

COMPACT  
disc

DVD

Blu-ray Disc™



# Optische Speichermedien

Riccardo Nimser

# ***Inhalte***

- **Einführung und Grundlagen**
- **Die Compact Disc**
  - Geschichte
  - Aufbau und Funktionsweise
  - Rainbow Books und Dateisysteme
- **Die Digital Video Disc**
  - Geschichte
  - Aufbau und Funktionsweise
- **Vergleich der Medien**
- **Derzeitige Entwicklungen**
- **Zusammenfassung**

# ***Einführung und Grundlagen***

## Einführung

### Optischer Speicher

- Auswechselbarer Massenspeicher
- Durch optische Abtastung gelesen und beschrieben
- Üblicherweise nur als rotierender Speicher in Diskform eingesetzt

### Betriebsmodi

- Konstante Winkelgeschwindigkeit (CAV)
  - Höhere Datenrate bei größerem Radius
- Konstante Lineargeschwindigkeit (CLV)
  - Konstante Datenrate unabhängig von der Position

1/32

Unter optischen Speicher versteht man auswechselbare Massenspeicher, die durch optische Abtastung (meist mittels eines Lasers) gelesen und eventuell beschrieben werden können. Die bekanntesten optischen Speichermedien sind die CD/CD-ROM und deren Weiterentwicklungen (DVD und Blu-Ray Disc). Neben diesen wurden noch diverse andere Medien entwickelt (z.B. Laserdisc oder Enhanced Versatile Disc), die jedoch in der Praxis nur eine geringere Bedeutung haben. Allen in der Praxis gebräuchlichen Medien gemein ist, dass diese in Diskform verwendet werden und somit nur als rotierende Speichermedien Anwendung finden.

Bei den Betriebsmodi rotierende Speichermedien kann man zwischen konstanter Lineargeschwindigkeit und konstanter Winkelgeschwindigkeit unterscheiden. Manche Laufwerke drehen die Disks, ähnlich wie Festplatten, mit konstanter Winkelgeschwindigkeit. Diese Technik wird mit CAV bezeichnet. Dabei dreht die Disk immer gleich schnell. Dies hat zur Folge, dass die relative Geschwindigkeit des Lese- oder Schreibeinheit über dem Medium nach außen hin zu nimmt ( $\omega = 2\pi n = v/r$ ), wodurch die Datentransferrate ebenfalls von innen nach außen zu nimmt.

Wenn die relative Geschwindigkeit des Lese- oder Schreibeinheit über dem Medium konstant ist, spricht man hingegen CLV. Um dies zu erreichen muss die Umdrehungsgeschwindigkeit des Mediums von innen nach außen abnehmen. Anwendung findet diese Technik beispielsweise in Audio-CD-Playern, wobei die Datentransferrate über die gesamte Spieldauer der CD konstant bleibt.

## Einführung

### Vorteile

- Geringe Abnutzung durch berührungsloses Schreiben/Lesen
- Geringe Kosten der Medien
- Hohe Speicherdichte im Vergleich zu Disketten oder Festplatten

### Nachteile

- Probleme während des Lesevorgangs bei unsachgemäßer Lagerung
- Begrenzte Zahl an Schreibzyklen (z.B. max. 1.000 Zyklen bei CD-RW)

2/32

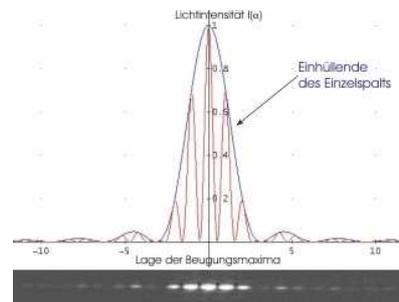
Die Vorteile der optischen Speicher liegen vor allem bei den geringen Kosten der Medien, der geringen Abnutzung durch berührungsloses Schreiben und Lesen sowie der hohen Speicherdichte im Vergleich zu anderen Medien. Die Speicherdichte ist hierbei ein Maß für die speicherbaren Informationseinheiten pro Flächen- oder Längeneinheit. Festplatten hatten in den Anfangsjahren um 1958 Speicherdichten von etwa 2 kbit/inch<sup>2</sup>. Die heutigen Magnetplatten verfügen dagegen über eine Speicherdichte von etwa 5 Gbit/inch<sup>2</sup> bis zu 20 Gbit/inch<sup>2</sup>, in der Spitze werden über 300 Gbit/inch<sup>2</sup> erreicht, was gegenüber heutigen optischen Speichermedien jedoch vergleichsweise gering ist. So bringt es die DVD bei doppelseitiger Benutzung auf die 27-fache Speicherkapazität einer Compact Disc, was einer Speicherdichte von etwa 1 GB/inch<sup>2</sup> entspricht.

Nachteile der optischen Speicher hingegen sind jedoch die Empfindlichkeit bei unsachgemäßer Lagerung, was zu Problemen während des Lesevorganges führen kann. So können Kratzer oder Umwelteinflüsse wie hohe Temperaturen oder Luftfeuchtigkeit zu irreparablen Schäden führen. Weiterhin ist die Zahl an Schreibzyklen bei wiederbeschreibbaren Medien begrenzt. Von den Herstellern werden zwar für DVD-RAM max. 1.000.000 und für andere CD/DVD-Formate max. 1.000 Zyklen angegeben, jedoch dürfte die Anzahl der Zyklen in der Realität deutlich weniger sein.

# Grundlagen

## Interferenz von Wellen

- Beschreibt Überlagerung von
- zwei oder mehr Wellen
- Unterscheidung in konstruktive und destruktive Interferenz
- Führt zu charakteristischen Interferenzmustern



## Kohärenz von Wellen

- Bezeichnet konstante Phasendifferenz zwischen Wellen
- Ermöglicht stationäre und unveränderliche Interferenzerscheinungen
- Meistens zeitliche und räumliche Kohärenz nötig



3/32

Interferenz beschreibt die Überlagerung von zwei oder mehr Wellen nach dem Superpositionsprinzip (d.h. ungestörte Überlagerung der Wellen, wobei sich die Elongationen der einzelnen Wellen addieren) und tritt bei allen Arten von Wellen auf (z.B. Schall- oder Lichtwellen). Verstärken sich dabei die Elongationen, so spricht man von konstruktiver Interferenz während die Abschwächung der Elongationen destruktive Interferenz genannt wird.

Das Muster aus Stellen konstruktiver und destruktiver Interferenz wird als Interferenzmuster bezeichnet, wobei je nach experimentellem Aufbau (wie beispielsweise am Einzelspalt) ein charakteristisches Interferenzmaximum, Interferenzminimum oder beides auftritt. Der Nachweis von Interferenz im physikalischen Experiment gilt gleichzeitig als Nachweis für die Wellennatur der untersuchten Strahlung.

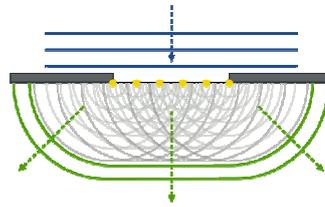
Kohärenz bezeichnet eine Eigenschaft von Wellen, welche es über einen längeren Zeitraum ermöglicht stationäre (zeitlich und räumlich unveränderliche) Interferenzphänomene zu beobachten. Allgemeiner beschreibt die Kohärenz die Gesamtheit der Korrelationseigenschaften zwischen den Größen eines Wellenfeldes. Demnach werden zwei Wellen kohärent genannt, wenn diese eine konstante Phasendifferenz zueinander haben.

Bei der Kohärenz zweier Wellen kann zwischen räumlicher und zeitlicher Kohärenz unterscheiden. Räumliche Kohärenz liegt vor, wenn entlang einer Raumachse (oft reduziert auf die Raumachse senkrecht zur Ausbreitungsrichtung) eine konstante Phasendifferenz besteht. Zeitliche Kohärenz hingegen liegt vor, wenn entlang der Zeitachse (oft bildlich gleichgesetzt mit der Raumachse parallel zur Ausbreitungsrichtung) eine konstante Phasendifferenz besteht. Obwohl zwischen diesen beiden Fällen unterschieden werden kann, werden für die meisten physikalischen Experimente und Phänomene beide Arten der Kohärenz benötigt.

# Grundlagen

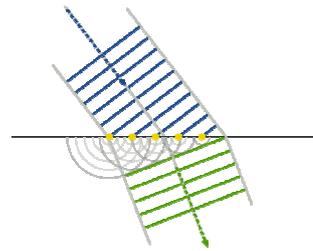
## Beugung von Wellen

- Bezeichnet Ablenkung einer Welle an Hindernissen
- Ermöglicht die Ausbreitung in den geometrischen Schattenraum
- Abhängig von der Größe des Hindernisses und der Wellenlänge



## Brechung von Wellen

- Beschreibt Richtungsänderung einer Welle
- Durch Änderung der Ausbreitungsgeschwindigkeit hervorgerufen
- Tritt beim Übergang zwischen zwei Bereichen auf



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

4/32

Mit Beugung bezeichnet man ein Phänomen, das entsteht, wenn Wellen bei ihrer Ausbreitung auf durchsichtige oder undurchsichtige Hindernisse treffen. Hierbei werden die Wellen so abgelenkt, dass sie sich in den geometrischen Schattenraum des Hindernisses ausbreiten können. Ursache der Beugung ist die Entstehung neuer Elementarwellen entlang der Wellenfront gemäß des Huygens'schen Prinzips, wobei sich die Elementarwellen überlagern und so zu Interferenzerscheinungen (konstruktiv und/oder destruktiv) führen können. Besonders ausgeprägt tritt Beugung in Erscheinung, wenn geometrische Strukturen eine Rolle spielen (z.B. Einzelspalt oder Gitter), deren Größe mit der Wellenlänge der verwendeten Wellen vergleichbar ist. Im Gegensatz dazu kann die Beugung vernachlässigt werden, wenn die geometrischen Strukturen im Vergleich zur Wellenlänge groß sind, da die Wellen dann kaum in den Schattenbereich eintreten.

