

Optische Systeme

Martina Gerken
14.01.2008

Vortrag „Introduction to displays“ Do, 31.01.2008, 14:00 Uhr



Inhalte der Vorlesung

1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
4. Optische Materialbearbeitung
5. Optik in der Datenspeicherung
 - 5.1 Kopierer und Laserdrucker
 - 5.2 Einschub: Polarisationskontrolle
 - 5.3 CD-/DVD-Spieler
 - 5.4 Magneto-Optical Discs (MO), MiniDisc (MD)
 - 5.5 Holographische Datenspeicher
6. Mikro- und Nanooptische Systeme

Frühe Datenspeicher

- Datenspeicher werden genutzt, um Informationen unabhängig vom Menschen zu speichern und zu verteilen.



Keilschrift



Höhlenmalerei



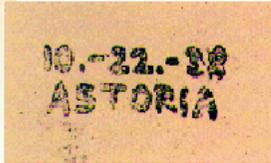
Buchdruck



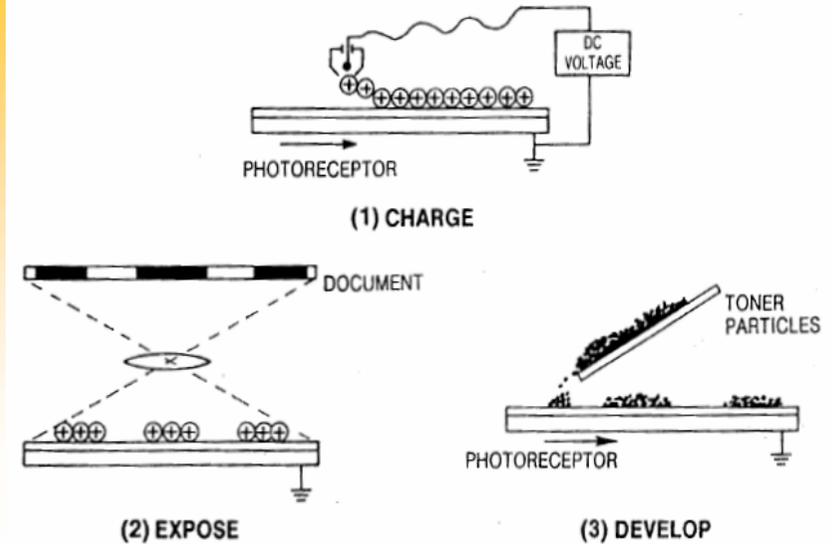
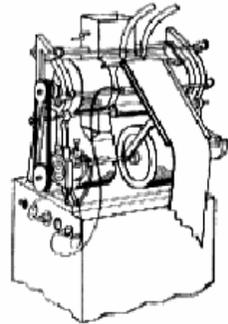
Spieluhr

- 1938: Effect was discovered by Carlson
- 1947: Technology was licensed to Haloid
- 1949: First commercial photocopier
- 1961: Company was renamed from Haloid to Xerox

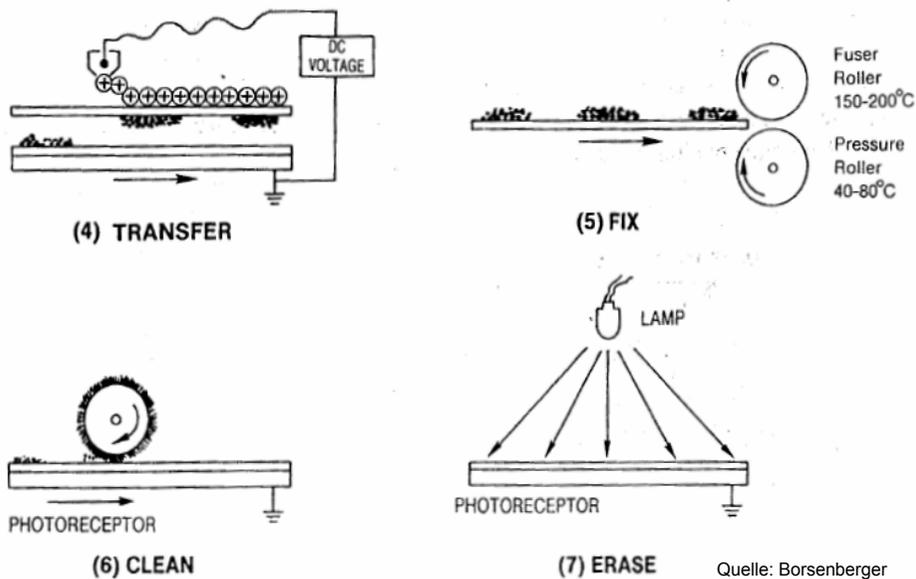
Die erste Kopie



Quelle: Xerox



Quelle: Borsenberger, „Organic Photoreceptors for Imaging Systems“



Quelle: Borsenberger

- Herzstück eines Kopierers ist die mit einem Photoleiter beschichtete Bildtrommel
- Photoleiter sollte geringe Dunkelleitfähigkeit und hohe Photoempfindlichkeit haben
- Photoleiter muss auf rundes bzw. mechanisch flexibles Substrat aufgebracht werden können
- Bis 1975 wurde hauptsächlich Selen benutzt, heute kommen organische Halbleiter zum Einsatz (siehe Vorlesung „Plastic Electronics“).



Photo courtesy of Xerox

Toner

- Toner besteht aus Pigmenten, Eisen und Harz
 - Pigmente sorgen für Farbe z.B. Ruß für schwarzen Toner
 - Eisenpartikel lassen ihn an der elektrisch geladenen Bildtrommel haften
 - Harz lässt Toner in der Fixiereinheit auf das Blatt „schmelzen“

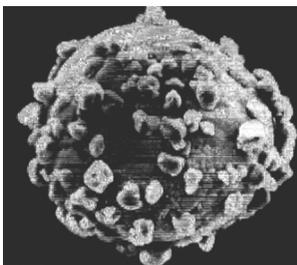
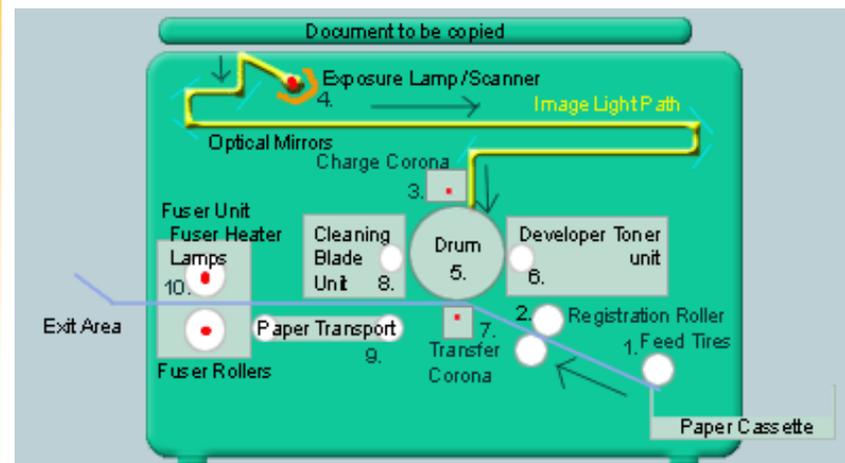


Photo courtesy of Xerox

Fotokopierer (Analoger Kopierer)

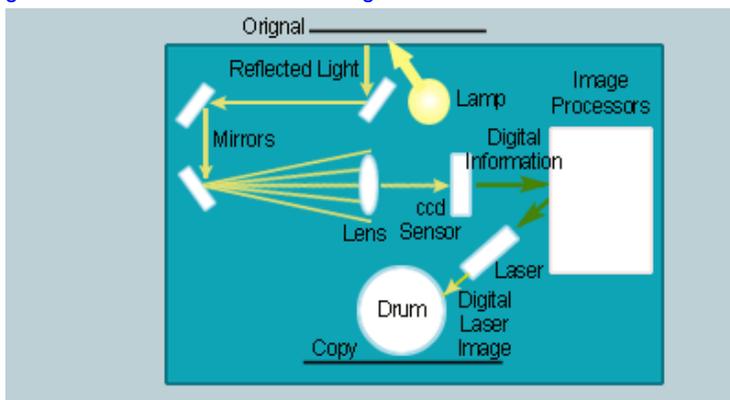
- Abbild der Vorlage wird über optisches System aus Linsen und Spiegeln auf Trommel übertragen
- Belichtung und Entwicklung müssen daher in einem Gerät sein



Quelle: www.compareindia.com/tips/photocopiers_components.htm

Digitaler Kopierer

- Digitaler Kopierer besteht aus zwei getrennten logischen Einheiten, dem Scanner und dem Druckwerk
- Vorlage mit dem Scanner digitalisiert und in einem Speicher (RAM oder auch Festplatte) zwischengespeichert
- Gespeichertes Bild elektronisch an das Druckwerk übertragen und dort in der Regel von einem Laserdruckwerk ausgedruckt



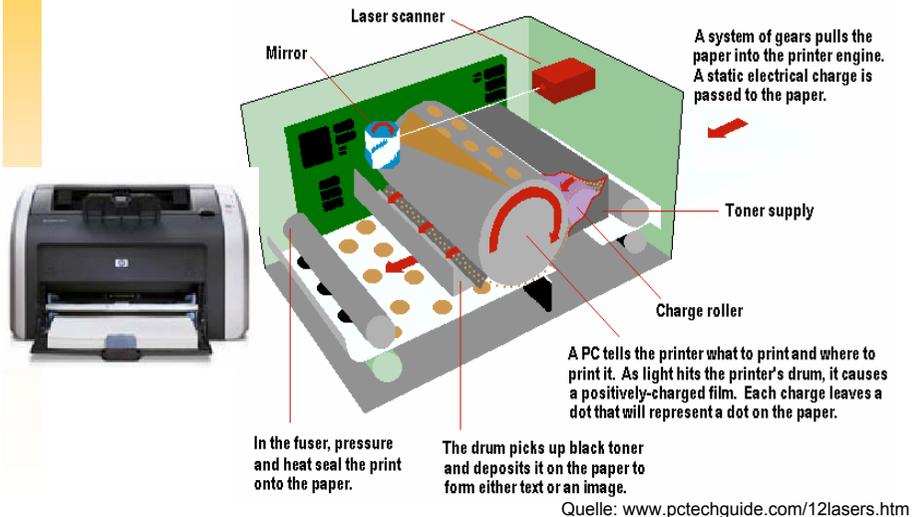
Quelle: www.compareindia.com/tips/photocopiers_components.htm

