



UNIVERSITÄT  
LEIPZIG

Hardwaregrundlagen

# COMPUTERGRAPHIK

# Inhaltsverzeichnis

## 2 Hardwaregrundlagen

### 2.1 Bildschirmtechnologien

### 2.2 Projektionstechnologien

### 2.3 3D-Displaytechnologien

### 2.4 Bildrechner (GPU)

### 2.5 Weitere Ausgabegeräte

### 2.6 Graphische Eingabegeräte

## 2.1 Bildschirmtechnologien

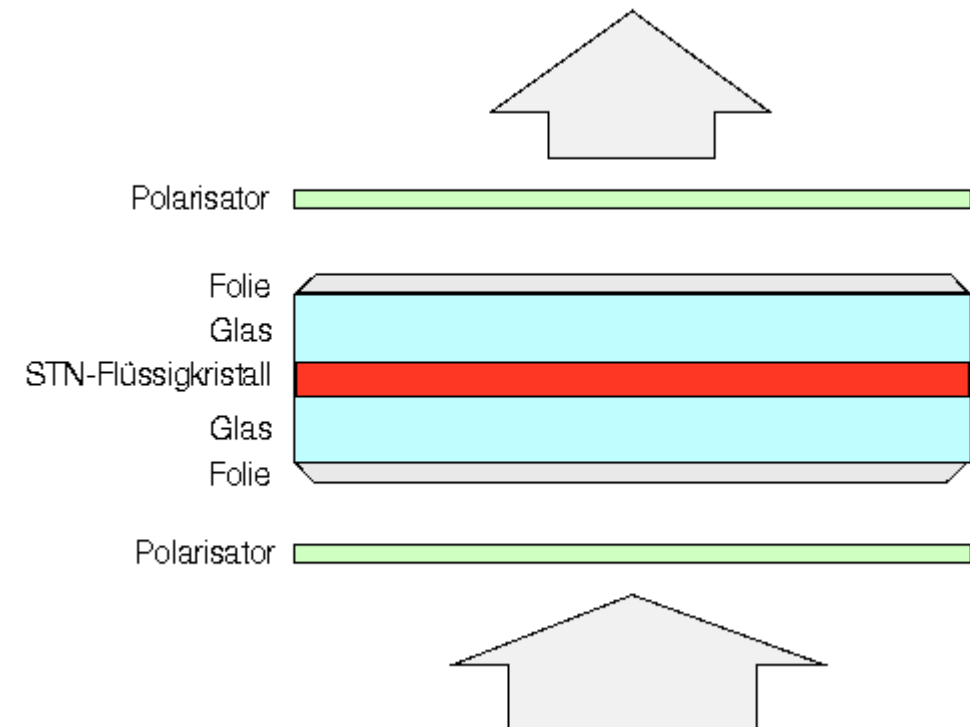
Flüssigkristallbildschirm (LCD = Liquid Crystal Display)

- Flüssigkeitskristalle seit 1888 (F. Reinitzer)
- LCD-Bildschirme seit 1970
- Vorteile
  - Geringe Leistungsaufnahme (~25W)
  - Flimmerfrei
  - Guter Kontrast
  - Digital
  - Leicht/klein/mobil
- Nachteile
  - Passiv: Licht durchlassen oder reflektieren - erfordert Lichtquelle
  - Einschränkung Betrachtungswinkel
  - Kein echtes Schwarz

## 2.1 Bildschirmstechnologien

### Flüssigkristallbildschirm (LCD = Liquid Crystal Display)

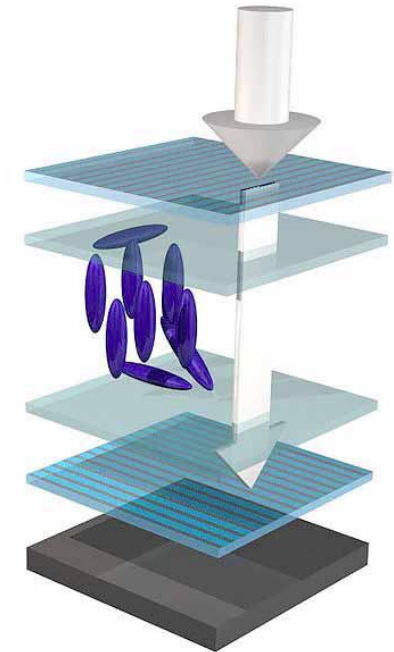
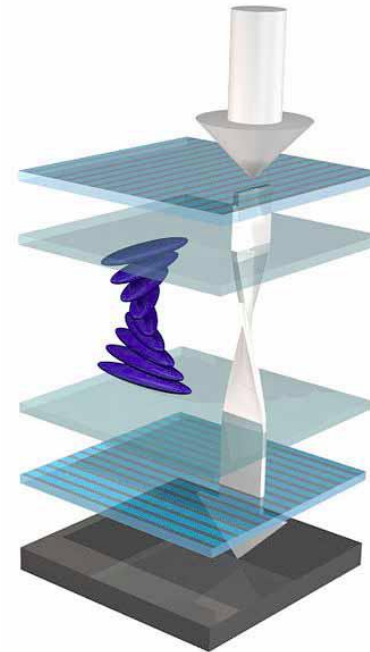
- Zwei parallele Glasplatten im Abstand 5-10µm
- Dazwischen: hermetisch abgeschlossener Flüssigkeitskristall
- An beiden Glasplatten liegen transparente Elektroden an:
  - Erzeugung unterschiedlicher elektrischer Felder in verschiedenen Bildelementen
- Hintergrundbeleuchtung



## 2.1 Bildschirmstechnologien

### Flüssigkristallbildschirm (LCD = Liquid Crystal Display)

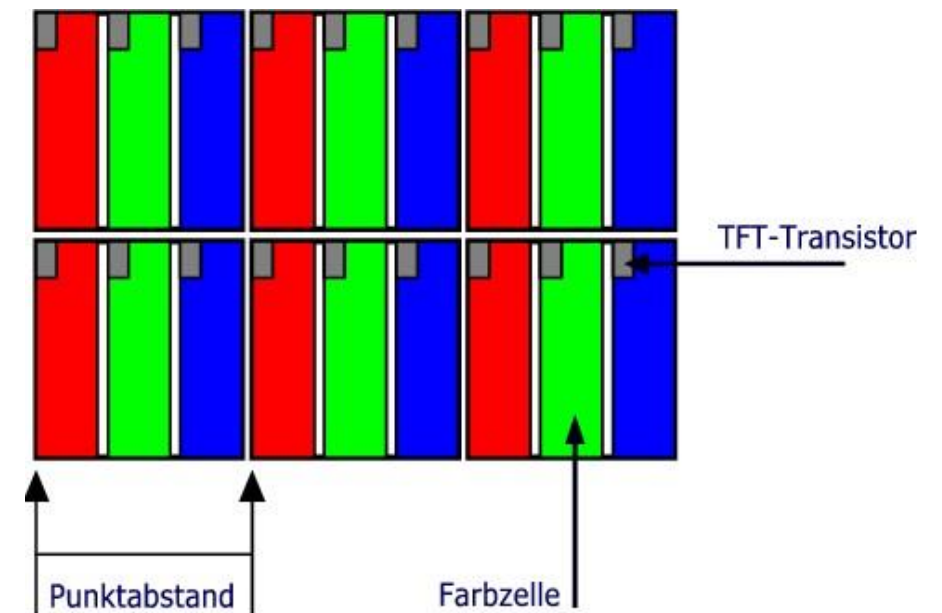
- Licht wird durch den 1. Polarisationsfilter polarisiert
- Licht wird durch die organischen Moleküle des Flüssigkristalls gedreht
- Zweiter Polarisationsfilter
  - Licht passiert, wenn keine Spannung anliegt
  - Licht wird geblockt, wenn Spannung anliegt (Bild erscheint an dieser Stelle entsprechend dunkler, aber nicht Schwarz)



## 2.1 Bildschirmstechnologien

### Flüssigkristallbildschirm (LCD = Liquid Crystal Display)

- Jedem Schalttransistor ist eine Flüssigkristallzelle zugeordnet
- Für Farbdarstellungen werden drei Flüssigkristallzellen zu einem RGB-Farbtripel zusammengefasst
- Die einzelnen Zellen erhalten durch Mikrofilter die Farben Rot, Grün und Blau