Mit Brechung bezeichnet man die Richtungsänderung einer Welle aufgrund einer lokalen Änderung ihrer Ausbreitungsgeschwindigkeit, die durch den Brechungsindex  $n$  beschrieben wird. Treffen Wellen von einem Bereich (z.B. Luft) auf einen anderen (z.B. Glas), dessen Brechzahl sich von dem des ersten unterscheidet, wird ein Teil der Welle reflektiert und ein anderer erfährt eine Ablenkung gemäß dem Snellius'schen Brechungsgesetz ( $\sin \alpha / \sin \beta = v_1 / v_2 = n_2 / n_1 = \text{konst.}$ ). Beim Übergang der Welle in einen Bereich mit größerer Brechzahl wird diese zum Lot der Trennfläche abgelenkt und beim Übergang in einen Bereich mit kleinerer Brechzahl vom Lot weg. Da das charakteristische und unveränderliche Kennzeichen einer Welle ihre Frequenz ist ( $f = v / \lambda$ ), kommt es beim Übergang einer Welle von einem Bereich in ein anderen stets zu einer Änderung ihrer Wellenlänge.

# Grundlagen

## Numerische Apertur

- Maß für Lichtsammel- und Auflösungsvermögen
- Bestimmt minimalen Fokusbereich von Laserfokussierungsoptiken
- Durchmesser ist proportional zur Wellenlänge

$$Na = n \sin(\alpha)$$

$$d = \frac{\lambda}{2Na}$$

## Laser

- Künstliche gerichtete Strahlungsquelle
- Basiert auf drei grundlegenden Prozessen
  - Absorption bzw. Anregung
  - Spontane Emission
  - Stimulierte Emission
- Besonders monochromatisches und kohärentes Licht

5/32

Die numerische Apertur eines optischen Elementes, beispielsweise eines Objektivs, ist ein Maß für sein Lichtsammel- und sein Auflösungsvermögen. Sie wird auch zur Charakterisierung von Laser-Fokussieroptiken benutzt und bestimmt deren minimalen Fokusbereich sowie den Arbeitsabstand. Der Wissenschaftler Ernst Abbe zeigte, dass ein minimaler Fokusbereich eines Lichtstrahls proportional zur Wellenlänge des verwendeten Lichtes  $\lambda$  ist und mit Hilfe der numerischen Apertur über  $d = \lambda / (2 \cdot NA)$  definiert ist, wobei die numerische Apertur stets kleiner oder gleich 1 ist. Daraus ergibt sich, dass sich ein Lichtstrahl nicht auf einen kleineren Raum als einen Punkt mit einem Durchmesser von etwa der halben Wellenlänge des verwendeten Lichts fokussieren lässt.

Ein Laser ist eine künstliche gerichtete Strahlungsquelle, für dessen Funktion drei grundlegende Prozesse der Wechselwirkung von Licht mit Materie bestimmend sind. Diese sind Absorption bzw. Anregung (Pumpen), spontane Emission und stimulierte Emission. Durch das Pumpen des Lasers gelangen Atome oder Moleküle eines aktiven Mediums in einen höheren Energiezustand. Durch zunächst spontane Emission geht dieser angeregte Zustand, das heißt zufällig und ohne äußere Einflüsse, wieder in einen niedrigeren Energiezustand über, wobei die Energiedifferenz in Form eines Photons abgestrahlt wird. Der Zeitpunkt der Aussendung und Richtung des Photons sind zufällig und stochastisch gleich verteilt. Durch ein solches, bereits existierendes Photon wird die Aussendung eines weiteren Photons angeregt, was stimulierte Emission genannt wird. Das neue Photon besitzt dabei die gleichen Eigenschaften (Frequenz, Phase, Polarisation und Ausbreitungsrichtung) wie das bereits existierende. Es ergibt sich also eine Verstärkung der Strahlung. Ein Resonator sorgt dafür, dass diese Verstärkung rückgekoppelt und in einer bevorzugten Richtung erfolgt.

Laser besitzen Eigenschaften, die sie stark von klassischen Lichtquellen (wie z. B. einer Glühlampe) unterscheiden. So ist das mit ihnen erzeugte Licht extrem monochromatisch und besitzt eine sehr gute zeitliche und räumliche Kohärenz. Aufgrund dieser Eigenschaften gibt es zahlreiche technische und physikalische Anwendungsmöglichkeiten.

# ***Geschichte der CD***

## Geschichte

- 1970er:** Sowohl Sony als auch Philips arbeiten an der optischen Aufzeichnung von Bildsignalen
- 1978:** Einigung über Arbeit an gemeinsamen Standard auf der "Digital Audio Disc Convention" in Tokyo
- 1980:** Veröffentlichung des "Red Book"
- 1982:** Einführung der CD-DA in Europa und Japan
- 1985:** Erste CD-Laufwerke für den Computer
- 1988:** Erste System zum brennen von CDs
- 1991:** Einführung der CD-R
- 1996:** Ankündigung der CD-RW Technologie

6/32

In den 1970er Jahren arbeitete man sowohl bei Sony als auch bei Philips an der optischen Aufzeichnung von Bildsignalen, die die Videotechnik revolutionieren sollte und bald entwickelte sich die Idee, diese Technologie auch für digitale Klänge zu nutzen. Beide Unternehmen standen plötzlich vor einem Problem. Sie hatten die neuen optischen Datenträger, ähnlich der Schallplatte, mit einem Durchmesser von 30 cm geplant. Bei Audiodaten reichte die Kapazität aber für über 13 Stunden. Diese Mengen an Musik hätten jedoch niemals an die Verbraucher vermarktet werden können. 1978 einigten sich beide Firmen auf der "Digital Audio Disc Convention" in Tokyo darauf einen gemeinsamen Standard herbeizuführen um nicht mehrere, zueinander nicht kompatible Systeme zu entwickeln, wie es zuvor Videosektor der Fall war.

Ursprünglich wurde von Philips ein Durchmesser von 11.5 cm angestrebt, was einer Spieldauer von 60 Minuten entspräche. Doch Sony-Präsident Norio Ohga - ein ehemaliger Opernsänger - forderte von Phillips ausreichend Platz um seine Lieblingsversion von Beethovens Neunte ohne störendes Wechseln des Tonträgers hören zu können, welche 66 Minuten dauert. Die Techniker von Phillips hielten sich daraufhin an die damals längste zur Verfügung stehende Version von Wilhelm Furtwängler, die exakt 74 Minuten dauert. Im Jahr 1980 wurde dann von Philips und Sony für Audioaufnahmen der „Red Book“-Standard vorgeschlagen, der 1981 von Matsushita und dem Digital Audio Disc Committee angenommen wurde.

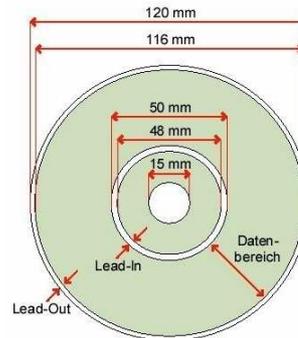
Ein Jahre später begann in Langenhagen bei Hannover, in den Produktionsstätten der damaligen „Polygram“, die weltweit erste industrielle Produktion des letzten ABBA-Albums „The Visitors“, und zwar noch bevor am 1. Oktober 1982 die ersten in Serie produzierte CD-Spieler in Europa und Japan auf dem Markt angeboten werden konnten. 1985 kamen die ersten CD-ROM-Laufwerke und ab 1988 gab es Systeme, mit denen CDs gebrannt werden konnten. 1991 wurde dann erstmals die CD-R eingeführt, was auch den Einsatz der CD am Computer zum Durchbruch verhalf.

# ***Aufbau und Funktionsweise***

## Aufbau

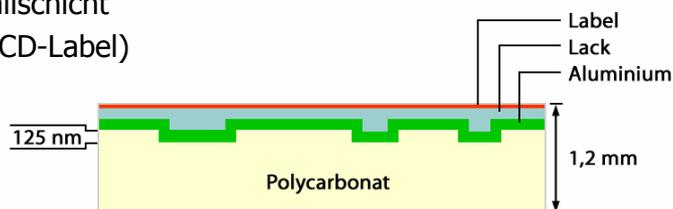
### Maße einer CD

- Breite: 12 cm
- Dicke: 1,2 mm
- Innenloch: 15 mm
- Beschreibbare Fläche: ca. 88 cm<sup>2</sup>
- Gewicht ca. 18 Gramm



### Schichtenaufbau der CD

- Hauptsächlich durchsichtiger Kunststoff
- Reflektierende Metallschicht
- Schutzschicht (und CD-Label)



7/32

An den Abmessungen und am Aufbau von CDs hat sich seit der Markteinführung nichts geändert. Eine Standard-CD wiegt etwa 18 Gramm, misst 120 mm im Durchmesser und ist 1,2 mm dick. Die Größe des Mittelochs beträgt 15 mm. Die CD dreht sich im Laufwerk von der Datenseite aus betrachtet gegen den Uhrzeigersinn. Der Aufzeichnungsbereich liegt zwischen 46 und 116 mm. Er teilt sich in Lead-in (Eingangsbereich), Datenbereich (50 mm - 116 mm) und Lead-out (Ausgangsbereich). Im Lead-in befindet sich die TOC der CD, das Lead-out markiert das Ende der Aufzeichnung.

Die CD besteht aus 4 verschiedenen Schichten. Als Trägermaterial dient ein beliebiges durchsichtiges Material mit einem Lichtbrechungsindex von 1,55 wobei von Presswerken meist Polycarbonat verwendet wird. Das Trägermaterial selbst macht den größten Teil der Gesamtdicke von 1,2 mm einer CD aus. Die Datenspur befindet sich auf einer 0,05 bis 0,1 µm dicken reflektierenden Metallschicht für die in der Regel Aluminium und dessen Legierungen verwendet wird. Bei manchen "Luxusausgaben" von Klassik-CDs wird auch Messing eingesetzt, das der CD-Oberfläche einen goldenen Glanz verleiht. Die Metallschicht ist von einer 10 bis 30 µm dicken Schutzschicht aus UV-unempfindlichem Lack bedeckt auf der dann das Label in einer Stärke von ca. 5 µm gedruckt wird.