Vorteile und Nachteile des digitalen Kopierens

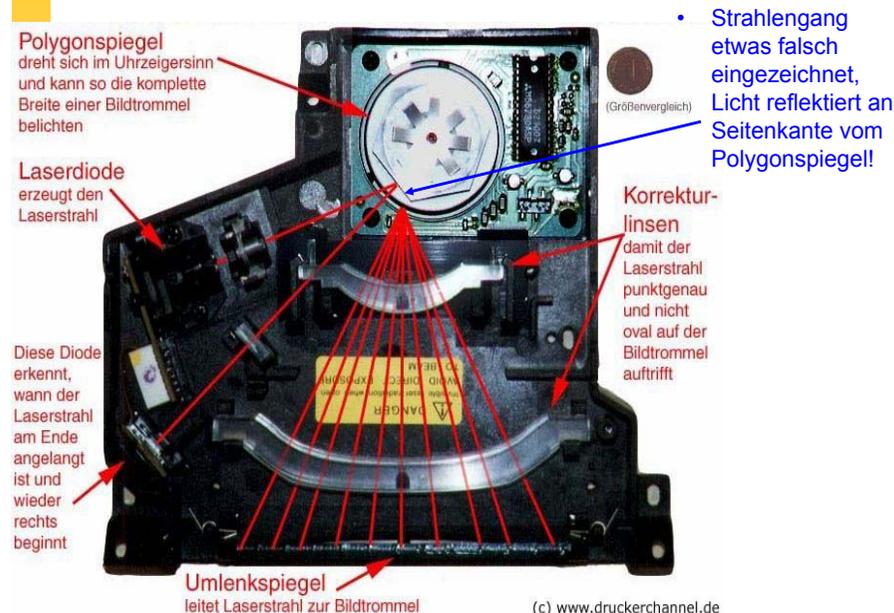
- Vorteile
 - Kompaktere und preisgünstigere Bauweise möglich
 - Seiten mehrfach kopieren ohne wiederholtes Belichten
 - Zusätzliche Funktionen wie Drucken, Faxen, Scannen
 - Möglichkeit der Zwischenbearbeitung einer Kopie im Gerät z.B. Kantenschärfung
- Nachteile
 - Neigung zum Rauschen
 - Graustufung schlechter

Laserdrucker

- Laserdrucker enthält entsprechend nur Laserdruckwerk
- Bild auf der Bildtrommel durch Belichtung mit einem Laser erzeugt (bzw. bei LED-Druckern durch eine Reihe von LEDs).



Lasereinheit eines Laserdruckers



Farblaserdrucker

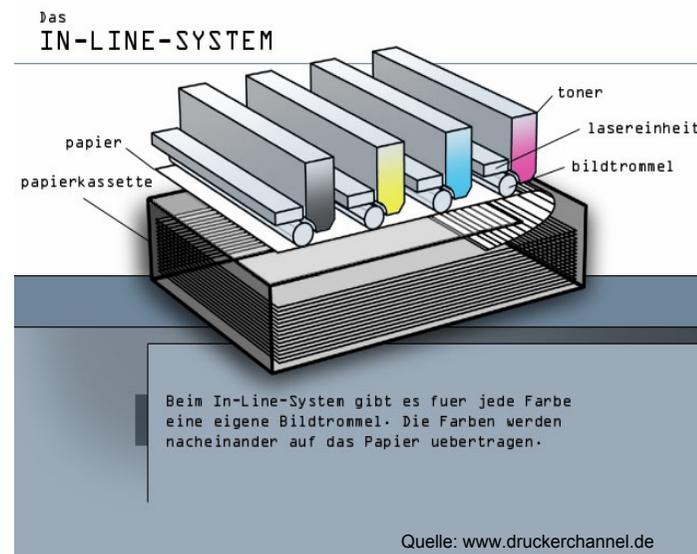
- Für jede Farbe (Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz) ist im Drucker ein eigener Tonerbehälter notwendig.
- Laserstrahl belichtet die Bildtrommel oder das Transferband viermal pro Druck - für jede Farbe einmal.



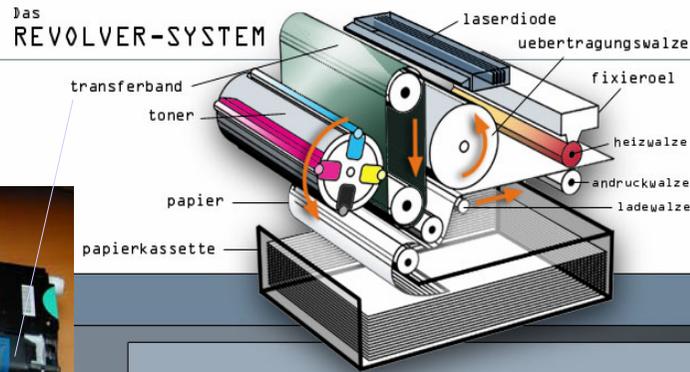
Quelle: www.druckerchannel.de

Farblaserdrucker: Inline-Technik

- Inline-Technik: Der Vorteil ist das hohe Farbdrucktempo.



- Revolver-Technik: Kompakte Bauweise, dafür langsam und relativ laut.



Im Gegensatz zum In-Line-System benoetigt die Revolver-Technik lediglich eine Lasereinheit. Der Toner wird von der Bildtrommel aufgenommen und vom Transferband uebertragen. Bei einigen Druckern ersetzt das Transferband die Bildtrommel. Befindet sich die komplette Seite auf dem Transferband, findet der Druck auf das Papier statt.

Quelle: www.druckerchannel.de

- Fixiereinheit: Am Schluss muss das Papier durch diese zwei Walzen: Hitze und Druck fixieren den Toner ins Papier.
 - Eine der beiden teflonbeschichteten Walzen heizt der Drucker auf rund 200 Grad Celsius.
 - Die andere Walze sorgt für den nötigen Gegendruck.
 - Durch die Hitze und den Druck werden die Tonerpartikel geschmolzen und auf dem Papier fixiert.
- An dem Papierauswurf kann man feine Härchen erkennen, die über das Papier streichen. Sie sorgen dafür, dass sich das noch aufgeladene Papier wieder neutralisiert. Die Blätter würden ansonsten aneinander haften.



Quelle: www.druckerchannel.de

1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
4. Optische Materialbearbeitung
5. Optik in der Datenspeicherung
 - 5.1 Kopierer und Laserdrucker
 - 5.2 **Einschub: Polarisationskontrolle**
 - 5.3 CD-/DVD-Spieler
 - 5.4 Magneto-Optical Discs (MO), MiniDisc (MD)
 - 5.5 Holographische Datenspeicher
6. Mikro- und Nanooptische Systeme

Die Polarisation einer elektromagnetischen Welle ist die Richtung ihres elektrischen Feldvektors.

Lineare Polarisation: Die Richtung des E-Feld-Vektors ist konstant.

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 \exp[j(\omega t - kz)]$$

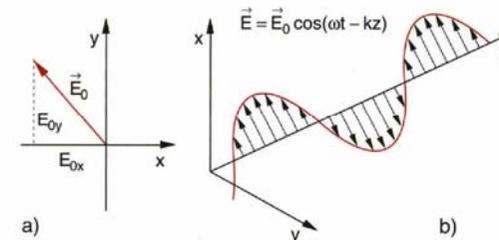
mit

$$\mathbf{E}_0 = E_{0x} \mathbf{e}_x + E_{0y} \mathbf{e}_y$$

$$E_x(z, t) = E_{0x} \exp[j(\omega t - kz)]$$

$$E_y(z, t) = E_{0y} \exp[j(\omega t - kz)]$$

schwingen in Phase



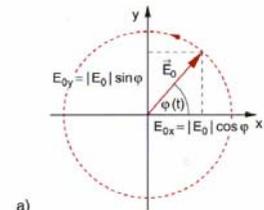
Quelle für zahlreiche Bilder: PD G. Pietsch, Uni Halle



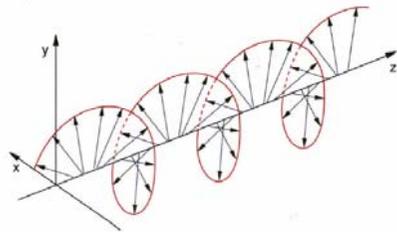
Polarisation: Zirkulare und elliptische Polarisation

Die Polarisation einer elektromagnetischen Welle ist die Richtung ihres elektrischen Feldvektors.

Zirkulare Polarisation: Der E-Feld-Vektor rotiert mit Kreisfrequenz ω .



a)



b)

Elliptische Polarisation

$E_{0x} \neq E_{0y}$ oder
Phasenunterschied $\neq 90^\circ$

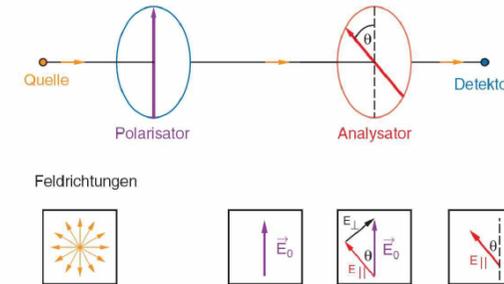
Im Allgemeinen (z.B. Sonne, Glühlampe) ist Licht unpolarisiert, da es aus sehr vielen überlagerten elektromagnetischen Wellen mit statistischer Polarisation besteht. Ausnahmen: z.B. Laser, gefiltertes Licht



Gesetz von Malus

Idealer Polarisator:

Element, das lineare Polarisation aus unpolarisiertem Licht auswählt, dabei die gewünschte Komponente nicht abschwächt, die unerwünschte dagegen vollständig aus dem transmittierten Licht entfernt



Am Analysator gilt: $\vec{E}_0 = \vec{E}_{0\parallel} + \vec{E}_{0\perp} = |E_0| \cdot \vec{e}_{\parallel} \cos \theta + |E_0| \cdot \vec{e}_{\perp} \sin \theta$

Nur parallele Komponente wird transmittiert: $I(\theta) = I_0 \cos^2 \theta$ **Gesetz von Malus**



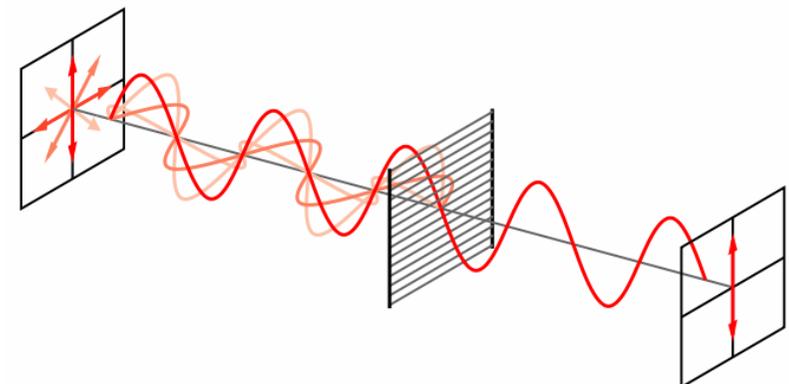
Aufgaben

- Unpolarisiertes Licht fällt auf einen idealen Polarisator. Wie hoch ist die Intensität hinter dem Polarisator?
- Zwischen zwei gekreuzte Polarisatoren wird ein dritter Polarisator gestellt. Was passiert mit der Intensität in Abhängigkeit vom Winkel des dritten Polarisators?
- Mit Hilfe der Polarimetrie werden Proben analysiert, die optische Aktivität zeigen, d.h. die die Polarisationsebene des durchtretenden Lichtes drehen. Schlagen Sie einen Aufbau zur Bestimmung der Konzentrationen von gelösten Zuckern (z.B. im Urin) vor (Saccharimetrie)!



