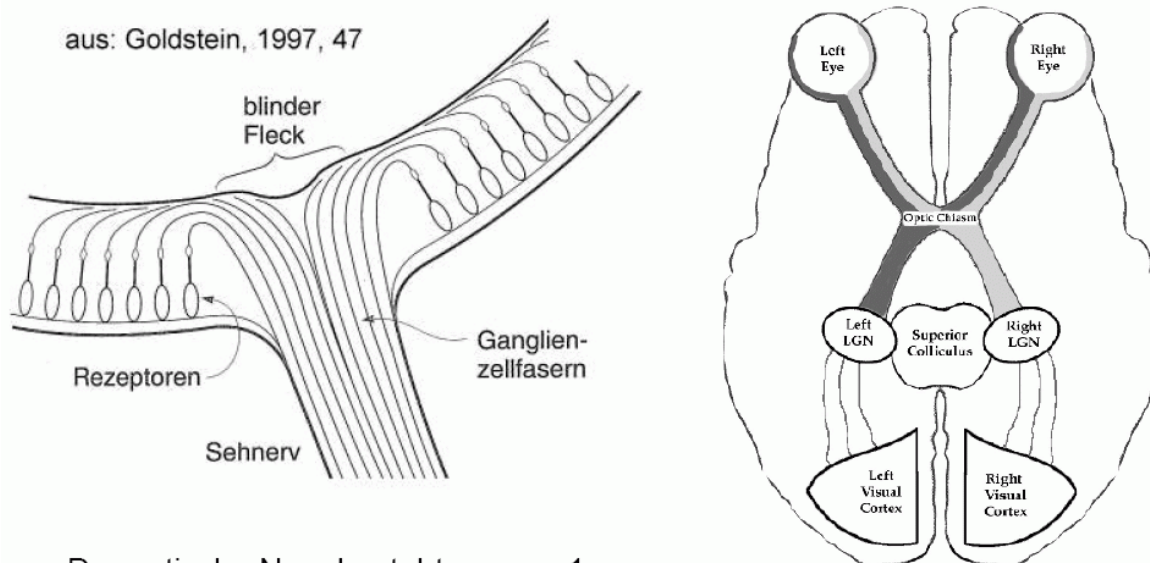


zu 2. Licht, Sehen, Farbe (Fortsetzung)

Weiterverarbeitung der elektrochemischen Reize aus den Sinneszellen der Netzhaut:

- Verschaltung in der Netzhaut selbst
- Weiterleitung im Sehnerv, dort weitere Verschaltungen
- Weiterverarbeitung in verschiedenen Zentren des Gehirns



- Der optische Nerv besteht aus ca. 1 M Fasern, 10% davon sind der Fovea zugeordnet
- Blinder Punkt ca. 17° zur Nasenseite von Fovea

(Woessner, o.J.)

Durch die Weiterverarbeitung kommt es zu spezifischen Wahrnehmungsleistungen, z.T. aber auch zu Täuschungen ("optische Täuschungen" = eigentlich Wahrnehmungstäuschungen)

- Was wir zu sehen glauben, ist nicht was wirklich ist.
- Unser Sehapparat aus Augen und Gehirn bestimmen mit.
- Schon die 3-D Präsentation auf 2-D Schirm/Papier ist eine Täuschung.

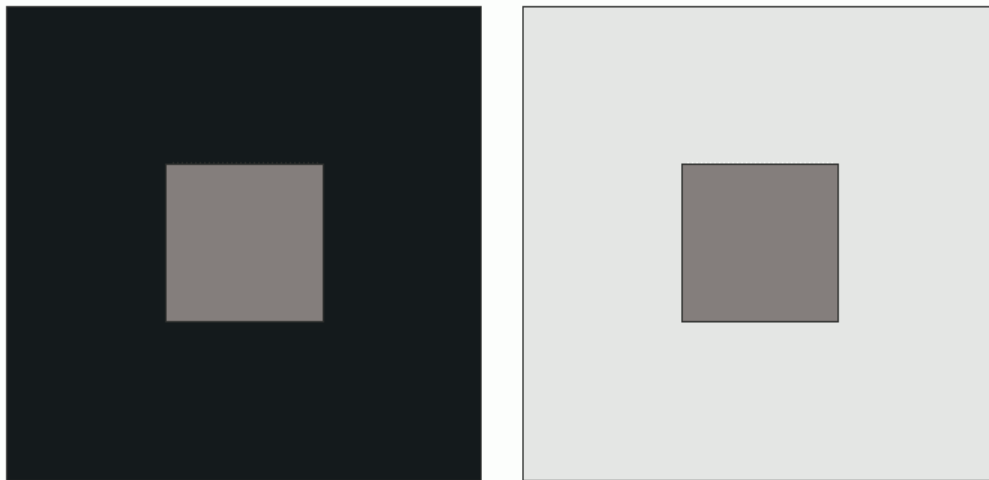
(Weimar 2005)

Resultierende Eigenheiten der visuellen Wahrnehmung

Helligkeit:

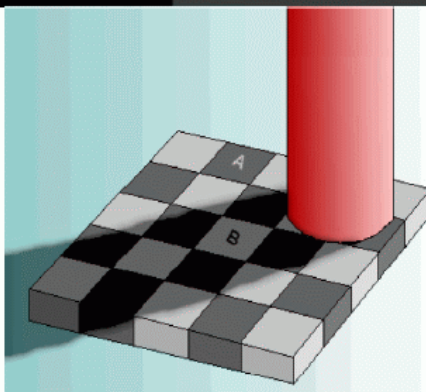
keine absolute Wahrnehmungsgröße
abhängig von:

- Reizstärke (Leuchtdichte)
- Reizstärke zuvor (Adaptation!)
- Leuchtdichte in der Umgebung



die beiden mittleren Quadrate haben dieselbe Graustufe

(aus Krömker 2001)

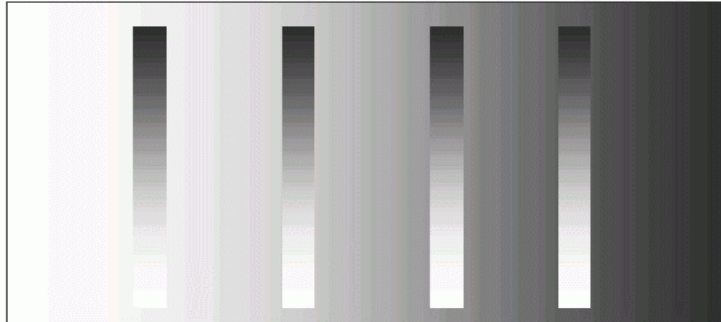


A und B haben dieselbe Farbe

(Woessner, o.J.)

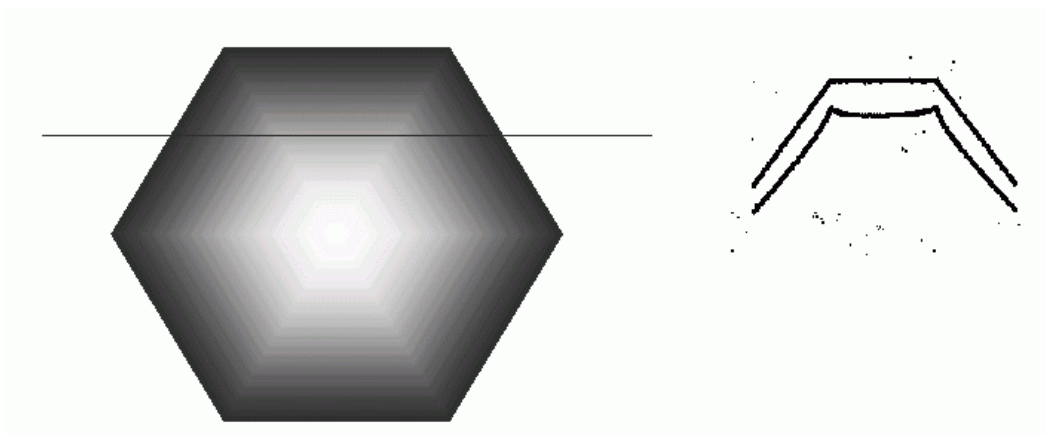
Kontrastverstärkung:

Differenzen werden umso stärker wahrgenommen, je näher sie an der Hintergrundhelligkeit liegen.



Unstetige Helligkeitsänderungen:

Mach-Bänder



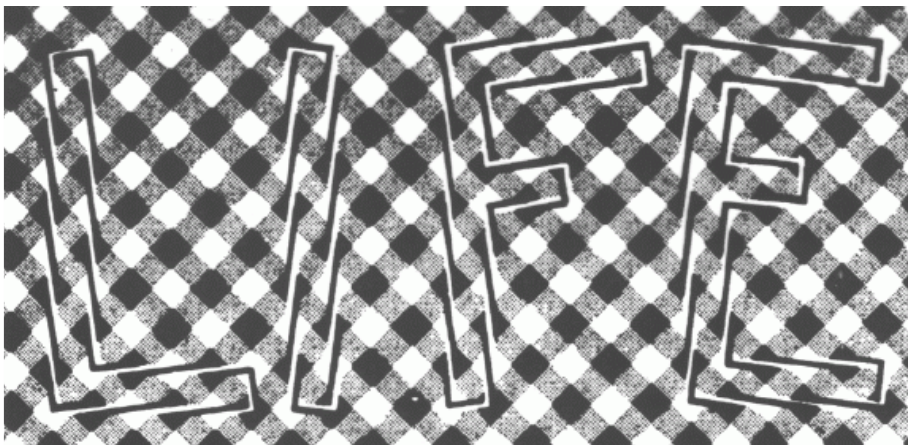
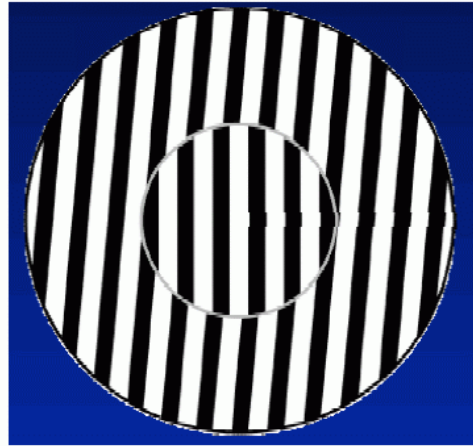
(Krömker 2001)

Im Bild ist die (physikalische) Helligkeit linear interpoliert, keine "Strahlen" vorhanden! Die "Strahlen" erscheinen dort, wo die 1. Ableitung eine un stetige Änderung aufweist.

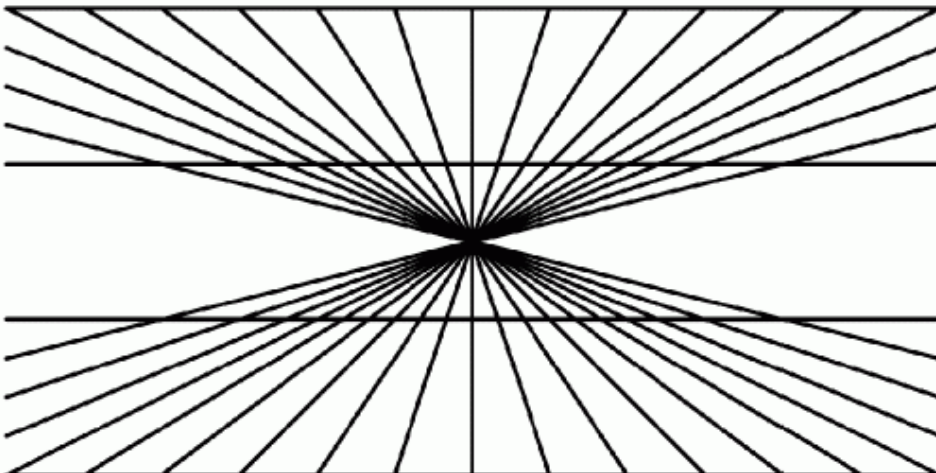
Effekt (in frühen Verarbeitungsschritten in der Netzhaut verursacht) ist Basis für Kanten- und Konturerkennung.