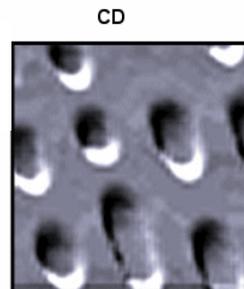
## Aufbau

### Datenspur der CD

- Verläuft spiralförmig von innen nach außen
- Besteht aus Pits und Lands
- Spurweite:  $1,6 \mu\text{m}$
- Länge: bis zu  $6,4 \text{ km}$

### Maße der Pits

- Pit-Breite:  $0,5 \mu\text{m}$
- Pit-Höhe:  $0,125 \mu\text{m}$
- Minimale Pit-Länge:  $0,833 \mu\text{m}$
- Maximale Pit-Länge:  $3,054 \mu\text{m}$



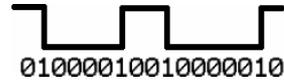
8/32

Die Daten liegen auf einer in einer spiralförmigen Spur die von innen nach außen verläuft. Bei einer CD mit 650 MByte (74 Minuten) beträgt die Spurweite  $1,6 \mu\text{m}$ . Die Spur besteht aus  $0,125 \mu\text{m}$  tiefen und  $0,5 \mu\text{m}$  breiten Vertiefungen in der Metallschicht, deren Länge zwischen  $0,833 \mu\text{m}$  und  $3,56 \mu\text{m}$  betragen kann. Die Vertiefungen nennt man Pits und der Bereich zwischen zwei Pits heißt Land. Die Datenspur enthält maximal 22188 Windungen und ist somit bis zu  $6,4 \text{ km}$  lang. Von der Unterseite gesehen wirken die Pits wie kleine Erhebungen, weshalb oft auch von Bergen anstatt Vertiefungen gesprochen wird. Aufgrund ihrer Größe sind die Pits nur mit einem Rasterelektronenmikroskop zu erkennen. Um einen besseren Eindruck dieser Zahlen zu bekommen, kann man den Durchmesser der CD auf  $120 \text{ m}$  vergrößern (statt  $12 \text{ cm}$ ). Bei entsprechender Vergrößerung der Spur wären die Pits trotzdem nur etwa  $0,5 \text{ mm}$  breit.

# Aufbau

## Datenspeicherung

- Aufteilung der Datenspur in Pitzellen
- Pitzelle mit Übergang stellen Kanalbit-1 dar
- Dazwischen Min. 2 und Max. 10 Kanalbit-0
  - Kodierung der Daten nötig



## Eight-to-Fourteen-Modulation

- Darstellung eines Bytes mit 14 Bit
- Zusätzlich 3 Mischbits zur Trennung
  - 17 Kanalbits für 1 Byte nötig

Byte		EFM-Code
Dezimal	Binär	
0	0000 0000	01001000100000
1	0000 0001	10000100000000
2	0000 0010	10010001000000
3	0000 0011	10001000100000
4	0000 0100	01000100000000
...	...	...

9/32

Irrtümlicherweise wird oft angenommen, dass die Pits für den logischen Wert 1 und die Lands für den logischen Wert 0 stehen oder umgekehrt. Dem ist jedoch nicht so, da die Funktionsweise der Leseoptik die oben angeführte Methode nicht zulässt, denn bereits kleine Kratzer und Verunreinigungen hätten zur Folge, dass Daten nicht mehr gelesen werden können. Stattdessen steht jede Pitkante, gleichgültig ob am Anfang oder am Ende, für eine 1 und sämtliche Flächen dazwischen, innerhalb oder außerhalb eines Pits, für eine 0. Um Daten auf die Spur abzubilden, wird diese in Abschnitte, so genannte Bitzellen, unterteilt, die eine Länge von rund  $0,2776 \mu\text{m}$  besitzen und Kanalbit (Null oder Eins) darstellen. Eine Bitzelle mit einem Wechsel am Anfang von Land zu Pit oder Pit zu Land, also einer Pitkante, stellt eine logische Kanalbit-Eins dar, eine Bitzelle ohne einen solchen Wechsel eine logische Kanalbit-Null. Aus technischen Gründen ist es notwendig, dass immer 2 Kanalbits-Null einem Kanalbit-Eins folgen. Würden zwei Kanalbit-Eins dichter aneinander lägen, könnte sie der Laser nicht mehr lesen oder es käme zu Lesefehlern. Andererseits dürfen nicht mehr als 10 Kanalbits-Null aufeinander folgenden, da das Laufwerk sonst Schwierigkeiten hätte die korrekte Anzahl Kanalbits-Null zu ermitteln. Aus diesen Zahlen ergeben sich auch die minimale und maximale Länge der Pits ( $3 * 0,2776 \mu\text{m} \approx 0,834$  und  $11 * 0,2776 \mu\text{m} \approx 3,054$ ).

Auf Grund der minimalen und maximalen Zahl an Kanalbits-Null zwischen zwei Kanalbits-Eins (d.h. mindestens drei und höchstens elf Bitzellenlängen zwischen zwei Übergängen), ist es nicht möglich ein Byte durch 8 Kanalbits zu kodieren. Es ist jedoch bekannt, dass mit einem Byte  $2^8 = 256$  verschiedene Werte dargestellt werden können. Bei der Verwendung von 14 Bits gibt es unter den  $2^{14} = 16384$  möglichen Kombinationen gerade 267, die die geforderten Bedingungen erfüllen. Um zu garantieren, dass auch bei zwei aufeinander folgen 14-Bit-Codewörtern der Mindestabstand sowie der Höchstabstand zwischen zwei Kanalbits-Eins gewahrt bleibt, werden zwischen den Wörtern zusätzlich drei Trennbits (*000, 001, 010 oder 100*) eingefügt. Da in den Fällen, in denen 10 Nullen am Ende eines 14-Bit-Codes und 10 Nullen am Anfang des nachfolgenden 14-Bit-Codes durch keine der Trennbitkombinationen die Bedingungen aufrecht erhalten kann, müssen von den 267 vorhandenen Kombinationen diejenigen mit 9 oder 10 Nullen am Anfang oder am Ende entfernt werden, was genau 11 sind. Somit verbleiben 256 Kombinationen zur Darstellung der 28 verschiedenen Werte eines Bytes. Die Abbildung der 8 Anwender-Bits auf 14 Kanalbits wird Eight-to-Fourteen-Modulation (EFM) genannt. Auf Grund der 3 Trennbits werden also insgesamt 17 ( $14 + 3 = 17$ ) Kanalbits auf der CD gebraucht, um ein Byte darzu-stellen.

# Aufbau

## Aufbau der Frames

- 588 Kanalbits bilden 1 Frame
- Synchronisationmuster am Anfang
- 14-Bit-EFM-Werte + 3 Mischbits

Verwendung	Kanalbits
Synchronisation	24 + 3 = 27
Kontrollbyte	1 * (14 + 3) = 17
Nutzdaten	24 * (14 + 3) = 408
Fehlerkorrektur	8 * (14 + 3) = 136
Summe	588

## Aufbau der Sektoren

- 98 Frames bilden 1 Sektor
- Kontrollbytes werden in Subcodekanäle aufgespalten
- Singelspeed als 75 Sektoren/Sekunde definiert

Control Bytes 98 Bytes	Nutzdaten 2352 Bytes	Fehlerkorrektur 784 Bytes
1 Byte	24 Byte	8 Byte
1 Byte	24 Byte	8 Byte
...	....	...

10/32

Um Daten effektiv speichern zu können, werden mehrere Bytes zu größeren Blöcken zusammengefasst. Die kleinsten zusammenhängenden Informationseinheiten der CD werden Frame genannt. Sie bestehen aus 588 Kanalbits von denen nur 408 Bit Nutzdaten enthalten. Am Anfang jedes Frames steht ein Synchronisationsmuster aus 24 Kanalbits und 3 Trennbits. Dieses Muster ist einzigartig und sonst nirgends auf der Disk zu finden und gewährleistet, dass der Lesekopf den Anfang eines Frames korrekt findet. Der Rest des Frames besteht aus 14-Bit-EFM-Werten, gefolgt von 3 Mischbits was 33 Byte ergibt. Das erste der 33 Bytes wird als Kontrollbyte verwendet, dessen acht Bits mit P bis W bezeichnet werden. Daran schließen sich 12 Byte Nutzdaten sowie 4 Byte zur Fehlerkorrektur und dann nochmals 12 Byte Nutzdaten und 4 Byte zur Fehlerkorrektur an, also insgesamt 24 Byte Nutzdaten und 8 Byte zur Fehlerkorrektur.

Die nächst größeren Informationseinheiten bilden Sektoren, welche jeweils 98 Frames zusammenfassen, was 3234 Byte entspricht. Die Bündelung der 24 Datenbytes der Frames ergeben also 2352 Byte Nutzdaten pro Sektor. Die restlichen 882 Byte setzen sich aus den 98 Kontrollbytes und den 784 Bytes zur Fehlerkorrektur zusammen. Ein Singelspeed-Laufwerk liest per Definition 75 Sektoren pro Sekunde. Daher erfolgt die Adressierung von Sektoren über die Zeit und zwar nach folgendem Muster Minute: Sekunde: Sektor. Die 98 Kontrollbytes eines Sektors enthalten wichtige Informationen. Die Bytes werden dazu in so genannte Subcodekanäle aufgespalten. Alle Bit 0 der 98 Frames bilden beispielsweise den Subcodekanal P und alle Bit 1 den Subcodekanal Q. Der genaue Inhalt der Subcodekanäle ist in den diversen Standards der CD definiert. Eine besondere Bedeutung hat jedoch der Subcodekanal Q, da er die Position eines Sektors auf der CD enthält sowie die Table of Contents im Lead-In Bereich der CD.