Polarisation durch Absorption: Gitterpolarisator

- Gitterpolarisator
 - EM-Welle induziert Bewegung von Elektronen entlang Draht mit Absorptionsverlusten.
 - Effizienter Polarisator, wenn Draht wesentlich dünner als Wellenlänge und Abstand der Drähte kleiner als Wellenlänge
 - Geeignet für Mikrowellen bis mittleren Infrarotbereich





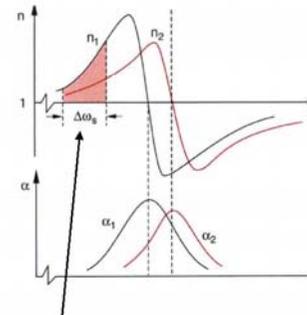
Polarisation durch Absorption: Polarisationsfolie

- PVA-Folie (Polyvinylalkohol), bei der während der Herstellung durch Zug die Polymerketten ausgerichtet werden. Absorption durch Jod-Dotierung.
 - Elektronen bewegen sich entlang ausgerichteter Ketten und Licht wird absorbiert ähnlich wie im Gitterpolarisator.
 - Licht senkrecht zu Polymerketten wird transmittiert.
 - Z.B. Polaroid® Folie
- Eingesetzt z.B. in Sonnenbrillen, Fotografie-Filtern und Flüssigkristalldisplays
 - Wesentlich billiger als andere Polarisatorkonzepte
 - Wirkungsgrad nicht so hoch



Polarisation durch Absorption: Dichroismus

In einem optisch anisotropen Medium hängt der Brechungsindex von der Ausbreitungsrichtung und der Polarisationsrichtung der elektromagnetischen Welle ab. Ursache ist im Normalfall die „fehlende“ Symmetrie der Kristallstruktur.



Realteil von n (Dispersion)
=> Doppelbrechung

Imaginärteil von n (Absorption)
=> Dichroismus

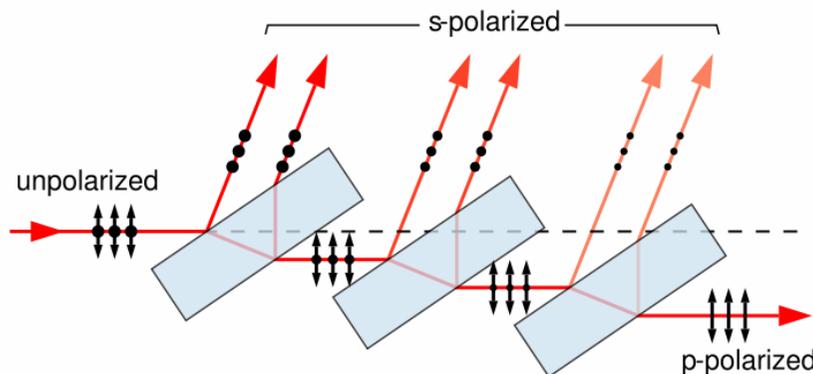
Sichtbares Licht

- Dichroismus führt ebenfalls zu einer Polarisation durch Absorption



Polarisation durch Reflexion

- Bei Lichteinfall unter dem Brewster-Winkel wird nur s-polarisiertes Licht reflektiert, d.h. reflektiertes Licht ist polarisiert.
- Durch Folge von transparenten Platten kann auch transmittierter Strahl polarisiert werden.
 - Größere Einfallswinkel sind hier günstiger als der Brewster-Winkel
- Speziell entworfene Dünnschichtfilter bieten ebenfalls gute Wirkungsgrade



Quelle: <http://en.wikipedia.org>



Anisotrope Materialien

Ausbreitungsrichtung der Welle und Energiefflussrichtung sind in anisotropen Kristallen im allgemeinen unterschiedlich !

Dielektrizitätskonstante => Dielektrizitätstensor

$$\vec{D} = \epsilon_0 \tilde{\epsilon} \vec{E} \quad \text{oder} \quad D_i = \epsilon_0 \sum_{k=1}^3 \epsilon_{ik} E_k \quad \tilde{\epsilon} = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix}$$

Hauptachsenform: $D_i = \epsilon_0 \epsilon_i E_i$

$$\tilde{\epsilon} = \begin{pmatrix} \epsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_3 \end{pmatrix}$$

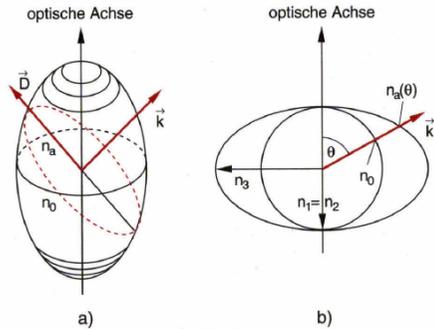
- (1) optische isotrope Medien: alle $\epsilon_1 = \epsilon$ (z.B. Flüssigkeiten, Gläser, kubische Kristalle)
- (2) optisch einachsige Kristalle: $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_{\perp}$; $\epsilon_3 = \epsilon_{\parallel}$ (z.B. Kristalle mit hexagonaler, tetragonaler oder rhomboedrischer Symmetrie) => es kann optische Achse definiert werden (hier z-Achse)
- (3) optisch zweiachsige Kristalle: $\epsilon_1 \neq \epsilon_2 \neq \epsilon_3$. (Kristalle geringerer Symmetrie)

Brechungsindex-Ellipsoid:

In anisotropen Medien hängt der Brechungsindex, den eine Welle erfährt, von der Richtung des Vektors D ab; im Hauptachsensystem ergibt sich das so genannte Indexellipsoid für einen Vektor (n_x, n_y, n_z)

$$\frac{n_x^2}{n_1^2} + \frac{n_y^2}{n_2^2} + \frac{n_z^2}{n_3^2} = 1$$

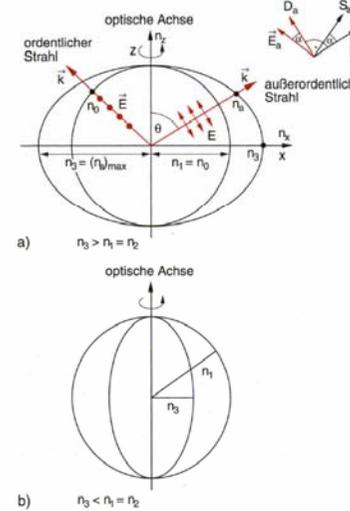
⇒ *Einachsige Kristalle:*



- Bei Ausbreitung entlang der optischen Achse (d.h. $D \perp$ opt. Achse) gleicher Brechungsindex für jede Polarisation ⇒ „ordentlicher“ Brechungsindex n_o
- senkrecht zur opt. Achse ($D \parallel$ opt. Achse) breitet sich Licht mit dem „außerordentlichen“ Brechungsindex n_a aus

alle anderen Orientierungen: $n_a(\theta)$

$$\frac{1}{n_a(\theta)^2} = \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_a^2}$$

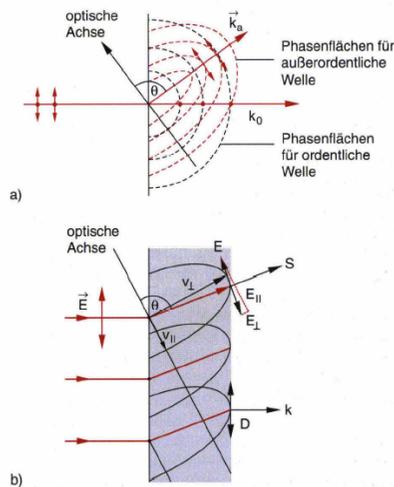
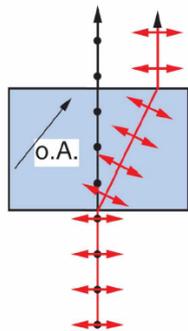


positive Doppelbrechung $n_a > n_o$
negative Doppelbrechung $n_a < n_o$

Tabelle 8.1: Brechungsindizes einiger einachsiger, doppelbrechender Kristalle bei $\lambda_0 = 589,3$ nm.

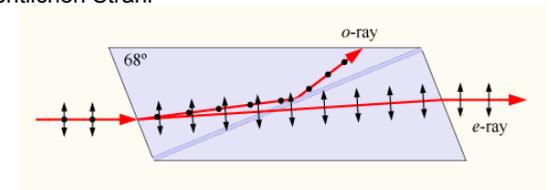
Kristall	n_o	n_e
Turmalin	1,669	1,638
Calcit (CaCO_3)	1,6584	1,4864
Quarz	1,5443	1,5534
Natriumnitrat	1,5854	1,3369
Wassereis	1,309	1,313
Rutil (TiO_2)	2,616	2,903

Doppelbrechung ⇔ ein unpolarisierter Lichtstrahl wird beim Durchgang durch einen einachsigen Kristall in zwei zueinander orthogonal polarisierte Strahlen (ordentlicher und außerordentlicher) aufgespalten; für den außerordentlichen Strahl gilt das Brechungsgesetz nicht!