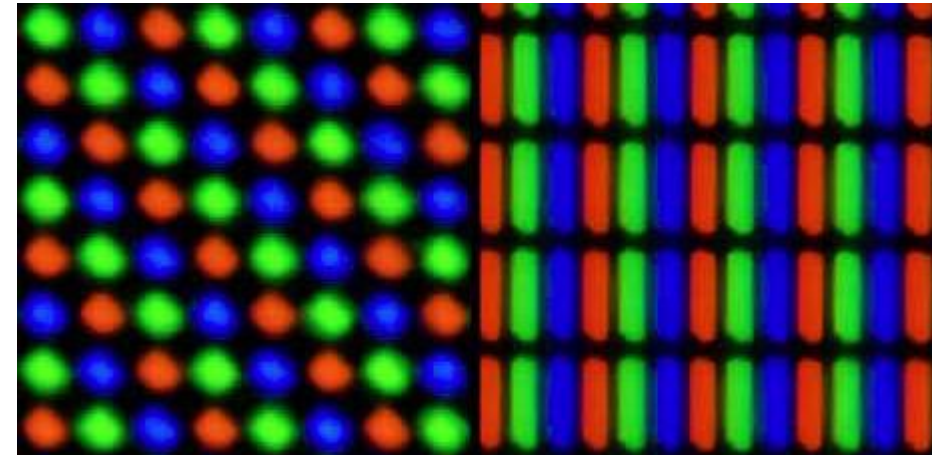
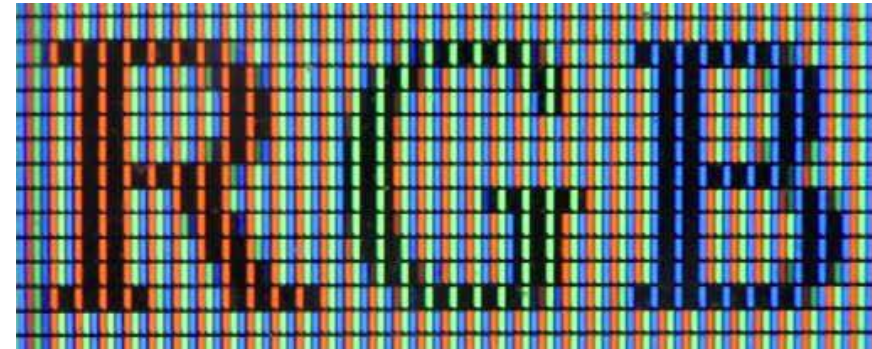


Aufbau der Bildpunkte eines TFT's

## 2.1 Bildschirmstechnologien

### Flüssigkristallbildschirm (LCD = Liquid Crystal Display)

- Unterschiedliche Zellgeometrie für Anordnung der drei Farben
- Kann ggf. für Antialiasing (Subpixel-Rendering) ausgenutzt werden

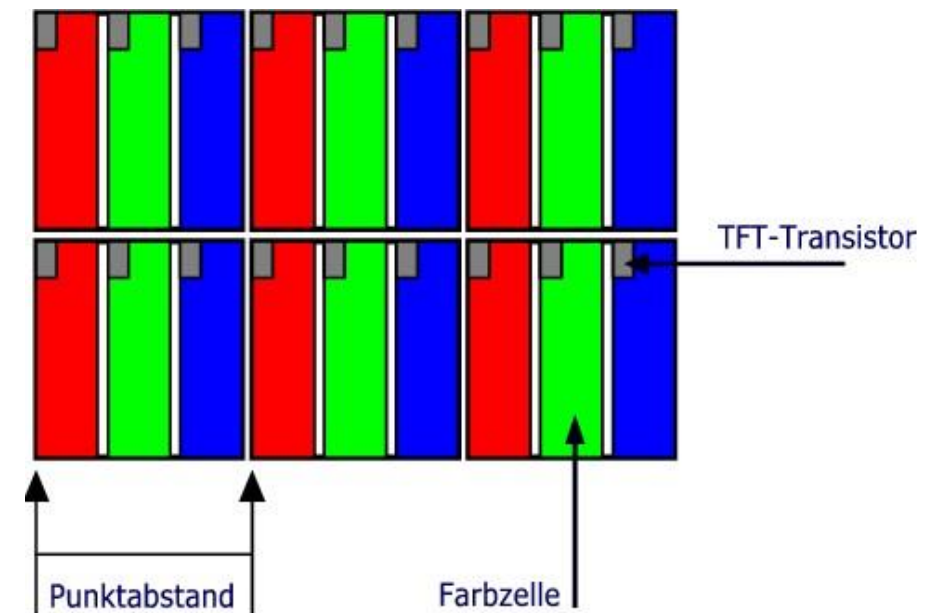


Delta-TFT, Vertical-Stripe-TFT

## 2.1 Bildschirmstechnologien

### Flüssigkristallbildschirm (LCD = Liquid Crystal Display)

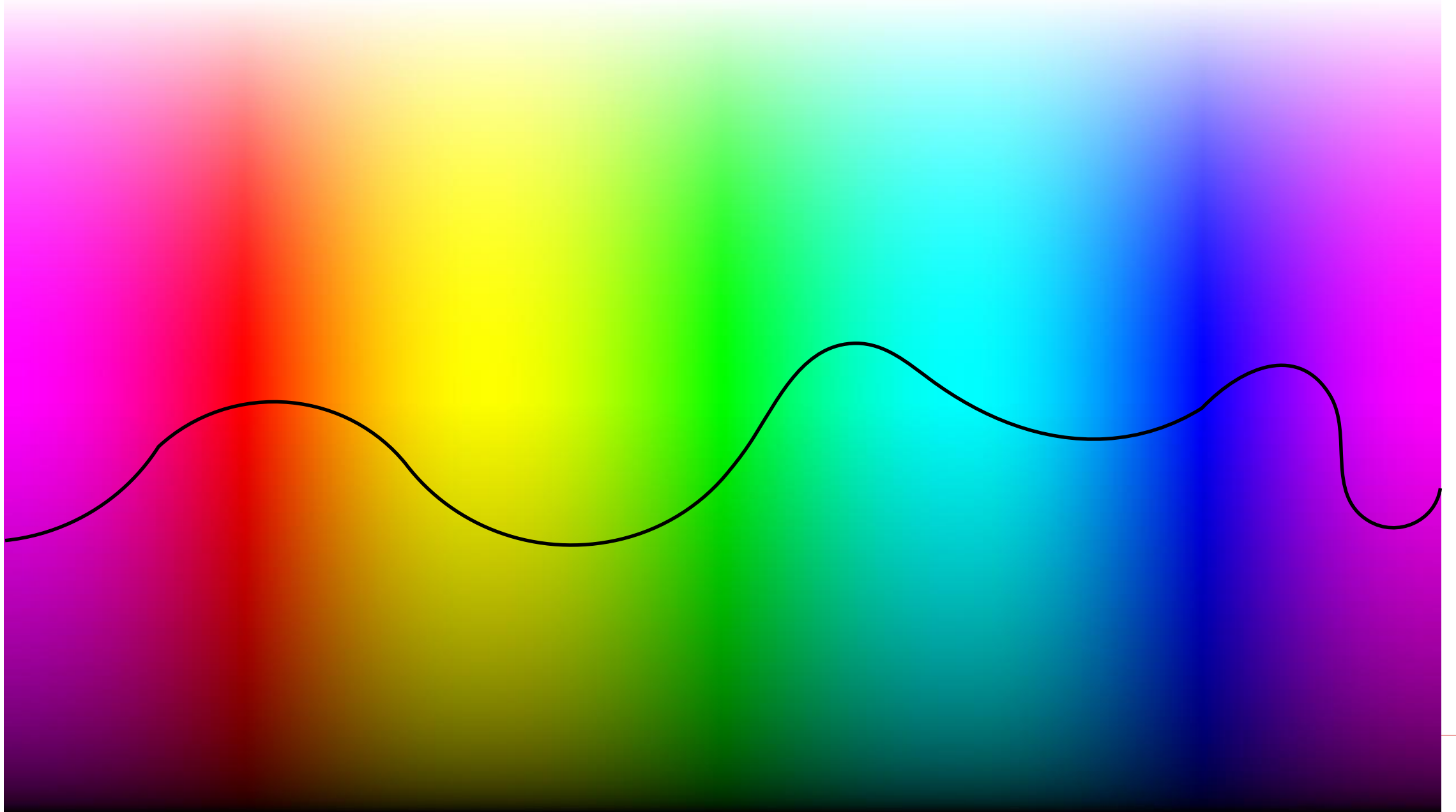
- Dünnfilmtransistoren (TFT - Thin-Film-Transistor) zur Ansteuerung der Elektroden
- Active-Matrix-Display
  - TFTs sind in einer matrixartigen Anordnung auf den Glasplatten angebracht



