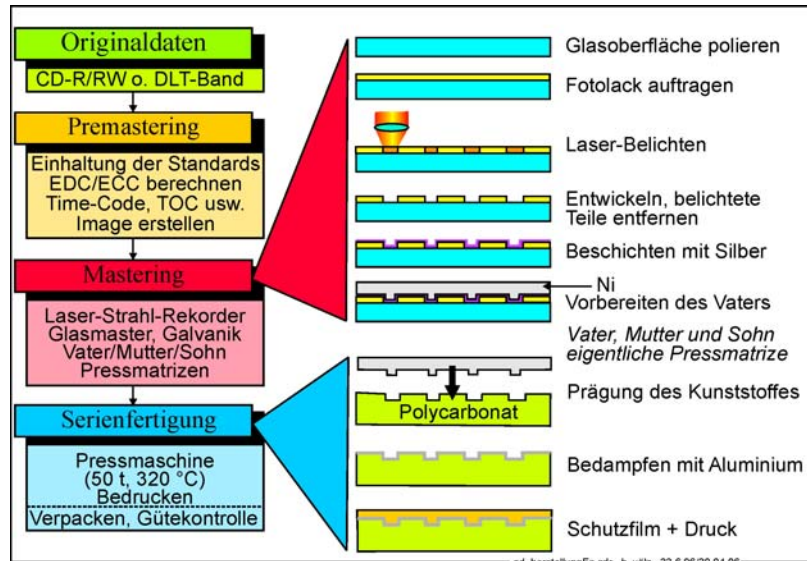
Auf Schutzlack wird **Etikett, Label gedruckt** (Sieb- oder Offsetdruck mit bis zu 6 Farben)

Es gibt sogar Duftlacke für „**Duft-CD**“

Die fertigen CD werden zunächst auf **Spindeln gesammelt** und später **konfektioniert**

Das **Presswerk** ist immer am Innenring der CD erkennbar + weitere Informationen, teilweise Strich-Code
Gütekontrolle meist nur in Stichproben, betrifft vor allem die letzten Stücke eines Stampers

Höhenschlag $\leq 0,5\text{ mm}$ (Winkel $\leq 0,6^\circ$), Mittellochtoleranz $\leq \pm 50\text{ }\mu\text{m}$, sind reichlich 60 Spuren



Pflege

Der Die Metallschicht und der Lack auf der Oberseite Label- Oberseite der CD sind **sehr dünn**
Sie sind daher leicht zu verletzen oder gar zu zerstören, **Kratzer, Beschriften usw.** (Kugelschreiben)

Säubern der CD mit **weichen fusselfreien Tuch** (Brillenputztuch, Mikrofaser) vom Mittelloch nach Außen
Es besteht ein deutlicher Unterschied bzgl. **radialer** Spurrichtung und **senkrecht dazu**
Lange **Kratzer in Spurrichtung** kann Fehlerkorrektur nicht mehr verkraften

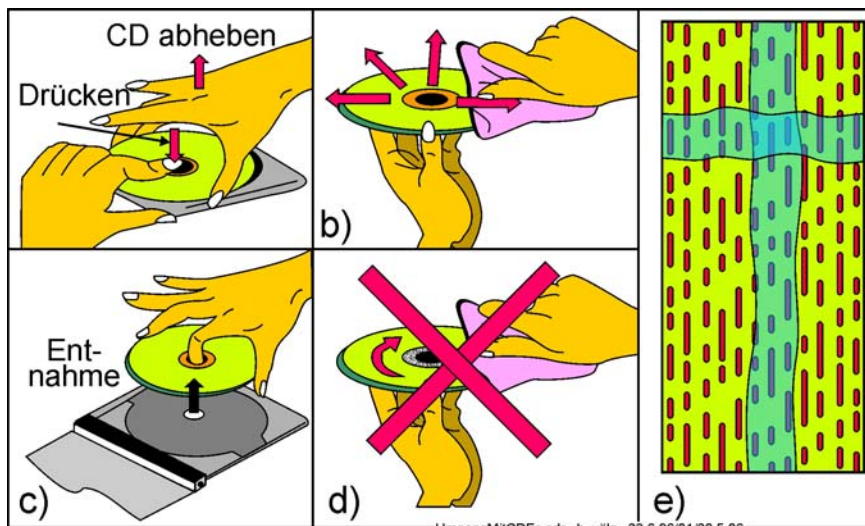
Bei stärkerer Verschmutzung darf eine milde Seifenlauge (flüssiges Handwaschmittel) benutzt werden
Gefährlich auch **Lösungsmittel**, wie Alkohol, Spiritus oder Benzin, vorteilhaft destilliertes Wasser

Ähnlich gefährlich **Aufkleber**

Anfangszeit der CD hat eine Fa. **Druckfarbe** verwendet, die Metallisierung abgriff => Ausfall tausender CD
Tritt **heute nicht mehr** auf, gepresste CD halten **über hundert Jahre** die Daten
Aachener Fa. CeQuadrat: auf sechsstelligen Umsatzzahlen kommen nicht mehr als 20 Reklamationen

Günstige **Lagerung** im **Jewel-Case** und senkrecht wie Bücher, waagrecht können Verbiegungen auftreten
Pappe- und **Papierhüllen** ungünstig, Papierfasern sind hart und zerkratzen die Oberfläche

Kunststoff-Hüllen führen leicht zu elektrischen Aufladungen, ziehen verstärkt Staub an
Ungeschützte Stapeln auf **Spindeln** auch nicht vorteilhaft (ursprünglich Caddy, s. o.)



Vereinfachte Systeme 1

Klassische Methode der **Spurnachführung und Scharfeinstellung** ist zugleich aufwendigste und präziseste
Ist außerdem vollständig **patentiert**. => **viele** andere, meist **einfachere Verfahren** entstanden
Weiterentwicklung senkte **Kosten** und auch **Masse**. Hier nur einige Beispiele
ausführlicher und mehr: Siegmund, H.: DVD, MD und CD in der Praxis. Verlag Technik, Berlin 2001

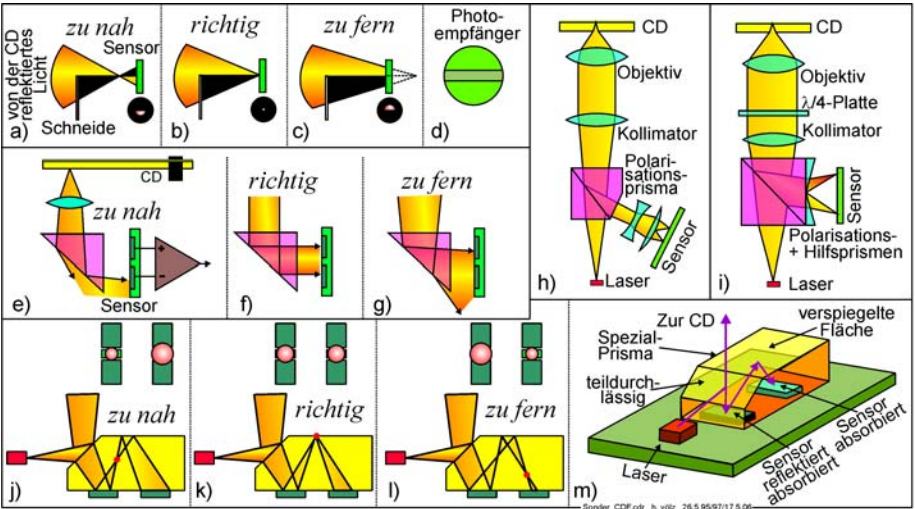
Für Fokussierung schattet eine **Schneide** genau eine Hälfte des Strahlenbündels ab
Scharf gestellt (b) befindet sie sich im Brennpunkt und bleibt daher nahezu wirkungslos
Zu nah (a) oder zu fern (c) wird obere oder untere Hälfte des Lichtbündels entfernt
Für die Auswertung genügt einfacher Doppelsensor

Nutzung der **Totalreflexion** e bis g (nur bis kritischen Winkel)
andere Winkel passiert das Licht ohne Reflexion das Prisma
Scharf gestellt gelangt das nahezu parallele Lichtbündel gleichmäßig auf beide Fotoempfänger
Sonst Bündel konvergent oder. Divergent, Lichts wird teilweise nicht mehr reflektiert
Ein Sensor erhält weniger, vor allem einseitig Licht

Vereinfachte Systeme 2

FOP (flat optical pick up, h) halbdurchlässiges Spiegelprisma, aus unterschiedlichen Glassorten
 Kittstelle = dünne aufgedampfte Aluminiumschicht, Licht wird etwa je zur Hälfte durchgelassen bzw. reflektiert
 Trennung des vor- und zurücklaufenden Strahls auch ohne $\lambda/4$ -Platte möglich
 leicht abgewandelt (j) zusätzlich angekittete Hilfsprismen weitere Strahlteilung zum Fotoempfänger
 mehrere Sensorflächen trennen Signale zur Spurnachführung und Scharfeinstellung

TTP (top push pull) nahezu gesamte Optik auf einem Chip, benutzt ein spezielles Prisma
 auf dessen geneigte, teildurchlässige Seite strahlt der Laser zur CD
 zurück kommend trifft es über die Fläche auf dreigeteilten Sensor, absorbiert $\approx 50\%$, reflektiert anderen Teil
 Restlicher reflektierter Teil gelangt zum zweiten dreigeteilten Sensor



Sektorformate

Fortschritt der CD für klassische Musik:
 ganze Sinfonien, Kammerkonzerte, Akte von Opern ohne Unterbrechung
 Dennoch war dem Management ein Fehler unterlaufen: (9. von Beethoven Bezug)
 Jede Seite der Langspielplatte (LP) ≈ 37 Min. $\Rightarrow 74$ Min. $\Leftrightarrow$ CD nur 63 Min.

Nachträglich unter **Ausnutzung aller Toleranzen**
 Korrektur der Norm $\Rightarrow 75$ Min.
 Geschwindigkeit etwas verringert (kleinere Pits)
 Nutzung Teil des äußeren, 4 mm breiten Auslaufbereiches (lead out)

Benennung als CD-DA (compact disc digital audio)

Vergleich alte neue Norm

	60 Minuten	75 Minuten
Geschwindigkeit	1,4 m/s	1,2 m/s
Drehzahl innen	568 UpM	486 UpM
Drehzahl außen	228 UpM	196 UpM
maximale Pit-Länge	3,56 μm	3,05 μm
minimale Pit-Länge	0,972 μm	0,833 μm
Speicherkapazität	554 MByte	650 MByte

Erfolg der Audio-CD

CD gilt als größter Erfolg der elektronischen Konsumgüterbranche seit den 30er Jahren

Bereits 1984 wurden 40 000 Geräte produziert, 1985 > 100 000

1984 wenige CD, $\approx 10^9$ alte Schwarzplatten, $\approx 5 \cdot 10^8$ bespielte Tonband-Kassetten

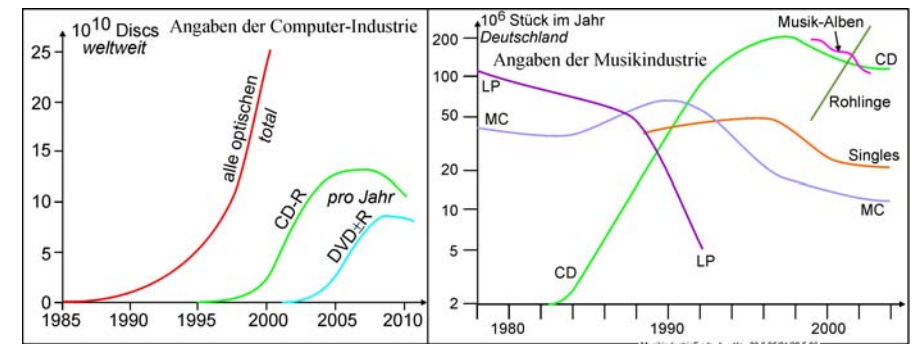
1985 präsentiert Sony ersten tragbaren CD-Player: 500 g, kaum größer als die CD-DA.

1987 $\approx 3 \cdot 10^7$ CD-Player und $> 5 \cdot 10^8$ CD, Total weiterhin $2 \cdot 10^9$ bespielte Tonträger

1988 erste 80-mm-CD als **CD-EB** bzw. **Mini-Compact Disc** (Mini-CD): Spieldauer ≤ 20 Minuten (single)

Ab etwa 1992 überwiegt deutlich Anzahl der CD

Seit etwa 2000 nimmt CD-Produktion ab $\Rightarrow$ MP3 + Internet



Sonderformen der CD

Infolge der großen Verbreitung wird Herstellung der CD sehr preiswert
So werden spezielle CD möglich, u. a. Single-CD (8 cm) in **Postkarten**-Variante

1995 erfindet der damals 26-jährigen Mario Koss (Student TU-Berlin) die **Shape-CD = Form-CD**

Zunächst schneidet er eine CD mit der Laubsäge auf eine besondere Form

Da kein Presswerk die Idee übernehmen will, entwickelt er eine eigene Technologie

Meldet dafür Patente an und investiert 30 000 Mark in den Patentanwalt

Dann lässt er die Maschine bauen, so groß ist wie zwei Waschmaschinen

Am 1. April 1995 beginnt Produktion: Presseberichte, Auftritte in Talkshows, Kunden kommen wie von selbst

Ein halbes Jahr später macht er 15 Millionen Mark Umsatz, heute wird die Shape-CD weltweit produziert

U. a. **Eintrittskarte** für besondere Konzerte usw.

1996 kreiert er die Chip-Disk, eine eckige CD mit Telefonchip, Magnetstreifen oder Mikrochip

= Visitenkarte mit Speichermöglichkeit: noch erfolgreicher als die Shape-CD

Schließlich verkauft er - weil alles zu groß wird - die Patentrechte der Erfindungen für mehrere Millionen Mark

Andere Variante: **ICON-Disc** = teilbesputtete CD

Reflektierende Al-Schicht wird nur innerhalb einer besonderen Motivmaske aufgedampft

Sieht dann, obwohl rund, wie Shape-CD aus, kann aber nicht wie exzentrische Shape-CD zerplatzen



Daten-CD = CD-ROM

CD-DA: Datenstruktur auf die Speicherung umfangreicher digitaler Audio-Ströme ausgelegt

Für damals war **Speicherkapazität sehr groß** ⇒ daher entstanden viele andere Anwendungen; Zusätze, wie CD-I

Deren **Datenstruktur** musste CD-DA **angepasst** werden ⇒ recht umständliche Lösungen

Nur die CD-DA und CD-ROM sowie die beschreibbaren CD-R und CD-RW fanden große Verbreitung

Viele andere Varianten oft groß angepriesen, z. T. sogar eigene Warenzeichen, sind heute kaum noch vorhanden

1985 Erste CD-ROM enthielt die MARC (**m**achine **r**eadable **c**ataloging)
ab 1965 erfolgende Titel der Library of Congress (Washington)

Zuweilen für alle Varianten Oberbegriffe: **Optodisc** oder **DOR** (**d**igital **o**ptical **r**ecording)

Weiterführung

„**Bunte Bücher**“ (color, rainbow books) Philips und Sony, Farben

betreffen dabei die Umschläge der Bücher bzw. Ordner (s. u.)

Nur wer die Standards erfüllt und einhält, darf die geschützten Warenzeichen benutzen

Einhaltung wird hauptsächlich von Philips/Sony überprüft und überwacht

Lizenz-Gebühr ≈ 0,30 € je hergestelltem Medium fällig: sehr große Stückzahlen = beachtliche Einnahme

rot für CD-DA, *gelb* für CD-ROM = Daten-CD, *orange* für beschreibbare CD und MO

Kaum Bedeutung erlangt: *grün* = CD-i; *weiß* = Video-CD und *blau* = CD-Extra

Nur Teile dieser Standards sind in internationale Normen eingearbeitet

Photo-CD Zusammenarbeit mit Kodak

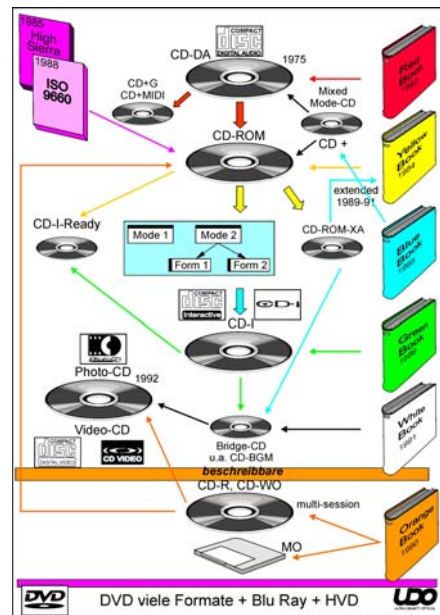
Video/ Karaoke-CD mit JVC (Victor Company of Japan)

Yellow-Book mit Microsoft

kräftige Pfeile
⇒ systematische
Weiterentwicklung

dünne
Querbeziehungen/
Zusammenhänge

2 Pfeile
= Mischformat



Red Book = CD-DA

Ab 1980 ausgearbeitet, 1982 erschienen, betrifft ursprünglich nur die CD = heutige **CD-DA** (digital audio)

Typische Kenndaten s. o.

Grundlage für alle weiteren Standards

Festgelegt sind die 120- und 80-mm-CD sowie MIDI-Anwendungen (**m**usical **i**nstrument **d**igital **i**nterface)

1987 übernahm wesentliche Fakten Norm IEC 908

Spezielle Varianten sind **CD+MIDI** und **CD+G** = enthält Grafiken, meist jedoch nur ein Bild

Yellow Book = CD-ROM

Wesentlich 1985 Treffen von 12 Experten im Hotel *High Sierra Lodge* in Lake Tahoe in Californien
Sie legten weitgehend unabhängig von den CD-Entwicklern das *High Sierra-Format* (proposal) fest
Unterscheidet *zwei level*.

- Level 1 legt u.a. die zulässigen ASCII-Zeichen fest
- Level 2 erlaubt längere Dateinamen.

Die getroffenen Festlegungen führten im April 1988 zur wichtigen Norm **ISO 9660**.

Späteres **Joliet-Format** von Microsoft ist nach Entdecker, Kartographen LOUIS JOLIET (1645 – 1700) benannt
Erlaubt Dateinamen mit 64 Zeichen im Unicode
Jede Joliet-CD enthält zusätzlich das zu ISO-9660 kompatible Dateisystem.

Ab 1984 entstand *yellow Book*

⇒ teilweise ISO 10149, ECMA-130; Speicherkapazität ≤ 700 MByte: ≙ ISO 9660

Mode 1 ≈ ISO 9660, zusätzliche Fehler-Erkennung und -Korrektur (EDC, ECC)
Ersten 2 Sekunden einer CD-ROM sind nicht nutzbar. Erst danach beginnt die Zählung der logischen Sektoren
Mode 2 Erweiterung von ISO 9660, es fehlen die zusätzlichen EDC und ECC, etwas größere Speicherkapazität

Unterschied von Mode 1 ⇔ 2

Mode	Datenrate	60-Minuten-CD	75-Minuten-CD	8-cm-CD-ROM
1	150 KByte/s	552 960 000 (527) Byte	630 720 000 (601) Byte	180 MByte
2	171 KByte/s	681 984 000 (650) Byte	777 888 000 (742) Byte	210 MByte

CD-ROM ⇔ CD-DA 1

CD-ROM hat im Vergleich mit anderen Speichern folgende **Vorteile**:

- kontaktfreie Wiedergabe, daher kein headcrash
- gute Archivierbarkeit und hervorragender Datenschutz durch austauschbares Speichermedium
- äußerst günstiger Bitpreis
- sehr hohe Speicherdichte

Nachteile:

- Aufwändiger Produktionsprozess
- Nur für unveränderliche Daten geeignet
- Spiralspur und massenreiche Optikeinheit bewirken recht lange Zugriffszeiten

CD-ROM ⇔ CD-DA 2

Die CD-ROM hat sich schnell und breit in der Computertechnik etabliert
Bereits 1992 gab es ≈ 3000 CD-ROM-Titel

Verkaufte CD-ROM-Laufwerke

Jahr	1990	1991	1992	1993	1994
Mio. Stück	0,25	1,6	2,9	8	17,4

Für die CD-ROM wurden (zunächst) **CD-Audio-Laufwerke** benutzt
es entfallen dabei:

- DA-Wandlung, einschließlich Antialiasing
- Aufteilung der Signale auf zwei Kanäle
- Spezielle Frame-Struktur

Drehzahlerhöhung bei CD-ROM

Drehzahl der CD-DA ist für „richtige“ **Datenrate** des Audiosignals ausgelegt (CLV)
= gleich bleibende Lineargeschwindigkeit

Bei sehr großen Dateien, u. a. Videos, große Bilder, bringt die **fortlaufende Spur** der CD-ROM zwar Vorteile
Dennoch bremst die Datenrate $\Rightarrow$ Laufwerke mit erhöhter Drehzahl

Lineargeschwindigkeit wird auf x -faches erhöht $\Rightarrow$ **Multispin-Geräte**

Da Laufwerke auch weiterhin Audiodaten wiedergeben, zunächst Entscheidung CD-DA $\Leftrightarrow$ CD-ROM
Maximal 10 000 UpM $\triangleq$ Außenrand $2 \cdot 10^6$ -fache Erdbeschleunigung

- geringste Unwucht führt zum Zerreißen der CD, sie explodiert
- bei R- und RW-Medien wandert Dye usw. zum Außenrand (s.u.)
- hohes Arbeitsgeräusch und beachtliche Lagerbelastung

Für x -fach >10 nur noch zonenweise CLV-Betrieb (Grenze Elektronik)
angegebene x -Werte dann nur für die äußersten Radien gültig

Sonderlösungen für hohe Datenrate

Gleichzeitig mehrere Spuren abtasten

- Laser-, Dioden-Arrays
- Strahlsplitting 7-fach von Kenwood, 52 TrueX und 72 TrueX.

Details zu Kenwood

http://www.kenwoodtech.com/euro/de/72x_atapi.html; download 10.10.2005 ursprünglich Zen-Research

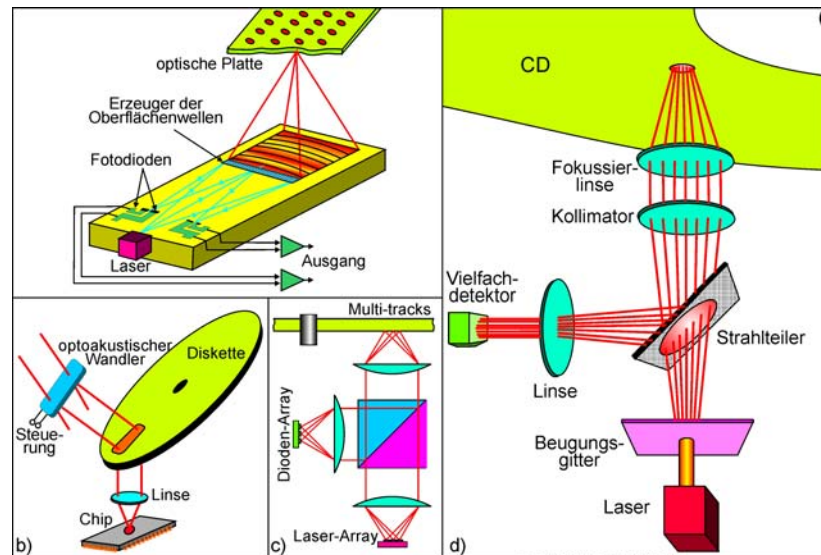
Nach einer Umdrehung wird der Strahl um 6 Spuren seitlich versetzt

Typische Werte und Vergleich mit einem 52 TrueX von Kenwood.

Laufwerk	innerste Spur	äußerste Spur
40X	17	40
48X	19	48
52 TrueX	45 – 52	45 – 52

Andere Lösungen

- bewegliche Lichtleiter
- Lichtablenkung durch mechanisch bewegte Spiegel
- Lichtablenkung mittels Ultraschall OFW (**O**berflächen**w**ellen)



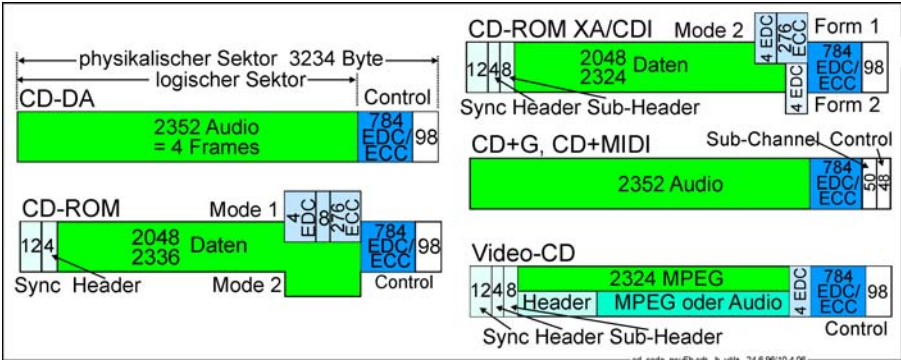
CD-ROM-XA

Weiterentwicklung März 1989 (extended architecture) = Standard **Multimedia-CD**
= Video plus = Computer-Daten

1991 Mitwirkung Microsoft **extended yellow book**, Fehlerwahrscheinlichkeit von 10^{-8} auf 10^{-12} reduziert
XA durch verschachtelte Abspeicherung (Sektor-Interleaving) scheinbar gleichzeitig Audio- und Videodaten
Zusätzlich Audiodaten ADPCM (adaptive **d**elta **p**ulse **c**ode **m**odulation) in drei Varianten komprimiert werden
Level C = **CD-BGM** (**b**ackground **m**usic)

Varianten von komprimierten Audio-Daten auf einer CD-ROM.

75-Minuten-CD	CD-DA	Level A	Level B	Level C
Verfahren	PCM	ADPCM	ADPCM	ADPCM
Abtastfrequenz	44,1 kHz	37,8 kHz	37,8 kHz	18,9 kHz
Bandbreite	20 kHz	17 kHz	17 kHz	8,5 kHz
Bits	16	8	4	4
Komprimierung	keine	2:1	4:1	8:1
Mono	entfällt	4:48 h	9:36 h	19,12 h
Stereo	1:14 h	2:24 h	4:48 h	9:36 h
Qualität	Audio-CD	LP	UKW	Mittelwelle



Green Book - CD-i

1987 **CD-I** (interaktiv), die auf Spiele ausgelegt, die ohne Computer, direkt am Fernseher genutzt werden
Für Musik, Sprache, Standbilder, Videosequenzen oder ASCII-Text für Song-Texte, Fotos, Verzeichnisse usw.
Sektorformat XA, Mode 2, Form 1 (auch komprimierte Audio-, Grafik- und Videodaten) und Form 2
Simultane Wiedergabe Audio-, Animation- und Videodaten => verschachtelte (interleaved) Speicherung
Gegenüber anderen Formaten existiert im green book eine detaillierte Hardware-Beschreibung
Zulässig sind drei Videoformate (Tabelle). Vollbild-Video erfolgt in MPEG-1 gemäß ISO 11 172

CD-i nicht auf üblichen CD-ROM-Laufwerken abspielbar
Gestaltung von Applikationen recht schwierig => Geräte erst 1991
Entwickler erhofften viele multimediale Anwendungen
Nachschlagewerke, Reiseführer, Stadtführer, Kataloge (Versandhäuser)

CD-I-Ready enthält sonst nicht zugänglich CD-I-Software
=> kann teilweise auf normalen CD-Geräten abgespielt werden

Video-Auflösungen in Pixel für die CD-i.

	PAL, 25 Hz	NTSC, 30 Hz
normal	384 × 280	384 × 240
doppelt	768 × 280	768 × 240
hoch	768 × 560	768 × 480

White Book = CD-I-Bridge

Mehrere Varianten

CD-I-Bridge konnte indirekt eine CD-I- in XA-CD-ROM-Laufwerken gelesen werden

Photo-CD für digitalisierte Bilder (s. u)

Video-CD = **CD-Movie** oder ***Karaoke***-Standard (mit Song-Texten)

CDTV (commodore **d**ynamic **t**otal **v**ision) von Commodore ⇒ Nachfolger **CD**³²
Variante **3DO** (3-Dimensional-Optics) von Matsushita

CD+MIDI enthält im Subchannel MIDI-Daten, Steuerung von Beleuchtungs- und Effektgeräten

Photo-CD

1992 Philips und Eastman Kodak 100 digitale Bilder gleichzeitig in verschiedenen Auflösungen

War evtl. elektronische Fotoapparate entstanden, weil hiermit Kodak 1975 gescheitert war (STEVE SASSON)

Mit speziellen Scannern sollten 35-mm-DIAs eingescannt werden

Jedes einzelne Bild wird in fünf Auflösungen, in einer Datei (image pac) abgelegt
Farbraum: YCC (C₁ = B-Y und C₂ = R-Y) mit jeweils 8 Bit = 24 Bit-Farbtiefe (True-Color)

Kodak-eigene Lauflängenkomprimierung + Huffman-Codierung (colorsqueeze)

Inlett wird ein Indexprint mit bis zu 40 Farbbildchen auf dem 12.12 cm² großen Blatt mitgeliefert

Leselaufwerk muss multisessionfähig sein (s. CD-R)

Format	Pixel	Datei/ MByte	Größe/cm, 300 dpi	Ladezeit Min.
Base/16	128×192	< 0,1	1,0.1,6	0:03
Base/4	256×284	< 0,4	2,1.3,3	0:05
Base	512×768	≈ 1,6	4,3.6,5	0:12
4 Base	1024×1536	≈ 6,3	8,7.13	< 1
16 Base	2048×3072	≈ 25	17,3.26	≈ 2
64 Base	4096×6144	≈ 100	35.52	
256 Base	8192×12228	≈ 400	70.104	

Blue Book usw.