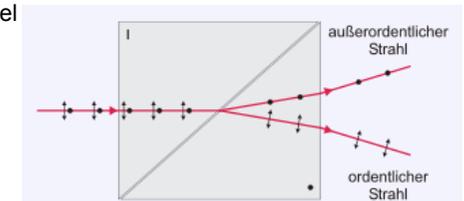


Polarisation durch Doppelbrechung

- **Nicol'sches Prisma**
 - Totalreflexion für ordentlichen Strahl

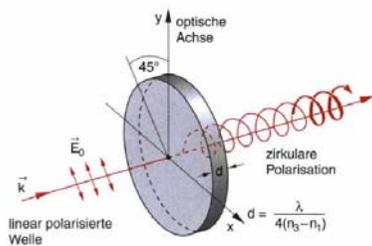


- **Wollaston Prisma**
 - 15° bis 45° Divergenzwinkel



- Viele andere polarisierende Prismentypen existieren mit unterschiedlichen Öffnungswinkeln und Strahlaustrittspositionen

Zirkularpolarisator bzw. λ/4-Platte:
Erzeugung von zirkular polarisiertem Licht

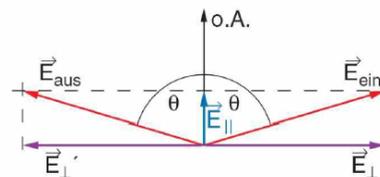


Eingangspolarisation linear, $\alpha=45^\circ$,
Platte bewirkt Phasenverschiebung $\Delta\varphi$ zwischen E_x und E_y :

$$\Delta\varphi = k_o d - k_e d = \frac{2\pi d}{\lambda_0} (n_o - n_e)$$

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} \Leftrightarrow d \cdot (n_o - n_e) = \frac{\lambda_0}{4}$$

Polarisationsdreher bzw. λ/2-Platte:
Drehung der Schwingungsebene linear polarisierten Lichtes



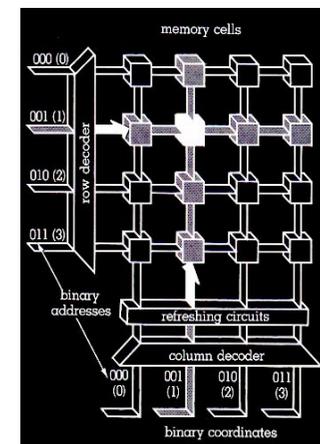
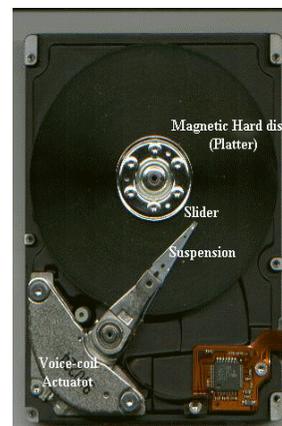
Eingangspolarisation linear unter Winkel θ zur opt. Achse; Platte bewirkt Phasenverschiebung $\Delta\varphi$.

$$\Delta\varphi = \pi \Leftrightarrow d \cdot (n_o - n_e) = \frac{\lambda_0}{2}$$

$$E_{\perp}' = -E \sin \theta; \quad E_{\perp} = E \sin \theta \Rightarrow \text{Polarisationsebene um } 2\theta \text{ gedreht!}$$

1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
4. Optische Materialbearbeitung
5. Optik in der Datenspeicherung
 - 5.1 Kopierer und Laserdrucker
 - 5.2 Einschub: Polarisationskontrolle
 - 5.3 CD-/DVD-Spieler
 - 5.4 Magneto-Optical Discs (MO), MiniDisc (MD)
 - 5.5 Holographische Datenspeicher
6. Mikro- und Nanooptische Systeme

- **Massenspeicher:** Speichermedium und Zugriffseinheit getrennt
- **„random-access“-Speichersysteme:** Speichereinheit und Zugriffseinheit miteinander verbunden



Klassifizierung von Datenspeichern II

Massenspeicher

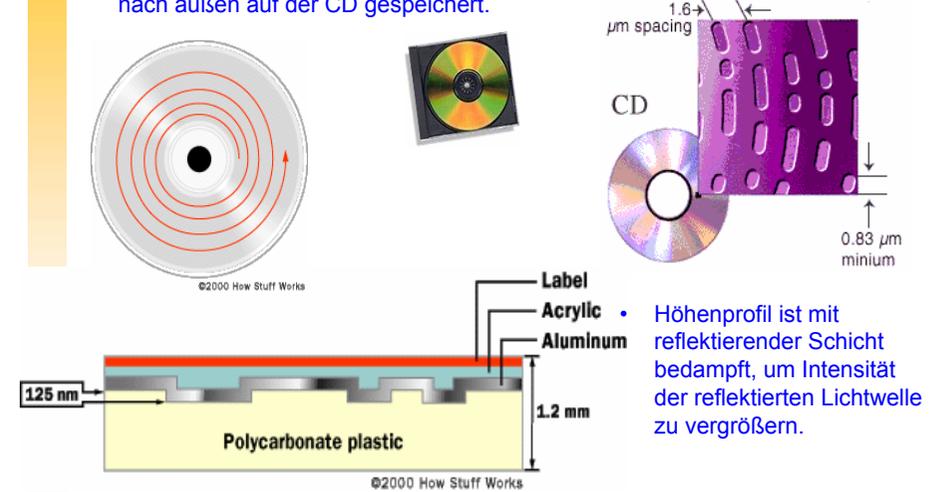
„random-access“-Speichersysteme

- Eine oder mehrere Zugriffseinheiten und die Information befindet sich auf einem oder mehreren Speichermedien.
- Datenzugriff durch Positionierung des Schreib/Lesekopfes bzw. des Speichermediums.
- Datenaustausch über verschiedene physikalische Wechselwirkungen möglich: mechanisch, optisch, magnetische Felder, elektrische Felder.
- Zugriffszeiten für HDD wenige Millisekunden, für CD/DVD/MO ca. 100 Millisekunden.
- Zugriff über Matrix von Leiterbahnen. Speichermedien an den Knotenpunkten der Matrix angeordnet.
- Die Information kann durch Adressierung von Spalte und Zeile in beliebiger Reihenfolge geschrieben und gelesen werden.
- Elektronischer Datenaustausch.
- Zugriffszeiten von wenigen Nanosekunden.

Quelle: Waser, „Nanoelectronics and Information Technology“

Wie sind Daten auf einer CD gespeichert?

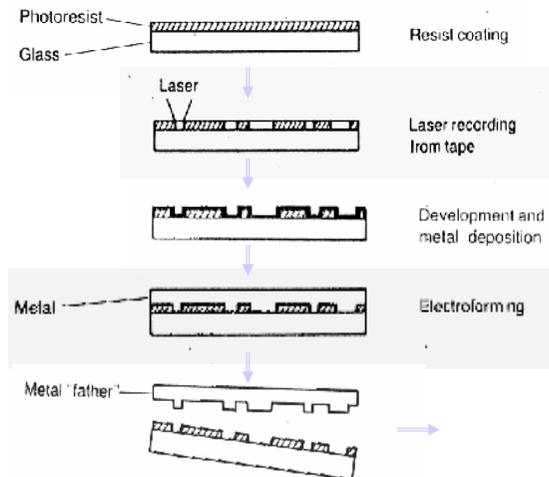
- Die digitalen Daten werden spiralförmig in einer kontinuierlichen Spur von innen nach außen auf der CD gespeichert.
- Daten sind auf CD als Bits in Vertiefungen abgelegt.



Quellen: www.howstuffworks.com; www.physics.udel.edu/wwwusers/watson/scen103/less-cd.html

Herstellung einer CD I

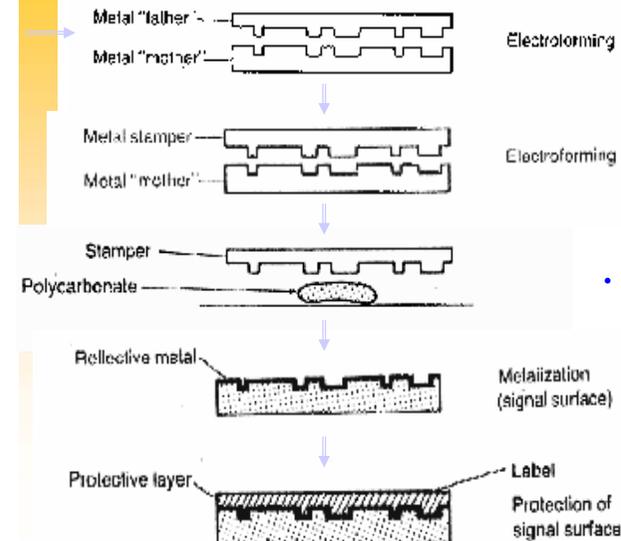
- Zunächst wird Glas-Master durch Belichten von Photolack hergestellt.
- Durch Galvanisieren (elektrochemischer Prozess) werden 3-6 Abformungen vom Master gemacht.



Quelle: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm

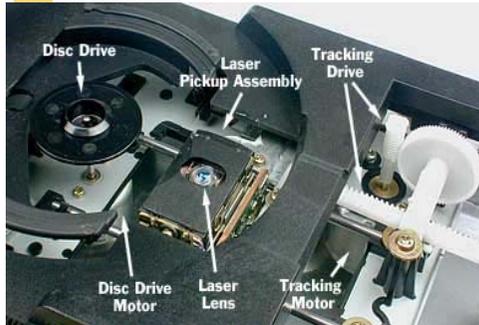
Herstellung einer CD II

- Nach zwei weiteren galvanischen Abformungen benutzt man Metall-Stamper („Sons“), um die eigentlichen CDs im preiswerten Spritzgussverfahren aus Polycarbonat (1.2 mm) herzustellen.
- Zum Schluss wird die Oberfläche metallisiert (Ag, Al, Au, Cu 50-100 nm), ein Schutzlack (1-30 μm) und ein Etikett werden aufgebracht.