Richtung:

Geneigte Linien in der Umgebung erzeugen eine entgegengesetzte Neigung senkrechter Linien



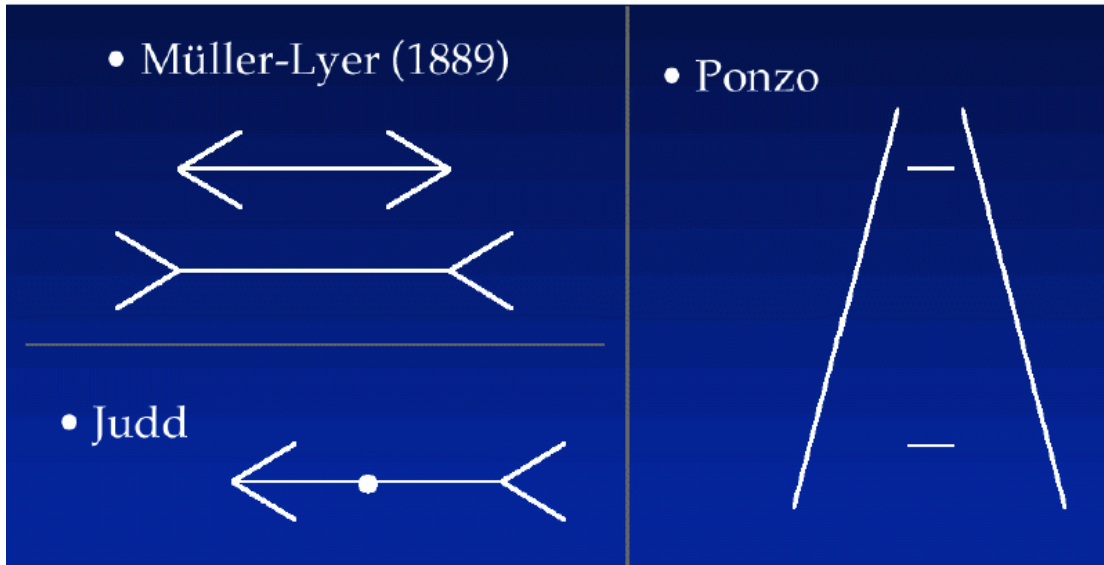
Parallelität:



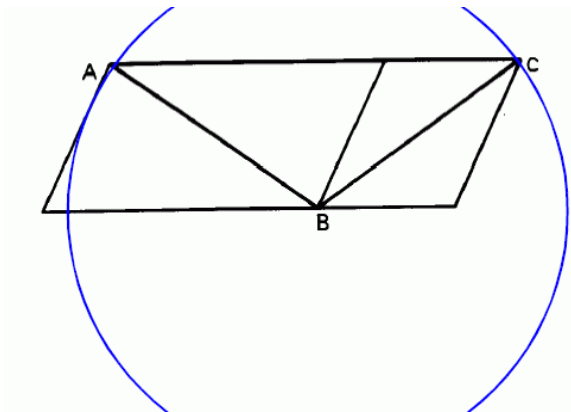
(Weimar 2005)

Länge:

- Eindruck von Strichlängen durch Umgebung verändert

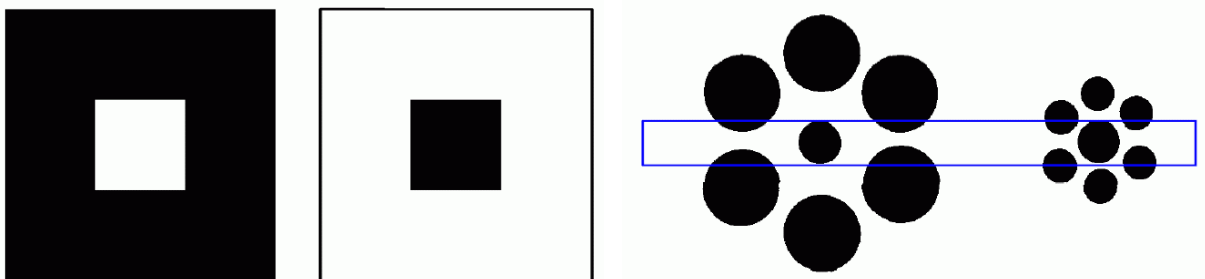


(Woessner, o.J.)



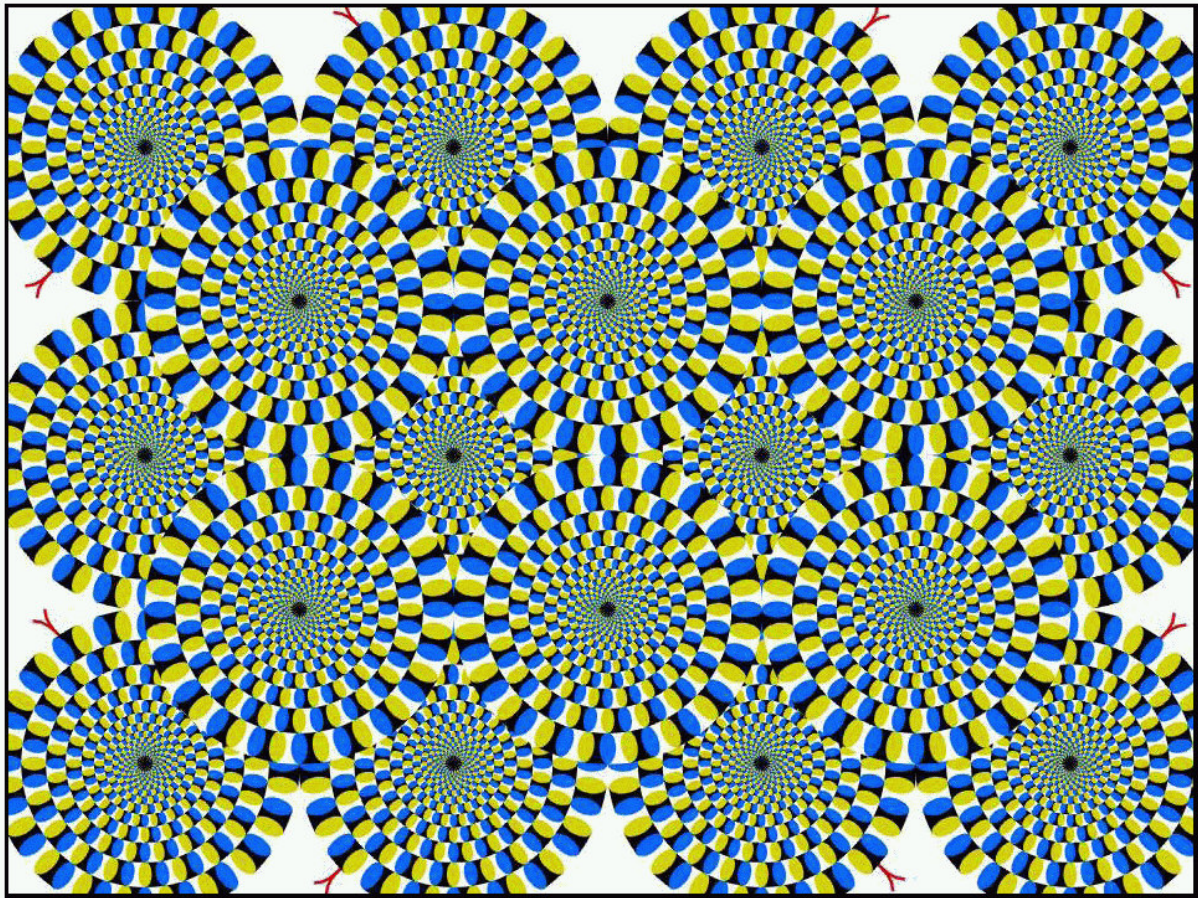
$$|AB| = |BC| \quad (\text{Weimar 2005})$$

Flächen:



(Weimar 2005)

Bewegungsillusion:



(Bartz 2005)

Formwahrnehmung

Grundlegende Arbeiten zur Organisation der menschlichen Wahrnehmung: *Gestaltpsychologie* (frühes 20. Jh., besonders Wertheimer)

- das Ganze ist verschieden von der Summe seiner Teile;
- das visuelle System des Menschen fasst Elemente nach Gruppierungsregeln zusammen.

Beispiel:

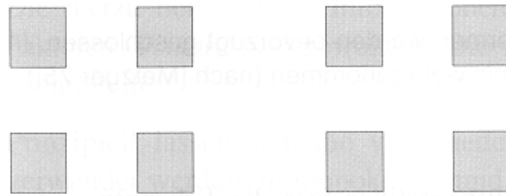
der Dalmatiner (aus Schumann & Müller 2000, nach Thurston 1986) – keine Konturlinie vorgegeben, diese konstruiert das visuelle System!



Gestaltprinzipien

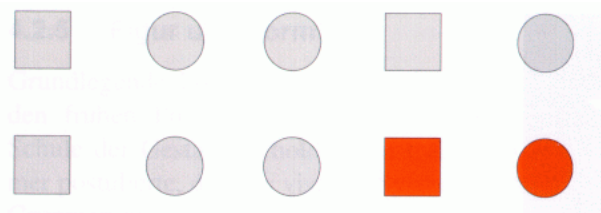
Gestaltprinzip der Nähe

Nahes wird als zusammengehörig empfunden:



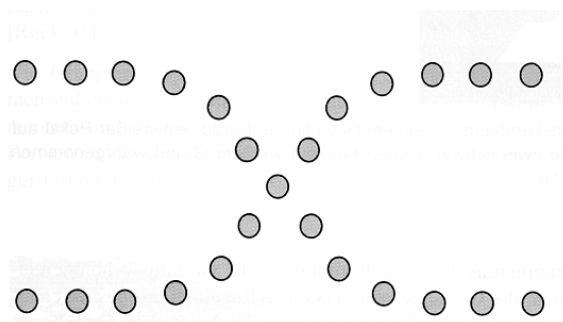
Gestaltprinzip der Ähnlichkeit

Gleiches oder fast gleiches wird als zusammengehörig empfunden. Farbe gruppiert dabei stärker als Form:



Gestaltprinzip der stetigen Fortsetzung

Unter mehreren Möglichkeiten, Musterelemente in eine Gestalt einzuordnen, wird die einfachere und regelmäßigere bevorzugt. In diesem Fall werden zwei sich kreuzende Kurven wahrgenommen, nicht zwei sich berührende Halbkreise:



Gestaltprinzip der Konvexität

Konvexe Formen werden bevorzugt geschlossen. Hier wird automatisch ein schwarzer Kreis wahrgenommen:



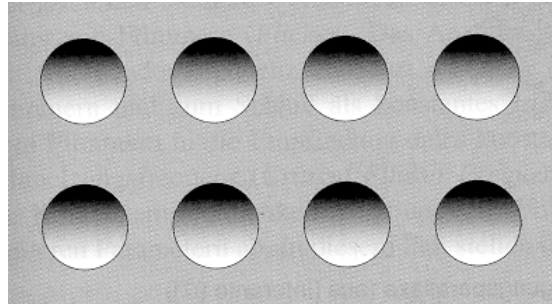
Kontextabhängigkeit der Formwahrnehmung

Der zweite Buchstabe wird im ersten Wort als "H", im zweiten als "A" erkannt, obwohl in beiden Fällen identische Stimuli vorliegen

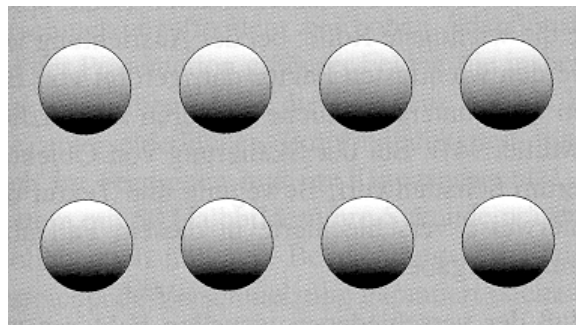
TAE CAT

3D-Formwahrnehmung (Tiefenwahrnehmung) aus Schattierung:

Kreise werden als kugelförmige Vertiefungen wahrgenommen (Schattierung entspricht hier den üblichen Verhältnissen bei einer Beleuchtung von oben):



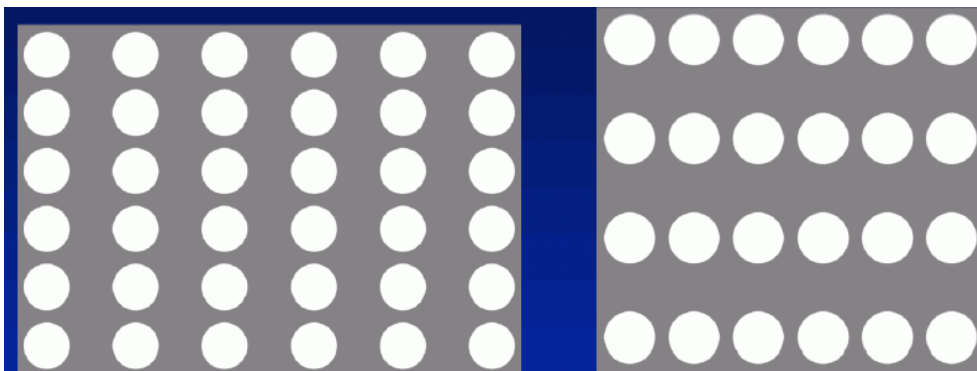
Die gleichen Kreise, gedreht, werden als kugelförmige Erhebungen wahrgenommen:



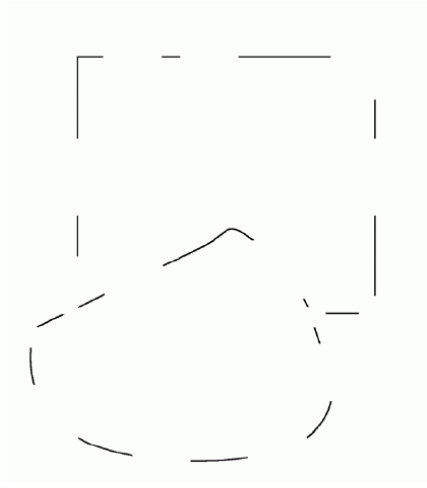
(Gestalt-Beispielbilder aus Schumann & Müller 2000)

Abstand zwischen Objekten:

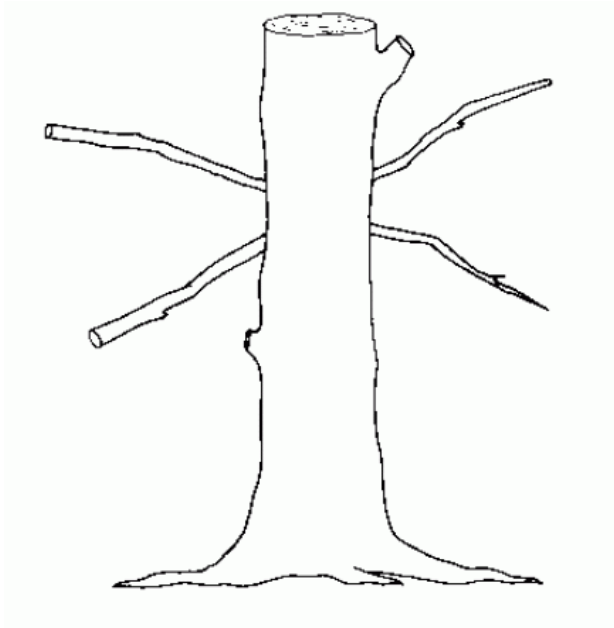
Gruppierung als Spalten oder Zeilen

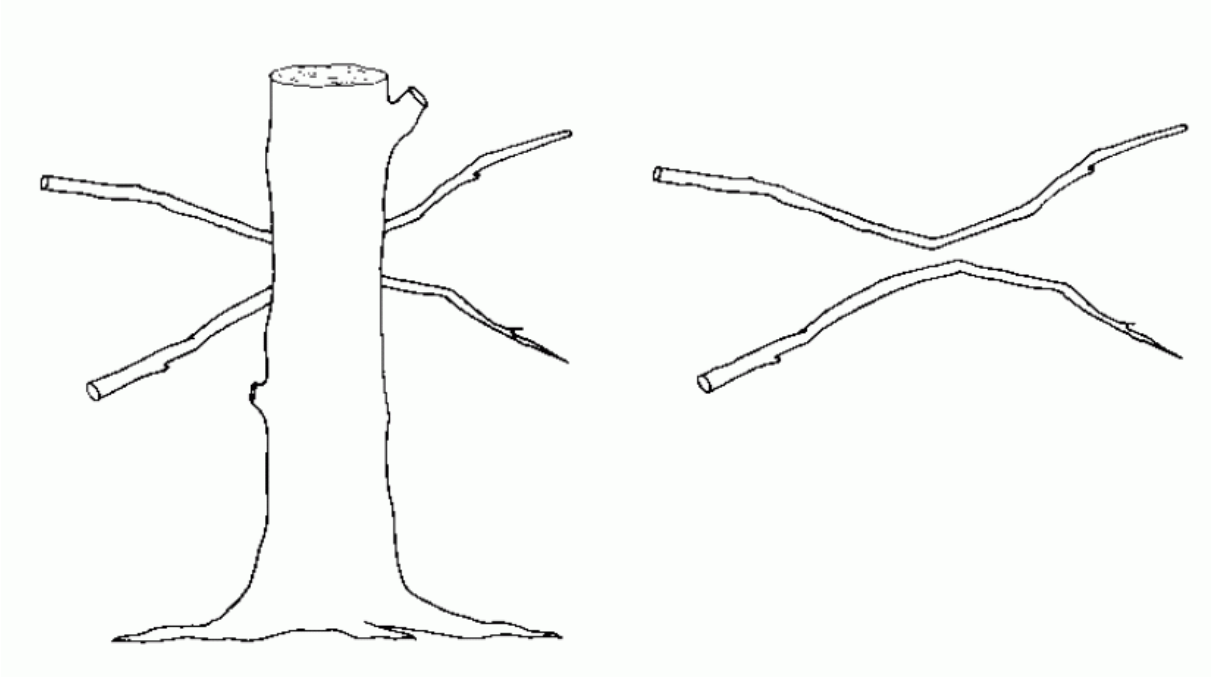


Linienfortsetzung



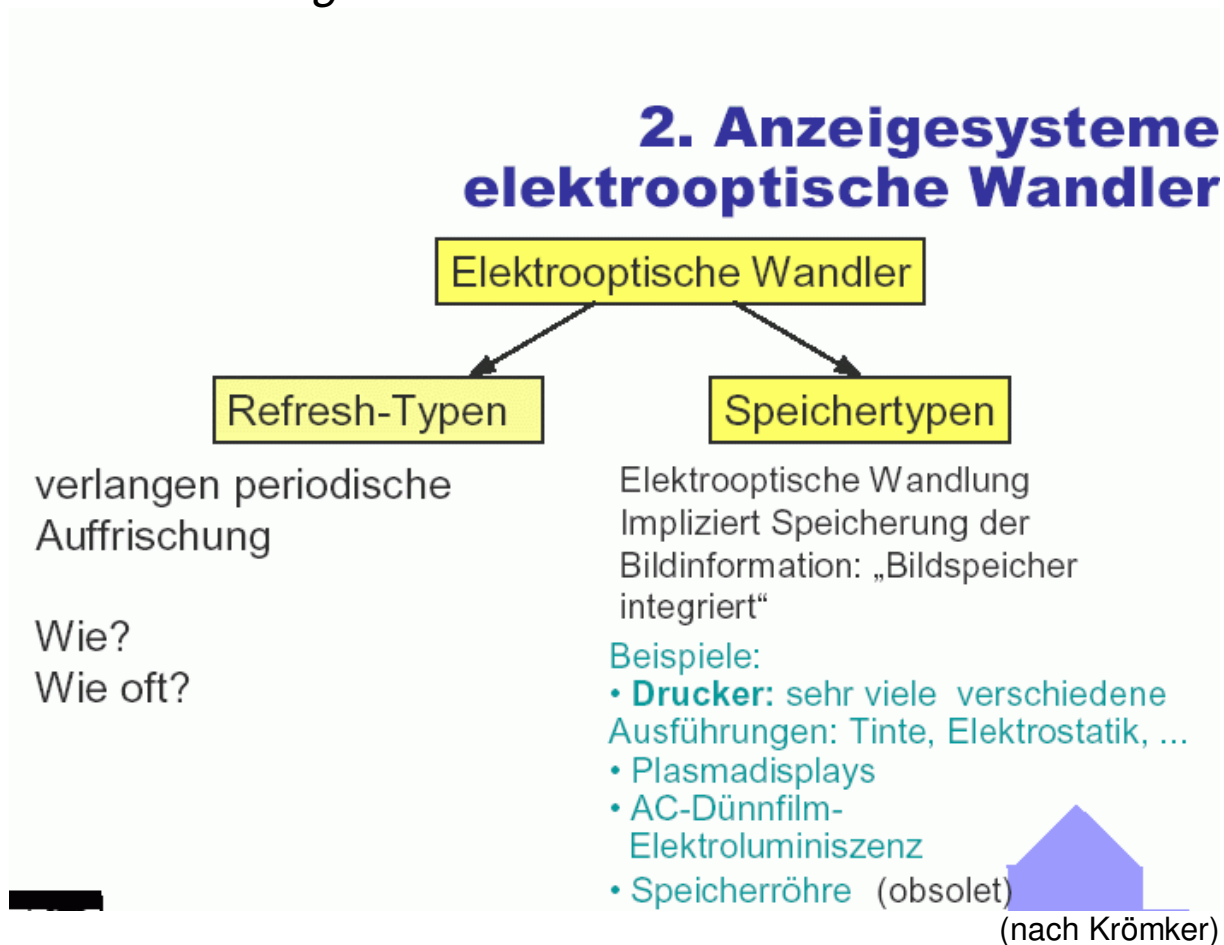
stetige Fortsetzung, "Prinzip der guten Gestalt"





3. Grafische Hardware

Grafische Ausgabe



Sichtgeräte (*Displays*)

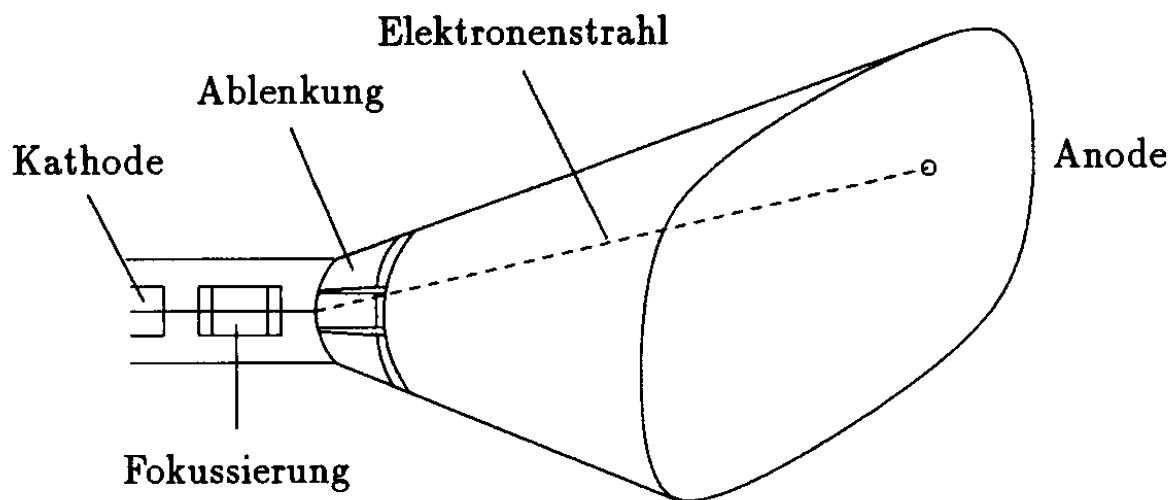
Die Kathodenstrahlröhre (*cathode ray tube*, CRT)

wird sowohl in Vektorsichtgeräten (kaum noch üblich) als auch in Rastersichtgeräten (z.B. Fernsehen, ältere PC-Monitore) eingesetzt.

Aufbau: Hochvakuumröhre mit

- Strahlerzeugung (beheizte Kathode = Elektronenquelle, mit Steuergitter zur Regelung der Stärke des Strahls)
- Fokussierung (magnetisches oder elektrostatisches System mit "Linsenfunktion" auf den Elektronenstrahl)
- Beschleunigung durch 1 oder mehrere Anoden, meist im Bereich der Fokussierung – Strahl tritt durch ein Loch in der Anode in das Ablenkungssystem ein

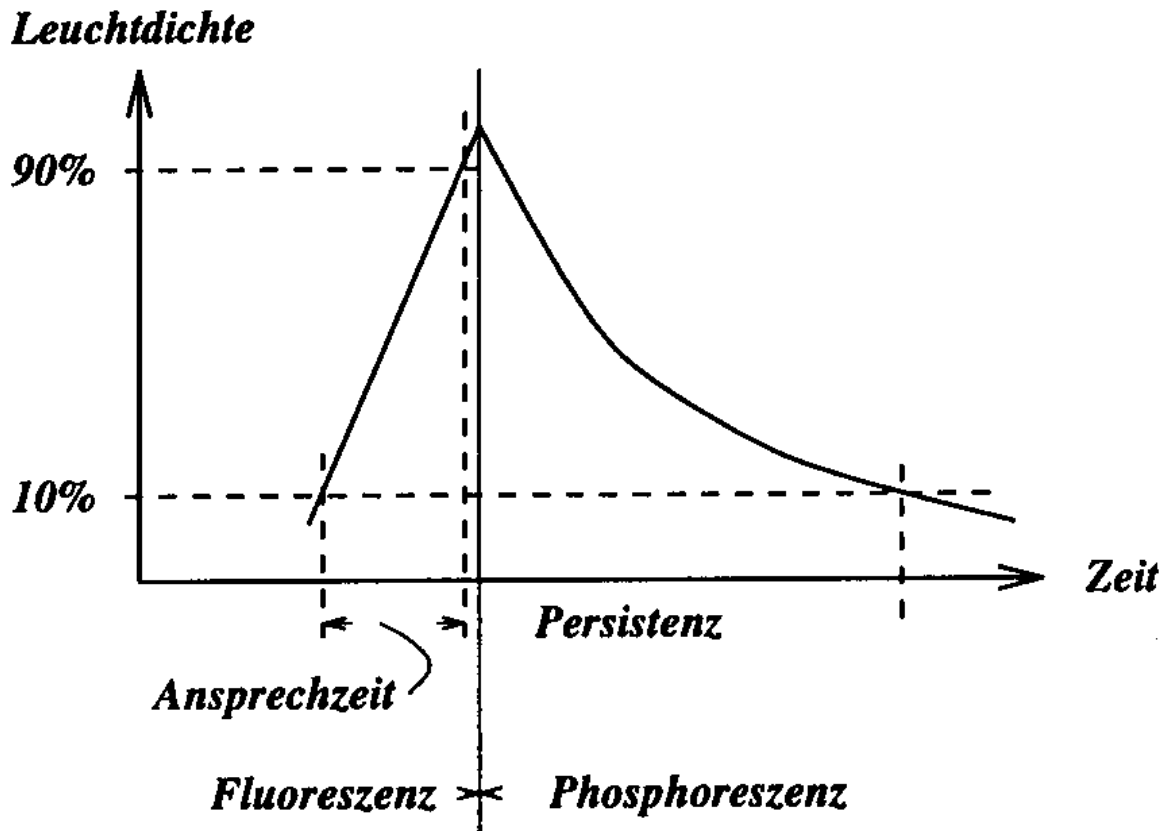
- Ablenkung – meist elektromagnetisch durch Spulen (Magnetfelder!); Elektronenstrahl wird entsprechend den angelegten Ablenkströmen abgelenkt (x -, y -Richtung)
- Bildschirm mit Phosphorschicht, die zum Leuchten angeregt wird



