

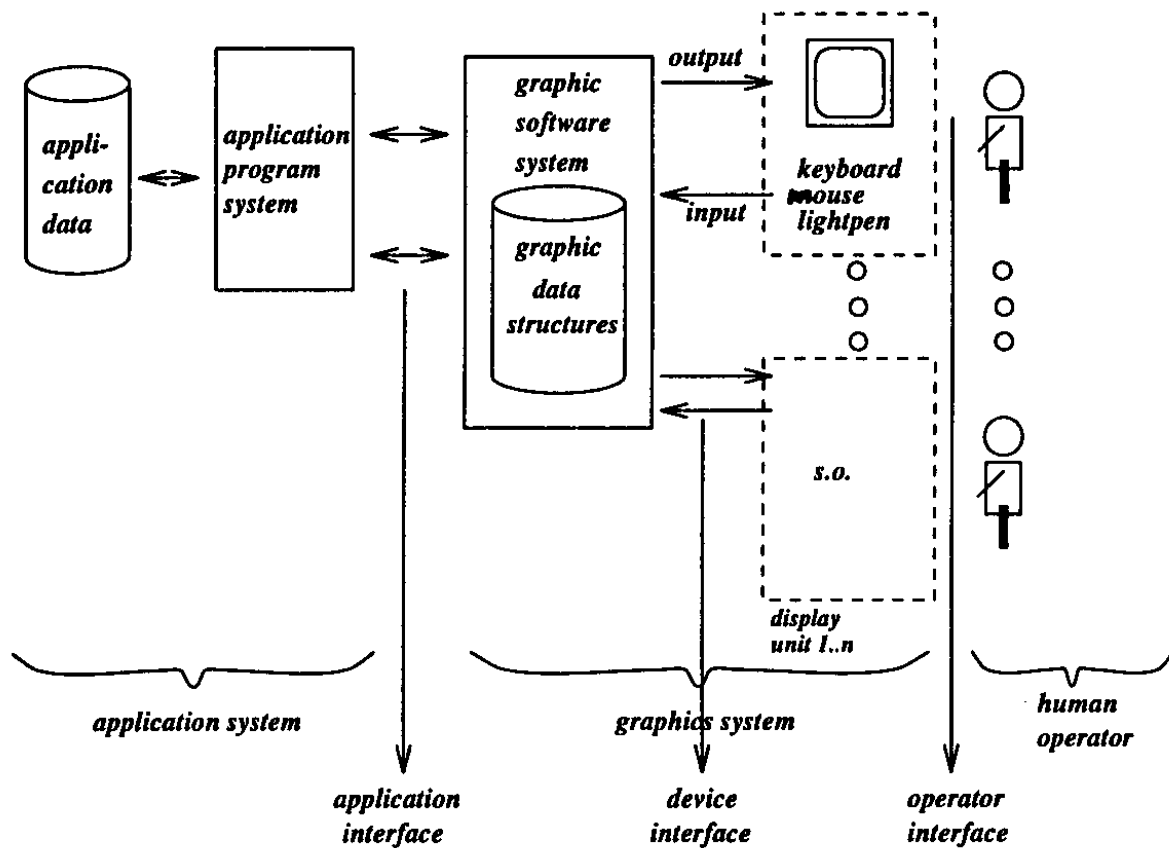
3. Grafische Hardware

Grafische Systeme

Grundkomponenten eines grafischen Systems:

- Anwendungssystem (z.B. Modellierungssystem, CAD-System, GIS etc.)
- Grafiksystem im engeren Sinne
- grafische Peripherie (grafische Ein- und Ausgabegeräte)

Basiskonfiguration:



Auswahlkriterien:

- Art der Anwendung (Darstellen, Zeichnen, Entwerfen...)
- technische Aspekte (2D/3D, Interaktion, Sprachanbindung...)
- Geräteparameter (Auflösung, Geschwindigkeit, Farbqualität, Größe des Ausgabemediums, vorhandene Schnittstellen...)

Spezifikum grafischer EDV-Systeme:
Verarbeitung von grafischen Daten bzw. "Bildern"
wie werden Bilder repräsentiert?

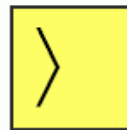
kontinuierliches Bild (Bildfunktionen)

- ◆ diskretisieren (abtasten)

(Ortskoordinaten)

- ◆ quantisieren

(Signalamplitude)

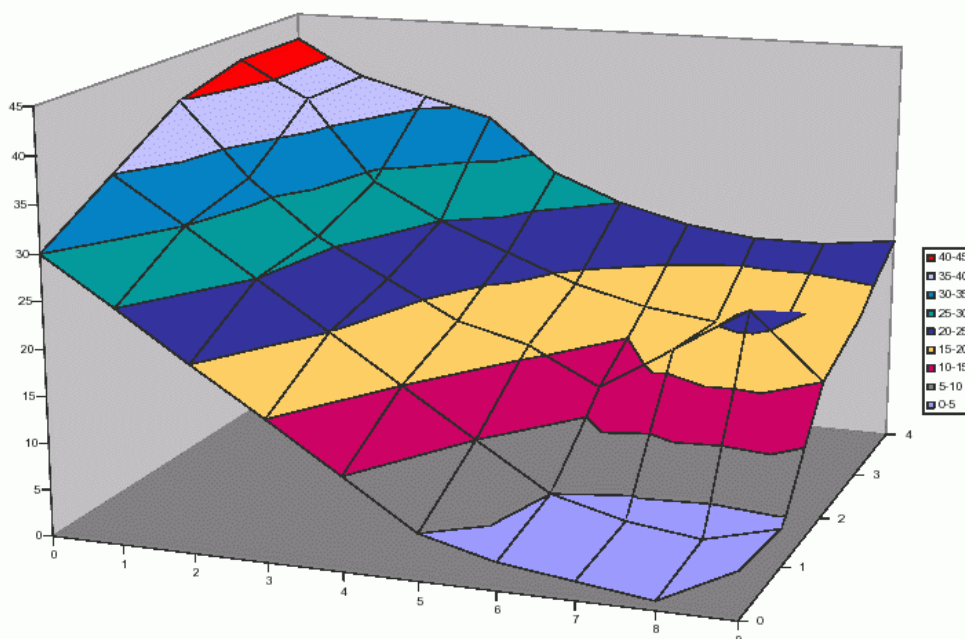


**DIGITALES
BILD**

- ◆ Sonderfall: analoges Videosignal

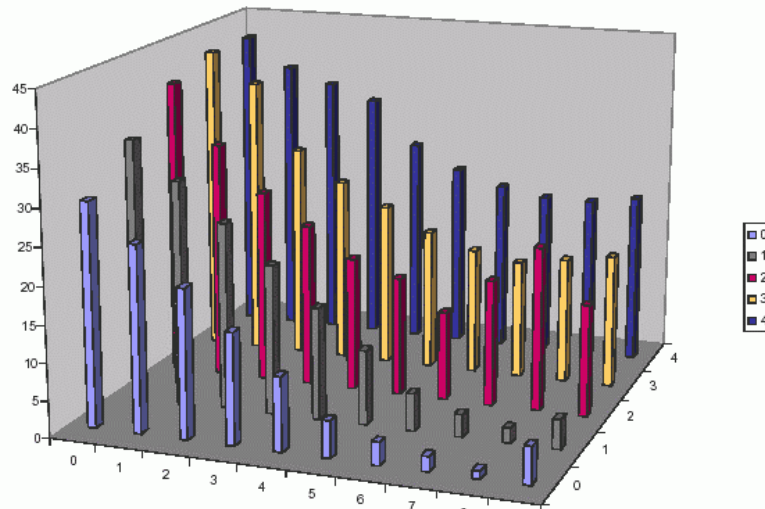
Nur vertikal abgetastet; horizontal nur gewandelt

Beispiel: kontinuierliche Bildfunktion



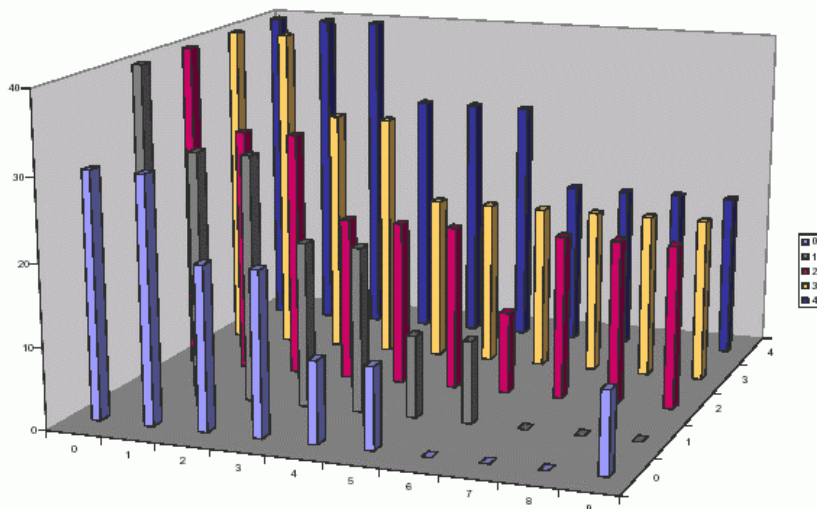
(aus Krömker 2001)

Beispiel: diskretes Bild



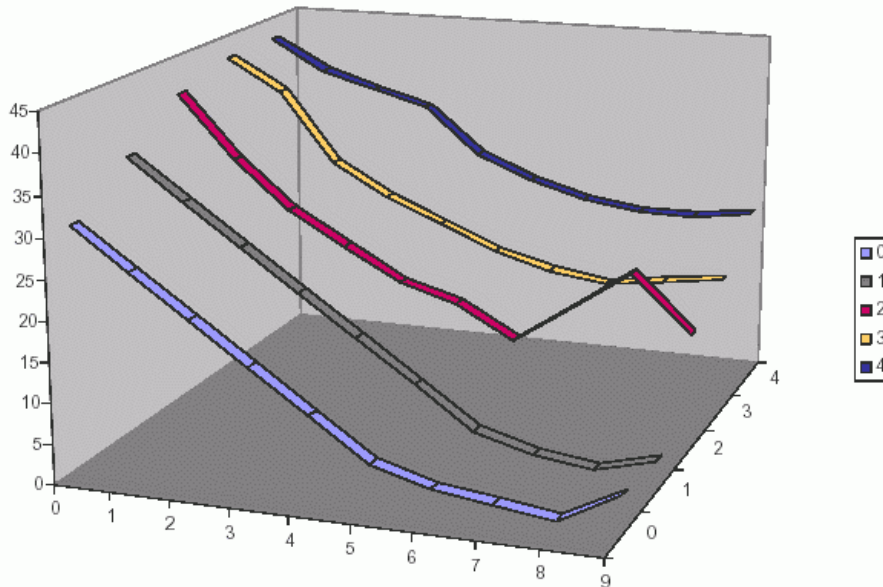
	0	1	2	3	4
0	30	35	40	42	42
1	25	30	32	38	38
2	20	25	26	29	36
3	15	20	22	25	34
4	10	15	18	22	28
5	5	10	16	19	25

Beispiel: quantisiertes diskretes Bild Rasterbild



	0	1	2	3	4
0	30	40	40	40	40
1	30	30	30	40	40
2	20	30	30	30	40
3	20	20	20	30	30
4	10	20	20	20	30

Noch ein Beispiel: Analogvideo



horizontal: kontinuierlich - analog
vertikal: diskret - Zeilen






Weitere Bildmodellierungen

- ◆ funktionales Bildmodell -- lineare Systeme
 - kontinuierlich -- diskret -- quantisiert
 - Ortsbereich -- Frequenzbereich z.B.
 - ◆ Fouriertransformation
 - ◆ Cosinustransformation
- ◆ alternative Beschreibungsformen sind:
 - fraktale Bildmodelle -- nichtlineare Systeme
 - statistische Bildmodelle
- ◆ Erweiterung: Volumenbilder

$$V = f(x, y, z) \quad \square \square \text{Volumenrendering} \quad \square \quad G = f(x, y)$$

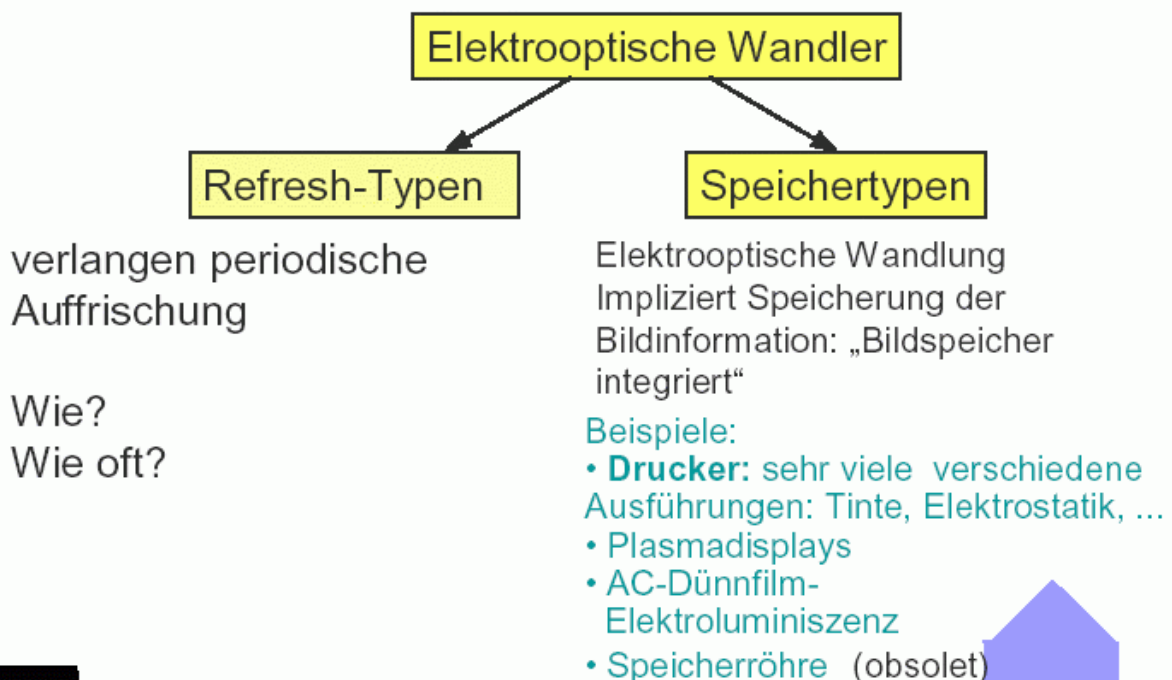
zu Speicher- und Austauschformaten, Kompression und Codierung: siehe Kapitel 4.

Bildrepräsentationen in Arbeitsplatzsystemen (Workstations) oder PCs

statische Modelle		dynamische Modelle	◆ Symbolisch
Graphik		Animation	◆ Geometrie & Merkmal
Digitales Bild		Digital-video	◆ Diskret, Quantisiert
			◆ Elektrisch (optisch)
			◆ Optisch

Grafische Ausgabe

2. Anzeigesysteme elektrooptische Wandler



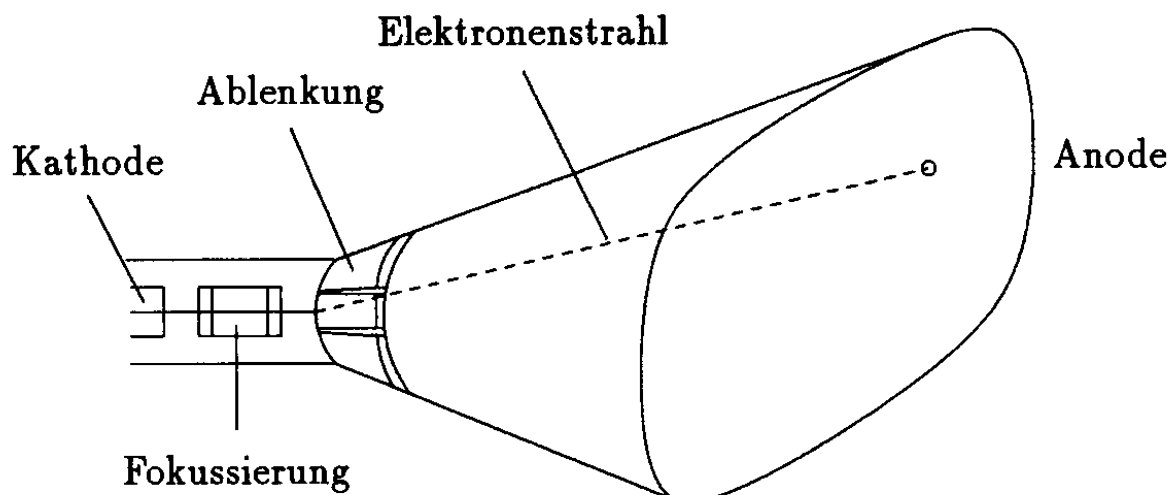
Sichtgeräte (*Displays*)

Die Kathodenstrahlröhre (*cathode ray tube*, CRT)