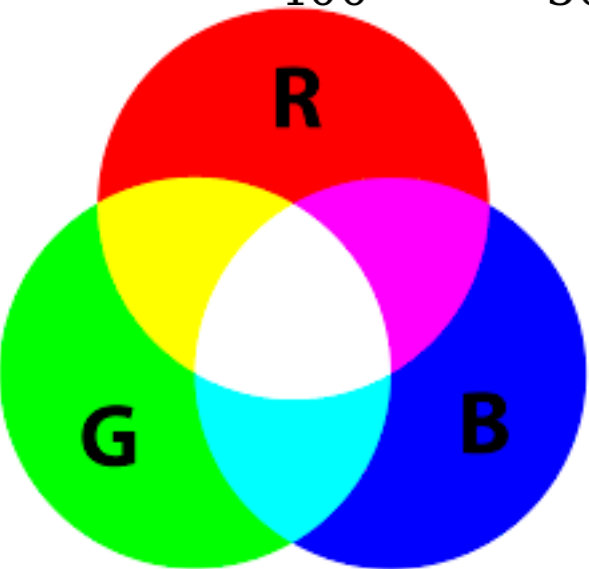
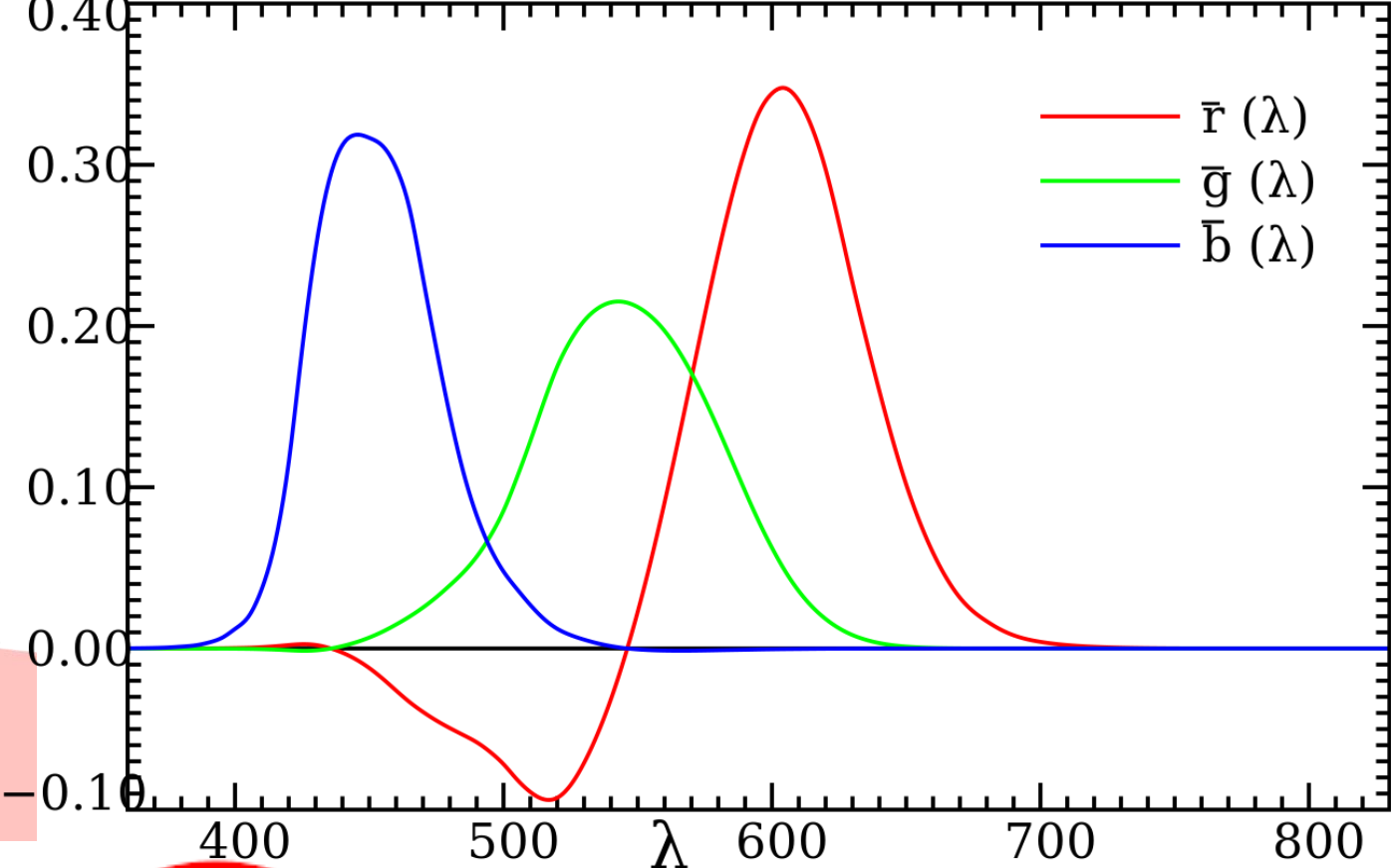
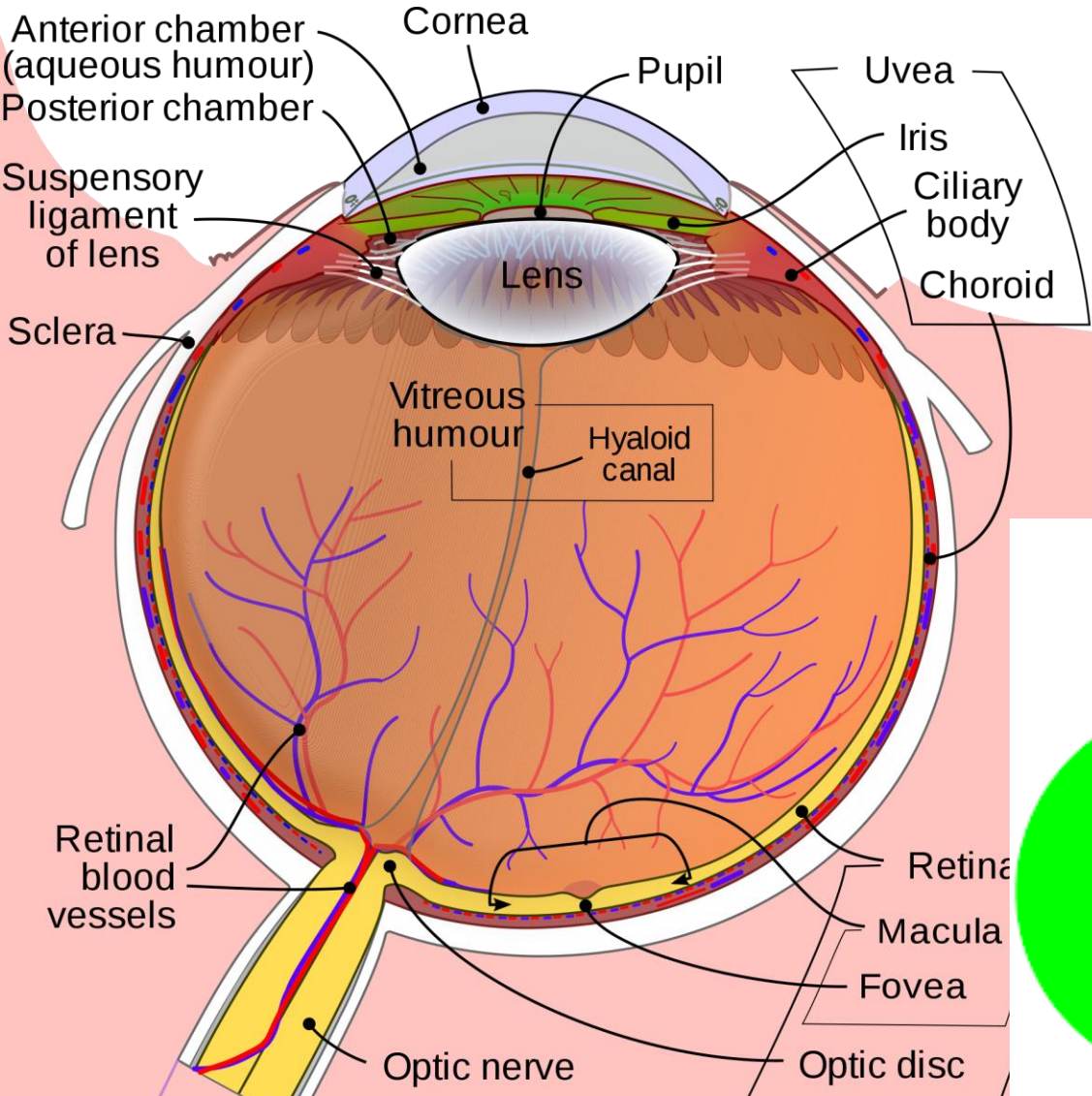
Aufbau der Bildpunkte eines TFT's