(aus Fellner 1992)

Verhalten des Bildschirm-Phosphors:

- Aussenden von Licht beim Auftreffen des Elektronenstrahls (*Floureszenz*)
- fortgesetzte Emission von Licht (mit abnehmender Stärke) nach dem Abschalten (oder Weiterwandern) des Strahls (*Phosphoreszenz*)
- Nachleuchtdauer = *Persistenz*, wichtiger Parameter für Bildröhren, bestimmt die *refresh rate* (Bildwiederholrate), die notwendig ist, um dem Betrachter den Eindruck eines stehenden, flimmerfreien Bildes zu vermitteln



(aus Encarnação et al. 1996)

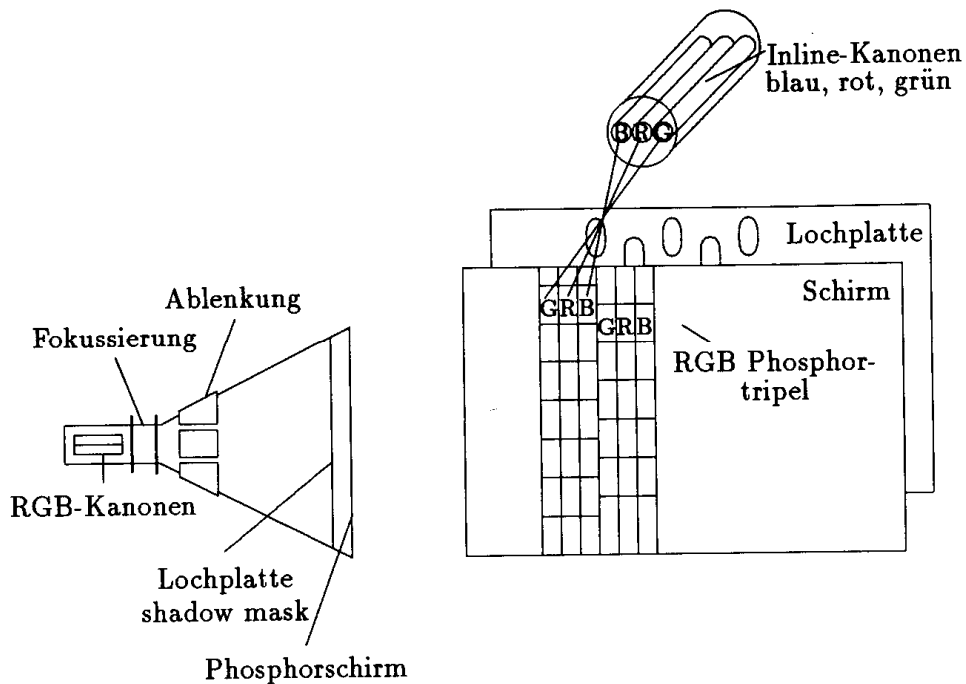
Bildwiederholffrequenzen: zwischen 30 und 80 Bildern pro Sek., abhängig u.a. von der verwendeten Phosphormischung.

Farbdisplay:

Lochmaskenröhre (*Shadow mask color CRT*)

3 Kathoden

- Schirmoberfläche mit Dreiergruppen von roten, grünen und blauen Phosphorpunkten beschichtet
- Lochplatte unmittelbar vor den Phosphortripeln ermöglicht, dass jeder der 3 Kathodenstrahlen nur auf die ihm zugeordneten Farbpunkte trifft
- Farbeindruck durch additive Farbmischung



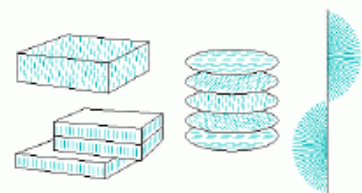
2.2. Flüssigkristallanzeigen (LCD) (Liquid Crystal Display), seit 1970 in Bildanzeigesysteme eingesetzt

Grundlagen:

Flüssigkristalle wurden schon 1888 von Reinitzer entdeckt. Ihre organischen Moleküle weisen eine Orientierungsordnung auf, wie sie für Kristalle typisch ist. Ihre Form ist langgestreckt oder scheibenförmig. Achsen sind einheitlich ausgerichtet. Eine Ausrichtung der Moleküle auf eine der üblichen kristallinen Gitterstrukturen besteht jedoch nicht.

Einteilung der Flüssigkristalle je nach Ausrichtung:

- smekmatische schichtenförmig
- nematische fadenförmig
- cholesterinische wendelförmig

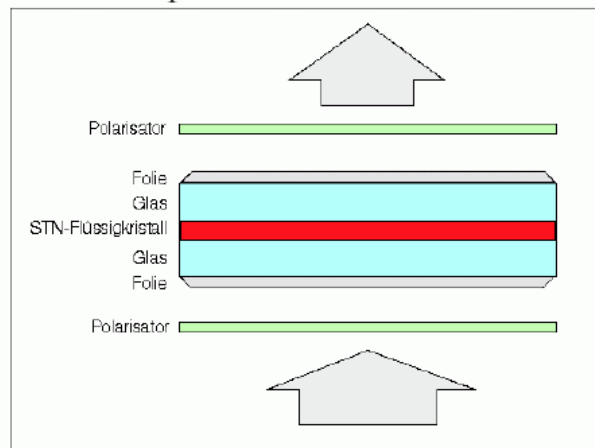


Aufbau/Funktionsweise

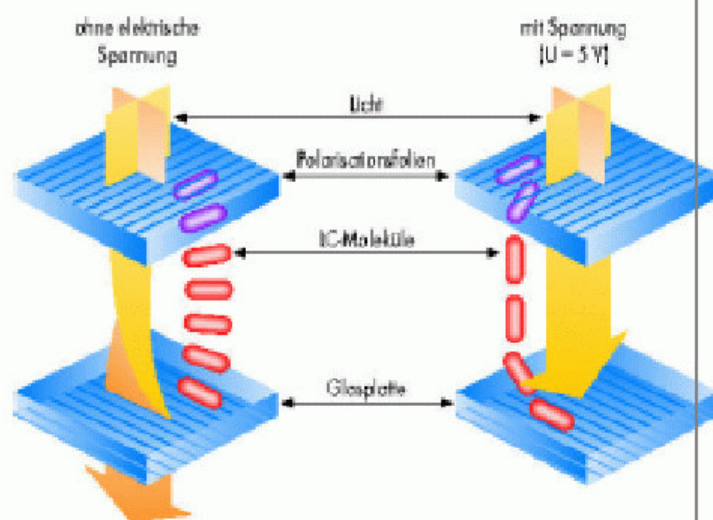
Verdrillter nematischer Flüssigkristall (twisted nematic cells)

Flüssigkristallzellen werden mit **zwei parallelen Glasplatten** aufgebaut, die sich im Abstand von 5-10 μm voneinander entfernt befinden und den **Flüssigkristall einschließen**. Zur Ausrichtung der Moleküle ohne angelegtes elektrisches Feld, werden die Glasplatten auf der Innenseite mit mikroskopisch feinen **Längsriffelungen** versehen. Zusätzlich sind die Glasplatten mit einem feinen **Elektrodenmaterial bedampft**, das sowohl durchsichtig, als auch leitend ist.

(Meist wird Indiumzinnoxid (ITO indium tin oxid) verwendet.



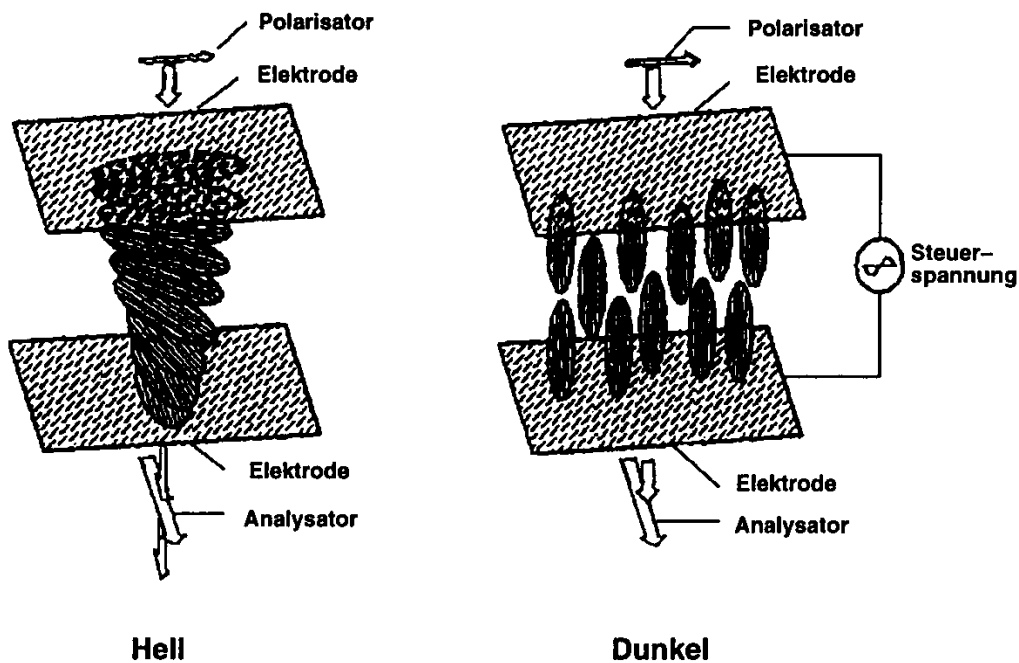
Die Außenseiten der Glasplatten sind mit Polarisationschichten belegt, die nur Licht in der Wellenebene des Polarisationsfilters durchlassen. Die Wellenebenen des einen Polarisators ist zu der des gegenüberliegenden um 90° **verdreht**. Infolge der Riffelungen in beiden Platten, die rechtwinklig zueinander ausgerichtet sind, werden die Achsen der Flüssigkristallmoleküle so beeinflusst, daß sich diese gleichfalls im rechten Winkel einstellen.



(aus Krömker 2001)

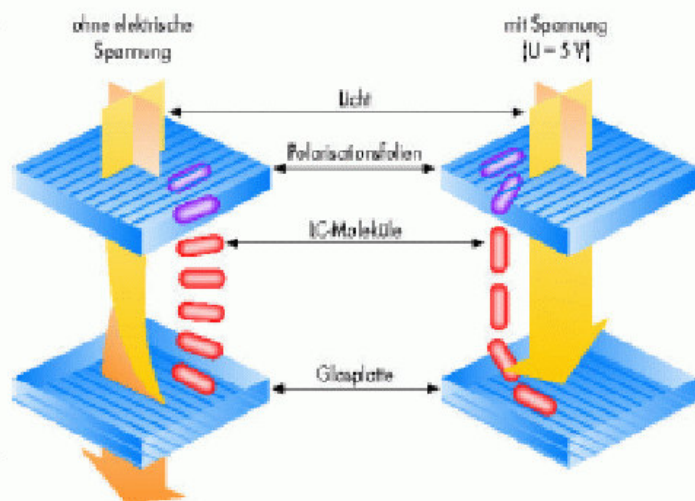
So entstehen (bei nicht angelegter Spannung) um 90° verdrehte "Molekülfäden", die die Polarisationsrichtung des Lichts so verändern, dass sie mit der Polarisationsrichtung der "Austritts-Seite" ("Analysator"-Platte) übereinstimmt \Rightarrow minimale Lichtabschwächung.

Bei Anlegen eines elektr. Feldes werden die Molekülachsen aus ihrer Ruhelage gedreht \Rightarrow Polarisations Ebene wird nicht mehr verändert \Rightarrow Analysator wirkt stark absorbierend, Flüssigkristallzelle wirkt lichtundurchlässig.



Blickwinkelabhängigkeit

Für einen Lichtstrahl, der schräg durch das Display geht, verlängert sich der Weg durch die Flüssigkristallschicht. Die kritisch abgestimmte Schichtdicke der LCs, die zu einer Polarisationsdrehung von genau 90° führen soll, gilt nur für senkrechten Einfall. Die längere Wegstrecke bei schrägem Einfall führt zu einer anderen Polarisationsrichtung und damit zu unerwünschter Transmission und somit zu einem schlechteren Kontrast.



Problem: Ansteuerung der Zellen

TFT (Thin Film Transistor)-Technik

Bei aktuellen Bildschirmen müssen mindestens $1024 \times 768 \times 3 \approx 2,3$ MPixel (pro Bildpunkt drei Pixel für die Grundfarben) schnell genug angesteuert werden. Erst mit TFT (Thin Film Transistor)-Technik konnte Lichtdurchlässigkeit jedes Pixels von einem eigenen Transistor als Schalter gesteuert werden.

Pixel

Um Pixel zu erhalten bleibt eine der leitenden ITO-Schichten auf den Substraten unverändert, die andere Schicht bildet dagegen ein **Array aus ITO-Rechtecken**, an die jeweils ein TFT angeschlossen ist. Senkrechte und waagrechte Leitungen verbinden die Transistoren. Die Maße der ITO-Rechtecke bestimmen die Pixelgröße.