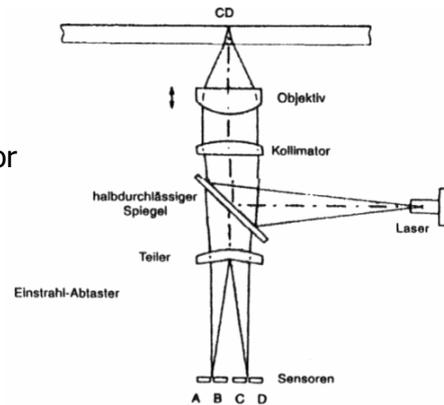
## Funktionsweise

### Lesen der Daten

- Erfolgt mit infraroten Laser
- Abtastung von der Rückseite
- Genaue Fokussierung nötig

### Strahlengang

- Aufweitung des Strahles durch Beugungsgitter
- Parallele Ausrichtung durch Kollimator
- Fokussierung durch Objektivsystem
- Reflektion auf der Metallschicht
- Auftrennung durch optischen Keil



11/32

Zum Lesen der auf der CD gespeicherten Informationen wird die Pitstruktur berührungslos mit einem infraroten Laser (Wellenlänge 780 nm) abgetastet. Die Abtastung erfolgt hierbei von der Rückseite der CD, der Transparenzschicht aus. Der Abtastlaser muss immer genau fokussiert sein, um die Daten korrekt auslesen und der sehr feinen Pitspur exakt folgen zu können. Das Resultat ist ein hochkomplexes Abtastsystem, der so genannte Pick-Up. In der Praxis gibt es verschiedene optische Systeme zur Realisierung des Pick-Ups, der wesentliche Strahlengang des Lasers ist jedoch immer gleich.

Bei einem Einstrahl-System wird der Laserstrahl durch ein Beugungsgitter aufgeweitet. Als nächstes trifft er auf einen halbdurchlässigen Spiegel und eine Kollimatorlinse, deren Aufgabe es ist, die divergierenden Lichtstrahlen parallel zu richten. Anschließend wird der Laserstrahl durch ein Objektivsystem auf die CD fokussiert. In seinem weiteren Verlauf wird der Strahl von der Metallschicht in der CD reflektiert und passiert zu 50% den halbdurchlässigen Spiegel. Das transmittierte Lichtbündel wird von einem optischen Keil in zwei Teile aufgetrennt, die auf vier nebeneinander angeordnete Fotodioden treffen.

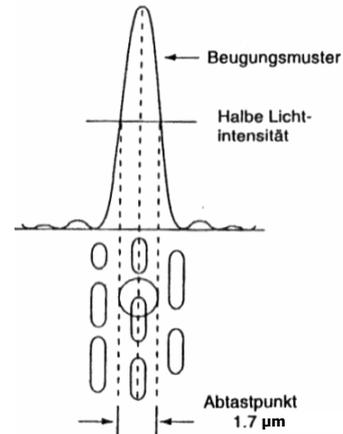
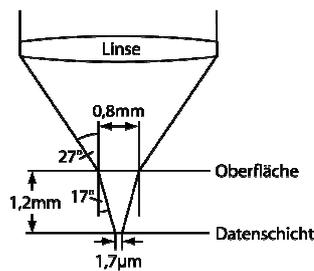
## Funktionsweise

### Fokussierung

- Numerische Abertur der Laseroptik beträgt 0,45
- Brechungsindex von Luft  $\approx 1,0$
- Durchmesser des Lichtpunktes von 0,8 mm auf der Oberfläche
  - Keine Lesefehler durch kleine Kratzer
- Fokussierung auf  $1,7 \mu\text{m}$  durch Brechung

$$Na = n \sin(\alpha)$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$



12/32

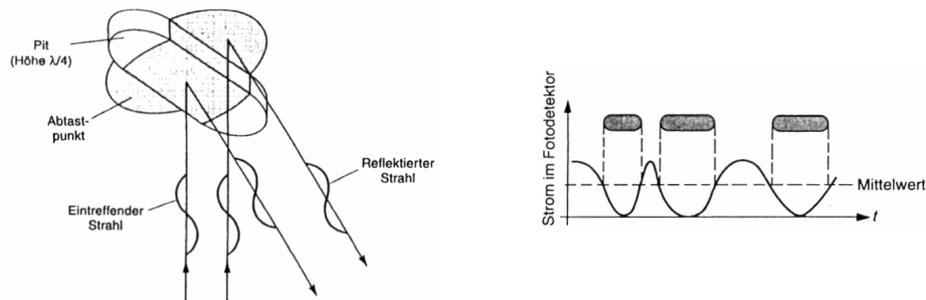
Durch das Objektivsystem wird der Laserstrahl so auf die CD fokussiert, dass der Lichtpunkt (Spot) auf der Unterseite der CD einen Durchmesser von 0,8 mm besitzt. Dieser Wert hängt direkt mit der rechnerischen Öffnung von 0,45 der Laseroptik zusammen. Zum Auslesen so kleiner Strukturen wie Pits ist es jedoch nötig, dass der Spot auf der reflektierenden Schicht einen Durchmesser von  $1,7 \mu\text{m}$  hat, was etwa der dreifachen Pitbreite und der doppelten minimalen Pitlänge entspricht. Eine präzise Fokussierung ist daher besonders bei Betrachtung der störenden Einflüsse von Vibrationen und Höhenschlägen beim Abspielen unerlässlich.

Die Fokussierung wird in besonderem Maß durch die Beschaffenheit der CD selbst begünstigt. Die Transparenzschicht, auf welche der Spot zunächst mit 0,8 mm Durchmesser trifft, hat einen Brechungsindex von 1,55, welcher über die gesamte an jeder Stelle genau 1,2 mm dicke Schicht sehr konstant gehalten wird. Dem liegt die Idee zugrunde, dass beim CD-System der Laserstrahl mit einem relativ großen Durchmesser auf die Unterseite treffen kann. Die eigentliche Fokussierung erfolgt dann durch den Brechungseffekt im Kunststoff der Transparenzschicht. Dies hat den Vorteil, dass Beschädigungen der Größenordnung 0,5 mm auf der Transparenzseite keine Lesefehler zur Folge haben. Die Pitstruktur hingegen wird durch weitaus kleinere Fehler unbrauchbar.

## Funktionsweise

### Auswertung der Pitstruktur

- Laserstrahl trifft entweder nur auf Land oder teilweise auf ein Pit
  - Gangunterschied  $0,25 \mu\text{m}$ , Phasenverschiebung  $\lambda/2$
- Phasenverschiebung führt zur destruktiven Interferenz
- Umwandlung der Lichtintensität in einen Fotostrom



13/32

Der fein fokussierte Laserstrahl trifft bei optimaler Spurlage und Fokussierung auf Grund seines Durchmessers von  $1.7 \mu\text{m}$  entweder auf eine Fläche ohne Pit, also zu 100% auf Land, oder teilweise auf ein Pit. Da der Strahl ca. dreimal so breit ist wie die erhöhte Fläche, werden je nach Pitlänge und Auftreffort bis zu 50% des Spots vom Pit reflektiert, während der restliche Teil erst vom umgebenden Bereich der verspiegelten Fläche zurückgeworfen wird, welcher im Strahlengang weiter entfernt liegt. Bei einer Pithöhe von konstant  $0.125 \mu\text{m}$  besitzt ein landreflektierter Strahl ein Gangunterschied  $\Delta s$  von  $0.25 \mu\text{m}$  gegenüber einem pitreflektierter Strahl.

Aus den Folgerungen der Maxwellgleichungen der Elektrodynamik für Lichtwellen ergibt sich, dass die Wellenlänge des Lichts in einem Medium reziprok vom Brechungsindex des Materials abhängt. Für die Laserwellenlänge im Kunststoff der transparenten Schicht ergibt sich  $\lambda = 780 \text{ nm} / 1.55 = 503 \text{ nm}$ , was etwa das Doppelte des Gangunterschied  $\Delta s$  ist. Anders gesagt sind die Strahlen um  $\lambda/2$  phasenverschoben. Bringt man solche Strahlen wieder zusammen, so interferieren sie destruktiv und löschen sich gegenseitig aus. Da der Strahl real kaum zu gleichen Teilen auf Pit und Land trifft und die Pithöhe selten exakt einer viertel Wellenlänge entspricht, kommt es anstelle der vollständigen Auslöschung zu einer Intensitätsmodulation des reflektierten Lichtbündels. Interferenzdetektoren sind klarerweise nur mit monochromatischem und kohärentem Licht möglich.

In den vier Fotodioden wird das von der CD reflektierte Licht und die Schwankungen in der Lichtintensität in einen intensitätsmodulierten Fotostrom umgewandelt. Die Summe aller Ströme wird dann den Schaltkreisen zugeführt, welche daraus den Systemtakt, die Spur- und Autofokusinformationen wie auch Fehlerkorrektur und schließlich die Daten ableiten.

# Funktionsweise

## Spurführung

- Auswertung erfolgt über geteilte Strahlen
- Symmetrische Reflektion bei optimaler Lage
- Weniger Interferenz auf einer Seite bei Abweichung

## Fokuskontrolle

- Anwendung der Foucault-Fokussierung
- Falscher Abstand verschiebt Brennpunkt
  - Zu nah: Strahlen enger aneinander
  - Zu fern: Strahlen weiter auseinander



14/32

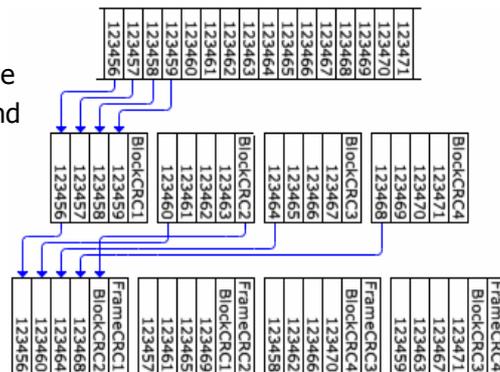
Eine CD kann bis zu drei Milliarden präzise in einer Spiralspur angeordnete Pits enthalten. Der optische Abtaster muss sich auf diese Spirale fokussieren, ihrer Spur folgen und ihre Daten lesen. Das System zur Kontrolle der Spurlage des Pick-Ups muss mit einer Exzentrizität von maximal 300 mm und mit Vibrationen der Größenordnung der Pitztiefe fertig werden. Aus der Einzelauswertung der vier Sensoren werden die Korrektursignale für die Spurführung gewonnen. Wenn der Laserstrahl auf die Mitte der Pitspur trifft, wird er symmetrisch reflektiert. Kommt er aber von der Spur ab, trifft eine Seite des Strahls auf mehr Land, wodurch weniger Interferenzen entstehen und die Reflexion ist intensiver. Der von dieser Seite kommende Teilstrahl ist also heller und bewirkt beim zugehörigen Sensorpaar eine stärkere Reaktion. Als Fehlerspannung bildet man daher  $(A+B) - (C+D)$ .