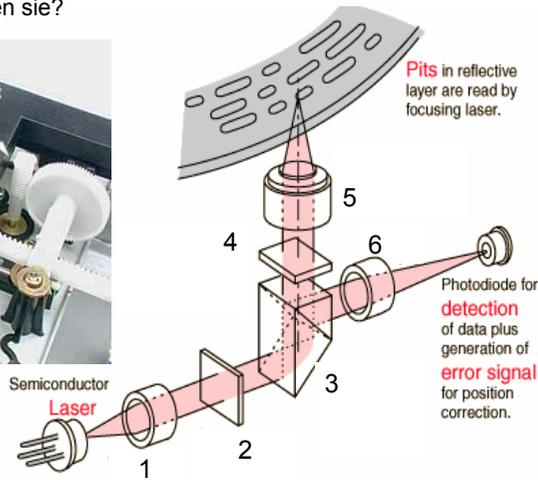


Quelle: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm

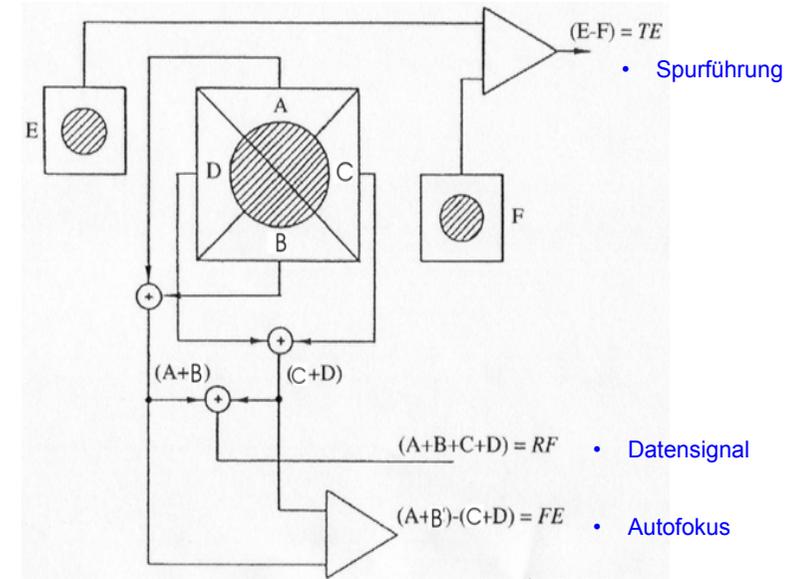
- Wie funktioniert ein CD-Spieler?
 - Was sind die Komponenten 1 bis 6?
 - Welche Funktion haben sie?



www.howstuffworks.com

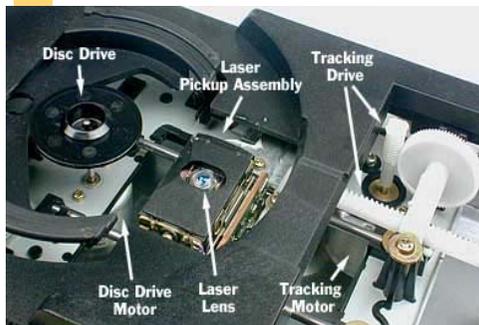


Quelle: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/cdplay.html

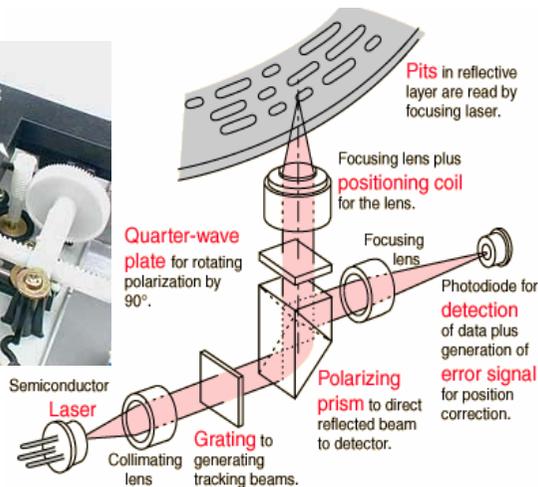


Quelle: Imlau

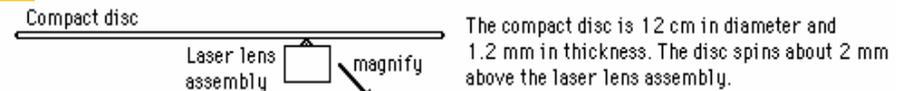
- Optischer Strahlengang besteht aus Laserdiode, Gitter, Polarisationsstrahlteiler, $\lambda/4$ -Wellenplatte, verschiedenen Linsen und Photodetektor.



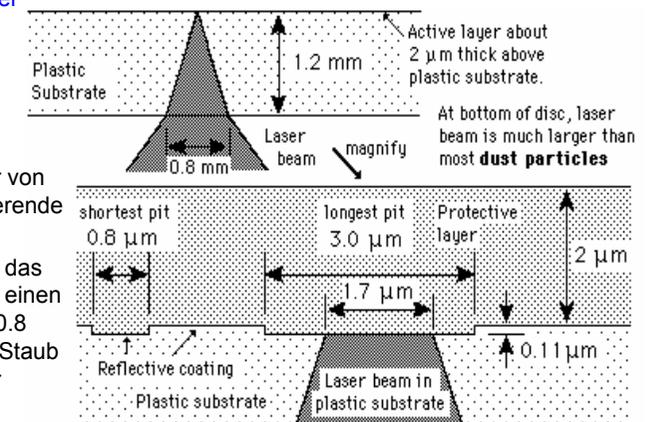
www.howstuffworks.com



Quelle: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/cdplay.html



- Daten werden von Laser (780 nm) durch Polycarbonat-Substrat ausgelesen.

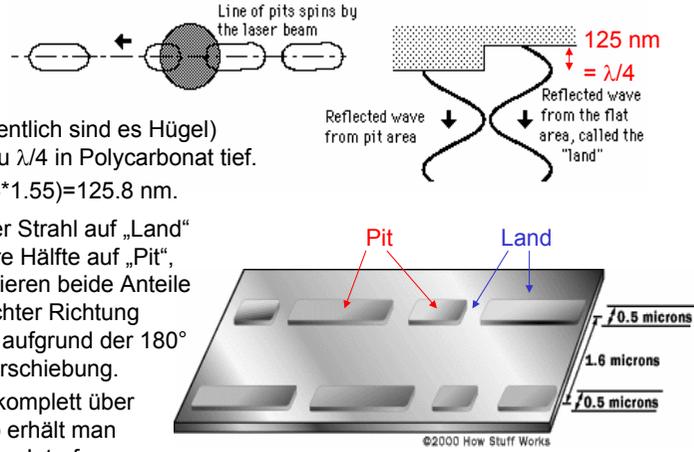


- Laser ist mit Strahldurchmesser von 1.7 μm auf reflektierende Schicht fokussiert.
- Auf Eintrittsseite in das Substrat hat Strahl einen Durchmesser von 0.8 mm. Daher haben Staub oder kleine Kratzer keinen Einfluss.

Quelle: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/cdplay3.html

Auslesen der Daten II

- Da alle Bereiche der CD metallisiert, ist reflektierte Intensität an jedem Punkt gleich.
- Signal entsteht durch konstruktive bzw. destruktive Interferenz.

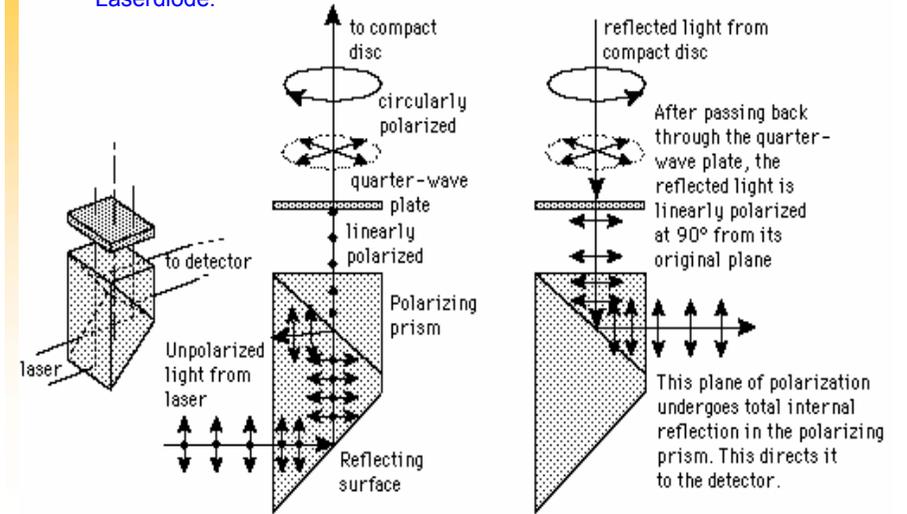


- „Pits“ (eigentlich sind es Hügel) sind genau $\lambda/4$ in Polycarbonat tief.
- $780 \text{ nm} / (4 * 1.55) = 125.8 \text{ nm}$.
- Fällt halber Strahl auf „Land“ und andere Hälfte auf „Pit“, so interferieren beide Anteile in senkrechter Richtung destruktiv aufgrund der 180° Phasenverschiebung.
- Ist Strahl komplett über „Land“, so erhält man konstruktive Interferenz.

Quelle: www.howstuffworks.com; hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/cdplay3.html

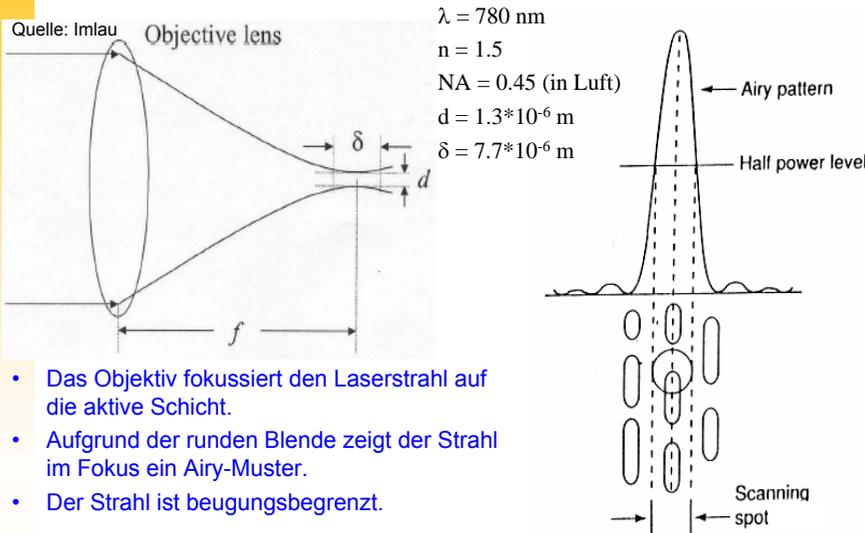
Funktionsweise des Polarisationsstrahlteilers

- Polarisationsstrahlteiler zusammen mit $\lambda/4$ -Wellenplatte bewirkt, dass das von der CD reflektierte Licht auf den Detektor fällt und nicht zurück in die Laserdiode.



