

§1 Basics

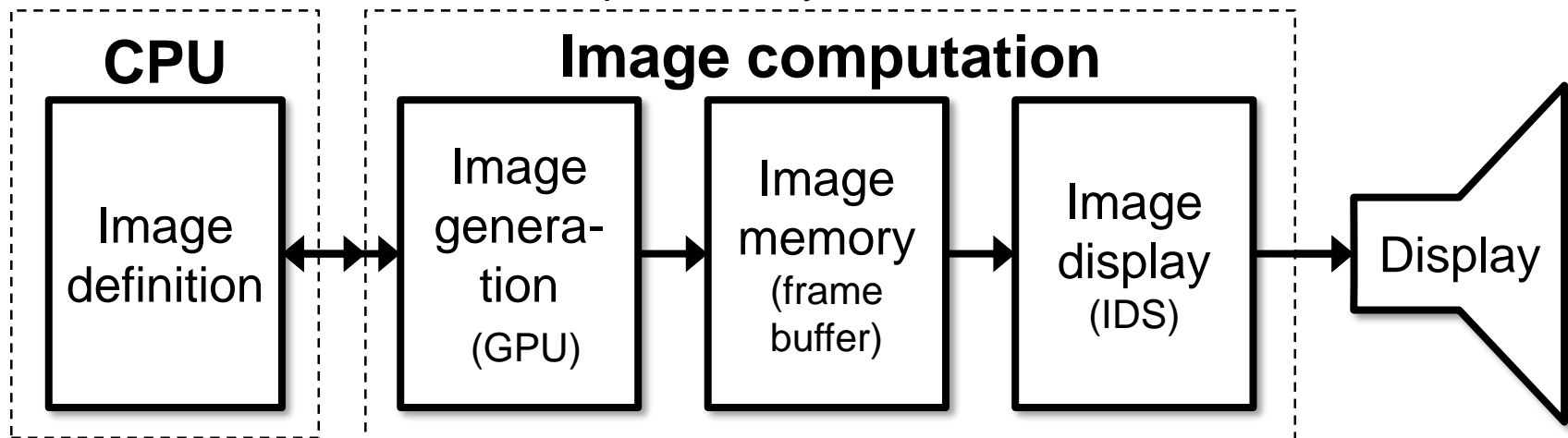
- 1.1 Basics
- 1.2 Graphical input devices*
- 1.3 Screen technology*
- 1.4 3D-systems*
- 1.5 Printer*

* Not relevant for the exam

1.1 Basics

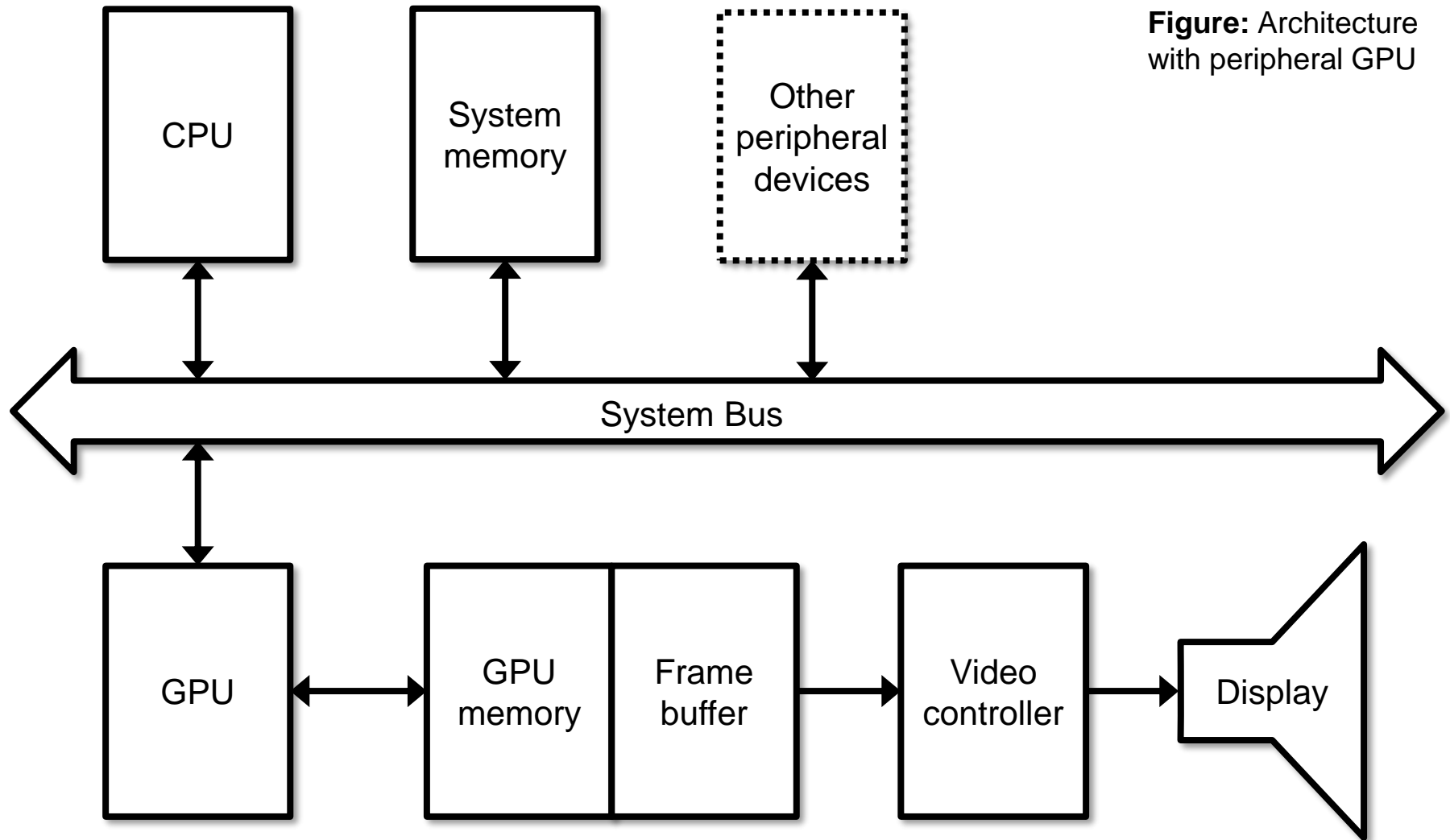
Today's graphic architecture

- **Display Processing Unit**, aka **Graphics Processing Unit (GPU)**:
Process image definition for output:
 - Rasterization, occlusions, illumination, anti-aliasing, etc.
 - Write to *frame buffer*.
- **Video controller (Image Display System)**:
 - Reads from *frame buffer* periodically.



Major components of a graphics architecture (functional model)

1.1 Basics

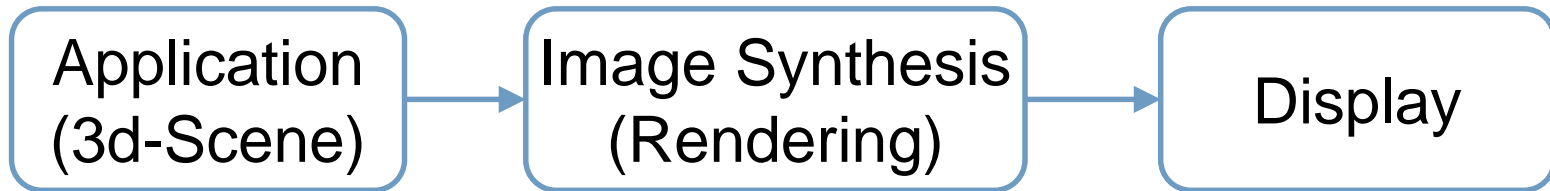


1.1 Basics

The computer graphics-pipeline / rendering-pipeline

- The process of image synthesis,
 - i.e. mapping of the geometric model, the object(s), or the scene to an image on the display (output device),is called *rendering*.
- A concrete implementation of this process in soft- and/or hardware is called the *rendering-pipeline*.
 - The individual stages of this pipeline are realized by the basic algorithms of computer graphics.
 - The individual stages can be implemented in soft- and/or hardware!
 - The structure of the rendering-pipeline can vary drastically depending on the type and realization of the rendering.

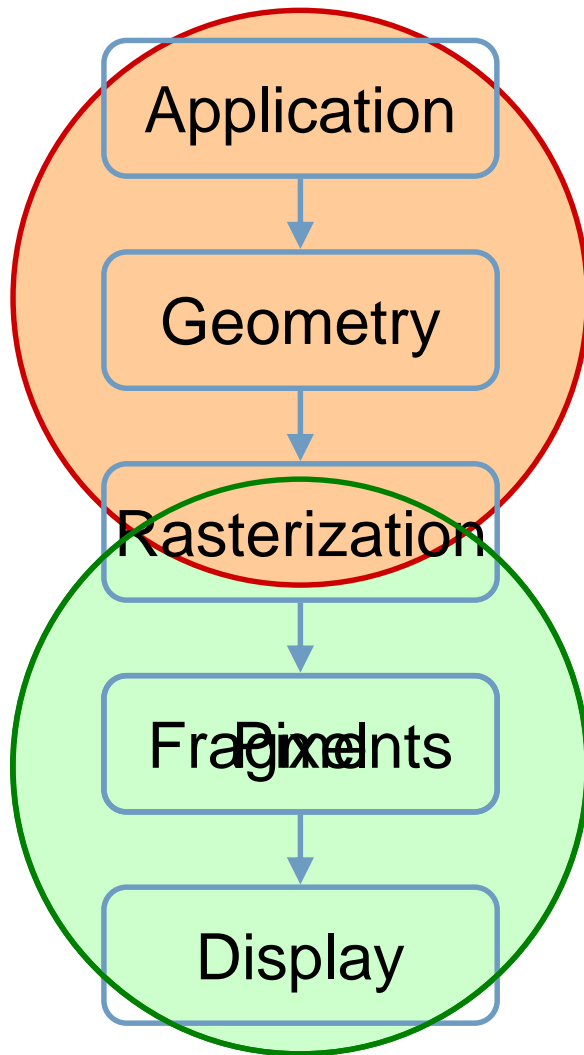
1.1 Basics



Rendering Pipeline

- Subdivide the rendering into simple standard stages.
- Dependent on
 - Hardware of output device (screen, graphic card, etc.),
 - Algorithm for image synthesis (illumination, shading, etc.), etc.
- Some stages can be missing in a concrete realization or occur in a different order.
- De-facto standard: OpenGL Rendering Pipeline.

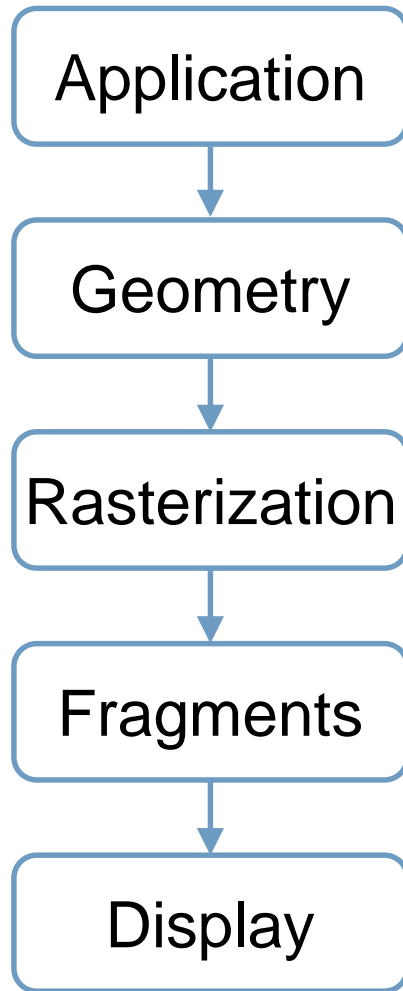
1.1 Basics



Manipulation of geometric objects and primitives (vertex).

Manipulation of images and image points (fragment/pixel).

1.1 Basics



Classical graphics-pipeline:

- The middle components are static.
- They are realized in soft- and/or hardware.

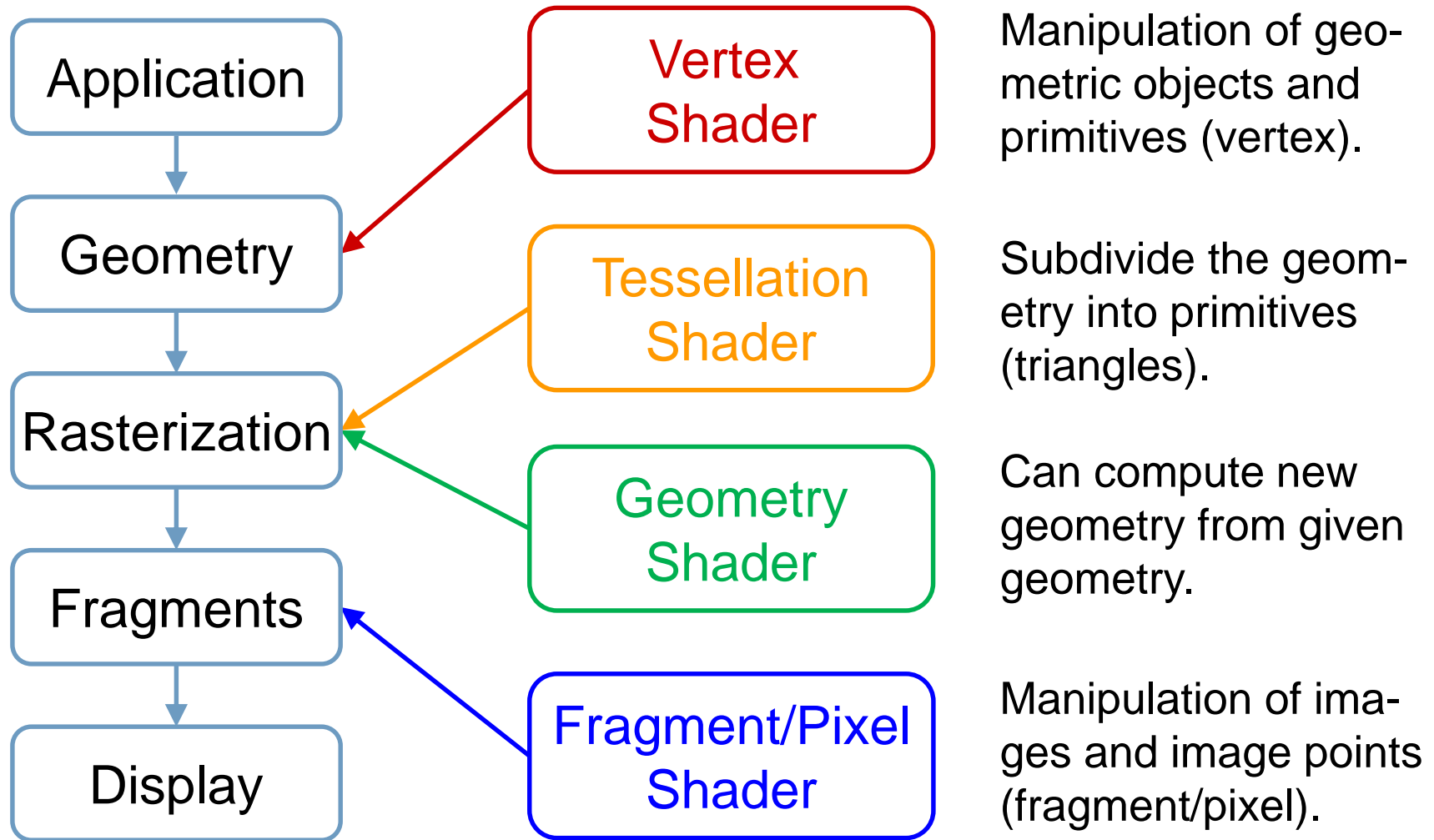
Modern graphics-pipeline:

- The middle components are dynamic.
- They are realized in **shaders**.