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

Aufbau: Hochvakuumröhre mit

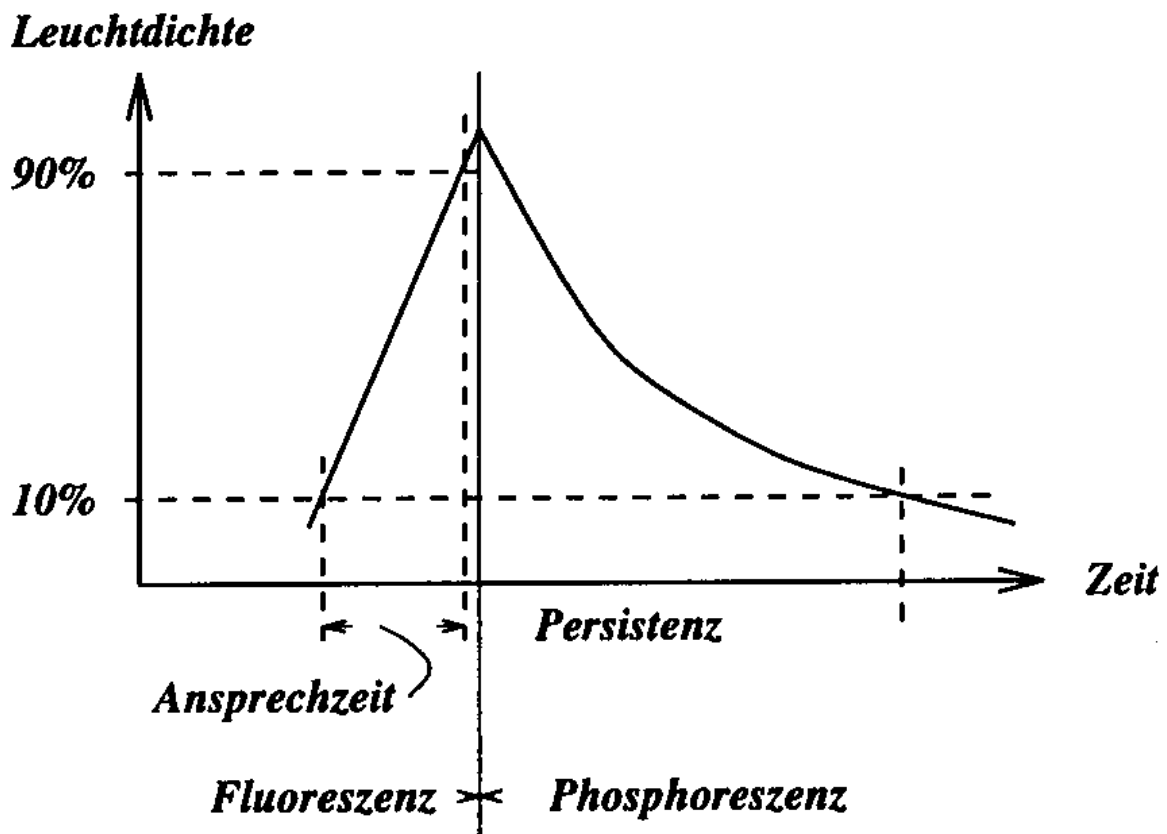
- Strahlerzeugung (beheizte Kathode = Elektronenquelle, mit Steuergitter zur Regelung der Stärke des Strahls)
- Fokussierung (magnetisches oder elektrostatisches System mit "Linsenfunktion" auf den Elektronenstrahl)
- Beschleunigung durch 1 oder mehrere Anoden, meist im Bereich der Fokussierung – Strahl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

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

- große Bildwiederholfrequ. und kurze Nachleuchtdauer \Rightarrow wenig Zeit für Aufbau jedes einzelnen Bildes
- kleine Bildwiederholfrequ. und lange Nachleuchtdauer \Rightarrow Schlierenbildung bei bewegten Objekten, "Geisterbilder"

Wichtige Leistungsparameter eines CRT-Monitors

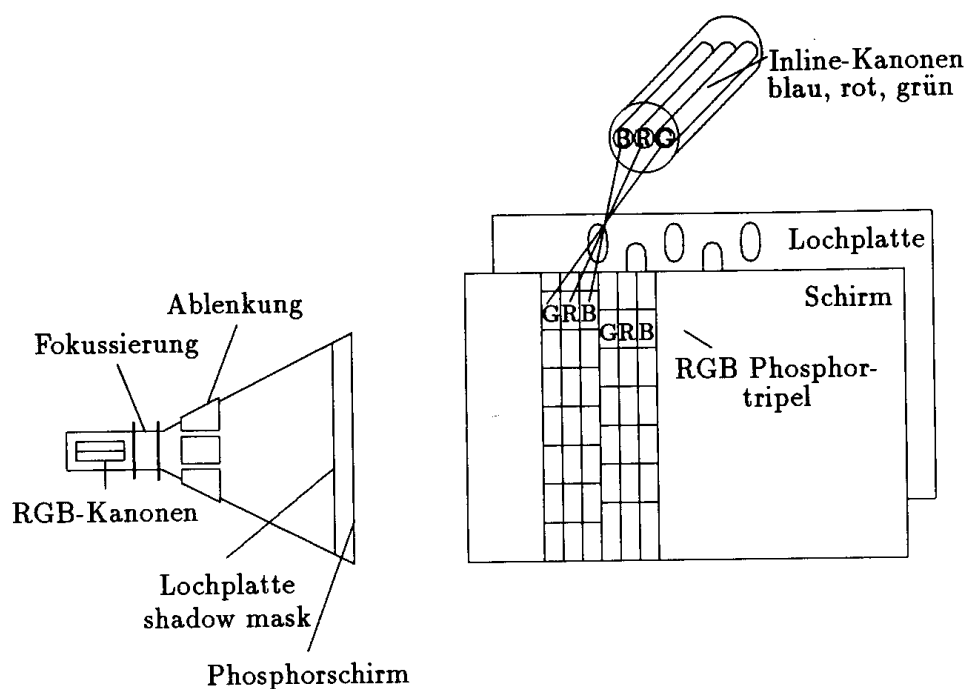
- ◆ Bildgröße: Diagonale meistens in inch
- ◆ Bildseitenverhältnis (aspect ratio):
4:3 oder 5:4 oder 16:9
- ◆ pel Abstand 0,15 ... 0,40 mm
- ◆ Videobandbreite
- ◆ Min. und Max. Horizontalfrequenz
- ◆ Min. und Max. Vertikalfrequenz

Farbdisplay:

Lochmaskenröhre (*Shadow mask color CRT*)

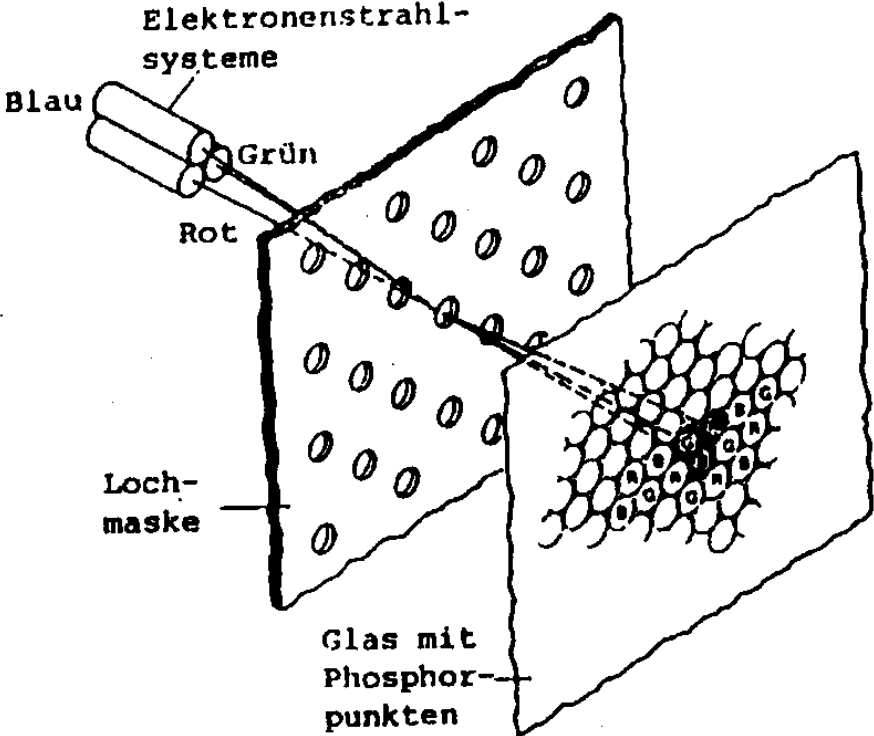
3 Kathoden

- 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

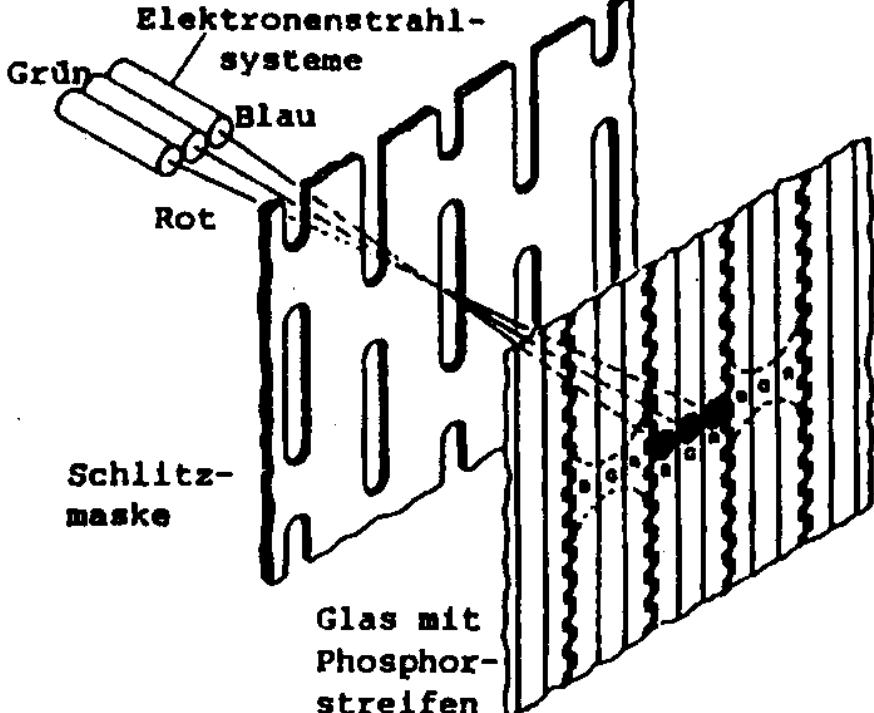


verschiedene Anordnungen der Strahlerzeugungssysteme:

Delta-Anordnung



Inline-Anordnung



- Inline-Anordnung ermöglicht einfachere Schaltung zur Sicherstellung der Konvergenz der Strahlen an der Maske
- Delta-Anordnung ermöglicht höhere Auflösung
- Konvergenz der 3 Strahlen in den Randzonen der Bildschirmfläche oft unbefriedigend

Vor- und Nachteile der Kathodenstrahlröhre:

- + **hohe Auflösung**
- + **einfache Adressierung kalligraphisch (x, y) und Zeilendarstellung möglich**
- + **volle Farbtüchtigkeit**
- + **niedriger Preis bei hoher Zuverlässigkeit.**
- **schwer und sperrig**
- **hohe Leistungsaufnahme (ca. 80 W)**
- **flimmert**
- **geometrische Verzerrungen**
- **Analogtechnik**
- **Röntgenstrahlung**

CRT ist immer noch sehr bedeutendes Anzeigensystem

Jedes neue Anzeigesystem muß sich an der ausgereiften Entwicklung der CRT messen lassen, die mit allen Vorteilen einer vollständig beherrschten Technologie eingesetzt wird.

Aktive Flüssigkristallanzeigen (liquid crystal displays) LCDs gewinnen an Bedeutung

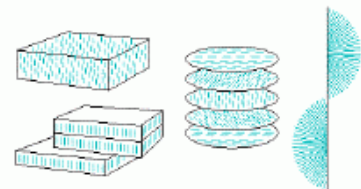
2.2. Flüssigkristallanzeigen (LCD) (Liquid Crystal Display), seit 1970 in Bildanzeigesysteme eingesetzt

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

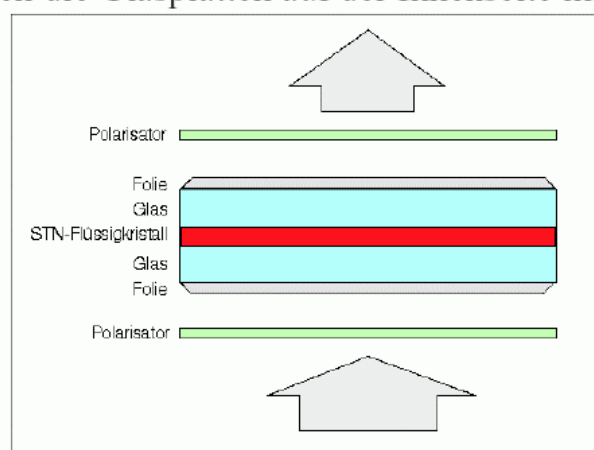


Aufbau/Funktionsweise

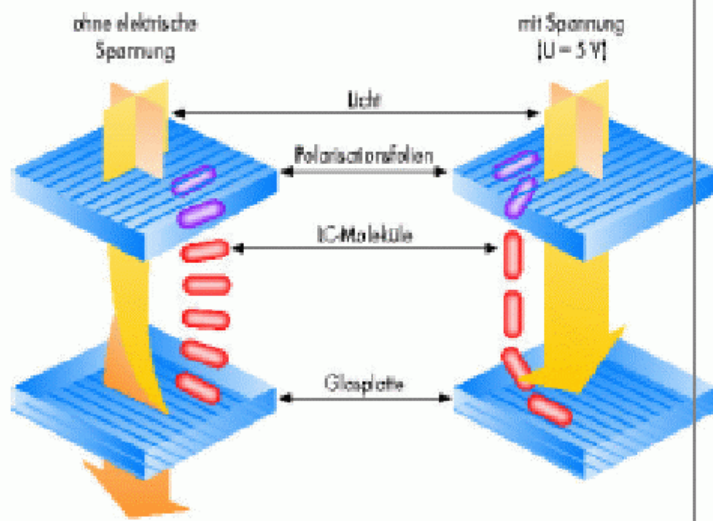
Verdrillter nematischer Flüssigkristall (twisted nematic cells)

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.

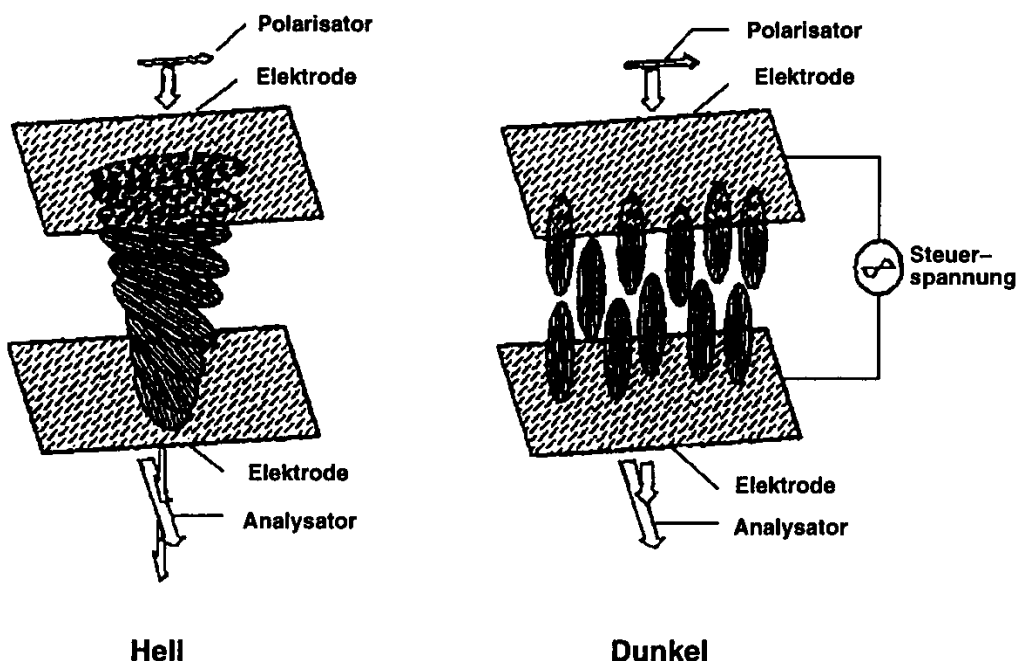


(aus Krömker 2001)

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

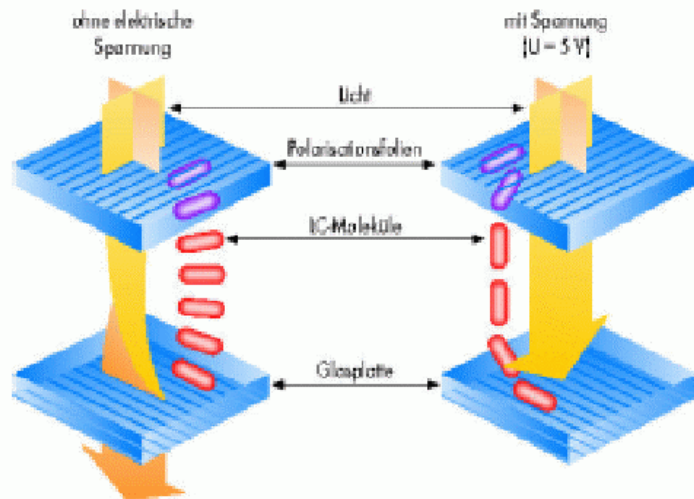
Bei Anlegen eines elektr. Feldes werden die Molekülachsen aus ihrer Ruhelage gedreht \Rightarrow Polarisationssebene wird nicht mehr verändert \Rightarrow Analysator wirkt stark absorbierend, Flüssigkristallzelle wirkt lichtundurchlässig.

Max. erreichbares Kontrastverhältnis zwischen beiden Schaltzuständen: ca. 50:1.



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.