Quelle: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html

Fokussierung des Laserstrahls I

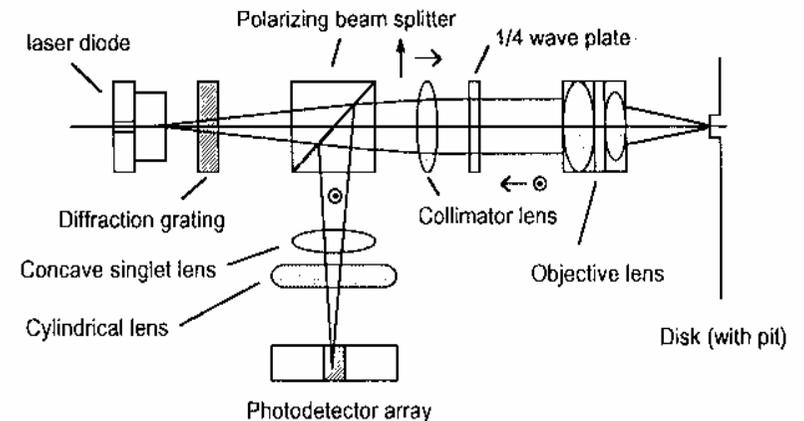


- Das Objektiv fokussiert den Laserstrahl auf die aktive Schicht.
- Aufgrund der runden Blende zeigt der Strahl im Fokus ein Airy-Muster.
- Der Strahl ist beugungsbegrenzt.

Quelle: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm

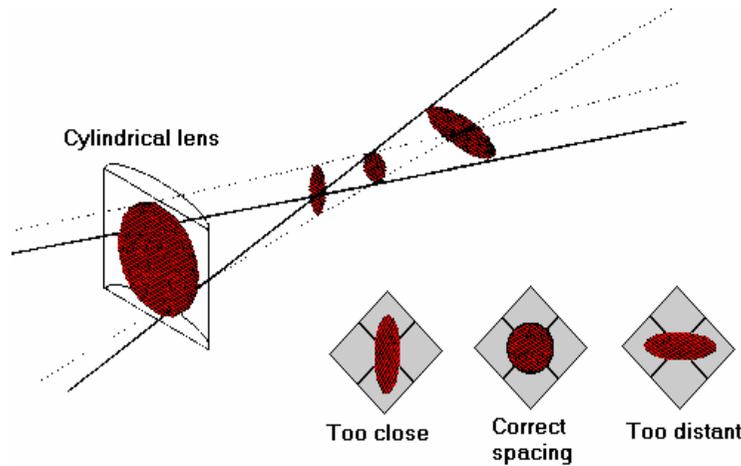
Fokussierung des Laserstrahls II

- Da die Planarität einer CD ca. $50 \mu\text{m}$ ist und der „Wobble“ ca. $100 \mu\text{m}$ beträgt, muss kontinuierlich nachfokussiert werden, um ein Übersprechen zu verhindern.
- Die Fokussierung findet mit Hilfe einer astigmatischen Linse statt (Kombination runde Objektivlinse und Zylinderlinse vor dem Detektor).

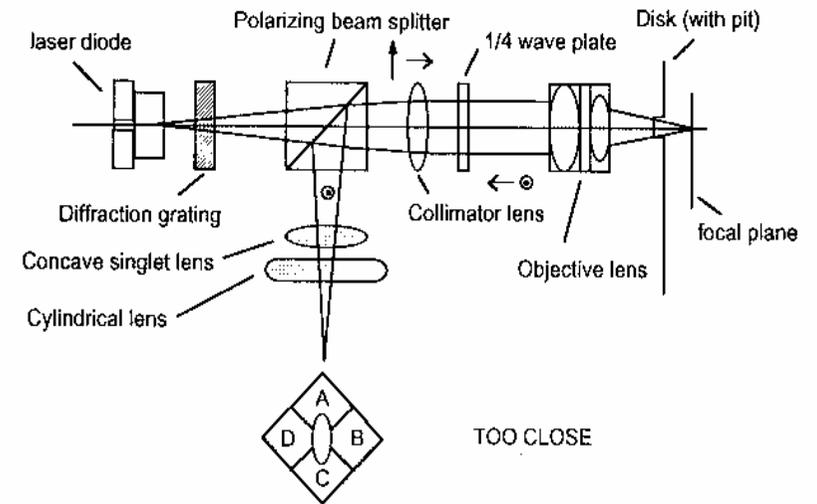


Quelle: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm

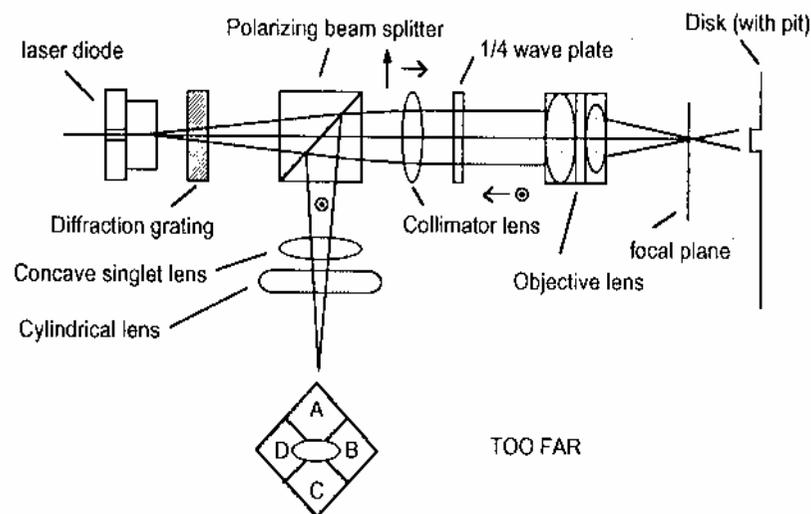
- Astigmatischen Linsenkombination hat nur an einer Stelle eine runde Strahlform.
- Ein Quadrantendetektor wird benutzt, um die Strahlform zu analysieren.



Quelle: www.physics.udel.edu/%7Ewatson/scen103/cd-astig.html

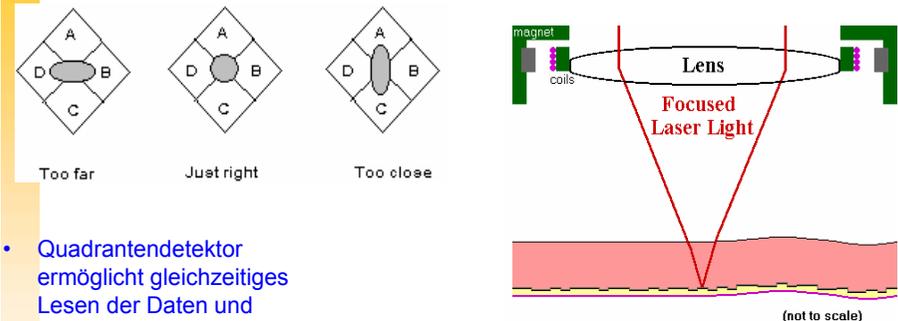


Quelle: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm

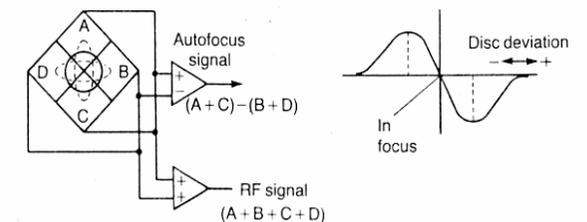


Quelle: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm

Quelle: www.physics.udel.edu/wwwusers/watson/scen103/less-cd.html

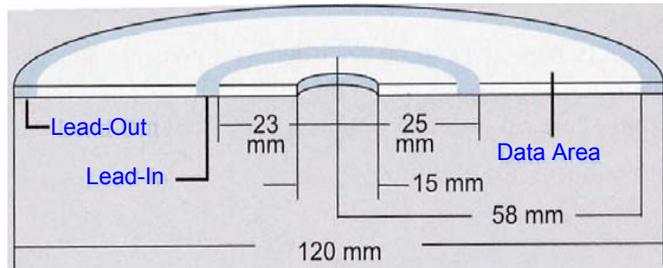


- Quadrantendetektor ermöglicht gleichzeitiges Lesen der Daten und Generation des Autofokus-Signals.
- Objektivlinse wird mit Hilfe einer Schwingspule schnell und präzise nachjustiert.



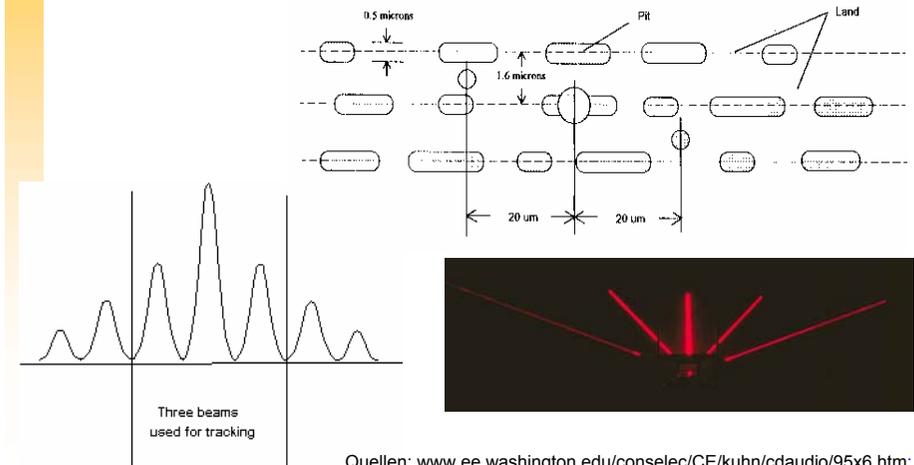
Quelle: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm

- Die Daten auf einer CD werden mit einer konstanten linearen Geschwindigkeit von 1.3 m/s gelesen.
- Da die lineare Geschwindigkeit konstant ist, wird die Winkelgeschwindigkeit von 500 UPM innen auf 200 UPM außen verringert.