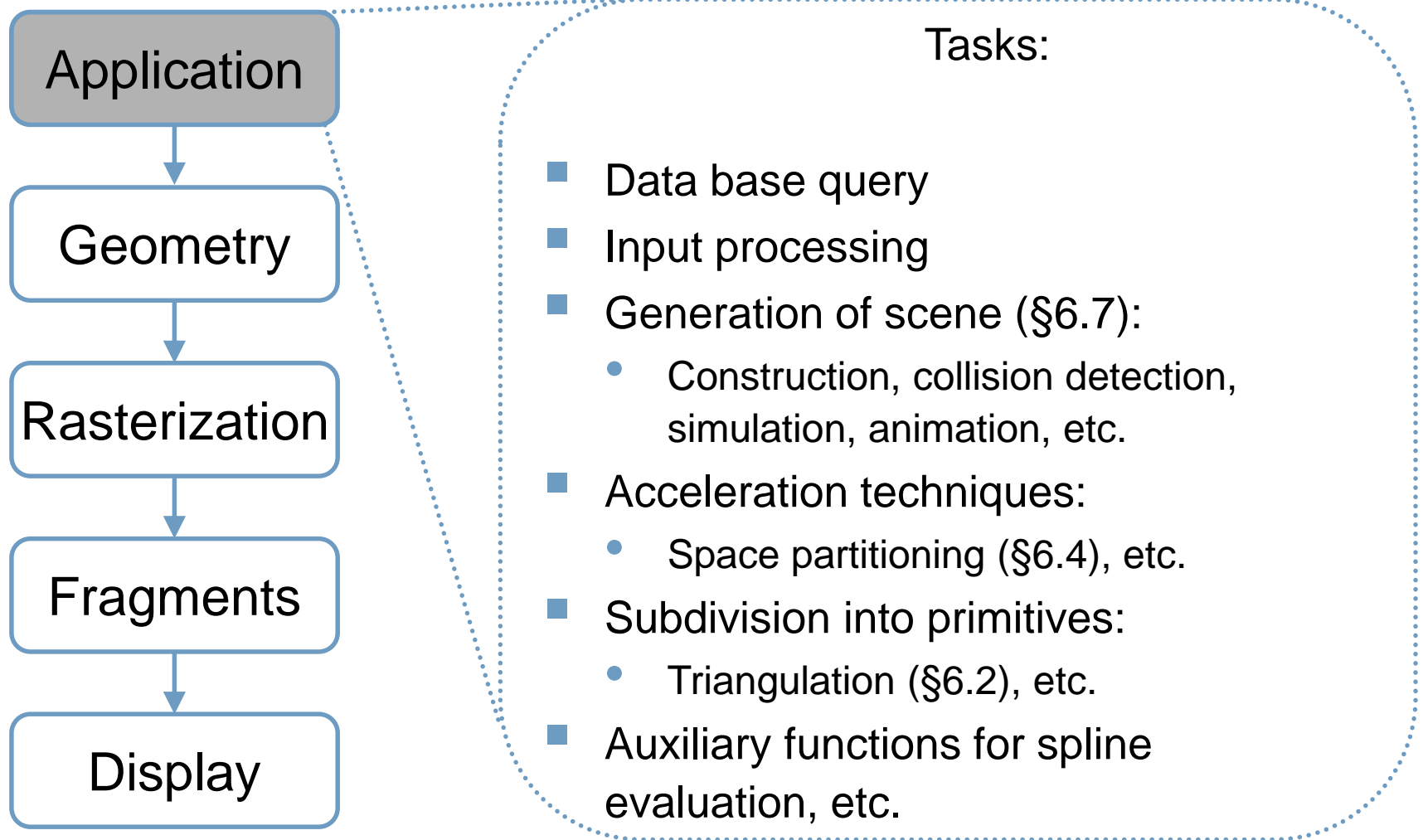
Shader:

- Programs, that run directly on the graphics hardware.