Neben der hohen Spurfestigkeit muss der Pick-Up auch schnell und sicher fokussieren können. Laut Spezifikation sind dabei Höenschläge von bis zu 600 mm zu tolerieren, während der der Spot innerhalb einer Toleranz von 2 mm fokussiert bleiben muss. Andernfalls würden mit den Informationen über Phasenverschiebung auch Nutzdaten sowie die Daten zur Fokussteuerung verloren gehen. Die Objektivlinse muss also in der Lage sein, bei wechselnden Abständen zur CD die Schärfe nachzustellen. Auch hierfür kann ein entsprechendes Korrektursignal aus der Einzelauswertung der vier Sensoren ermittelt werden. Hierbei wird die so genannte Foucault-Fokussierung angewendet. Bei korrektem Fokus erscheinen zwei scharfe Bilder zwischen den paarweise angeordneten Sensoren. Wenn sich der Abstand zwischen Objektivsystem und CD verändert, verschiebt sich der Brennpunkt des Systems. Bei einem zu geringen Abstand zur CD wandern die aufgeteilten Strahlen enger zusammen und bei einem zu großen Abstand weiter auseinander. Aus der Differenz  $(A + D) - (B + C)$  wird ein entsprechendes Steuersignal zur Korrektur generiert.

# Funktionsweise

## Fehlerkorrektur

- Basiert auf dem Reed-Solomon-Code
- Zwei Ebenen der Fehlerkorrektur und drei Cross-Interleaving-Stufen
- Effizienz liegt bei  $10^8$ 
  - 1 Fehler bei 100 Millionen Bit



15/32

Durch auf der CD vorhandene Fehler, wie beispielsweise Kratzer im Material, kann es vorkommen, dass die ursprünglichen Daten nicht erfolgreich gelesen werden können. Daher benötigt man Verfahren, um diese Fehler auszugleichen und gegebenenfalls verloren gegangene Daten rekonstruieren zu können. Einzelne Fehler, wie falsch abgebildete Bits, können leicht mit Hilfe von Paritätsbits erkannt und korrigiert werden, jedoch sind diese bei derartig kleinen Strukturen wie Pits eher selten der Fall. Treten Fehler in aufeinander folgenden Gruppen auf, spricht man von Flächenfehlern oder Bursts. Flächenfehler kommen bei CDs oft vor, etwa in Form von radialen Kratzern, da diese Kratzer entlang der Datenspur verlaufen und somit mehrere direkt hintereinander liegende Frames oder gar Sektoren betreffen können. Verläuft ein Kratzer dagegen von innen nach außen, so verteilen sich die Fehler auf mehrere Datenspuren. Hier ist der Korrekturaufwand größer und die alleinige Verwendung mehrerer Paritätsbits nicht praktikabel, da zu viele Paritätsbits benötigt würden.

Die 8 Byte zur Fehlerkorrektur jedes Frames beruhen auf einer weit verbreiteten Technik, dem Reed-Solomon-Code, der bei der CD allerdings leicht modifiziert Anwendung findet. Diese Modifikation trägt den Namen Cross-Interleave-Reed-Solomon-Code und benutzt zwei Ebenen der Fehlerkorrektur sowie drei Cross-Interleaving-Stufen um Einzelfehler und Flächenfehler zu korrigieren. Für die erste Stufe der Fehlerkorrektur werden je 24 Byte der Nutzdaten einem Paritätsgenerator zugeführt, der für diese 32 Paritätsbits (4 Byte) berechnet mit denen Bitfehler auf dem niedrigsten Level erkannt und korrigiert werden können. Anschließend erfolgen die drei Cross-Interleaving-Stufen, die die Daten in verschiedenen Intervallen auf dem Datenträger verschachtelt. Dadurch können Flächenfehler zerlegt werden. Für die zweite Stufe der Fehlerkorrektur werden je 28 Byte der verschachtelten Daten einem weiteren Paritätsgenerator zugeführt, der für diese wiederum 32 Paritätsbits berechnet. Die 28 Byte sowie die 32 Paritätsbits formen dann einen Frame. Die zweite Ebene der Fehlerkorrektur wird also auf die Bytes in einem Frame angewandt. Die Effizienz dieses Verfahrens liegt bei  $10^8$ . Dies bedeutet, dass auf 100 Millionen Bit ein Fehler kommt, der nicht als solcher erkannt und infolgedessen auch nicht korrigiert wird.

## Funktionsweise

### Beschreibbare CDs

- Andere Schichtenaufbau als gepresste CDs
- Vorgefertigt Spurführung eingearbeitet
  - Mit Frequenz von 22,05 kHz aufmoduliert
  - Enthält zusätzliche Informationen und durchgängige Zeitangabe

16/32

Während bei normalen CDs die unveränderliche Pitstruktur und somit die Daten durch Pressung entsteht, ist dies bei einmal oder mehrfach beschreibbaren CDs nicht möglich. Die Rohlinge zum Beschreiben besitzen die gleichen Ausmaße und Speicherkapazitäten wie gepresste CDs, jedoch unterscheiden sie sich in der Zusammensetzung ihrer Schichten. Als weiteren Unterschied enthalten die beschreibbaren Medien anstatt der Datenspur mit ihren Pits und Lands eine durchgehende wellenförmige Führungsspur, die Pregroove genannt wird. Diese Spur wurde bei der Herstellung der Rohlinge mit einer Frequenz von 22,05 kHz aufmoduliert und ist für die Spurführung beim Schreiben notwendig. Aus der Frequenz kann die Umdrehungsgeschwindigkeit ermittelt und somit geregelt werden. Zusätzlich enthält die Führungsspur am Anfang Information wie beispielsweise Hersteller des Rohlings und die empfohlene Schreibleistung für den Laser sowie die fortlaufende Zeitinformation über die gesamte Länge. Die Zeitinformationen werden vom Brenner zum Positionieren benötigt. Der Erfolg eines Schreibvorgangs hängt erheblich davon ab, wie genau die Führungsspur ist. Bei hochwertigen Rohlingen verläuft die Spur gleichmäßig über die gesamte Disk während minderwertigen Rohlingen Schwankungen enthalten. Dadurch können Orientierungsprobleme beim Schreiben auftreten.

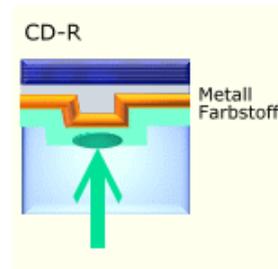
## Funktionsweise

### Schichtenaufbau der CD-R

- Trägerschicht aus Kunststoff
- Schicht aus organischen Farbstoffen
- Reflektierende Metallschicht
- Lack und zweite Versiegelungsschicht

### Schreiben einer CD-R

- Kurzeitige und punktuell Erhitzung auf 250 °C
  - Veränderung der Absorptionseigenschaften
  - Bildung eines "Bläschens"



17/32

Die CD-R gehört zu WORM-Speichermedien und kann daher nur einmal beschrieben werden. Als Trägermaterial dient wieder ein beliebiges durchsichtiges Material mit einem Lichtbrechungsindex von 1,55. Darüber ist eine im Grundzustand relativ durchsichtige Schicht aus organischen Farbstoffen (Cyanin, Phtalocyanin oder Azo), dem so genannten Dye aufgebracht. Es folgt die Schicht aus reflektierendem Material, wobei hier Gold oder Silber verwendet wird, die Schutzschicht aus UV-unempfindlichem Lack sowie eine weitere Versiegelungsschicht mit Beschriftungsbereich.

Das Schreiben erfolgt mit demselben Laser, wie beim Lesen, jedoch wird dieser mit wesentlich mehr Energie betrieben. Zum aufbringen der Daten wird die Farbschicht punktuell kurzzeitig auf etwa 250 °C erhitzt. Dies löst an der entsprechenden Stelle eine chemische Reaktion aus, die die Lichtdurchlässigkeit also die Absorptionseigenschaften des Farbstoffes verändert und eine Art Bläschen erzeugt. Dabei wird auch das darüber liegende Reflexionsmaterial leicht angehoben. Durch dieses destruktive Verfahren erklärt sich automatisch, dass CD-R Medien nicht mehrfach beschrieben werden können. Beim Lesevorgang führen diese Veränderungen dazu, dass ein Teil des Lichtes absorbiert oder diffuse reflektiert wird, während ein anderer Teil destruktiv interferiert, was aber nicht zur vollständigen Auslöschung führt. Dennoch ergeben sich durch die genannten Effekte, die benötigten und vom Photodetektor registrierten Intensitätsunterschiede, welche jedoch nicht so stark ausgeprägt sind wie bei einer gepressten CD und vor allem von den verwendeten Materialien des Dye abhängen. In den Anfängen dieser Technologie hatten die meisten der für gepresste CDs ausgelegten Lesegeräte wie Audio-Player Probleme mit der Auswertung der verminderten Intensitätsunterschiede, wodurch sie nicht in der Lage waren diese Art der Medien zu lesen.