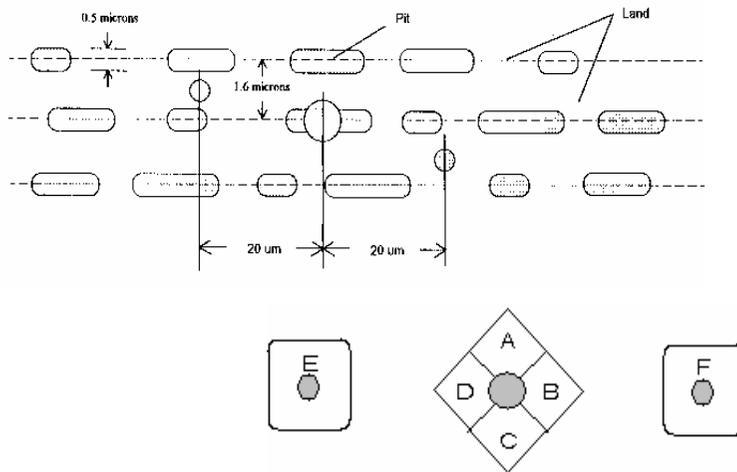
Quelle: Waser: „Nanoelectronics and Information Technology“

- Beim Lesen der CD muss der optische Kopf auf der spiralförmigen Spur gehalten werden. Dies geschieht mit Hilfe der „Drei-Punkt-Spurführung“.
- Das Gitter erzeugt neben dem Hauptstrahl Seitenspots.



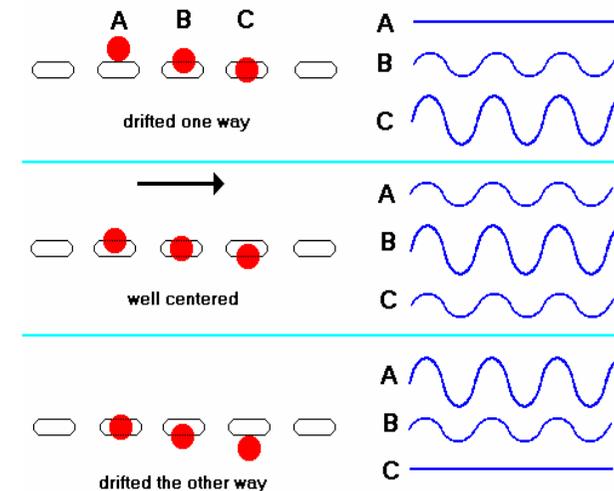
Quellen: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm; hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/phopic/gratinghene2.jpg

- Die Seitenspots fallen zwischen die Datentracks und werden mit zwei weiteren Detektoren gemessen.



Quelle: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm

- Wenn die Signalintensität beider Seitenspots gleich ist, wird die Spur korrekt eingehalten.
- Die Spurführung erfolgt mit Servomotoren.



Quelle: www.physics.udel.edu/%7Ewatson/scen103/cd-tracking.html

- Die Datendichte ist gegeben durch:

$$D_{2D} = \frac{\#bits}{Fläche}$$

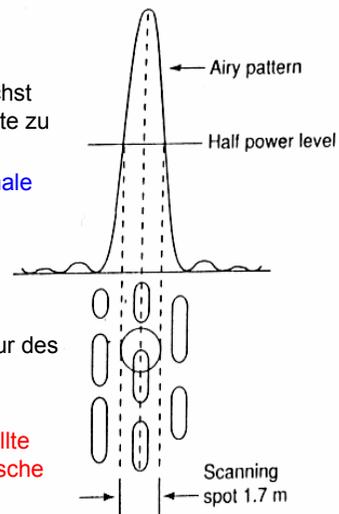
- Das heißt, man möchte die bits möglichst klein wählen, um eine hohe Datendichte zu erhalten.

- Das Auflösungsvermögen bestimmt minimale Größe der bits:

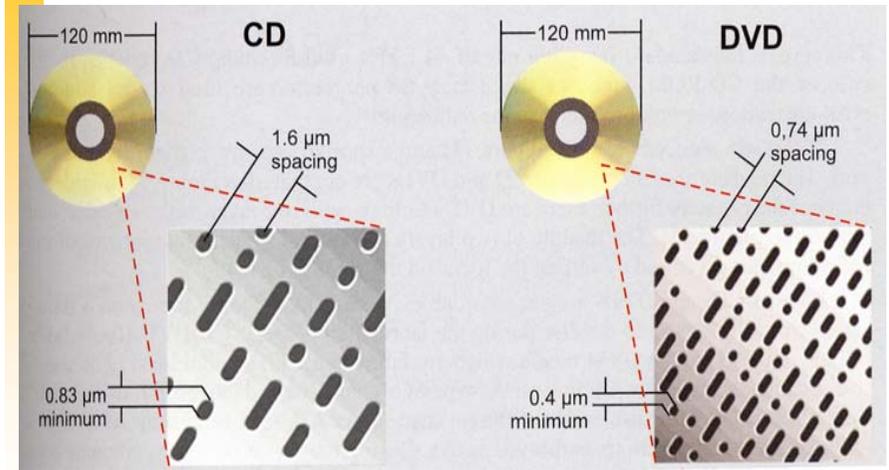
$$y_{min} = 1.22 \frac{\lambda}{2n \sin \alpha}$$

- $n \cdot \sin(\alpha) = NA$ ist die Numerische Apertur des Objektivs ($n=1$, da Objektiv in Luft).

- Um eine hohe Datendichte zu erhalten, sollte also die Wellenlänge klein und die numerische Apertur groß gewählt werden!

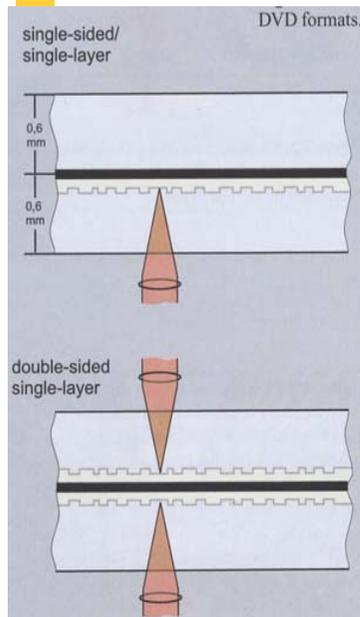


Quelle: www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio/95x6.htm

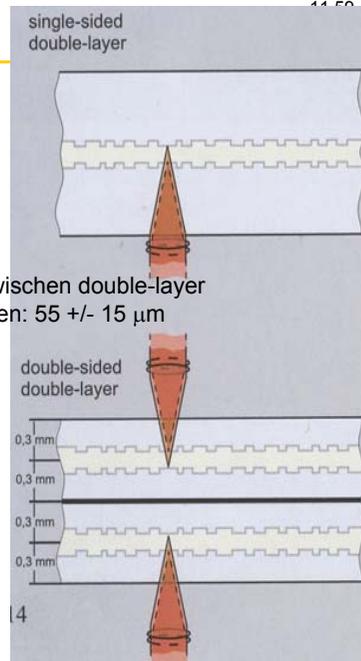


- Bei DVDs wird durch eine kleinere Wellenlänge, eine größere numerische Apertur und eine größere Anzahl an Schichten eine höhere Datendichte erzielt.

Quelle: Waser: „Nanoelectronics and Information Technology“



Abstand zwischen double-layer Schichten: 55 +/- 15 µm



Quelle: Waser: „Nanoelectronics and Information Technology“

	CD	DVD
Diameter	120 mm	120 mm
Thickness	1.2 mm	2 x 0.6 mm or 4 x 0.3 mm joint layers
Track distance	1.6 µm	0.74 µm
Width of pits	0.83 µm	0.40 µm
Laser wavelength	780 nm	650/635 nm
Data layers / sides	1/1	1/1 ≙ 4.7 GB
Capacity	≙ 680 MB	2/1 ≙ 8.5 GB
		1/2 ≙ 9.4 GB
		2/2 ≙ 17 GB
NA	0.45	0.6

Quelle: Waser: „Nanoelectronics and Information Technology“

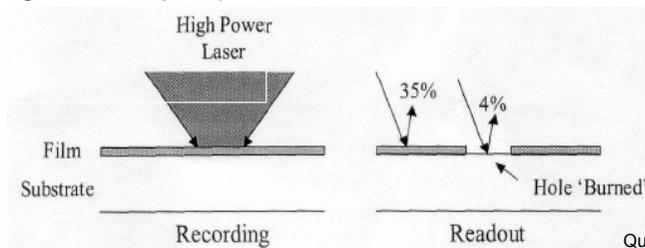
- CD und DVD benutzen eine optische Datenausleseeinheit. Die Datendichte ist durch das Auflösungsvermögen der optischen Einheit bestimmt.
- Höhere Datendichten erreicht man durch kürzere Wellenlängen und eine größere numerische Apertur (NA).

CD	DVD	Blu-Ray
<p>$\lambda = 780 \text{ nm}$ NA = 0.45 0.65 GBytes 1.2 mm substrate</p>	<p>$\lambda = 650 \text{ nm}$ NA = 0.6 4.7 GBytes 0.6 mm substrate</p>	<p>$\lambda = 405 \text{ nm}$ NA = 0.85 25 GBytes 0.1 mm cover / 1.1 mm substrate</p>
<p>1.6 µm</p>	<p>0.74 µm</p>	<p>0.20 µm</p>

© Philips Research

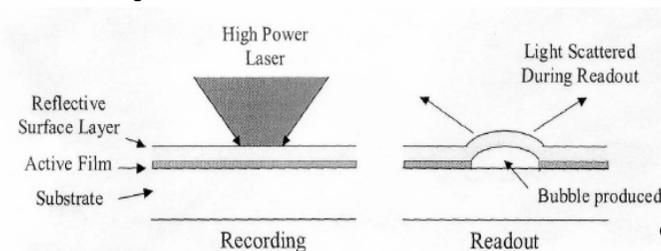
- Man unterscheidet die folgenden Kategorien je nach Schreibbarkeit:
 - Vorgeschriebene CDs und DVDs, können nur gelesen werden
 - WORM (write once read many): können einmal beschrieben werden z.B. CD-R
 - R/W (read/write): können (beliebig) gelesen und beschrieben werden
- Wichtigstes Kriterium: die schreibbaren CDs und DVDs sollen mit konventionellen CD- bzw. DVD-Spielern lesbar sein.
 - Es müssen sich also wie bei konventionellen Disks die Reflektionseigenschaften ändern.

a) Brennen von Löchern in dünne Metallschicht (z.B. Tellurium wegen niedrigem Schmelzpunkt)