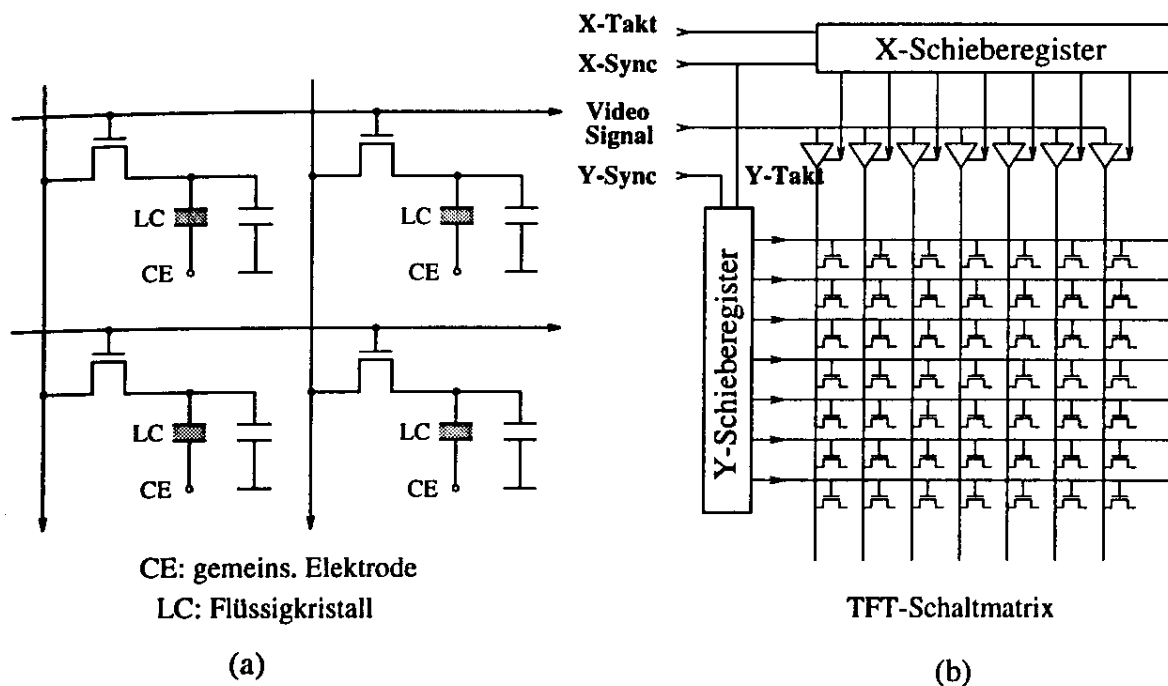
Herstellung des Arrays mit Ätztechniken und Fotolithografie. Der Transistor wird klein in der Ecke des Pixels positioniert, um möglichst wenig Licht wegzunehmen.

Ansteuerung der Zeilen und Spalten:

Die Zeilenelektroden sind mit dem Gate des Transistors verbunden. Liegt dort Spannung an, schaltet der Transistor seine anderen beiden Anschlüsse (Source und Drain) mit niedrigem Widerstand durch. Nur der Drain-Anschluss ist mit der ITO-Schicht verbunden (Bildpunktelektrode).

Alle Gate-Anschlüsse der TFTs einer Reihe sind an derselben Zeilenleitung angeschlossen, dadurch werden alle TFT-Schalter einer Zeile gleichzeitig geöffnet und somit alle Pixel einer Zeile gleichzeitig aufgeladen. An den Spaltenleitungen liegt die Bildinformation als Spannungssignal an. Für die Ansteuerung des Displays geben Zeilentreiber jeweils eine Zeile frei, während Spaltentreiber für unterschiedliche Spannung sorgen.

Ein Panel-Timing-Controller synchronisiert die vertikale und horizontale Ansteuerung.



(a): TFT-Matrix,
(b): Matrixansteuerung

(aus Encarnaçao et al. 1996)

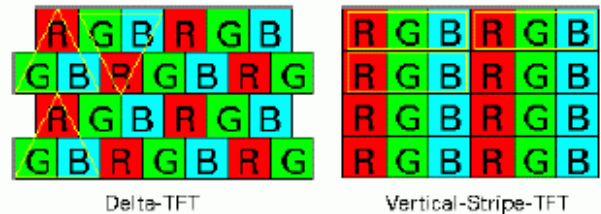
Farben

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

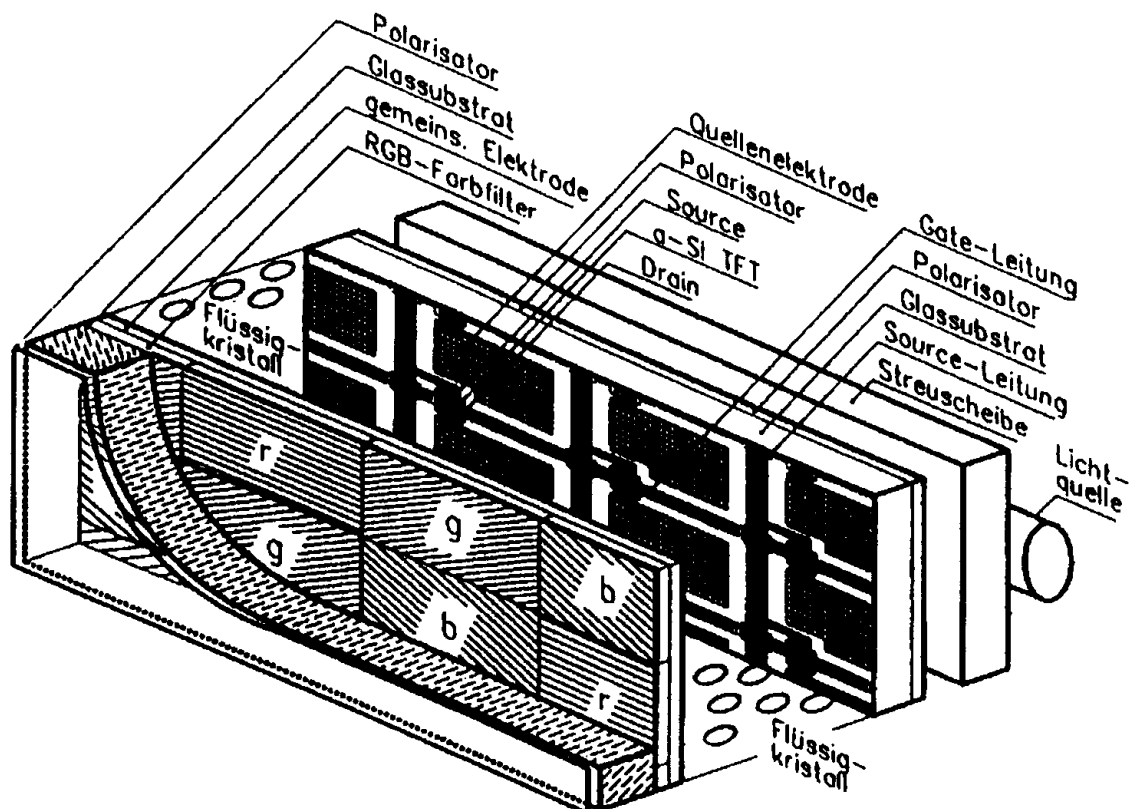
Das Leuchtmittel selbst ist eine schmale **Leuchtstofflampe**, die neben etwas sichtbarem Licht vor allem ein UV-Spektrum liefert. Erst die Beschichtung an der Innenseite der

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 flacher **Lichtleiter plus Diffuser-Scheibe** verteilt das Licht der dünnen Leuchtstofflampe (dünne Röhre oben) an der Seite des Displays gleichmäßig über die gesamte Fläche.

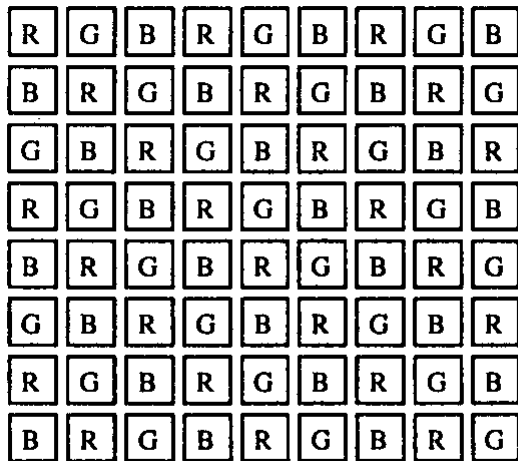
Desktop-Displays sind mit bis zu vier Röhren bestückt, an jeder Seite eine. Notebook-Displays begnügen sich dagegen i.d.R. mit zwei.



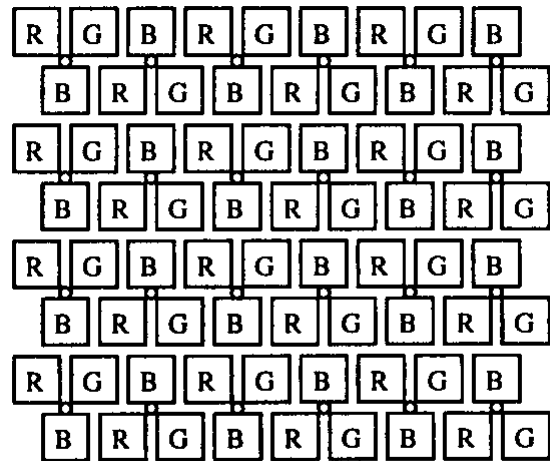
Aufbau einer LC-Anzeige:



Zellenanordnungen bei Farb-LCDs:



(a)



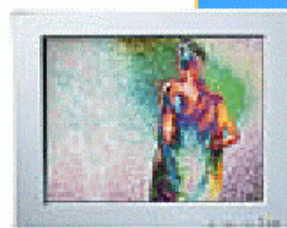
(b)

(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

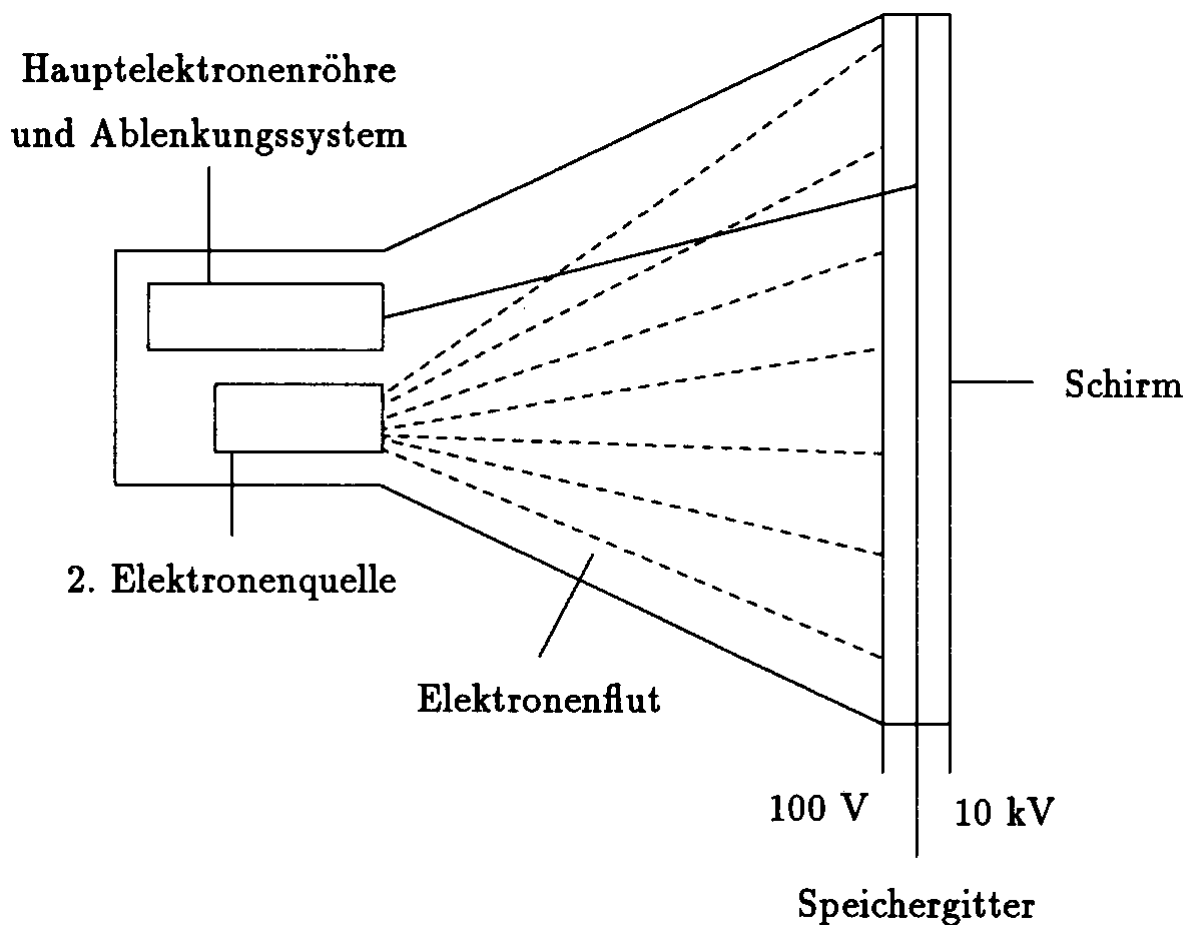


Weitere Typen von Sichtgeräten:

Speicherbildschirm (*Direct View Storage Tube, DVST*)

Elektronenstrahlröhre mit extrem langer Nachleuchtdauer, bewirkt durch ein direkt unter der Phosphorschicht liegendes Gitter

Elektronenstrahl aus Haupt-Röhre erzeugt positive Ladung auf Speichergitter, Elektronen der 2. Quelle können dann dort durchdringen und den Phosphorschirm zum Leuchten anregen



Vorteile: Flimmerfreies Bild, relativ wenig aufwändig

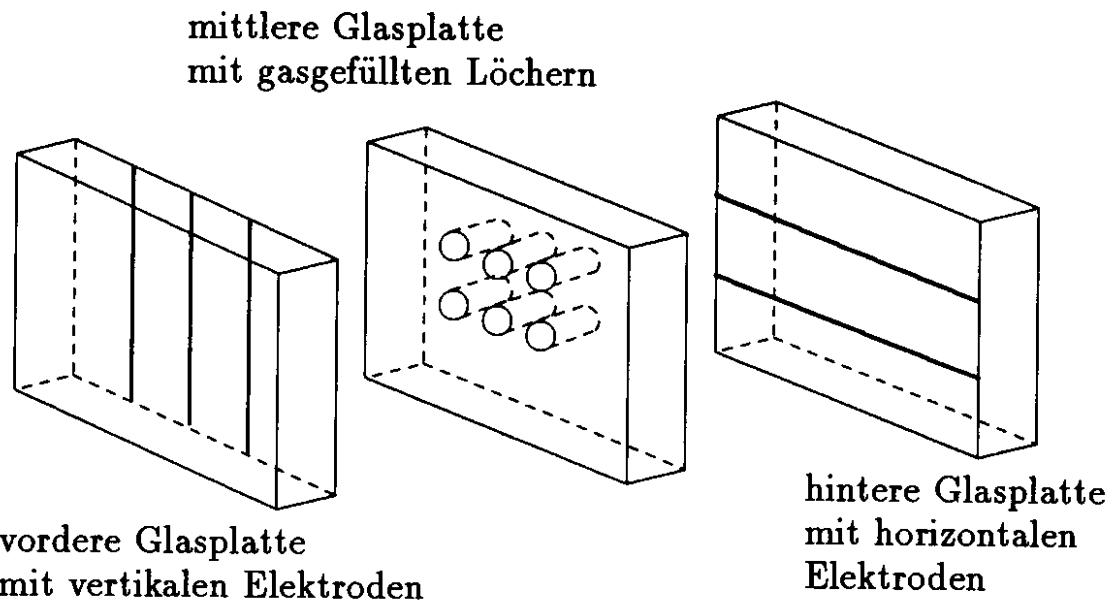
Nachteile: kein selektives Löschen von Bildteilen möglich;

Gefahr des "Einbrennens" von Bildern in die Phosphorschicht

- Speicherbildschirme werden nur noch selten benutzt

Plasmabildschirm (*Plasma Panel*)

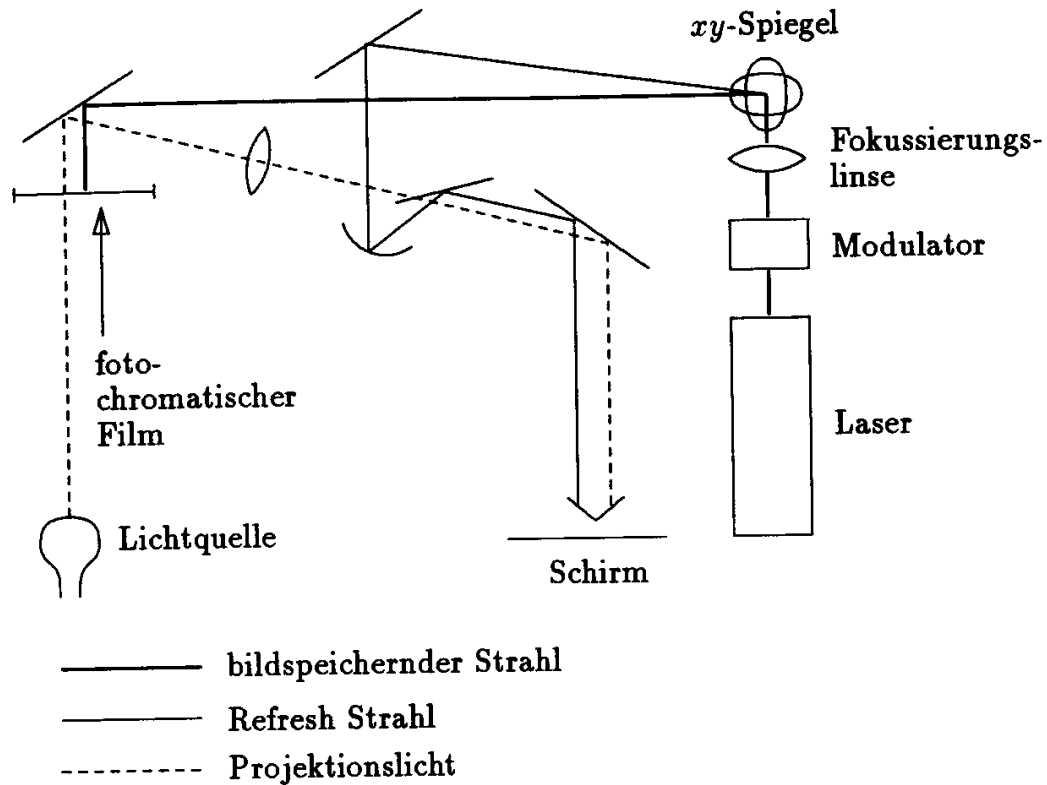
beruht auf dem Prinzip der Leuchtstoffröhre
zwischen 2 durchsichtigen Platten mit Elektroden sind Zellen
mit Neongas angebracht, die durch Spannung zum Leuchten
gebracht werden