Konzept der **Multi-Session-CD** (ungeschützter Name), soll Probleme der verschiedenen CD-Formate vermeiden

1995 **CD-Extra** (CD Plus) von Sony = Weiterentwicklung **Mixed-Mode-CD**

Enthält im Mode 1 zunächst einen Track mit Computer-Daten, dann folgen nur noch Musikdaten

CD-Text auf dem letzten Track Text im Unicode-Format speichert

Apple nennt die Multisession-CD auch **Enhanced CD**.

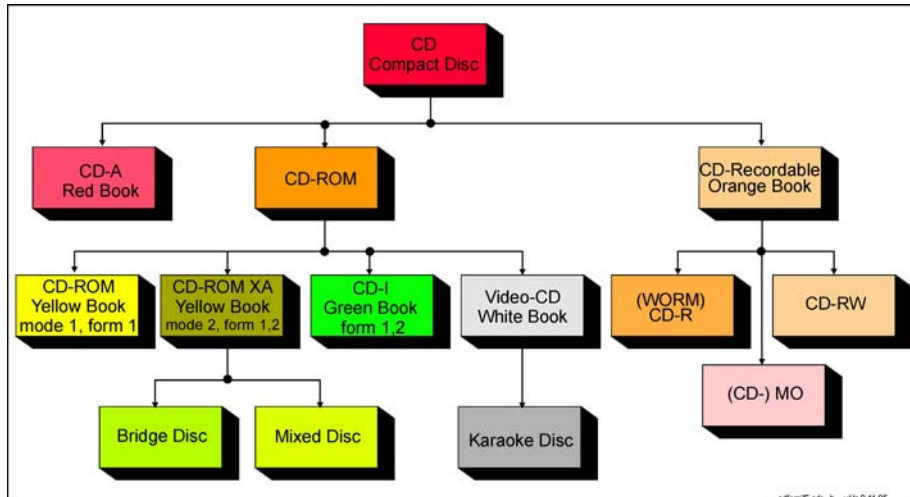
1991 Sony ***Data Discman mit*** dazu gehörenden 8-cm-CD für Wörterbücher und Lexika.

1992 Bertelsmann ***Lexikodisc*** – enthält 15-bändiges Lexikon der Großen Bertelsmann Lexikothek

Kompatibilität zwischen CD-Formaten

Sie besteht nur an den mit „+“ gekennzeichnetem Übergängen.

Disk	CD-DA	CD-ROM	CD-XA	CD-I	Photo-CD	Video-CD
CD-DA	+	+	+	+	+	+
CD-ROM	-	+	+	-	-	-
CD-ROM-XA	-	-	+	-	-	-
CD-I	-	-	+	+	-	-
CD-Bridge	-	-	+	+	-	-
Photo-CD	-	-	+	+	+	-
Video-CD	-	-	+	+	-	+



Century-CD

Nicht in color books

für Archivierung entwickelt, besteht aus **Glas**, in das die Pits eingätzt sind

Verspiegelung durch **Gold**, Versiegelung durch **Chrom** und **Chromoxid**

Wird nur in **Einzelexemplaren** oder **Serien bis zu hundert** Stück hergestellt

Temperaturen -54 bis +350°C, bis 500°C
Lebensdauer ≥ 100 Jahre, evtl. >1000 Jahre

Beschreibbare Medien

CD-Herstellung ist aus mehreren Gründen **nicht für kleine Stückzahlen oder individuell nutzbar**

- Verlangt **extrem hohe Präzision** des Laser-Writers und entsprechend erschütterungsarme Räume
- Verlangt **sehr staubfreie Räume**
- Ist **viel zu langsam** wegen nicht unmittelbar aufeinander ausführbare Prozessschritte, die z. T. auch viel Zeit benötigen

Geschichte beschreibbarer Medien

Zunächst unabhängig von der entstanden spezielle Technologien

1980 gab es erste **WORM** (write **o**nce read **m**ostly/**m**any)

1986 führte Iomega (damals noch 3M) die **MO**-Technik (**m**agneto-**o**ptisch).

1987 folgte die **PD** (phase change **d**isk; amorph ↔ kristallin)

1988 erschien die erste **CD-R** (recordable)

1989 japanische Firma Taiyo Yuden liefert ersten **Farbstoff** (Dye) für CD-R

1996 **CD-RW** (re**w**riteable) erscheint

1989, 1991 und 1996 wichtigsten Prinzipien beschreibbarer CD-ähnlicher Medien im **Orange Book** spezifiziert

Gegensatz zu anderen bunten Büchern besteht es aus **drei Teilen** für recht verschiedene Verfahren

- Teil **I**: mehrfach beschreibbaren **MO**
- Teil **II**: nur einmal beschreibbaren **WO** (write **o**nce), verschiedene **WORM** und **CD-R**
Für CD-R festgelegt: physikalisch-chemischer Aufbau, Abmessungen, Bereiche: Leadin, -out, Power Calibration Area usw.
- Teil **III** erschien erst Oktober 1996 für **CD-RW**: Abspiel- + Aufnahme-Eigenschaften, UDF (unified **d**ata format) von OSTA

Indirekte Präzision

Laserwriter + zusätzliche Präzision wird **indirekt erzwungen** ⇒ einfache, auch private Aufzeichnungen

Bei **Festplatten** über mehrere Entwicklungsstufen zum **embedded service**

Für **optische Medien** sind **Rohlingen** erforderlich, die den Forderungen genügen und ein- oder mehrmals beschrieben werden können

Dafür sind **zwei neue Fakten** zu schaffen

- a) **Führungsrille** mit eingepprägter Information, welche die Aufzeichnung in die richtige Spiralspur zwingt
- b) **Speichermedien**, die direkt durch Laserbelichtung verändert werden,
Glasmaster und Vervielfältigung muss entfallen

Führungsrille

Der Rohling erhält eine **≈6 km lange** vertiefte Führungsrille

= englisch **Pregroove** = Groove (Rille, Einkerbung)

kann unterschiedlich gestaltet sein, besonders einfach bei CD-R- bzw. und CD-RW-Medien

In die durchsichtige Polycarbonat-Unterlage wird sie als **≈0,2 µm tiefe** Spiralspur eingepresst

Verlauf entspricht (virtuell) den aufeinander folgenden Pit einer **CD-ROM ⇒ Kompatibilität**

Breite eng toleriert, am Grund ≈0,4 und oben ≈0,7 µm ⇒ Flankenwinkel ≈50 Grad, **sie ermöglicht**:

- **Führung des Laserflecks**, der auch hier etwas breiter als die Rille ist, beim Aufzeichnen und Wiedergeben
- **Einhaltung der Soll-Geschwindigkeit**: Rille ist mit **22,5 kHz um 0,3 µm** ausgelenkt
Bei enger Toleranz werden so sogar höhere Geschwindigkeiten möglich. z. B. 8- oder 24-fach
- **Zusatz-Daten** für exaktes Schreiben: **Frequenzmodulation** mit Hub ±1 kHz bereitgestellt,
u. a. Position auf Platte (time-code von ¹/₇₅stel Hz bei 1,2 m/s),
Eigenschaften des Speichermediums (Dye), ATIP-Code (s.u.) und maximale Schreibgeschwindigkeit

Herstellung der Rille

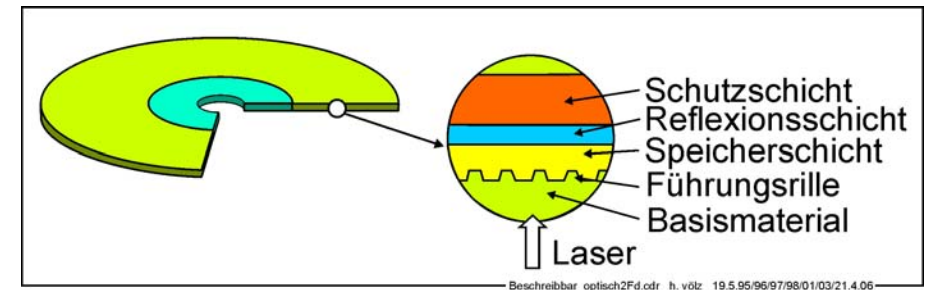
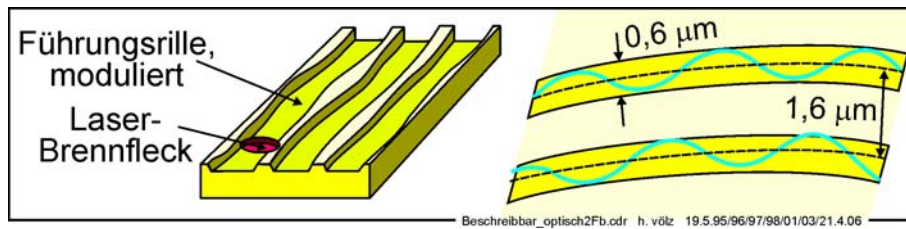
Erfolgt in mehreren Schritten

- Speziellen **Glasmaster** mit leicht geänderten Laserwriter erzeugen
- Herstellung der entsprechender **Stamper** (Vater, Mutter, Söhne)
- **Pressung** von einzelnen Polycarbonat-Scheiben, gute Abkühlung usw. Vermeidung von Doppelbrechungen , Rissen usw.
- **Aufbringen des Speichermediums** (Dye usw.) + rotierendes Schleudern
- Sputtern, Bedampfen für **Reflexionsschicht** (Ag, Au, Al), evtl. auch Hilfsschichten (optisch, dielektrisch, Wärmeableitung)
- Ergänzen von **Schutzlackschicht** und **Label**
- **Versiegeln** radialer Innen-, Außenrand, Schutz gegen Luftfeuchte, Sauerstoff usw. (schlechte Qualität mit Lupe erkennbar)

Herstellung eines Rohlings **erfordert größere Präzision und höheren Aufwand** als Herstellung einer CD-ROM

Daher führen **Nachlässigkeit** und zu lange Nutzung der Stamper schnell zu schlechter Qualität

Für günstige Preise müssen dennoch bei Herstellung kleine **Taktzeiten** erreicht werden



Beginn WORM

Frühe WORM gab es in den Abmessungen von **14, 12, 8, 5¼ und 3½ Zoll**, es gab keine Normung
 Alte 14-Zoll-Varianten konnten bereits **bis zu 6 GByte** speichern, sind vielfach in einer Cartridge
 Es erfolgte meist **Fehlerprüfung** beim Schreiben mittels **DRDW** (direct read during write)
Aufzeichnen 20 bis 80 mW, Lesen $\approx 0,2$ mW (maximal 1-2 mW), Wellenlänge 700 bis 850 nm.
 Lesbarkeit wurde bis zu **40 Jahren garantiert**, boten sehr gute Eigenschaften für Archivierung

Anfang der 90er Jahre z. B. **Lufthansa Werft in Hamburg**:
 Lückenlose Dokumentation jedes Motors und Moduls, begleitete z. B. Triebwerke über ihren gesamten Einsatz
 Täglich entstanden 400 neue Seiten und erfolgten 250 Zugriffe auf die Dokumente

Unverfälschbarkeit der Daten und gute Lagerfähigkeit
 wurden vom Amt für Datensicherheit als dokumentenecht anerkannt

Vielfalt der Techniken

Ende 70er Jahre große Vielfalt an beschreibbaren optischen Medien WORM

Abschmelztechnik (ablative media): anfangs brannte der Laserstrahl in eine Fotolackschicht Löcher
 Später wurden Metalle (z.B. Tellur-Verbindungen) verwendet, die über den Schmelzpunkt erhitzt wurden
 Geschmolzenes Material fließt aus Zentrum. Es entsteht ein Krater mit erhöhtem Rand; entsteht dunkles Loch
 Auch amorphe Farbschichten kamen zur Anwendung

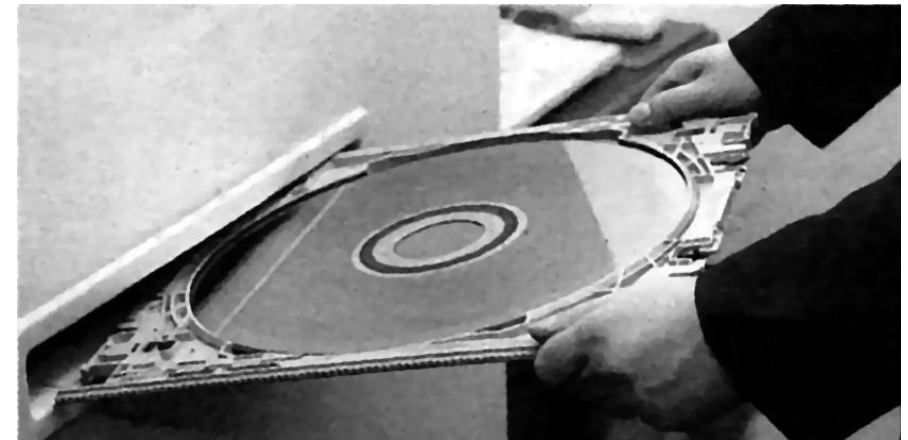
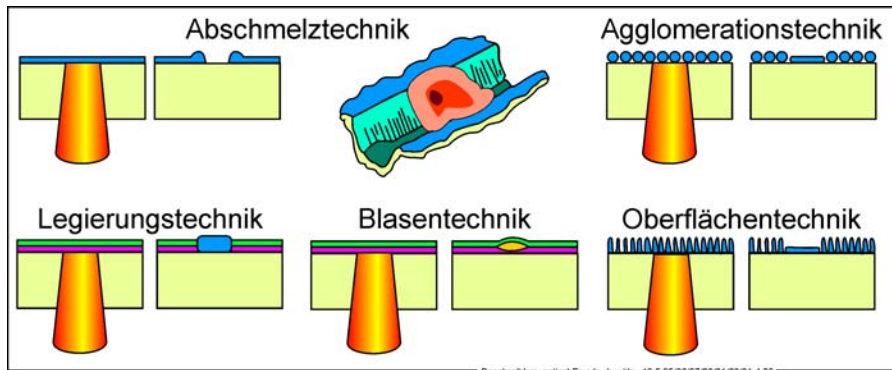
Agglomerationstechnik: Schicht aus fein strukturierten Metalle, z.B. Au, Ag oder TeCu
 Laser-Bestrahlung verflüssigt sie, Material floss zu einer kleinen kompakten Insel zusammen, andere Reflexion

Legierungstechnik: auf Unterlage zwei unterschiedliche Materialien übereinander aufgebracht
 Erhitzung lässt beide schmelzen und eine Legierung mit unterschiedlicher Reflexion entstehen

Blasentechnik (bubble forming): dielektrische Zwischenschicht + Hitze absorbierende Oberschicht
 vielfach **Keramik**
 spätere **Polymer**-Schicht über Metallschicht, Polymer verdampft, Blase entsteht, Oberfläche wird verformt
 Gefahr: Blase wird beim Gebrauch eingedrückt wird

Ähnliches Verfahren Beschichtungen z. B. aus Gallium- oder Indium-Antimonid
 Es ändert sich nur Reflexionseigenschaft

Oberflächentechnik $\approx$ Agglomerationstechnik: strukturierte Oberfläche wird durch Erhitzen eingeebnet



14-Zoll-WORM-Platte ≈ 10 GByte, u. a. bei den Rundfunkanstalten, Sendungen ≥ 24 Stunden vorproduziert

Übergang zur CD-R

Vielfalt der Technologien musste eingeschränkt
Zugleich musste **Kompatibilität** zur CD erreicht werden $\Rightarrow$ Orange Book

Beschreibbare CD dürfen **keine Cartridge** benutzen

Erste CD-R Anfang der 90er Jahre werden fast ausschließlich als Masterdiscs der CD-Produktion benutzt
= Prototyping = **Pre-Master**

Sobald Mirror-Datei aufwendig berechnet, konnte ohne teures Herstellen des Glasmaster, festgestellt werden, ob Daten fehlerfrei

Schließlich entstanden **zwei Varianten** mit jeweils typischem Speichermedium

- **einmal** beschreibbar = CD-R
- **mehrfach** beschreibbar (CD-RW)

Obwohl im **Orange Book** Teil I auch **MO** spezifiziert
wird für sie Kompatibilität und ohne Cartridge nicht erreicht

Einmal beschreibbar

Farbstoffe = Dye (*englisch to dye* färben), Bezeichnung für die chemischen Substanzen eigentlich falsch
Es werden nämlich Absorptionseigenschaften im **Infraroten** benutzt
Farbstoffe sind aber üblicher Weise durch ihr Aussehen für unser Auge gekennzeichnet

Obwohl **einmalig** zunächst als **Nachteil** erscheint, hat es **auch Vorteile**
Unveränderlichkeit erfüllt **gesetzliche Forderungen, Datenschutzforderungen**
und ist für **langfristige Archive** geeignet

So wird sie insbesondere bei den blauen Medien diese Technik sogar bevorzugt (s. UDO-Medien)
Sie wird meist als **Compliance** bezeichnet (*englisch compliant* willfährig, mitwirkend)

Bei **Magnetbändern** wird dies in den letzten Jahren **per Software** erzwungen
Zuweilen wird so auch **absichtliche Vernichtung** von Daten bezeichnet
Sie dürfen dann nicht mehr rekonstruiert werden können

Sehr guter **Übersichtsartikel** zur Chemie der Dye
Mustroph, H., Stollenwerk, M., Bressau, V.: „Aktuelle Entwicklungen in der optischen Datenspeicherung mit organischen Farbstoffen.“ Angewandte Chemie 2006, 118, 2068 – 2087.

Bemerkung: Compliance in der Medizin für 3 Inhalte üblich

- Dehnbarkeit eines Gewebes
- Bereitschaft des Patienten, Hinweise und Verordnungen des Arztes zu befolgen
- Bereitschaft des behandelnden Arztes, sich individuell auf den Patienten einzustellen

Wiederholt beschreibbar

Speichermedium notwendig, das wieder **gelöscht** bzw. **überschrieben** werden kann
= **PM** (phase change material)

Vorteile: ständige Aktualisierung der Daten, so entsteht weniger „Ballast“, Abfall, umweltverträglicher

Mittels unterschiedlich schneller Abkühlung können einige Verbindungen **amorph oder kristallin** erstarren
Dabei besitzen deutlich unterschiedliche **optische Eigenschaften**, z. B. im Reflexionsgrad

Neben den ausgewählten Verbindungen ist die Einhalten der thermischen Bedingungen entscheidend
Prozess ist nur **begrenzt wiederholbar**, Grenzen: Volumenänderung und Entmischungen

Das heute typische Speichermedium ist dennoch langzeitstabiler als die meisten Einmal-Medien

Lange Zeit waren die RW-Medien in der Kapazität den Festplatten deutlich überlegen

DIGITAL AUDIO

In den 90er Jahren versuchte die Industrie „**HiFi-CD-Recorder**“ mit beschreibbaren CD einzuführen
Sie sollten die Kassettenrekorder mit „besserer, digitaler Qualität“ ersetzen
Zuvor wussten Regelungen zur **Urheberrecht-Abgabe** ähnlich der CC (Compact Cassette) geklärt werden
Es entstanden „DIGITAL AUDIO“-Rohlinge, die ausschließlich auf diesen Rekordern zu verwenden waren

Am Anfang der Rille ein **DAC** (disk application code) eingefügt, der die Aufzeichnung auf diesen Geräten zuließ
Rohlinge waren um **reichlich 1 € teurer**, denn **6 Cent/h** mussten an die GEMA und GVL abgeführt werden

Gesellschaft für musikalische Aufführungs- und mechanische Vervielfältigungsrechte,
Gesellschaft für Verwertung von Leistungsschutzrechten

Das ganze Vorhaben wurde nicht nur deshalb ein **Flop**

Auch die Bedienung der Geräte war oft so umständlich, dass Fehlbrände nahezu unvermeidlich waren
Zudem wurde der Code nicht von den üblichen Rekordern in Rechnern abgefragt

		für HiFi-CD-Recorder	
beschreibbar	nur einmal	geeignet COMPACT disc DIGITAL AUDIO Recordable	ungeeignet COMPACT disc Recordable
	wiederholt	COMPACT disc DIGITAL AUDIO ReWritable	COMPACT disc ReWritable

UDO_useFa.cdr h. Völz 26.5.95/96/99/29.4.06

Dye

Seit Jahrtausenden ist bekannt, **Farben verblassen** durch Licht, wird u.a. beim Bleichen von Textilien genutzt
Verhalten von **Farbstoffen** schon lange systematisch untersucht, umfangreiche Farbstoffindustrie
CD-R erfordern neue Untersuchungen im **Infrarot**, Laserbelichtung und Veränderung wichtig
Farbänderung => **dye polymer recording**;

Es sind 3 **Dye-Typen** üblich

- 1. Azo-Verbindungen
- 2. Cyanin-Varianten
- 3. Phthalocyanin

Azo-Verbindungen

Griechisch **a-** + **zoe** Leben; **ázoos** leblos

Wird in organischer Chemie recht vielfältig als **Präfix** für die substituierte Gruppierung –N=N– benutzt
Fast immer liegt eine Diazenyl-Verbindung vor

Größere technische Bedeutung schon um 1923 bei **Lichtpauspapieren**

Weiterentwicklung brachte viele Anwendungen, u.a. **Microfiches** und **Diazotopie**

Wahrscheinlich erster Dye, da bereits bei einigen WORM vor CD-R verwendet, erst 1997 für CD-R

Spezieller Dye **Verbatim/Mitsubishi** patentiert, genaue chemische Formel nicht bekannt, typische Farbe tiefblau
Gold als Reflexionsschicht kaum vorhanden

CD-R allgemein sehr gute Eigenschaften, auf europäischen Markt selten

Cyanin-Dye

Dieser Farbstoff verleiht auch der **Kornblume** ihre schöne blaue Farbe

Als Dye von **Taiyo Yuden** patentiert. Mit ihm begann die eigentliche Entwicklung der CD-R um 1988

Ist besonders preiswert herzustellen, aber **UV- und IR-empfindlich** $\Rightarrow$ relativ kurze Datensicherheit ≈ 10 Jahre

Durch zusätzliche Stabilisatoren konnte längere Haltbarkeit erreicht werden

Müssen besonders gut gegen (sonnen-) **Licht geschützt werden**

Hat sich überwiegend durchgesetzt

Vorteil: recht weite Toleranz bezüglich der optimalen Laser-Schreibleistung

Phthalocyanin

Von Mitsui Toatsu Chemicals patentiert, wurde erst Anfang der 90er Jahre für CD-R eingeführt

Es ist farblos und weitgehend transparent, ermöglicht die höchsten Kontraste

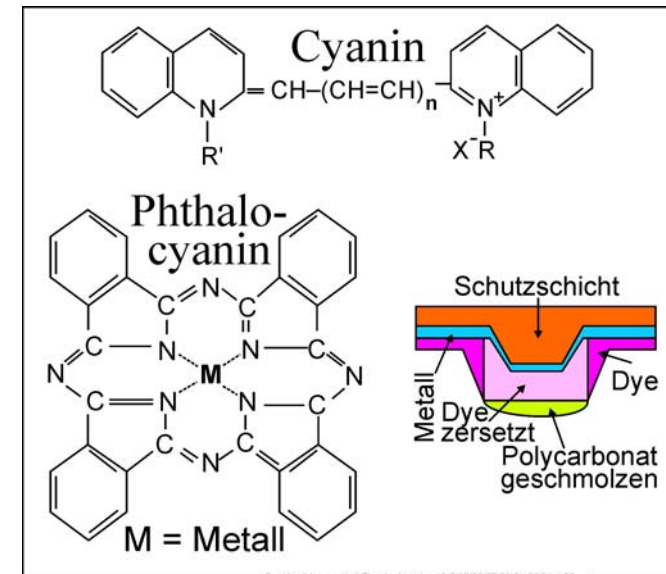
Unveränderte Stellen reflektieren bis zu 70 % des Laser-Lichts

Verbindungen recht stabil gegenüber Lichteinwirkungen $\Rightarrow$ Datensicherheit ≥ 100 Jahre garantiert

Nachteil: Laser-Schreibleistung muss recht enge Toleranzen einhalten

Teilweise wird als zentrales Metall-Atom auch Kupfer oder Nickel benutzt

Phthalocyanine sind etwas bräunlich. Reflexionsschichten aus Au oder Ag.



Produktion der CD-R

Farbstoffe sind **von je einem Konzern patentiert** $\Rightarrow$ sie produzieren auch die meisten CD-R
 $\approx$ 15 weitere Firmen **produzieren in Lizenz**, dennoch etwa tausend verschiedene CD-R-Varianten im Handel
Stammen von nur wenigen Firmen, lediglich unter anderen Namen oder gar als **Noname-Produkte** vertrieben
Dabei besteht Gefahr mangelnder **Qualität**, Abnutzung der Stamper, schlechte Versiegelung
Einige Marken ändern außerdem öfter ihre **Zulieferer**

Farben-Mythologie

Reflexionsschicht Gold $\Leftrightarrow$ Silber
Ag besserer Reflexionseigenschaften, Preis nur $\approx \frac{1}{60}$ tel Au, korrodiert aber leicht, daher erst später genutzt
Mit den 3 Dye entstehen 6 CD-R-Varianten mit unterschiedlich farblicher Rückseite

Reflexionsschicht	Gold	Silber
Cyanin (bläulich)	dunkelgrün, ca. 10 a	hellblau mit Grünstich, ca. 10 a
Phthalocyanin (farblos, transparent)	goldfarben, ca. 100 a	silbern, ca. 50 a
Azo (tiefblau)	blau, kaum vorhanden	blau, ca. 50 a

Datenerhalt nur grobe Richtwerte, hängen von vielen Bedingen ab
Testergebnisse variieren daher erheblich

Es entstand eine nahezu unbegründete Farben-Mystik, die nie ganz verschwunden ist:
Golden ist gut, grün ist schlecht
Nicht von ungefähr wählte Kodak für seine Foto-CD ein goldenes Label

Aufzeichnung $\Rightarrow$ Änderung Dye

Aufzeichnung **Laser-Strahl ≤ 10 mW** teilweise im Dye absorbiert $\Rightarrow$ Dye stark erhitzt; **250 - 300 °C**
Dye wird **verändert, zerstört** oder gar **verdampft**, z. T bilden sich auch **kleinste Bläschen**
Hohe Temperatur verändert auch **Polycarbonat** ein wenig, eher günstig, **Absorption zusätzlich** etwas **vergrößert**

Vorm Brennen ist Dye für IR ziemlich **transparent**
Danach dunkel und verdeckt Reflektorschicht, sodass kaum Licht reflektiert wird
Bei Wiedergabe wird Laser-Strahl ($\approx 0,5$ mW) nur an unveränderten Stellen sehr gut reflektiert

Bemerkung: Experiment WDR-Fernsehen. CD-R durch Brennen an Gewicht $15,872 \Rightarrow 15,869$ g = 3 mg, $2 \cdot 10^{-4}$.
Könnte vor allem Wasserstoff sein, der zur Label-Seite hindurch diffundierte
<http://www.kopfball.de/arcflm.phtml?kbsec=arcflm&selFilm=571&dr=datum>. Download Januar 2006.

Fortlaufender Datenstrom

Beim Brennen muss sich Rohling mit **konstanter Geschwindigkeit** bewegen, Regelung erfolgt über **pregroves Datenstrom** darf dabei **nicht abreißen**, vorteilhaft ist daher zuvor angelegte **Mirror-Datei**
Enthält genaue Struktur der späteren CD-R, einschließlich Sonderdaten:
TOC, header, sync, EDC, ECC, time code usw.
Abschnitte der Aufzeichnungsdatei im **schnellen Buffer** vorgehalten, wichtig nicht fragmentierte Festplatte

Wenn Datenstrom abreißt = **Buffer under run** bricht der Prozess ab, **Aufzeichnung ist unbrauchbar**
Es ist nicht möglich, den Laser wieder exakt an die richtige Stelle zur Fortsetzung zu positionieren
Für **Wiedergabe fehlen** dann Hilfssignale, Fehlerkorrektursignale und Zeitmarken
Spreizen der Daten ist teilweise unvollständig
Lediglich mit **Sonder-Software**, die meist nur mit dem Writer funktioniert
können einige Daten ausgelesen werden

Schreiben mit **mehrfacher Geschwindigkeit** stellt noch höhere Anforderungen an Rechner
Z. T. sinkt **Qualität der Aufzeichnung**

Erst mit sehr schnellen Rechner wurde Schreiben „**on the fly**“ möglich
= ohne Image-Datei (*englisch* frei übersetzt im Fluge)

Burn Proof

Entstand 2001: frei übersetzt: geschütztes Brennen, entstanden aus **buffer-under-run-proof**)
Vermeidet weitgehend Unbrauchbarwerden eines Rohlings durch buffer-under-run
Programm erkennt wenn Puffer nur 10 % gefüllt ist, rettet wichtige Daten und setzt Flag
Schreibvorgang wird am Ende des Sektors abgebrochen
Nachdem Puffer wieder gefüllt ist, wird der Schreibvorgang für den nächsten Sektor fortgesetzt
Entsprechende Stelle ist $\approx 20 \mu\text{m}$ (bei CD-RW $\leq 100 \mu\text{m}$) von der Stelle des Abbruchs entfernt
Lücke stört selbst bei Audio- oder Video-CD nicht, wurde ständig weiter verkleinert $\Rightarrow \approx 2 \mu\text{m}$

Einige Brenner benutzen **DRAW** (direct read after write)

2000 führte Philips **TBW** (thermo-balanced writing) ein = dynamische Steuerung des Laser-Schreibstroms
Verfahren bietet keinen Schutz vor buffer-under-run.