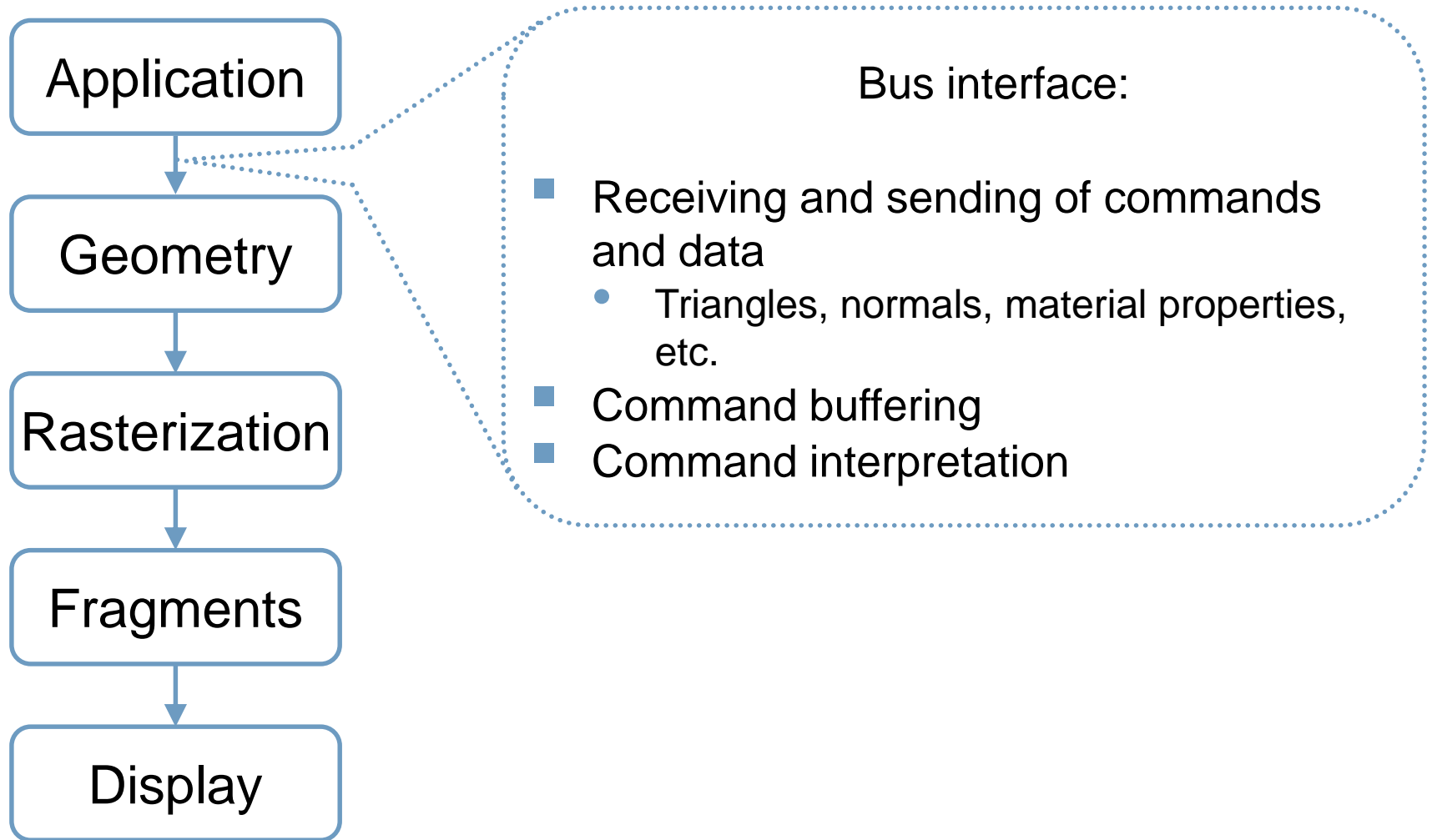
1.1 Basics



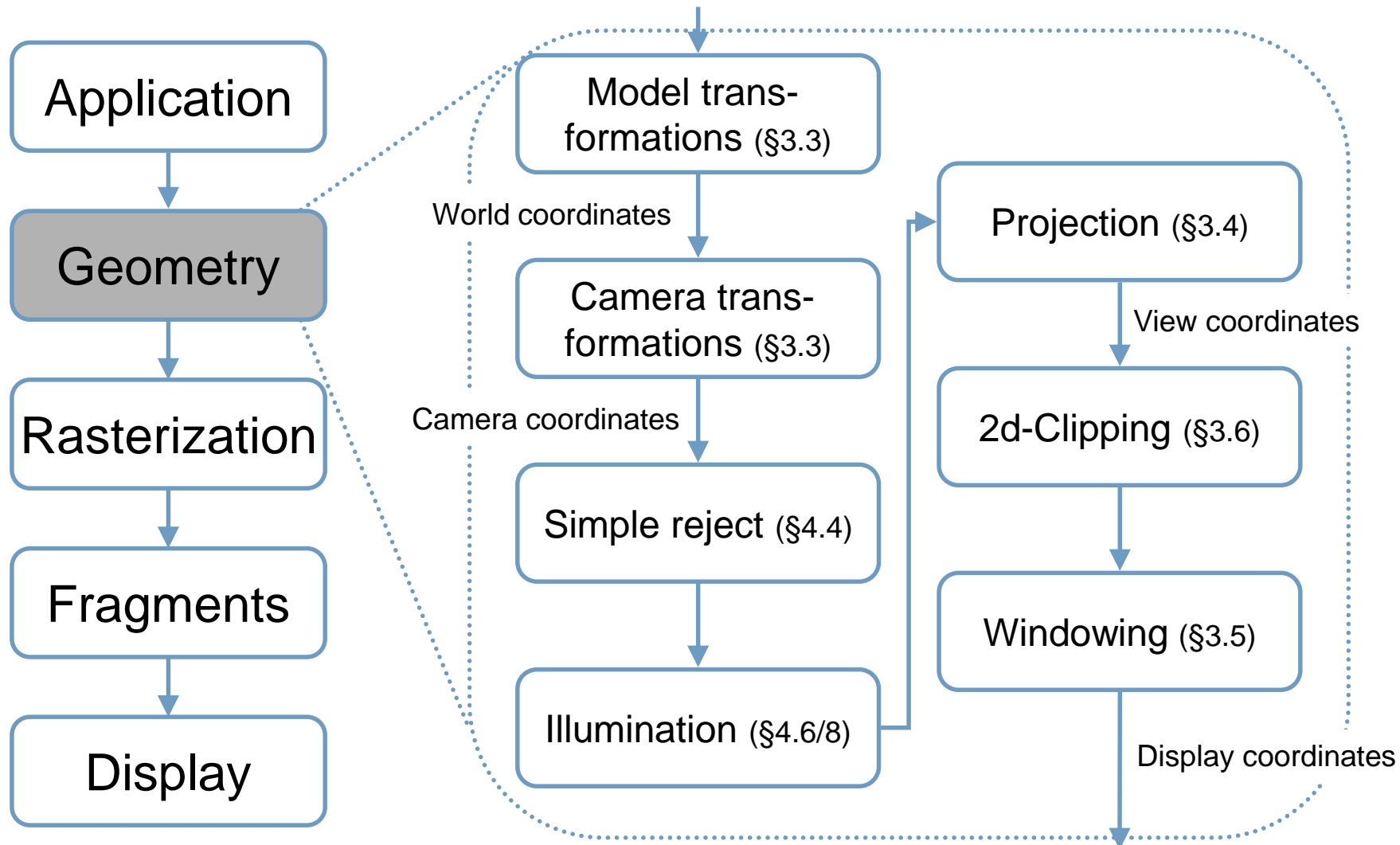
1.1 Basics



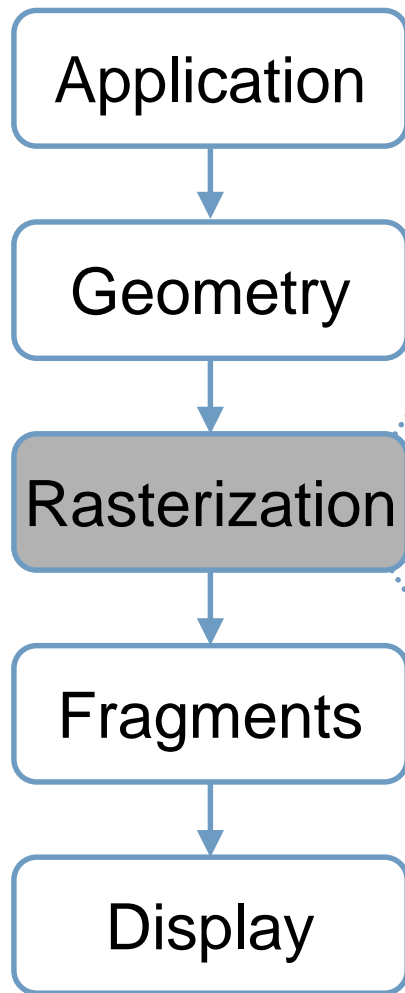
1.1 Basics



1.1 Basics



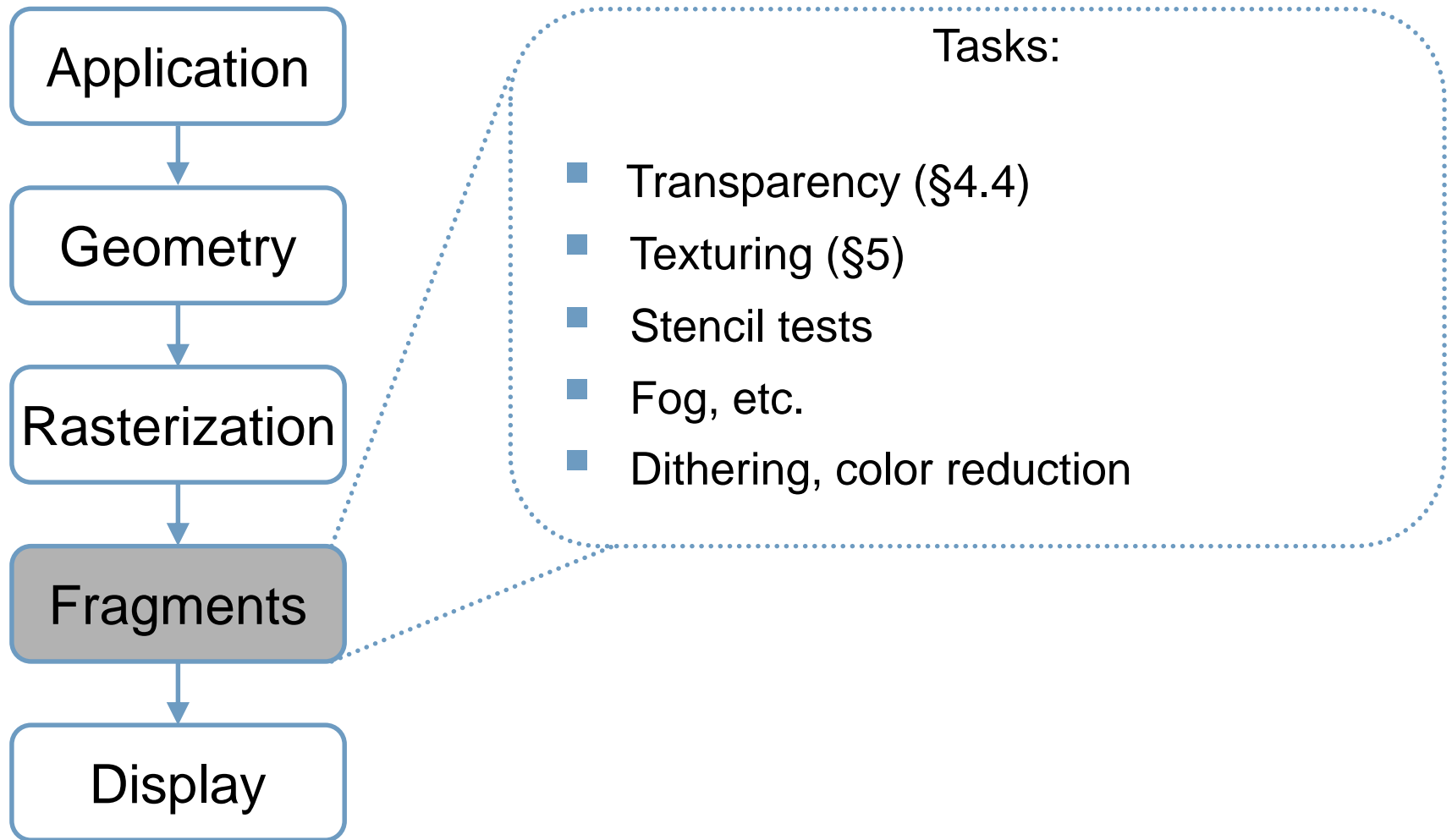
1.1 Basics



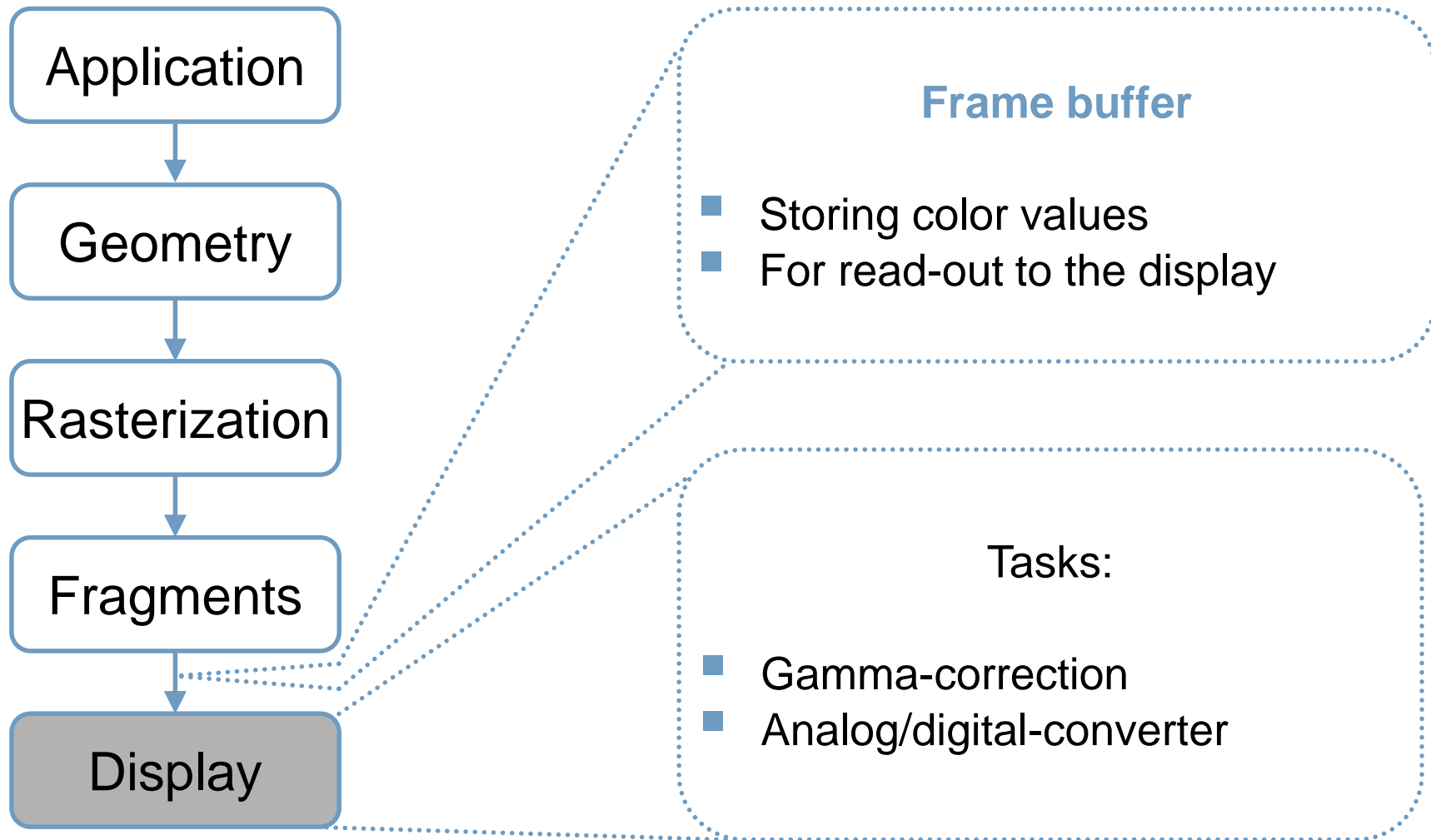
Tasks:

- **Primitive assembly**
 - Triangles, lines, etc.
- **Triangle setup**
 - Interpolation of
 - depth values (§4.4),
 - color values (§4.7),
 - texture coordinates (§5), etc.
- Rasterization (§2.2-5)
- Anti-Aliasing (§2.8)
- Z-Buffer (§4.4)

1.1 Basics



1.1 Basics



1.1 Basics

In Chapter §4.9 we will see different realizations of rendering-pipelines, depending on

- the **visibility algorithms** (§4.4),

Which objects do we see?

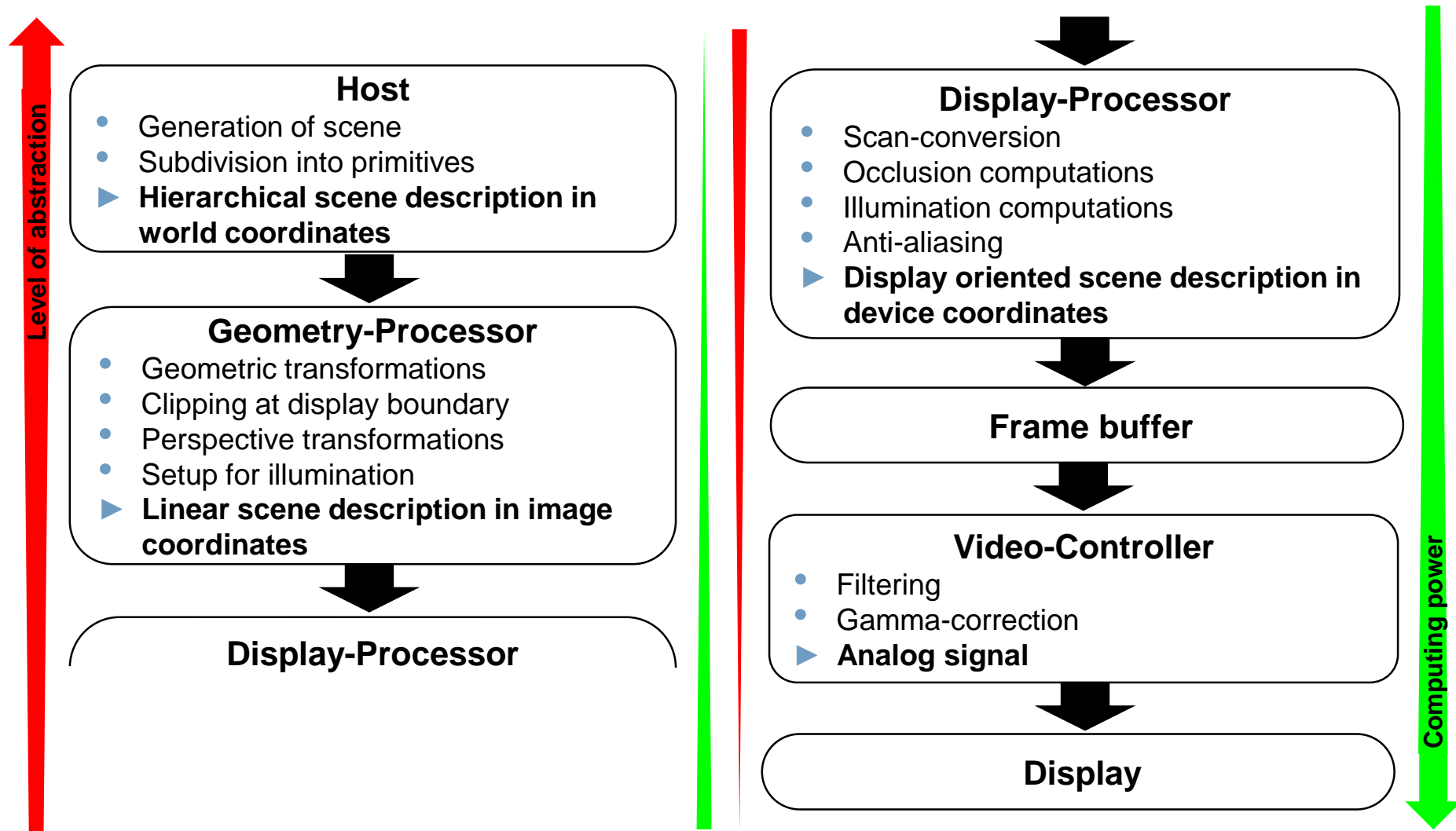
- the **illumination model** (§4.6 & §4.8),

What is the color of the objects we see?

- the **shading model** (§4.7).

What is the color of the pixels covered by the objects we see?

1.1 Basics



1.1 Basics

Alternatives to OpenGL

- **DirectX:** only for Windows-Platforms (e.g. xbox)
 - Large API collection for multimedia-applications:
 - 2d-graphics, 3d-grafik, audio, various input devices, etc.
 - Compute shaders, etc.
- **Mantle:** only for AMD-Hardware
 - Low-level rendering API
 - Improved integration of CPU-GPU-communication ▶ low-overhead
 - Improved support for multi-threading
 - ▶ **Vulkan** (aka Next Generation OpenGL): open, low-level, cross-platform, high-performance
- **Metal:** only for Apple-Hardware
 - Low-level, low-overhead rendering API

1.2 Graphical input devices*

What are typical input devices?

- Mechanical mouse, trackball, light mouse, space-mouse, space-ball, etc.
- touchscreen, touchpad,
- data glove,
- laser scanner, structured light scanner,
- cameras,
- etc.

1.2 Graphical input devices*

1.2.1 Mechanische Maus

- Laufrichtung: phasen-verschobene Signale durch versetzte Lichtschranken.
- Auflösung:
 - 100-200 Impulse/cm,
 - 250-500 dpi.

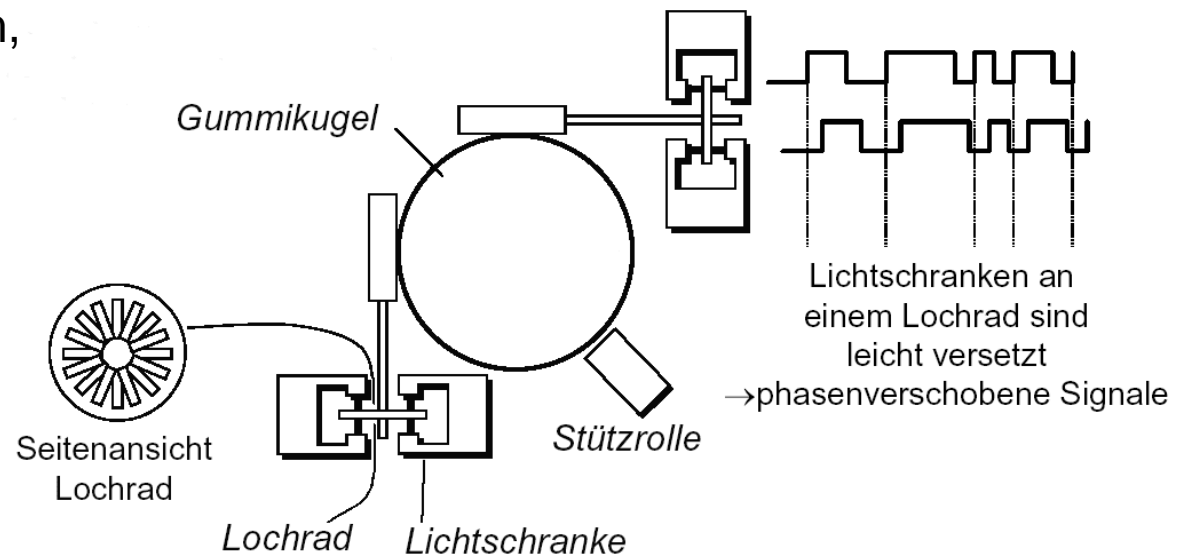


Abb.: Aufbau einer mechanischen Maus

Quelle: Uni Karlsruhe

1.2 Graphical input devices*

1.2.2 Optische Maus

- Rotes Licht wird auf Mausunterseite abgestrahlt,
- optischer Sensor nimmt 1500 Bilder pro Sekunde auf,
- aus den Bildunterschieden wird Bewegung berechnet,
- Auflösung:
 - 200-400 Impulse/cm
 - 500-1000 dpi

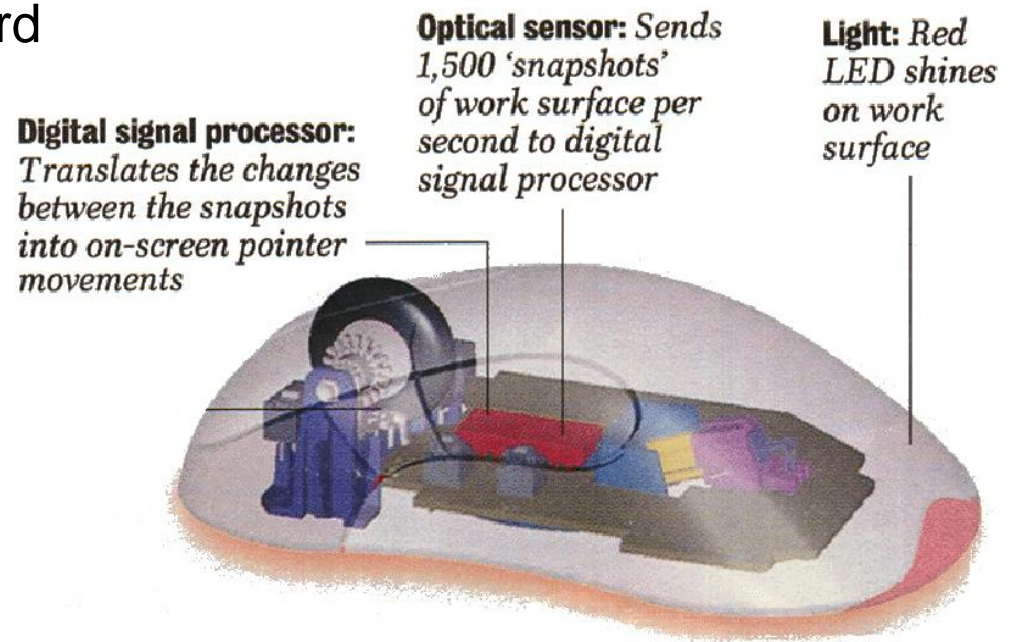


Abb.: Aufbau einer optischen Maus

Quelle: Uni Karlsruhe

1.2 Graphical input devices*

1.2.3 Touchscreen (resistiv)

- Sensitive Schicht auf LCD, PDP, CRT, etc.,
- aus den Widerstandswerten $R1$ und $R2$ kann die Position berechnet werden.