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

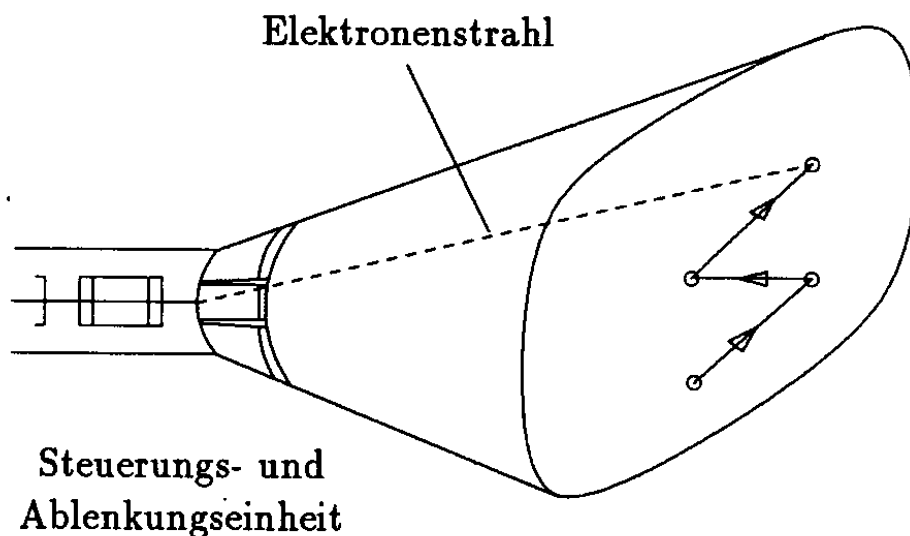
Laser-Scan Displays

Laser schreibt auf ein Filmmedium, die dadurch entstandene
Spur wird durch eine weitere Lichtquelle auf einen Großschirm
projiziert



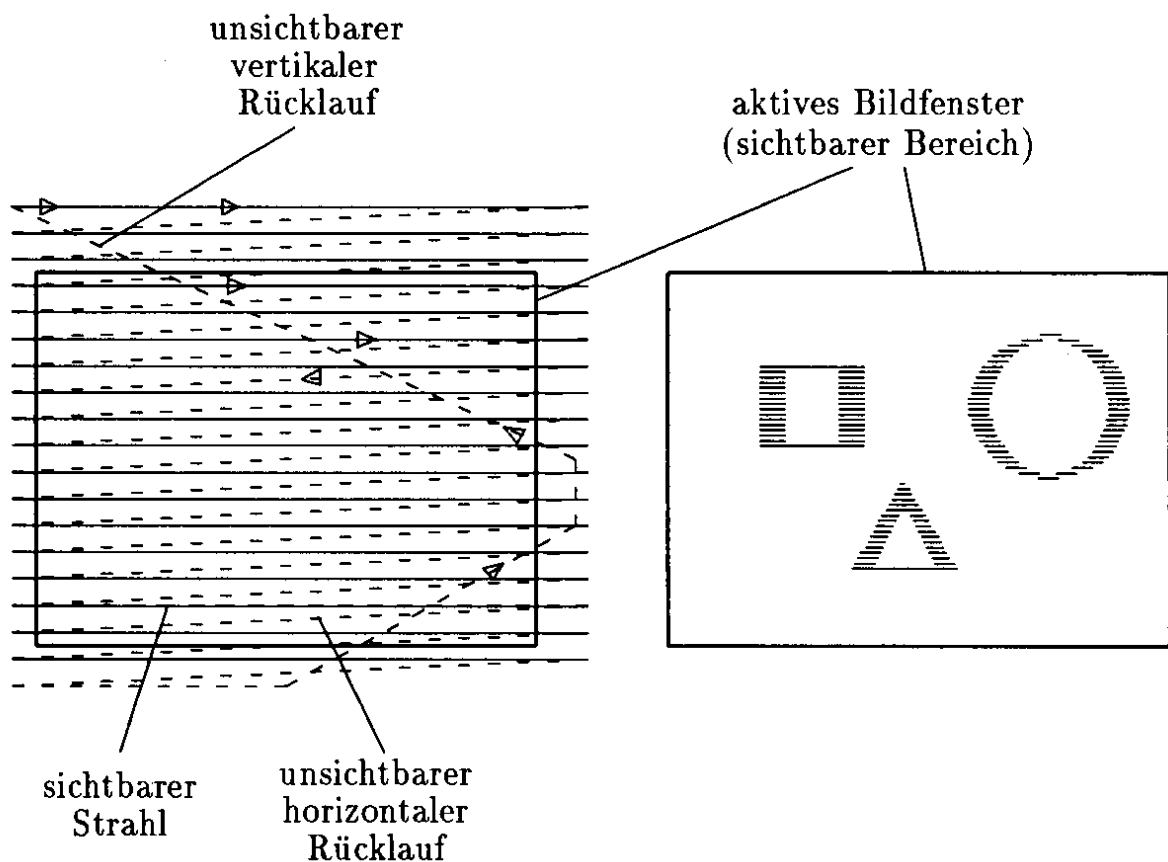
Vektorbildschirme (*Random Scan System*)

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



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

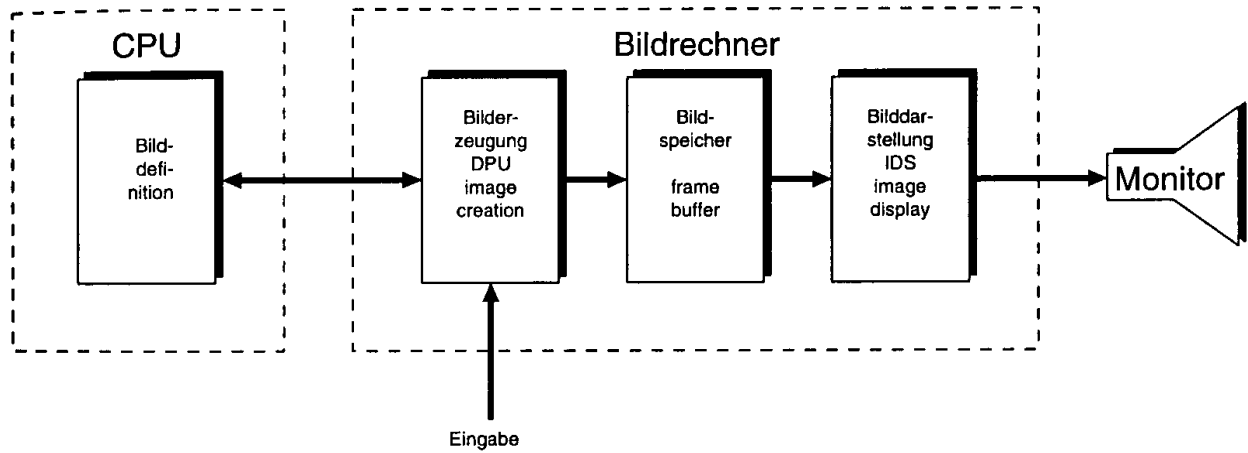
- Refresh verläuft zeilenweise von oben nach unten
- eigentliche Bildinformation liegt Pixel für Pixel in einem eigenen Speicher (Bildwiederholtspeicher, frame buffer, refresh buffer)
- Strahl wird horizontal und zeilenweise über den Bildschirm bewegt



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

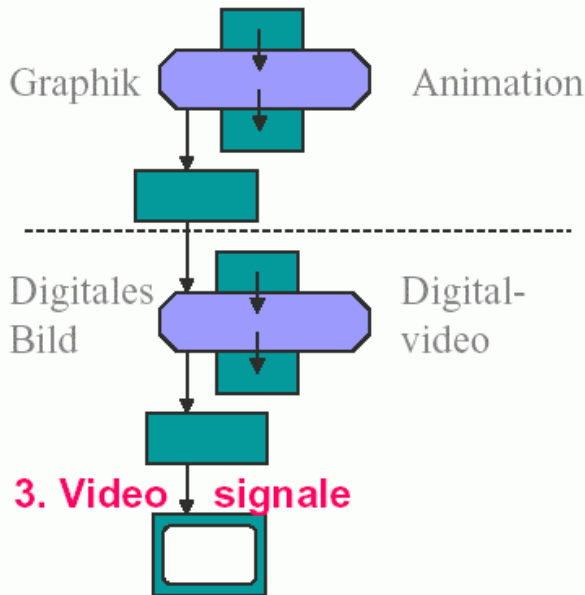
- hohe Qualität bei niedrigen Kosten möglich
- volle Farbtüchtigkeit, Flächendarstellung
- (weitgehende) Fernsehkompatibilität
- interaktive Grafik und Bildverarbeitung können mit einem System durchgeführt werden
- Komplexität flimmerfrei darstellbarer Bilder ist nicht begrenzt

Hauptkomponenten eines Rasterdisplays:



die Endstufe:

3. Videosignale



Verbindung zwischen Graphiksubsystem und Monitor

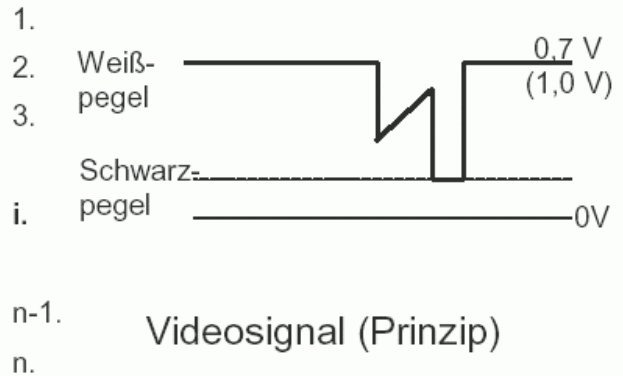
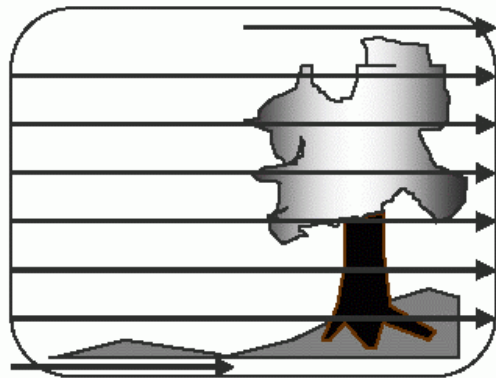
◆ **digital**

oder

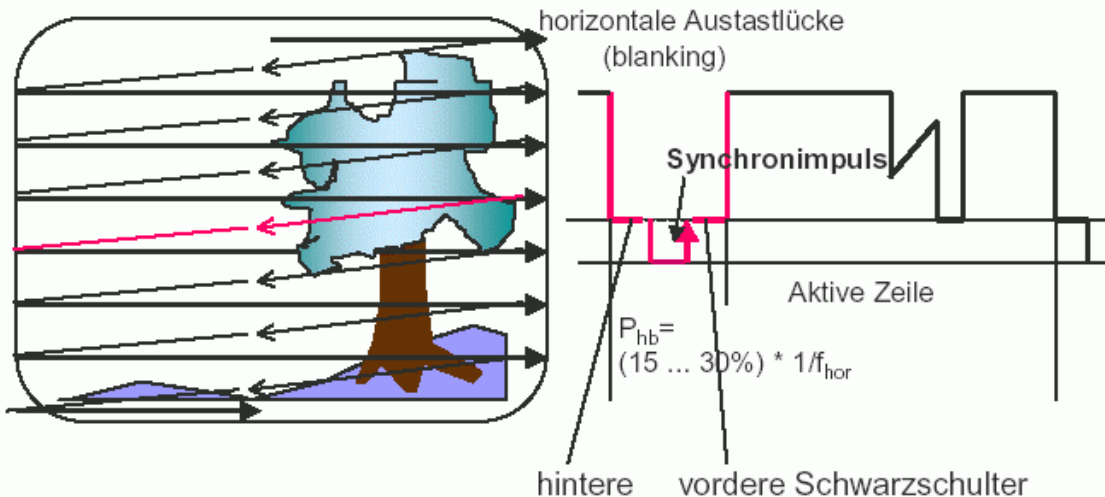
◆ **analog** (heute meist noch)

Timing orientiert sich weitgehend an Anforderungen der CRT

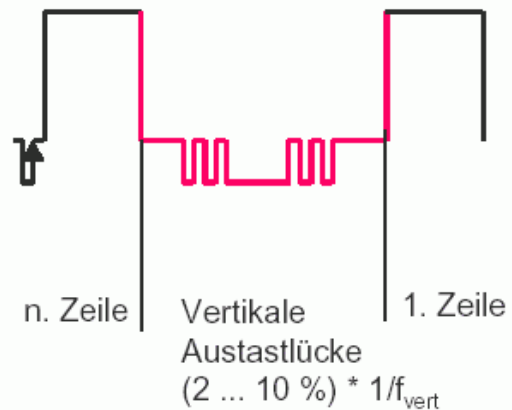
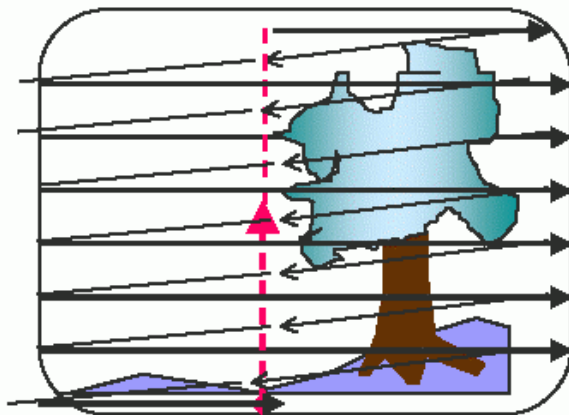
Prinzip Videosignal einer Komponente der i-ten Zeile



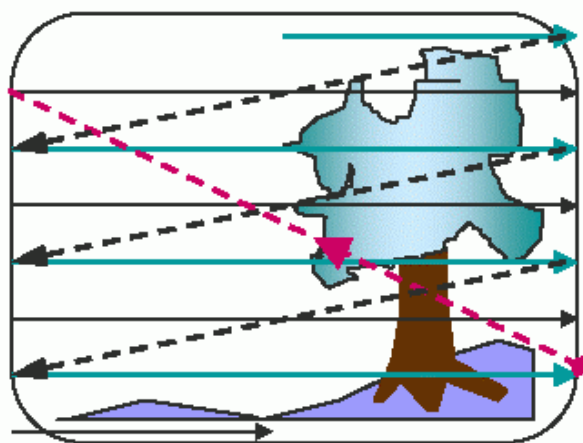
Strahlrücklauf horizontal BAS: Bildsignal mit Austastlücke und Synchronsignal



Strahlrücklauf vertikal und zugehöriges Videosignal (Prinzip)



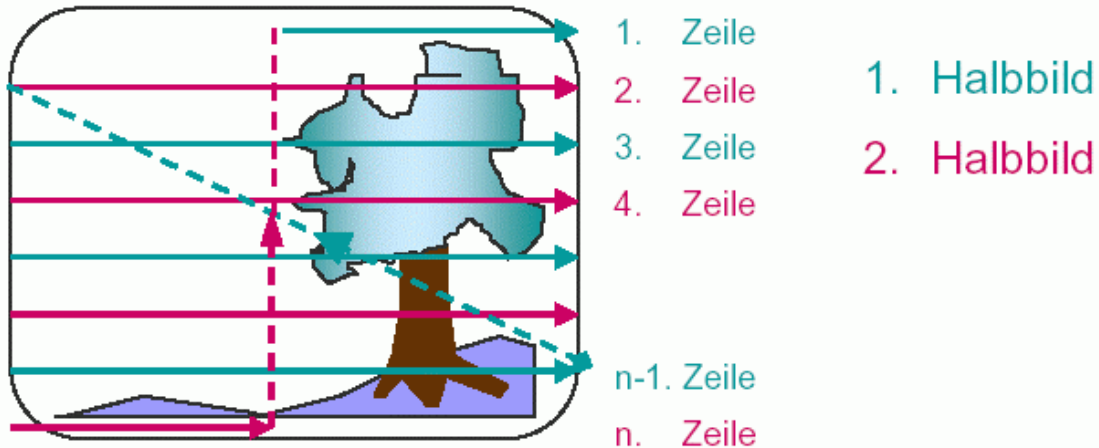
Variante: Zwischenzeilenverfahren des Standardfersehens (interlace scanning) genau 1:2



1. Zeile
2. Zeile
3. Zeile
n-1. Zeile
n. Zeile

1. Halbbild

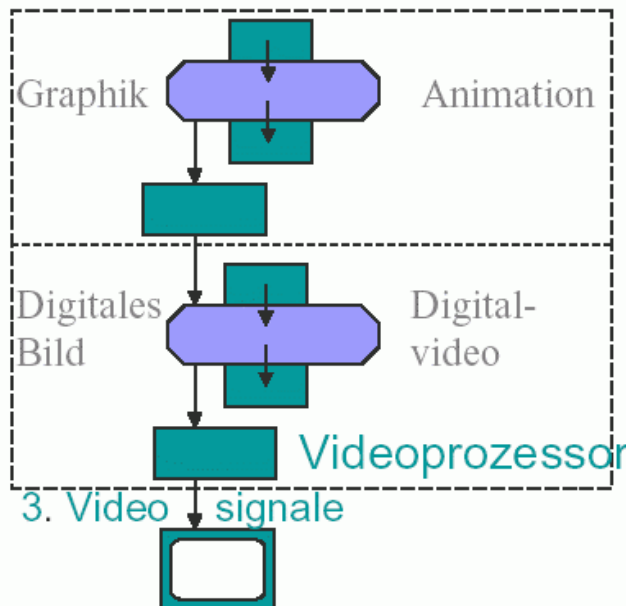
Das Zwischenzeilenverfahren des Standardfernsehens (interlace scanning) genau 1:2



Grund:

- + Halbierung der Bildwiederholfrequenz (Übertragungsbandbreite) und gleichzeitige Erfüllung der Refreshbedingungen
- Zwischenzeilenbewegung (interline motion)
- ☒ Zeilenflimmern bei horizontalen Linien

4. Der Videoprocessor



Grundaufgaben:

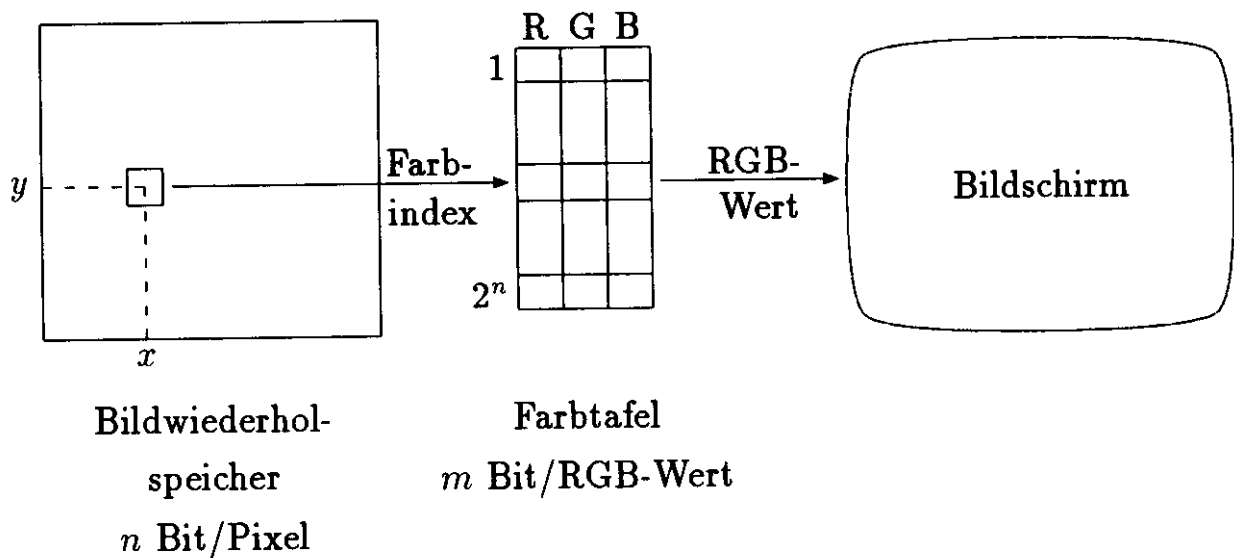
- Im Bildrefreshzyklus
- ◆ Auslesen des Bildes aus dem Bildspeicher
- ◆ Serialisieren des Datenstroms (optional Auslesen der CLUT) (DA-Wandlung)
- ◆ Erzeugung der Synchronimpulse (opt. Externen Master SYNC berücksichtigen: GENLOCK)

HOHE TAKTRATEN
= Pixeltakt ... 300 MHz

Videoprocessor: auch "IDS" genannt (*Image Display System*)

Benutzung einer Farbtabelle:

Farbauswahl für Pixel (x, y) nach Farbtabelle



Die Farbtabelle ist oft nur hardwarenah zugreifbar!

Weitere Funktionalitäten des Videoprocessors:

- Pixel- und Zeilenreplikation, dadurch einfaches (hardwarenahes) Zoom
- Text-Fonts
- Blinken
- Cursor-Overlay
- Unterstützung für Windowing-Systeme

Bildspeicher

Hauptfunktionen:

- **Puffer**: entkoppelt
Update und **Refresh**
ggf. Double oder Triple Buffer
- **Integration** und **Synchronisation** verschiedener Medien in MM-Systemen
- **Hilfsspeicher** für Renderingfunktionen:
 - z-Buffer
 - Alpha-Buffer
 - Texturspeicher
 - Additionsbuffer



Einschub:

Update und Refresh?

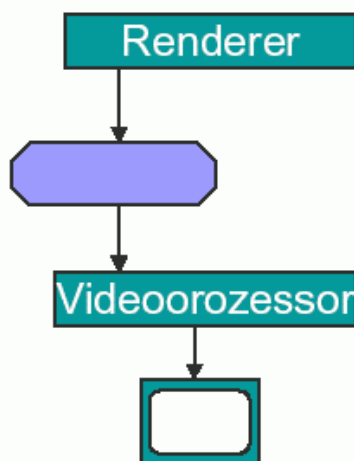
- ◆ **Refresh**: Notwendige Auffrischung (auch des unveränderten) Bildschirminhalts bei punktförmiger Impulsanregung, z.B. bei einer CRT
60 ... 100 Hz Bildfrequenz non-interlaced (**< 16 ms**)
erfolgt aus dem Bildspeicher zur Zeit für das vollständige Bild = nichtselektiv!
- ◆ **Update**: Aufbau eines 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

Anforderungen an den Bildspeicher

- ◆ Random-Access für den Renderer (Eingang)
 - Objekt nach Objekt, ggf. parallellisiert aber i.d.R. Pixel-lokal oft R/W Zugriff nötig!
 - ggf. Mehrfachzugriff zum Bildaufbau auf ein Pixel (z-Buffer, ...)
- ◆ Pixel-sequentieller Lese-Zugriff für den Videoprozessor (Ausgang) im Pixeltakt
 - ... 300 Mpixel / sec. Zykluszeit: 3ns →
 - Parallelisierung notwendig
- ◆ Update und Refresh konkurrieren um die Zugriffe
- ◆ Ggf. kommen spezielle RAMs = Video-RAMs zum Einsatz: besitzen integriertes Schieberegister

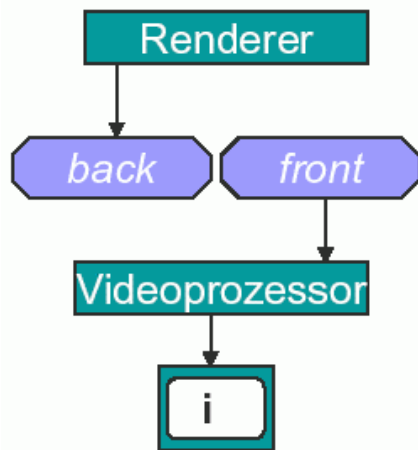
Modi des Bildaufbaus:

Single-Buffering



- **Bildaufbau sichtbar** kann stark störend sein (große Objekte) beim Update i.d.R zunächst ein CLEAR nötig
- nicht geeignet für Bewegtbildpräsentation**
 - ggf. bei geringen Updateraten oder bei Windows tolerierbar
- Renderer und VP konkurrieren um den Bildspeicher - keine echte Entkopplung
- Gut geeignet für Tests
- + Minimaler Aufwand

Double-Buffering Frame i , $i+2$, $i+4$, ...

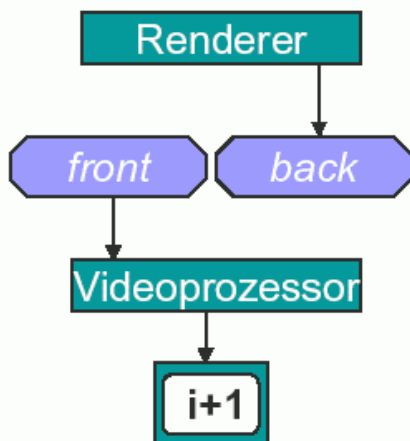


Bildspeicher wird verdoppelt
front: aus diesem Teil wird
das sichtbare Bild
ausgelesen

back: in diesen Teil wird
gerendert

Nach Abschluß des Updates ...

Double-Buffering Frame $i+1$, $i+3$, $i+5$, ...



Swap des *back* und *front* Teils
z.B. während eines
Vertical Retrace → unsichtbar
zunächst CLEAR des back-
buffers ... dann neu rendern

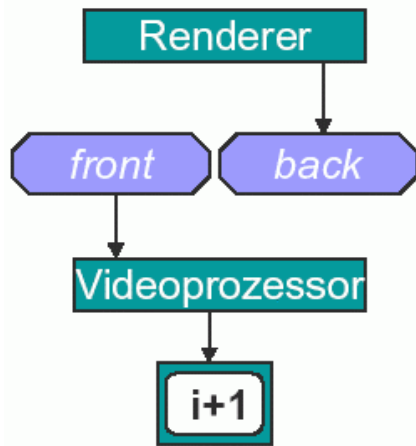
Implementierung z.B. durch

Page Flipping: Spezielles Register
im Videoprozessor, das die
Startadresse zum Auslesen enthält

Blitting: Durch Spezialhardware
schnelles Kopieren in den
Front-bereich

Double-Buffering

- Doppelter Aufwand
- + Keine Bildstörungen durch Update
- **Standard für Bewegtbildgenerierung**

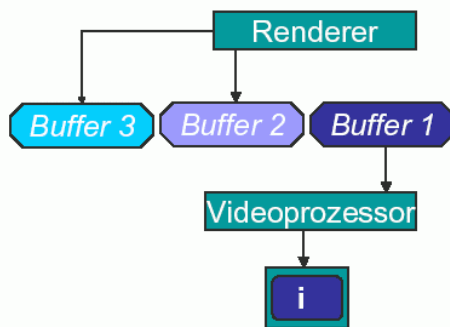


Aber ggf. immer noch Probleme beim Load Balancing; Beispiel: Monitor Refresh 60Hz → 16,7 ms

Rechenzeit Update	Sichtbarer Update
<16,7 ms	→ 60 frames/s
>16,7 ms	→ 30 frames/s
>33,3 ms	→ 20 frames/s
>50 ms	→ 15 frames/s
>67,7ms	→ 12 frames/s

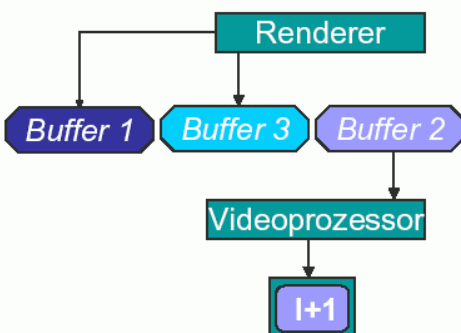
- Swap während hor. Retrace (→ Tearing)
- oder **Triple Buffering**

Triple-Buffering Frame i, i+3, i+6, ...



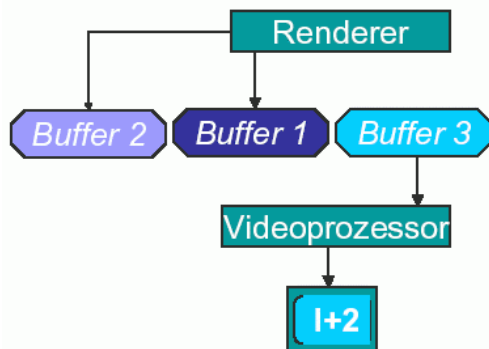
- Buffer 1: front
- Buffer 2: back
- finish to render i+1
- Buffer 3: pending
- clear; start to render i+2

Triple-Buffering Frame i+1, i+4, i+7, ...



- Buffer 1: pending
- clear; start to render i+3
- Buffer 2: front
- Buffer 3: back
- finish to render i+2

Triple-Buffering Frame i , $i+3$, $i+6$, ...

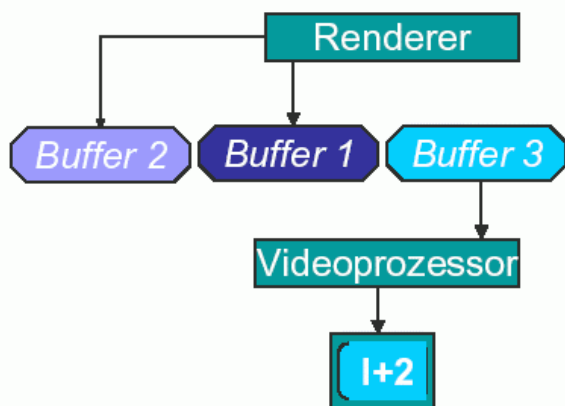


Buffer 1: back
finish to render $i+3$

Buffer 2: pending
clear; start to render $i+4$

Buffer 3: front

Triple-Buffering



- + **Optimiertes Load Balancing**
Sichtbare Update Rate
 $\approx 1 / \text{Rechenzeit für Update}$
- dreifacher Aufwand gegenüber Single Buffering
- verlängert die System Response Time
- wird noch selten durch HW unterstützt

Theoretisch können noch weitere Buffer genutzt werden und sinnvoll sein (**multi-buffering**), insbesondere bei aufwandsmäßig stark verschiedenen Update-Zeiten

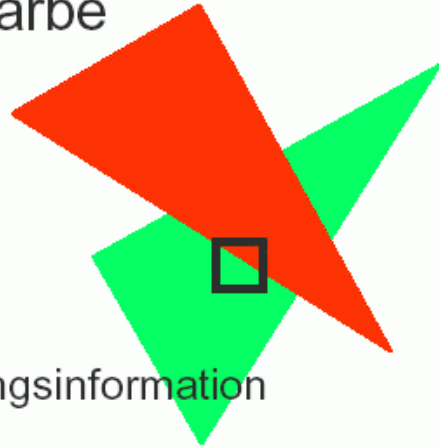
Spezielle Ergänzungen Overlay Plane

- ◆ üblich: 1..8 Bit + CLUT
oft 1 Bit für Angabe ob transparent oder opak
- ◆ Videoprocessor überlagert diese Farben über das im Bildspeicher stehende Bild
- ◆ Häufig genutzt für UI-Elemente: Cursor, Menues, Highlighting
- ◆ Elemente in der Overlay-Plane können verändert werden, ohne vollständigen Bildspeicher-Update

Spezielle Ergänzungen Alpha Buffer

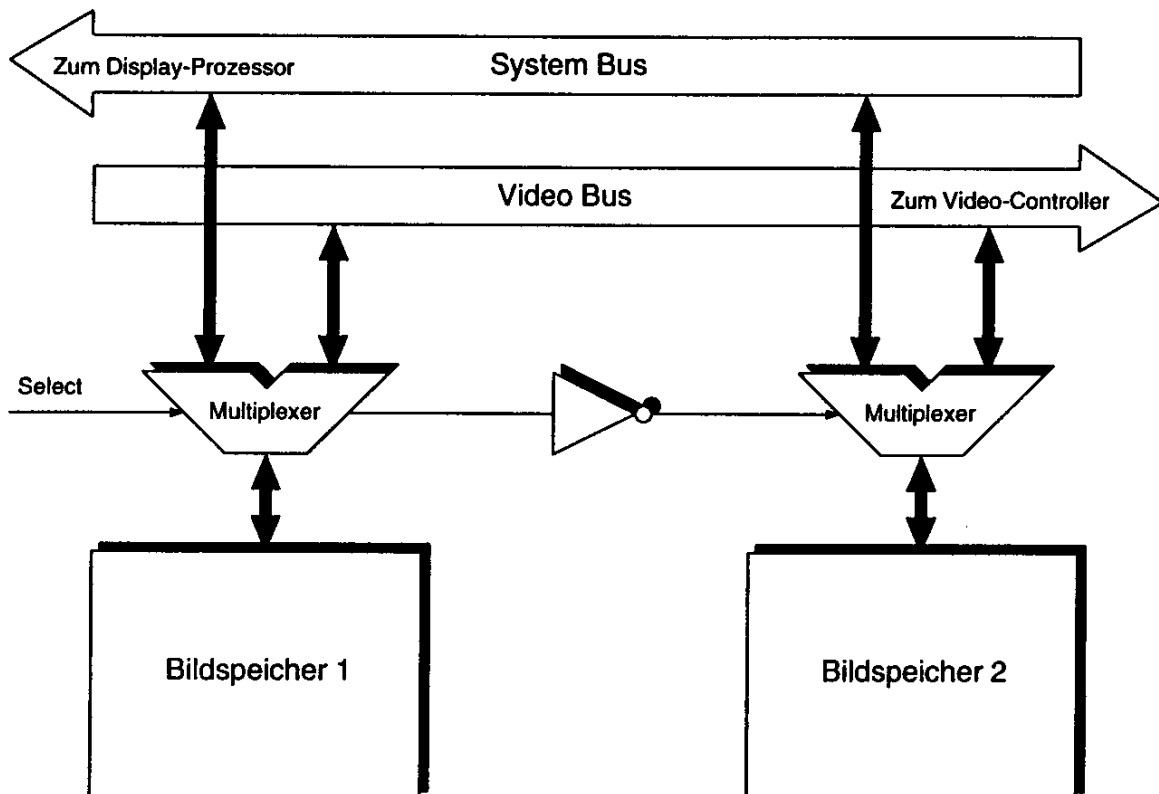
- ◆ Speichert zusätzlich zur Farbe „Transparenz“ des Pixels auch „matte“ genannt

- Pixel ist weder rot noch grün
Beispiel: 70% grün, 30% rot
Beim Rendering wird Überdeckungsinformation (coverage) generiert: **a-Channel**
Beim Rendering des roten Dreiecks
 $p := (r, g, b, \alpha), \alpha = [0, 1]$ z.B. (1,0,0,0.3)