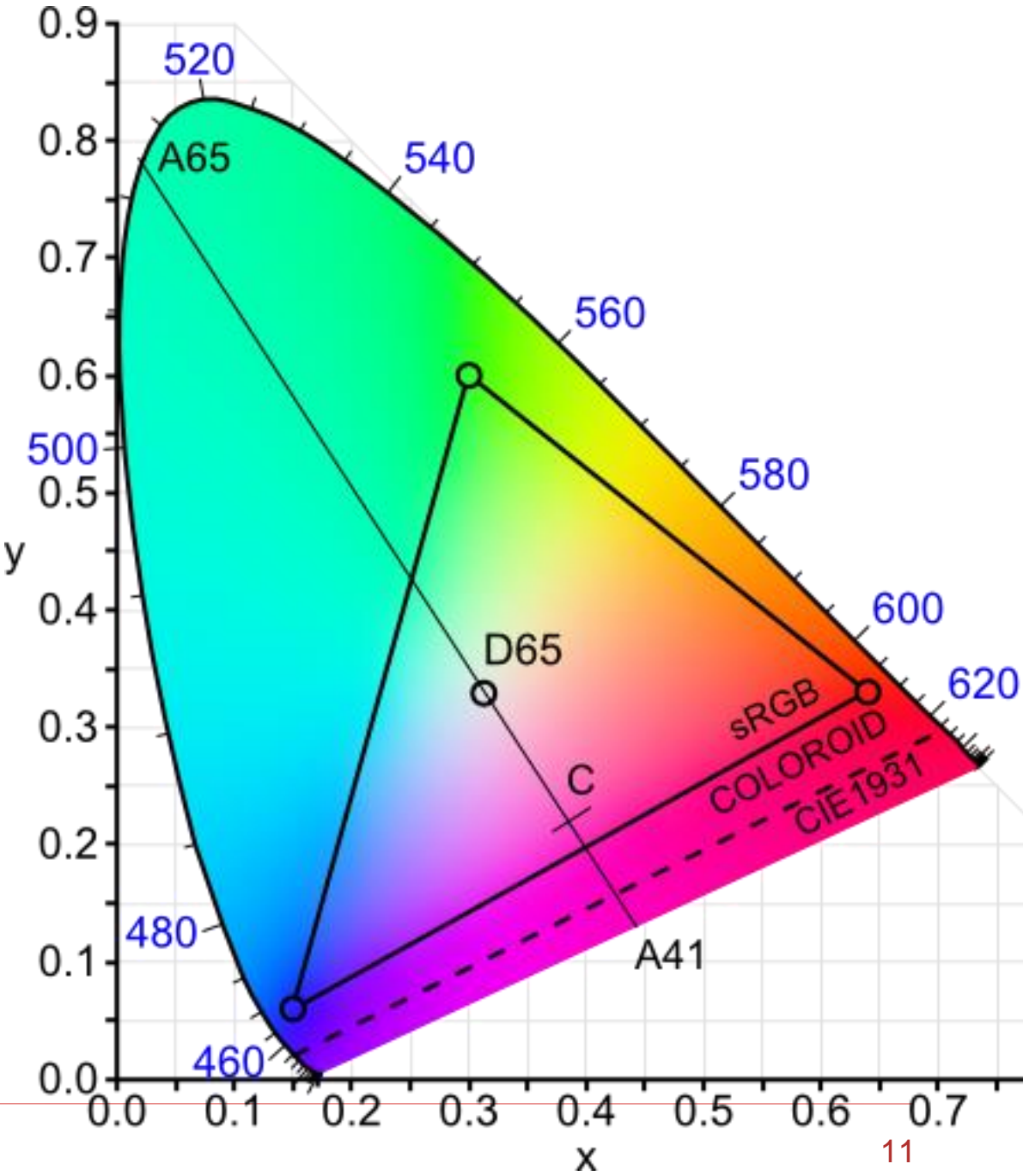
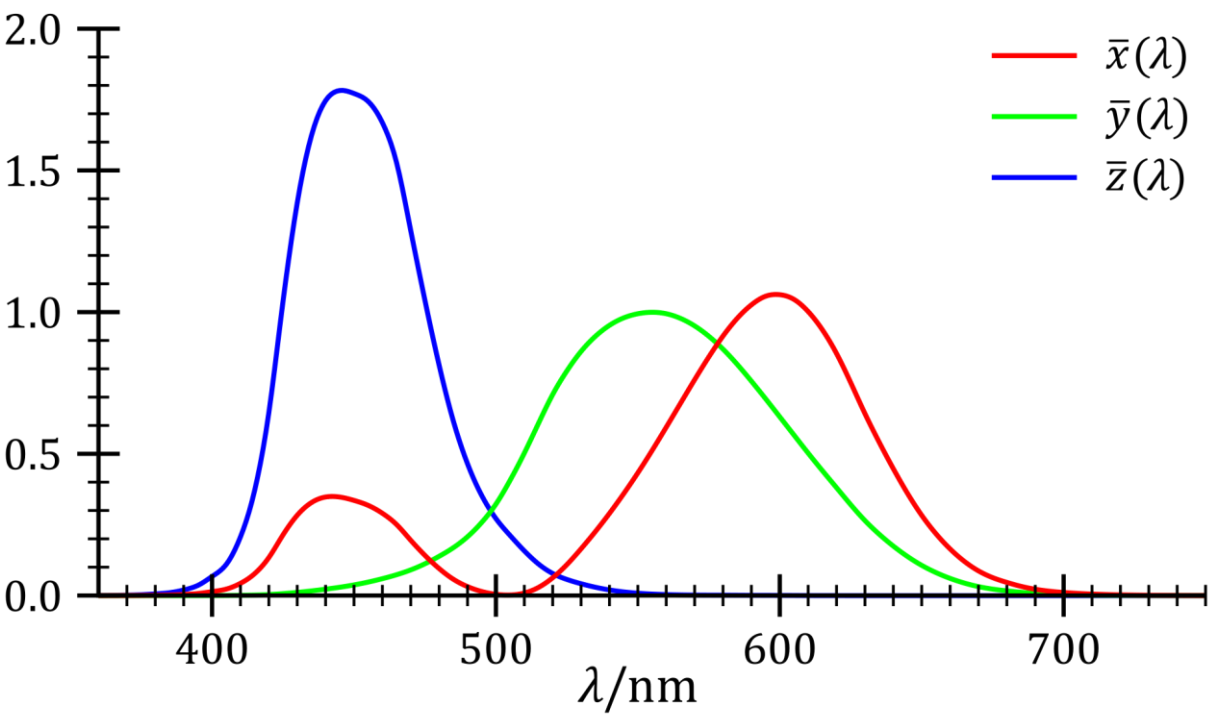
## 2.1 Bildschirmstechnologien



# 2.1 Bildschirmstechnologien



# 2.1 Bildschirmstechnologien





## 2.1 Bildschirmstechnologien

### Organischer Leuchtdiodenbildschirm (OLED = organic light-emitting diode)

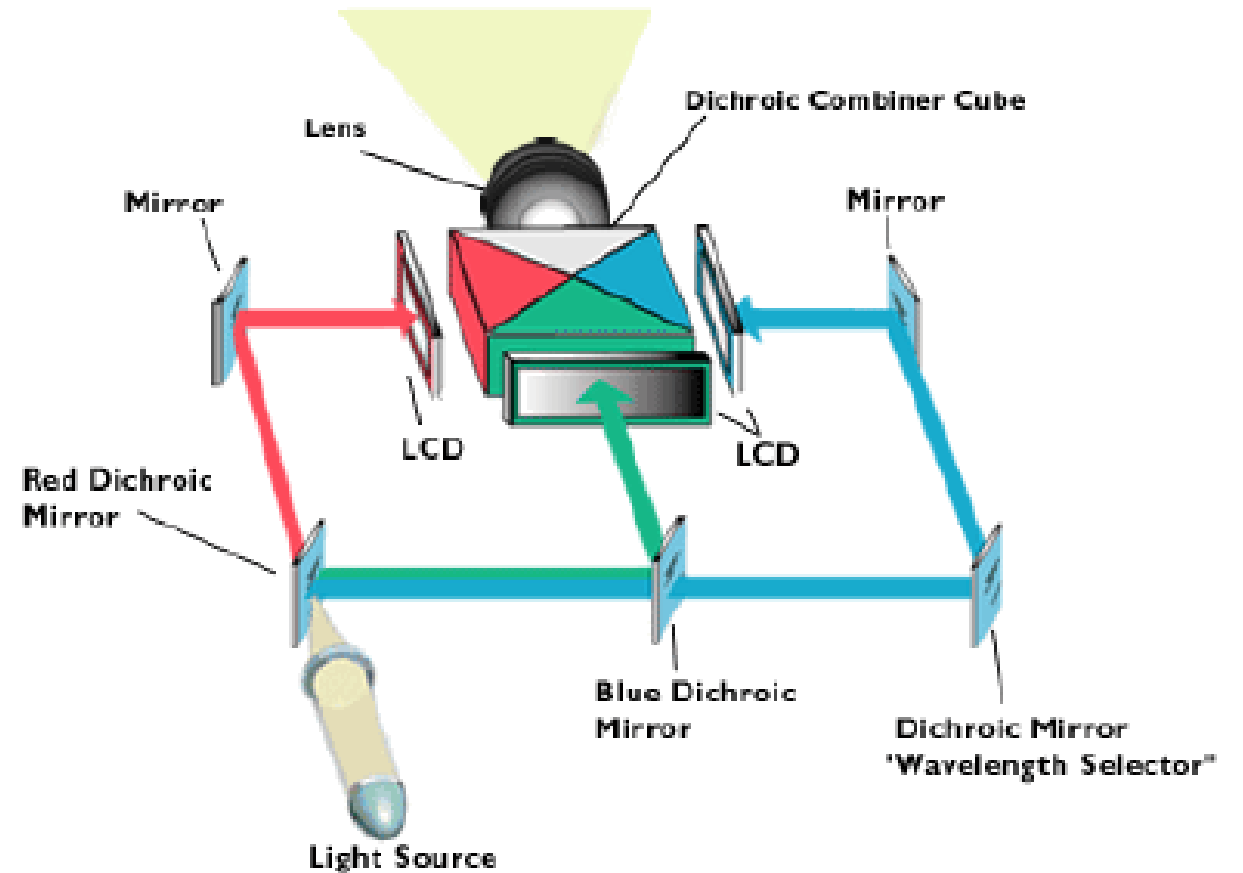
- Jedes Pixel hat seine eigenen Leuchtdioden aus organischen Materialien, die durch Spannungsänderung Licht emittieren.
- Keine Hintergrundbeleuchtung
- Vorteile
  - Echtes Schwarz, Guter Kontrast
  - Leicht/klein/mobil
  - Flexibel
  - Schnell
- Nachteile
  - Kurze Lebensdauer
  - Empfindlich
  - Einbrennen
  - Schlechte Lichtausbeute