Touchpad:

- Kapazitiv: basiert auf Messung von Kapazitätsänderungen.

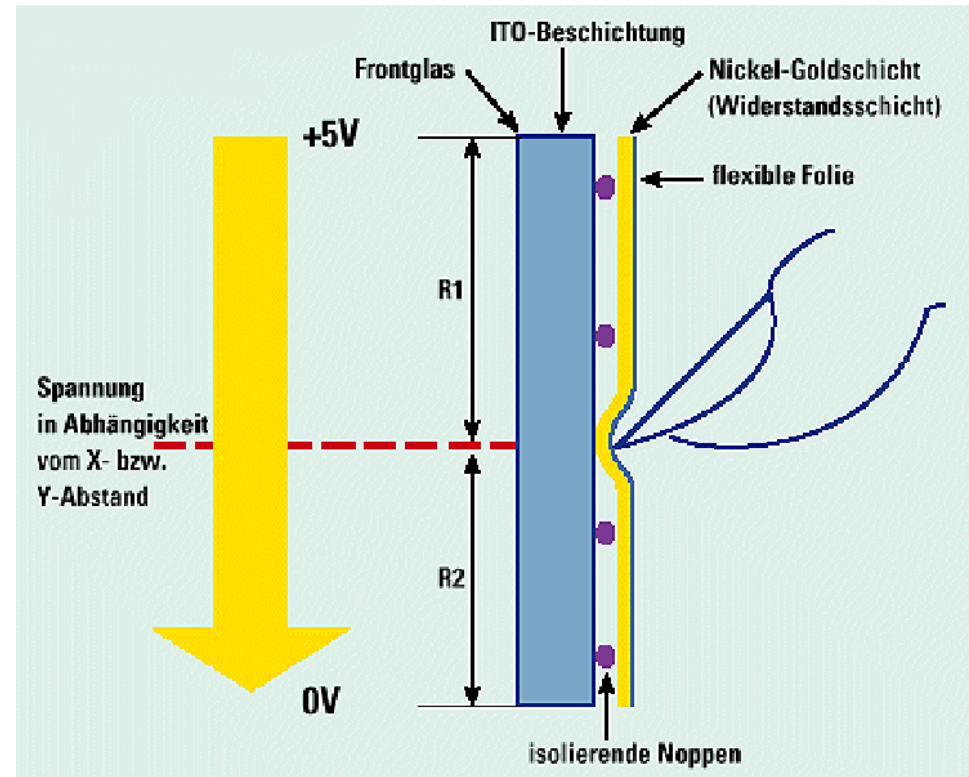


Abb.: Aufbau eines Touchscreen
(ITO = Indium-Zinn-Oxid)

Quelle: Uni Karlsruhe

1.2 Graphical input devices*

1.2.4 Multi-Touch Screen

(Frustrated Total Internal Reflection)

- Totalreflexion von Infrarotlicht im Frontglas des Displays, seitlich eingestrahlt.
- Durch Berührung wird Totalreflexion unterbrochen und ein Licht-Blob wird gemessen.
- Vorteil:
 - höhere Genauigkeit,
 - funktioniert auch mit Stiften
 - funktioniert auch mit mehreren Fingern.



Quelle: MacWorld

1.2 Graphical input devices*

1.2.5 Spaceball

- Fixierte Gummikugel,
- Kugel misst Kräfte:
 - Druck in x-, y- und z-Richtung verursacht Verschiebung (3 Freiheitsgrade),
 - Drehmomente verursachen Rotation (3 Freiheitsgrade).



Abb.: Spaceball

1.2.6 Spacemouse

- Gummischeibe,
- 6 LEDs mit Schlitzblende und Fotosensor,
- Prinzip analog zur Maus,
- 6 Freiheitsgrade.

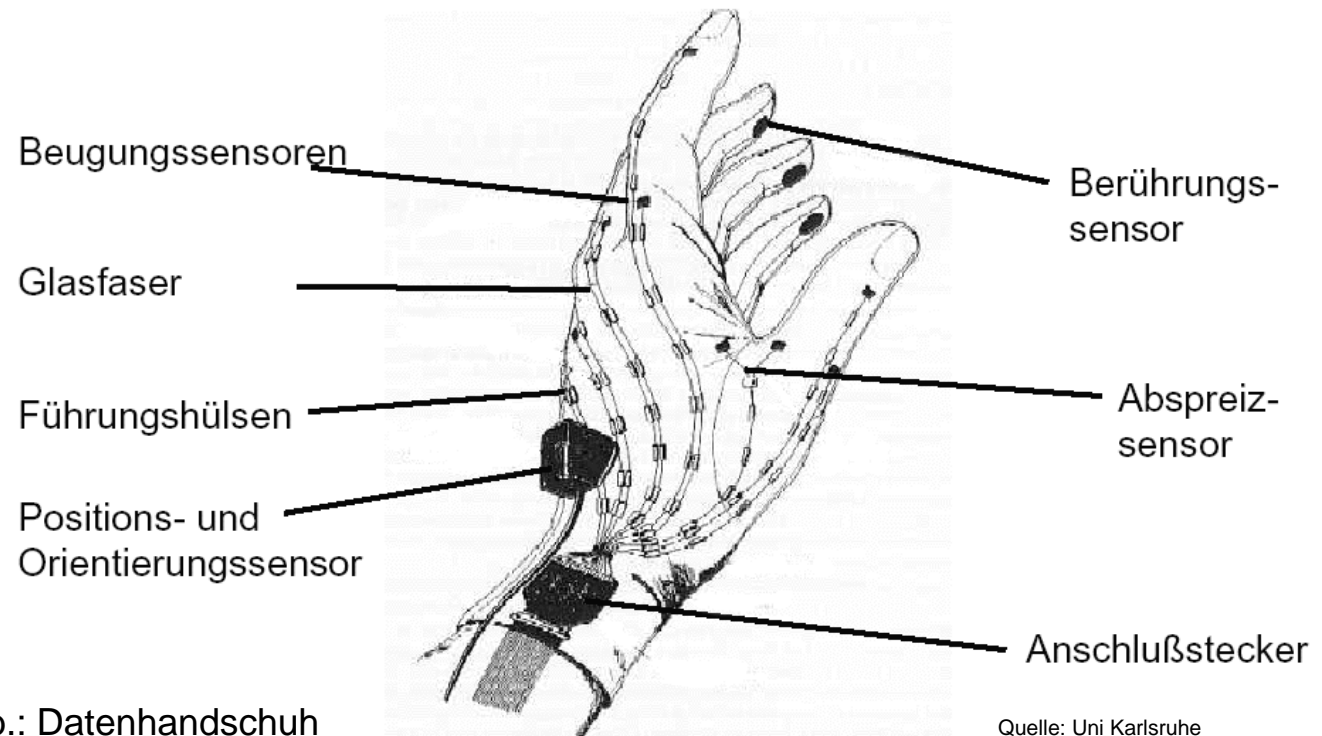


Abb.: Spacemouse

1.2 Graphical input devices*

1.2.7 Datenhandschuh (data glove)

- Lichtverlust in Glasfaser bedeutet Richtungsänderung im entsprechenden Gelenk,
- 18-22 Sensoren,
- 0.5° genau.



Quelle: Uni Karlsruhe

1.2 Graphical input devices*

1.2.8 Haptische Geräte

- Force Feedback durch Exoskelett und Bowdenzüge.



1.3 Screen Technology*

What are typical output devices?

- CRT-monitor,
- LCD-monitor, TFT-monitor, LED-monitor,
- plasma monitor,
- projector,
- printer,
- etc.

1.3 Screen technology*

1.3.1 Röhrenbildschirm, einfarbig (Cathode Ray Tube)

Prinzip

1. Vakuum-Glasröhre.
2. Strahlerzeugung: beheizbare Kathode als Elektronenquelle.
3. Steuergitter:
 - Negativ geladener Zylinder bündelt Elektronenstrahl
 - zur Steuerung der Helligkeit.

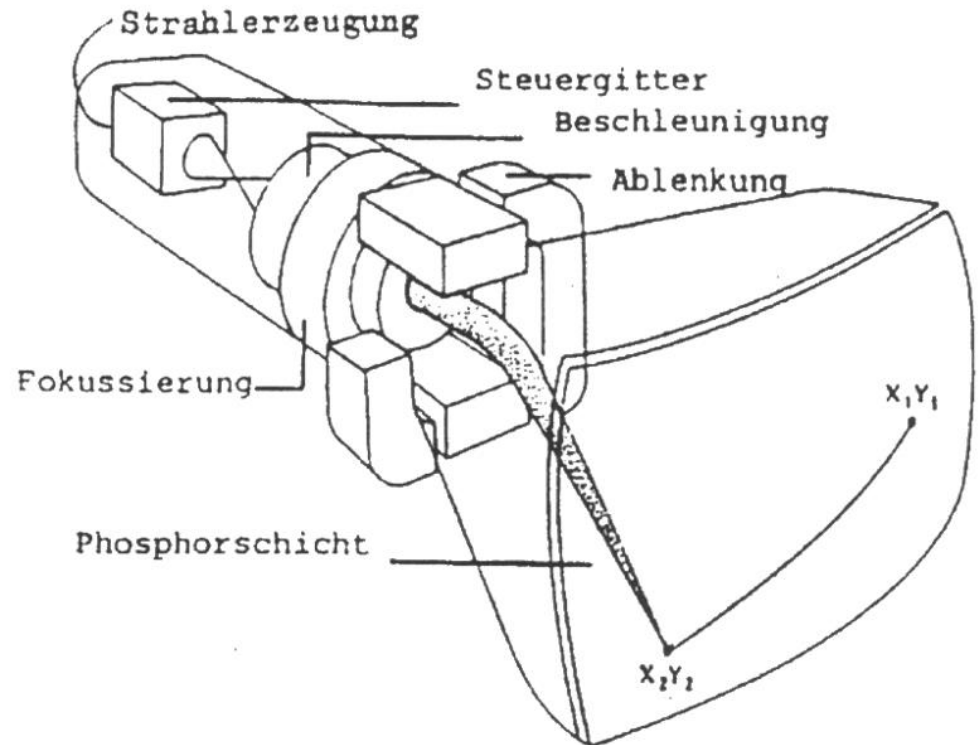


Abb.: Schematischer Aufbau einer Kathodenstrahlröhre.

Quelle: FU Hagen

1.3 Screen technology*

4. Beschleunigung:

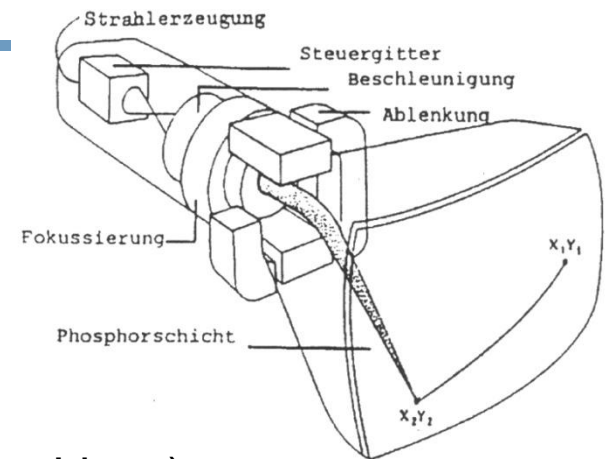
- Elektrisches Feld mittels Anoden,
- Elektronenstrahl tritt durch Loch in Anoden.

5. Fokussierung:

- Fokussierung des Elektronenstrahls (\approx optischen Linse) auf Bildebene.

6. Ablenkung:

- Magnetisches/elektrisches Feld lenkt in 2 orthogonalen Richtungen ab,
- Ablenkung in vorgegebenen Schrittweiten auf fest vorgegebenen Zeilen
➡ Rasterung des Bildschirms in Pixel.
- Typische Bildschirmauflösungen: 800x600, 1024x768, 1280x1024, 1600x1200.



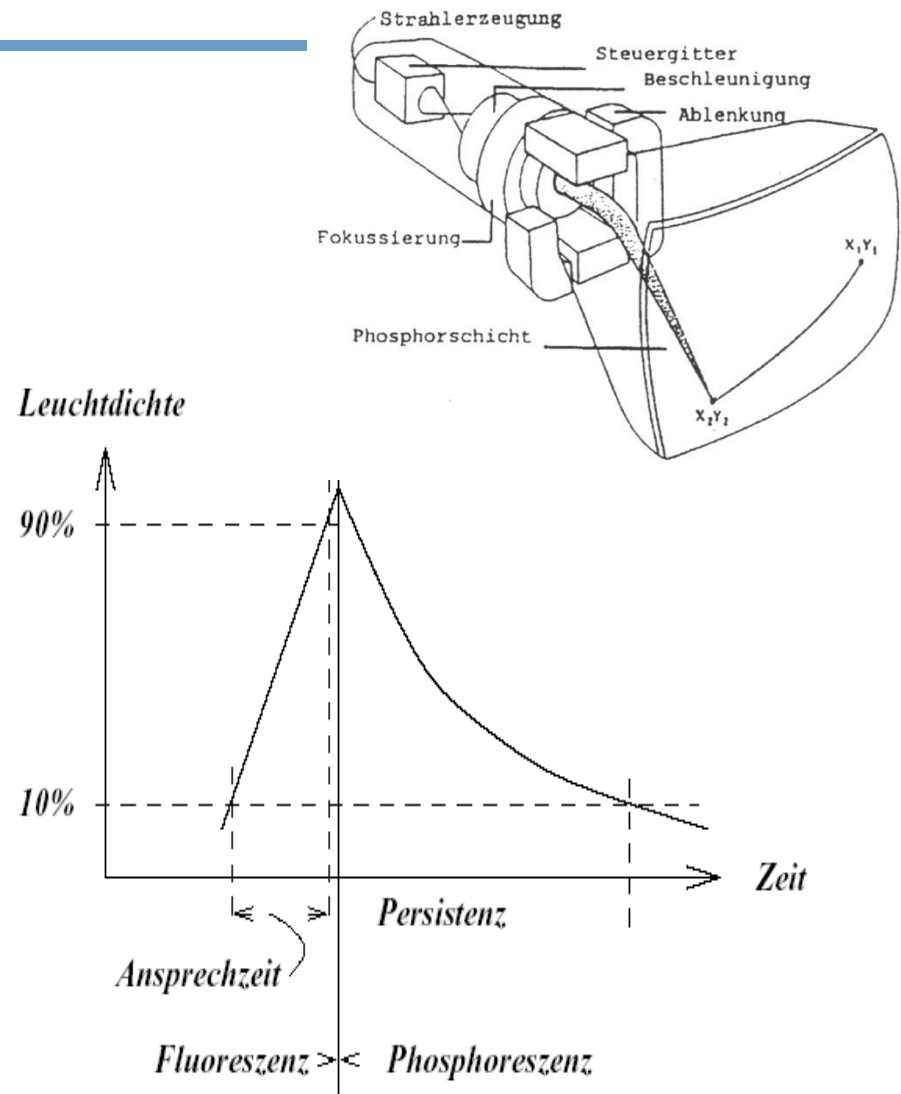
1.3 Screen technology*

7. Phosphorschicht:

- Auftreffende Elektronen regen Phosphor zur Fluoreszenz an.
- Phosphor leuchtet nach: Phosphoreszenz.
- Dauer des Nachleuchtens: Persistenz (10-60 ms).