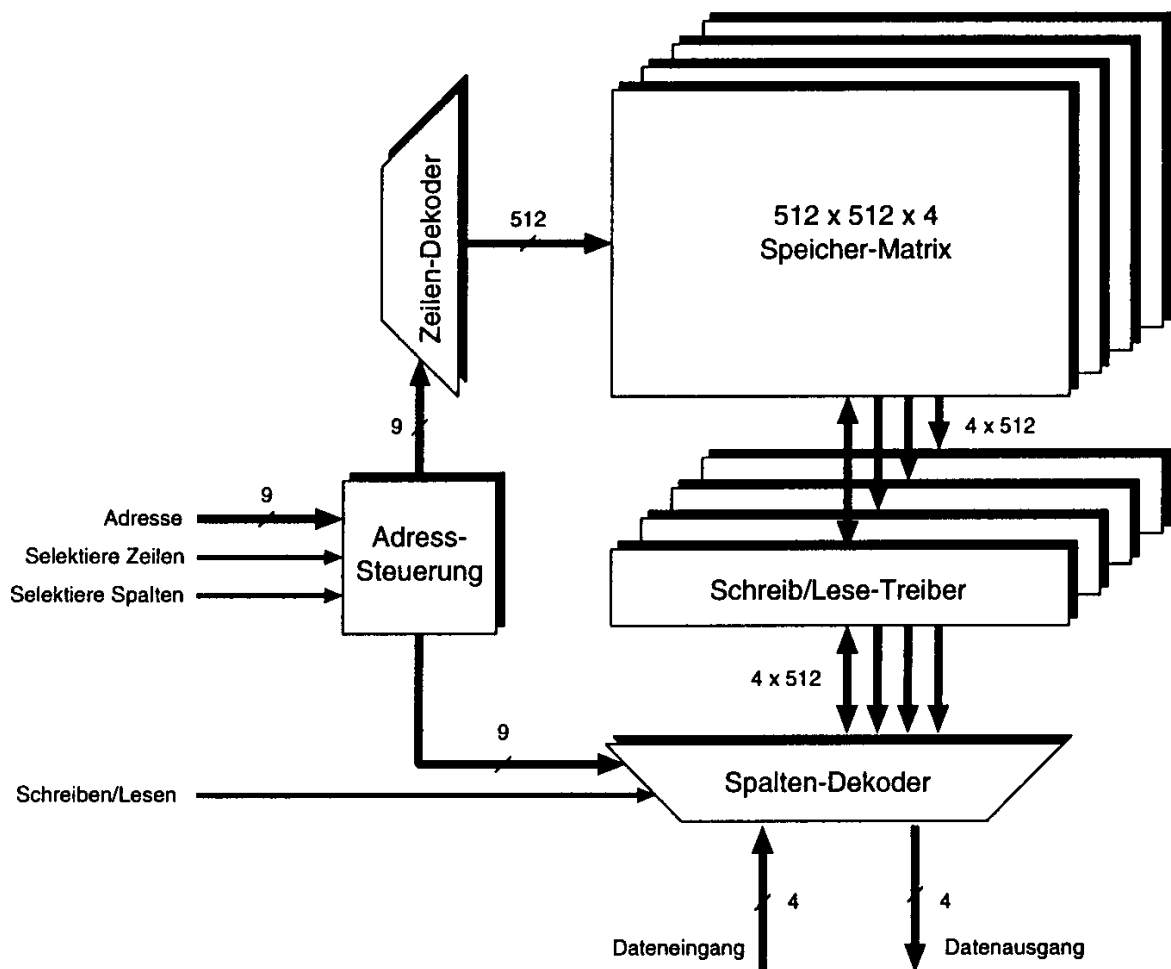
(siehe später: Kapitel 14)

Bildspeicher-Architekturen:
Bildspeicher für Double buffering

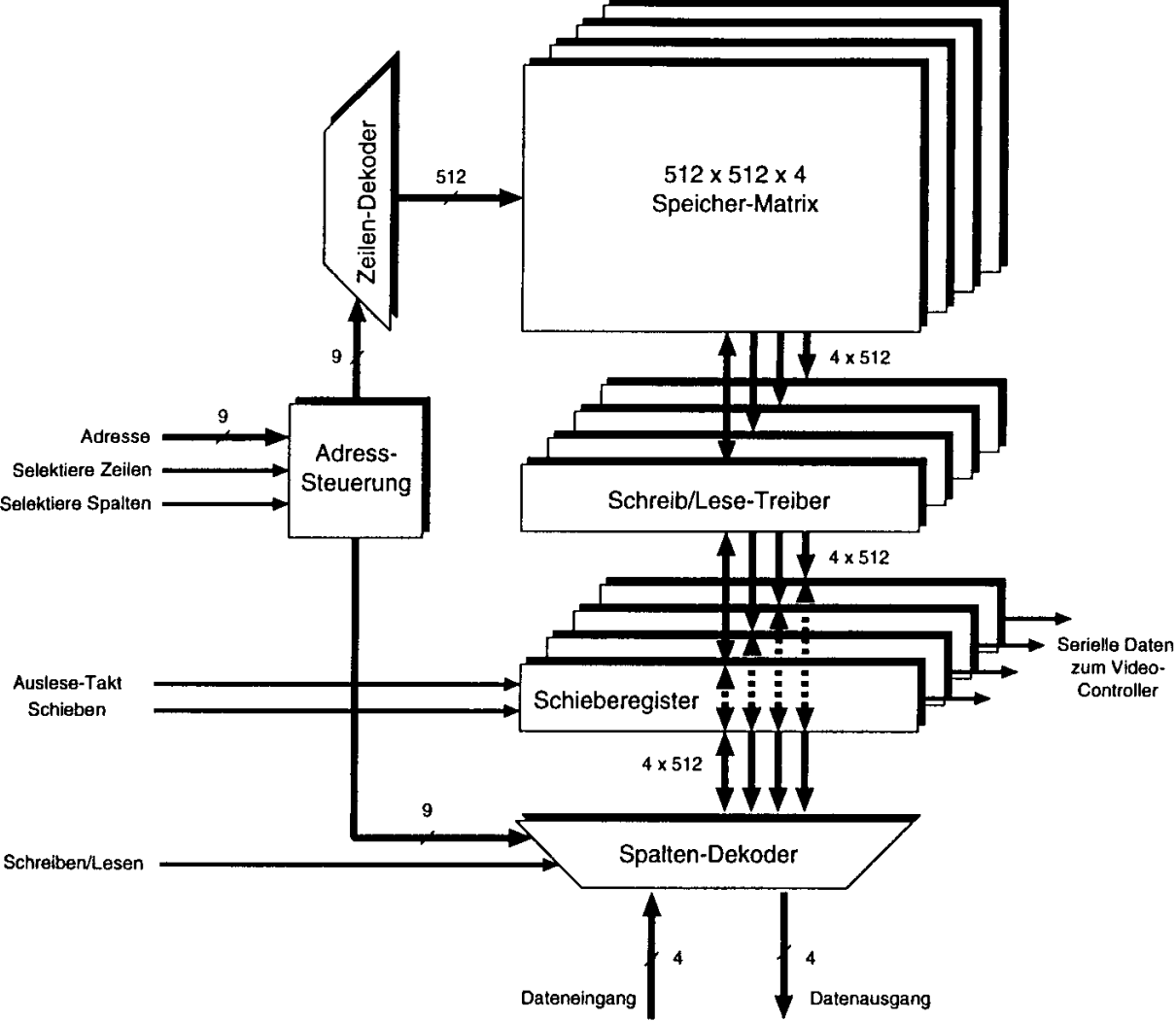


Bildspeicher mit VRAM (Video RAM):
Speicherzugriff zum Refresh wird auf wenige Speicherzyklen reduziert

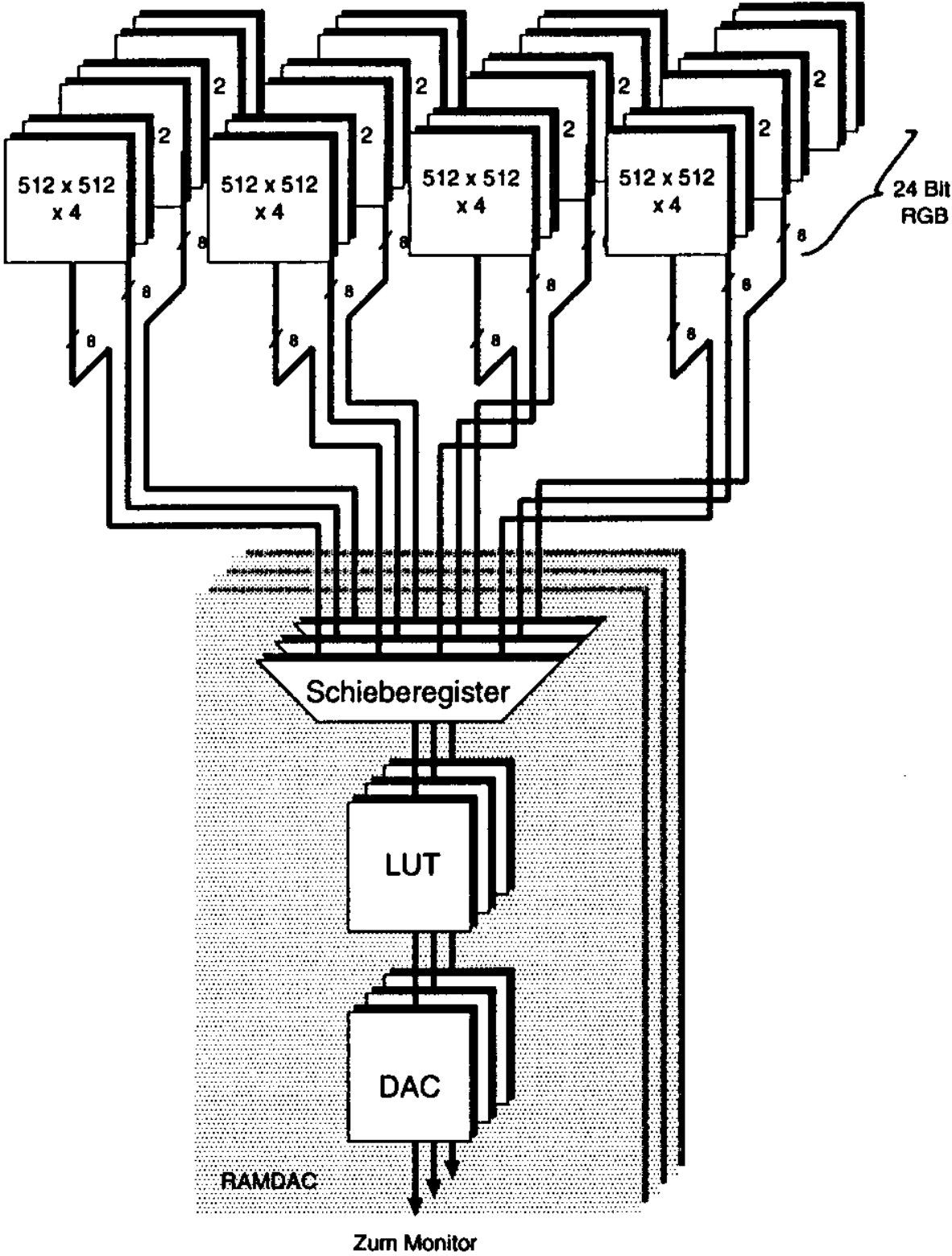
Speicherarchitektur für 1 Mbit DRAM:



Speicherarchitektur für 1 Mbit VRAM:



Bildspeicher für 1024x1024x24-Display mit VRAMs:

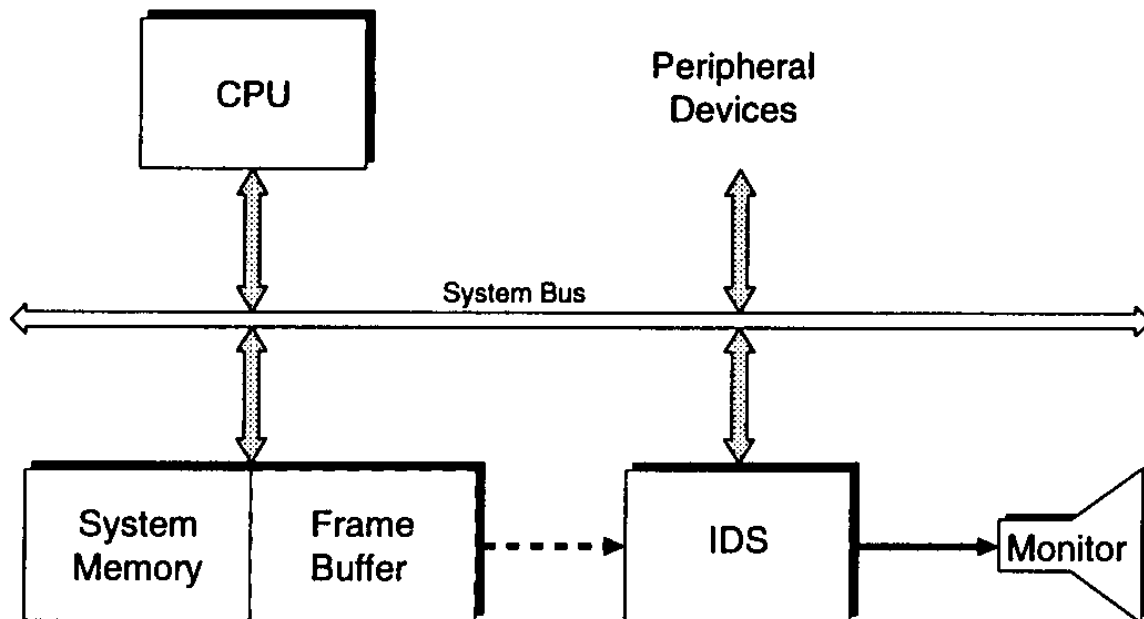


Zusammenfassung Bildspeicher

- ◆ Je flexibler organisierbar, umso vielfältiger ist der Nutzen: Für verschiedene Anwendungen gilt jeweils ein anderes Kosten/Nutzen-Verhältnis
- ◆ Manche Architekturen erlauben es, Teile des Hauptspeichers als Bildspeicher zu nutzen, z.B. SGI O2, Neon Chip-Set → z.B. „beliebig“ großer Texturspeicher
- ◆ Andere Architekturen spezialisieren den Speicher, z.B. SGI InfiniteReality; vervielfältigen ggf. sogar Teile für Parallelarbeit
- ◆ Bildspeichergößen von 256MByte und mehr sind in Hochleistungs-Graphikrechnern keine Seltenheit

Rasterdisplay-Architekturen

einfachstes Displaysystem erhält man, wenn alle Rechenfunktionen in der CPU realisiert sind und der Bildspeicher Teil des gewöhnlichen Arbeitsspeichers ist (evtl. mit festem Adressbereich):



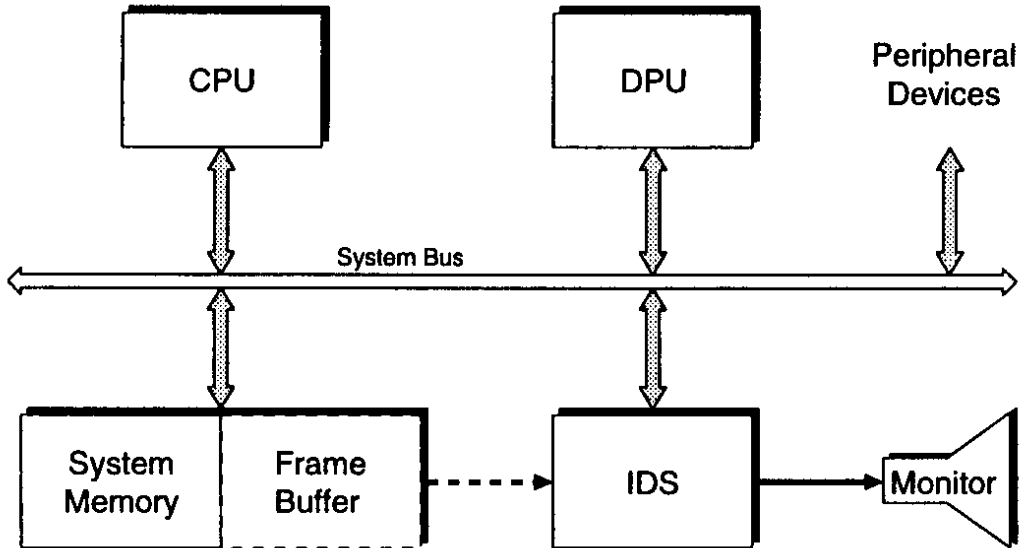
Vorteil: gemeinsamer Adressraum für Anwendungsprogramme, Displayprogramme und Bildspeicher \Rightarrow große Programmflexibilität bei geringen Hardwarekosten

Nachteile:

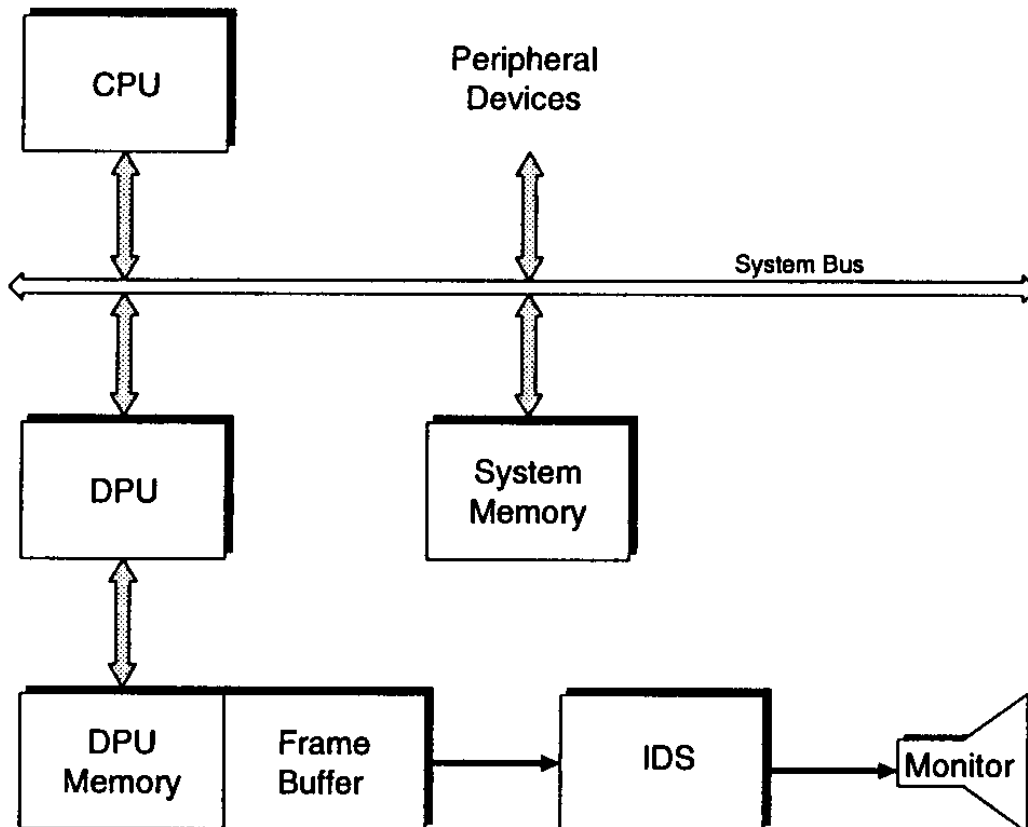
- große Bildaufbauzeiten, da die Bildrasterung per Software langsam ist
- Bildspeicher "frisst" großen Teil des Adressbereichs des RAM