## 2.2 Projektionstechnologien

### LCD Projektoren (Liquid Crystal Display)

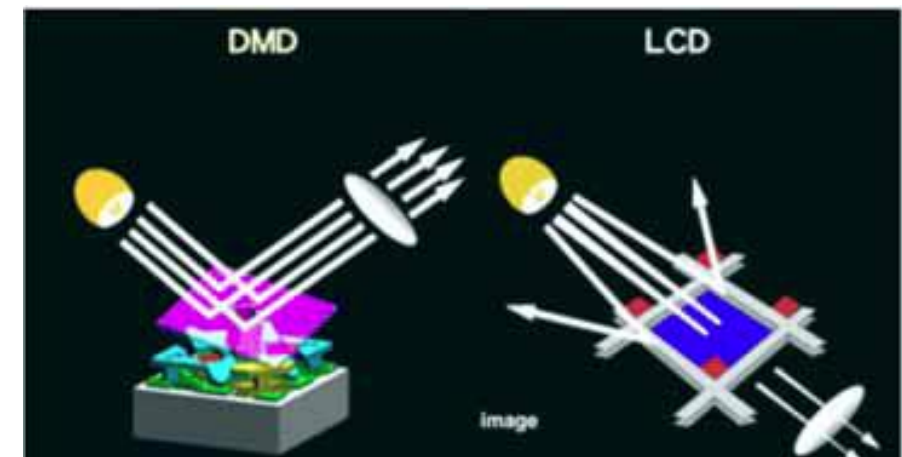
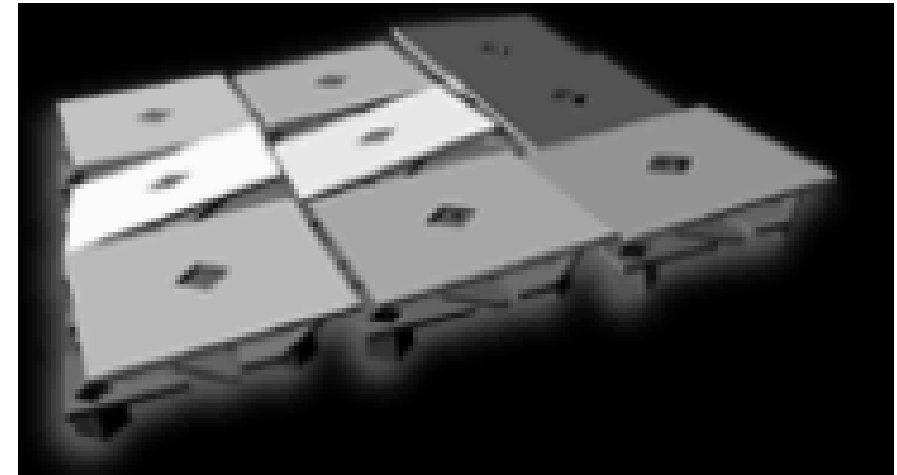
- Starke Lichtquelle
- Elektrische Ladung der Kristalle ändert Lichtdurchlässigkeit
- Kein Schwarz
- Günstig



## 2.2 Projektionstechnologien

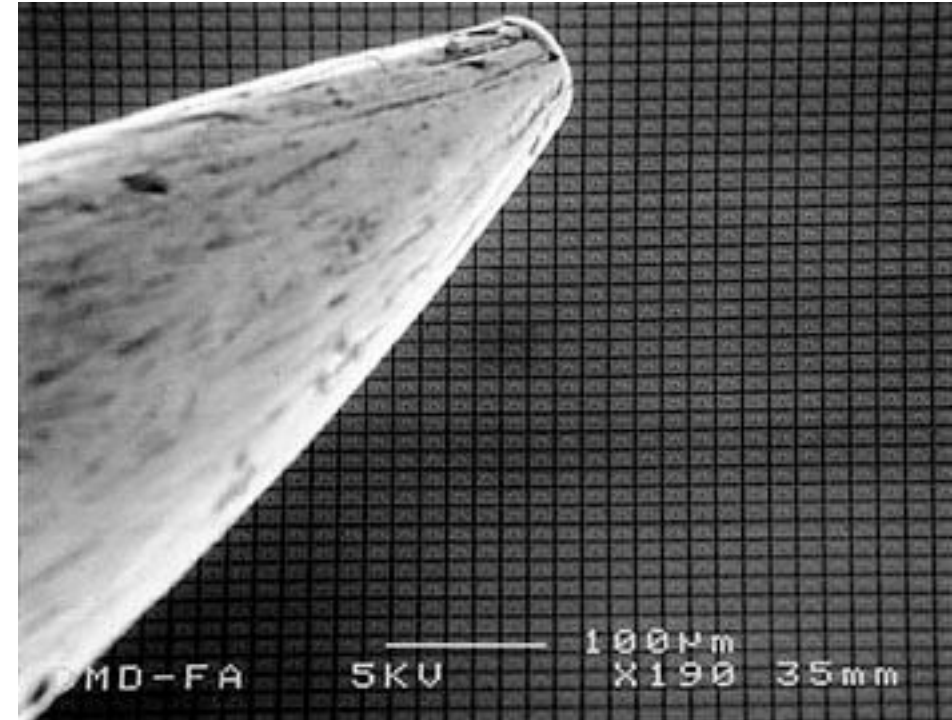
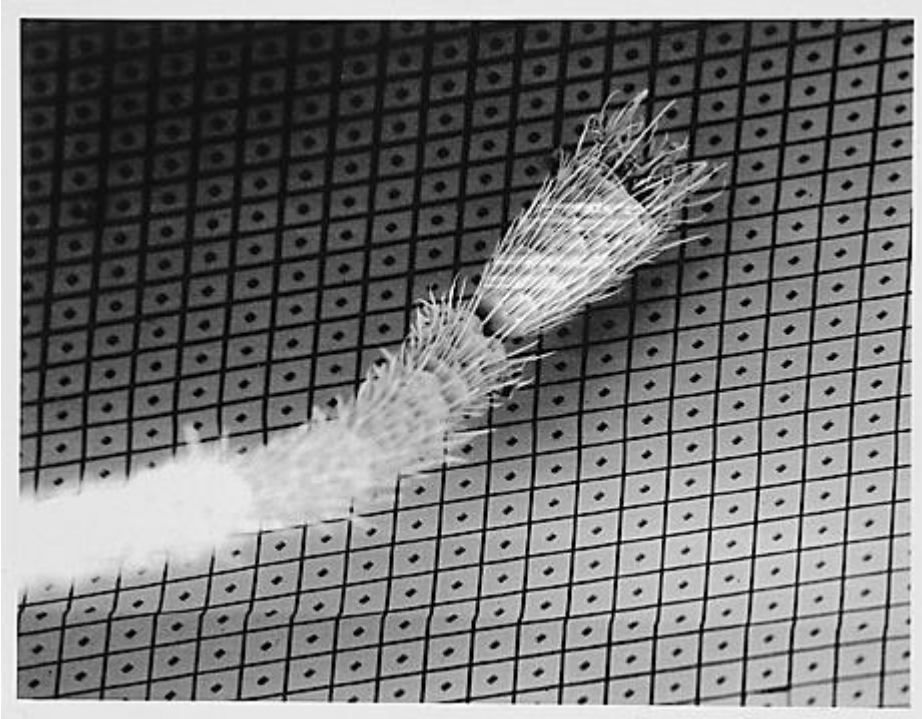
### DLP Projektoren (Digital Light Processing)

- Auch Digital Micromirror Device (DMD TI)
- Feld von Spiegeln (ein Spiegel pro Pixel)
- Farben werden durch Farbrad zwischen Lampe und Spiegeln erzeugt



## 2.2 Projektionstechnologien

### DLP Projektoren (Digital Light Processing)



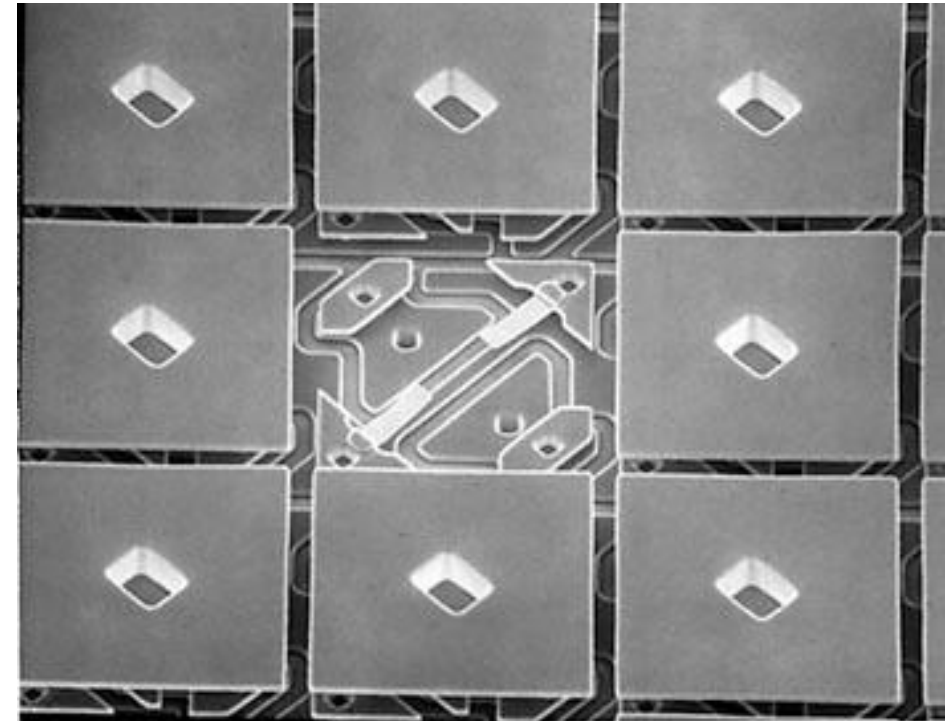
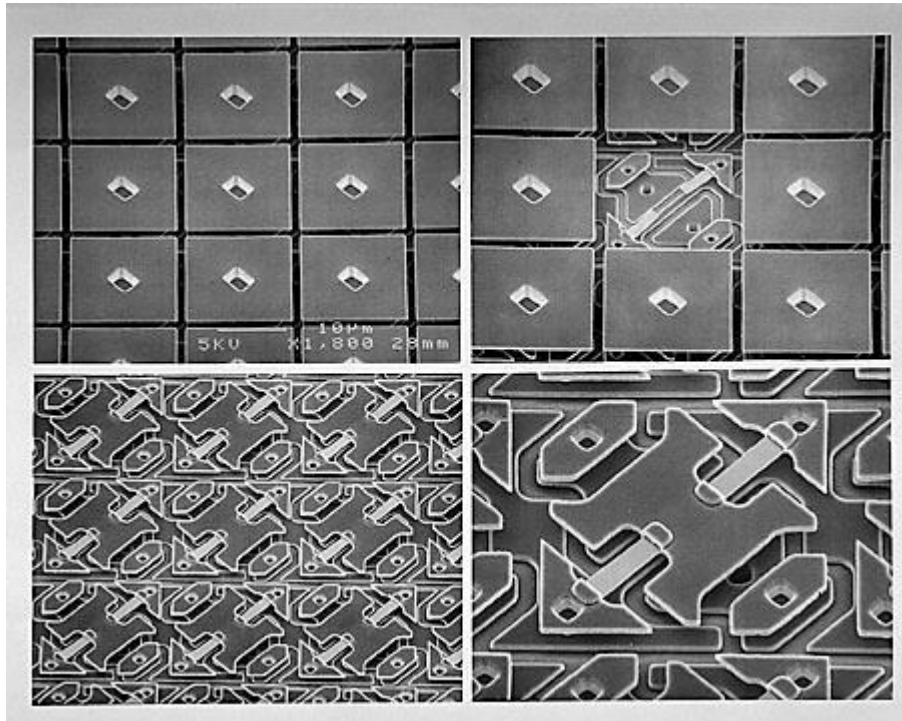
DMD: Digital Micro-Mirror Device