Herstellung des Arrays mit Ätztechniken und Fotolithografie. Der Transistor wird klein in der Ecke des Pixels positioniert, um möglichst wenig Licht wegzunehmen.

Farben

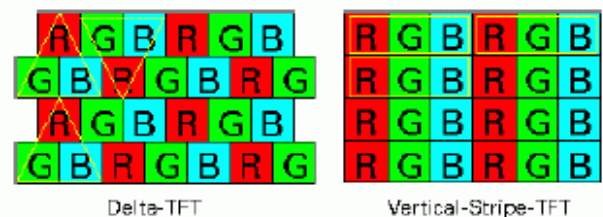
Ein **Bildpunkt** setzt sich zusammen aus drei benachbarten Pixeln mit rotem, grünem und blauem **Farbfilter**.

Das Leuchtmittel selbst ist eine schmale **Leuchtstofflampe**, die neben etwas sichtbarem Licht vor allem ein UV-Spektrum liefert. Erst die

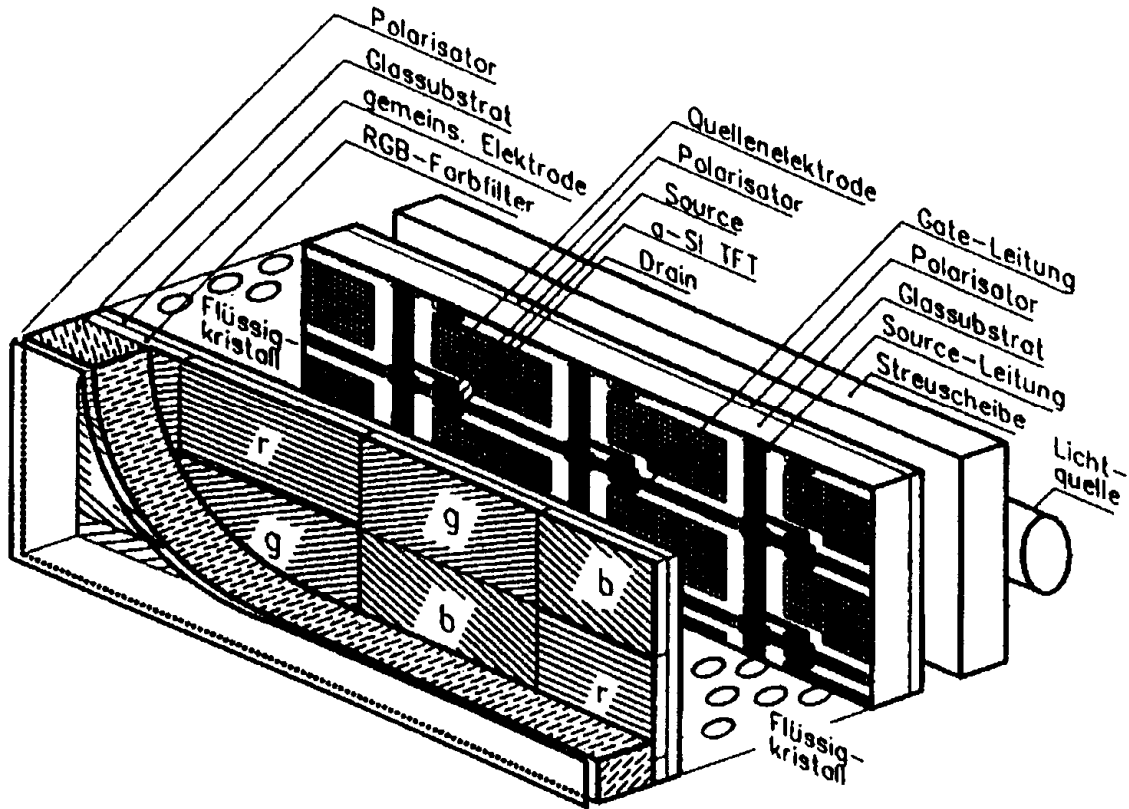
Beschichtung an der Innenseite der

Glasröhre macht daraus sichtbares Licht. Um die Farbsättigung zu erhöhen, wird die Beschichtung so gewählt, daß vor allem Licht in den drei Grundfarben (rot, grün, blau) die Lampe verläßt. Eine flache **Lichtleiter plus Diffuser-Scheibe** verteilt das Licht der dünnen Leuchtstofflampe (dünne Röhre oben) an der Seite des Displays gleichmäßig über die gesamte Fläche.

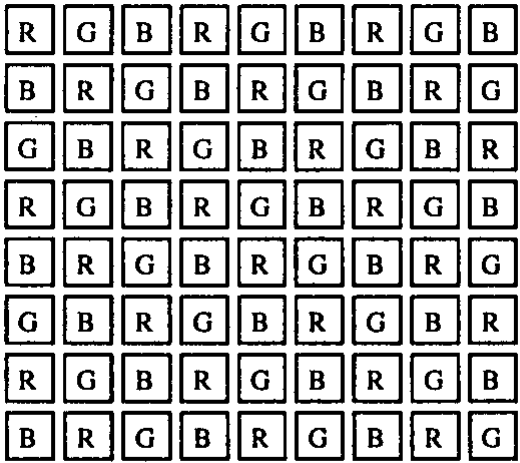
Desktop-Displays sind mit bis zu vier Röhren bestückt, an jeder Seite eine. Notebook-Displays begnügen sich dagegen i.d.R. mit zwei.



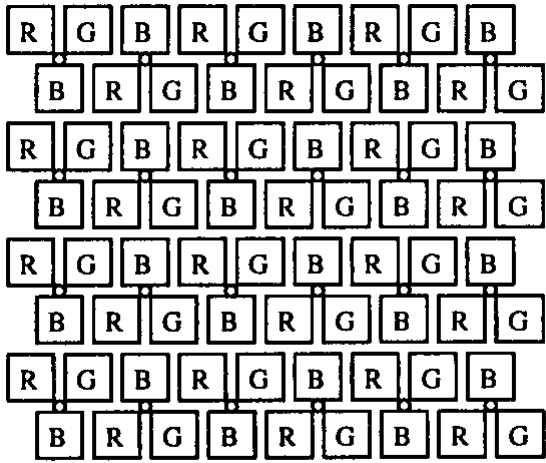
Aufbau einer LC-Anzeige:



Zellenanordnungen bei Farb-LCDs:



(a)

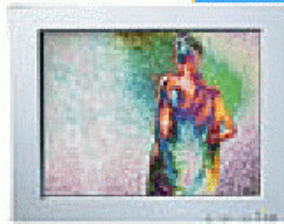


(b)

(a) orthogonal, (b) deltaförmig.

Flüssigkristallanzeigen (LCD) Zusammenfassung

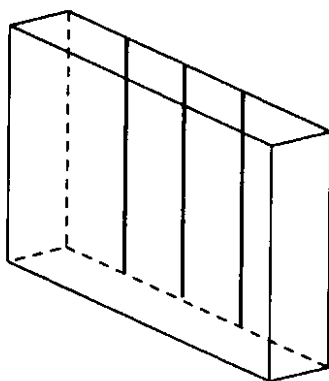
- + Geringe Leistungsaufnahme (25 W)
 - + niedrige Betriebsspannung
 - + flimmerfrei
 - + gute Kontrastwerte
 - + digital (keine digital-analog Wandlung notwendig)
 - + leicht
 - + klein
 - + notwendig für mobile Geräte
-
- passiver Arbeitsweise Anzeigeelemente lassen Licht durch, oder reflektieren es: zusätzliche LQ sind nötig.
 - Geringer Betrachtungsbereich
 - aufwendige Herstellung
 - teuer



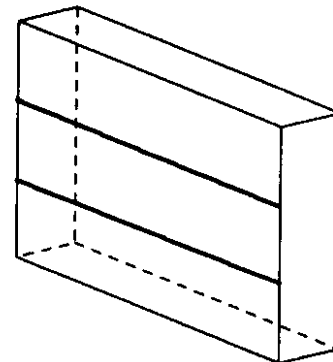
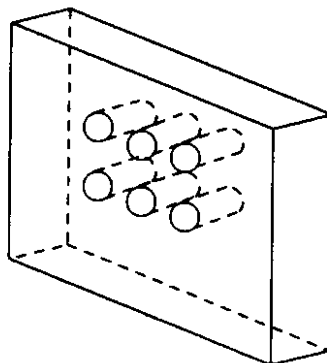
Plasmabildschirm (*Plasma Panel*)

beruht auf dem Prinzip der Leuchtstoffröhre
zwischen 2 durchsichtigen Platten mit Elektroden sind Zellen
mit Neongas angebracht, die durch Spannung zum Leuchten
gebracht werden

**mittlere Glasplatte
mit gasgefüllten Löchern**



**vordere Glasplatte
mit vertikalen Elektroden**

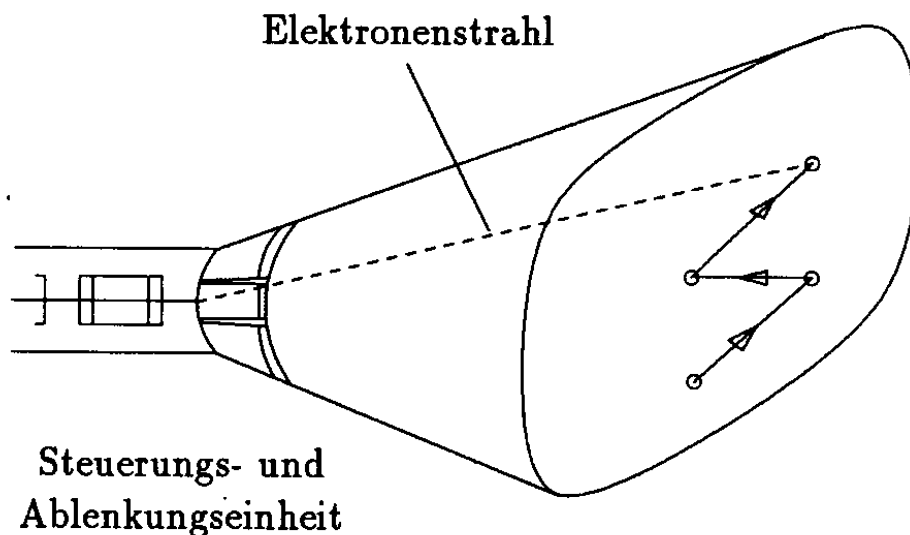


**hintere Glasplatte
mit horizontalen
Elektroden**

- kein Refresh nötig
- flache Bauweise, geringes Gewicht
- jedoch Problem mangelnder Auflösung, vor allem, wenn Farbdarstellung gewünscht wird
- gegenüber LCD-Technologie auf dem Rückzug

Vektorbildschirme (*Random Scan System*)

normale CRT, aber der Elektronenstrahl kann frei über den Bildschirm bewegt werden (im Gegensatz zur zeilenorientierten Raster-Ausgabe bei den üblichen Raster-Schirmen)

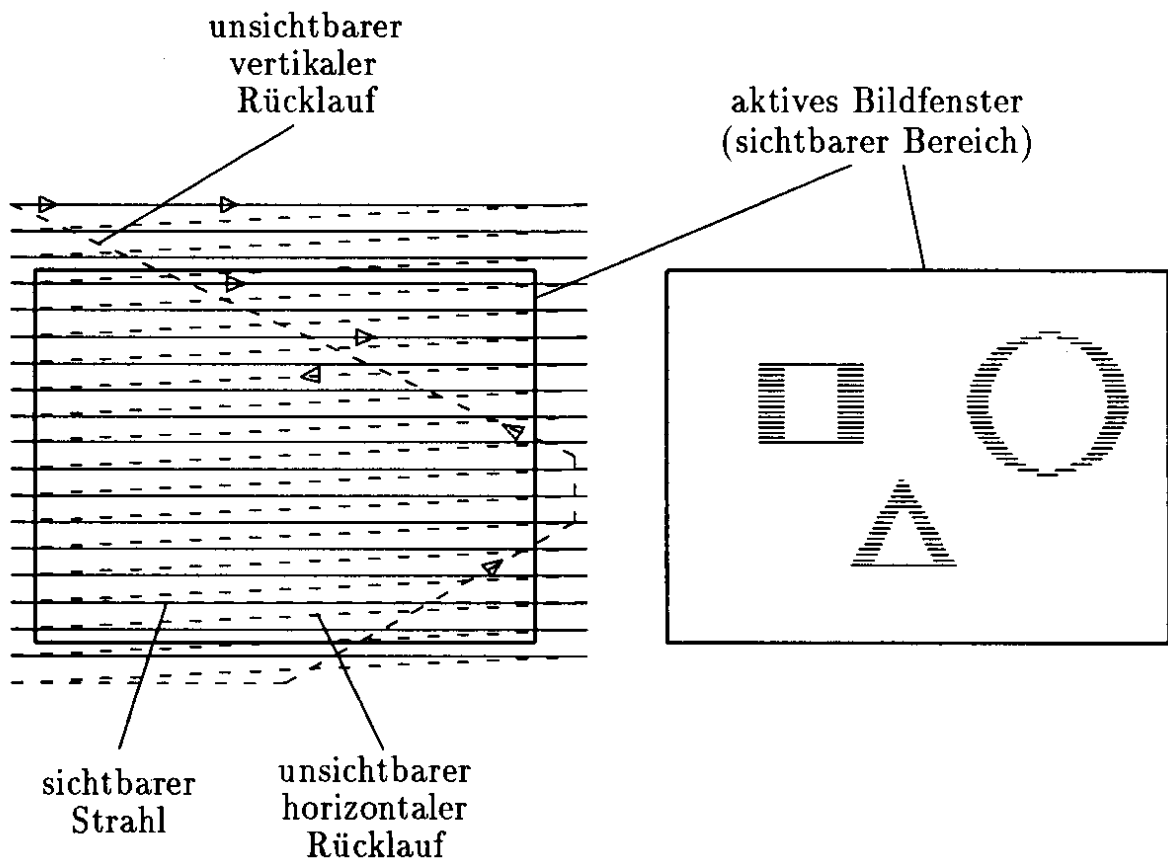


Vektorgeräte wurden seit Mitte der 60er Jahre gebaut und waren in den 70ern der dominierende Gerätetyp. Warum wurden sie weitgehend durch Rastergrafikgeräte verdrängt?