PCA (power calibration area)

Jeder Rohling muss mit **angepasster Laserleistung** beschrieben werden
Dabei sind **mehrere Parameter zu berücksichtigen**, u. a.:

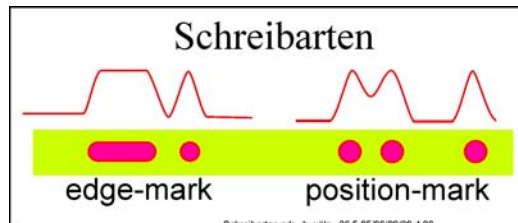
- verschiedener Dye
- Streuung bei der Herstellung
- Geschwindigkeitsfaktor
- Änderung durch Lagerung

Hierzu befindet am Anfang der Spur die **PCA** mit in der groove geschriebenen Daten
Sie werden noch durch Tabellen der Schreibsoftware ergänzt (sollte ständig aktualisiert werden)

Aufzeichnung langer Pit

Die Pit besitzen je nach Information **unterschiedliche Länge**, kann auf zwei Arten hergestellt werden können

- **edge-mark-recording**: behält der Laser während langer Pits seine Leistung konstant
bei der Wiedergabe entsteht ein nahezu gleich bleibendes Signal
- **position-mark-recording**: lange Pit werden durch dicht aufeinander folgende Laser-Impulse erzeugt
erspart Energie, schont Laser und Rohling, aber Wiedergabe-Signal variiert leicht
hat sogar Vorteil für Regenerierung des Taktsignals



Single-Session

Üblich ist eine **einmalige** und **endgültige** Aufzeichnung $\Rightarrow$ Single-Session-Format (in einem Schritt)
Rohling wird endgültig beschrieben, später können keine Daten hinzugefügt werden
Selbst dann, wenn die Kapazität sehr wenig ausgenutzt wurde

Gesamtheit = **TAO** (track at once) = zusammenhängende Datei. Kann aus maximal 99 Tracks bestehen
Jeder Track muss mindestens 300 Daten-Blöcke enthalten $\approx 600 \text{ KByte}$

Sonderfall **Disk-At-Once** (DAO), wichtig für **Audio**. Zwischen Tracks kleine Pausen eingefügt 150 Blöcke

Single-Session-Format besteht aus 3 Abschnitten

1. **Lead-in** $\approx 9 \text{ MByte}$, enthält Verweise u.a. auf Track-Nummer, Startadresse (Startzeit) und Art der Daten
2. **Eigentliche Daten** mit vorangestelltem TOC (table of contents)
3. **Lead out** = border-out-area $\approx 4 \text{ MByte}$ genannt, enthält Rückverweise, Ende-Kennzeichen, z.T. nochmals TOC

Jede Datei heißt – wie bei Audio-Daten – Track

In einer Session können ein oder mehrere (max. 99) Tracks (Dateien) geschrieben werden

Beim Abschluss jeder Session werden weitere 11 500 Blöcke, das sind die o.g. etwa 20 MByte
für Lead in und Lead out benötigt.

Multi-Session

Rohlinge waren zunächst teuer $\Rightarrow$ Idee Multi-Session = Hybrid-CD/-WO zur Kapazitätsausnutzung
 $\triangleq$ Möglichkeit, zu verschiedenen Zeiten, nacheinander Teilaufzeichnungen zu machen

Drei Zustände zu unterscheiden:

- **leer**
- **teilweisebeschrieben**
- **vollständig beschrieben**

Vollständig beschrieben wird durch eine letzte Session = **Finalisierung** erreicht
Lesen von Multi-Session-CD erfordert **multisessionfähige** Laufwerke

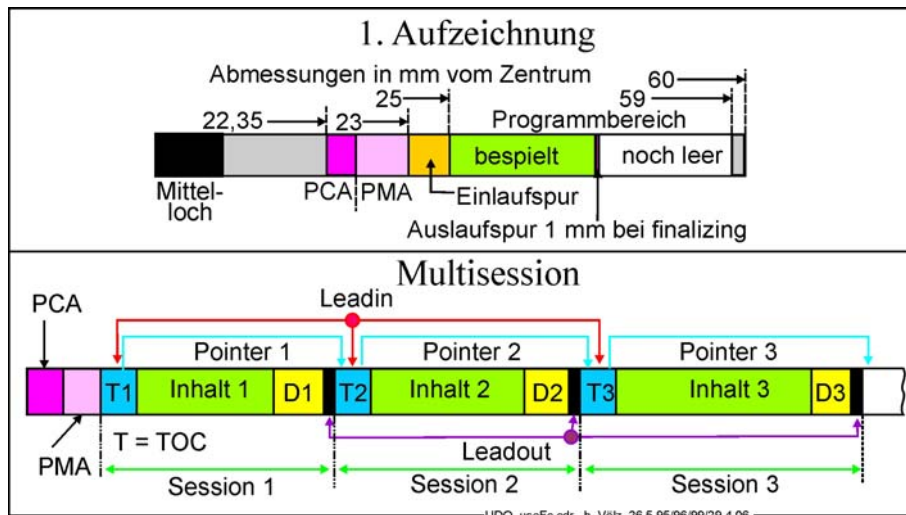
Jede einzelne Aufzeichnung heißt **Session** (track) und entspricht in etwa der *Partition* einer Festplatte
Eigentlich können auf jedem Rohling sehr unterschiedliche Daten gespeichert werden
Bei Multi-Session müssen jedoch **alle tracks Daten gleicher Art** enthalten,
z. B. entweder Audio- oder Rechnerdaten

Datenstruktur Multisession

1. **PCA** (s. o.)
2. **PMA** (programm memory area), verweist auf Lage des abschließenden Gesamtinhaltsverzeichnisses
3. **Erste session**
 - a) Lead in 1, enthält Zeiger (Startzeit) auf lead in 2 und TOC (table of content)
u. a. Tracknummer, Startadresse (Startzeit) und Art der Daten
Alle diese Daten müssen bereits zu Beginn der Aufzeichnung bekannt sein (mirror)
 - b) **Eigentlichen Daten**
 - c) **TOC** = Inhaltsverzeichnis
 - d) Leadout
4. **Weitere Sessionen**, wieder Abschnitte a) bis d)
Inhaltsverzeichnis muss immer vervollständigt (finalisiert) angehängt werden
5. **Endgültige Finalisierung** = Fixieren oder Abschließen; hängt ein vollständiges Inhaltsverzeichnis an
erzeugt eine „Datenhülle“, die indirekt einer ISO-9660-Struktur entspricht
verhindert weitere Aufzeichnungen, erleichtert Lesen der CD und Sessions

Jede einzelne Aufzeichnung (Session, Track) besitzt Ähnlichkeit mit einer Partition der Festplatte
Die verschiedenen Lead in, TOC, ergänzten Inhaltsverzeichnisse, Lead out usw.
benötigen Speicherkapazität, die nicht für Daten nutzbar ist
Jedes Lead in ≈ 9 MByte, erstes Lead out ≈ 13 MByte, alle folgenden ≈ 4 MByte
jede Session ≈ 20 MByte = 11 500 Blöcke

Zwischen Sessions treten Pausen von 2 bis 3 Sekunden auf, genannt run-in, run-out



Mehrfach beschreibbare Speichermaterialien

Es gibt mehrere Varianten für wiederholtes Aufzeichnen

U.a. **Ausführungen mit zwei Farbschichten** unterschiedlicher Absorption
Beim Schreiben verformt sich eine, Löschen bringt andere Lichtwellenlänge Material in ursprünglichen Zustand
Es konnten aber ca. 10 000 Zyklen erreicht werden. Es entstand aber keine technisch reife Anwendung

Durchgesetzt hat sich nur die **Phasen-Umwandlung amorph $\leftrightarrow$ kristallin**
Kristallin ist meist **IR durchsichtig**, amorph absorbiert es stark

Kandis- $\leftrightarrow$ Puderzucker

Schutzscheiben, z. B. Frontscheibe beim Auto oder Trennwände



Geschichte vom Phase-Change-Material (PM)

Mit amorph $\leftrightarrow$ kristalin ändern sich u.a. **elektronische** und **optische** Eigenschaften
Beide Varianten haben abwechselnd Fortschritte erbracht

1920 Änderung der elektrischen Leitfähigkeit beim Chalkogenids MoS₂ entdeckt

50er Jahre Arbeiten zu den halbleitenden Eigenschaften

1960 PEARSON, SOUTHWORTH und KOLOMIEZ bzgl. optischer Eigenschaften

60er Jahre entdeckte Energy Conversion Devices (ECD): Einige Materialien können durch definierte Wärmebehandlung nahezu beliebig oft zwischen amorph $\leftrightarrow$ kristallin umgewandelt werden

1965 gewinnt **STANFORD OVSHINSKY** (*ca. 1924) neue Erkenntnisse für elektronische Speicher

1970 MOORE, D.L. NELSON und R.G. NEAL erproben erste nichtflüchtige chalkogene Speicherzelle

1982 Matsushita: Echtzeit-Videorecorder mit Schicht aus Telluriumoxid

1995 Toshiba zweiseitige 3,5-Zoll-Platte mit 1,3 GByte, Panasonic Phasewriter Dual für 650 MByte

1995 10 große Unternehmen (u.a. Philips, Sony, HP, Mitsubishi und Ricoh) einigen sich über Speicherformat + Verfahren für CD-E = CD-ER (erasable/recordable) = CD-PM, später CD-RW (rewritable) genannt

1998 DVD-RAM, DVD-RW, DVD+RW

2004 Plasmon UDO (ultra **d**ensity **o**ptical), Sony PDD (**p**rofessional **d**isc for **d**ata)

2004 Samsung 64 MBit-Schaltkreis, 10 Jahre Garantie bei 110 °C. Zelle mit 9 Bit = 512 Stufen demonstriert

Material $\Rightarrow$ Speicherschicht

Muss eindeutiges, schnelles und **häufiges Wechseln** zwischen beiden Zuständen ermöglichen und hohen **optischen Kontrast** zeigen

Legierungen aus 2 bis 4 Elementen, anfangs GdTb-Fe, heute hauptsächlich Verbindungen von Tellur und Selen

Zusätze: Germanium, Antimon, Tellur (Ge-Sb-Te) bzw. Indium, Silber, Antimon, Tellur (In-Ag-Sb-Te)

Verlagern die **Schmelztemperatur** des reinen Te auf etwa 200 °C

Speicherschicht wird durch **Sputtern** hergestellt = 20 bis 50 nm dick

Wichtig ist Einbettung, beidseitig spezielle, meist **dielektrische Schichten**, vorwiegend ZnS-SiO₂
Verbessern als optische **Vergütung** Reflexionseigenschaften und dienen optimaler **Wärmeableitung**

Weglassen einer Schichten entsteht WORM $\Rightarrow$ unlöschbares Schreiben = Compliance-Medien, u.a. UDO)

Reflexionsschicht befindet sich hinter zweiter dielektrischen Schicht, kann wie bei CD aus Al bestehen
Rückseite der CD-RW = metallisch blass grau

Heute erreicht: bis zu **1 000 000 Schreibzyklen**, größte Stabilität oft **nach 2 bis 10 Zyklen**

Grenze: „Ermüdung“ der Schicht, meist durch Entmischung infolge von Volumenänderung und Diffusion

Änderungen des **Reflexionsgrads** bis zu 25 %

Vergleich: CD $\approx$ 80 %, CD-R = 35 bis 50 %

Phasendiagramm - Speicherverfahren

Übergänge **amorph $\leftrightarrow$ kristallin** sind mittels **Phasendiagramm** aus **Impulslänge $\leftrightarrow$ Energie** beschreibbar

Für **amorph** wird Material mit **kurzen, leistungsstarken Impuls** $\approx$ 1 μ s, 20 mW

bis in die flüssige Phase $\approx$ 500 - 700 °C $< T_{Fl}$ erhitzt

Temperaturgradient zur Zimmertemperatur ist dann so groß, dass schnelle Abkühlung $\approx$ 10⁻⁹ s erfolgt

Für **kristallin** ist ein **langer, leistungsschwacher Impuls** 5 bis 10 mW erforderlich

Temperatur 200 °C bleibt $< T_{Fl}$

Material hat Zeit für Keimbildung, Abkühlung nach Impuls so langsam, die Keime wachsen

Kristalline Phase ist thermisch/energetisch stabiler. Ihr wird daher der **gelöschte Zustand** zugeordnet

Löschen: kristallin oder amorph $\rightarrow$ kristallin

Aufzeichnen 1 = (kristallin) $\rightarrow$ amorph, 0 $\rightarrow$ kristallin,

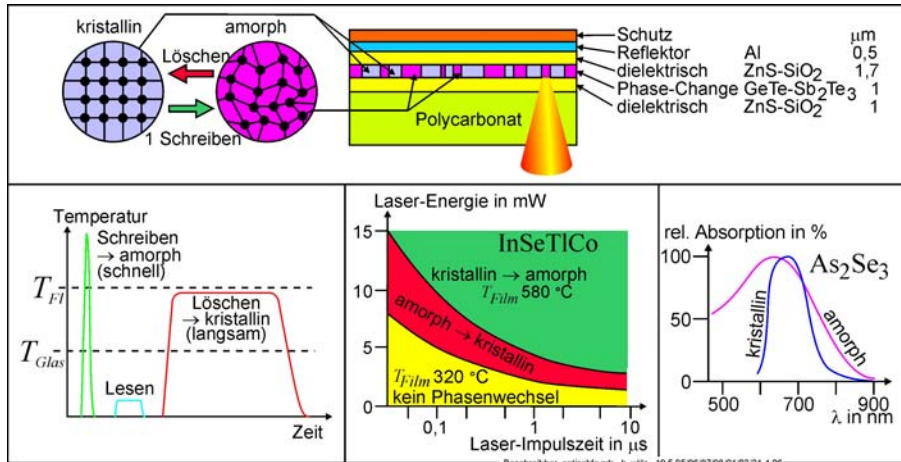
ein Umlauf mit Laser-Umschalten genügt (Gegensatz MO dort oft 3)

Wiedergabe mit sehr kleiner Laser-Energie $\leq$ 1 mW

Temperatur muss unter Glastemperatur $T_{Glas} \approx$ 100 °C bleiben

Vorteil der PM-Medien ist ihre **große Langzeitstabilität** bis zu 100 Jahren

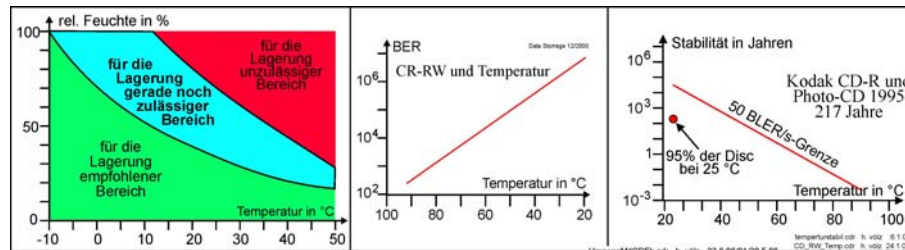
Im Gegensatz zu den Dye-Varianten sind sie **nicht licht-** und deutlich **weniger wärmeempfindlich**



Verkauf CD-RW

Millionen Stück, PC-Magazin 12/2000; 79 (Werte gerundet)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Brenner	0,9	2	3	4,5	6	7	7,5
Rohlinge	85	225	400	480	510	540	550



DVD ⇒ Speicherdichte

1982 Speicherkapazität der CD ist bei ihrer Einführung vergleichsweise sehr groß

1990 mehrere Firmen beginnen Forschungen zur Erhöhung der Speicherkapazität für CD-Nachfolge

Vorrangiges Ziel: massenhafte **Verbreitung von Filmen**, erfuhr eigennützige Förderung von der Filmindustrie

Wichtige Faktoren

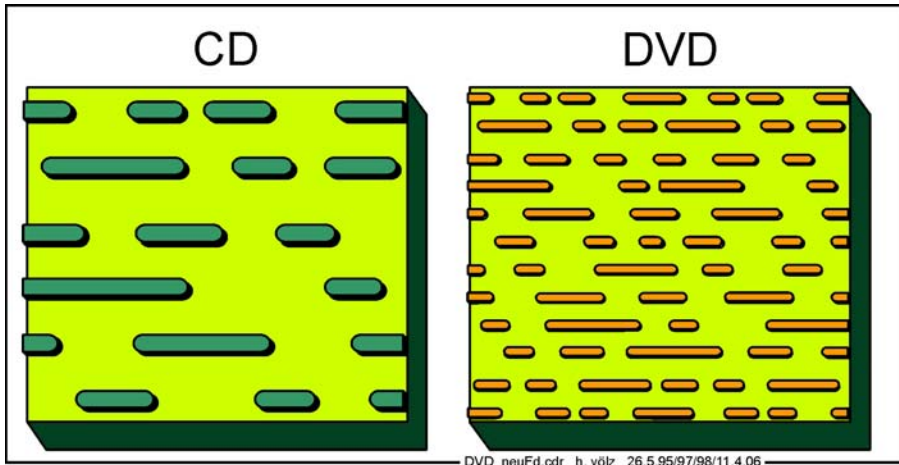
Verkürzung der Laser-Wellenlänge, **Wellenlänge** $\lambda = 780 \Rightarrow 600$ nm Steigerung $(780/600)^2 \approx 1,7$ -fach

Numerische Apertur NA asphärischer Kunststofflinse 0,45 $\Rightarrow$ 0,6

Brennfleck $D \approx 0,56 \cdot \lambda / NA$: Gewinn $(0,6/0,45)^2 \approx 2$ - fach

Toleranz der Fokussierung sinkt quadratisch, bei Plattendicke sogar mit vierten Potenz

Summe **Speicherkapazität** ≤ 5 -fach



Weitere Möglichkeiten

Spurauslegungen

- **doppelt schräg** liegenden Spuren
- zwei um 90° geneigte **Polarisationen**
- Pits auf **Land und Groove**

Mehrfachlayer

1993 demonstriert IBM Mehrfachsichten: 4fach schreiben, 6fach Lesen

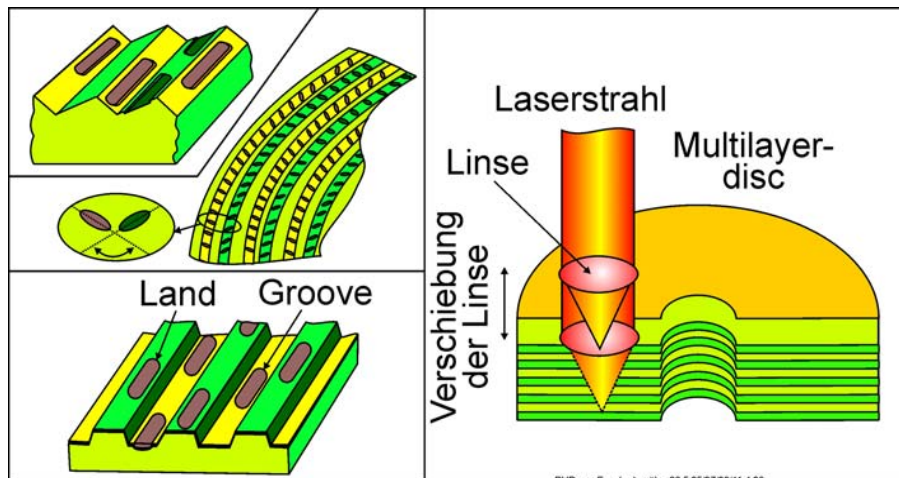
Die einzelnen **Layer** (Schichten) sind semitransparent und teilweise reflektierend

Linse wird so verschoben, dass der Brennpunkt sich auf jeweils nur einem Layer befindet

Starke Divergenz des Lichtstrahls bewirkt auf den anderen Layern große Durchmesser

⇒ geringe Lichtverluste und minimales Übersprechen

1995 Entwicklung bei IBM wird wegen des Übersprechens eingestellt



Übergang zu Dual-Layer (DL)

Für **zwei Schichten** entstanden schließlich doch Anwendungen, von **3M patentiert**

Auswahl beider Schichten und dazwischen liegende, teilweise (halb) reflektierende Schicht sind **kritisch**

Zwei mögliche **Arbeitsbereiche** mit engem (1) bzw. etwas breiterem (2) Arbeitsbereich, Produktions-Toleranz

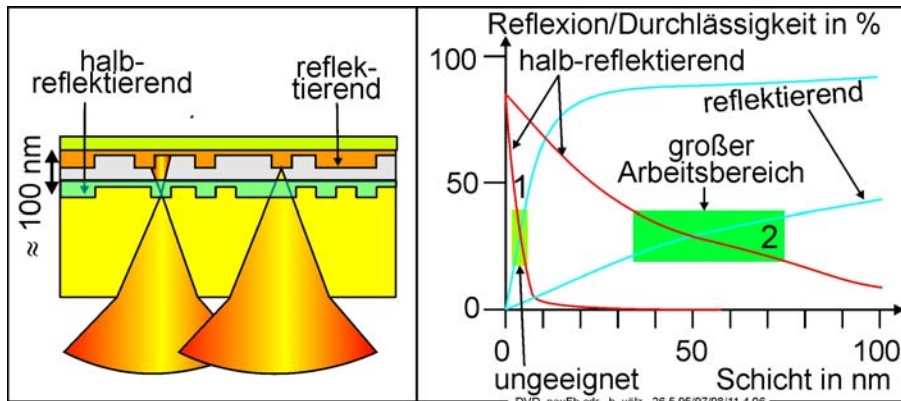
Bei realisierter Technik **Abstand** zwischen beiden Schichten $\approx 40 \mu\text{m}$

Obere, reflektierende Schicht wie sonst auch üblich aus **Aluminium**

Teilweise reflektierende Schicht spezieller Lack 30 bis 50 nm,
reflektiert 20 - 40 %, lässt 60 - 80 % zur zweiten Schicht durch

Beide Schichten können so mit gleich großer reflektierter Lichtmenge beschrieben und gelesen werden

Doch erst ab **2004 DVD-DL** (**dual layer**; *englisch* Doppelschicht) verfügbar



Zwei Lager entstehen

16.12.1994 stellten **Sony und Philips** Variante vor, der sich wenig später auch Mitsumi und Ricoh anschlossen
Markteinführung war 1996 geplant: Filmspeicherung + Daten-ROM

Ursprünglich **DVD** (digital video disc) benannt, bald in **MMCD** (multimedia CD) umbenannt

Soll nur **von unten gelesen** werden, daher zweite Spur **von außen nach innen**

Langfristig auch dual layer (DL) vorgesehen, geplant war ein **golden book**

24.1.1995 stellten **Toshiba, Time-Warner, Thomson und Pioneer** andere Variante vor: **SD** (super density disc)

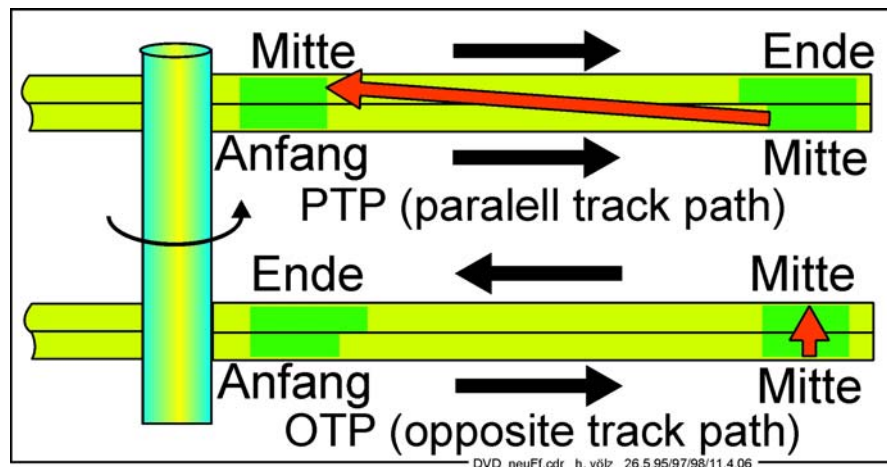
Etwas anspruchsvollere technische Daten,

Besonderheit = rückseitige **Zusammenfügen von zwei Discs** (≈ Laser Vision)

Z.T. auch ein umhüllendes **Gehäuse** geplant

Neben **Hardware** unterschieden sich beide Varianten auch

bezüglich **Kompression, Fehlerkorrektur** und **Datenformat**



Formatkrieg

Entstand harter Formatkrieg ≈ seinerzeit bei Video-Recordern mit vielen Nachteilen ⇒ nicht beste Variante siegt

September 1995 bildeten Anwender Apple, Compaq, Hewlett-Packard, IBM und Microsoft

TWG (technology workgroup)

U. a. war **Microsoft** nur bereit, ein einziges System in Windows zu unterstützen

Das **erzwang** einen **Kompromiss** mit den bestmöglichen Eigenschaften

Schließlich stimmte auch das „Studio Advisory Committee“ der **Filmindustrie** den Entwürfen zu

Nachfolge-Gremium = **DVD-Forum** mit Hollywoods Unterhaltung-, Computer-Industrie
und Anbieter der Unterhaltungselektronik

Neue Platte wurde **DVD** = digital versatile disc benannt (englisch versatile vielseitig, veränderlich)

Später wurde **jede Erklärung** der Buchstaben **vermieden**

Das erreichte positive Ergebnis wird allerdings bei den späteren **beschreibbaren Medien total unterlaufen**

Es entsteht als **Gegengremium DVD+RW-Allianz**

Noch extremer bei den späteren blauen Medien

DVD-Daten

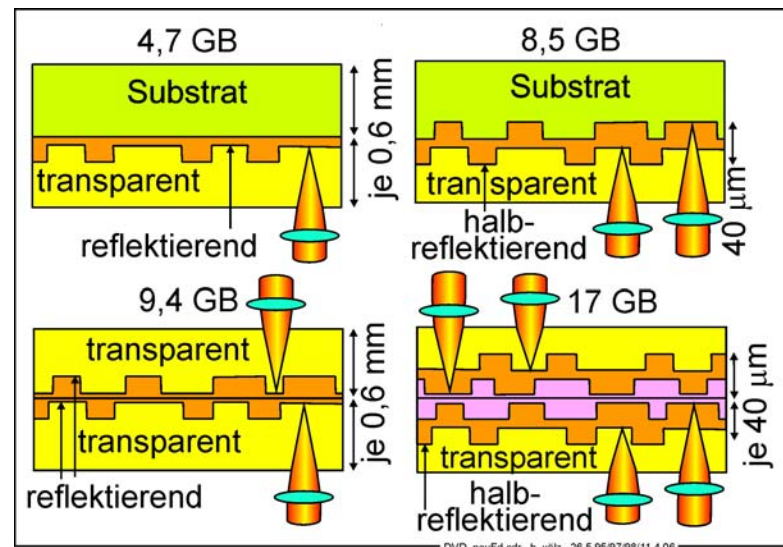
Dicke = 1,2 mm = CD, 2 **Platten von 0,6 mm** zusammengeklebt, Speicherschicht liegt **gut geschützt** in der Mitte
Erhöht Verwindungssteifheit = Abtastpräzision

Geringerer Abstand zur Oberfläche größere Gefahr für Störungen durch **Kratzer** und **Fingerabdrücke**

Wieder $\varnothing = 12$ cm und 8 cm, innerer Startradius $25 \Rightarrow 24$ mm, äußerer Radius = 58,0 bzw. 38,0 mm festgelegt

	CD	MMCD	SD	DVD
Laser-Wellenlänge in nm	780	635	650	635/650
NA vom Objektiv	0,45	0,52	0,6	0,6
Spursteigung in μm	1,6	0,84	0,74	0,74
Pit-Länge in μm	0,8/3,6	0,45/2	0,4/?	0,4/1,14
Pit-Breite in μm	0,6	0,4	?	0,4
Geschwindigkeit in m/s	1,2	4	3,34	3,49/3,84
Kanalrate in MBit/s	4,32	≈ 25	≈ 25	26,16
Seiten	1	1 + DL	2	2 + DL
Rotation UpM	8 - 3,5			10,5 - 25,5
Modulation	8 : 14 + 3			8 : 15 + 1

Speicherkapazitäten fehlen, weil mehrfach, vorwiegend aus marktpolitischen Gründen geändert



8 verschiedene physikalische Datenformate der DVD

Kapazitäten gelten nur für gepresste DVD, also nicht für R und RW
Eine DVD kann 1 bis 4 „Informations-Schichten“ bzw. 1 oder 2 Layer besitzen!