Abb.: Zeitverlauf der Lichtemission von Phosphor.

(Quelle: FU Hagen)



1.3 Screen technology*

8. Bildwiederholfrequenz (30-100 Hz):

- Aufgrund geringer Persistenz muss das Bild ständig neu aufgebaut werden.
- Große Persistenz + kleine Frequenz: Bild verschmiert.
- Kleine Persistenz + hohe Frequenz: Bild flimmert.

9. Phosphor: Unterschiede in Farbe, Körnung, Persistenz.

1.3 Screen technology*

1.3.2 Röhrenbildschirm mit Rasterdisplay, farbig

- Phosphor in Tripeln (Delta) von Punkten oder als Streifen aufgetragen (Rot, Grün, Blau)
- Pitch = Tripelabstand
- Mischfarbe durch begrenzte Auflösung der Netzhaut.
- **Konvergenzproblem:**
Elektronenstrahlen stoßen einander ab.

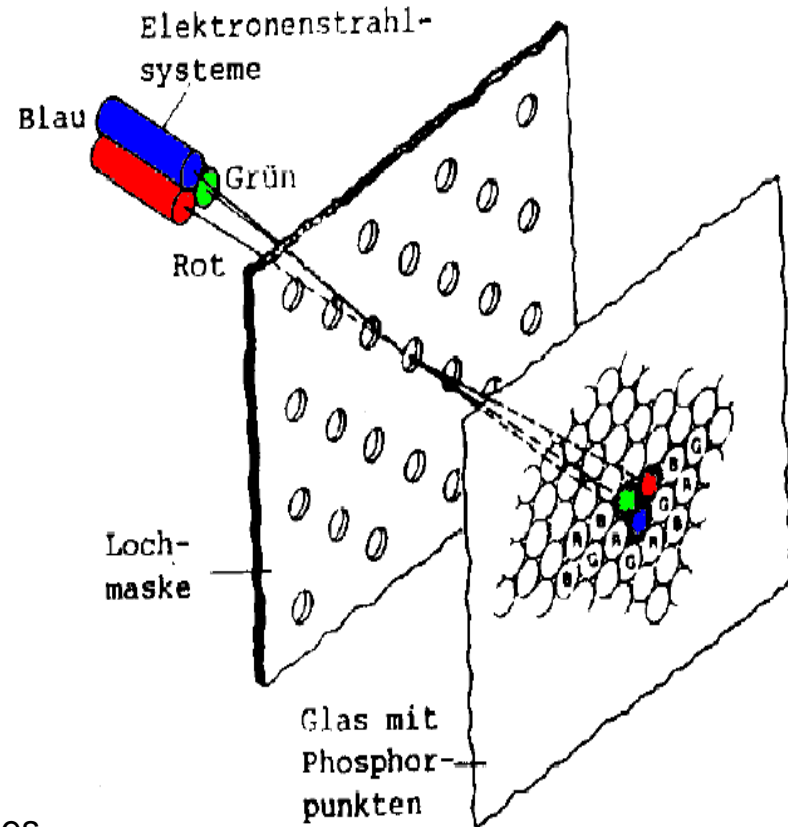


Abb.: Lochmaskenröhre mit Delta-Anordnung des Elektronenstrahlsystems und punktförmigem Phosphor.

Quelle: FU Hagen

1.3 Screen technology*

- Loch-, Schlitz- oder Streifenmaske: gestreute Elektronen werden abgefangen.
- 50-80% der Elektronen werden abgefangen: hohe Spannung für ausreichende Intensität.

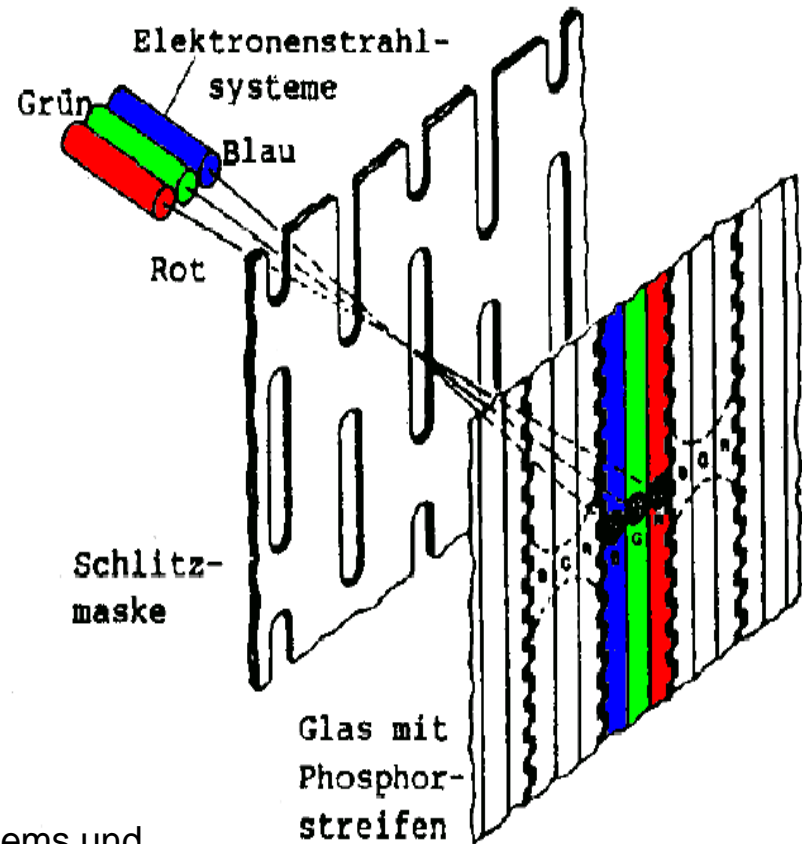


Abb.: Inline-Anordnung des Elektronenstrahlsystems und streifenförmiger Anordnung des Phosphors.

Quelle: FU Hagen

1.3 Screen technology*

Gamma-Korrektur

- Zusammenhang Steuerspannung U_G und Helligkeit I :

$$I = I_{\max} (U_G / U_{G\max})^\gamma$$

(I_{\max} Gerätekonstante)

- Bsp.: $0.6^{2.2} \approx 0.33$
- Linearität: korrigierte Steuerspannung

$$(U_G / U_{G\max})^{1/\gamma}$$

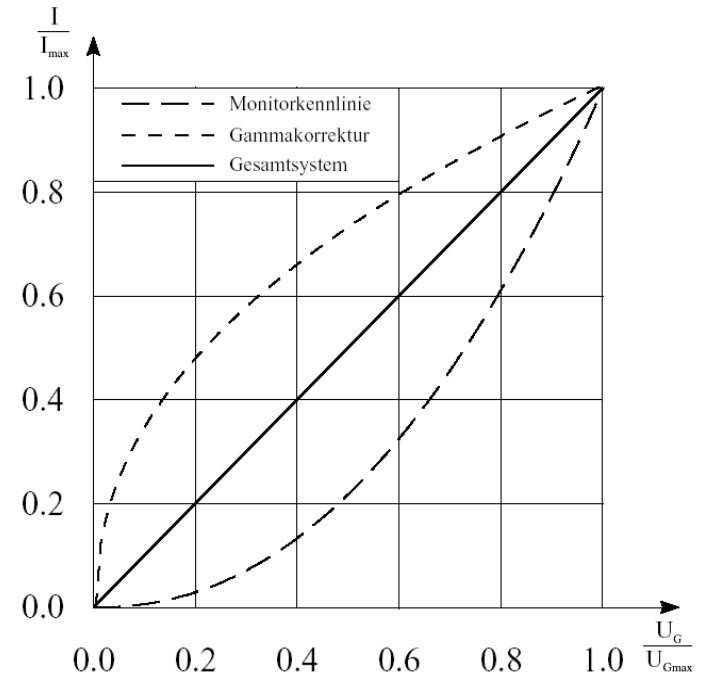
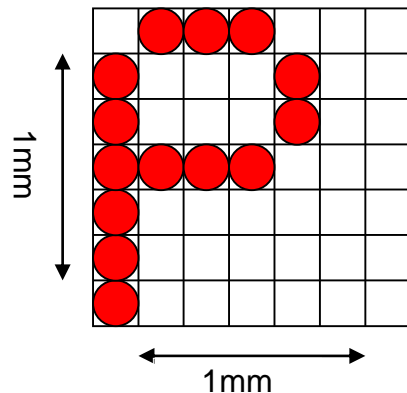


Abb.: Gamma-Korrektur bei einer CRT, Helligkeit I in Abhängigkeit von der Steuerspannung U_G , $\gamma=2.2$.

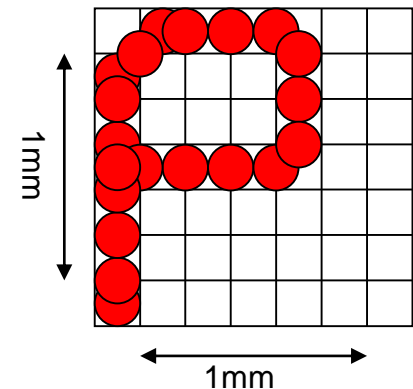
Quelle: FU Hagen

1.3 Screen technology*

- **Punktgröße (dot size):** Durchmesser eines einzelnen Punktes auf dem Ausgabemedium, Einheit: [mm], [inch]
- **Adressierbarkeit:** Anzahl individuell erzeugbarer Punkte pro Längeneinheit, Beispiel: 1280 Pixel / 20"
- **Punktabstand:** 1/Adressierbarkeit
- **Auflösung (resolution):** Anzahl unterscheidbarer Punkte oder Linien pro Längeneinheit, Einheit: [L/mm], [dpi]



Punktgröße?
Adressierbarkeit?
Punktabstand?
Auflösung?



1.3 Screen technology*

■ Mathematische Auflösung

- addressability, absolute Auflösung,
- abhängig von Grafikkarte,
- z.B.: 1280 Punkte x 1024 Linien.

■ Physikalische Auflösung

- resolution, optische Auflösung,
- Farbmonitor: bestimmt durch Tripelabstand, ca. 0,21 – 0,30mm,
- Monochrommonitor: bestimmt durch Körnung des Phosphors und Aura des Elektronenstrahls, Bildpunkte können einander überlappen.

1.3 Screen technology*

■ Horizontalfrequenz (f_H)

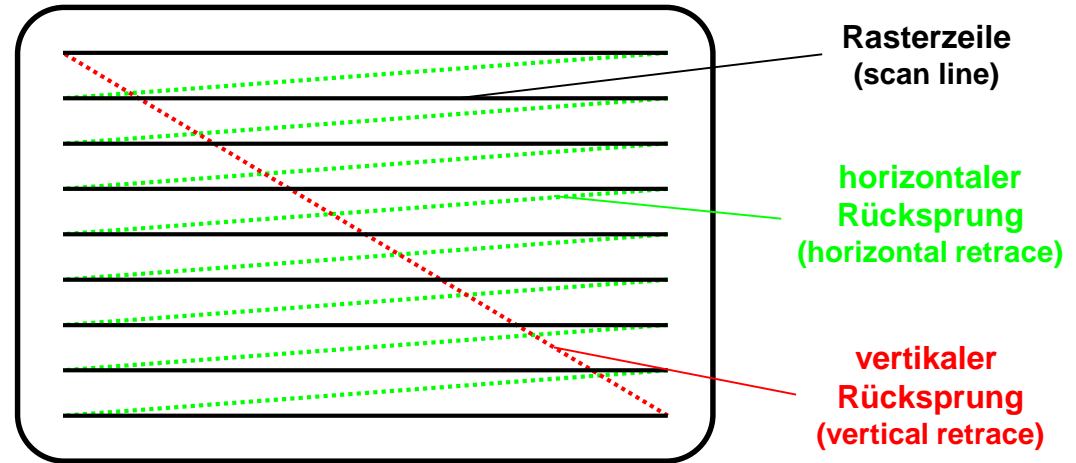
- Anzahl der horizontalen Bewegungen des Elektronenstrahls pro Sekunde [kHz].
- Bestimmt *Bildwiederholfrequenz* (f_V) bei fester Auflösung.
- $f_V \geq 85$ Hz empfehlenswert.

Beispiele:

- $f_H = 80$ kHz, $f_V = 85$ Hz ➡ 1152 x 864 Pixel ok!
- 1600 x 1200 Pixel, $f_V = 85$ Hz ➡ $f_H \geq 102$ kHz

1.3 Screen technology*

Abb.: Rasterbildschirmtechnik.



■ Frame size

- Beziehung zwischen Auflösung und Rücksprungzeiten.
- z.B.: 1280 x 1024 Pixel, $f_v = 85$ Hz, frame size 1688 x 1066
 - ➡ $f_H = 1066 \times 85 \text{ Hz} \approx 90 \text{ kHz}$
 - ➡ Pixelfrequenz: $1688 \times 1066 \times 85 \text{ Hz} \approx 153 \text{ MHz}$

1.3 Screen technology*

Nutzung der Austastlücke I

- Es werden nicht nur die fürs Bild genutzten 576 Zeilen, sondern >600 Zeilen übertragen für den Rücksprung des Elektronenstrahls:
 - **Vertikale Austastlücke:** Zeilenrücksprung.
 - **Horizontale Austastlücke:** Rücksprung vom unteren Bildrand nach oben.
 - In diesem Zeitraum wird die Bildübertragung unterbrochen.
- In den zusätzlichen Zeilen wird Zusatzinformation übertragen.
- Beispiele: Synchronimpulse, Videotext, VPS, Macrovision.
- Analoge Geräte nehmen komplettes Signal auf, digitale Systeme nur das Bild (also 576 Zeilen).

1.3 Screen technology*

Nutzung der Austastlücke II

Macrovision: Kopierschutzverfahren im nicht sichtbaren Teil

- „Falsche“ Synchronimpulse in gewisser Frequenz
 - bringen Timing des Videorecorders durcheinander:
 - Bild läuft durch oder flackert zeitweise.
 - TV: ignoriert Störungen auf dieser Frequenz.
- Neue irreführende Signale:
 - automatischen Helligkeitsregelung im Videorecorder denkt, dass das Video zu dunkel oder zu hell ist, d.h.
 - Helligkeit des Gesamtbildes wird extrem angehoben/abgesenkt.
 - TV: keine automatische Helligkeitsregelung.

1.3 Screen technology*

1.3.3 Flüssigkristallbildschirm (Liquid Crystal Display)

■ Flüssigkristalle:

- 1888 von Friederich Reinitzer entdeckt.
- Materialien, die nicht direkt vom festen in flüssigen Aggregatzustand übergehen.



■ Flüssigkristall-Phase:

- Fließeigenschaften einer gewöhnlichen Flüssigkeit.
- Kristalline Eigenschaften: Orientierung der Moleküle, Polarisation.
- Moleküle drehen die Polarisationsrichtung um 90° , falls kein elektrisches Feld anliegt.
- Anordnung kann geändert werden durch elektrisches Feld.