- hohe Qualität bei niedrigen Kosten möglich
- volle Farbtüchtigkeit, Flächendarstellung
- (weitgehende) Fernsehkompatibilität
- interaktive Grafik und Bildverarbeitung können mit einem System durchgeführt werden
- Komplexität flimmerfrei darstellbarer Bilder ist nicht begrenzt.

Technische Besonderheiten der *rasterorientierten Anzeige* bei den gewöhnlichen CRT-Monitoren und beim Fernsehen:

- Refresh verläuft zeilenweise von oben nach unten
- eigentliche Bildinformation liegt Pixel für Pixel in einem eigenen Speicher (Bildwiederholtspeicher, frame buffer, refresh buffer)
- Strahl wird horizontal und zeilenweise über den Bildschirm bewegt



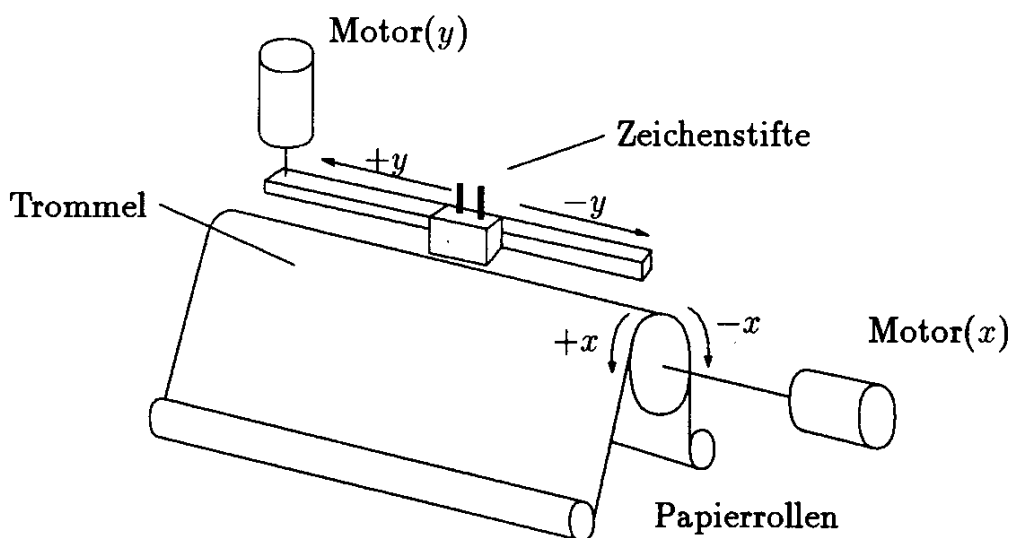
Einschub:

Update und Refresh?

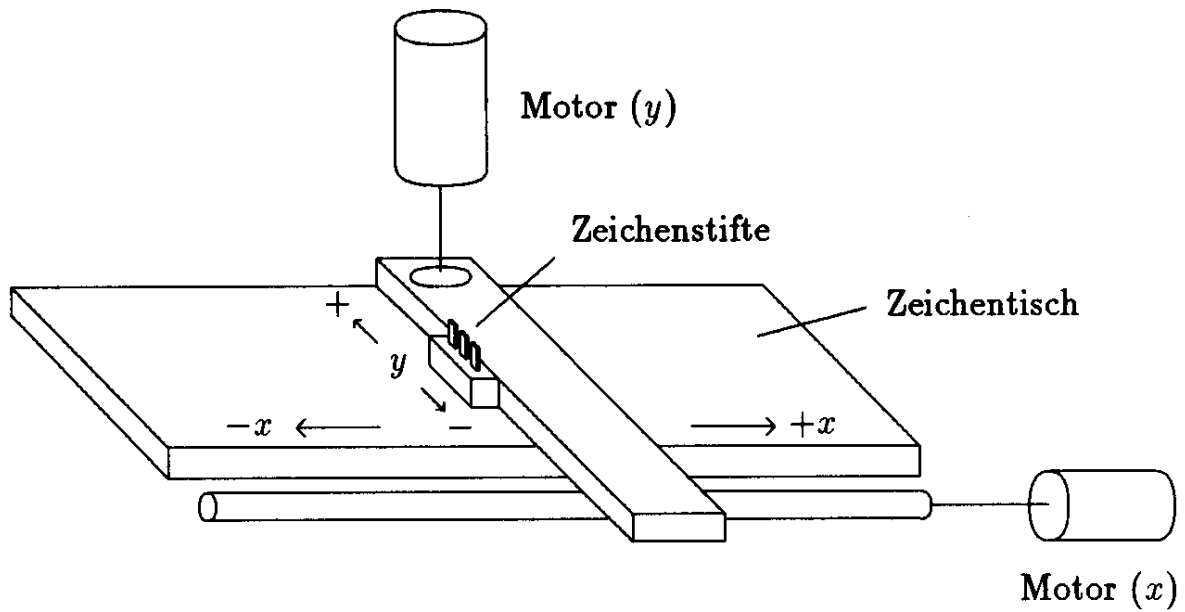
- ◆ **Refresh:** Notwendige Auffrischung (auch des unveränderten) Bildschirminhalts bei punktförmiger Impulsanregung, z.B. bei einer CRT
60 ... 100 Hz Bildfrequenz non-interlaced (**< 16 ms**)
erfolgt aus dem Bildspeicher zur Zeit für das vollständige Bild = nichtselektiv!
- ◆ **Update:** Aufbau eines veränderten Bildes
= Rendering eines aus dem Graphikspeicher
 - vollständig: Gesamtbild
 - selektiv: nur Bildteile, z.B. Windows, Cursor, ...**Anforderungen:** < 100-300 ms für interaktive Anwendungen
< 65 ms (ca. 15 Hz) für Bewegungskontinuität

Weitere grafische Ausgabegeräte

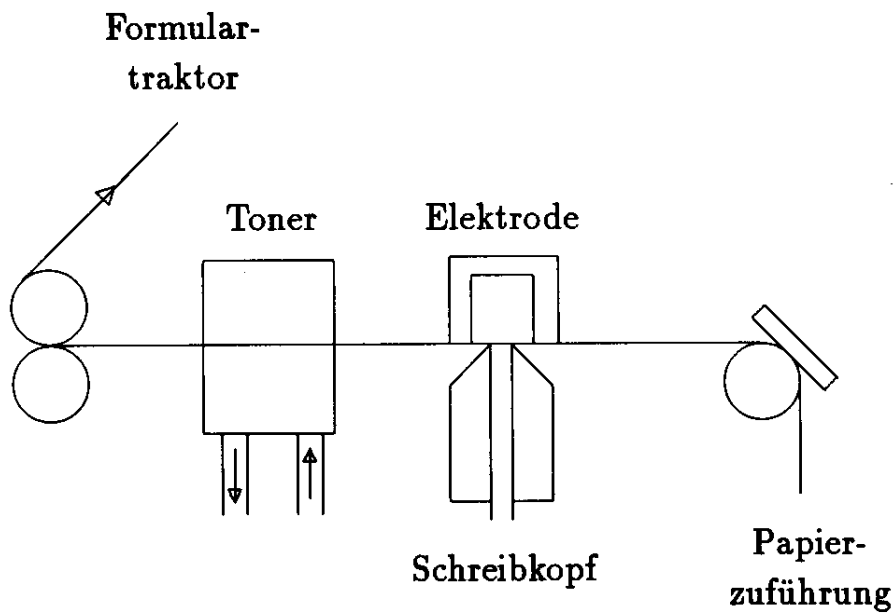
Plotter



Prinzip des Trommelplotters



Prinzip des Tischplotters



Prinzip des elektrostatischen Plotters

Drucker

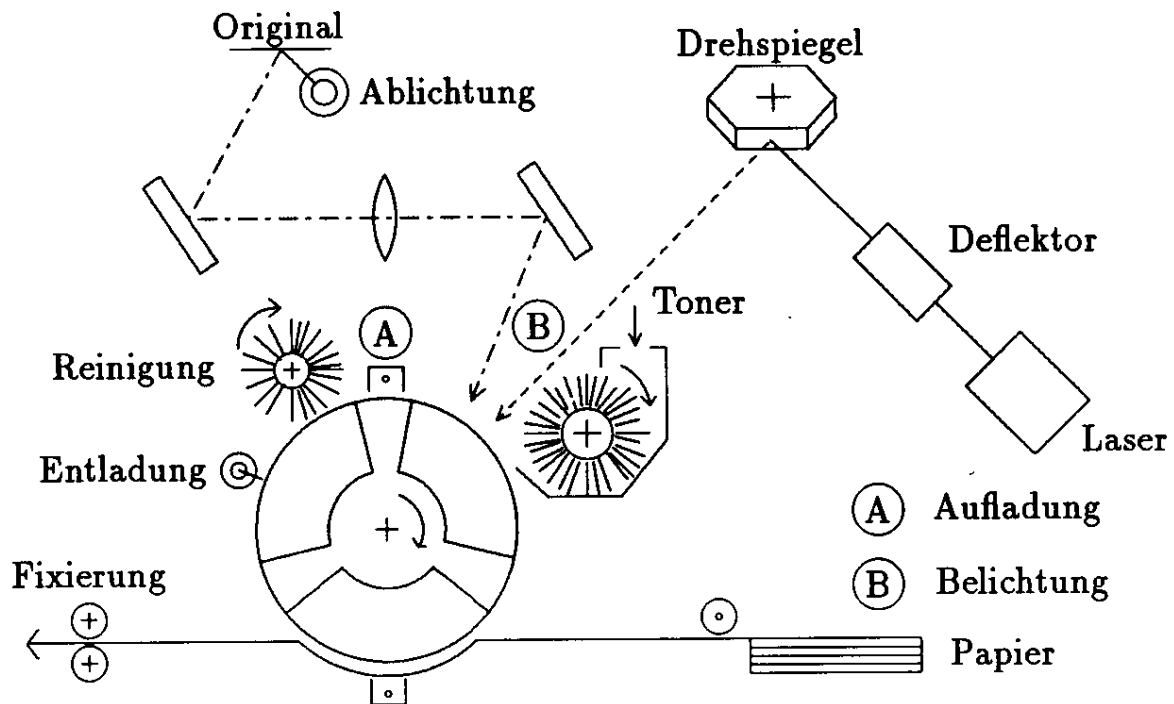
Farbdruckverfahren im EDV-Bereich:

Flüssigtintenstrahlverfahren	Auftragen von Flüssigtinten-Tröpfchen auf Normal- oder Spezialpapier. Weniger geeignet bei hoher Farbdeckung (Gefahr des Verlaufens und Sich-Wellens!). Bei Folien Trocknungszeit beachten (nur mit Spezialfolien möglich).
Festtintenverfahren	Übertragung von Festfarbe auf Papier oder Folie mit unmittelbar anschließender Wiederverfestigung. Keine hohe Qualität.
Farblaserdrucker	Elektrofotoverfahren (elektrostatisch + Erhitzung, wie beim s/w-Laserdrucker u. Kopierer) mit Laserstrahl und Farbtönen. Hochwertige Papierdrucke, aber weniger geeignet für Folien.
Thermotransferverfahren	Übertragung von Farbe aus einem Wachsfarbband auf Spezialpapier oder Transparentfolie. Liefert hochwertige Foliendrucke, aber teuer (2,50 Euro / Folie), nur noch wenig gebräuchlich.
Thermosublimationsverfahren	Übertragung verdunsteter Farbe auf Spezialpapier. Ermöglicht fotorealistische Ausdrücke, beste Qualität von allen Verfahren, aber teuer (ca. 5 Euro / Folie).

Art der Farbdarstellung hängt vom gewählten technischen Verfahren ab.

Gamut von Druckern im CIE-Farbenraum ist i.allg. noch kleiner als der von Monitoren.