## Funktionsweise

### Schichtenaufbau der CD-RW

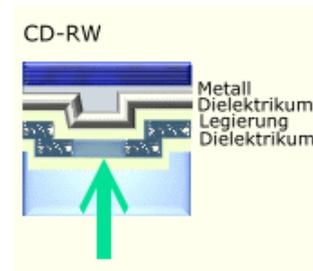
- Hauptsächlich durchsichtiger Kunststoff
- Silber-Tellur-Antimon-Indium-Legierung
- Zwei Dielektrikum-Schichten
- Lack und zweite Versiegelungsschicht

### Schreiben einer CD-RW

- Punktuell Erhitzung auf 500 bis 700 °C
  - Übergang in amorphen Zustand
  - Abschwächung der Reflexionskraft

### Löschen einer CD-RW

- Erhitzung auf 200 °C
  - Rückkehr in polykristallinen Zustand
  - Erhöhung der Reflexionskraft



18/32

Im Gegensatz zur CD-R kann eine CD-RW laut Herstellerangaben bis zu 1000-mal neu beschrieben werden. Auch bei der CD-RW dient eine Schicht mit den bekannten Eigenschaften als Trägermaterial. Darüber befindet sich eine Schicht aus einer Silber-Tellur-Antimon-Indium-Legierung, die darunter und darüber von einer nicht leitenden Dielektrikum-Schicht aus  $\text{ZnS-SiO}_2$  umgeben ist. Die Legierung besitzt im ursprünglichen Zustand eine polykristalline Struktur und reflektierende Eigenschaften. Es folgt die Schicht aus UV-unempfindlichem Lack sowie die zweite Versiegelungsschicht.

Zum Schreiben wird der Laser mit seiner maximalen Leistung betrieben und erhitzt das Material punktuell auf 500 bis 700 °C. Dieses führt zu einer Verflüssigung des Materials. In diesem Zustand verliert die Legierung ihre polykristalline Struktur und nimmt einen amorphen Zustand an, wodurch sie an der entsprechenden Stelle an Reflektionskraft verliert. Der polykristalline Zustand des Datenträgers bildet Pits, der amorphe die Lands. Das Abtastsignal beim Auslesen entsteht also nicht durch Auslöschung, sondern durch gegebene oder nicht gegebene (bzw. schwächere) Reflexion. Hierbei ergeben sich noch wesentlich geringere Intensitätsunterschiede als wie bei einer CD-R, wodurch das korrekte Auslesen der Daten nochmals erschwert wird. Zum Löschen des Datenträgers erhitzt der Schreibstrahl die amorphen Bereiche mit niedriger Leistung auf etwa 200 Grad Celsius. Die Legierung wird nicht verflüssigt, kehrt aber in den polykristallinen Zustand zurück und wird damit wieder reflektionsfähiger.

# ***Rainbow Books***

## Rainbow Books

### Rainbow Books

- Definieren Standards für die verschiedenen CD-Formate
- Logos kennzeichnen Standardkonforme CDs
- Standards nach der Umschlagfarbe ihres Buches benannt

<b>Red Book (CD-DA)</b>		1980
<b>Yellow Book (CD-ROM)</b>		1985
<b>Mode-1</b>	<b>Mode-2</b>	
<b>Green Book (CD-I)</b>		1990
<b>Orange Book (CD-R/RW)</b>		1990
<b>White Book (Video-CD)</b>		1993
<b>Blue Book (CD-Extra)</b>		1995

19/32

Damit die Geräte aller Hersteller zueinander kompatibel sind, braucht man Standards. In diesen Standards werden technische Spezifikationen aufgestellt, denen die verschiedenen Geräte genügen müssen. Auch im Bereich der CDs existieren solche Standards die als Rainbow Books bezeichnet werden. CDs, die einem dieser Standards folgen, dürfen mit einem entsprechenden Logo gekennzeichnet werden, was gerade auf Grund von Kopierschutzmechanismen die sich außerhalb der Spezifikationen bewegen nicht immer der Fall ist. Jeder der für CDs gültigen Standards ist entsprechend der Umschlagfarbe des Buches, in dem er veröffentlicht wurde, benannt. Begonnen hat alles 1982 als Sony und Phillips die Spezifikationen der Audio-CD im so genannten "Red Book" (CD-DA) veröffentlichten. Später sind dann noch unter anderem das Yellow Book (CD-ROM), das Green Book (CD-I), das Orange Book (CD-R/CD-RW), das White Book (Video-CD) und das Blue Book (CD-Extra) hinzugekommen.

## Rainbow Books

### Red Book (CD-DA)

- Spezifikation der Compact Disc Digital Audio
- Definition der Aufteilung in Frames und Sektoren
- Speicherung eines Stereo-Signals mit 16 Bit Auflösung und einer Abtastrate von 44,1 kHz
- Maximal 99 Titel mit mindestens 4 Sekunden Länge
- Pre-Gap von mindestens 2 Sekunden vor jedem Titel
- 75 Sektoren entsprechen 1 Sekunde



20/32

Das Red Book enthält die technische Spezifikation der Compact Disc Digital Audio und beschreibt als erster die physikalische Aufteilung in Frames und Sektoren, den Fehlerkorrekturmechanismus und das Kodierungsverfahren. CDs nach diesem Standard speichern Stereo-Audiodaten mit 16 Bit Auflösung und einer Abtastrate von 44,1 kHz, was 1411200 Bits ( $44100 * 16 * 2 = 1411200$ ) entspricht. Eine CD nach Red Book-Standard darf maximal 99 Titel enthalten, wobei jeder Titel mindestens vier Sekunden lang sein muss. Zwischen den Titel befindet sich der Pre-Gap, der bei standardkonformen Audio-CDs eine Länge von mindestens zwei Sekunden haben muss. Laut Spezifikation müssen die Audiodaten konstant mit 75 Sektoren pro Sekunde gelesen. Hieraus ergibt sich zum einen, dass CD-Laufwerke normalerweise mit einer konstanten Lineargeschwindigkeit arbeiten und zum anderen die Größe der Nutzdaten eines Frames ( $75 \text{ Sekunden} * 98 \text{ Frames} * 24 \text{ Byte} * 8 = 1411200 \text{ Bits}$ ). Da jeder Sektor zu einer ganz bestimmten Zeit abgespielt werden soll, wurde deren Adressierung über Zeiteinheiten im Format Minuten:Sekunden:Sektor festgelegt.

## Rainbow Books

### Yellow Book (CD-ROM)

- Spezifikation der Daten-CD
- betriebssystemunabhängig Erweiterung des Red Books
- Sektoren müssen einzeln ansprechbar sein
  - 12 Byte zur Synchronisation und 4 Header-Bytes
- Zwei verschiedenen Modi für Sektoren
  - Mode 1: 280 Byte zusätzlicher Fehlerkorrekturcode
  - Mode 2: Ohne zusätzliche Fehlerkorrektur



21/32

Das Yellow Book definiert den Standard für Daten-CDs und ist eine betriebssystemunabhängig Erweiterung des Red Books und unterscheidet sich zu diesem nicht im Hinblick auf die physikalischen Aufteilung in Frames und Sektoren. Im Unterschied zu dem im Red Book festgelegten Standard für Audio-CDs müssen bei einer CD-ROM jedoch alle Sektoren einzeln ansprechbar sein, was eine durchgehende Adressierung am Beginn jedes Sektors nötig macht. Deshalb stehen am Anfang jedes Sektors bei der CD-ROM 12 Byte zur Synchronisation und vier Header-Bytes zur Identifikation des Sektors. Des Weiteren gibt es für die Sektoren zwei verschiedene Modi, von denen immer nur einer pro Sektor verwendet werden kann. Der gebräuchlichere Mode 1 ermöglicht pro Sektor eine Speicherkapazität von 2048 Byte. Da die Fehlerkorrektur der Audio-CD mit ihrer erzielten Fehlerrate von ca.  $10^{-8}$  für Computerdaten nicht ausreichend ist, werden in diesem Modus noch einmal 280 Byte Fehlerkorrekturcode ergänzt. So wird eine Fehlerrate von  $10^{-13}$  erzielt. Der CD-ROM Mode 2 ist für fehlertolerante Daten, wie Video- und Audiodaten, gedacht. Er enthält im Gegensatz zum Mode 1 keine Fehlerkorrektur, wodurch die Speicherkapazität der Sektoren 2336 Byte beträgt.

Wird die volle Pressfläche einer CD ausgenutzt so ergibt sich für den Mode 1 eine maximale Kapazität von ca. 650 MB, da die Nutzdaten bei der CD nur 2048 Byte je Sektor betragen ( $74 \text{ min} * 60 \text{ s/min} * 75 \text{ Sektoren/s} * 2048 \text{ Byte/Sektor} = 681.984.000 \text{ Byte} = 650 \text{ MB}$ ) und für den Mode 2 eine maximale Kapazität von ca. 741 MB ( $74 \text{ min} * 60 \text{ s/min} * 75 \text{ Sektoren/s} * 2336 \text{ Byte/Sektor} = 777.888.000 \text{ Byte} = 741 \text{ MB}$ ).

## Rainbow Books

### Orange Book (CD-R/CD-RW)

- Spezifikation der ein- oder mehrfach beschreibbaren CD-Formate
- Definiert den genauen Aufbau des Pregrooves
- Zusätzlicher Bereich vor dem Lead-In zur Feinjustierung des Lasers
- Beschreibbare CDs besitzen Multisession-Fähigkeit



22/32

Das Orange Book definiert die technische Spezifikation der ein oder mehrfach beschreibbaren CD-Formate mit Multisession-Fähigkeit und den Aufbau des Pregroove. Aufgrund der Möglichkeit des Schreibens ist der Anfang der CD-R und der CD-RW etwas anders spezifiziert. Diese Medien besitzen nämlich vor dem ersten Lead-In einen Bereich zur Feinjustierung des Lasers auf die jeweilige CD. Das Besondere an diesem Format ist die Möglichkeit, mehrere Sessions hintereinander schreiben. Das bedeutet, dass bei einer Session in den aktuellen Lead-In einen Verweis hinter den Lead-Out geschrieben wird. Dadurch ist es möglich später hinter dem alten Lead-Out eine neue Session mit Lead-In, Datenbereich und Lead-Out zu schreiben.