DVD-x	5	9	10	18	1	2	3	4
Durchmesser in cm	12				8			
Seiten	1		2		1		2	
Layer (DL)	1	2	1	2	1	2	1	2
Kapazität in GByte	4,7	8,5	9,4	17	1,4	2,7	2,9	5,3
ca. Laufzeit Video	2 h	4 h	4,5 h	8 h	½ h	1,3 h	1,4 h	2,5 h

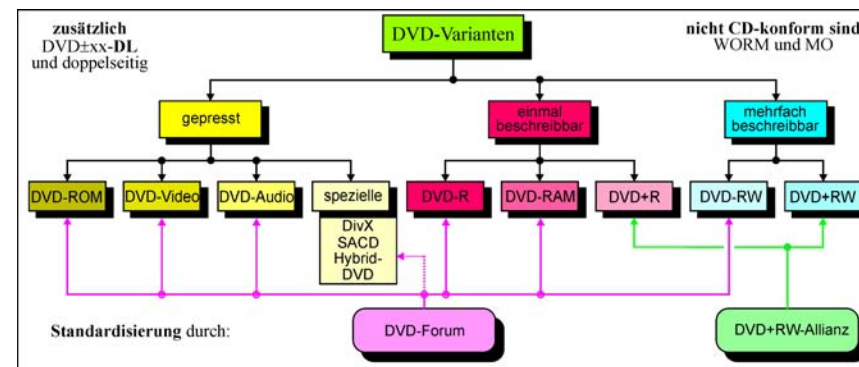
Weitere Daten-Formate

Betreffen **Anwendungen**: Video, Audio und digitale Daten

„**Bücher**“ (Sept. 1996) heißen schlicht book A (DVD-ROM, book B (DVD-Video) und book C (DVD-Audio)

Beschreibbare Medien des DVD-Forums führen zu weiteren books

Hinzu kommen DVD+Formate von **DVD+RW-Allianz** und weitere Sonderformate



Medien mit Doppel-Layer **DL** und mit **zwei Seiten** nur wegen der Übersichtlichkeit als Stichworte hinzugefügt

DVD-ROM

Speicherung *allgemeiner (Computer-) Daten*

Beschränkungen ISO 9660 (International Standard Organisation) aufgehoben

1995 schuf dazu **OSTA** (Optical Storage Technology Association) Dateisystem **UDF** (universal disc format)

Basiert auf ISO 13346 und ECMA 167 (European Computer Manufacturers Association)

Vers. 1.02 für DVD-ROM; 1.50 (1997) DVD-RAM, DVD±RW; 2.50 (2003) BD-RE; 2.60 (2005) BD-R
Mit Hybrid-File-Format „**UDF-Bridge**“ Kompatibilität zu ISO 9660 garantiert (Micro-UDF)

- **Speicherkapazitäten** bis über 1 TByte (ISO 9660 nur ≈1 GByte).
- **Lange Dateinamen** bis zu 255 mit 8- oder 16-Bit Zeichen, Groß- und Kleinschreibung.
- **Blockweises Schreiben** mit IPW (incremental packet writing). Zugriffe wie bei Festplatten
kleine Blöcke, je 14 KByte Verwaltungsdaten, beim Brennen sehr kleiner Pufferspeicher notwendig
Nur Windows XP benötigt Zusatztreiber, z.B. kostenlosen Nero InCD Reader.
- **Verzeichnis-Ebenen unbegrenzt** viele (ISO 9660 nur 8), maximale Pfadlänge 1 023.
- **Plattform-Unabhängigkeit**, u.a. Windows, Mac, OS, OS/2, SGI, Linux und Unix.
- **Dateiattribute** der verschiedenen Betriebssysteme werden unterstützt

Datenstruktur

Es gibt nur geringe Abweichungen zwischen verschiedenen Formaten!

EFM-plus (8 : 15, eight to fifteen modulation) nur 15 Bit + 1 Zusatz-Bit ⇒ Channel-Bit = 16 Bit (Doppeltabelle)

Daten-Bit-Länge 267/293 nm, **Channel-Bit-Länge** 133/147 nm

Wesentlich aufwendigerer Fehlerschutz, mehrfach **EDC** und **ECC** nach REED-SOLOMON, Zusätzlich Quer-ECC
6 statt 2,5 mm wie bei CD korrigierbar

Nutzrate = 11,08 MBit/s; Channel-Rate = 26,16 MBit/s = 10-mal so groß wie bei CD

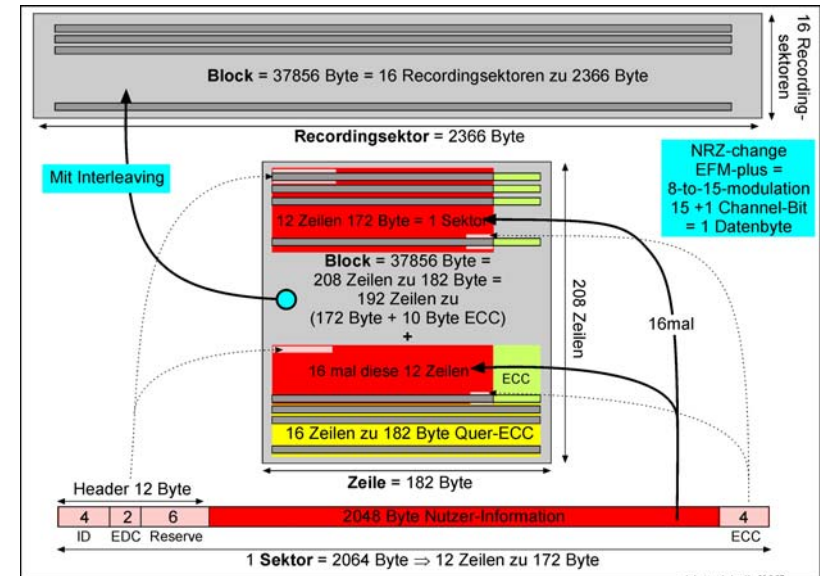
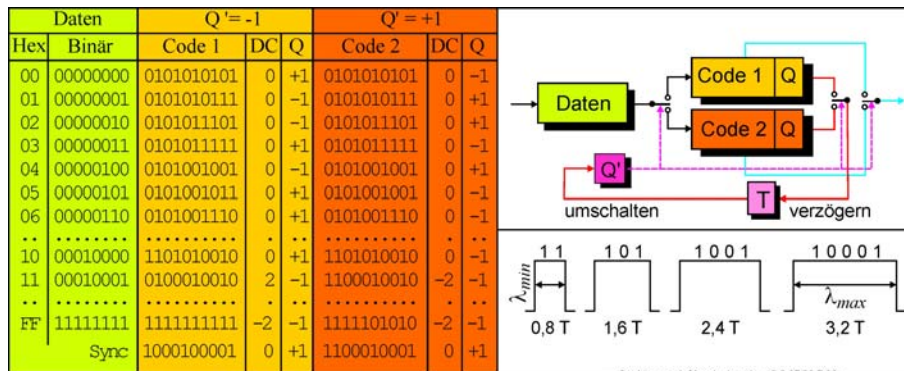
Adressierung per Header, nicht mehr über Sub-Channels

Wegen wesentlich größerer Kapazität dennoch etwas längere **Zugriffszeit**
bei DL-Medien hinzu ≈ 20 ms für Umfokussieren

CGMS möglich (copy generation management system), wird nicht von allen Laufwerken unterstützt

Legt mit Zusatzinformationen fest, **welche Teile wie häufig kopiert** werden dürfen

Anders als SCMS (serial copy management system) von R-DAT MD (MiniDisc)
das generell nur eine digitale Kopie zulässt.



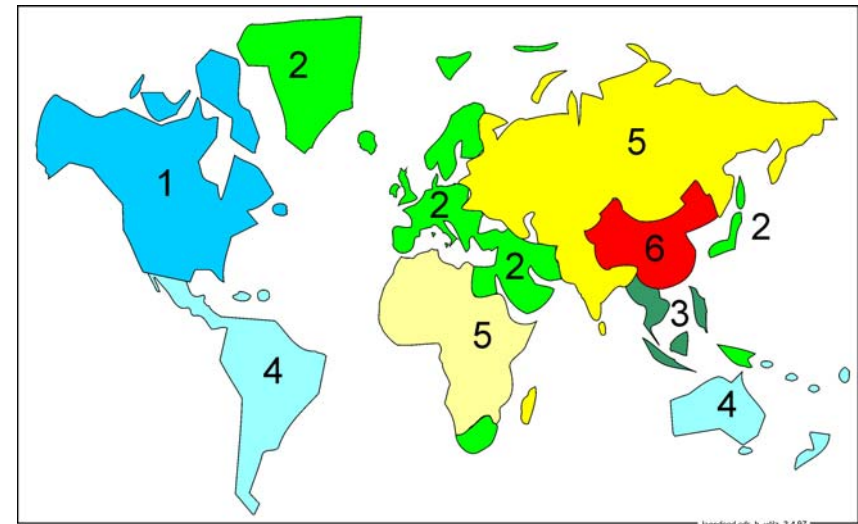
Kopierschutz verzögert Video-DVD

Eigentlich waren **Filme** der entscheidende **Auslöser für** die Entwicklung der **DVD**
Doch DVD-ROM entstand vorher, daher eigentlich **keine DVD-Video** und DVD-Audio noch erforderlich
Selbst anwendungsspezifische Kompressionen bedingen keine neue Qualität
Doch die **Filmindustrie forderte** gemäß „**Urheberrecht**“ leistungsfähigen Kopierschutz für hohe Gewinne
Eigentlich stand sofort **CGMS** (s. o.) zur Verfügung, ebenso aus der Analog-Technik Macrovision-System
Letzteres bringt bei VHS-Aufnahmen die Aussteuerung so durcheinander,
dass nur noch Filmmern aufgezeichnet wird

So wurde die Fertigstellung der entsprechende DVD und Geräte für Video und Audio beachtlich verzögert
Es entstand **CSS** (content scrambling system), so geheim,
dass zur „**nationalen Sicherheit**“ Export aus USA fast verboten wurde
Technischer Aufwand **verteuert Geräte**. Erst bei der Wiedergabe wird die Entschlüsselung durchgeführt
Code müssen Gerätehersteller beim Lizenzgeber unter **harten Auflagen** (non disclosure agreement) kaufen

So stand Geräte-Technik erst 2005 zur Verfügung, obwohl es ab 2003 sogar beschreibbare Medien gab
Weiter wurde der Regional- bzw. Länder-Code **RPC** (regional protection code) eingeführt

Natürlich ist es Hackern schnell gelungen, den Code zu knacken



Es geht noch aufwändiger

1998 **Divx** (digital video express) der Studios Walt Disney, Universal, Paramount und DreamWorks
= Variante von Video-on-Demand (englisch **demand** Bedarf, Nachfrage)
oder Pay-Per-View (bezahlen für jedes Abspielen)

Das teure, spezielle Abspielgerät muss zunächst per **Modem** mit einer Zentrale verbunden werden
Erst wenn die entsprechende **Gebühr** abgebucht ist, lässt sich die Divx abspielen
Wegen zu geringer **Akzeptanz** folgte später eine **Billigvariante**, die es zuließ, 48 Stunden lang abzuspielen
Prinzip starb 2000, daher sind Divx-Medien **heute nicht mehr abspielbar**

Mehrmals wurde versucht eine **Einweg-DVD** bzw. Wegwerf-DVD = EZ-DVD einzuführen
Firmen SpectraDisc und Flexplay haben nacheinander zwei unterschiedliche Varianten herausgebracht
Sollten insbesondere den **Spielfilmverleih** von **Videotheken** revolutionieren
Die ausgeliehene DVD braucht nicht zurückgebracht zu werden, es gibt auch keine Verzugsgebühren
Sobald schützende, luftdichte Hülle entfernt,
bewirkt **Luft-Sauerstoff** chemische Reaktion, zerstört DVD in 8 - 48 Stunden
Eine andere Variante benutzt sehr **hohe Lichtempfindlichkeit**

Solche DVD können dann nur noch weggeworfen werden (Umweltverschmutzung), fanden keine Akzeptanz

Ähnlich geht es heute den **vielen Werbe-CD/DVD**, die u.a. Zeitungen und Zeitschriften beigelegt werden

Nebenbei: Ähnliches geschah ab 2006, nur noch konsequenter und noch unsinniger auch bei den **blauen Medien**

Eigenschaften der DVD-Video

Digitales Video verlangt bei hoher Auflösung einen Datenfluss von etwa **270 MBit/s**
MPEG-2-Codierung (**M**oving **P**ictures **E**xperts **G**roup)

⇒ 4 : 2 : 0-Komponenten und Kompressionen 20:1 bis 50:1 benutzt

Nettorate ≈ 3,5 MBit/s ⇒ Spielzeit DVD beträgt 133 Minuten (≈2 h) je Informationsschicht

Dennoch **Qualität** bereits etwa 4-mal so gut wie bei CD-i mit MPEG-1

Horizontalauflösung = 540 Linien (>425 bei Laserdisc), besserer Bildstand als VHS + kein Bandrauschen

Viele **Wiedergabe-Varianten** für Bild und Ton: Formate 5 : 3, 16 : 9 und 2 : 1 – getrennt PAL/SECAM und NTSC
32 Varianten von Untertiteln, Wiedergabe-Spezialeffekte: Zeitlupe, Standbild, Einzelbildvorlauf, Suchlauf usw.
Z. T. kann „**Blickwinkel**“ aus 9 parallele Videospuren ausgewählt werden = Multi-Angle-Funktion

Bei gleicher Bildqualität genügen z. B. weniger Audio-Kanäle bzw. -Qualität und weniger Untertitel (Sprachen)
Bei höheren Qualitätsverlust ist die Spielzeit deutlich zu erhöhen, bei VHS-Qualität ergeben sich etwa 9 Stunden

Tonqualität genügt sehr hohen Ansprüchen, Standard-Datenstrom von 6,144 MBit/s
Abtastraten von 48 und 96 kHz mit 16, 20 oder 24 Bit Tiefe (die 44,1 kHz der CD-DA gibt es nicht)
Lineare PCM bis 8 Audiokanäle, Dolby Digital (AC-3; 5 + 1), MPEG-2 (5 + 1 oder 7 + 1 Kanäle) 384 kBit/s
8 digitale Tonspuren ermöglichen verschieden synchronisierten Fassungen in mehreren Sprachen
Auch DTS (**d**igital **t**heater **s**ound) oder SDDS (Sony **d**ynamic **d**igital **s**ound) wird unterstützt

Zusätzlich **32 Datenströme** mit 3,36 MBit/s, für Untertitel, Karaoke-Texte, Menüs und einfache Animationen

DVD-Video = **UDF-Bridge-Format**, kann daher auch auf DVD-ROM-Playern abgespielt werden
Zur Decodierung ist ein geeigneter Audio-Video-Decoder (z.T. extra Karte) notwendig.

DVD-Audio

Audio ist sehr gut auf der DVD-Video und DVD-ROM zu speichern
Dennoch gibt es drei weitere Varianten: **DVD-Audio**, **SACD** (Super-Audio-CD) und **Hybrid-DVD**
Wiedergabe erfordert teure Spezial-Geräte, Player für DVD-Video und DVD-ROM sind nicht geeignet

SACD zusätzlich auf üblichen CD-Playern – allerdings nur in **CD-Qualität** – wiedergebar (s. u.)

Alle Varianten fanden **keine größere Akzeptanz**, es erscheinen höchstens hundert Titel im Jahr

Vorwiegend handelt es sich um Neuproduktionen **von alten analogen Original-Magnetbändern**

Wahrscheinlich wird es auf längere Sicht keine endgültige Standardisierung einer DVD-Audio geben

Untersucht wird das u. a. bei **ARA** (Acoustic Renaissance for Audio) und DVD-Forum
Beispiele; **MLP** (Meridian Lossless Packing) und **PPCM** (packed pulse code modulation) oder **Dolby Lossless**
Bis zu 64 Kanälen mit z.T. unterschiedlicher Auflösung vorhanden

Flip Disc (Dual Disc) = Sandwich aus herkömmlicher Audio-CD und DVD-Audio
Wegen der zu großen Dicke 1,2 + 0,6 mm ist sie nicht standardkonform, benötigt spezielle Player

SACD ⇒ Hybrid-DVD

Von Philips und Sony entwickelt, vorrangig für klassische Musik
Benutzt einen Delta-Sigma-AD-Wandler mit 1 Bit Tiefe und 2,8224 MHz = $64 \times 44,1$ kHz
Arbeitet mit Gegenkopplung und PDM-Signal (pulse duration modulation = Puls-Längen-Modulation)
Je Sekunde 75-mal 37 537 Bit aufgezeichnet, bei 2 Kanälen ≈ 100, bei mehreren 80 Minuten erreicht

Surround-Sound wird mit bis zu sechs Kanälen unterstützt
Störabstand 120 dB, Bandbreite 100 kHz und verlustfreie Kompressionsrate um 2 : 1

Die Speicherung erfolgt als kopiergeschütztes DSD-Signal (**direct stream digital**)

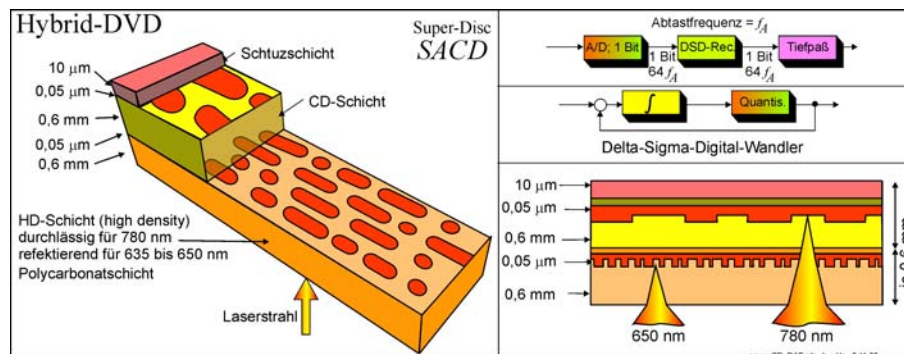
Player besitzen meist nur analoge Ausgänge, evtl. digitale Firewire (IEEE1394)

SACD werden meist als **Hybrid-DVD** produziert, ab 1998 auf dem Markt.

Ist **gleichzeitig CD** (obere Schicht) **und DVD** (mittlere Schicht)

SACD-Signal in Mitte, reflektiert von 635 bis 650 nm, gut durchlässig für 780 nm

Beide Schichten enthalte gleiches Programm, so kann SACD auch als normale CD abgespielt werden



Argumente bzgl. spezieller Audio-DVD 1

Erstmals ist es technisch möglich, das gesamte akustische Spektrum uneingeschränkt zu speichern
Letztlich geht es aber nicht um Technik, sondern was der Mensch *hören kann und will*, also Qualität ⇔ Quantität
Gegenfrage: Warum hat MP3 eine so gewaltige Akzeptanz erlangt?

> 20 kHz

Kein Mensch kann Frequenzen >20 kHz wahrnehmen, auch nicht unbewusst
Es ist auch nicht nachgewiesen, dass Differenz-Frequenzen gehört werden, z. B. 1 kHz aus 20 und 21 kHz
Beim berühmten Kolorit des Klanges oder Ähnlichem handelt es sich um stark subjektive Aussagen
Sie liegen in der Nähe von Behauptungen wie, entmagnetisierte CD klingen besser
Objektiv bringt es für das Hören keinen Gewinn, Schallsignale über 20 kHz zu speichern

< 20 Hz

Frequenzen <20 Hz. hören wir zwar nicht, aber fühlen sie!
Beispiel: Schlagzeugin EVELYN GLENNIE (*1965) ist absolut taub
interpretiert dennoch hervorragend selbst die schwierigsten Werke der Klassik mit großen Orchestern
bewegt sich allerdings barfuß auf der Bühne und erzielt so den notwendigen „Schall-“, Kontakt
Doch tiefe Frequenzen sind kein Problem der Speicherung sondern der Elektroakustik (Lautsprecher)

Vergrößerungen des Dynamik-Bereiches

Dies kann hörbare Vorteile bringen

In der Umgebung von 1 kHz nehmen wir – von der Hörschwelle bis zur Schmerzgrenze – **~130 dB** wahr
Großen Orchester überschreiten oft 100 dB $\Rightarrow$ **Archiv-Aufnahmen** daher >120 dB nützlich/notwendig

Bei Wiedergabe beträgt der **Geräuschpegel** meist 10 - 30 dB, z. T. sogar viel mehr, z. B. im Auto usw.

Eine obere Lautstärke ergibt sich meist aus der **Lärmbelastung von Nachbarn** usw.

Daher früher **Kunst der Tonmeister**, mit der Partitur in der Hand, die Dynamik so zu verändern,
dass Crescendi und Decrescendi für die Wirkung der Musik voll erhalten bleiben,

Heute ist bereits oft die Dynamik der CD und einiger digitaler Rundfunksender für Wohnräume zu groß

So wurde für **DAB** (digital audio broadcasting) eine **einschaltbare Dynamikreduzierung** vorgesehen

Höhere Dynamik ist somit für Studios usw. sinnvoll, aber für Verbraucher eher schädlich

Audio-Inhalte

Ein **Überangebot von Schall** kann selbst kulturvollen Inhalten zur Belästigung werden

Nicht die Menge bestimmt die Freude, das Glück, sondern die **richtige Auswahl**

Wird das Angebot zu groß, wird die **Entscheidung zur Qual**, wichtig ist **begrenzt Hören**

Das könnte ähnlich für Sammlungen per CD usw. gelten $\Leftrightarrow$ **Sammlerleidenschaften** sind da anders
U.a. bauen hierauf **Manager der Musikindustrie** auf, die nur verkaufen wollen (Nutzung vom Urheberrecht!)

Für Musiker, Fachleute und **Forschung** ist dort offensichtlich kein Platz mehr

Gewiss sind historische Werke wichtig für die **Archivierung**

Doch was ist mit der **Background-Musik** in Kaufhäusern, Anwaltsbüros usw.?

Gut wären z. B. gewiss **mitlesbare** Partituren, Liedtexte, Übersetzungstexte bei Opern usw.

Genau hierzu und ähnlichem ist eine Diskussion wichtiger als zu Details weiter verbesserter Technik

Kombinierte DVD-CD-Reader-Writer

Anfangs konnten DVD-Laufwerke nur DVD lesen, erst 2. Generation ab 1998 abwärtskompatibel mit CD

Aufwand für optische Einheit ist deutlich größer: **je ein Laser** für 650 und 780 nm

Auch Objektiv muss angepasst werden, Erste Laufwerke hatten **zwei Linsen**

Mit **asphärischen Linsen** und evtl. zusätzlichen „Beugungsgittern“ $\Rightarrow$ genügt eine Hauptlinse

Es wird u. a. von „holographischen“ Linsen gesprochen, die aber eigentlich spezielle Zonenlinsen sind

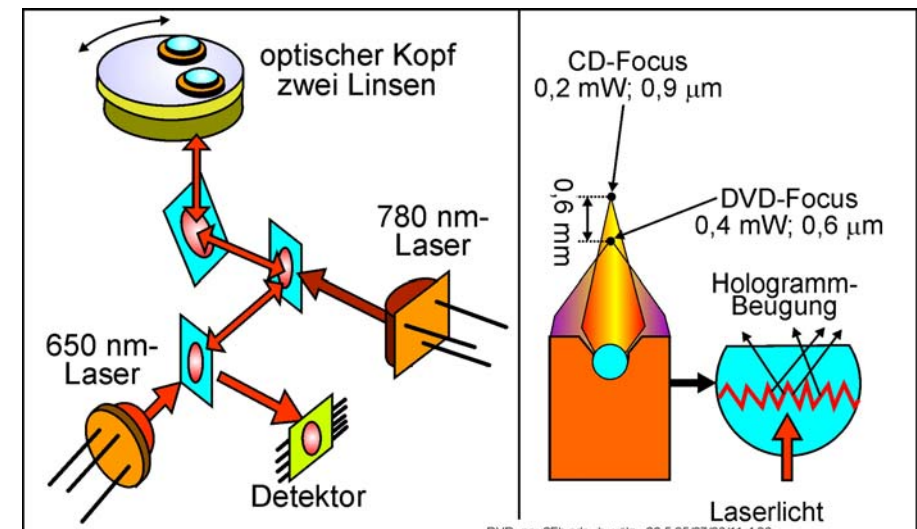
Probleme auch die vielen beschreibbaren Formate, es gab große **Verunsicherung der Käufer**

Ab 2003 gab es (preisgünstige) Multi-Brenner, die sowohl **DVD-** als auch **DVD+**Medien unterstützten

Es sind kaum Laufwerke vorhanden, die gleichzeitig beide Seiten einer **doppelseitigen DVD** lesen können

Müssen zwei teure optische Einheiten enthalten

Einfachere $\Rightarrow$ **Flipper-DVD** (englisch **to flip** umdrehen, wenden, schnipsen)



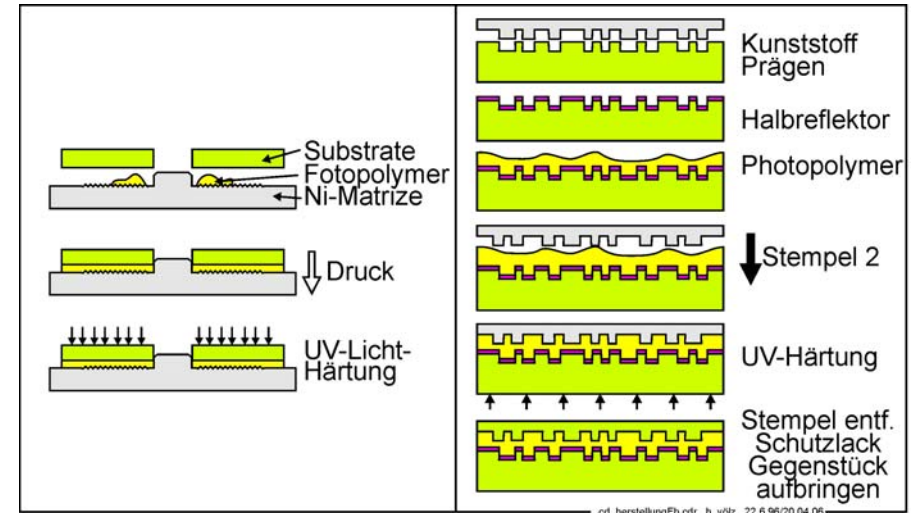
DVD-Fertigung

Die **primär** hergestellten Polycarbonatscheiben sind **nur 0,6 mm** dick
Für die DVD müssen zwei **mit Pit-Seiten aneinander geklebt** (gebondet) werden
Hierzu dient meist **UV-härtender Klebstoff**, er wird mit Düse aufgebracht und auf Dicke $\approx 50 \mu\text{m}$ abgeschleudert
DVD mit nur einer Informationsschicht ist die zweite Scheibe ein **Dummy ohne Pit**

Toleranzen: Höhengschlag $\leq 0,5 \text{ mm}$ ($< 0,6^\circ$), Mittelochtoleranz $\leq 50 \mu\text{m}$ = reichlich 60 Spuren

In 90er Jahren Vereinfachung der Herstellung durch **2P-Prozess** von Philips
Er nutzt die *Photopolymerisation* und vermeidet hohen Druck und hohe Temperatur
Kombination beider Verfahren ermöglicht die Herstellung der Zweischicht DVD.
Zwischen Matrize und Polycarbonat-Platte wird ein geringer Abstand eingestellt
mit **polymerisierbarer Mischung** gefüllt, anschließend **durch UV-Strahlung ausgehärtet**
Deutlich **geringerer Stempelschleiß** ein

Kombination mit üblicher Pressung wurden erste **DVD-DL** hergestellt
Unterer, **halb-transparenter Layer** (Halbreflektor) besteht aus Au-, Al- oder Ag-Legierungen, Dicke $\approx 10 - 15 \text{ nm}$
Herstellungskosten mit Labeldruck $\approx 2 \text{ €}$, Verpackungen, Inletts usw. zusätzlich wenige Cent
Von Ablieferung der Daten bis zur fertigen CD/DVD minimal 24 Stunden, üblich ≈ 10 Tage.