Grafiksysteme mit Displayprozessor (DPU)

- integrierte DPU:

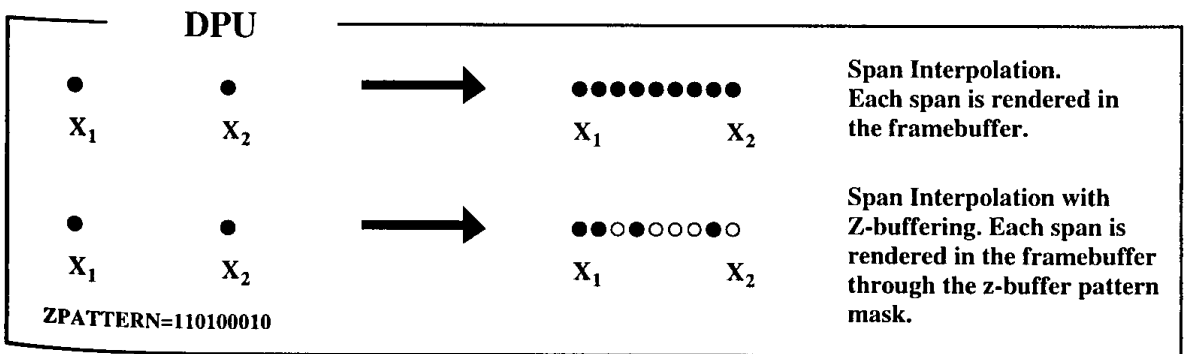
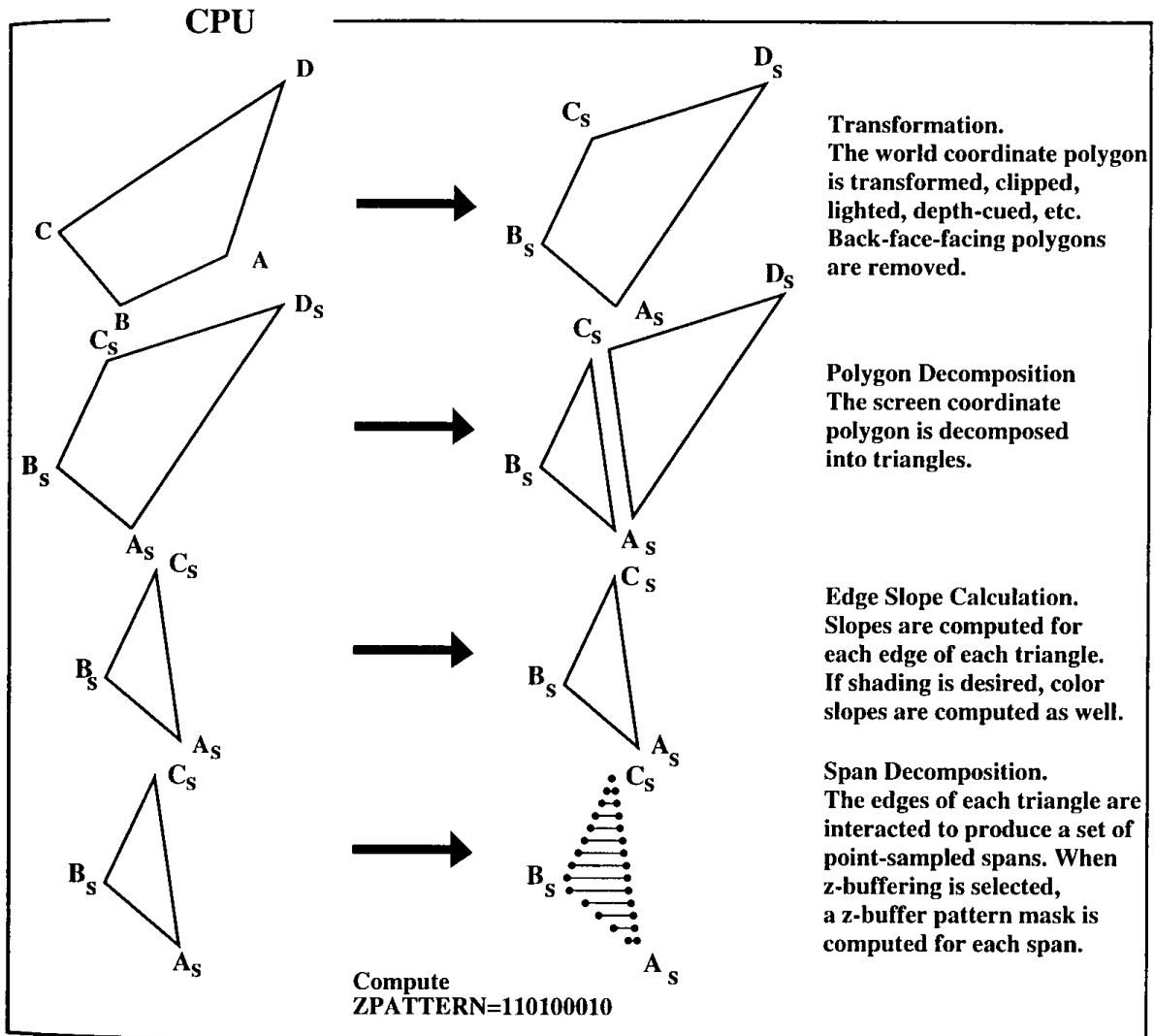


- periphere DPU:

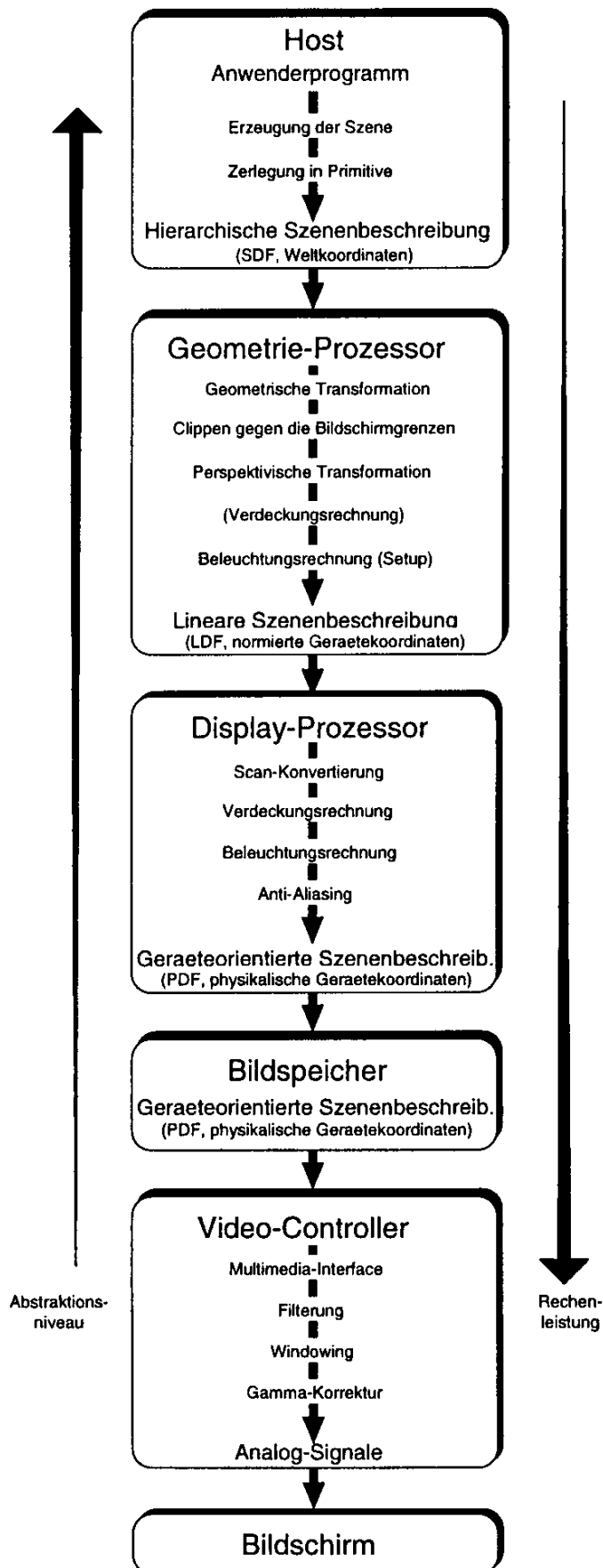


(so z.B. bei SGI Grafik-Workstations)

Arbeitsteilung zwischen CPU und DPU in der Iris Indigo (SGI):

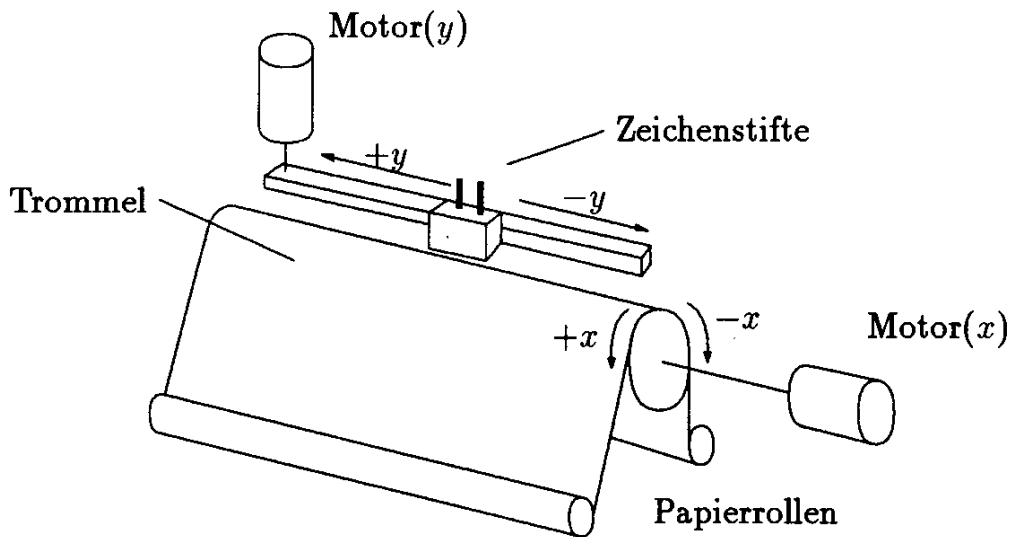


Die Rendering-Pipeline, auf Hardwarekomponenten verteilt:

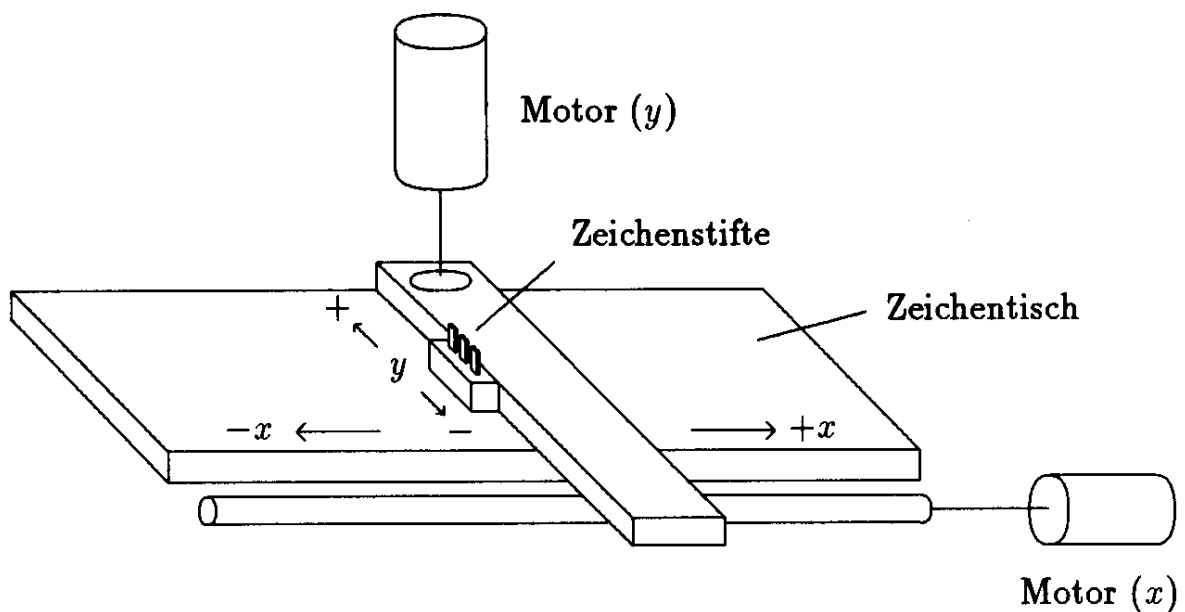


Weitere grafische Ausgabegeräte

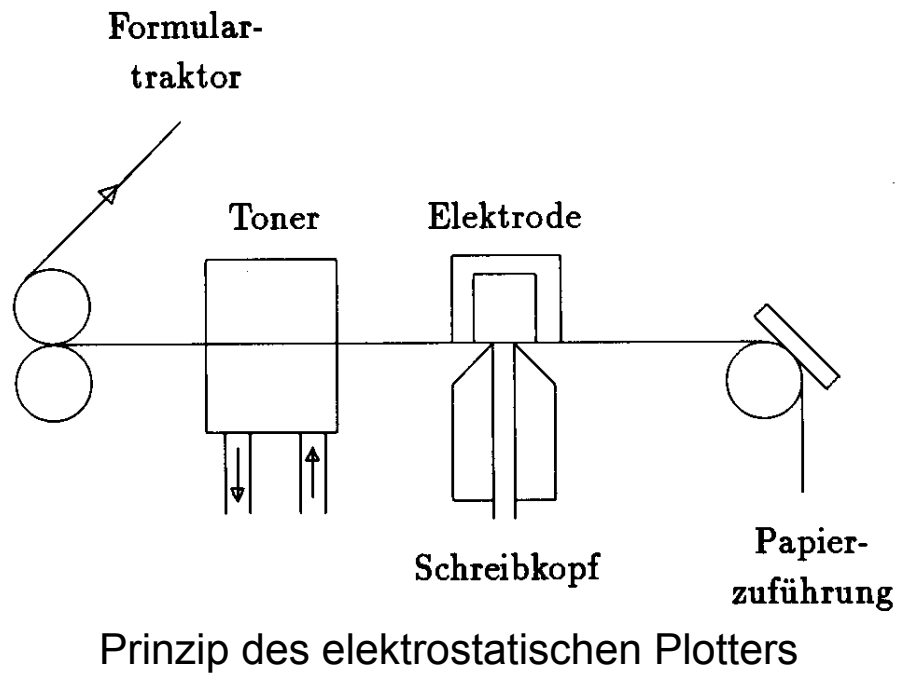
Plotter



Prinzip des Trommelplotters



Prinzip des Tischplotters



bei Stiftplottern:

Übertragung von Farbe aus Tintenstiften oder ähnlichen Schreibvorrichtungen auf Papier. Langsam; Papier wird ggf. beansprucht – Vorsicht bei Doppelzeichnung!

Drucker

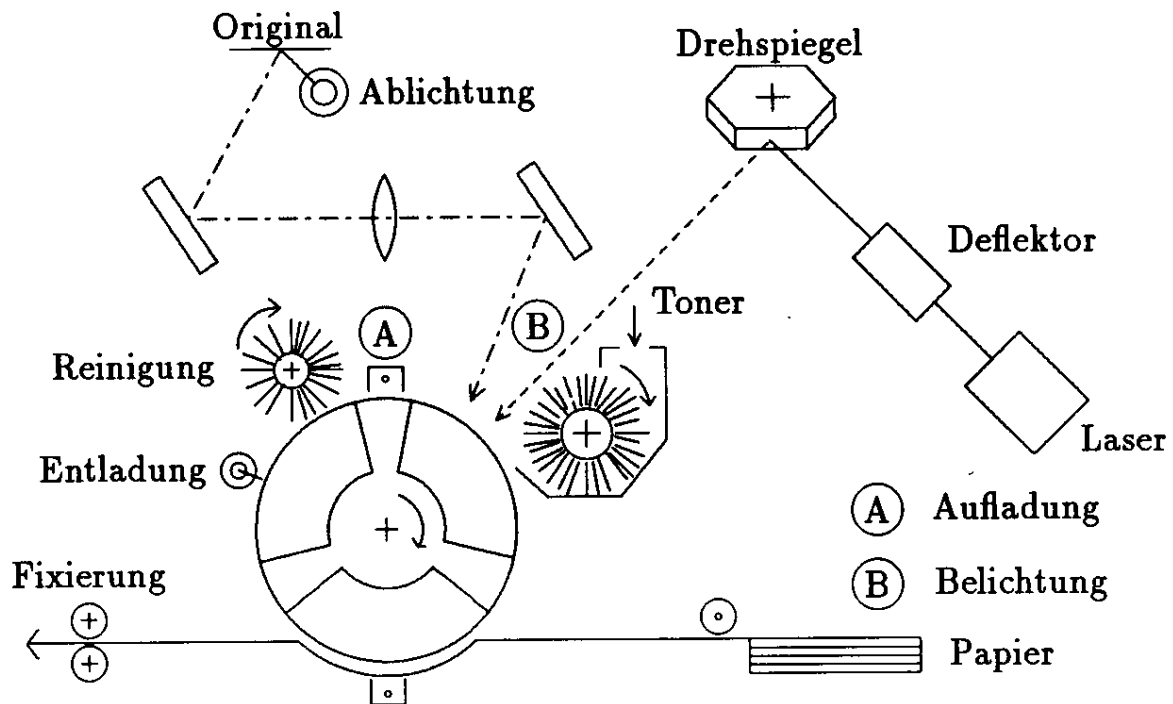
Farbdruckverfahren im EDV-Bereich:

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 (5 DM / Folie), nur noch wenig gebräuchlich.
Thermosublimationsverfahren	Übertragung verdunsteter Farbe auf Spezialpapier. Ermöglicht fotorealistische Ausdrücke, beste Qualität von allen Verfahren, aber teuer (ca. 10 DM / 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):