1.3 Screen technology*

- Polarisator, Analysator:
 - Parallele Glasscheiben, Abstand 5-10µm
 - Polarisationsfilter mit orthogonalen Polarisations Ebenen
- Elektroden:
 - **Keine Spannung liegt an:**
LC-Moleküle **ändern Polarisations Ebene des Lichts** nach dem Polarisator so, dass sie mit der Polarisations Ebene des Analysators übereinstimmt.
 - ➡ **Licht passiert zweiten Filter ungehindert.**

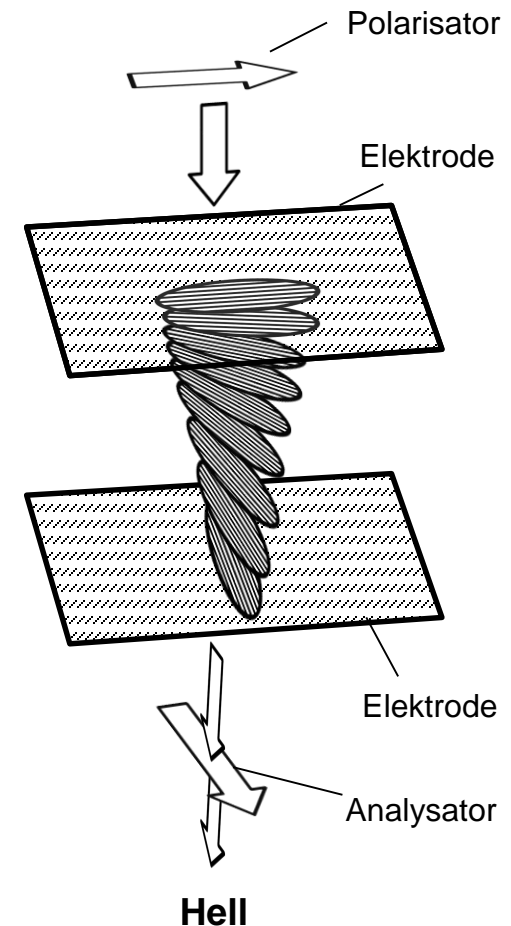


Abb.: Funktion eines twisted-nematic LCD.

1.3 Screen technology*

■ Elektroden:

- **Spannung liegt an:**
LC-Moleküle richten sich anders aus, so dass **keine Änderung der Polarisations Ebene** stattfindet.
- ➔ **Licht passiert zweiten Filter nicht.**

■ Thin Film Transistor:

- Ansteuerung der Elektroden mit einem Dünnschichttransistor pro Pixel.

■ In Plane Switching:

- LC-Moleküle drehen in einer Ebene, d.h. beide Elektroden auf einem Substrat.

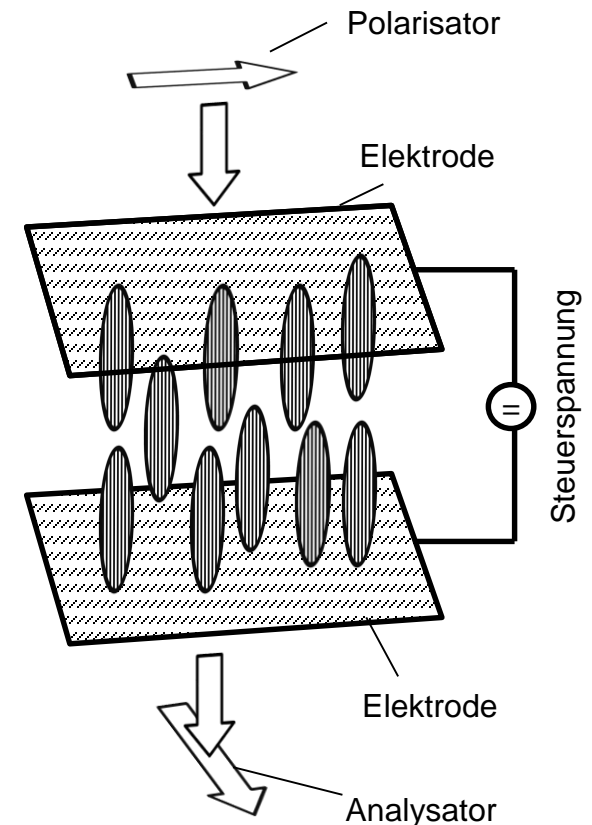
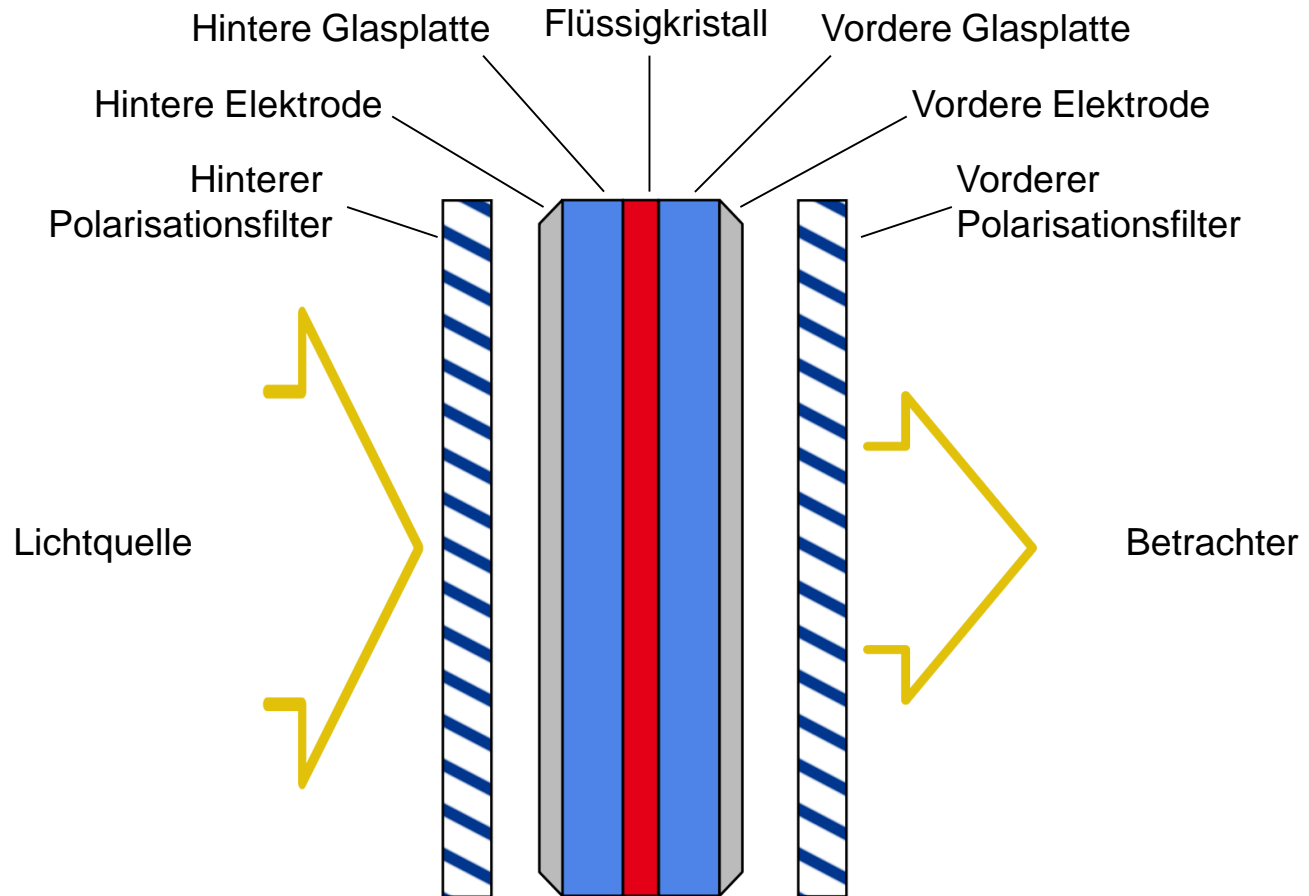


Abb.: Funktion eines twisted-nematic LCD.

1.3 Screen technology*

- Bildschirm wird durch künstliches Licht von hinten beleuchtet.



1.3 Screen technology*

- Farbe:
 - Drei Zellen werden zu einem Pixel zusammengefasst,
 - Farbfilter.
 - Problem: schwarz.

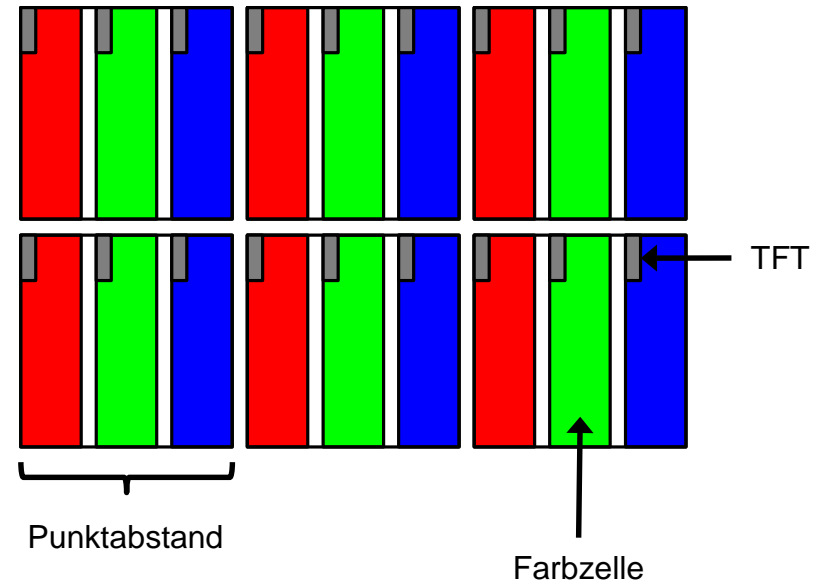


Abb.: Aufbau der Bildpunkte eines TFT's.

1.3 Screen technology*

1.3.4 Plasma Display Panel

- Lichterzeugung mittels Gasentladung.
- Neon/Xenon-Plasma erzeugt Entladung auf MgO-Schicht.
- UV-Strahlung erzeugt Fluoreszenz auf Phosphorschichten.

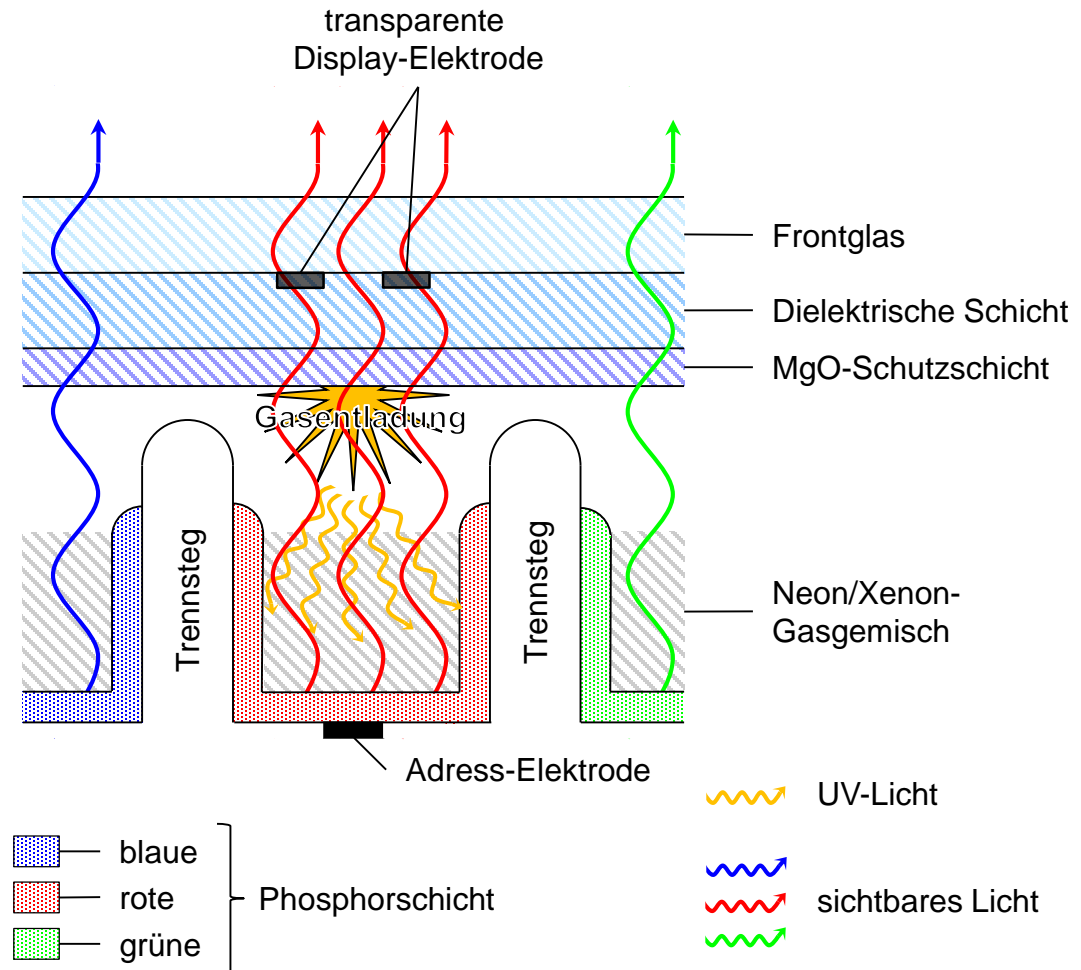


Abb.: Aufbau einer Gasentladungszelle.

1.3 Screen technology*

■ Matrix von Gasentladungszellen mit bi-stabilem Zustand:

- Pixel anzeigen bei Zündspannung,
- Pixel leuchtet bei mittlerer Brennspannung,
- Pixel löschen bei Löschspannung.

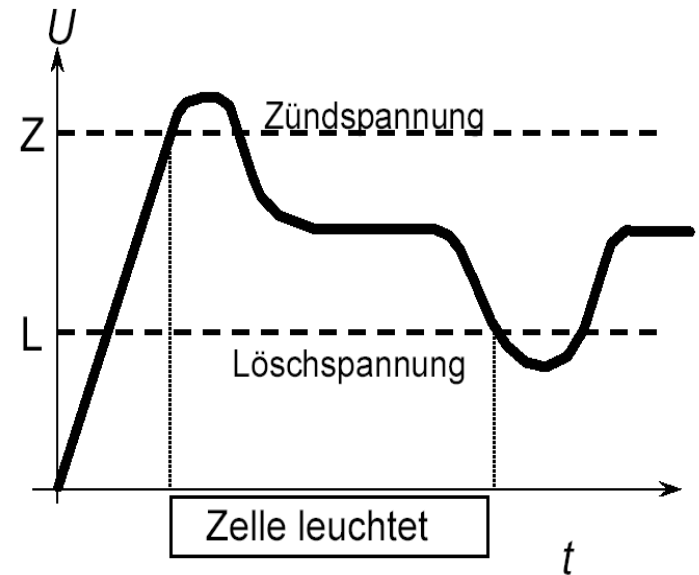


Abb.: Ansteuerung einer Gasentladungszelle.

Quelle: Uni Karlsruhe

1.3 Screen technology*

- **Problem:** Erzeugung verschiedener Helligkeitsstufen?
- Gas ändert nur sprunghaft Aggregatzustand.
- **Lösung:** Trägheit des menschlichen Auges nutzen und Gas „früher ausschalten“
 - ➡ Phosphoranregung geringer
- **Vorteile:** Geräte relativ leicht, hohe Auflösungen und Bilddiagonalen möglich.
- **Nachteile:** hoher Stromverbrauch, Lüfter nötig (Geräusch!), sehr hohe Produktionskosten.