# *Dateisystem*

# Dateisystem

## ISO 9660

- hierarchisches und plattformunabhängiges Dateisystem für CD-ROMs
- Zwei unterschiedliche Levels mit unterschiedlichen Restriktionen
- Prinzipielle Einschränkungen
  - Datei- und Verzeichnisnamen nur aus Großbuchstaben, Ziffern und Unterstrich
  - Maximal 8 Ebenen für Verzeichnistiefe

## ISO 9660/Level 1

- Höchstens 8 Zeichen für einen Namen
- Extension darf aus bis zu 3 Zeichen bestehen

## ISO 9660/Level 2

- Dateinamen inklusive Extension auf 30 Zeichen begrenzt
- Verzeichnisnamen dürfen 31 Zeichen lang sein

23/32

Um die CD nicht anhand von Sektoren ansprechen zu müssen, braucht man ein logisches Format, das sich sozusagen zwischen dem physikalischen Format und dem Betriebssystem befindet. Auf CDs werden hierfür die ISO 9660, das Joliet Dateisystem sowie das Universal Disk Format eingesetzt.

Die ISO 9660 wurde 1988 aus dem modifiziertem High Sierra Standard definiert und beschreibt ein plattformunabhängiges, hierarchisches Dateisystem mit Verzeichnissen und Unterverzeichnissen für CD-ROMs. Prinzipiell können hier Datei- und Verzeichnisnamen lediglich die Großbuchstaben von A bis Z, die Ziffern von 0 bis 9 sowie der Unterstrich verwendet werden und ein Punkt dient als Separator zwischen dem Namen einer Datei und ihrer Extension. Die maximale Verzeichnistiefe beträgt acht Ebenen inklusive dem Root Verzeichnis. Von der ISO wurden für den Einsatz auf einer CD zwei unterschiedliche Levels definiert, die sich hinsichtlich ihrer weiteren Restriktionen unterscheiden. Bei der ISO 9660/Level 1 dürfen alle Verzeichnisnamen sowie der Name einer Datei maximal acht Zeichen lang und die Extension ist auf 3 Zeichen limitiert. Bei der ISO 9660/Level 2 hingegen ist ein Verzeichnisnamen auf maximal 31 Zeichen begrenzt und für Dateinamen dürfen bis zu 30 Zeichen (Name und Extension) verwendet werden. Außerdem ist der Name nicht Pflichtbestandteil eines Dateinamens.

## Dateisystem

### Joliet

- Von Microsoft als Erweiterung zur ISO 9660 definiert
- Dateiname bis zu 64 Zeichen lang
- Pfadname inkl. Dateiname darf bis zu 120 Zeichen lang sein
- Namen dürfen Groß- und Kleinbuchstaben sowie Unicode-Zeichen enthalten
- Maximale Dateigröße 2000 MB

### Universal Disk Format (UDF)

- plattformunabhängiges Dateisystem der Optical Storage Technology Association
- Dateinamen dürfen 255 Zeichen lang sein
- maximale Länge der Verzeichnisnamen beträgt 1023 Zeichen
- Keine Beschränkung der Verzeichnistiefe
- Dateiattribute verschiedener Betriebssysteme werden gespeichert

24/32

Das Dateisystem Joliet wurde von der Firma Microsoft als Erweiterung zur ISO-9660 definiert. Im Joliet-Dateisystem darf ein Dateiname bis zu 64 Zeichen lang und ein Pfadname inkl. Dateiname darf bis zu 120 Zeichen lang sein. Im Gegensatz zur ISO 9660 dürfen hier auch Groß- und Kleinbuchstaben sowie Unicode-Zeichen (inklusive der deutschen Umlaute) verwendet werden. Die Größe einer Datei im Joliet-Dateisystem ist auf 2000 MB (= 1,953125 GB = 2048000 KB = 2097152000 Byte) begrenzt. CDs im Joliet-Format enthalten zwei Dateisysteme. Ein echtes ISO-9660-Dateisystem um die Kompatibilität zu wahren, sowie das eigentliche Joliet-Dateisystem. Unterstützt wird das Format von Windows-, OS/2- und Unix-Basierenden Betriebssystemen (einschließlich Mac OS X). Für andere Betriebssysteme werden zusätzliche Tools benötigt um das Joliet-Dateisystem einer CD nutzen zu können.

Das Universal Disk Format ist ein von der Optical Storage Technology Association entwickeltes und plattformunabhängiges Dateisystem, welches zukünftig das ISO 9660-Format ablösen soll. UDF wurde als ISO 13346 normiert, das auch unter dem Namen ECMA-167 bekannt ist. Im Vergleich zu ISO 9660 fallen bei UDF einige Beschränkungen weg. So können Dateinamen bei UDF bis zu 255 Zeichen lang sein, wobei aus insgesamt 64.000 möglichen Zeichen gewählt werden kann. Die maximale Länge der Verzeichnisnamen wurde auf 1023 Zeichen erweitert wohingegen die Beschränkung der Verzeichnistiefe auf acht Ebenen entfällt. Weiterhin werden Groß- und Kleinschreibung sowie 8- und 16-Bit-Zeichensätzen unterstützt. Zusätzlich werden die Dateiattribute verschiedener Betriebssysteme gespeichert.

## ***Geschichte der DVD***

## Geschichte

- 1990er:** Bedarf nach mehr Kapazität für Video
- 1993:** Experimentelle Ausnutzung aller Toleranz des Reed-Book
- 1993:** Veröffentlichung des White Book (Video-CD)
- 1994:** Sony und Philips präsentieren Multimedia-CD
- 1995:** Super Density CD als Gegenvorschlag von Toshiba
- 1995:** Einigung auf den gemeinsamen Standard der DVD
- 1996:** Einführung der DVD und zugehörigen Abspielgeräte
- 1999:** Erste DVD-Brenner im Handel erhältlich

25/32

Mitte der 1990er Jahre konnte sich die Compact-Disc als Massenspeicher-Medium bei Computern durchsetzen. Dadurch wuchsen nicht nur die Anwendungsfelder, sondern auch die Bedürfnisse der Verbraucher und der Unterhaltungsindustrie. Gewünscht wurden größerer Kapazitäten, mit denen Videos ähnlich komfortabel gehandhabt werden konnten wie Musik- und Sprachaufnahmen. Der CD-Produzent Nimbus wagte den ersten Vorstoß 1993. Die Ingenieure der Firma hatten herausgefunden, dass Daten auf CDs erheblich dichter geschrieben werden können, wenn man die Toleranzen des Red-Book besser ausnutzt. So gelang es ihnen 1,5 Stunden MPEG 1-komprimierten Videodaten auf einer CD unterzubringen. Das hatte aber zur Folge, dass insbesondere bei älteren Playern aufgrund von Abnutzungsprozessen keine fehlerfreie Wiedergabe mehr möglich war. Ebenfalls 1993 definierten Sony, Philips und JVC die Video-CD, bei der die MPEG-1 kodierten Filme in herkömmlicher Dichte auf die CD geschrieben wurden. Nachteil dieser Lösung war aber, dass ein 90-Minuten-Film auf zwei CDs verteilt werden musste.

Mitte Dezember 1994 präsentierten Sony und Philips die Multimedia-CD, deren Kapazität mit 3,7 GB angegeben wurde. Im Januar 1995 veröffentlichte ein Firmenkonsortium um Toshiba und Time Warner die Super Density CD als Gegenvorschlag. Auf Druck der Filmindustrie, die nicht mehr, wie bei der Markteinführung der Videorekorder, mehrere Standards unterstützen wollte, einigten sich die Konkurrenten im September 1995 auf den gemeinsamen Standard der DVD.

Ein Jahr später kamen die ersten Abspielgeräte und DVD-Medien in den Handel. Zuvor mussten Unstimmigkeiten bezüglich des Verschlüsselungsverfahrens ausgeräumt werden. Zudem gelang es der Filmindustrie, mit einem Regionalcode Marktkontrolle zu gewinnen. Mit dem Code soll verhindert werden, dass zum Beispiel eine DVD aus den USA auf einem europäischen Gerät abspielbar ist. 1999 kamen die ersten DVD-Brenner in den Handel, wobei die Preise bei weit über 2.500 DM lagen.

# ***Aufbau und Funktionsweise***

# Aufbau

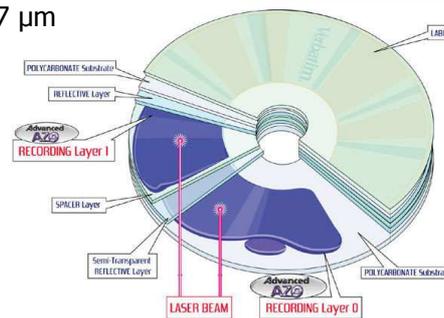
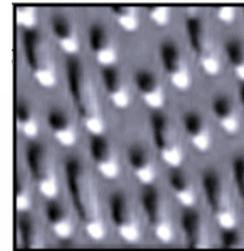
## Schichtenaufbau der DVD

- 2 Schichten des Trägermaterials
- Halbtransparente Datenschicht
- Transparente Trennschicht
- Reflektierende Datenschicht

## Maße der Pits

- Pit-Höhe:  $0,12\ \mu\text{m}$
- Minimale Pit-Länge:  $0,4\ \mu\text{m}$
- Maximale Pit-Länge:  $1,87\ \mu\text{m}$

DVD



26/32

Die Abmessungen einer DVD entsprechen denen der CD, so dass entsprechende Geräte mit beiden Medien umgehen können. Änderungen ergaben jedoch im Schichtenaufbau. DVDs bestehen aus zwei  $0,6\ \text{mm}$  starken Schichten des transparenten Trägermaterials, die Rücken an Rücken miteinander verklebt sind. Jede dieser beiden Schichten kann ein oder zwei Datenschichten aufnehmen. Bei der zweischichtigen Variante wird die erste  $0,05$  bis  $0,1\ \mu\text{m}$  starke Datenschicht von einem halbtransparenten und halbreflektierenden Material gebildet. Darauf folgt eine  $55\ \mu\text{m}$  starke transparente Schicht und dann die  $0,05$  bis  $0,1\ \mu\text{m}$  dicke zweite Datenschicht aus einem voll reflektierenden Material. Bei der einschichtigen Variante entfällt die halbtransparente Schicht und somit auch die Trennschicht zwischen den beiden Datenschichten. Die DVD besitzt keine Schutzschicht aus UV-unempfindlichem Lack ist daher anfälliger gegenüber Umwelteinflüssen. Im Handel erhältliche DVDs nutzen meistens nur eine der zwei Trägerschichten zum Speichern von Daten. Dafür ist es jedoch möglich die DVD durch einen Aufdruck zu beschriften oder grafisch zu gestalten.