Mikroskoptaufnahmen mit Vergleich zu Insektenhaar und Nadelspitze



## 2.2 Projektionstechnologien

### DLP Projektoren (Digital Light Processing)

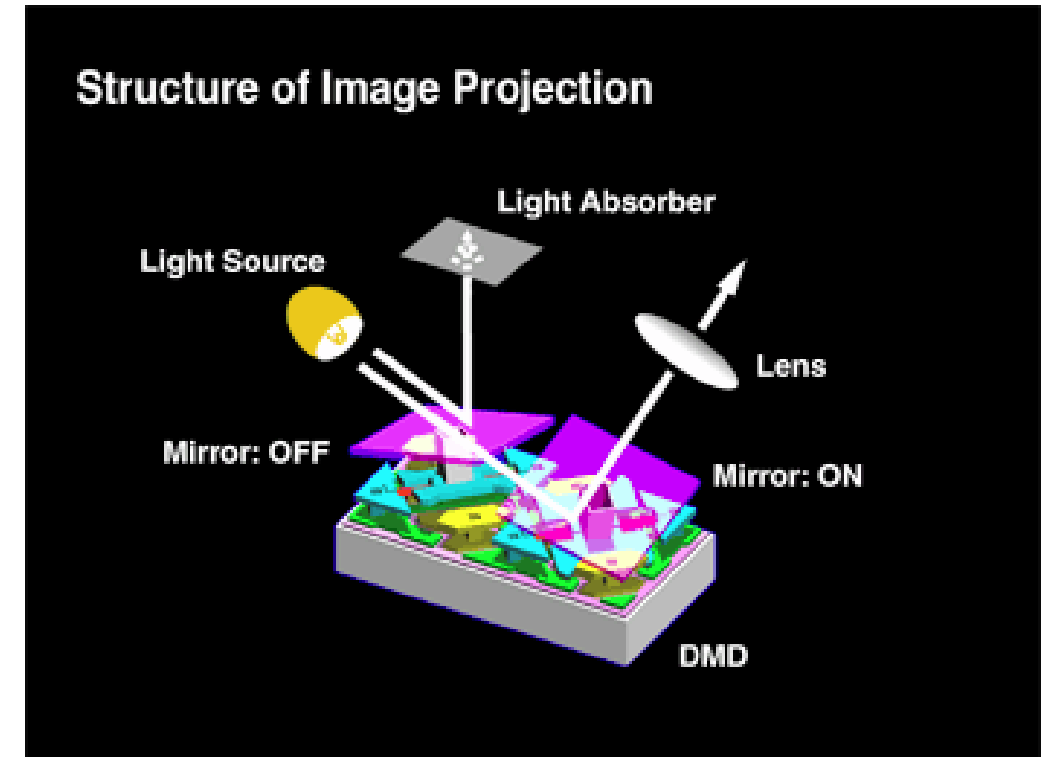
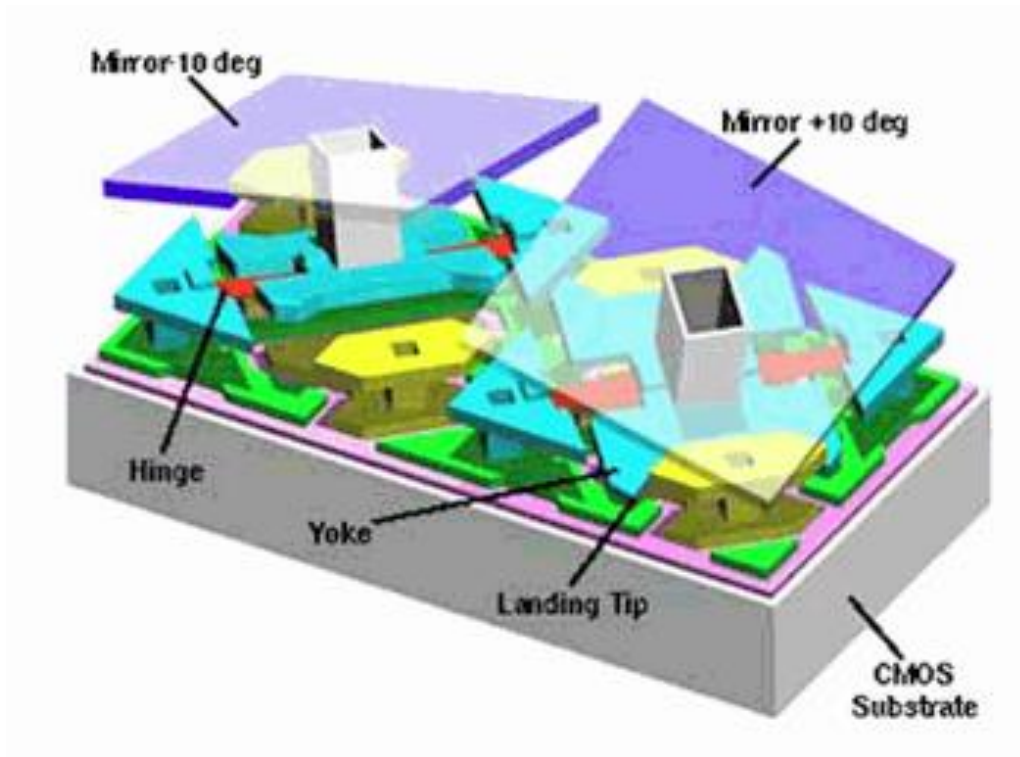