Prinzip des xerographischen Druckverfahrens (Laserdrucker, Kopierer):



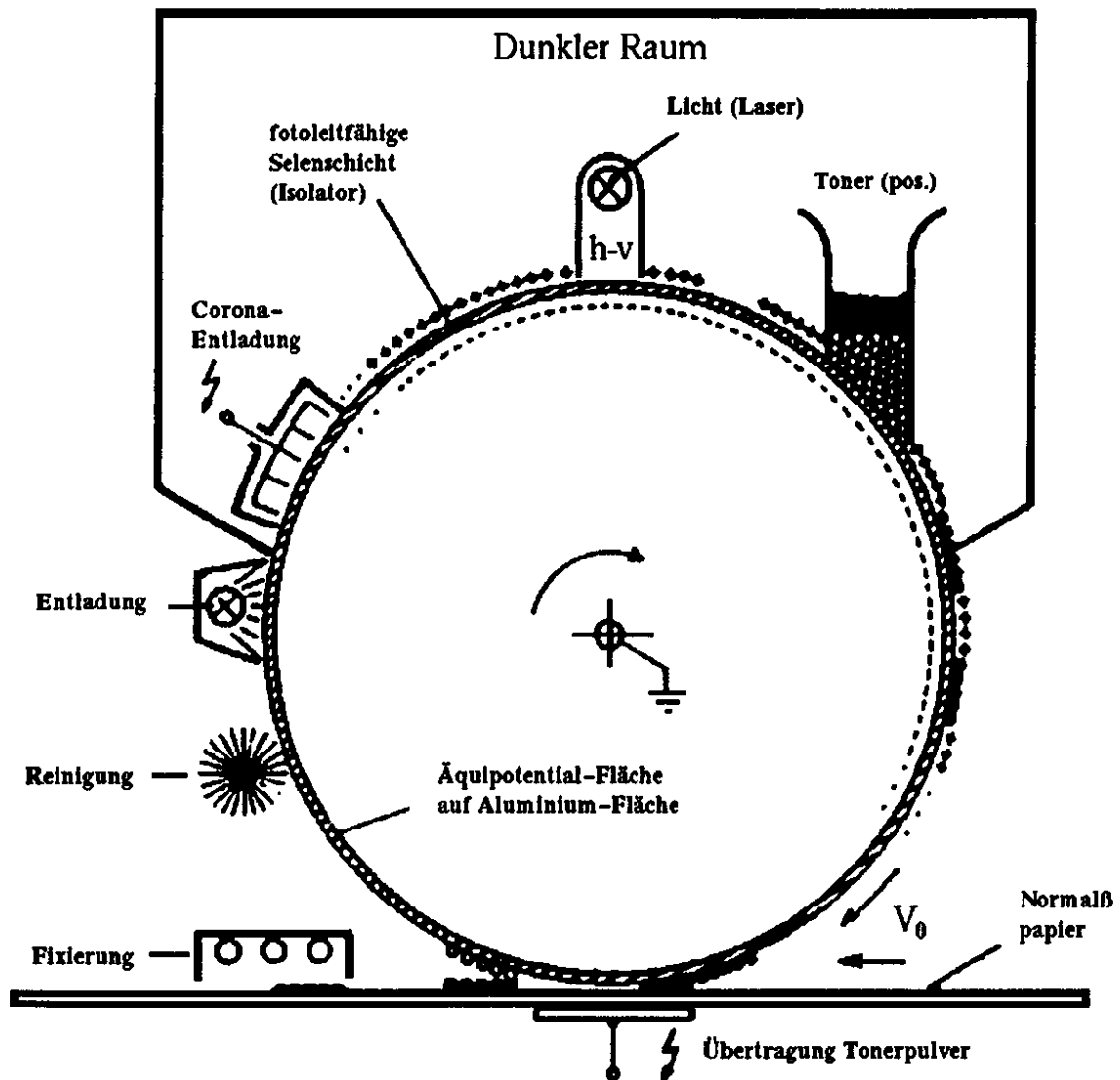
In einem Dunkelraum wird mittels einer Coronaentladung die fotoleitfähige Selschicht auf einer sich ständig drehenden Aluminiumtrommel mit einer positiven Flächenladung versehen. Dieser fotoleitfähigen Schicht, die sich im Dunkeln wie ein Isolator und im Hellen wie ein Halbleiter verhält, wird die zu druckende Information durch entspr. Belichtung mittels Laser als latentes Entladungsbild aufgeprägt, das anschließend in einer Tonerstation mit einem positiven Toner sichtbar gemacht wird. Hinter dem Toner wird dieses Bild mit dem synchron laufenden Normalpapier in Kontakt gebracht. Dabei werden die Tonerpartikel durch Anlegen eines elektrostatischen Feldes auf das Papier übertragen und anschließend durch Hitze fixiert. Vor einer erneuten Aufladung wird die fotoleitfähige Schicht von restlichen Tonerpartikeln gereinigt und entladen.

Farbdarstellung durch Kopplung mehrerer Stationen mit verschiedenfarbigen Tonern.

Laserdrucker sind Seitendrucker, denn der Druckvorgang lässt sich jeweils nur zum Seitenende stoppen.

(aus Encarnaçao et al. 1996)

realitätsnähere Darstellung:



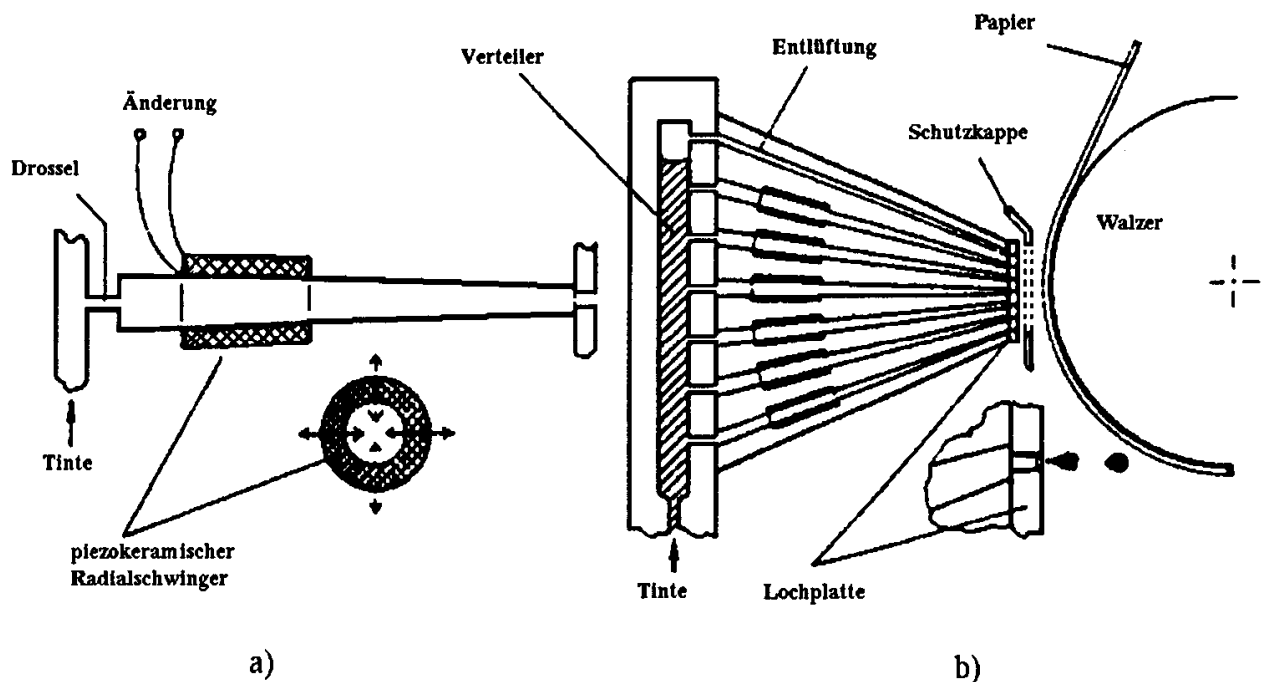
Flüssigtintenstrahlendrucker:

Das Bild entsteht durch gezieltes Spritzen von Tintentröpfchen auf Normalpapier.

- Farbdruck ist besonders einfach zu realisieren.
- Geringer Energieverbrauch.
- Verschiedene Varianten bei der Erzeugung der Tintentröpfchen.

Tintenschreibwerk nach dem Unterdruckverfahren

(a) Einzeldüse, (b) Kopf mit 2×6 Düsen:



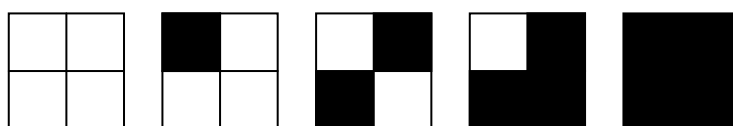
Maße für die Auflösung von Druckern: DPI, LPI und PPI

DPI = dots per inch (oft 70–100 dpi), Angabe der tatsächlichen (physikalischen) Bildpunkte pro inch Länge. Information kann irreführend sein, da ein Teil dieser Pixel für Grauwert- oder Farbwert-Matrizen verbraucht werden kann!

LPI = lines per inch, unabhängig ansteuerbare Bildzeilen pro inch (wichtiger zur Qualitätsbeurteilung eines Druckers als die dpi-Zahl!).

PPI = pixels per inch (ein Pixel kann Grauwert- oder Farbinformation enthalten und aus mehreren dots bestehen).

Beispiel: Drucker mit 10 dpi und Halbtonmatrix aus 2x2 Punkten



⇒ 5 Grauwerte sind darstellbar; 10 dpi : 2 Punkte pro Pixel = 5 ppi.

Realistisch sind 7x7- oder 8x8-Halbtonmatrizen, d.h. 600 dpi entsprechen ca. 80 ppi.

Darstellung von Farbtönen:

Tintenstrahldrucker: nur eine CMYK-Grundfarbe pro Rasterpunkt, da das Papier nicht zu feucht werden darf.

⇒ Mehr als 4 Farbpatronen bringen hier einen Vorteil!

Mischfarben durch Halbtonmatrizen (vgl. Graustufen).

Bei einem einfachen CMY-Drucker (3 Farbpatronen) gilt folgende Tabelle:

Matrixgröße	Farbenzahl
1 x 1	4
2 x 2	35
3 x 3	220
4 x 4	969
5 x 5	3 276
6 x 6	9 139
7 x 7	22 100
8 x 8	47 905
9 x 9	95 284
10 x 10	176 851

(nach Wagenführ 2001)

⇒ man braucht relativ große Matrizen, um viele Farben darstellen zu können. Der Farbraum von Druckern ist kleiner als der von Grafikdateien.

Farblaserdrucker können auf 1 Rasterpunkt die CMY-Farben mischen (jedoch nur mit jeweils voller Intensität)

⇒ Halbtonmatrix kann kleiner gewählt werden

⇒ dpi-Zahl darf für gleiche Qualität kleiner ausfallen!

Grafische Eingabegeräte

Tastatur

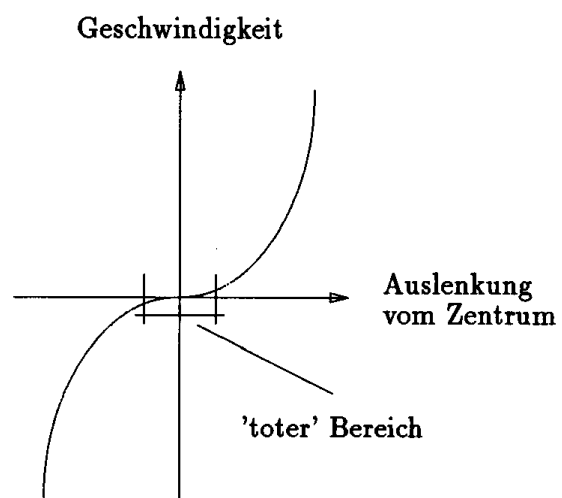
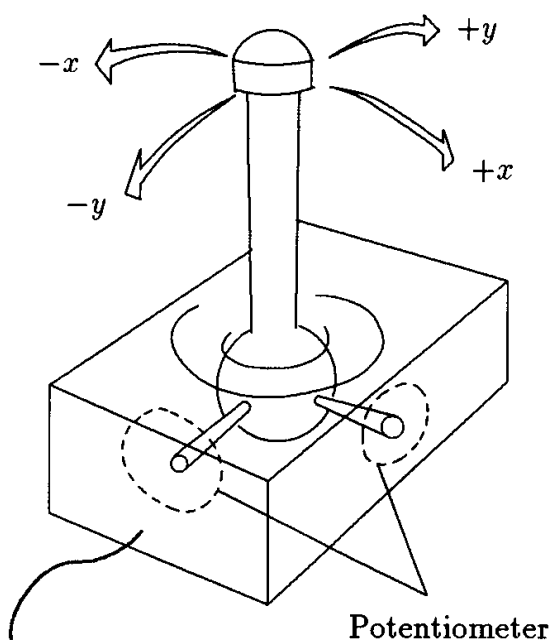
- oft Verwendung eines zusammenhängenden Tastenblocks für die Cursorsteuerung
- TAB-Taste, Shift-TAB etc. in grafischen Benutzungsoberflächen (GUI) zum Springen von einem Menüpunkt zum nächsten, von einem Menü zum nächsten...
- "Hotkeys" (Tastenkombinationen, die 1 oder mehrere Anklickvorgänge mit der Maus ersetzen) – Vorteil: schneller als Pull-down-Vorgänge mit der Maus

Paddles und Potentiometer

Eingabegeräte für Richtungs- und Positionsangaben, meist als Drehknöpfe oder Räder realisiert.