Beschreibbare DVD

Existieren als R und RW, es mussten zwei Neuerungen erfolgen

1. Neue Spuranordnungen (**Groove**) für höhere Datenrate und größere Kapazität, Rillentiefe $\approx 80 \text{ nm}$
zusätzlich Land-Pre-Bits für Positionen der Sektoren eingefügt
 $\Rightarrow$ geringe Kompatibilität zur DVD-ROM
2. Wegen anderes λ **neue Speichermaterialien**, gilt vor allen für Dye, weniger für amorph $\Leftrightarrow$ kristallin

Jeder CD-Rohling enthält im Anfangsbereich einen **ATIP-Code** (absolute time in pregroove)
Sollte ursprünglich dem Brenner nur die Speicher-Kapazität übermitteln
Es kamen jedoch immer mehr Informationen zur genauen Kennzeichnung des Rohlings hinzu u. a.:
M-Teil weist Hersteller (**manufacturer**) aus
T-Code kennzeichnet den Typ, z.B. das Dye

Auslesen ermöglichen spezielle Programme, wie CDR-Identifizier

Zusätzlich für ATIP Internet-Datenbank, jedoch nur bis 1999 kostenlos zugänglich

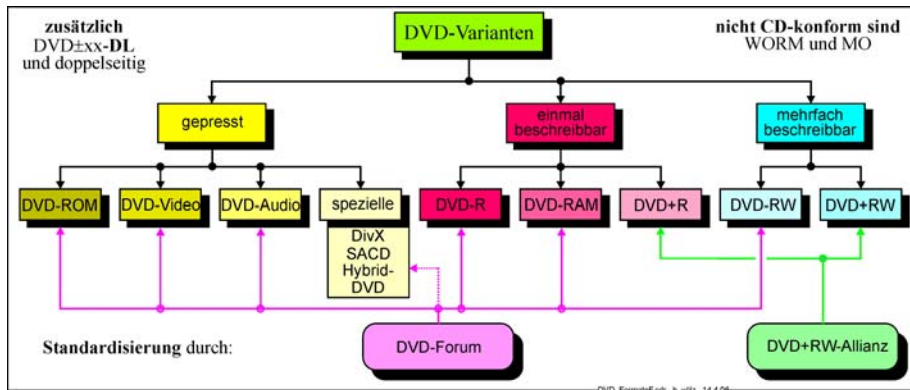
Neues zusätzliches Gremium

Die Anwendungen sind sehr umfangreich $\Rightarrow$ hoher zu erwartenden Gewinn
So entsteht zusätzliche Firmengruppe DVD+RW-Alliance und schuf eigenständige DVD+
Insgesamt entstanden schließlich 3 Haupt-Varianten

- | | | |
|------|------------|---|
| 1997 | September: | „-“-Varianten des DVD-Forums: DVD-R, DVD-RW |
| 1997 | Oktober: | DVD-RAM des DVD-Forums |
| 1998 | März: | „+“-Varianten der DVD+RW-Alliance: DVD+R, DVD+RW |

Folge **hohe Verunsicherung** der Käufer
Prognose von Marktforscher Dataquest senkte daher Verkauf DVD-Rekorder 2001
von 17 auf 1,9 Millionen Stück

DVD mit zwei Informationsschichten (**DL**) waren erst ab 2005 verfügbar).



DVD-R/RW $\Leftrightarrow$ DVD+R/RW

DVD-R/RW waren zuerst verfügbar, Adressierung erfolgt über so genannte Pre-Pits
Rohlinge und Rekorder waren zunächst recht teuer, erhielten elektronische Sperre gegen Raubkopien
Wobblefrequenz in Groove = 140,6 kHz (CD = 22,5 kHz)

Ziel der **DVD+RW**-Allianz preiswertere Geräte und Rohlinge verfügbar zu machen

Weglassen der Pre-Pits

⇒ einfachere Struktur + größere Nähe zu CD-Rekordern + Wegfall der hohen Lizenzgebühr

Zusätzlich **CLV- und CAV-Modus** möglich ⇒ Vorteile für Aufzeichnungen und Cuttern von Videoaufnahmen

Wobblefrequenz in Groove erhöht = **817 kHz**

⇒ bessere Repositionierung beim Neustart des Brennens: Lücke nur $\approx 1 \mu\text{m}$

Unterbrechung bei Wiedergabe nicht wahrnehmbar ⇒ Begriff „lossless linking“

DVD-RAM

Weicht in mehreren Punkten von der üblichen CD-Struktur ab

Verwendet eine **kreisförmige Spur im ZCLV** und keine Spiralspur (s. u.)

Pits befinden sich auf dem **Land** und in der **Groove** ⇒ geringer Spurbstand 0,615 μm

Adressierung zusätzliche kleine Rechtecke ⇒ 2 KByte Sektoren, schneller Zugriff auf die Sektoren

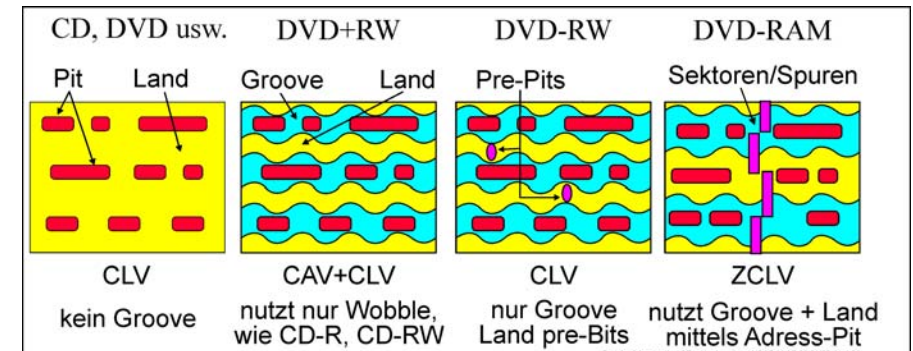
Braucht auch nach längerer Benutzung nicht defragmentiert zu werden

Über diese Marken sind DVD-RAM von anderen DVD mit bloßem Auge zu unterscheiden

Speziell **feinkörniges PM-Material**

Eigenes leistungsfähiges **Fehlerkorrekturverfahren** $\leq 100\,000$ Löschr-Schreib-Zyklen (sonst 1000)

Technisch sehr gut, aber 5- bis 10-Mal so teuer wie die anderen DVD-Rohlinge



Spiral $\leftrightarrow$ KreisSpur

Infolge DVD+R/RW $\leftrightarrow$ DVD-RAM erneut Diskussion über Spuranordnung und deren Nutzung
Varianten für Bits können auf der Oberfläche einer rotierenden Scheibe

Historisch einfache **Spiralspur**, bei frühen Automaten, Schallplatten und Lochplatten der Spieldosen
kehrte mit den optoelektronischen Speichern wieder

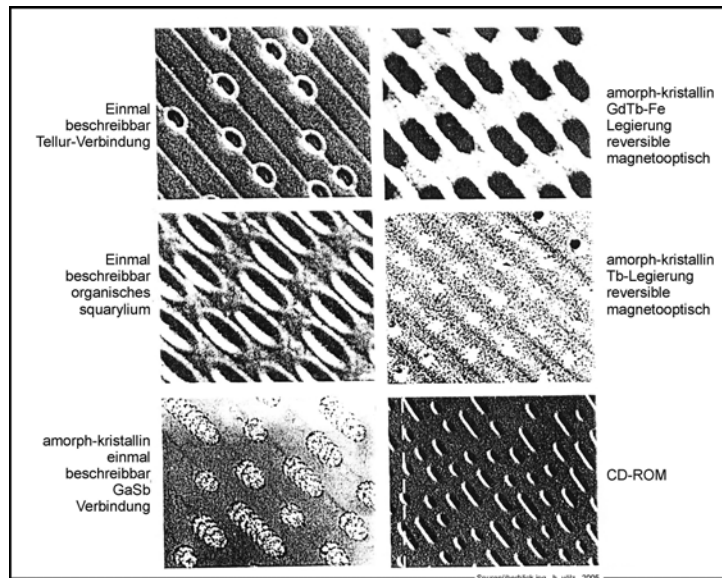
Vorteil: kontinuierliche Wiedergabe von **lang anhaltenden Signalen** wie Audio und Video (Streams)

Nachteil: **verzögerter Zugriff** auf bestimmte (einzelne) Daten oder den Beginn von Aufzeichnungen

Die **Kreisspur** gab es zunächst bei den Trommelspeichern, dann bei den Disketten und Festplatten

Vorteil: **sehr schneller Zugriff** auf einzelne Daten und relativ kurze Dateien (Sektoren)

Nachteil: **Speicherdichte** ist bei den inneren Spuren größer als bei den daher schlecht genutzten äußeren



Kompromisse

betreffen Verhältnis: **Speicherkapazität**, **Zugriffzeit** und **Datenrate**

Kombinationen verlangen komplizierte Steuerungsmechanismen $\Rightarrow$ umfangreiche Halbleiter-Elektronik
Daher erst in späten 80er Jahren möglich

Festplatten embedded service und 1987 führte Seagate für die Festplatte das **ZBR** (zone bit recording)

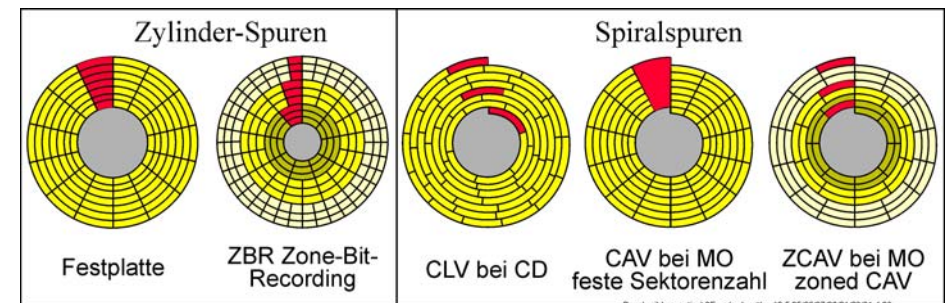
Laserdisk ab 1970 umschaltbarer **CAV**- bzw. **CLV**-Mode mit konstanter Linear- bzw. Winkelgeschwindigkeit

WORM gab es mit **CCS** (continuous composite servo) bzw. **SS** (sampled servo)

MO (magneto optical) entstand Anfang der 90er Jahre **ZCAV** (zoned constant angular velocity)

Spiralspur + konstante Drehzahl (CAV), jedoch mit Sektoreinteilung

DVD besitzt die z. Z. komplexeste Struktur: ZCLV (zoned CLV) mit Kreisspuren, 24 oder 36 Zonen



IPW (incremental packet writing)

RW-Medien ermöglichen neben DAO und TAO noch **IPW**, oft nur „*packet writing*“ genannt
Bei DVD wird zuweilen auch = *restricted-overwrite-mode*.

Es werden sehr **kleine und voneinander unabhängige Datenblöcke** geschrieben
Vielfach ist **Datenpuffer** im Rekorder **sogar deutlich größer** $\Rightarrow$ kein buffer-under-run

Ein **Track** ist aus mehreren einzelnen, unabhängigen Schreibvorgängen zusammengesetzt
Je Schreibvorgang zusätzlich

7 Blöcke (≈ 64 KByte), 4 Run-in-, 2 Run-out-Blöcke + Link- oder Verbindungsblock

Es gibt **Fixed** und **Variable Packet Writing**

Im **Fixed-Mode** alle Pakete gleich groß, bereits durch Formatieren festgelegt
Formatieren kann bis zu einer Stunde dauern, möglich Formatieren im Hintergrund

2002 von **Mount Rainier** Group festgelegt
Mount Rainier ist vergletschter, ruhender Vulkan, 4 393 m hoch, im Bundesstaat Washington

Stzt **UDF (universal disc format)** voraus, 1995 von OSTA (optical storage technology association) entwickelt
Prinzip muss vom **Recorder unterstützt** werden
Erfordert z. T. speziellen **Treiber**, z.B. bei Nero = InCD, CD-Creator = DirectCD; WinOnCD = Packet-CD.

Wenn Rohling für UDF formatiert wurde, dann sind Session für TAO oder DAO nicht mehr möglich

IPW-Eigenschaften

Im gewissen Umfang können bei IPW **Daten wieder gelöscht** werden

Vollständiger Speicherplatz jedoch nach dem vollständigen Löschen

Allgemein werden die Daten – bei R-Medien immer – lediglich als Links aus dem Inhaltsverzeichnis entfernt

Auch ein **Umbenennen von Dateien** ist möglich

UDF formatierte CD/DVD kann von üblichem CD/DVD-Laufwerken nicht gelesen werden, in Rekorden immer
Wird aber durch spezielles Schließen = **Finalisieren** möglich

Eine UDF-CD kann mit **ISO-9660-Standard umhüllt** werden, erfordert ≈ 20 MByte
Ähneln dann Multi-Session-CD

Für DVD-RAM ist infolge ihrer Hardware-Sektorierung IPW nicht erforderlich

DVD-ähnliche und verwandte Techniken

Es sind Varianten entstanden, die CD/DVD ähneln bzw. deren Technologien ähnlich übernehmen
Details (s. u.); zu nennen so u. a.:

- Kleine DataPlay
- Optische Bänder
- Lasercard
- Tesa-ROM

Alle haben aber nur kleine Akzeptanz bzw. spezielle Anwendungen erlangt

Zusätzlich sei auf **Weiterentwicklungen** hingewiesen:

blaue und **holographische** Medien, sowie **magnetooptische** Varianten (s. u.)

DataPlay

Von DataPlay Inc. entwickelt, von Imation übernommen und 2001 präsentiert benutzt. **Phase-Change**-Technik
Nur in den USA gab es zeitweilig Geräte und Disketten

$\varnothing = 32$ mm, Dicke = 0,6 mm, Speicherkapazität **250/500 MByte**

Disk befindet sich in **Cartridge** von $33,53 \times 39,5 \times 3,05$ mm³,

Masse $\approx 3,5$ g, Speicherdichte = $4,5$ MByte/mm² = $3,3$ KByte/mm mit 1351 Spuren/mm

$\Rightarrow$ Spurbstand = $0,74$ μ m, Datenrate ≈ 1 MByte/s. Laser wie bei DVD = 650 nm

Leistungsaufnahme Gerät im Standby 10/80 mW, im Leerlauf auf 160 mW



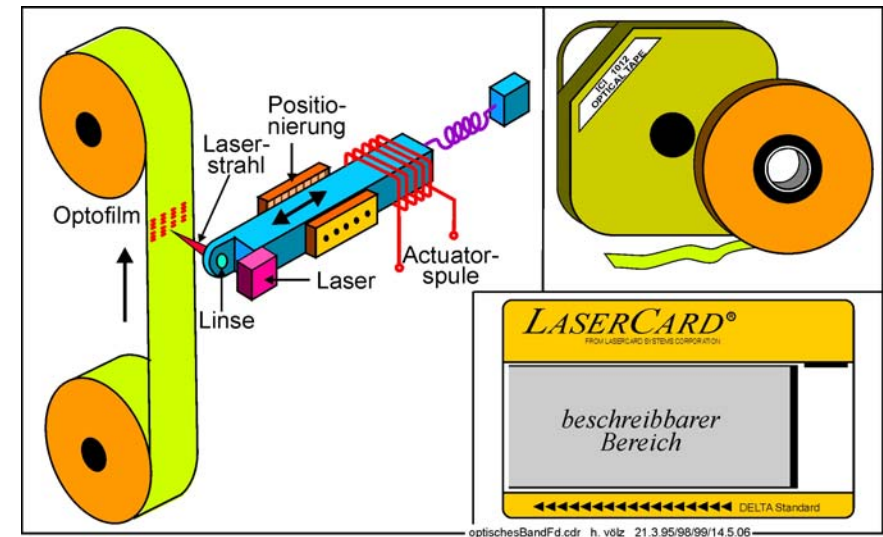
Opto-Band, Lasercard usw.

1984 hat **Philips** einen Prototyp mit optischem Band vorgestellt, der aber wohl nie zur Anwendung kam. Er geht von der **Compact Cassette** aus, die ein **WORM-Band** enthielt und 8 Stunden Video speichern konnte. Die Ablenkung des Laserstrahles erfolgte durch einen rotierenden sechsflächigen Polygonspiegel.

1990 **Opto-Band** mit Laufwerk von CREO ist in Kanada verfügbar, konnten aber keine Breitenanwendung. Das Band wird von ICI Imagedata hergestellt: **Spule** $\varnothing = 30 \text{ cm}$, 900 m Band 35 mm breit, 75 μm dick, **1 TByte**. Auf Polyesterunterlage: metallische Reflexionsschicht, Dye, Schutzschicht. 32 Laser arbeiten parallel, Spurbstand = 1,4 μm , Datenrate $\approx 20 \text{ MByte/s}$, Suchlauf 15,5 m/s. Anwendung: u.a. **video on demand** und **Daten der Weltraumforschung**, Bild (s. u.) zeigt ältere Variante mit nur einem Laser.

1993 wurde die **Lasercard** im typischen Scheckkartenformat vorgestellt. Sandwichtechnik: Dye + reflektierenden Träger zwischen transparenten Polycarbonatfolien eingeschweißt. Pit- $\varnothing = 2,5 \mu\text{m}$, Speicherkapazität **2,8 MByte**, bei geringerer Fehlerkorrektur 4,1 MByte oder gar **14 MByte**. Genutzt wird sie u.a. in **Kanada als Gesundheitskarte**, speichert auch Röntgenbilder. Andere Anwendungen sind Verwaltung und Archivierung von Daten sowie **Zugangskontrolle**.

Es gibt auch **magnetooptische Bänder** (s. u.)



tesa-ROM = T-ROM

Benutzt **Polypropylen des tesa-Klebe-Bandes**,

Klebeband wird auch von anderen Firmen hergestellt, besitzt dann jedoch keine ausreichende Qualität. 13.3.1998 entdeckten zufällig Dr. STEFFEN NOEHTE + MATTHIAS GERSPACH Eignung für optische Speicherung. Geschah bei Vorbereitung einer CeBIT-Präsentation, die am 1.4. erfolgte. $\Rightarrow$ viele Experten hielten bzw. halten das Ergebnis für einen **April-Scherz**.

Grüner Laser $\approx 1,3 \text{ mW}$ (170 $^{\circ}\text{C}$) speichert auf tesa-Film hervorragende (**Phasen-)** **Hologramme**.

Verstrecktes Material zieht sich bei Belichtung zusammen und **ändert** seinen **Brechungsindex**. Sogar **Grauwerte** sind möglich, bis zu fünf Lagen waren einzeln zu verändern, 1999 bereits **90 Lagen**.

Lichtkegel so eingestellt, dass auf benachbarten Schichten ≈ 1.000 Datenpunkte bestrahlt $\Rightarrow$ keine Veränderung.

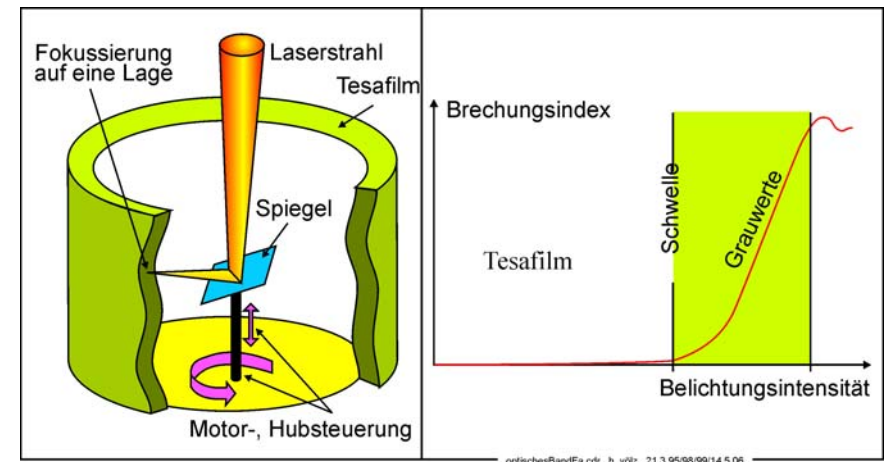
Nicht die Rolle, sondern der Spiegel wird gedreht und geneigt $\Rightarrow$ tesa-ROM.

Einfaches Laufwerk nutzt nur 3 Lagen mit 19 mm Breite; Raster = 1 μm $\Rightarrow$ 3 GByte.

Statt Klebeschicht spezielle Trennschicht, Datenhaltbarkeit wird auf 30 Jahre geschätzt.

$\Rightarrow$ **tesa scribos GmbH**, 2004 Entwicklung tesa-ROM erfolgreich abgeschlossen, bisher keine Anwendung.

2003 als **Fälschungsschutz** „tesa Holospot-System“ bewährt. Etikett mit 1 mm^3 Datenfeld trägt Bilder, Logos oder Texte 1 kByte. Oberfläche: Hologramm-Bild nur mit Lupe erkennbar, verdeckt eigentliche Information in 100 nm Tiefe. Label weder zu fälschen noch zu kopieren $\Rightarrow$ Produkt eindeutig gekennzeichnet, weitere Varianten entstanden.



tesa

Ab 1896 Markenname einer Zahnpasta, Besitz ging zu Beiersdorf über
 ⇒ tesa = Markenname der Beiersdorf AG
 Zunächst auch für eine Tauchmasse zur Herstellung von Wurstpelle benutzt, Produkte waren erfolglos

1935 entstand heutiger transparenter Klebefilm: „Beiersdorf-Kautschuk-Klebefilm“ verkaufte er sich schlecht

1936 taufte ihn Beiersdorf-Mitarbeiter HUGO KIRCHBERG auf „tesa“ um
 und schuf dazu den üblichen Tischabroller

Seit 1941 ist tesa **Dachname** für viele heute >6 000 **Produkte**, die jetzt von der tesa AG vertrieben werden

In Österreich gibt es ebenfalls tesa-Klebeband, wird aber gewohnheitsmäßig **Tixo** genannt

Voraussetzungen für Blaue Disc (BD)

Höhere optoelektronische Speicherkapazität fordert **kürzere Wellenlängen**, dazu **passend Optik** und **Material**

1998 erster **blauer Laser** (405/401 nm) in Japan vorgestellt

2002 wurden 10 000 Betriebsstunden bei 30 mW erreicht

120 Schichten abwechselnd 25 nm reinem und 2,5 nm leicht Al-dotiertes GaN, ≈2 000 \$

Auflösung einer Optik ist $\sim \lambda/NA^2 \Rightarrow$ möglichst große Numerische Apertur

Zwei **asphärischer Linsen** (Kunststoff gepresst) $\Rightarrow$ 0,85

Bei ≈400 nm ist reines **Polycarbonat** nicht mehr hinreichend lichtdurchlässig

1953 von Bayer AG **Makrolon** auf Polycarbonatbasis mit hoher Transparenz entwickelt

zusätzlich gute Festigkeit, Zähigkeit, Schlag-, Bruchfestigkeit, Wärmeform- und Witterungsbeständigkeit
 wird im Extrusions- und Spritzgussverfahren verarbeitet

außerdem u. a. für Brillengläser, Lichttechnik, Scheinwerferstreuscheiben benutzt

RW-Medien: vorwiegend GeSb, nur eine on-groove recording, Schreiben mit 4 bis 14 mW bei 250 bis 400 °C

R-Medien: vorwiegend anorganische Substanzen, z. B. Kupfer/Silizium-Schichten; on- und in-groove recording

Ab 2003 standen alle wichtigen Grundlagen für blaue Speichermedien bereit

Zwei konkurrierende Firmengruppen entwickelten **HD-DVD** und **BD** (blu ray disc)

Unsichere Zukunft

Als DVD-Video gerade etabliert, entstehen zwei hart konkurrierende Techniken

2000 Entwicklungsbeginn bei Plasmon und bei Sony

PDD von Sony (**professional disc for data**) + **UDO** von Plasmon (**ultra density optical**)

2003 bestimmen **Kommerzielle Anwendungen** den Beginn

2005 (Herbst) **beendet Sony** seine eingeführte Produktion der **PDD**

Plasmon **UDO** (s. u.) beherrscht später unter Mitwirkung von Hewlett Packard den Markt

2008 Februar gibt **Toshiba HD DVD** offiziell auf, es sind keine Komby-Player mit BD entstanden

2009 geht Plasmon und damit UDO in die **Insolvenz**

2010 (Dezember) will **Alliance Storage Technologies** (ASTI), Plasmon-/UDO-Disks reaktivieren

Konsumanwendungen (Video) bleiben lange aus

erst 2006 Kopierschutz **AACS** (**advanced access content system**) fertig

Wurde von Intel, Microsoft, Panasonic, Sony, Toshiba, Walt Disney und Warner Brothers entwickelt

Soll **DRM** (**digital rights management**) bei bespielbaren und vorbespielten optischen Medien ersetzen

128-Bit-Schlüssel, Laufwerkverifizierung (Hardwareschlüssel), Freischaltung von Inhalten per Internet

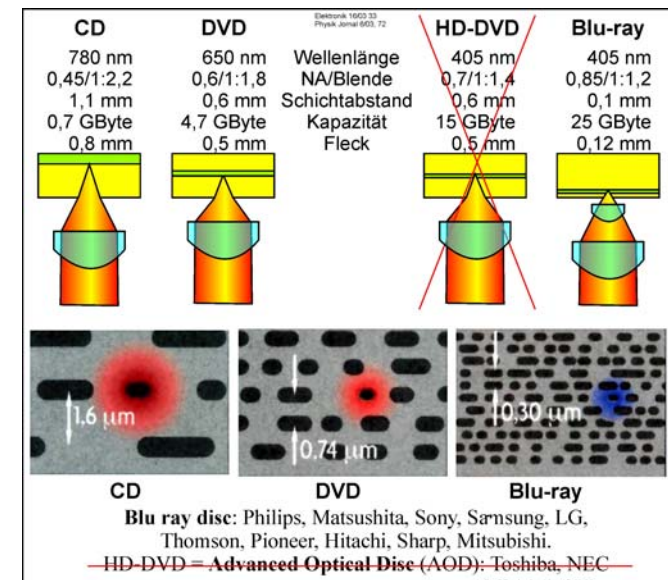
Disc kopierbar oder im Netzwerk zu streamen, wenn Anbieter per MMC (**mandatory managed copy**) erlaubt

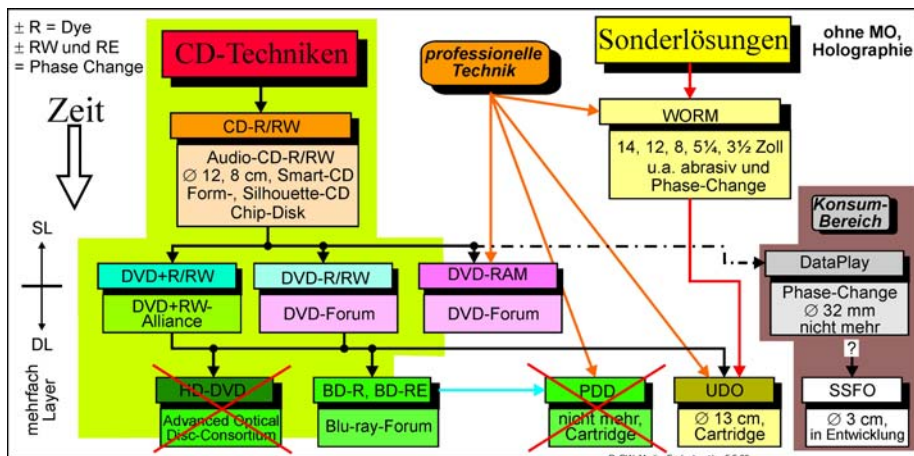
Weitere Probleme brachten dann die Einbeziehung von HDTV (**high definition television**)

Zusätzlich Preis vergleichsweise sehr hoch

Haben aber Blaue Disk noch eine Zukunft?

Insbesondere bei der Entwicklung der Festplatten, Bandspeicher und Elektronischen Speicher





Vielzahl der Ankündigungen

Die mir verfügbare Information weist folgende Varianten jenseits der DVD aus, **rot** Details s. u.

- AOD** advanced optical disc, später HD-DVD
- AO-DVD** articulated optical DVD, Iomega, Spiegelflächen (Backup)
- BD** blu ray disc, Sony/Philips → **Blu-ray-Forum**
- EVD** enhanced versatile disc, chinesische Alternative
- FVD** finalized versatile disc, taiwanische Alternative
- HD-DVD** high density DVD, Toshiba u.a. → **Advanced Optical Disc-Consortium**
- HDV** high-definition digital video, chinesische Alternative, nur Name bekannt
- HVD** high-definition versatile disc, chinesische Alternative, nur Name bekannt
- HVD** holographic versatile disc, InPhase, Bayer-Medium
- MICA** information-multilayered imprinted card, holographisch, NTT (Backup)
- MODS** multiplexed optical data storage, asymmetrische Pits, Spiegel, 332 Richtungen
- PDB** professional disc for broadcast, Sony
- PDD** professional disc for data, Sony, *Herbst 2005 beendet*
- UDO** ultra density optical, Plasmon, Basis BD + Cartridge → ASTI

Daten ausgewählter blauer Medien

im Vergleich zu CD und DVD. Ø = wirksamer Durchmesser des Laser-Flecks

	CD	DVD	EVD/FVD	HD-DVD	BD	HVD
Kapazität/GByte	0,68	4,7	15/10	15	25	200/1000
Deckschicht/mm	1,2	0,6		0,6	0,1	
Spurabstand/µm	1,6	0,74		0,40	0,32	
min. Pit-Länge/ µm	0,83	0,41		0,204	0,149	
Laser λ/nm	780	650	650	405	405	532 + 650
NA	0,45	0,6	0,6	0,7	0,85	
Ø Oberfläche/mm	0,8	0,5		0,5	0,12	Hologramm
Ø Schicht/µm	2,1	1,32		0,6	0,58	
vlinear/m/s	1,3	3,49		5,60	7,36	
Modulation	EFM	8 : 16		ETM	17PP	
Transfer/MBit/s		11,1		36	54	1000

blu ray disc = BD

Bezeichnung von blauer Farbe des Lasers (englisch blue), **Warenzeichen** unmöglich ⇒ „e“ einfach weggelassen.