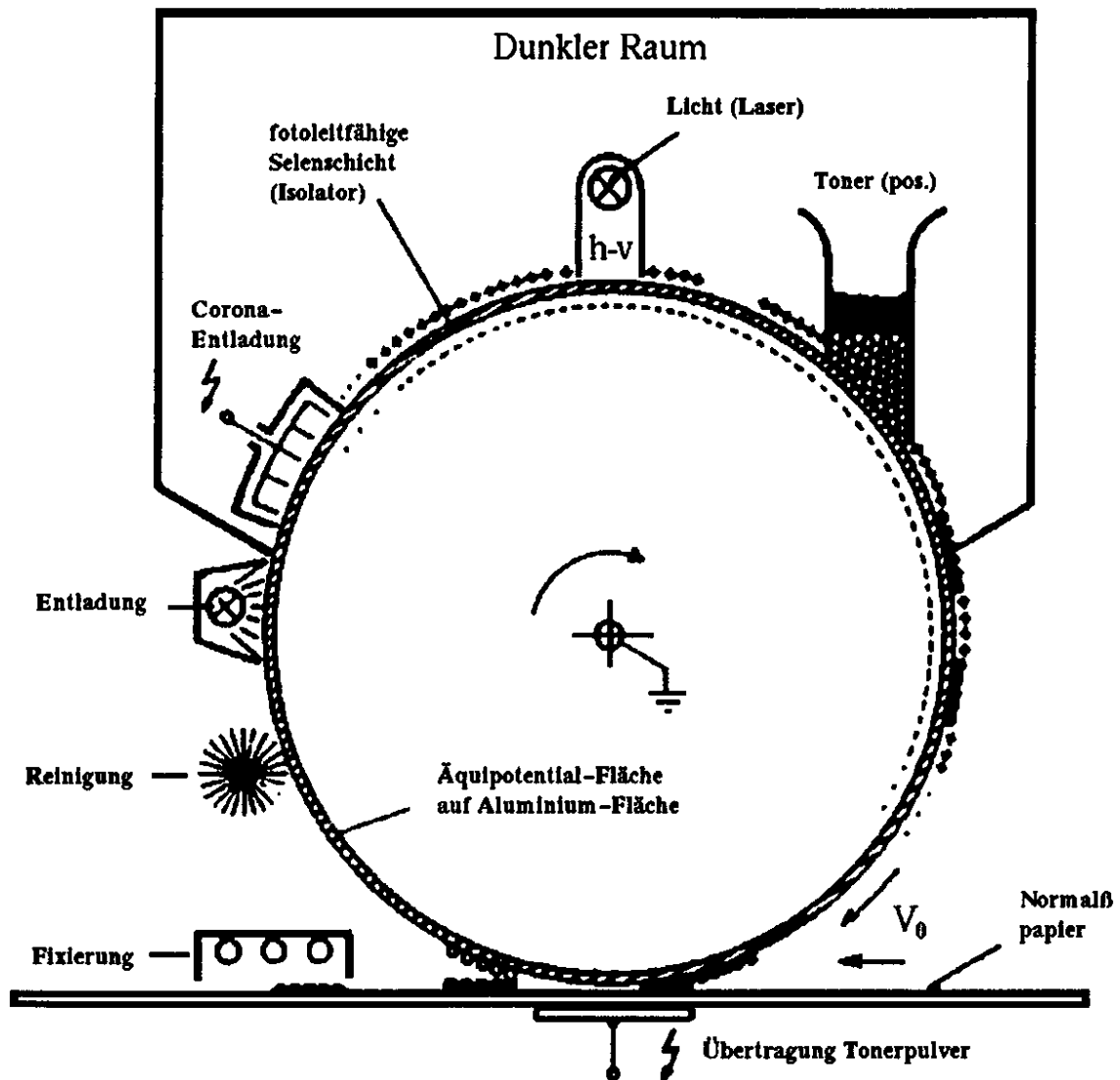
In einem Dunkelraum wird mittels einer Coronaentladung die fotoleitfähige Selschicht auf einer sich ständig drehenden Aluminiumtrommel mit einer positiven Flächenladung versehen. Dieser fotoleitfähigen Schicht, die sich im Dunkeln wie ein Isolator und im Hellen wie ein Halbleiter verhält, wird die zu 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:



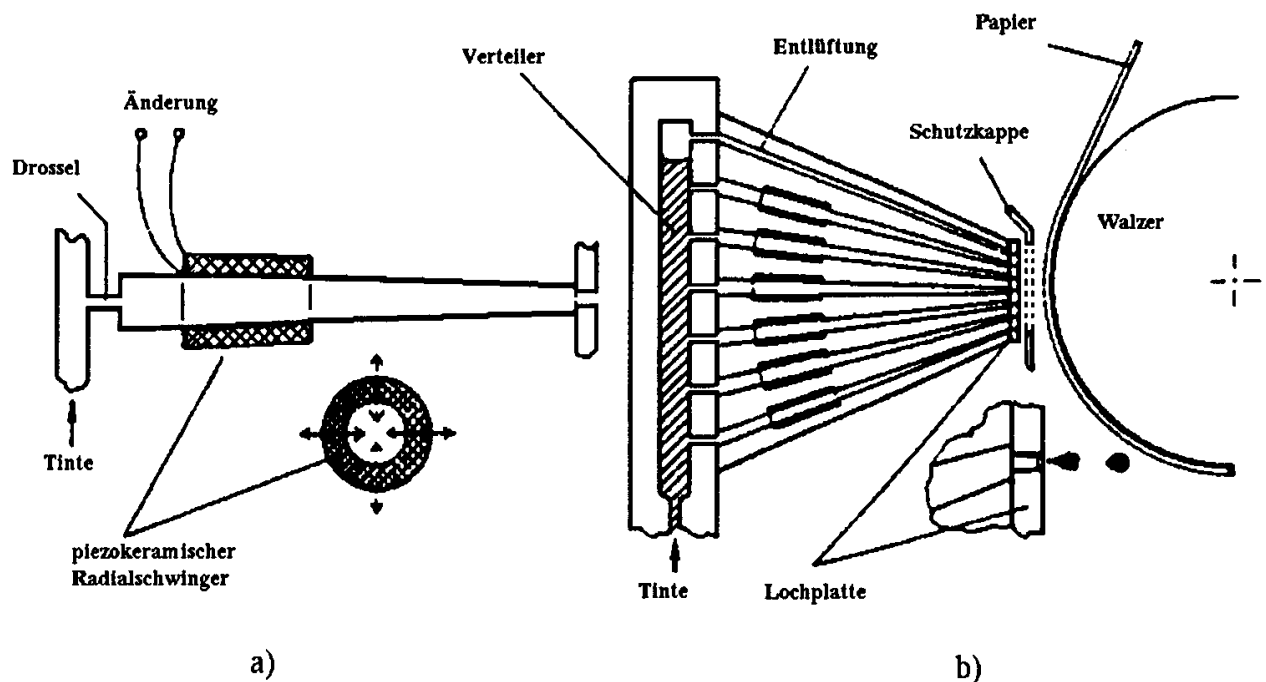
Flüssigtintenstrahldrucker:

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:



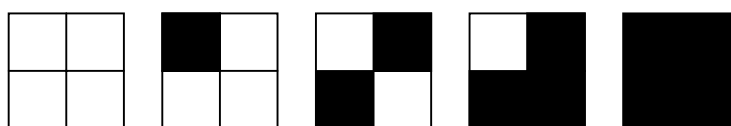
Maße für die Auflösung von Druckern: DPI, LPI und PPI

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 (siehe nächstes Kapitel).

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

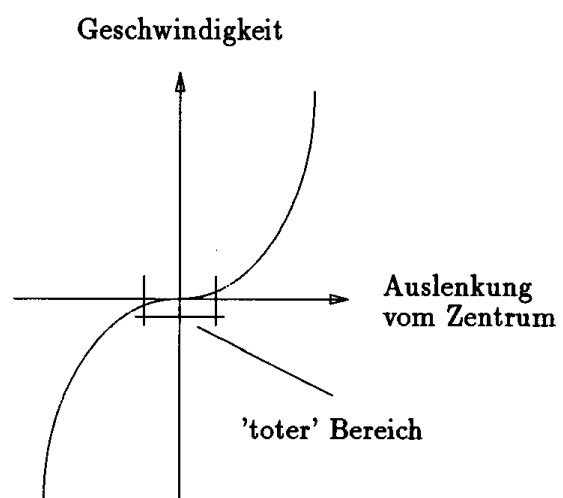
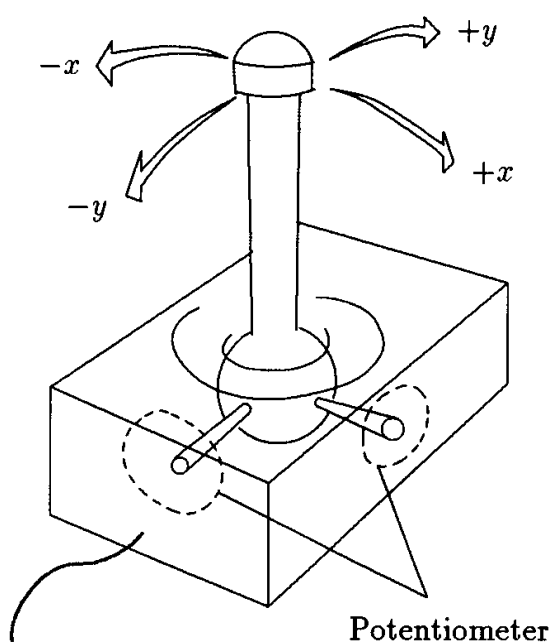
- oft Verwendung eines zusammenhängenden Tastenblocks für die Cursorsteuerung
- TAB-Taste, Shift-TAB etc. in grafischen Benutzungsoberflächen (GUI) zum Springen von einem Menüpunkt zum nächsten, von einem Menü zum nächsten...
- "Hotkeys" (Tastenkombinationen, die 1 oder mehrere Anklickvorgänge mit der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

Paddles und Potentiometer

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

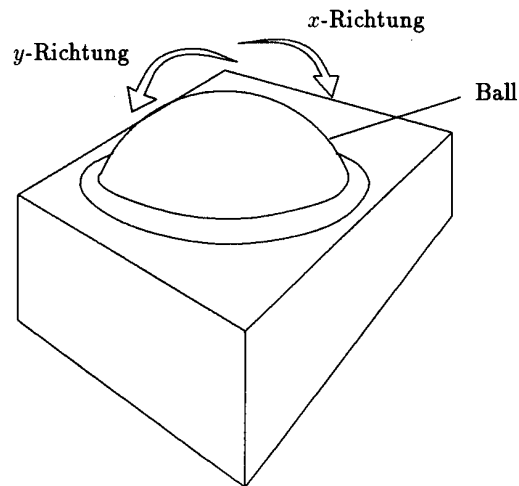
Joystick

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)

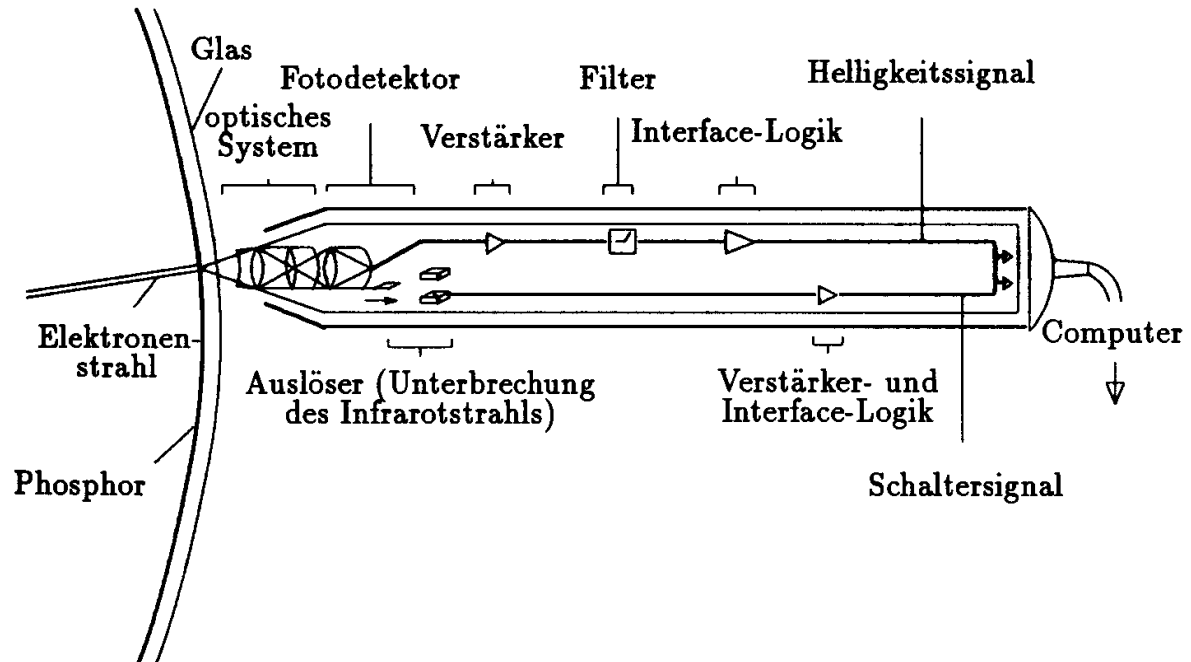
Miniaturoystick unter der J-Taste oder zwischen den Tasten einer Notebook-Tastatur

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)

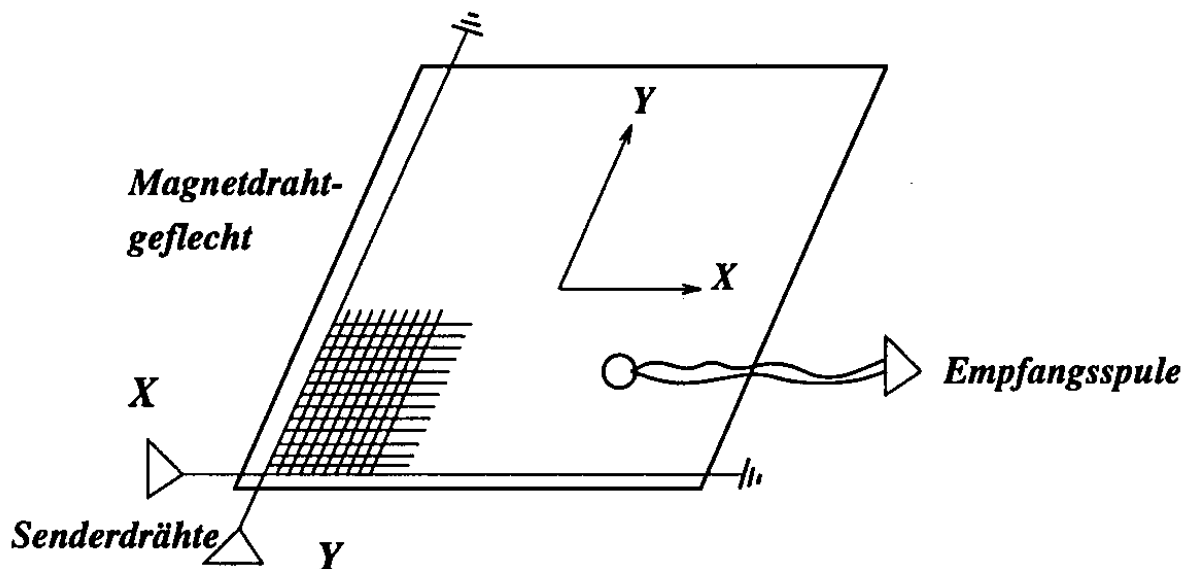
ebene Fläche, über die ein Griffel oder eine Fadenkreuzlupe bewegt wird

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

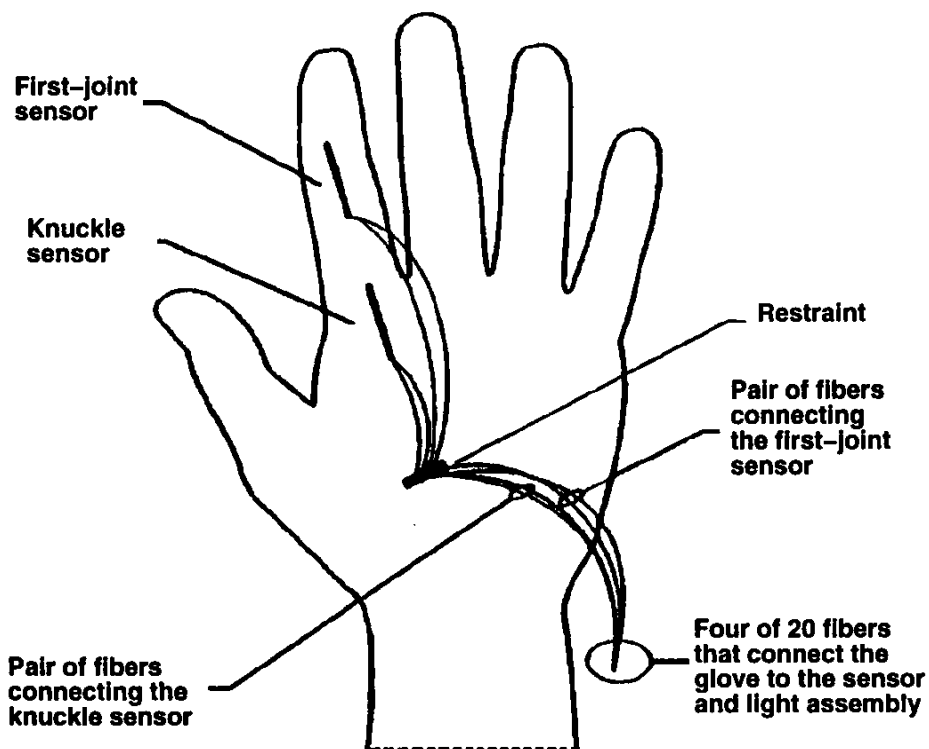
- "3D-Bleistift"
- Abtasten von 3D-Objekten

(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)