Mikrospiegel



## 2.2 Projektionstechnologien

### DLP Projektoren (Digital Light Processing)



Mikrospiegel

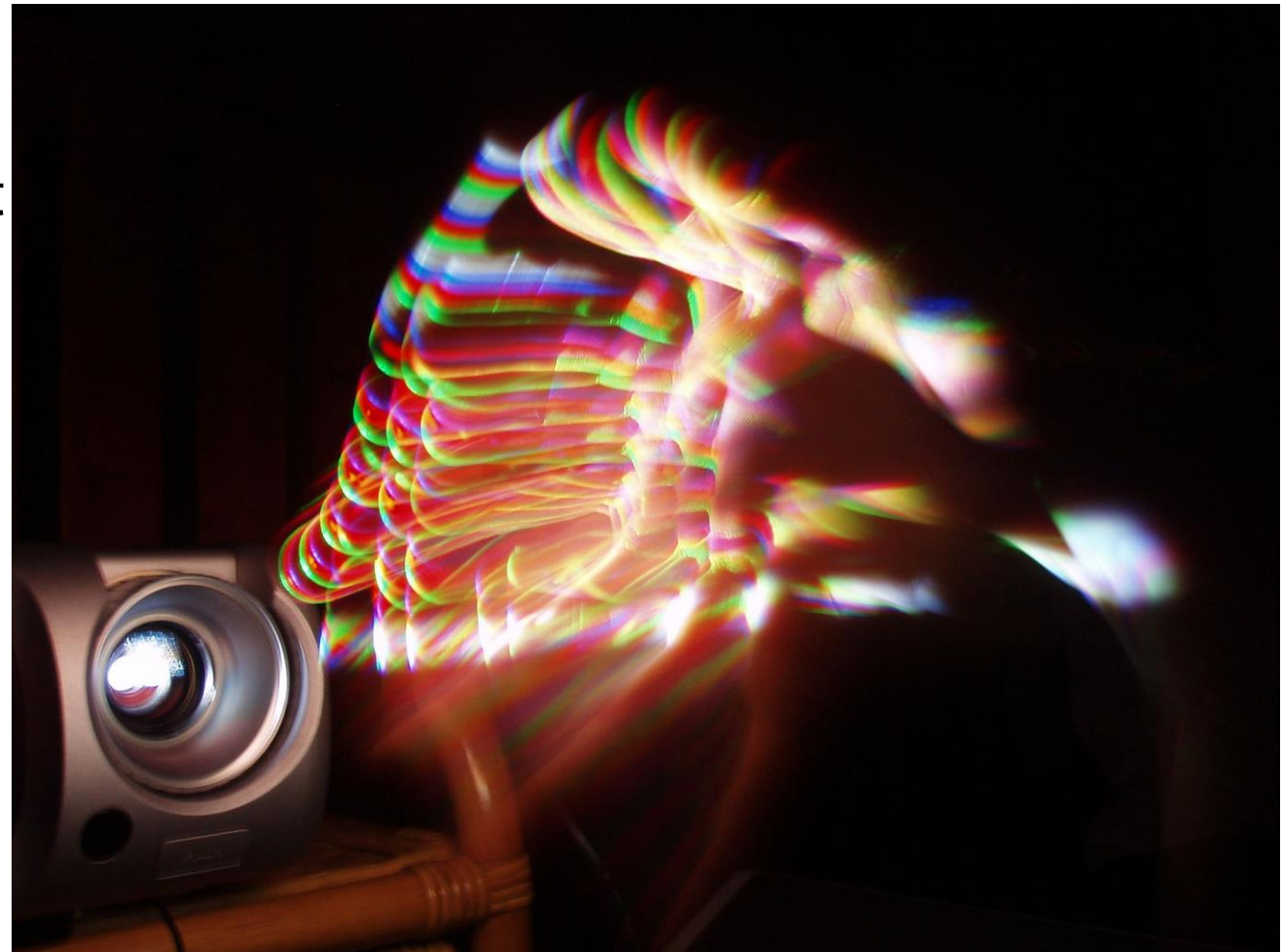
## 2.2 Projektionstechnologien

### DLP Projektoren (Digital Light Processing)

- Ein Chip (Single Chip) DLPs  
im Zeitmultiplex: langsamer,  
weniger Farben, Regenbogeneffekt
- Drei Chips (Three Chip DLPs):  
gleichzeitig, mehr Farben

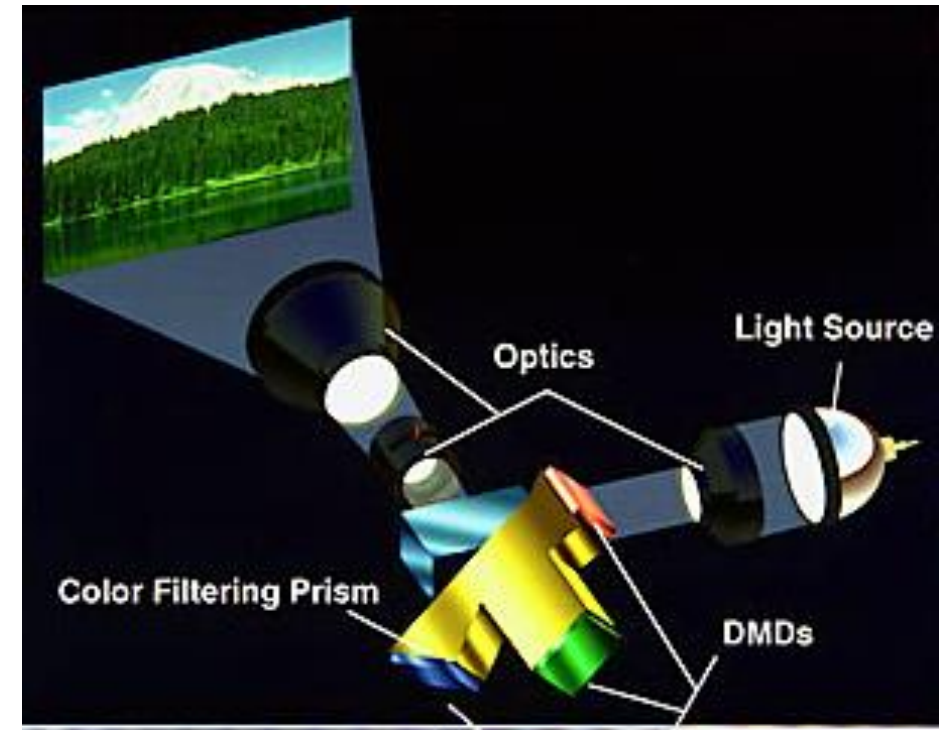
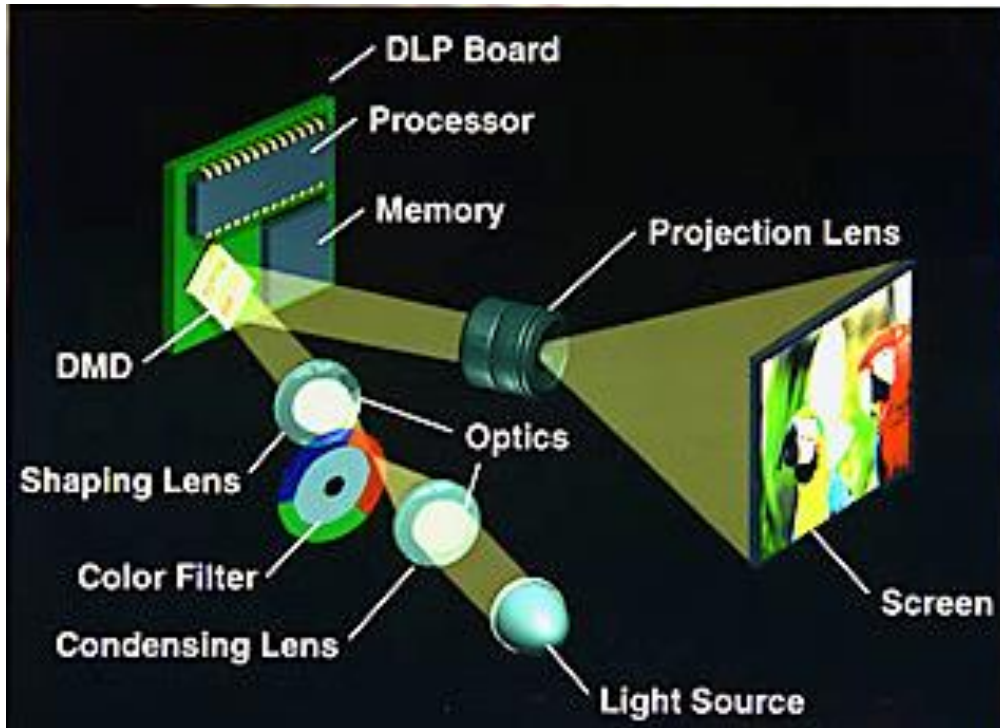
#### Vorteile:

- Bessere Lichtausnutzung
- Schnell
- Echtes Schwarz



## 2.2 Projektionstechnologien

### DLP Projektoren (Digital Light Processing)

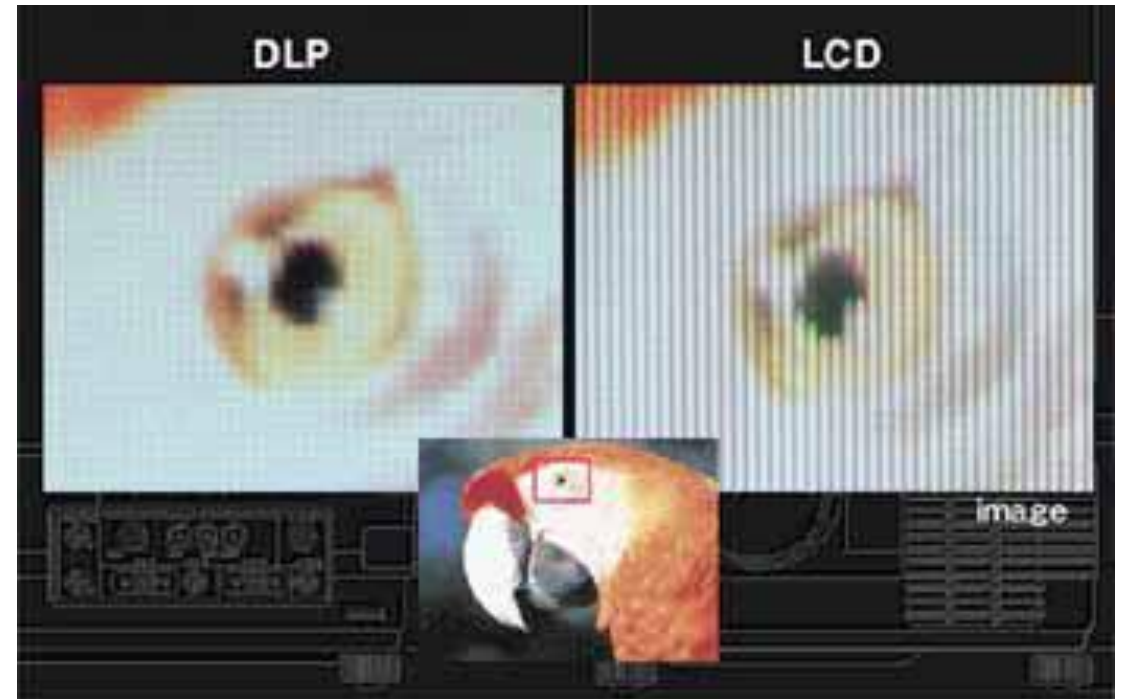
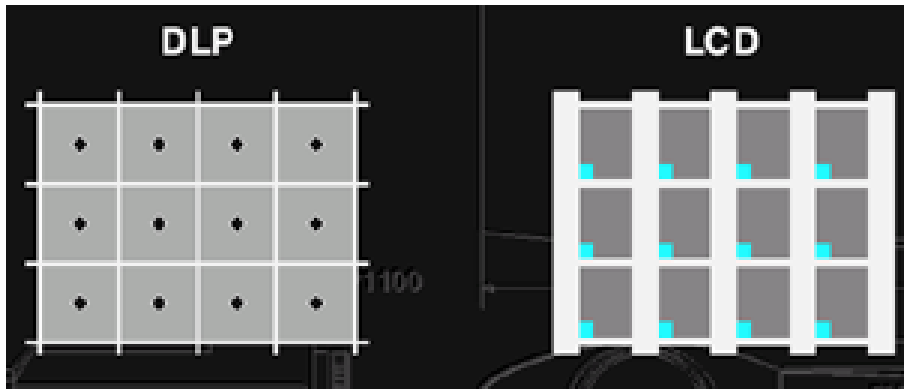