19.2.02 **Spezifikationen** mit höchsten technischen Anforderungen, vorgestellt

2003 stellt Sony den ersten Speicher vor

Daten legt **BDA (Blu-ray Disc Association)** fest: u. a. Apple, BenQ, Dell, Hewlett-Packard, Hitachi, LG Electronics, Matsushita (Panasonic), Philips, Pioneer, Samsung, Sharp, Sony und Thomson

Gremium dennoch deutlich kleiner als für HD-DVD (s.u.)

Januar 2006 Eigenschaften BD (-R, -RE)



Besondere Kennzeichen

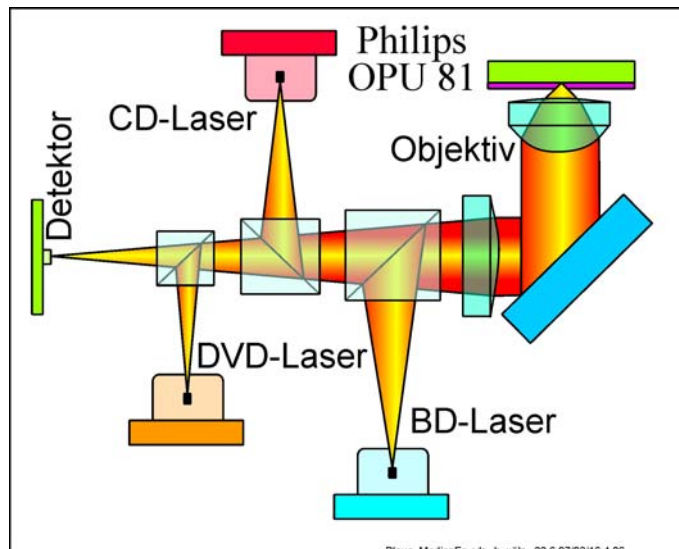
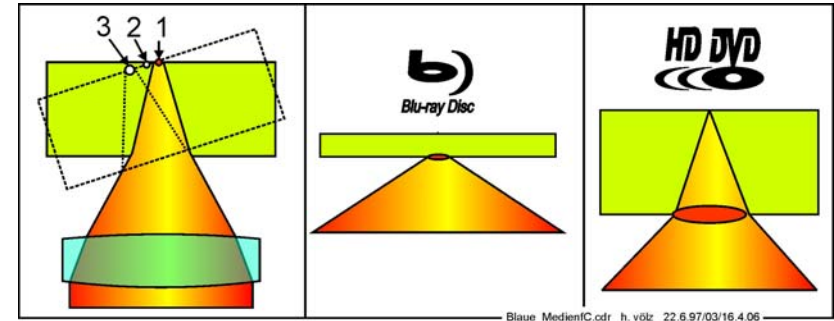
Große Numerische Apertur $NA = SIL$ (solid immersion lens) $\Rightarrow$ sehr geringe Schärfentiefe
 $\Rightarrow$ Objektiv muss **sehr nahe der Speicherschicht** = Begriff „near-field-recording-techniques“
Abstand DVD = 1,7 mm $\Rightarrow$ **BD** = 0,3 mm $\Rightarrow$ **Deckschicht** über Speicherschicht nur noch 0,1 mm $\pm$ 3 μ m
Lichtfleck Platten-Oberfläche sehr klein: CD = 0,8, DVD = 0,5; BD = 0,12 mm $\Rightarrow$ Kratzer, Fingerabdrücke usw.
 Speicherschicht einseitig, sehr **unsymmetrisch** $\Rightarrow$ empfindlich gegenüber Temperaturschwankungen
 Erste BD daher in **Cartridge Kunststoff, blau** (Werbung!?), bleibt nur bei UDO (s.u.) erhalten

Forderung nach **Kompatibilität** zur CD, DVD (HD-DVD)
 $\Rightarrow$ äußerst kratzfeste, harte, schmutzabweisende und **extrem dünne Schutzschicht** = 2 μ m dicker Lack
 konnte zunächst nur manuell hergestellt werden, erhöht den Preis: 2004 Herstellung $\approx$ 2,8 € $\Rightarrow$ 0,30 €
 Erstmals optische Disc **Signalerkennung PRML-VITERBI-Decoder** (partial response maximum likelihood)
 Erhöhung der Sicherheit: Spuren für lead-in und lead-out fast doppelt so breit wie die Datenspur
Grundfehlerrate $\approx 2 \cdot 10^{-4}$, nach Fehlerkorrektur maximale **Fehlerlänge** $\approx$ 7,1 mm

Vorteile der Nähe Objektiv $\Leftrightarrow$ Platte

Kippungen der Platte bewirken geringe Aberration; Ohne Kippung befindet sich der Laser-Fokus bei 1.
 Bei Kippung sollte er bei 2 liegen, infolge zusätzlicher Brechung aber bei 3, wird elliptisch verformt und größer
 Effekt nimmt mit NA zu, ist aber umso geringer, je dünner die Schutzschicht ist

Mehrlagige BD leichter herstellbar
 Bereits 2005 konnte TDK 4-lagige, wiederbeschreibbare BD-RW mit 100 GByte vorstellen
 Im Labor erreichte Sony mit 8 Lagen und 200 GByte



Ab 2006 Geräte, die mit einer Linse und drei Lasern für CD, DVD und BD arbeiten

UDO (ultra density optical)

Weichen mit $\varnothing = 130$ mm (5¼-Zoll) und Dicke = 2,4 mm deutlich von den üblichen CD-DVD-Techniken ab
 Alle Varianten benutzen **Phase-Change** (GeSb) und blauen Laser mit 405 nm
 Speicherschicht liegt 0,1 mm unter der Oberfläche $\Rightarrow$ **Cartridge** $135 \times 153 \times 11$ mm³
 Es gibt **vorgeprägte Sektor-Header** $\Rightarrow$ Formatierung nur wenige Sekunden, Sektoren = 8 KByte
Medien ≥ 30 GByte bei Mizushima der Verbatim-Muttergesellschaft Mitsubishi Kagaku Media produziert
 Rotieren mit 2 000 UpM (CAV), Zugriffszeit = 25 ms, Datenrate = 8 MByte/s Lesen; 4 MByte/s Schreiben
 2008 Pioneer zeigt 400 GByte Disc mit 16 Speicherschichten zu je 25 GByte

Laufwerk typisch $41,1 \times 146 \times 203$ mm³ (¼-Zoll-Einschub von halber Höhe)
 kompatibel zu den 5¼-Zoll-Jukeboxen

Ladezeit 5 s, Entladezeit 3 s, 750 000 Ladeprozesse garantiert

4-faches Defekt-Management blendet zur Erhöhung der Datensicherheit fehlerhafte Sektoren aus
 Fehlerkorrektur mit REED-SOLOMON-Code
 Nach ARRHENIUS-Modell **Datensicherheit** ≥ 50 Jahre, MTBF = 100 000 Stunden

Vergleich DVD, UDO und PDD.

	DVD	UDO	PDD
Durchmesser in mm	120	130	120
Kapazität GByte/Seite	ca. 5	(15) 25	20
Laser-Wellenlänge in nm	650	405	405
NA	0,6	0,7	0,85
Spurabstand in µm	0,74	0,37	0,32
Blockgröße in KByte		8	2

Drei Betriebsweisen

True-Write-Once = True-WORM = UDO-R

einmal beschreibbar und **nicht lösch- und veränderbar**, genügt vielen **gesetzlichen Forderungen** z.B. der elektronischen Steuerprüfung, Medizin- oder Lebensmittelforschung
Beim Phase-Change-Material wird die **Schicht** zum schnellen Temperatenausgleich **weggelassen**
Der amorphe Zustand kann nicht wieder erreicht werden
Pit auf dem Land (on-groove recording) und in der Rille (in-groove recording)

Rewriteable = UDO-RW

Verbesserte Phase-Change-Schicht, **10 000 Mal beschreibbar**

Compliance-Write-Once

Mitte 2005 eingeführt, wie True-Write-Once **nur einmal beschreibbar**
Zusätzlich **Scratch-Funktion**: gezielte Datenvernichtung
(*englisch* to scratch ritzen, kratzen, ausradieren, etwa Schreddern)
Gesetzliche Forderung: Daten am Ende ihrer Aufbewahrungsfrist **unwiederbringlich vernichten**, löschen
z. B. bzgl. personenbezogener Daten
Entsprechender Bereich mit hoher Laser-Leistung bestrahlt ⇒ **vollständige Rekristallisation**
Datenzerstörung wird überprüft, verbleiben **keine Daten-Rückstände**, Gegensatz zur Festplatte!
Zuvor nur durch physikalische Zerstörung des Speichermediums zu erfüllen

Umweltfreundliche BD

Unterlage der BD fordert keine optischen Eigenschaften
⇒ teures, **schwer zu recycelndes Polycarbonat** vermeidbar

2004 Sony gemeinsam mit Toppan Printing Unterlage aus 51 % **Papier, biologisch abbaubar**
Ist deutlich **günstiger herzustellen** und außerdem auch viel **leichter zu bedrucken**

Sensible Daten vernichten: einfach Zerschneiden mit einer üblichen Schere

Ähnliche Variante von Pioneer: Kunststoff zu 87 % aus **Maisstärke**
Im Gegensatz zu üblichen Discs entstehen beim Verbrennen auch keine Dioxine oder ähnliche Giftstoffe.

HD-DVD (high density)

19.11.03 wird vom DVD-Forum die **AOD** (advanced optical disc) spezifiziert
Ging aus DVD-Forum **HD-DVD Promotion Group** hervor, über hundert Mitglieder
später **Advanced Optical Disc-Consortium**

Im Gremium **Time Warner** (Lizenzgebühren)
⇒ Für **HDTV** mit MPEG-2, MPEG-4, AVC (H.264), Kopierschutz wird AASC
⇒ HD-DVD = **Next-generation DVD**

Im Gegensatz zur BD **weitgehend abwärtskompatibel** zur DVD = Speicherschicht in Mitte der 1,2-mm-Scheibe
Nur NA = 0,7 erreichbar, Schräglagen der Disc wirken sich stärker aus, Lichtfleck auf Oberfläche jedoch 0,5 mm
Benötigt weder Cartridge noch harte Oberflächenschicht, jedoch nur 15 GByte je Informationsschicht
Herstellbar auf Anlagen der DVD, nur geringe Änderungen erforderlich ⇒ günstiger Preis für Rohlingen

Weitere Varianten

Im **asiatischen Raum** bahnt sich ein großer Absatz für Filme an. Lizenzkosten für dortige Firmen viel zu hoch
⇒ taiwanische, chinesische Unternehmen ab 1999 eigene Entwicklungen begonnen und vorgestellt

FVD (finalized versatile disc, oft auch forward)

Industrial Technology research Institute/Advanced Optical Storage Research Alliance aus Taiwan

$\lambda = 650 \text{ nm}$, $NA = 0,6$ und $6,0 \text{ GByte}$ je Informationsschicht

Videodaten effiziente Codecs VP5 und VP6 der Firma On2 Technologies bzw. Microsofts WMV9 komprimiert
Für Audio wird EAC 2.0 (enhanced audio codec), für Filmindustrie Kopierschutz zu gering

EVD (enhanced versatile disc) der Beijing E-world Technology and Chinese Manufacturers, erste Platten am 18.11.2003 vorgestellt

Entwicklung ist staatlich gefördert. 2006: 300 000 FVD-Laufwerke verkauft und $\approx 1\,000$ Titel produziert, Kopierschutz zu gering

HDV (high-definition digital video) und **HVD** (high-definition versatile disc) aus China nur die Namen bekannt.
(entspricht nicht der HVD (holographic versatile disc) von InPhase!, s. u.)

Philips: sehr kleine **SFFO** (small form factor optical): $\varnothing = 3 \text{ cm}$. Dicke = $0,1 \text{ mm}$, $\approx 1 \text{ GByte}$; $\lambda = 405 \text{ nm}$
Laufwerk $5,6 \times 3,4 \times 0,75 \text{ cm}^3$ Anwendung Kameras, Mobiltelefone usw., extrem kleine Linse und Aktuator

Es gibt Versuchen bei vielen Informationsschichten einzelne durch **Fluoreszenz** anzuregen
Dann könnten die komplizierten teilreflektierenden Schichten und deren Abgleich entfallen

CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 213 von 277

Künftige Entwicklungen

Blaue Medien noch nicht fest etabliert, schon vielfältige Untersuchungen für die nächste Generation
Dazu zählen auch **holografische** Varianten werden extra behandelt, s. u.

2004 britische Forscher **MODS** (multiplexed optical data storage). 250 GByte pro Informationsschicht vor
Asymmetrische Pits und Lands, die den Laser-Strahl in 332 unterschiedliche Richtungen reflektieren können

Könnte Vorstufe zu **AO-DVD** (articulated optical) von **Iomega** sein (450 GByte)

Statt Pits **vier quadratische Spiegel-Flächen** unterschiedlicher Ausrichtung

Reflektieren Laser-Strahl in verschiedene Richtungen zu einem Sensorfeld (CCD-Matrix)

Neigungsabstufung = $1,5^\circ$ ⇒ 885 Strahlwinkel in x- und y-Richtung

Ein Speicherelement aus den vier Spiegelflächen könnte $6 \cdot 10^{11} \approx 2^{39}$ **Zustände** repräsentieren

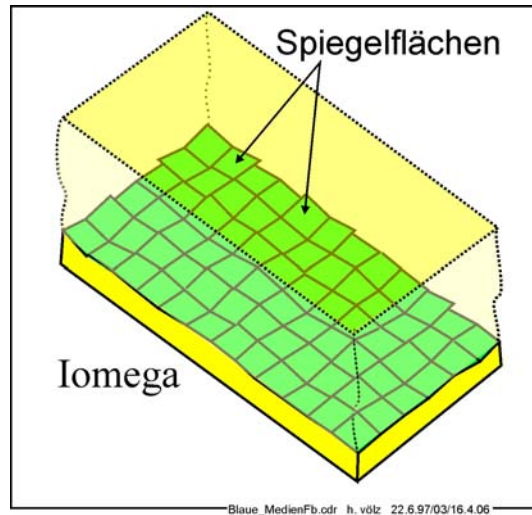
Statt 1 Bit/Pit dann **≈ 39 Bit/Pit** ⇒ **enorme Datenrate** bei gleicher Zugriffszeit

Annähernd sogar **Abwärtskompatibilität** zur CD, DVD usw.: wirklich neu müsste nur der Sensor sein

Verfahren ist nur für vorbespielte Discs geeignet, es fehlen noch Methoden für das Herstellen des Masters

2005 stellt **Sharp** eine Methode, die Speichern auf einer Disk **unterhalb der Beugungsgrenze** ermöglicht
Benutzt werden Prinzipien, die bereits in der Halbleiter-Lithographie existieren

CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 214 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 215 von 277

Digital holografischer Speicher

Seit etwa 1970 werden digitale holografische Speicher untersucht

= Voraussetzung für eine holografische Platte

Digitale elektronische Lichtablenkung und Hologramme ermöglichen extrem hohe Volumensspeicherdichte

Speichermaterial $\approx 1 \text{ cm}^3$ enthält $\approx 1000 \times 1000$ Positionen für Hologramme

Änderung der Polarisationsrichtung ermöglicht je Position ≈ 1000 Hologramme, ineinander geschrieben

Jedes Hologramm speichert $\approx 1 \text{ MByte}$ (LCD-Matrix) ⇒ Summe **$\approx 100 \text{ TByte}$** , Datenrate **$\approx 1 \text{ TByte/s}$**

Zusätzliche Möglichkeit, assoziatives Auslesen von gesuchten Daten über Ähnlichkeitsoperationen

Immer noch ist das **Speichermaterial** ein Problem

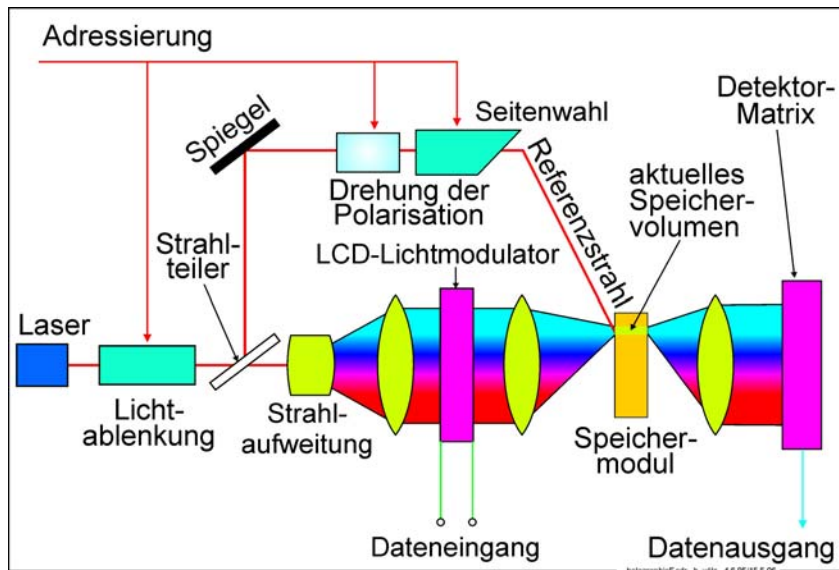
erprobt Cerium dotierte Strontium-Barium-Niobat-Stäbchen

Andere Variante benutzen Farbzentren oder Lithiumniobat (LiNbO_3)

Alle fordern Temperaturen $\leq -50^\circ \text{C}$

Es wird (immer wieder) eine Überführungszeit von 5 bis 10 Jahren genannt.

CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 216 von 277



CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 217 von 277

Holographische Platten

Es entstanden **mehrere Varianten**, deshalb:

2004 entsteht zur Standardisierung bei **ECMA internationales, technisches Komitee** $\Rightarrow$ 2005 **HVD-Allianz**

Bearbeitet **HVC** (holographic versatile card) und read-only **HVD** (holographic versatile disc)

CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 218 von 277

InPhase Technologies

Fa. ging 2000 aus Lucent Technologies und Bell Labs hervor

Durchsichtige Polymer-Schicht liegt zwischen 2 klaren Kunststoffscheiben, hält sie auch zusammen
= 2 unabhängige, kompatible Polymere, ein Polymer durch Hitze homogenisiert = Festkörper-Matrix

In Zwischenräumen lichtempfindliche Komponente eingelagert

Belichtung mit (grünen) Laser 407 nm, ≈ 60 mW, ändert Struktur $\Rightarrow$ lange Ketten mit anderem Brechungsindex

Medien von Hitachi/Maxell hergestellt: Scheiben $\varnothing = 13$ cm, Dicke = 1,5 mm

Technik = Tapestry (deutsch Wandteppich) ≈ 1 mm dicke Polymer-Schicht ermöglicht Volumenholographie,
Lichtablenkung = sprungartige Rotation der Diskette + bewegliche Mikrospiegel

Spurführung = tiefer liegende Groove;

Nicht sehr schnell, aber hohe Parallelität der Holographie führt zu sehr großen Datenraten

Datenseite = Teil-Volumen speichert mehrere Informationen

Drehung der Polarisationssebene um jeweils 0,067 Grad

Belichtungszeit jede Datenseite ≈ 3 ms, Speicherdichten ≈ 10 GByte/cm² besser als magnetisch ≈ 6 GByte/cm²

Ende 2005: 300-Gigabyte-Laufwerk, 160 MByte/s, Gerätepreis ca. 10 000 \$, Disketten ca. 10 \$

www.inphase-technologies.com/technology/pdf/TourPDF.pdf, download 16.5.2006

Haltbarkeit der Medien etwa 50 Jahren

CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 219 von 277

HVD (holographic versatile disc)

Entwickelt von japanischer Firma **Optware** zusammen mit Fuji Photo and CMC Magnetics

Nutzt **polymeren Kunststoff**, Ende der 90er Jahre von **Bayer-Material-Science AG** entwickelt

Zigarren-artige Moleküle durch „Bänder“ verbunden: gelöscht sind alle „Zigarren“ gleich ausgerichtet

Erwärmung durch Laser-Strahl verdreht sie, diese Zustände sind stabil

Linear polarisiertes Licht unterschiedlich absorbiert, **mindestens 64 Graustufen** sind möglich

Blau-grüner Laser (532 nm) liest/schreibt holografisch codierte Daten

In die Polymer-Schicht im oberen Bereich der Disc

Dichroitische Schicht (Hologramme) ist für blau-grünes Licht gut reflektierend, für rotes Licht gut durchlässig

Roter Laser (650 nm) dient der Positionierung und Adressierung, Referenz- und Informations-Strahl

Licht gelangt zu tief liegenden Pits mit dahinter befindlicher Aluminium-Reflexions-Schicht

Pits enthalten Hilfsinformationen, u.a. für Sektoren, Kopf, Segmente $\approx$ Festplatte $\Rightarrow$ schnelle Adressierung

Zur Umsetzung haben Nippon Paint, Pulstec Industrial und Toagosei die „**HVD Allianz**“ gebildet

2004 erste Spezifikationen: 1 TByte, 1 GBit/s.

2005 schlossen sich weitere Firmen zur Realisierung des Speichers an

2008 war Markteinführung vorgesehen als **Tapestry 300r** (evtl. inPhase einbezogen!?)

Laufwerk 18.000 US-Dollar; Einmal beschreibbares 300-GByte-Medium 180 US-Dollar

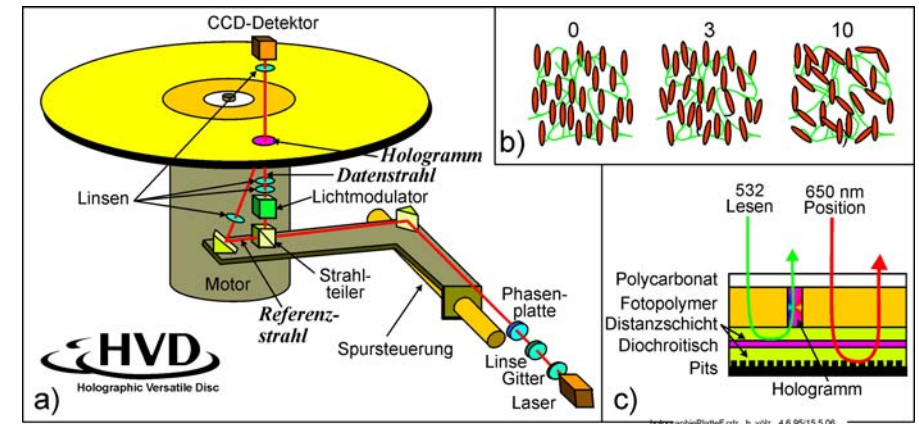
CD_DVD.doc h. Völz angelegt 24.10.10 aktuell 19.12.2010 Seite 220 von 277

Info-MICA (multilayered imprinted card)

NTT (Japan): WORM-Platten von $25 \times 25 \text{ mm}^2$ aus Kunststoff, $\approx 1 \text{ GByte}$

Geplant mehr als 100 Schichten zu je 10 GByte. Schichten mit alternierendem Brechungsindex = Wellenleiter

Medien biologisch vollständig abbaubar = umweltverträglich



Neuartige Schichtsysteme

1999 Israel Konsortium C3D transparente **FMD** (fluorescence multilayer disc): 10 Schichten mit $1 \text{ Bit}/\mu\text{m}^2$
Pits enthalten Farbstoff, der bei grünem Laser-Licht rot **fluoresziert**: 100 Schichten möglich

2002 Boston College viele Stoffe (u. a. Epoxydharze, Klebstoffe, alltägliche Stoffe) mit **Multiphoton-Absorption**
Danach Eigenschaften so verändert, dass es durch einen schwachen Laser-Strahl **Fluoreszenzlicht** aussendet
Wiedergabe ist $>10^6$ -mal ohne Informationsverlust möglich, >25 Schichten übereinander möglich
Aufzeichnung und Wiedergabe langsam, alle „Punkte“ müssen einzeln nacheinander angesprochen werden

2003 stellten Hitachi und Maxell **transparentes Polymer aus 200 Schichten** vor
Durch elektrische Spannung verfärbt sie sich = Aufzeichnung $\Rightarrow$ Abtastung

Magnetooptische Speicher

Magnetooptische Speicherung = **MO, MOD** magneto optical disc bzw. DOR (digital optical recording)
verlangt zwei unterschiedliche **Effekte**:

Aufzeichnung Curie- oder Inversionspunktschreiben = Temperatur, bei Material unmagnetisch ist

Wiedergabe KERR- oder FARADAY-Effekt = Reflexion bzw. Durchstrahlung mit polarisiertem Licht.

Prinzipiell könnte magnetooptische **Aufzeichnung mit inversem Faraday-Effekt** erfolgen

Durch intensive Bestrahlung mit zirkular polarisiertem Licht wird Medium magnetisiert

Effekt ist $\approx 10^{-10} \text{ s}$ extrem schnell, doch Wirkungsgrad so gering, dass keine technische Anwendung möglich ist

Daher erfolgt die **Aufzeichnung** immer indirekt **thermomagnetisch**.

Beim FARADAY-Effekt ist **Drehung der Polarisationssebene** unabhängig von Richtung des Strahles

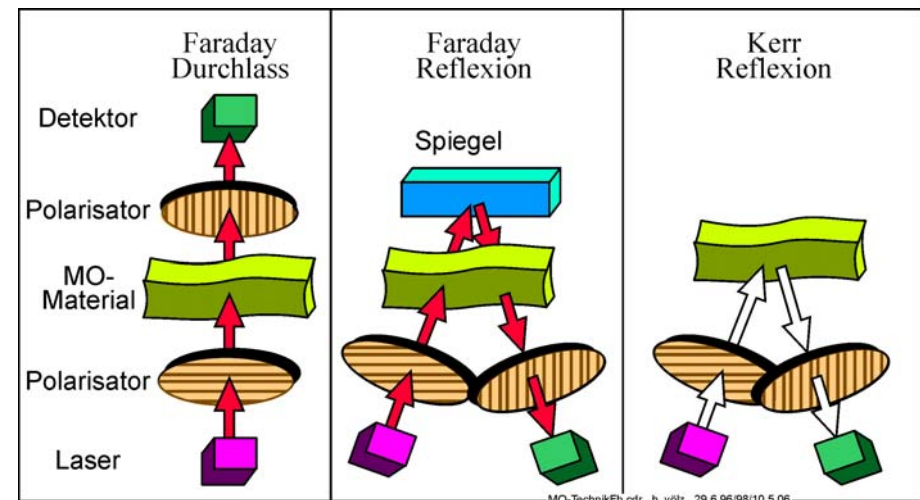
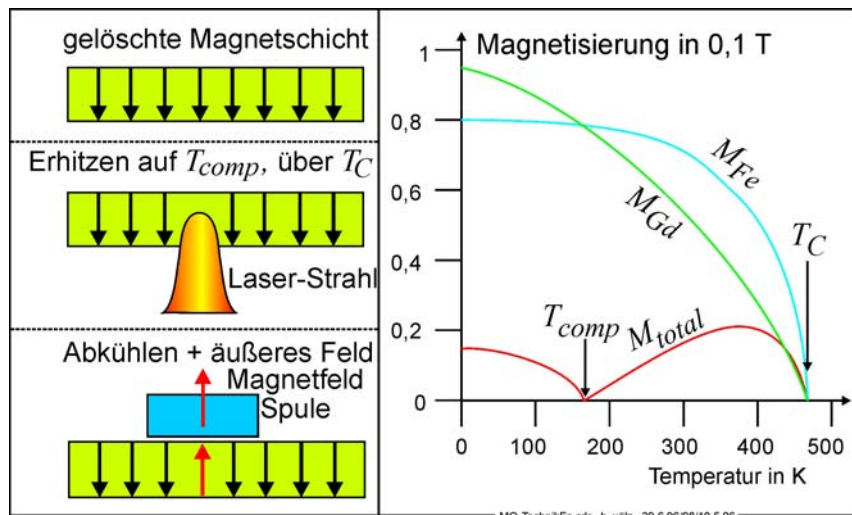
$\Rightarrow$ vor und zurück gleichgerichtet

$\Rightarrow$ FARADAY-Effekt auch in Reflexion möglich $\Rightarrow$ optische Einheit nur einseitig (Absorption im Material!)