1.3 Screen technology*

1.3.5 LCD-Projektor

- Ein TFT-Panel wird beleuchtet,
- LCD-Schicht steuert Durchlässigkeit,
- Linsensystem fokussiert Lichtstrahlen.
- **Fresnel-Linse:** aus ringförmigen Zonen aufgebaut.

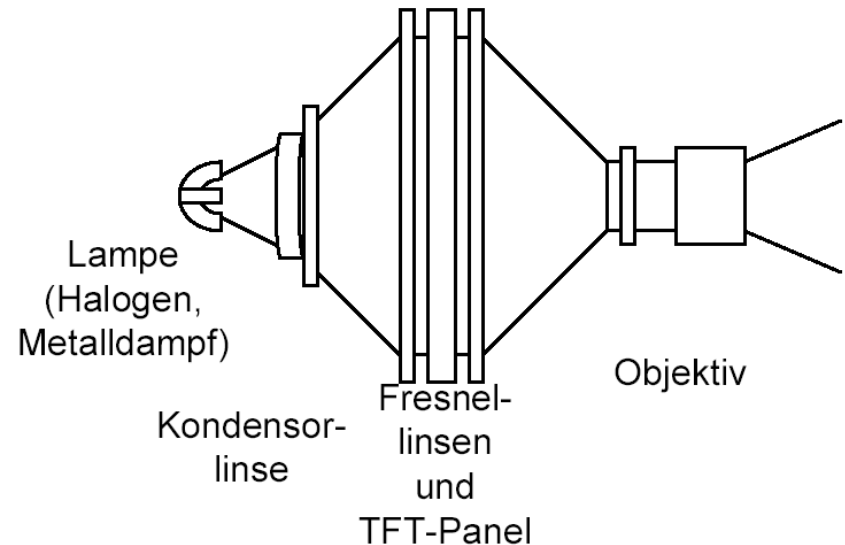


Abb.: Schematische Darstellung eines LCD-Projektors.

Quelle: Uni Karlsruhe

1.3 Screen technology*

1.3.6 E-Paper

■ Elektrophorese:

- Mikrokapseln mit Durchmesser ca. 4 μm
- Gefüllt mit transparentem zähflüssigen Polymer
- Positiv geladene weiße Partikel und negativ geladene schwarze Partikel.
- Darstellung wird durch kurzzeitiges Anlegen einer elektrischen Spannung verändert.
- Bleibt mehrere Wochen lang stabil.

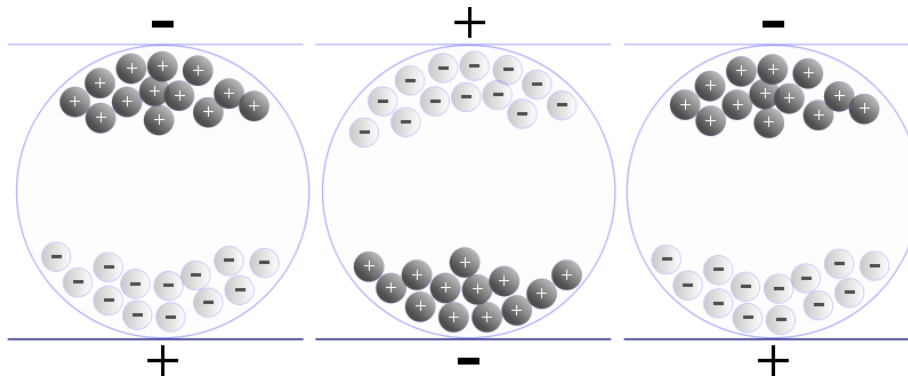


Abb.: Schema einer elektrophoretischen Anzeige.

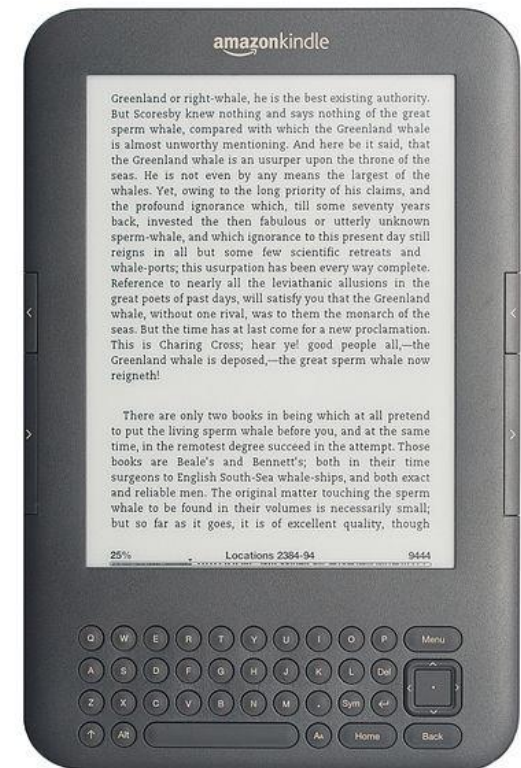


Abb.: Amazon Kindle 3

Quelle: wikipedia

1.4 3D-systems*

1.4.1 Farb-Anaglyphen

- Stereoskopischen Halbbilder werden nicht nebeneinander sondern – meist mit Hilfe eines Rot-Grün-Filters – überlagert dargestellt.
- Die Trennung der beiden Halbbilder erfolgt mit speziellen Anaglyphenbrillen, die entsprechend gefärbte Gläser bzw. Farbfolien besitzen.
- Heute üblich: Rot-Cyan-Filter
 - ➔ Bessere Darstellung von Echtfarben.

Quelle: Wikipedia



1.4 3D-systems*

■ Vorteile:

- Günstige Brillen.
- Nur ein Projektor notwendig.
- Viele Betrachter gleichzeitig möglich.

■ Nachteil:

- Schlechte Farbdarstellung.

1.4 3D-systems*

1.4.2 Shutter-Brille

- Doppelwandige Brillengläser sind mit LC gefüllt,
- normaler Bildschirm ($>100\text{Hz}$) zeigt abwechselnd zwei Bilder aus verschiedenen Perspektiven,
- synchron dazu verdunkelt die Brille abwechselnd das linke und das rechte Glas,
- Synchronisation durch Funk oder Infrarot.



1.4 3D-systems*

■ Vorteile:

- Nur ein Projektor notwendig.
- Günstige, normale Leinwand.

■ Nachteil:

- Teure Brillen.
- Nur wenige Betrachter gleichzeitig möglich.

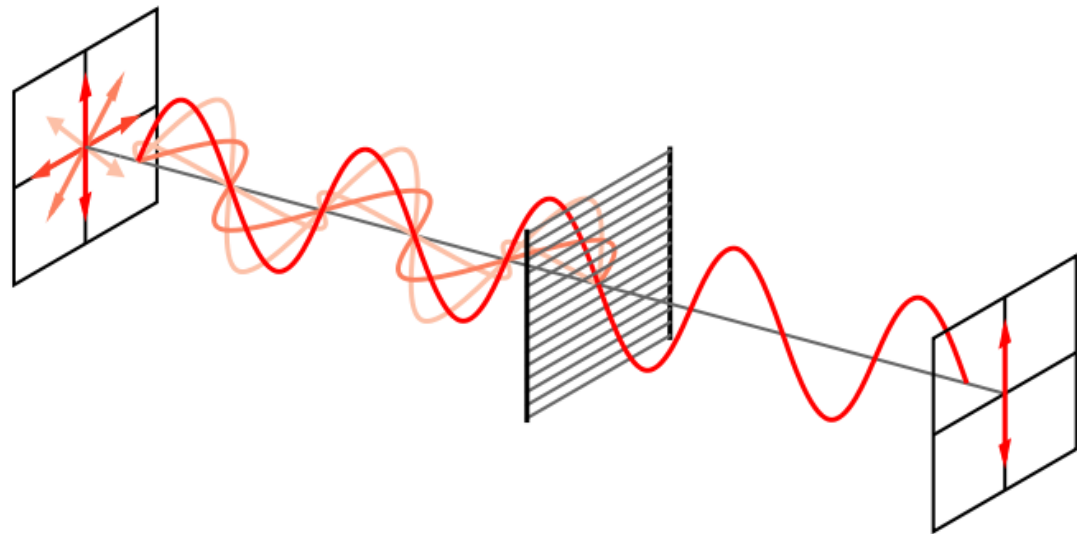
1.4 3D-systems*

1.4.3 Polarisationsbrille

- Polarisierte Bilder für das linke bzw. rechte Auge.
- Die Trennung der beiden Halbbilder erfolgt mit speziellen Brillen, die entsprechend polarisierende Gläser bzw. Folien besitzen.

- **Lineare Polarisation:**

- Die Halbbilder sind einem Winkel von einem Winkel von zueinander gedreht
- Üblich: 0/90, 45/135

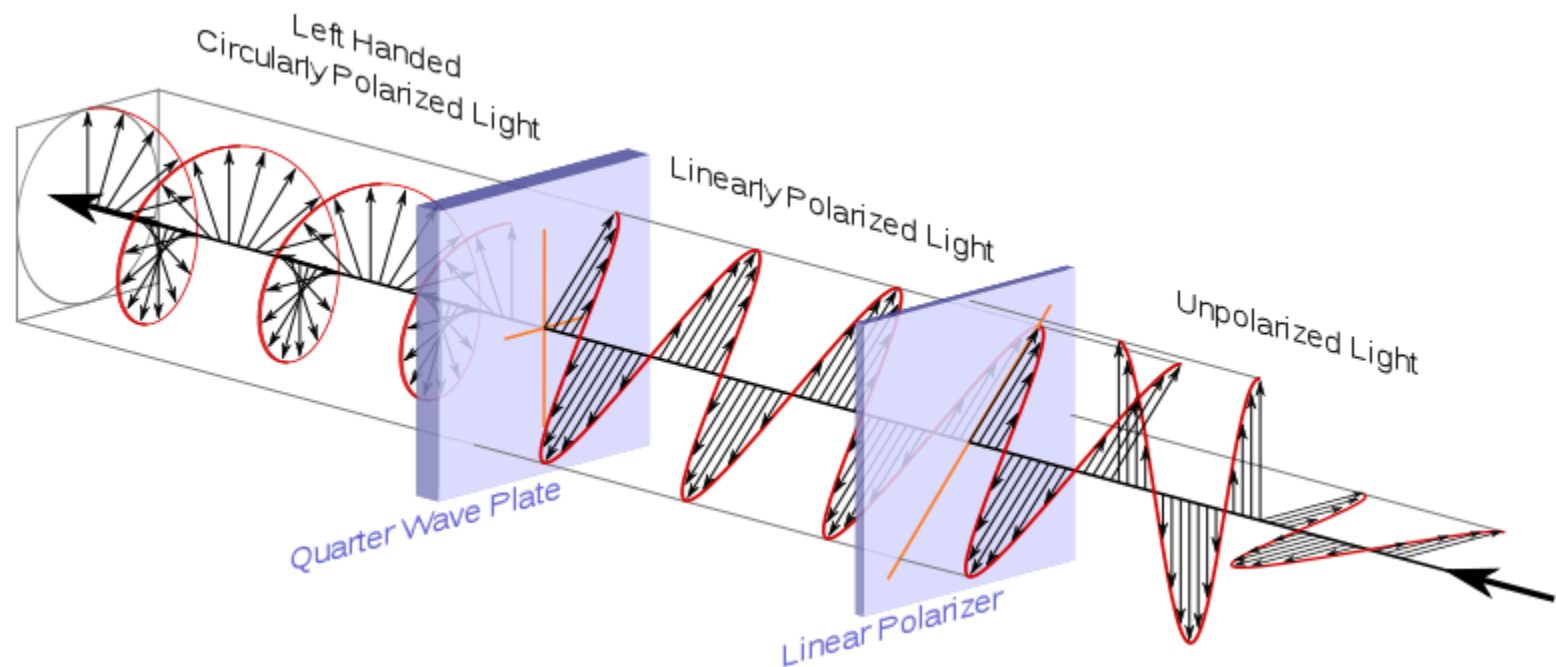


Quelle: Wikipedia

1.4 3D-systems*

■ Zirkuläre Polarisation:

- Die Halbbilder sind links- bzw. rechtsdrehend polarisiert.
- Abhängig von der Vorpolarisation: RealD +45/-45



Quelle: Wikipedia

1.4 3D-systems*

■ Vorteile:

- Günstige Brillen.
- Viele Betrachter gleichzeitig möglich.
- Zirkuläre Polarisation: Unempfindlich gegenüber Neigen des Kopfes.

■ Nachteil:

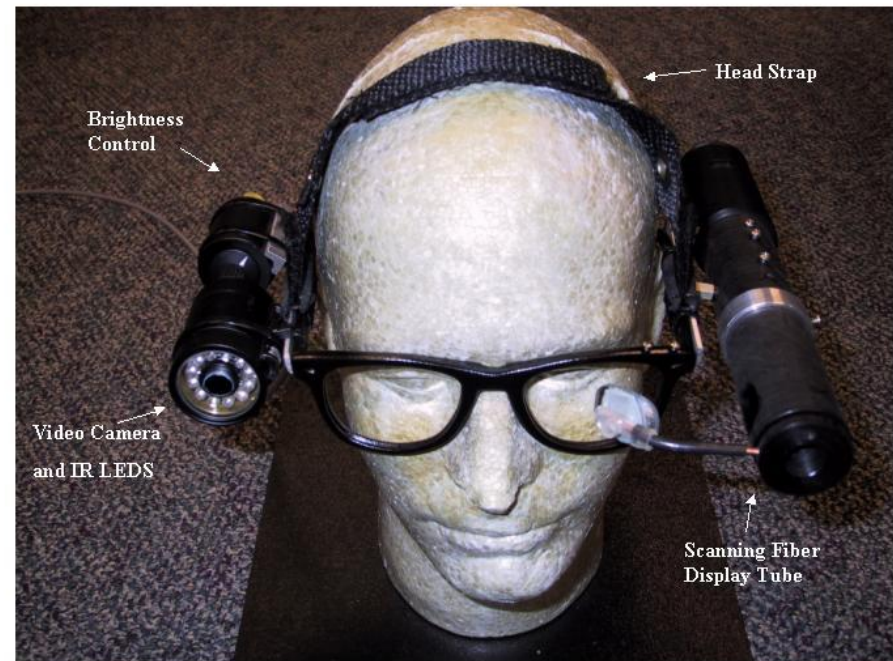
- Zwei Projektoren (Kalibrierung) bzw. Halbierung der Auflösung.
- Spezielle nicht-polarisierende Leinwand (Silberbeschichtung).
- Lineare Polarisation: Empfindlich gegenüber Neigen des Kopfes.

1.4 3D-systems*

1.4.4 Virtual Retinal System

- Bild wird direkt auf die Retina projiziert (zeilenweise),
- Bild ungefähr eine Armlänge entfernt,
- Durchsichtmodus: regelbare Helligkeit.