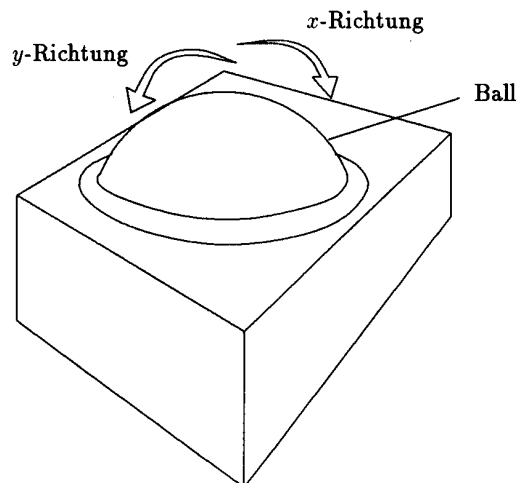
Joystick

in beliebige Richtung beweglicher Hebel; Stellung wird meist durch je ein Potentiometer und einen Analog-Digital-Wandler für die x- und y-Richtung ermittelt
oft nichtlineare Geschwindigkeitskontrolle des Cursors



Trackball

in einem Gehäuse eingeschlossene Kugel, frei drehbar, die über gekoppelte Analog-Digital-Wandler eine (relative) Bewegungsinformation ausgibt



Die Maus

2 Konstruktionsprinzipien:

- mechanische Maus
- optische Maus

mechanische Maus ähnlich wie Trackball: Kugel an der Unterseite (manchmal auch 2 orthogonale Räder), die durch die Bewegung der Maus in Drehung versetzt wird; Kugel treibt drei im 120°-Winkel versetzte Räder an, die mit Analog-Digital-Wandlern verbunden sind

optische Maus: Lichtquellen und optische Sensoren; ältere Modelle benötigen spezielle Mousepads

- zusätzlich 3 oder 2 Funktionstasten

Vorteile der Maus: billig, einfache Bedienung, geringer Interface-Aufwand

Nachteile: geringe Genauigkeit, Verschmutzung der Räder (mech. Maus), Schwierigkeit beim Nachzeichnen von Umrissen und beim freien Zeichnen

Home Row (Key Mouse)

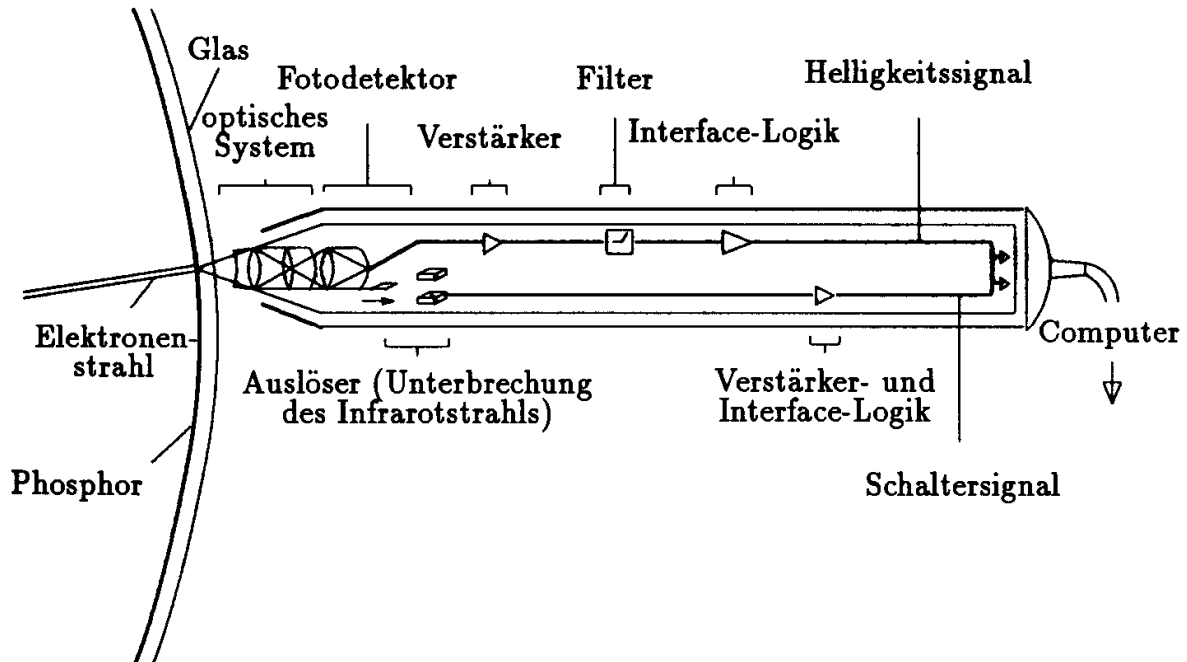
Miniaturoystick unter der J-Taste oder zwischen den Tasten einer Notebook-Tastatur

Touchpad; berührungsempfindlicher Bildschirm

- kapazitive Technik: spezielle Folie, die bei Berührung Strom ableitet; Position wird durch Elektroden bestimmt
- optische / IR-Technik: Infrarot-Lichtquellen um den Schirm, deren Licht von gegenüberliegenden Sensoren empfangen wird; Unterbrechung durch Berührung des Schirms wird registriert (Nachteil: geringe Auflösung)

Lichtgriffel (Light Pen)

Sensor registriert Bildschirmhelligkeit:



Lichtgriffel war schon "totgesagt" (Grund: Halten des Griffels vor senkrecht stehendem Bildschirm zu anstrengend!), Comeback bei Notebooks und Palmtops (verschiedene Varianten)

Grafisches Tablett (Digitalisiertablett)

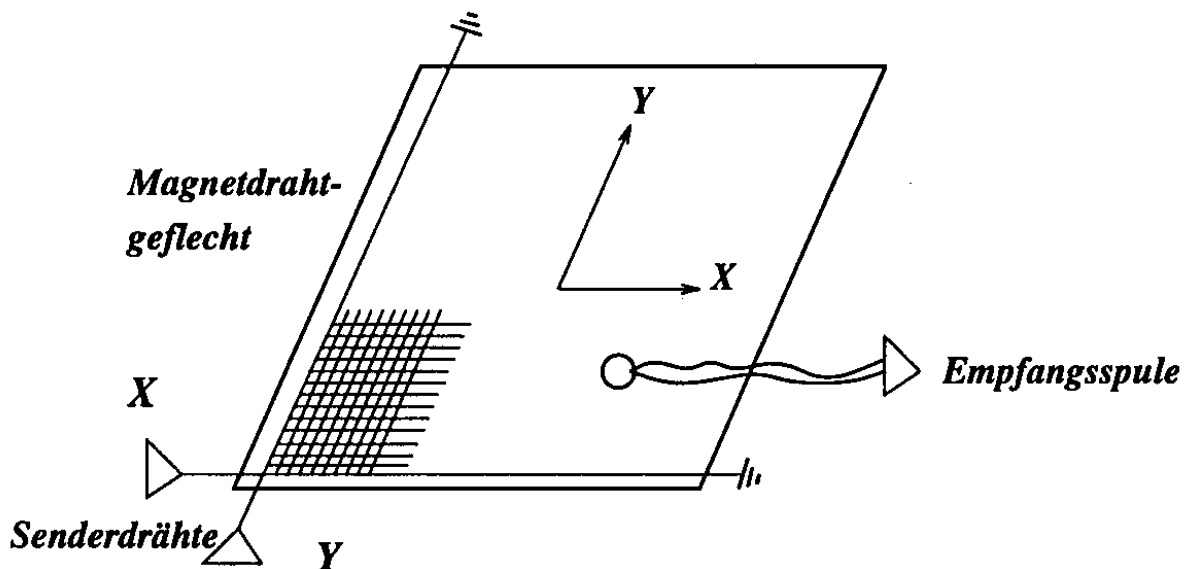
ebene Fläche, über die ein Griffel oder eine Fadenkreuzlupe bewegt wird

Verfahren zur Bestimmung der Position des Stiftes:

- akustisches Tablett: Griffel sendet Schallwellen aus, Mikrofone an den Tablettkanten ermöglichen über die Laufzeitmessung die Bestimmung der Position
- magnetostriktives Tablett:

Magnetdrahtgeflecht (Stahldrähte) unter dem Tablett
Spulen am Rand des Tablett erzeugen Magnetfeld
magnetischer Impuls erzeugt Längenänderung der Stahldrähte, die sich als mechanische Spannungswelle mit ca. 5000m/s fortpflanzt

passiert die Welle die im Stift befindliche Empfängerspule, so wird ein Spannungsimpuls erzeugt; Laufzeit u. damit Position kann errechnet werden



weitere Eingabegeräte für 2D-Bildinformationen:

- Scanner
- digitale Kameras
- Video-Digitalisierungssysteme (frame grabber)

(hier nicht weiter behandelt)

3D-Eingabegeräte:

elektromagnetischer 3D-Sensor (z.B. Polhemus 3Space Tracker, Polhemus Fastrack)

3 zueinander orthogonale Sendespulen erzeugen elektromagnetische Wellen, die von 3 Empfängerspulen im Sensor registriert werden; Intensität ist Maß für die Entfernung zu den Senderspulen

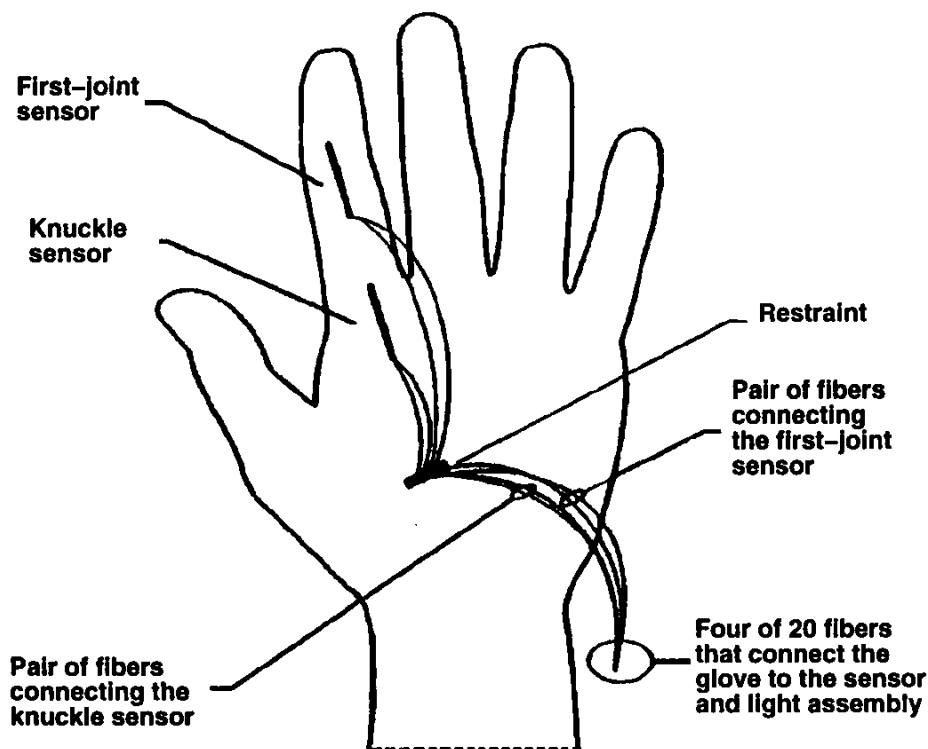
- "3D-Bleistift"
- Abtasten von 3D-Objekten

(auch Geräte mit akustischer Funktionsweise werden benutzt)

Datenhandschuh (Data Glove)

Stellung der Hand im Raum und Fingerbewegungen werden aufgenommen

- Glasfasern an "sensitiven" Stellen zeigen Lichtverlust bei Krümmung, dieser wird von Fototransistoren gemessen
- Kombination mit elektromagn. 3D-Sensor zur Messung der Position der Hand im Raum



Logische Klassifizierung der Eingabegeräte

Zu Standardisierungszwecken werden Eingabegeräte nach der Art der gelieferten Daten und nach der Arbeitsweise in 6 logische Eingabeklassen unterteilt (Bezeichnungen nach GKS):

Lokalisierer (*Locator*): liefert eine Position (Koordinatenpaar)

Liniengeber (*Stroke*): liefert eine Folge von Positionen

Wertgeber (*Valuator*): liefert einen skalaren Wert (reelle Zahl)

Auswähler (*Choice*): liefert die Auswahl aus einer Anzahl von Möglichkeiten (nichtnegative ganze Zahl)

Picker (*Pick*): liefert die Auswahl aus am Schirm dargestellten und selektierbaren Bildelementen (zur Objektidentifikation)

Textgeber (*String*): liefert eine Zeichenkette (String).

Dabei kann ein konkretes, physikalisches Gerät mehrere Funktionen haben, durch die es mehreren logischen Klassen angehört.

Zuordnung einiger physikalischer Geräte zu den Klassen:

logische Eingabeklasse:	typische Vertreter:
Locator	Tablett, Maus, Joystick, Trackball, Thumb Wheels, Tastatur mit Cursor-Tasten
Stroke	Tablett, Maus, eventuell Joystick
Valuator	Paddles, Thumb Wheels, eventuell Tastatur
Choice	Berührungsempfindlicher Schirm, Lichtgriffel, Tablett, Maus, Tastatur, Joystick
Pick	Tablett, Maus, Lichtgriffel, Joystick
String	Tastatur

(aus Fellner 1992)