Dann aber schwer vom KERR-Effekt zu unterscheiden, so wird fast immer vom KERR-Effekt gesprochen

Beide Wiedergabevarianten haben **sehr geringen Wirkungsgrad** $<10^{-3}$, Drehung nur wenige Grad

Besondere neue Materialien und zusätzlich Hilfsschichten im Sinne optischer Vergütung erforderlich



Vor-, Nachteile magnetische $\Leftrightarrow$ optische Speicherung

	magnetische Speicherung	optische Speicherung
Vorteile	Material mit sehr guten Speicherzustand u.a.: - extrem schnelles und beliebig oft ($\geq 10^7$) wiederholbares Ummagnetisieren - sehr große Stabilität der Aufzeichnung durch hohes Energieprodukt Magnetköpfe besitzen sehr hohen Wirkungsgrad und sind integrierbar	Sehr gute Aufzeichnungs- und Wiedergabe-Prozesse u.a.: - kontaktfrei - nur durch λ begrenzte Speicherdichte - Speicherung im Volumen möglich, z.B.: - mehrere Informationsschichten, - beidseitige Aufzeichnung - Holographie
Nachteile	- Kopfkontakt mit extrem geringer Abstand notwendig - Magnetkopfspalt: $l \gg b$; Rasen und rasenfreies Schreiben = Beta-Technik	- Material wenig oder gar nicht reversibel oft licht-, wärmeempfindlich (begrenzt haltbar) - optisches System groß, teuer und nicht integrierbar, lange Zugriffszeit

Magneto-optische Speicherung kombiniert beide Vorteile

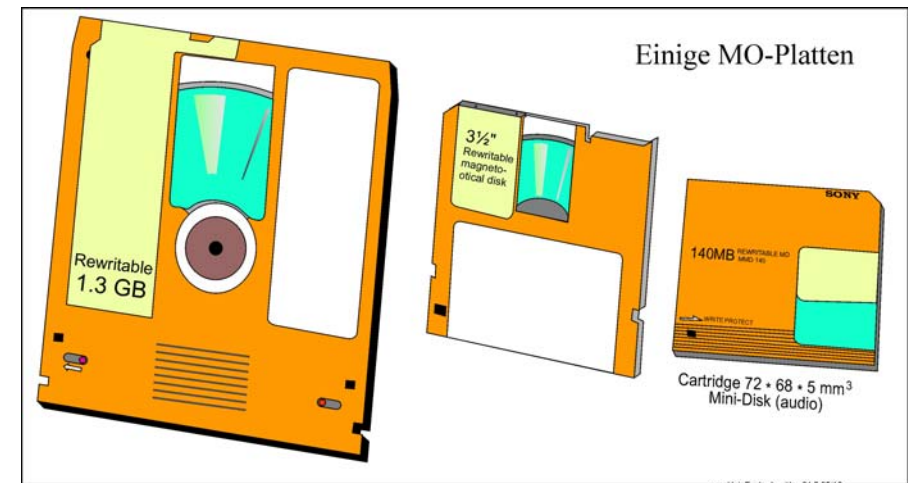
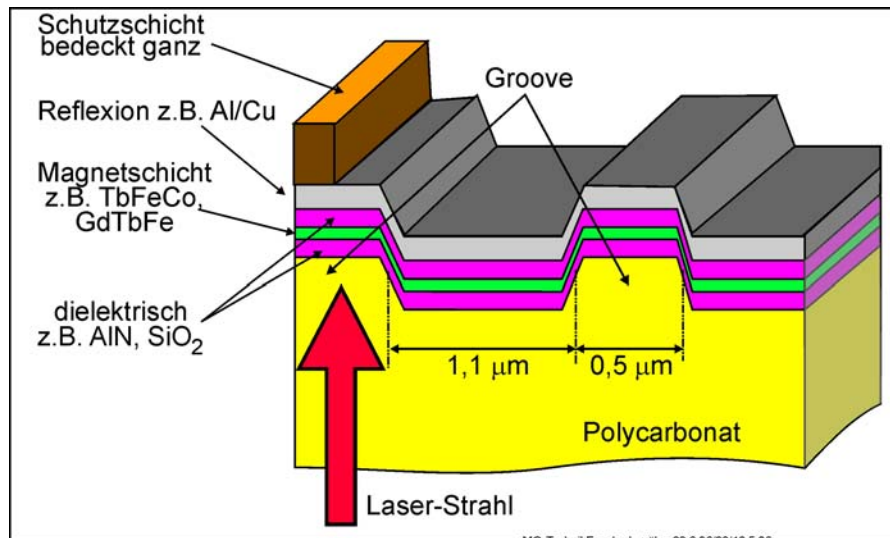
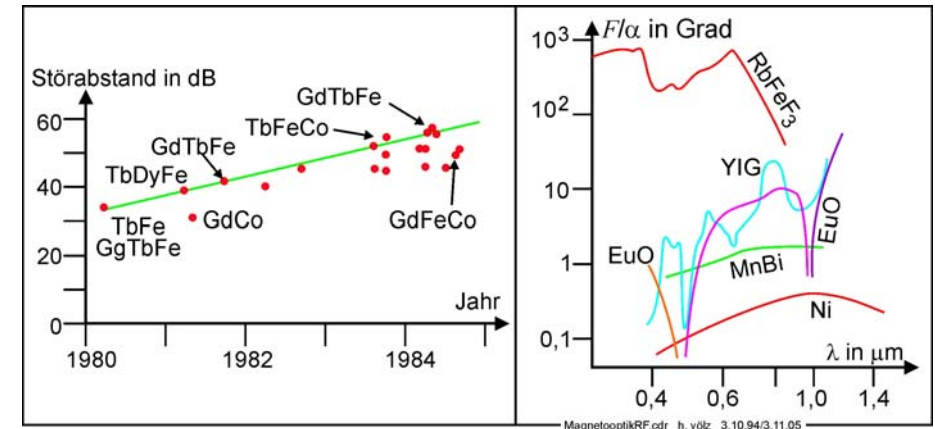
- Zusätzlich:** *hohe Koerzitivfeldstärke* ≈ 2000 A/cm ergibt hohe *Sicherheit*, meist 50 Jahre garantiert selbst starke Dauermagnete, Transformatoren und Elektrolokomotiven haben keine hinreichend großen Streufelder
- Nachteil:** sehr *geringe magneto-optische Wechselwirkung* (Kopplung)
 $\Rightarrow$ erheblicher Aufwand für Wiedergabe

Es sind sogar **wesentliche Weiterentwicklungen** möglich

- HAMR** (s. u.) = künftige Kombination magnetische (Spalt) + optische (Kreis) Aufzeichnung
 $\Rightarrow$ *höchste Speicherdichte*
- Neuartiges Material**, z. B. *durchsichtig + magnetisch* ermöglicht neue *Aufzeichnungstechniken*
höhere *opto-magnetische Kopplung* = verbesserte Wiedergabetechniken
kontaktfreie Aufzeichnung und Wiedergabe **im Volumen** statt an der Oberfläche

Etwas Geschichte

- 1956 **WILLIAMS** realisiert erste magnetooptische Aufzeichnung
Mit magnetisierten Stift Schriftzeichen auf **MnBi**, anschließend sichtbar mit Faraday-Effekt gemacht
- 1983 **4-fach-Schicht**: dielektrisch + Erosionsschutz, MO-Material, dielektrisch, Reflexionsschicht (s. u.)
- 1985 **Ausreichender Störabstand** wird erreicht, Beginn der technischen Entwicklung $\Rightarrow$ RETM (s. u.)
- 1988 Erste 5¼"-Platten, deutlich sicherer als CD, Disketten; Laufwerke und Medien teuer
- 1991 Auch 3,5" = 128 MByte, 5¼" = 650 MByte, 8" = 2 GByte
- 1992 **MiniDisc (MD)** 2½" $\approx$ 64 mm, Sony, fast verlustfreie digitale Aufnahme, Schnitte, Kopien, preiswert
- 1993 **ZCAV**: Fujitsu 128 $\Rightarrow$ 230 MByte und 5¼" 650 $\Rightarrow$ 1,3 GByte
- 2000 **LIMDOW**-Aufzeichnungstechnik (s. u.)
- 2001 Fujitsu **3,5-Zoll-MO-Laufwerk** 2,3 GByte; Land- und Grove-Schreiben
- 2004 MD $\Rightarrow$ HiMD mit 1 GByte
- 2008 **HAMR** Kombination aus Laser und Magnetkopf für erheblich größere Datendichten auf Festplatten





Vergleiche für MO-Technik, Richtwerte 2003.

	MO	CD-R/RW	DVD±R/RW	UDO	Festplatte	Tape
Speicherkapazität	5 GByte	0,65 GByte	4,7 GByte	50 GByte	100 GByte	1 TByte
Preis/Medium	5 €	0,50 €	2 €	30 €	kein	10 €
Preis Laufwerk	300 €	200 €	300€	2000 €	200 €	300 €
Gefahr Kratzer	nein	erheblich	erheblich	mittel	nein	nein
wiederbeschreibbar	∞	nein/1 000	nein/1 000	100 000	∞	∞
Archivzeit	>50 Jahre	7 Jahre	7 Jahre	50 Jahre (?)	7 Jahre	20 Jahre
Zugriffszeit	25 ms	80 ms	150 ms	200 ms	5 ms	Sekunden
Datensicherheit	sehr hoch	mittel	mittel	gut	gering	gut

MO am Ende?

Ab 2000 ist Umsatz der MO-Techniken rückläufig

MD für Audio wird durch **MP3** abgelöst

Daten-MO geringe Speicherkapazität ⇒ Magnetbänder (tape library), z. T. DVD, UDO und Flash-Cards (SSD)

	1991	1993	1995	1997	2000
Spurabstand/μm	1,6	1,3	1,15	1,0	
Wellenlänge/nm	830	780	670	630	530
Zugriffszeit/ms	30	30	20		
Zusätzlich (s. u.)		ZCAV		PRED	RLS
3,5" MByte	128	230	650	1300	2600
MBit/s	1,2	2,5	2,5	3,5	5
5¼"- GByte	0,650	1,3	2,6	5,7	10,4
MBit/s	1,5	2	3,5	5	7,5

Material-Klassen

Für MO wurde Material für FARADAY- und KERR-Effekt untersucht, Es gibt dabei **3 Stoffklassen**:

- **Dünne amorphe Filme** ferromagnetischer RETM-Legierungen (**rare earth transition metal**) aus Seltenen Erden (RE) wie Gd, Dy und Tb sowie Übergangs-Metalle (ZM) wie Fe und Co z. B. TbCo, TbFe, GdCo, TbFeCo, GdTbFe, GdTbFeGe, TbDyFeCo, GdTbFe, TbDyFe und TbFe-DdTbCo
- **Kristalline** Metall- und Halbmagnetverbindungen, z. B. MnBi (nur historisch), MnCuBi, PtCo (Pt-Anteil ≈60 Atom-% ⇒ zu teuer) und PtMnSb ($T_C = 310^\circ\text{C}$ zu hoch)
- **Hexagonale Ferrite**, Spinelle und Granate

Behauptet haben sich nur **RETM-Legierungen** und **Kerr-Effekt**

Verwendet werden vorwiegend **Terbium-Ferrit-Kobalt**-Verbindungen mit **Dotierungen** von Sn, Pb oder Bi Herstellung erfolgt durch **Sputtern**, Vakuumbedampfen besteht Gefahr einer Veränderung der Zusammensetzung Z. T. erfolgt **nachträglich Tempern**, für **Rauscharmut** muss eine sehr **glatte Oberfläche** erreicht werden **Arbeitstemperatur bei 180 - 200 °C**: CURIE-Temperatur T_C bei ferro- und ferrimagnetischen Material **Kompensationstemperatur T_{Comp}** bei ferrimagnetischem Material, Sprachgebrauch auch Curie-Temperatur

KERR-Winkel von $0,4^\circ$ auf $1,5^\circ$ vergrößert, Schichten müssen gegenüber O_2 usw. **stabilisiert** werden

Daher **beidseitig dielektrische Barriereschichten**: TiON , TiO_2 , Si_3N_4 , AlSiON , SiO , AlN , SiON , ZnS oder SiO_2 Notwendig niedrige **Doppelbrechung** und hohe **Transparenz** bei Laserwellenlänge Aber **ausreichende Absorption** der Laser-Wellenlänge für die **notwendige Erhitzung**

Magnetooptisches Material

T_{comp} und T_C in °C, erreichte Drehwinkel Θ_K und Θ_F in Winkel-Grad
 Θ_F wächst mit Schichtdicke, dann nimmt Absorption exponentiell zu

	Material	T_{komp}	T_C	Θ_K	Θ_F
Amorphe Schichten	GdCo	200	>400	0,33	1,8
	GdFe		480	0,38	1,8
	TbFe		420	0,3	1,3
	GdTbFe	180	460	0,3	1,0
	GdTbFeCo	230	580	0,36	1,9
Einkristalle	TeFeO ₃		680		0,05
	GdIG				0,02
Vielkristalline Schichten	MnBi		680	0,7	7
	MnCuBi		480	0,5	
	PtCo		670		4

Geräte-Technik

Magnetooptische **Laufwerke** entsprechen weitgehend CD-DVD-Playern

Einige Besonderheiten bei Aufzeichnung und Wiedergabe

Die magnetische Vorzugsrichtung steht senkrecht zur Schichtebene

Aufzeichnung

Magnetspule auf der „Rückseite“ der MO-Diskette, genau gegenüber der optischen Einheit

Zu Beginn sogar **Dauermagnet**, der mechanisch „umgeschaltet“, in zwei Stellungen gekippt wurde

Großer Abstandes zur Speicherschicht $\Rightarrow$ **geringe Feldkonzentration**, wirkt auf viele tausend Speicherstellen

Infolge hohen Koerzitivfeldstärke der Speicherschicht keine Auswirkung

Verändert wird nur jene Speicherstelle, die gerade den Laserbereich (≈ 8 mW) sich abkühlend verlässt

Anfangs daher bei Aufzeichnung **drei Umläufe**: 1. Sektor total Löschen, 2. 1-Bit aufzeichnen, 3. kontrollieren

Wiedergabe

Erweiterter Strahlengang, zusätzliche Polarisationsfilter und Strahlteiler

Trennung des vor- (≈ 2 mW) und zurücklaufenden Strahlweges erfolgt wieder mittels einer **$\lambda/4$ -Platte**

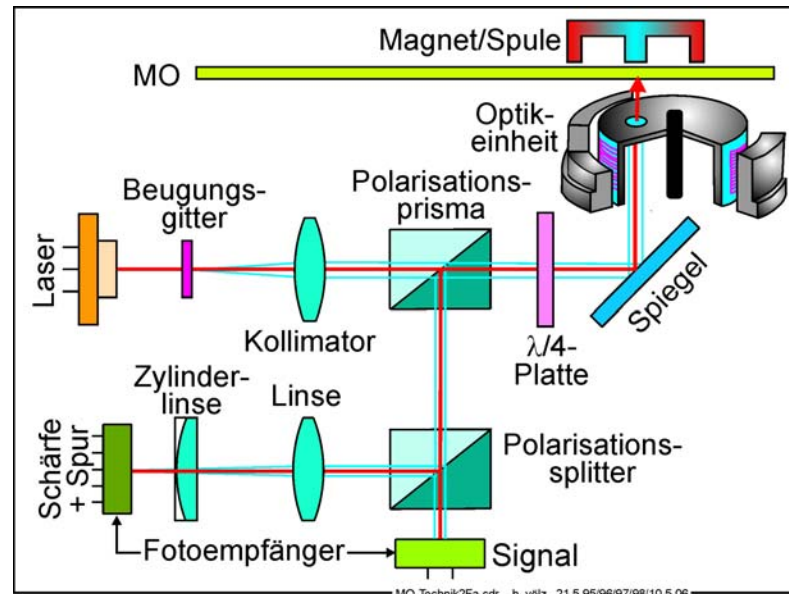
Drehung der Polarisations-Ebene verändert aber **Achsenverhältnis der zirkularen Polarisation**

Nach Rückkehr von $\lambda/4$ -Platte weicht entstehende linear polarisierte Welle etwas von üblicher 90°-Drehung ab

Mittels **Polarisationssplitter** erfolgt Aufteilung auf zwei Fotoempfänger

1. Anteil wird in üblicher Weise zur **Spurführung und Scharfeinstellung** benutzt, auch mittels Zylinderlinse

2. Anteil so abgetrennt, dass bei einer 1 möglichst wenig das polarisierte Licht zur zweiten Fotozelle gelangt



Spuranordnung, Elektronik usw.

Alle MO nutzen eine **Spiralspur** um möglichst **hohen kontinuierlichen Datenstrom** zu erreichen

Einfache **Sektoraufteilung** 1993 durch **ZCAV** ersetzt, Spuraabstand 1,4 µm, innen 30, außen 48 Sektorenzonen
Wegen konstanter Drehzahl betrug die Datentransferrate im Innern nur 60 % der äußersten Spuren

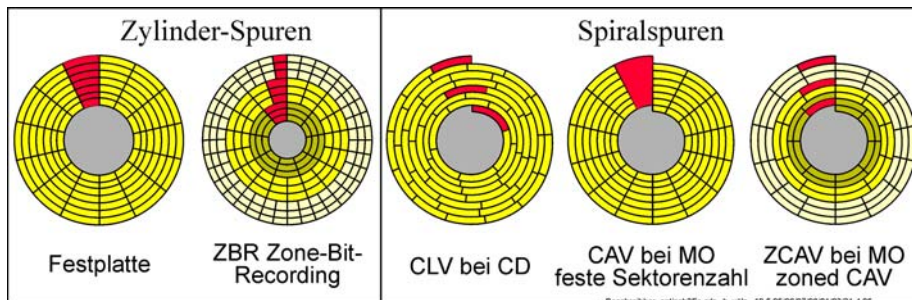
1997 wurde **PRED** (partial response edge detection) $\approx$ **PRML** (Festplatten) eingeführt

Regelverstärker bewirkt möglichst konstante Amplitude, Analogfilter suchen optimale Impulse (Kurvenform)
Nachgeführte Abtastrate erzeugt digitales Signal

FIR (finite impulse response) berücksichtigt Einflüsse von Nachbarimpulsen
VITERBI-Algorithmus (ANDREW VITERBI) rekonstruiert wahrscheinlichste Daten

Ab 2000 war **RLS** (rasenloses Schreiben, ähnlich Videotechnik) vorgesehen
Bei allen Entwicklungen war Abwärtskompatibilität aufrechterhalten

Laser-Leistung für Aufzeichnung ist relativ unkritisch, bei 3 und 6 mW kaum Änderung der Fehlerrate in BER/s
(block error rate) Auch Stärke des Magnetfeldes ist unkritisch, nahezu beliebig >100 A/cm



Mini Disc (MD) Geschichte

Im **orange book** Teil I wird **P-ROM** (partial) bzw. Hybrid-Data-MO zugelassen

Enthält nur lesbare Teile = **premastered-CD-ROM-area** (Gegensatz zu rewritable area)

Werden beim Pressen im Anlauf- = Einlaufbereich mit eingebracht

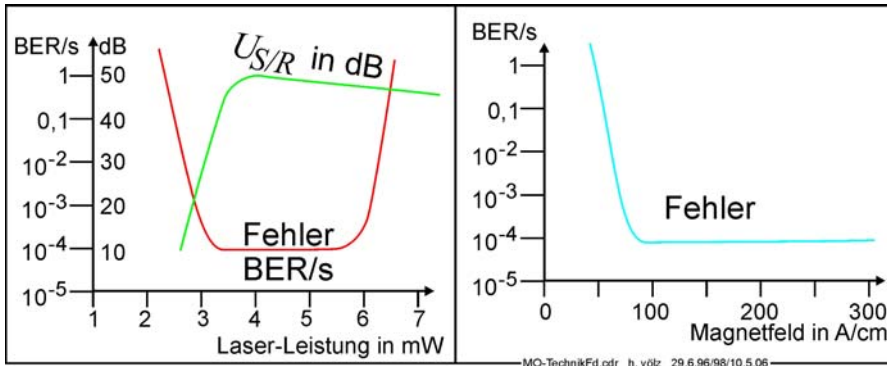
1989 MD von Sony zunächst für Audio ausgelegt, zwei Formate, bespielte CD-ROM und beschreibbare MO

1993 entstand aus MO-Variante die **MD DATA** mit 140 MByte für Computeranwendungen

2003 als Weiterentwicklung **HiMD** mit 1 GByte und Abwärtskompatibilität

Alte MD sind lesbar, auf neues Datenformat umformatierbar, erreichen dann 305 statt 177 MByte
Neue Geräte ermöglichen – erstmalig für Minidisc – digitalen Datenaustausch zum Rechner (USB 2)

Zusätzlich weitere Formate mit unterschiedlich starker Datenreduktion, dennoch keine Bedeutung erlangt



MD-Daten

Alle Varianten im **Gehäuse** von $71 \times 68 \times 5 \text{ mm}^3$, **Disc** $\varnothing = 64 \text{ mm}$ (2,5 Zoll), 1,2 mm dick,
Halterung der Platte im Laufwerk = Scheibe aus **magnetischem Material**, entfällt der übliche Andruckstempel
 Optik $\approx 1 \text{ mm}$ Abstand zur Platte, ≈ 200 Spuren/mm
 Schreiben + Löschen: Laser $\approx 5 \text{ mW} \Rightarrow$ Magnet-Material $\approx 200^\circ\text{C}$, Lesen $\approx 0,5 \text{ mW}$
 Garantiert >1 Million Schreib-Zyklen garantiert

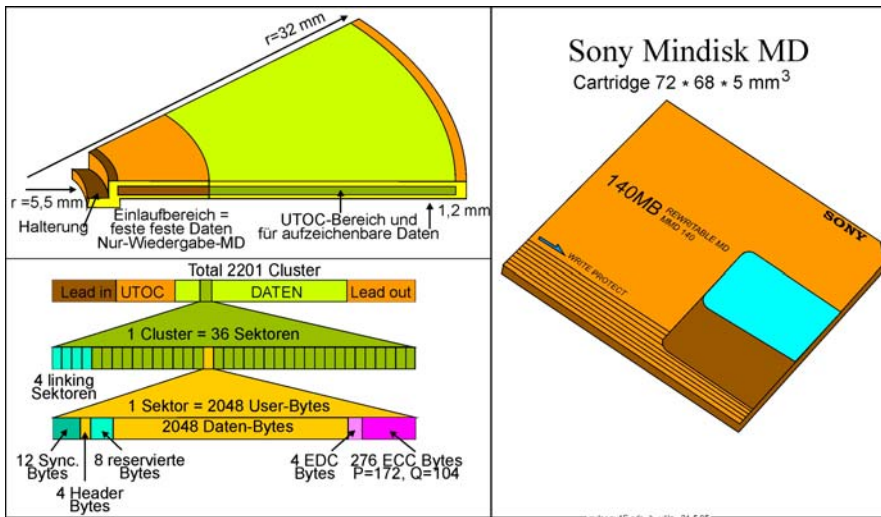
Nicht störende **Fragmentierung** $\Rightarrow$ „**random access recording**“ = electric-anti-shock-system (**EASS**)
 Lesegeschwindigkeit = $1,4 \text{ MBit/s}$ $\gg 0,3 \text{ MBit/s}$ vom kontinuierlichen Audiodaten-Datenfluss
Fehlzeiten 3 bzw. 10 s überbrückt Buffer-Halbleiterspeicher „**shock resistant memory**“ 1 bzw. 4 MBit
 Wirkt genauso bei Spurfehlern durch Schock oder Erschütterung

Wahlfreier Zugriff: spiralförmige pregroove enthält frequenzmoduliert time-code; Zeitauflösung 13,3 ms

Am Anfang ROM-Bereich, dann **UTOC** (user table of contents) verwaltet alle automatisch alle Änderungen
 u. a. Read-Only-Label, Titelnnummer, Titelnamen, Spielzeit und Datum

Signalformat entspricht weitgehend **CD-ROM Mode 2**, Fehlerkorrektur **EFM** und **CIRC**
 5-fach verlustbehaftete Kompression **ATRAC** (adaptive transform acoustic coding) $\approx$ CD-Qualität
 Spielzeit 74 Minuten:

Schutz gegen (mehrfaches) Kopieren **SCMS** (serial copy management system)
 Daten-MD so gut wie nicht verfügbar!



Weiterentwicklungen

Dreifacher Durchlauf bei der MO-Aufzeichnung ist zeitaufwändig
 $\Rightarrow$ **MMDO** (magnetic modulation direct overwrite)
 = **DOW** (direct overwrite) = **MFM** (magnetic field modulation)

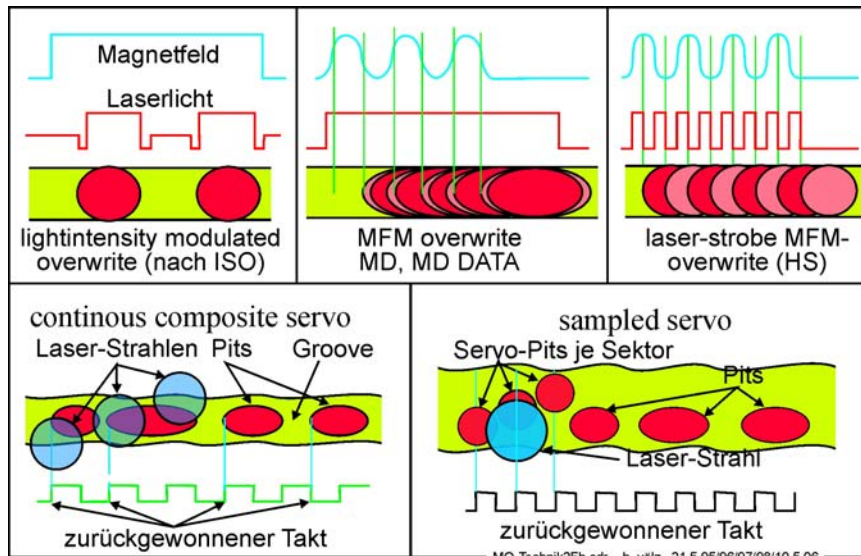
Laser dauernd in Betrieb, Material beim Schreiben ständig erhitzt
Magnetfeld gemäß zu speichernder Bit **umgeschaltet**

Erforderte **neuartige Terbium-Ferrit-Kobalt-Schicht**, nur $\frac{1}{3}$ der üblichen Schreibleistung = $4,55 \text{ mW}$, 180°C
 Polarisationswechsel vom Magnetfeld 100 ns (10 MHz), 1 Million Schreib-Zyklen garantiert, Lesen mit $0,5 \text{ mW}$

Spätere **Weiterentwicklung**
 Parallel zur Umschaltung des Magnetfeldes (magnetische Feldmodulation) wird **Laser gepulst**
 nur während Maxima des Magnetfeldes eingeschaltet $\Rightarrow$ deutlich schärfer begrenzte magnetische Pits
 Allerdings müssen dann freigegebene Speicherbereiche zunächst konform gelöscht werden.

Auch bei **Spurführung** und **Takt-Rückgewinnung** zwei neue Varianten

- **3-fach gesplitteter Laser-Strahl**
- **zusätzliche Servo-Pits** je Sektor (denn kein gesplitteter Laser-Strahl erforderlich)



LIMDOW

Bei Festplatten wurde mit **GMR-Köpfen** die Wechselwirkung mehrerer magnetischer Schichten benutzt
Ende 90er Jahre für 3½-Zoll-MO-Disketten mit 640 MByte ähnlich **direktes Überschreiben** eingeführt
= **LIMDOW** (laser (or light) intensity modulation direct overwrite)

Übliche MO zwischen beiden dielektrischen Schichten eine $\Rightarrow$ LIMDOW **vier magnetische Schichten**
Unterschiede in Curie- bzw. Kompensations-Temperatur
werden bei wachsender Temperatur **von „unten nach oben“ unmagnetisch**
Sinkt Temperatur, können Schichten – sofern Wechselwirkung es zulässt –
von oben nach unten **äußere Magnetisierung übernehmen**

Wirkungsmechanismen bestimmen die Bezeichnungen der Schichten (von oben nach unten)

1. **fixierte, Initialisierungs-Schicht.** $T_{comp,I} = T_I \geq 300^\circ\text{C}$, Erwärmung des Laser verändert sie nicht = 0
2. **switching-layer, Schalt-, Kopplungs- oder Zwischenschicht** $T_{comp,S} = T_S \approx 200^\circ\text{C}$
3. **Schreib- bzw. Referenz-Schicht** mit $T_{comp,R} = T_R \approx 150^\circ\text{C}$
4. **Lese-Schicht** mit $T_{comp,L} = T_L \approx 100^\circ\text{C}$. Sie wird bei Wiedergabe mit dem Kerr-Effekt ist nur sie wirksam.