Durch die Verwendung eines Laser mit der Wellenlänge von  $650\ \text{nm}$  und der Verbesserung Numerischen Apertur auf  $0,6$  ist es möglich mit dem Laserstrahl kleiner Pits abzutasten, die auf einer schmalern Spur liegen. Daher beträgt die minimale Pitlänge nur  $0,4\ \mu\text{m}$  und die maximale Pitlänge  $1,87\ \mu\text{m}$ . Die Höhe der Pits beträgt hier  $0,12\ \mu\text{m}$  und die Spurweite konnte auf  $0,74\ \mu\text{m}$  verkleinert werden.

## Aufbau

### EFMplus-Modulation

- Mischbits werden in Code eingebunden
- Nutzt 4 unterschiedliche Codiertabellen
- Nur 16 Kanalbits für 1 Byte nötig

### Aufbau der Datenframes

- Header aus 12 Byte
  - 4 Byte zur Sektoridentifikation
  - 2 Byte zur Fehlererkennung
  - 6 Byte mit Copyright Informationen
- 2048 Byte Nutzdaten
- 4 Byte zur Fehlererkennung

27/32

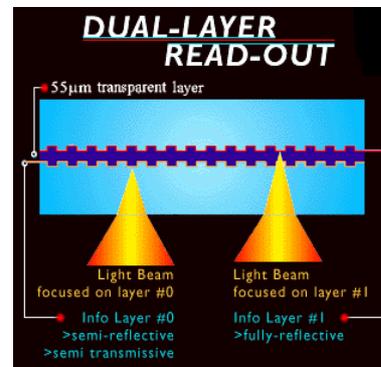
Für die Abbildung der Daten in Pits und Lands wird die EFMplus-Modulation verwendet, die auf der EF-Modulation beruht. Hier werden allerdings die Mischbits direkt in den EFMplus Code eingebunden. Weiterhin wird hier mit 4 Codiertabellen gearbeitet, die dafür sorgen, dass der Mindestabstand sowie der Höchstabstand zwischen zwei Kanalbits-Eins gewahrt bleibt. Abhängig von der Anzahl Nullen, die ein Codewort am Ende hat, wird das nächste Codewort aus der entsprechenden Codiertabelle gewählt. Das Verfahren ist also um einiges aufwendiger, hat jedoch den Vorteil, dass ein Byte mit lediglich 16 Kanalbits kodiert werden kann.

Die Datenframes der DVD besitzen eine Größe von 2064 Byte. Jeder Sektor beginnt mit einem 12 Byte großer Header. Er umfasst 4 Byte zur Sektoridentifikation. Im ersten Byte sind durch gesetzte oder nicht gesetzte Bits unter anderem die Reflektivität der Disk, welcher Spezifikation sie entspricht und welche Größe sie hat kodiert. Die restlichen 3 Byte der Sektoridentifikation enthalten die Adresse des Sektors. Daran schließen sich 2 Byte zur Fehlererkennung und 6 reservierte Byte an. Abschließend folgen 2048 Byte Nutzdaten und 4 nochmals Byte zur Fehlerkorrektur.

## Funktionsweise

### Lesen der Daten

1. Fokussierung auf untere Datenschicht
2. Lesen von innen nach außen
3. Fokussierung auf obere Datenschicht
4. Lesen von außen nach innen



28/32

Das Lesen der DVD beruht auf den gleichen Prinzipien, wie das bei der CD und unterscheidet sich nicht bei DVDs mit nur einer Datenschicht. Bei Medien mit zwei Datenschichten ist der Lesevorgang jedoch etwas komplizierter. Hier wird der Laser als erste auf tiefer liegende und voll reflektierende Schicht fokussiert und von innen nach außen gelesen. Hierbei wird quasi durch die halbtransparente Datenschicht hindurch gelesen. Am Ende der tiefer liegenden Schicht wird der Laser auf die halbtransparente Datenschicht fokussiert und diese in umgekehrter Richtung gelesen. Da dieses Umschalten keine Neupositionierung des Lesekopfes und keine Anpassung der Drehzahl erfordert, kann dieses recht schnell erfolgen. Mit einem zusätzlichen Datenpuffer kann sichergestellt werden, dass Videos nicht zu Verzögerungen kommt.

# *Vergleich der Medien*

## Vergleich der Medien

	CD	DVD	Blu-Ray
Laserwellenlänge	780 nm	650 nm	405 nm
Numerische Apertur	0,45	0,6	0,85
Fokusbereich	1,7 µm	1,3 µm	0,6 µm
Spurabstand	1,6 µm	0,74 µm	0,32 µm
Minimale Pitlänge	0,833 µm	0,4 µm	0,15 µm
Speicherdichte	0,41 Gbit/inch <sup>2</sup>	2,77 Gbit/inch <sup>2</sup>	14,73 Gbit/inch <sup>2</sup>
Speicherkapazität	650 MB	bis 8,5 GB	bis 400 GB
Kanalbits je Byte	17	16	variable
Mittlere Zugriffszeit	ca. 150 ms	ca. 160 ms	ca. 180 ms
Datenrate (1x)	1,2288 Mbit/s	11,08 Mbit/s	36 Mbit/s
Lestempo (1x)	150 kByte/s	1,35 MByte/s	5,28 MByte/s

29/32

## ***Derzeitige Entwicklungen***

## Derzeitige Entwicklungen

### Umgehung des Beugungslimit

- Nutzung eines lichtempfindlichen Film auf der Datenschicht
- Film verschattet Teile der Daten beim lesen

### Höhere Datendichte durch Holografie

- Nutzung des gesamten Volumens des Aufzeichnungsmaterials
- Holographic Versatile Disc bereits in Entwicklung

30/32

Wie sich in den letzten Jahren gezeigt hat, werden heutzutage immer wieder Medien mit größeren Kapazitäten benötigt. Die optischen Speichermedien haben hier noch einiges an Potential zu bieten, das bisher nicht ausgeschöpft wurde. So existiert bereits eine Technik, mit der kleinere Strukturen ausgelesen werden können, als wie es das von Ernst Abbe gezeigte Naturgesetz erlaubt.

Entwickler von Sharp haben eine vor wenigen Jahren von japanischen Forschern entdeckte Technik verfeinert, die derzeit es erlaubt, Bits in einem Abstand von nur 100 nm voneinander zu speichern. Das neue Speichermedium bietet daher pro Schicht eine doppelt so große Speicherkapazität wie die Blu-Ray Disk. Sharps Trick besteht darin, die Datenschicht mit einem dünnen lichtempfindlichen Film zu überziehen. Wenn der die Daten auslesende blaue Laserstrahl auf diese Schicht trifft, wird der Film im vorderen Bereich des Lichtpunkts undurchsichtig. Daher scheint nur ein Teil des Lichtflecks auf die darunter liegende Datenschicht durch, von wo er reflektiert wird, so dass ein Bit ausgelesen werden kann.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Speicherdichte ist die Holografie. Hierbei wird nicht nur die Oberfläche, sondern das gesamte Volumen des Aufzeichnungsmaterials genutzt, wodurch sehr viel mehr Informationen in demselben Volumen an Speichermedium untergebracht werden kann. Ein Medium, das diese Technologie nutzt, befindet sich aber noch in der Entwicklung, es ist die Holographic Versatile Disc. HVDs sollen eine Kapazität von bis zu 3,9 Terabyte erreichen, was etwa dem Zehnfachen der größten realisierten Blu-ray Disc entspricht.

# **Zusammenfassung**

## Zusammenfassung

### **Optischer Speicher**

- Kostengünstige Medien mit hoher Speicherdichte
- Relativ hohe Lebensdauer durch berührungsloses Schreiben/Lesen

### **Aktueller Stand**

- Vor allem von der Film-, Musik- und Spieleindustrie als ROM-Medium sowie zur Datensicherung als WORM-Medium eingesetzt
- Verhältnismäßig geringe Verbreitung als RW-Medium
- Lesegeräte sind bisher immer abwärtskompatibel

### **Zukünftige Entwicklung**

- Neue Technologien zur Erhöhung der Speicherdichte und Transferraten bereits vorhanden

# Quellen

## Quellen

### Bücher

- J. Grehn und J. Krause, „*Metzler Physik*“, 3. Auflage, 1998, Schroedel Verlag
- K. C. Pohlman, „*Principles of Digital Audio*“, 2005, McGraw-Hill Professional

### Websites

- <http://www.tecchannel.de/ueberblick/archiv/401905/>
- <http://www.tecchannel.de/ueberblick/archiv/401907/>
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Compact\\_Disc](http://de.wikipedia.org/wiki/Compact_Disc)
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Rainbow\\_Books](http://de.wikipedia.org/wiki/Rainbow_Books)
- <http://www.bognerpage.at/Technik/cdrom/inhalt.htm>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/DVD>

# *Fragen?*

## **Seminar “Speichermedien”**

- Wintersemester 2008/2009
- Arbeitsgruppe Parallele Verteilte Systeme
- Ruprecht-Karl-Universität Heidelberg

## **Betreuer**

- Olga Mordvinova
- Julian Martin Kunkel