Quelle: HITLab



1.4 3D-systems*

1.4.5 Head Mounted Display

- Zwei kleine LCD bieten beiden Augen die Ansicht einer 3D Szene aus leicht unterschiedlichen Perspektiven an.
- **Vorteile:**
 - preisgünstig,
 - weites Spektrum an Bewegungen,
 - zweihändige Interaktionen möglich.
- **Nachteile:**
 - immersiv, aber unhandlich,
 - Ein-Benutzer-System.
 - geringe Auflösung und kleines Sichtfeld,
 - u.U. Übelkeit durch ungenaues oder langsames Tracking,



Quelle: Wikipedia



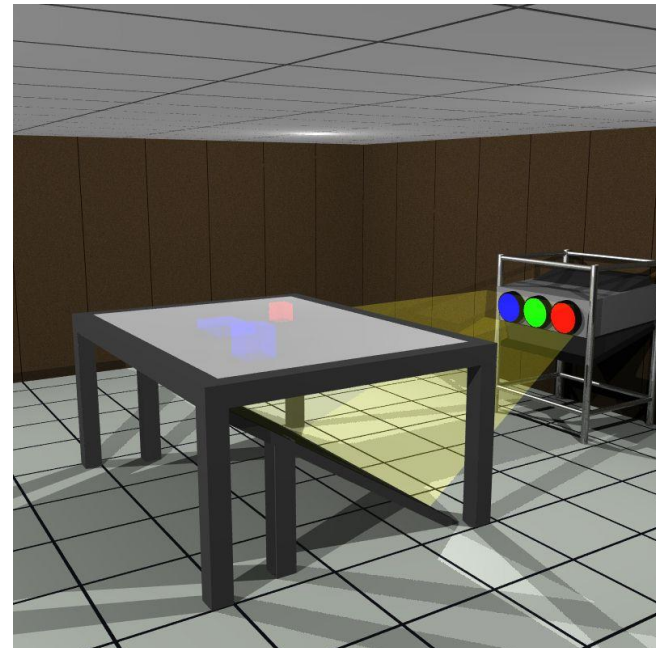
1.4 3D-systems*

1.4.6 Responsive Workbench

- Verwendung der Tisch-Metapher,
- neigbare Projektionsfläche,
- Rückprojektion,



- 3D durch Shutter-Brille.



1.4 3D-systems*

■ Vorteile:

- gute Auflösung,
- sehr natürliche Darstellung,
- natürliche Arbeitsumgebung (durch Tischmetapher),
- virtuelle zweihändige Interaktionen möglich,
- Multiuser-Betrieb möglich .

■ Nachteile:

- teuer (ca. 50.000 Euro),
- eingeschränktes operationelles Bewegungsfeld.

1.4 3D-systems*

1.4.7 Powerwall

- große Projektionsfläche,
- stereoskopische Ausgabe,
- 3D durch Polarisations- oder Shutter-Brille,
- 3D-Interaktion (eine Person),
- Benutzer kann sich innerhalb des Aktionsraums frei bewegen.

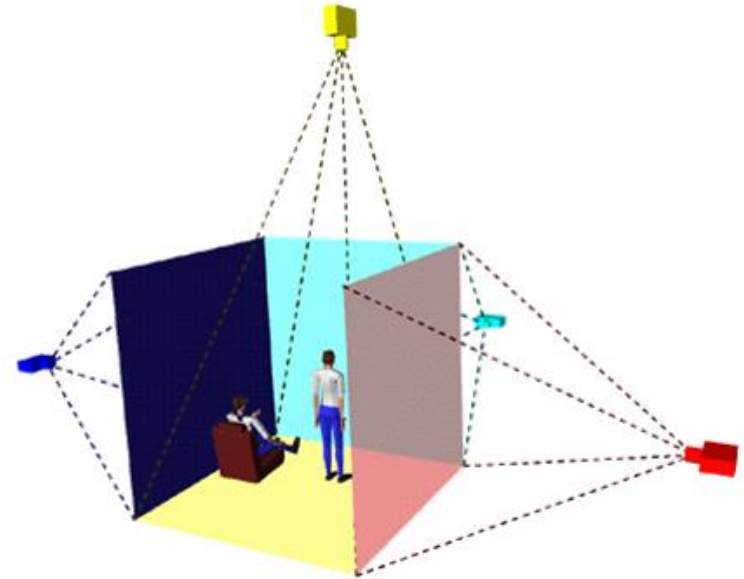


1.4 3D-systems*

1.4.8 CAVE

Cave Automatic Virtual Environment

- Immersion über an Wände, Decke und Boden projizierte Stereobilder,
- 3D durch Shutter-Brille,
- Tracking einer Person (guide) oder Multiple Tracked Viewing,
- 3D-Surround-Sound,
- Vibrotaktile Stimulation.



1.4 3D-systems*

■ Vorteile Powerwall / CAVE:

- hohe Auflösung, großes Sichtfeld,
- ein aktiver und zahlreiche passive Nutzer,
- Integration von echten Objekten im CAVE,
- Multiuser-Betrieb möglich.

■ Nachteile Powerwall / CAVE:

- sehr teuer (Powerwall ab 60.000 Euro, CAVE ab 250.000 Euro),
- u.U. Übelkeit durch falsche Stereoskopie-Berechnung oder ungenaues oder langsames Tracking.

1.4 3D-systems*

1.4.9 Autostereoskopische Bildschirme

■ Image Splitter

- Herkömmliches LCD mit abwechselnd einer Pixelspalte für das linke und rechte Auge,
- Streifenmaske blockiert jeweils den Blick auf die jeweils andere Spalte,
- funktioniert nur bei einem Betrachter und bestimmter Kopfposition.

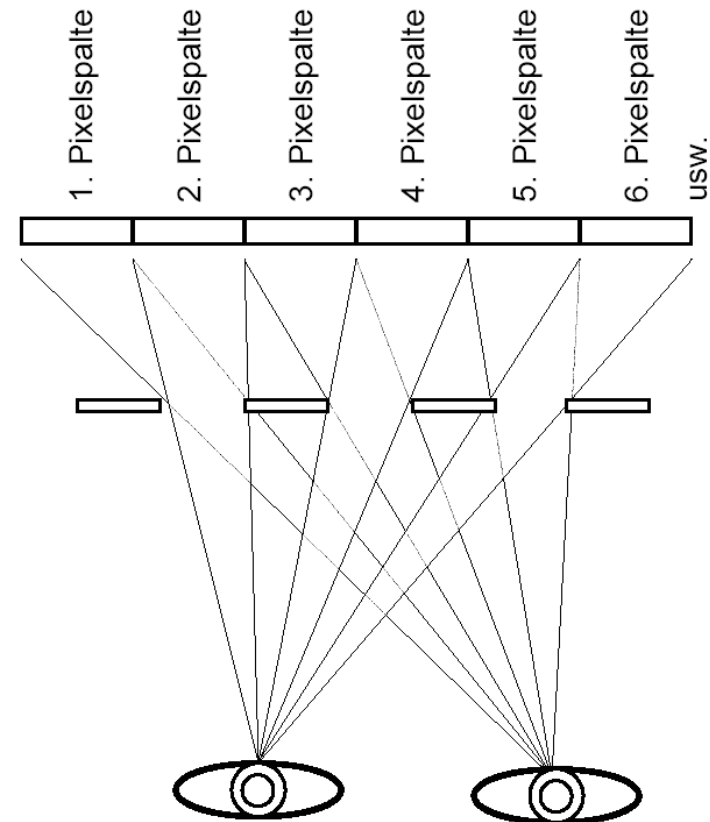


Abb.: Funktionsprinzip eines Image Splitters.

Quelle: Uni Karlsruhe

1.4 3D-systems*

■ Prismensystem

- Bereich, in dem 3D-Effekt gesehen wird ("Sweetspot") ist normalerweise klein,
- herkömmliches TFT-Display mit vorgeschaltetem Prismensystem,
- Tracking-Funktion: Prismen werden je nach Position des Betrachters verschoben.

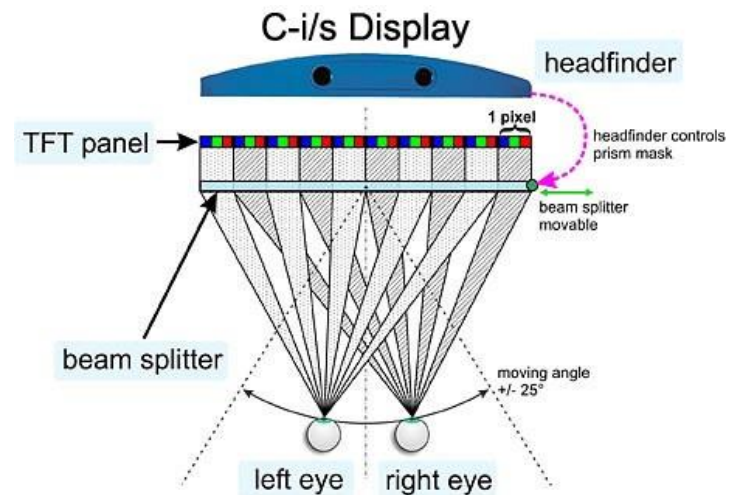


Abb.: Funktionsprinzip des Prismensystems.

Quelle: SeeReal

1.5 Printer*

1.5.1 Laserdrucker (Xerographie)

- 1938 Chester Carlson.
- Rotierende Alutrommel mit photoleitfähigem Halbleiter
 - im Dunkeln elekt. nicht leitend,
 - im Licht elektrisch leitend.
- Corona-Entladung:
 - Drähte positiv geladen,
 - Luft wird ionisiert,
 - positive Ionen lagern sich ab.

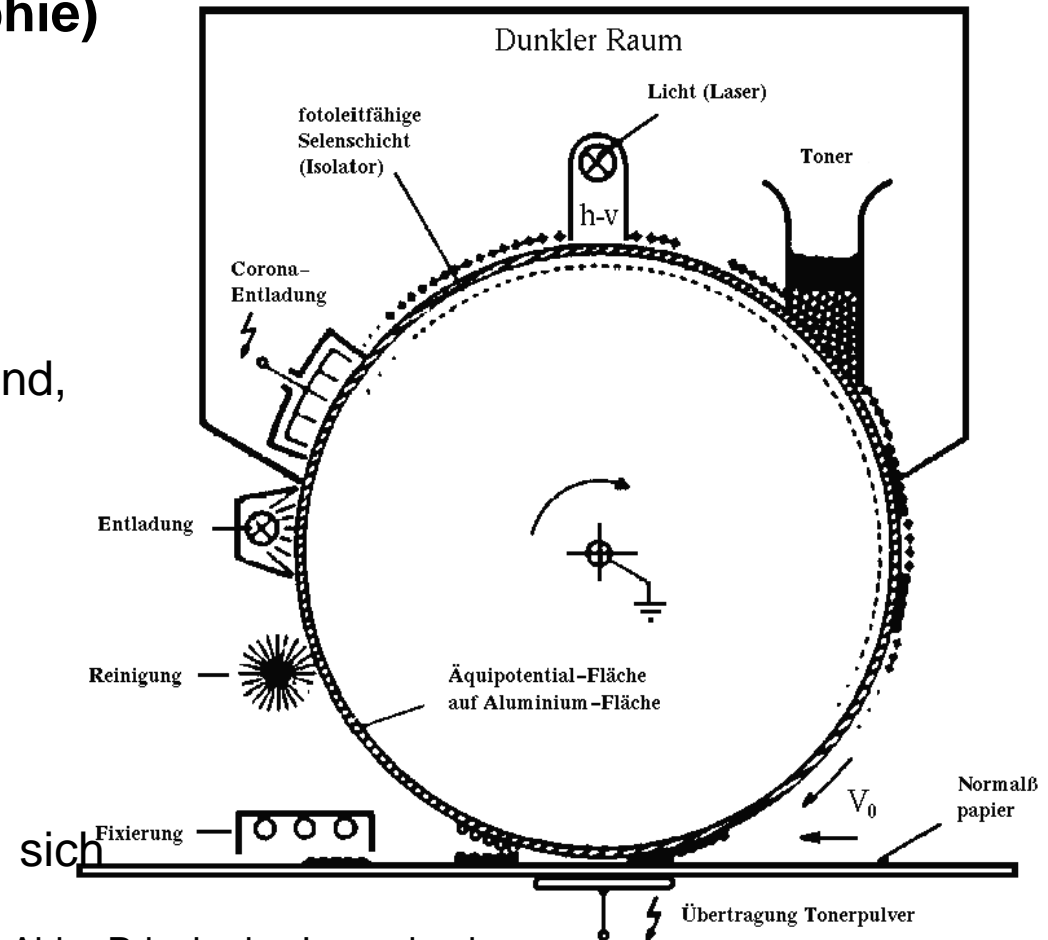


Abb.: Prinzip des Laserdruckers.

Quelle: FU Hagen

1.5 Printer*

- Belichtung:
 - Laser (bzw. Bild einer Kopiervorlage) beleuchtet Trommel,
 - photoleitfähiger Halbleiter wird leitend,
 - belichtete Stellen werden entladen.
- Entwicklung: positiv geladener Toner lagert sich an belichteten Stellen ab.
- Toner-Transfer: elektrostatische Ladung des Papiers.
- Fixierung: Druck und Hitze fixieren Toner auf Papier.
- Reinigung: Bürste entfernt restlichen Toner.
- Entladung: vollständige Belichtung der Trommel.

1.5 Printer*

1.5.2 Tintenstrahldrucker

■ Piezo-Technik:

- Piezo-Kristall verformt sich bei Spannung und
- drückt Tinte aus der Düse.

■ Bubble-Jet:

- Tintentröpfchen wird sehr schnell erhitzt,
- ein Teil verdampft,
- Rest wird auf Papier geschossen.

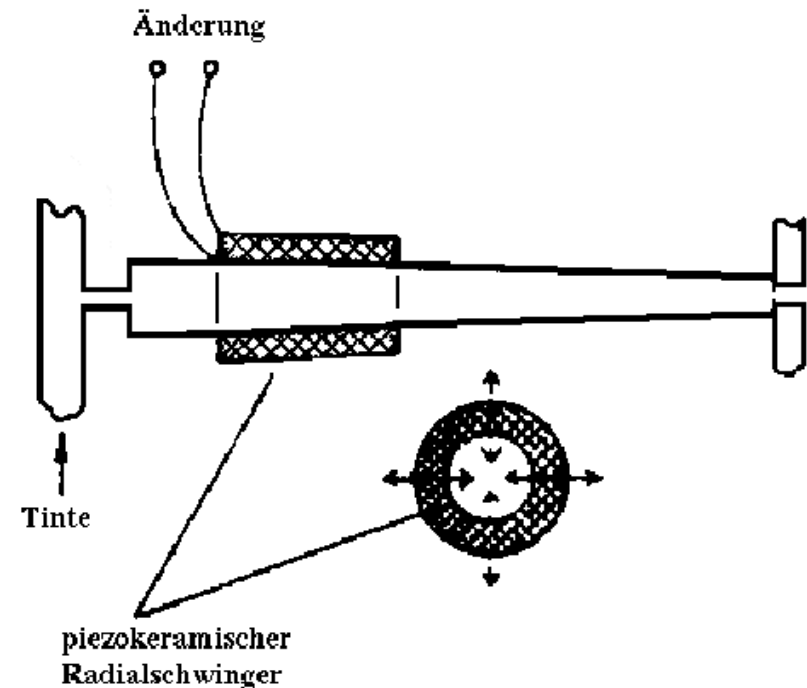


Abb.: Tintenschreibwerk nach dem Unterdruckverfahren, Einzeldüse.

Quelle: FU Hagen

Goals

- What are the typical stages of a rendering pipeline?
- Welche graphische Eingabegeräte gibt es?
- Wie funktionieren Maus, Trackball?*
- Welche 2D-Ausgabegeräte gibt es?
- Wie funktioniert die Kathodenstrahlröhre?*
- Wie kommt Farbe auf den Bildschirm?
- Wie funktionieren LCD- und PDP-Bildschirme?*
- Was bedeuten die Leistungsangaben bei Bildschirmen?*
- Welche 3D-Ausgabetechniken gibt es?*
- Wie funktionieren Laser- und Tintenstrahldrucker?*

* Not relevant for the exam