Zusammenwirken der Schichten beim Schreiben

Es sei eine **1 gespeichert** und soll eine **0 geschrieben werden**

Laser erhitzt Material auf T_0 mit $T_S > T_0 > T_R$. $\Rightarrow$ beide untere Schichten werden unmagnetisch
Sinkt Temperatur unter T_R , nimmt Referenz-Schicht äußere Magnetisierung an

wenn T_L erreicht $\Rightarrow$ zur Lese-schicht
Genauso wenn schon 0 vorhanden war

Schreiben von 1: Erhitzen $T_I > T_1 > T_S \Rightarrow$ unteren drei Schichten werden unmagnetisch

Wenn T_S unterschritten, sollte Switching Layer Richtung des äußeren Feldes annehmen

Nicht möglich, weil Magnetisierungen der Initialisierungs-Schicht und des äußeren Feldes entgegengesetzt

Unterschreiten von $T_R \Rightarrow$ Referenzschicht wird magnetisch, nimmt Richtung des äußeren Feldes an

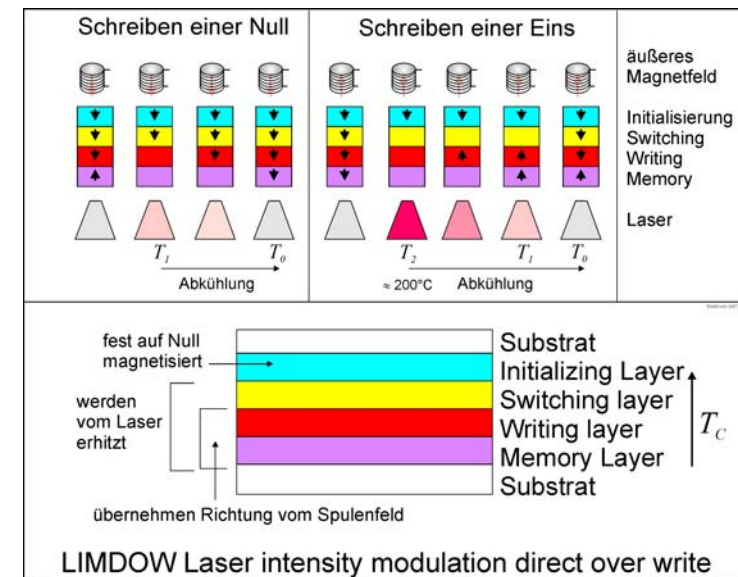
Unterschreiten von T_L wird auch die Lese-schicht magnetisch

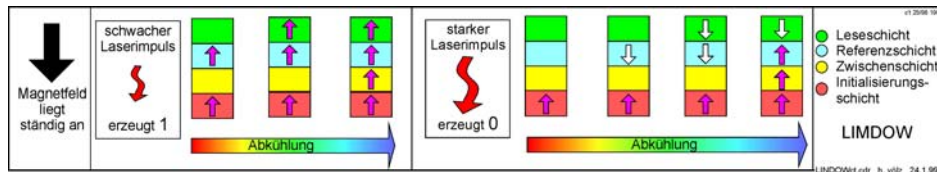
Erst bei $T_Z < T_L$ stellen sich beide mittleren Schichten auf Richtung Initialisierungs-Schicht ein

Nur Lese-schicht bleibt auf 1 magnetisiert. Stabil: Austauschwechselwirkung zwischen unteren Schichten gering

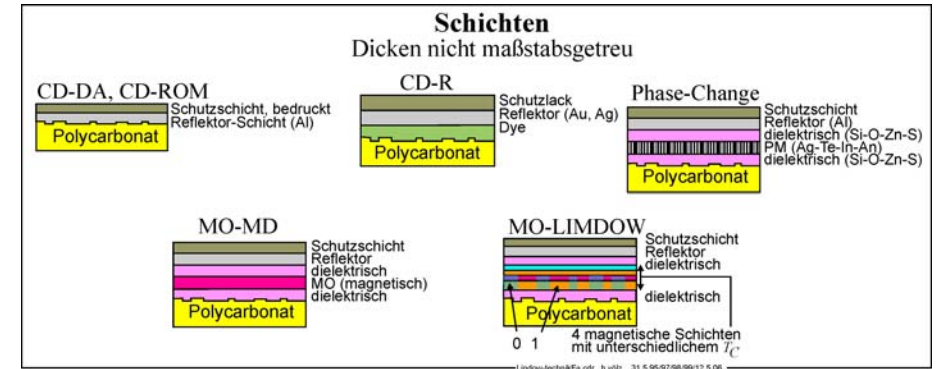
Laser muss insgesamt auf **drei Intensitäten** einstellbar sein: Schreiben von 1 oder 0 und für Lesen

Dennoch ist Schreiben und Lesen der alten MO-Disketten im Sinne der **Abwärtskompatibilität** vorhanden



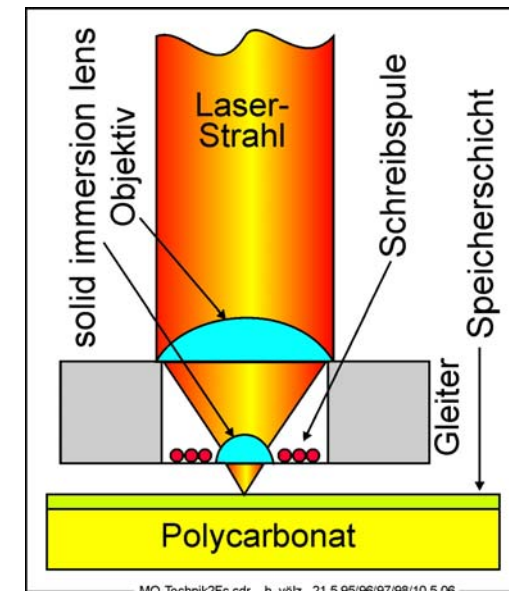


Schichtenvergleich



Near field recording (NFR)

Nachteil gegenüberliegende Magnetspule und Optik-Einheit ist vermeidbar
 1997 Neues Prinzip von Terastor entwickelt
 Gesamte magneto-optische System fliegt $\approx 15 \mu\text{m}$ Höhe über Platte « üblich $\approx 1 \text{ mm}$, aber » Festplatte $\approx 10 \text{ nm}$
 Nutzt zusammengesetztes Objektiv mit **solid immersion lens** (SIL) Objektiv + integrierte Magnetspule
 Diskette besitzt Magnetschicht, mit Oberflächenschicht für „first surface recording“ zur Aufzeichnung
 Medium wird von Tosoh (Tokio) hergestellt



magnetic super resolution (MSR) = thermally assisted recording (TAR)

Schreiben von **Pits** < **Laser-Fleck** nutzt steilen Übergang zum unmagnetischen Zustand
Genau definierte Laser-Leistung $\Rightarrow$ **unmagnetischer Zustand für nur kleinen Teil des Laser-Fleckst**

In der klassischen Optik gilt für den kleinsten Durchmesser eines Laserflecks

$$\Delta a = \pm \frac{k \cdot \lambda}{2N_A}$$

Für die Grenze wird ein Intensitätsabfall von 50 % und damit $k \approx 1$ benutzt

Infolge des steilen Übergang zum unmagnetischen Material genügt
bei magnetooptischem Material ein Abfall $\leq 5\% \Rightarrow k < 0,3$

Ähnliches wird z.T. bei hochauflösenden Fotolithographie der Halbleitertechnik genutzt

Magnetooptisch erfordert das Prinzip speziell ausgelegten **3-Schichten-Sytem**

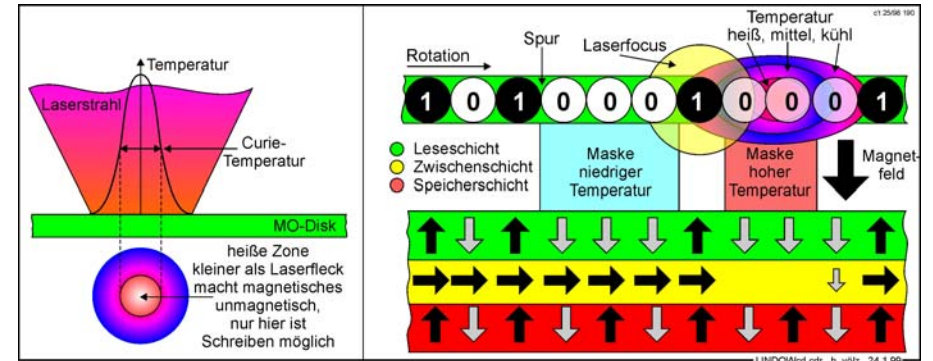
Anisotropie der **Mittelschicht** erzeugt bevorzugt **magnetische Längsausrichtung**

Bewegung der Diskette verformt Laser-Fleck **ellipsenförmig** für gleiche Temperaturgebiete

Schalten der Schicht erfolgt nur in einem als „heiß“ gekennzeichneten Bereich

Speicherschicht wird abwechselnd 0-1-0-1 usw. fest magnetisiert

Weitere, auch Theoretische Details u.a. das Physik-Journal 10/2003; S. 25.



HAMR (heat assisted magnetic recording)

= Hybride Speicherung = Kombination optischer + magnetischer Aufzeichnung deutlich kleinerer Bit-Fläche

Brennfleck blauer Laser $\varnothing \approx 0,5 \mu\text{m}$ = Fläche $\approx 0,2 \mu\text{m}^2$

Spalte bei Magnetköpfen betragen minimal $1 \times 0,1 \mu\text{m}^2 = 0,1 \mu\text{m}^2$

Beide Flächen miteinander kombiniert, ermöglichen $\approx 0,1 \times 0,5 \mu\text{m}^2 = 0,05 \mu\text{m}^2$

Für so kleine Flächen muss **Senkrechtaufzeichnung** angewendet werden (klassische Energiegrenze)

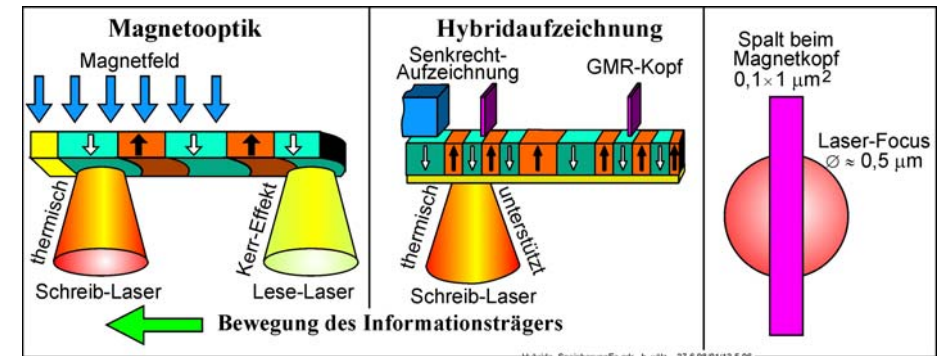
Wegen magnetooptischer Aufzeichnung sind jedoch sehr **hohe Koerzitivfeldstärken** vorteilhaft nutzbar
Magnetkopf allein kann kein ausreichendes Feld erzeugen, Material kreisförmig mit Laser erhitzt

Ummagnetisierung erfolgt dann nur im Kombinationsbereich vom Laser-Fokus und Spalt

Bei der Festplatte verdampfte zunächst das Schmiermittel (lubricate), Seagate Carbon-Röhrchen eingeführt
Aus ihnen verdampft das Schmiermittel definiert und das Gas schlägt danach an den jeweiligen Stellen nieder

Für die **Wiedergabe** ist Kombination von Laser und Magnetkopf nicht möglich

Hier muss also der ohnehin notwendige **Rasen zwischen den Spuren** genutzt werden



HMR-Varianten

MFGHR (magnetic field gradient hybrid recording): Der Aufzeichnungskopf bestimmt die Spur-Parameter. Der Laser dient nur dazu, Material mit einer höheren Koerzitivfeldstärke nutzen zu können. Laser-Fokus ist daher größer als die Spaltlänge des Kopfes, seine Energie muss nur Koerzitivfeldstärke senken. Das Material muss nicht vollständig unmagnetisch werden. Höhere Koerzitivfeldstärke ergibt weitaus stabilere Aufzeichnung.

DGHR (dual gradient hybrid recording). Es wird die Inversions-Temperatur des Magnetmaterials überschritten. Laser-Fokus bestimmt die kleinere Spurbreite. Kopf nicht mehr auf große Spaltfeldstärken optimieren. U.a. lassen sich höhere Frequenzen und eine einfachere Technologie verwirklichen.

TGHR (thermal gradient hybrid recording). Aufzeichnung wie bei Magnetoptik ohne speziellen Magnetkopf. Wiedergabe mit GMR-Kopf.

Bei allen drei Varianten müssen **sämtliche Baugruppen auf einen Halbleiter-Chip** untergebracht werden.

Magnetköpfe gut integrierbar

Optisches System immer vergleichsweise sehr großes Volumen

Vorteile können Kombinationen mit **Lichtwellenleiter und Linse** bringen (s. u.)

Theoretisch lassen sich Bit-Längen ≤ 100 nm und Spurabstände ≤ 10 μ m erreichen.

Kombination von HAMR und MSR

2005 zeigt Sharp eine zweilagige **Super-RENS-Disc** (resolution near field structure)

Oberhalb von PM-Speicherschicht befindet sich eine gelbe, thermo-optische Maskierungsschicht aus Metalloxid.

Beim Erhitzen mit Laser wird sie mit sehr steiler Gradation durchsichtig.

Nur heißer Bereich des Laser-Fokus ist wirksam ≈ 100 nm großer Spalt für Speicherung frei gegeben.

Ermöglicht bei der Blu-ray-disc eine Verdopplung der Speicherdichte.

Magnetooptisches Band

1995 stellte Philips Variante mit **magnetooptischen Prinzip** auf Konferenz in Dana Point, Kalifornien vor = Weiterentwicklung vom Opto-Band (s.o.), geschlossene **Kassette** mit Fenster für optische Abtastung. Präzise parallele Spurführung dadurch, dass jede Spur in Abschnitte von 1 mm Länge eingeteilt ist. Dieser Bereich wird mit 3000 UpM rotierenden Sechskantspiegeln periodisch abgetastet. Relativgeschwindigkeit = 20 m/s, Band wird in dieser Zeit um 1 mm vorwärts bewegt.

2001 norwegische Firma O-Mass (Tochter von Tandberg Data) **OADR** (optically assisted data recovery)

Aufzeichnung magnetisch, Wiedergabe optisch

Band in Kassette 66 m lang, 9,2 cm breit, 16 000 schräg verlaufenden Datenspuren, 600 GByte. Zugriffszeit 3 bis 4 Sekunden, Datenrate 64 MByte/s.

Kennzeichen ist **spezieller magnetooptischer Kopf**

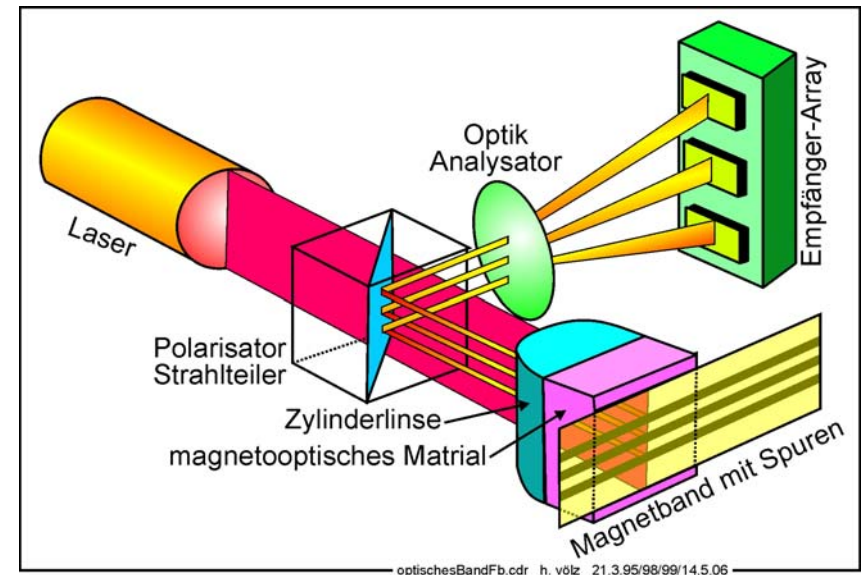
Magnetisierungen werden per Kontakt auf ein magneto-optisches Material übertragen.

Wiedergabe nutzt relativ breiten Bandabschnitt mit 32 parallelen Spuren (Kanäle).

Genutzt wird magnetischer KERR-Effekt: optische Bauelemente (u.a. Kollimator, $\lambda/4$ -Platte und Polarisator).

Wiedergabetechnik befindet sich auf einem 8 mm² großen Chip.

Spurnachsteuerung erfolgt durch Bewegung der Linse (Optik, Analysator).



Lichtleiter-Anwendung

1995 begann **Quinta** (ehem. www.quinta.com)
Kombination optischer und magnetischer Technik: **OAW** (optical assisted winchester)

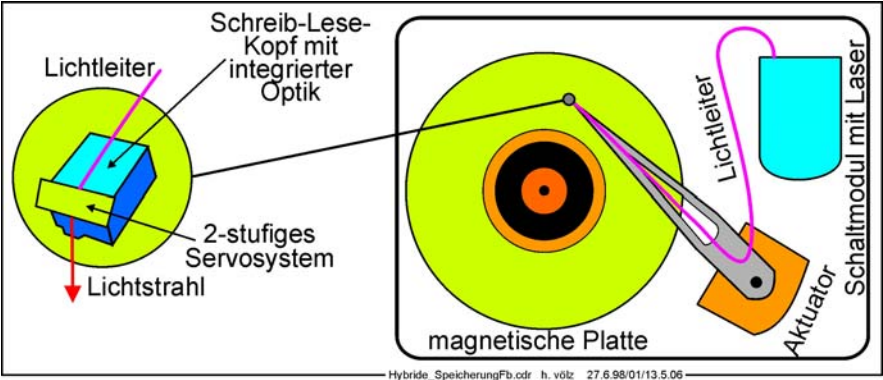
1997 wurde Firma von Seagate übernommen
1999 sollten entsprechende Festplattenspeicher auf den Markt kommen
Seit etwa 2000 sind alle Informationen – auch im Internet – verschwunden

Aufzeichnung/Wiedergabe entspricht üblicher **MO-Technologie** + **RE-TM-Medium** (rare earth transition metal)
Übertragung mit **Lichtleiter** $\varnothing = 0,35 \text{ mm}$ $\Rightarrow$ Kopf-Platten-Abstand relativ groß, Head-Crash ausgeschlossen
Oberfläche muss weniger glatt sein $\Rightarrow$ Basismaterial genügt Kunststoff

Bewegte Masse von Aktuator, Hebel und optischem Teil **sehr klein** $\Rightarrow$ sehr geringe Zugriffszeit
Wesentliche Teile der Optik befinden sich mit dem Laser in einem Schaltmodul
Mit optischem Umschalter lassen sich von dort die einzelnen „Köpfe“/Oberflächen ansprechen
Ende des Gleiters = Ende der Faser trägt Fokussiereinheit:

Linse $\varnothing = 0,3 \text{ mm} + 1 \text{ mm}$ großen, drehbar gelagerten Spiegel

Erreicht wurden **Schaltzeit 1 ms**, **$\approx 500 \text{ Spuren/mm}$**



Kombinierte Speichertechnik

2009 wird eine **5D-Recording** angekündigt, soll Speicherkapazität auf 10 000-Fache, **$1,1 \text{ TBit/cm}^3$** steigern
Bei DVD-Abmessungen soll 1,6 TByte erreicht werden, es wird Polymer benutzt, das **Nanogoldstäbchen** enthält
Longitudinale **Oberflächen-Plasmonen-Resonanz** bewirkt hohe Empfindlichkeit
bzgl. Wellenlänge und Polarisisation

Je nach λ sprechen **Nanostäbchen unterschiedlicher Form und Ausrichtung** an

Beim Schreiben erhitzt der Laserimpuls nur diese Nanostäbchen
sie schmelzen und verkürzen sich oder werden zu Kugeln

Auslesen erfolgt mit gleichem λ und gleicher Polarisisation mittels Zwei-Photonen-Photolumineszenz
es werden nur die zugehörigen Bits ausgelesen

Es konnte gleichzeitig mit **3 Wellenlängen und 2 Polarisationsrichtungen** gearbeitet werden $\Rightarrow$ je Punkt 6 Bit

Zusätzlich können bis zu **10 Schichten** (Layer) übereinander angeordnet werden

Zusammenfassung opto-motorischer Speicher

Speicherdichte, Laser λ		CD, 780 nm	DVD, $\approx 650 \text{ nm}$	blaue Varianten, $\approx 400 \text{ nm}$
Medientypen	Gepresst	CD-DA, CD-ROM	DVD	Blu Ray Disc
	Farbstoff, Dye	CD-R	DVD-R, DVD+R	R-Medien
	Amorph $\leftrightarrow$ kristallin	CD-RW	DVD-RW	RW-Medien, UDO
	Magnetooptisch	MO-Platten und MD; (Band)		
	Nicht rotierend	optische Karten, optisches Band		
	Sonstige, Neuartige	HAMR, holografische Speicher, Speicher mit Lichtleitern usw.		

Pflege, Haltbarkeit, Datenschutz CD/DVD

Einflüsse: Qualität, Herstellung, Aufzeichnung, Lagerung und Umgang mit den Medien
Auch die absichtliche und korrekte **Zerstörung sensibler Daten** ist wichtig

Anfangs CD-DA Ausfälle durch falschen Lack, zerstörte Reflexschicht, heute nicht mehr vorhanden!

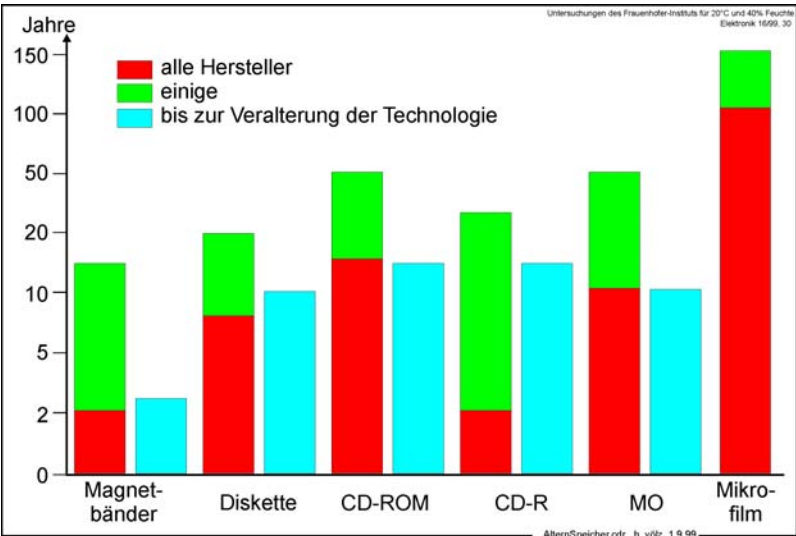
CD: immer Labelseite empfindlich
Beschädigung durch Druck, Kugelschreiber, Kratzer und nachträgliche aufgeklebte Label
Gut gefertigte **CD-DA, CD-ROM** usw. mehr als 50 Jahre zuverlässig

R-Medien: organisches Dye empfindlich gegen Licht und chemische Einflüsse (gilt auch für Rohlinge)
⇒Dunkel lagern, gutes Versiegeln der Randflächen, nicht zu hohe Temperatur, 5 bis 10 Jahre erreichbar

RW-Medien deutlich robuster gegenüber Einflüssen, nur bei höherer Temperatur Gefahr einer Rekristallisation

Century-CD für Archivierung als Einzelexemplare oder Serien bis zu hundert Stück
besteht aus Glas, Pit-Struktur eingätzt, verspiegelt mit Gold, versiegelt mit Chrom und Chromoxid
Geegnet für -54 bis +350°C (kurzfristig bis 500°C), Lebensdauer ≥100 Jahre, evtl. 1000

DVD deutlich zuverlässiger als CD, dennoch kritisch Aufklebelabel ⇒ Verformung



Daten für Nutzung und Lagerung

	Temperatur	T-Gradient	relative Feuchte	F.-Gradient	Luftdruck
Schreiben und lesen	10 – 50 °C	10 K/h	10 – 80%	10 %/h	75 – 105 kPa
Kuzzeit-Lagerung	-10 – 50 °C	15 K/h	5 – 90 %	10 %/h	75 – 105 kPa
Langzeit-Lagerung	18 – 22 °C	5 K/h	35 – 45 %	10 %/h	75 – 105 kPa

Besonderheiten bis Unsinn

LightScribe usw. nur geringe Akzeptanz, zu umständlich, Tintenstrahldruck günstiger und farbig
Wichtig Aufbewahrung im **Jewel-Case**, Platte möglichst *nur* Außenränder und Mittelloch anfassen

Haltbarkeit guter Drucke, Mikrofilme oder gar **Steindokumente** ist in jedem Fall länger
Unterliegen auch nicht **moralischem Verschleiß** → nicht mehr verfügbare Wiedergabetechnik

Achtung Aprilscherz von c’t 2000
Pilzbefall!, dito 2001 zur Aluminium-Schicht auf eindringende Sauerstoff- und Wassermoleküle

Unsinn:
Qualität verbessern durch Entmagnetisieren usw. z. B. Gerät „Fururtech RD-2“ für 389 €
sollen angebliche die Ladungsverteilung in der CD verbessern!
Auch lagern in Tiefkühltruhe oder Abschrägen der Kanten gegen kritische Reflexionen sind Unsinn

Produktion CD/DVD 1998

	Tonnen	10 ⁶ Stück	Prozent
CD Audio	37 790	2 362	30
CD ROM	74 210	4 638	59
CD-R	12 800	800	10
DVD	1 422	89	1
Summe	126 222	7 889	

Recycling

Erheblicher Teil von CD/DVD wird zu **Abfall**: Werbung, nicht mehr aktuelle Daten, Über-, Fehlproduktion usw. Zumindest ist ein **Recycling** des wertvollen **Rohstoffs Polycarbonat** angebracht

Zuvor ist dabei ein systematisches **Sammeln und Sortieren** der Medien notwendig
Hohe **Kosten** bei **Aufbereitung** und **Logistik** des Sammelns

Trennung von unterschiedlicher Metallisierung **Al, Au, Ag** sowie vorbespielte und **R-Medien**

Bisher erfolgt keine Aufbereitung von **RW-Medien**

Die einzelnen Gruppen werden **getrennt gemahlen** und mit **Natronlauge** behandelt
Dabei blättern vom Polycarbonat störenden Schichten ab, verbleiben aber Verunreinigungen Metall und Lack

Aus **gereinigtem PC-Mahlgut** wird Kunststoff **ABS** (Acrylnitril-Butadien-Styrol) hergestellt
u. a. für Computergehäuse, in Medizintechnik, Automobil- und Haushaltswaren-Industrie eingesetzt wird

Weitere Aufbereitung ist technisch schwierig und wirtschaftlich nicht rentabel

Nicht benutzte Fraktion (ca. 1 %) aus Polycarbonat, Metall- und Lackresten in **Verbrennungsanlage** vernichtet
Erfolgt alles bei **Bayer AG**, anders Verfahren existiert bei **Newcycle GmbH**. In USA bei Firma **Nisar**

1998 wurden in Deutschland $\approx 4 \cdot 10^8$ CD bzw. $\approx 6 \cdot 10^4$ t aufbereitet; Recyclingquote ≈ 8 %

Polycarbonatbilanz: Weltweit $\approx 1,2 \cdot 10^6$ t produziert, davon $\approx 10^5$ t für optische Medien und $\approx 10^4$ t recycelt.

Urheberrecht ⇒ Verwertungsgesellschaften

Kreativität ist selten, bringt Fortschritte, wird gesellschaftlich bzgl. Erfinder und Urheber gefördert
Den **größten Gewinn** ziehen daraus aber meist **Konzerne, Unternehmer** usw. **auch Lizenz**-Gebühren
Sie behaupten auch, dass ihnen große **Verluste durch unerlaubtes, illegales Kopieren** entstehen

Bereits im 18. Jh. wehrten sich die **Buchhändler** gegen **Leihbibliotheken**
Erst viel später wurde erkannt, dass gerade durch sie ein großer Käufermarkt entstand

Das hat ähnlich bei den **Rundfunksendungen von Schallplatten** um 1930 wiederholt

Ebenso beim Aufkommen des **Tonbandgerätes** in den 50er Jahren

Seit etwa 1980 für Audio und Video (Film) infolge von **CD-R, CD-RW**

Hinzu kommt noch das **Internet** mit **Download** und **Austausch** von Dateien

Weniger deutlich ist es bei den **Kopiergeräten für Papierdokumente** sichtbar gewesen

Schließlich entstanden **Verwertungsgesellschaften**, wollen/sollen Interesse der Erfinder und Urheber vertreten
Leider bleibt bei ihnen ein ganz **erheblicher Anteil** der „erzwungenen“ **Einnahmen** zurück

Mehrere sind zusammengefasst in der **Zentralstelle für private Überspielrechte** (ZPÜ), darunter

GEMA (Gesellschaft für musikalische Aufführungs- und mechanische Vervielfältigungsrechte)

VG Wort (Verwertungsgesellschaft)

VG Bild-Kunst

GVL (Gesellschaft für Verwertung von Leistungsschutzrechten)

Vielfalt der Abgaben, Kopiergebühren

Versuch einer Zusammenfassung von Abgaben in DM ($\approx$ €)zu urheberrechtlich geschützten Werken für 2001
Diese Werte sind inzwischen bereits wieder überholt, Auch die Doppelabgaben sind zu beachten
Ferner gibt Diskussionen zu Abgaben für Festplatten, RAM, Modems, ISDN, Internet usw.
Im gewissen Sinn können auch die Rundfunk-Fernsehgebühren eingeordnet werden.

Gerät/Medium	VG Wort / VG Bild-Kunst	GEMA zusätzlich
PC, ohne Zuhör	59	(41)
Kopierer	bis 600 je nach Leistung	
Scanner (ab 1995)	8 – 300 je nach Leistung	20
Drucker	10 bis 300 je nach Leistung	
Farbdrucker	>40	
CD-Brenner ab (1998)	12	12
DVD-R/RW-Brenner	>12	>12
Musikrekorder	2	
Video-Rekorder	10	
Fax-Gerät	18	
MP3-Player	2	
Tonbandkassette/MD	0,09 je angefangener Stunde	
Videokassette	0,10 je angefangener Stunde	
üblicher CD-Rohling	0,09	0,06
Audio-Rohlinge	zusätzlich etwa 2	
Fotokopie	0,01	

Umfang der Einnahmen

2001 Erlöse in Millionen DM

GEMA..... 1 500

VG Wort..... 127

VG Bild und Kunst 45

Filmwerter (VFF, GWFF, VGF, GÜFA) 68

Notwendige Ergänzung Lizenzgebühr: z.B. erhält Philips je Rohling (immer noch) $\approx$ 10 Cent