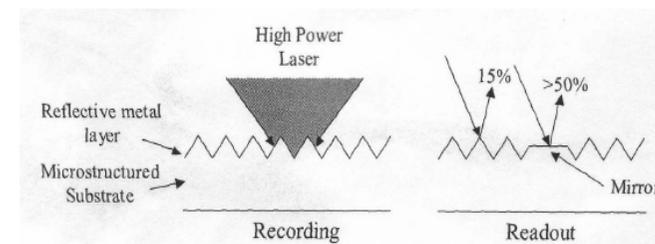
Quelle: Imlau

b) Blasenbildung durch Erhitzen



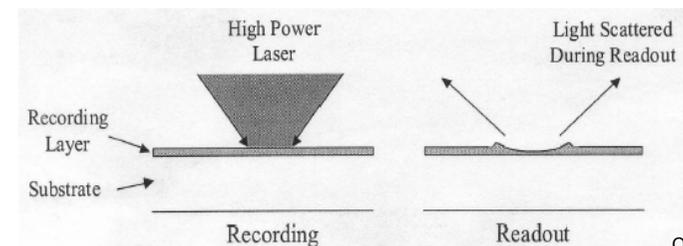
Quelle: Imlau

c) Thermo-plastische Verfahren



Quelle: Imlau

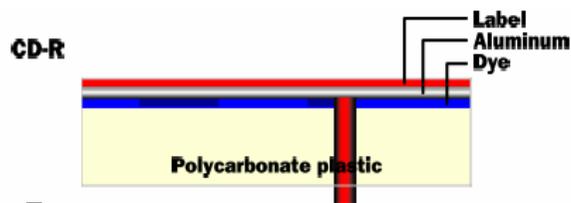
d) Texturänderung



Quelle: Imlau

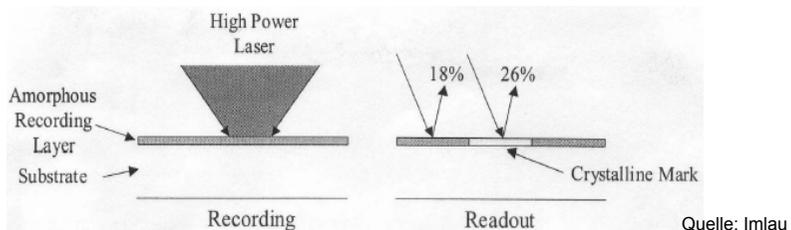
Methoden für schreibbare CDs/DVDs III

e) Chemische Veränderung einer Farbstoffschicht -> benutzt bei CD-R



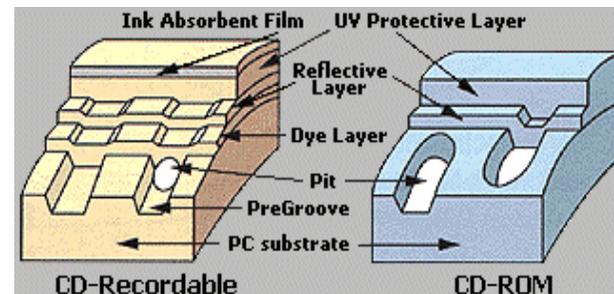
computer.howstuffworks.com/cd-burner.htm/

e) Phasenänderung von kristallin zu amorph -> benutzt bei DVD-R/W



CD-R: Spurführung und Timing

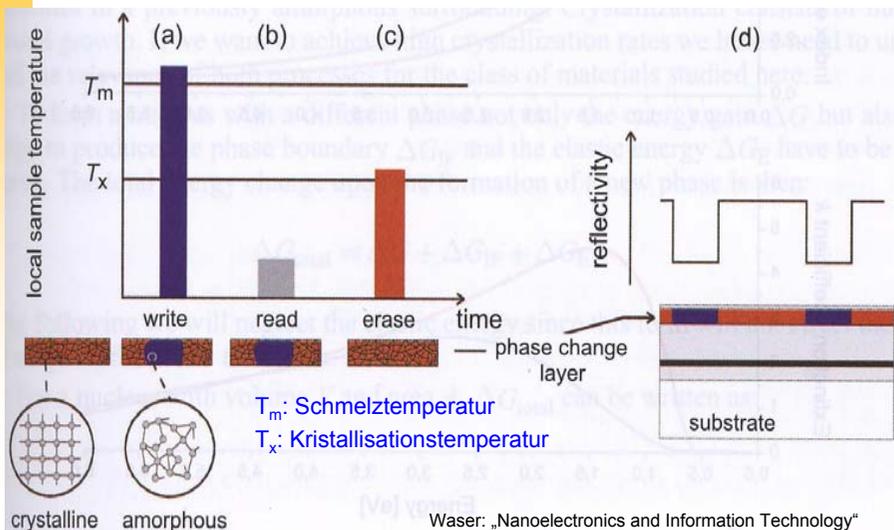
- Eine Pre-groove erlaubt Spurführung.
- Zusätzlich hat die Pre-groove ein „Wobble“ überlagert, eine 22.05 kHz sinusförmige Abweichung von der Track-Mitte mit 30 nm Amplitude. Dies erlaubt eine Anpassung der Schreibgeschwindigkeit.



www.chipchapin.com/CDMedia/cdr2.php3

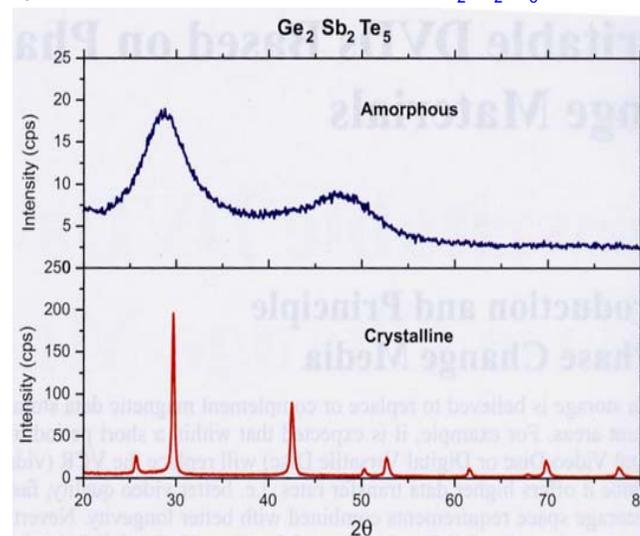
DVD-R/W

- Wiederbeschreibbaren DVDs basieren auf einer reversiblen Änderung der Phase eines Materials durch Erhitzen mit einem Laserstrahl.

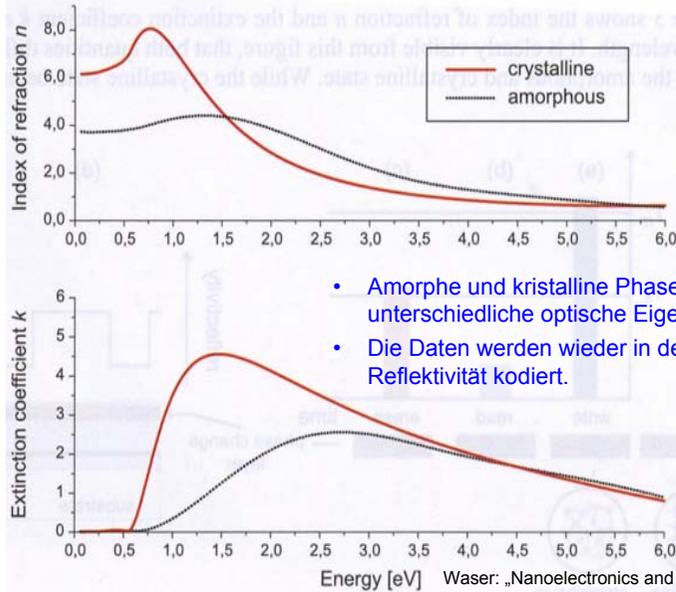


Phase Change Media I

- Beugung von Röntgenstrahlen zeigt die unterschiedliche Struktur einer amorphen und einer kristallinen Schicht von Ge₂Sb₂Te₅.



Waser: „Nanoelectronics and Information Technology“



- Amorphe und kristalline Phase haben unterschiedliche optische Eigenschaften.
- Die Daten werden wieder in der unterschiedliche Reflektivität kodiert.

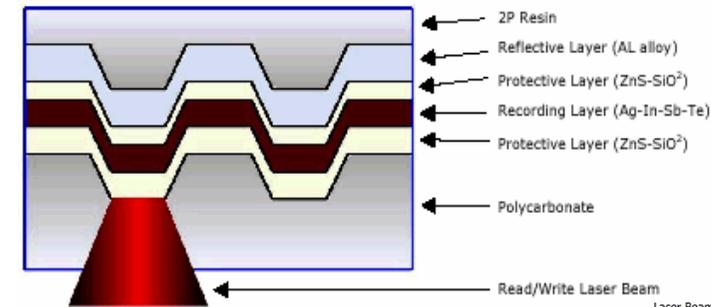


Figure One: DVD-RW Disc Construction

- Dielektrische Schichten auf beiden Seiten der aktiven Schicht sorgen für maximale Energieabsorption in der aktiven Schicht und schützen die aktive Schicht.
- Spurführung und Timing geschieht wieder durch eine Pre-groove mit „Wobble“.

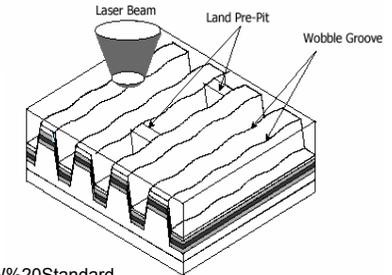


Figure Five: Wobble Groove and Land Pre-Pit Addressing

www.digitaldrives.com/Sections/TechReferences/Sources/DVD-RW%20Standard

- Wie funktioniert ein Kopierer?
- Wie funktioniert ein Laserdrucker?
- Erklären Sie die Komponenten in der Lasereinheit des Laserdruckers!
- Was ist die Funktion eines Polarisators?
- Wie kann ein Polarisator realisiert werden?
- Was ist eine $\lambda/4$ -Platte?
- Worin unterscheiden sich ein Massenspeicher und ein „random-access“-Speichersystem?
- Skizzieren Sie einen CD-Spieler und erläutern Sie die verschiedenen Komponenten!
- Wie wird das Signal physikalisch kodiert und ausgelesen?
- Wie wird der Laserstrahl beim CD-Lesen fokussiert und auf Bahn gehalten?
- Wie kann ich eine höhere Datenmenge erhalten?
- Nennen Sie drei Beispiele, wie schreibbare CDs realisiert werden können!