Mikrospiegel

links: 1 Chip DLP, rechts: 3 Chip DLP

## 2.2 Projektionstechnologien

### DLP Projektoren (Digital Light Processing)



Mikrospiegelanordnung (Gitter)  
Gitterartefakte stark reduziert

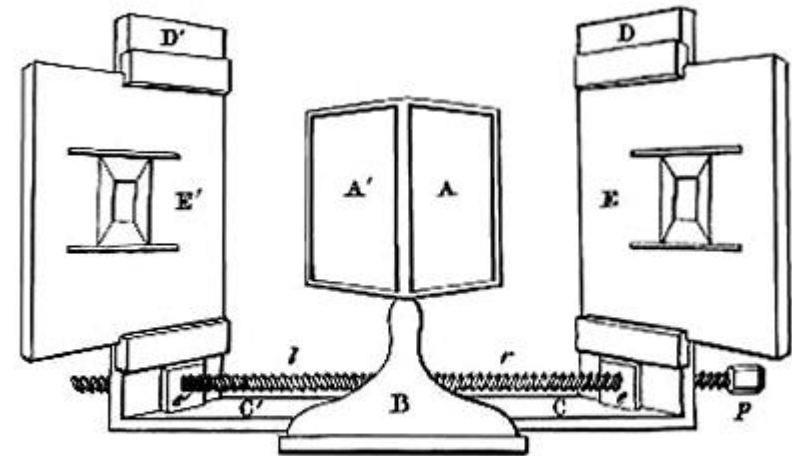
## 2.2 Projektionstechnologien

### Weitere

- Liquid Crystal on Chip
  - ähnlich zu DLP
  - viel kleiner
  - anfällig für Hitze
- Laserprojektion

## 2.3 3D-Displaytechnologien

- Es werden getrennte Bilder für linkes und rechtes Auge errechnet
- Disparität der Bilder entscheidet über 3D-Eindruck
  - Augenabstand
  - Vergence: Augenrotation nach innen (Fokus)
- Zur Berechnung und Darstellung werden Multiplex-Verfahren eingesetzt



The Wheatstone stereoscope used angled mirrors (A) to reflect the stereoscopic drawings (E) toward the viewer's eyes.



## 2.3 3D-Displaytechnologien

Farbmultiplex: Anaglyphs, Infitec



## 2.3 3D-Displaytechnologien

Farbmultiplex: Anaglyphs, Infitec

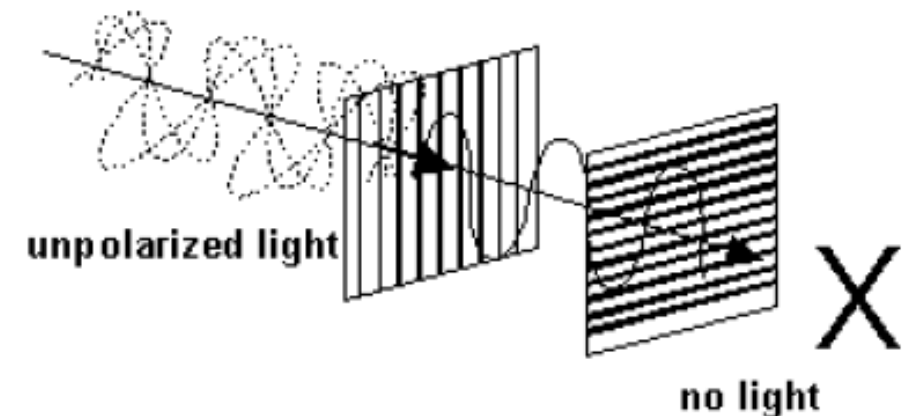
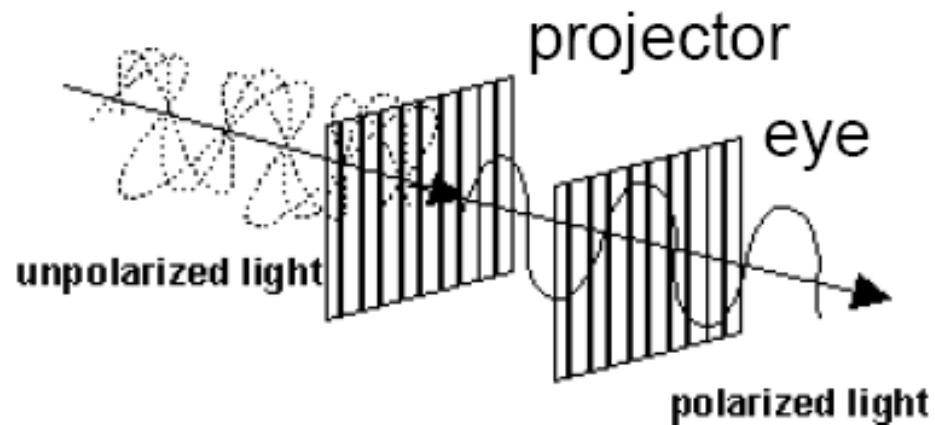
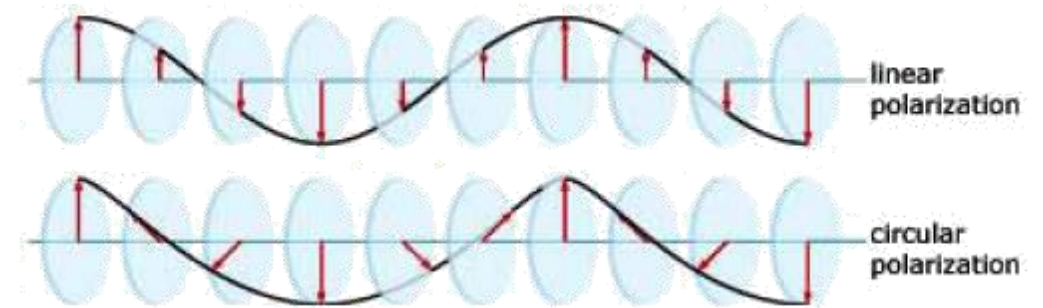




## 2.3 3D-Displaytechnologien

Polarisationsmultiplex: Senkrecht/Waagrecht, zirkulär

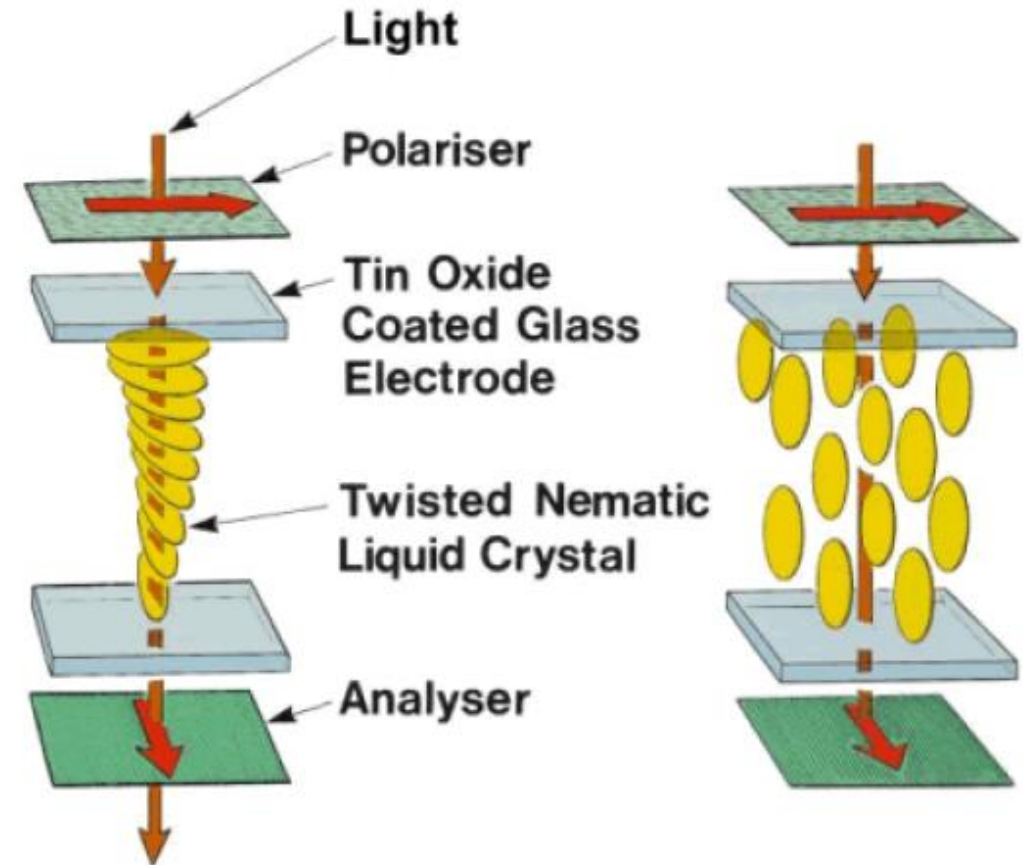
- Links-/Rechtssynchronisation durch Polarisationsfilter (Projektor und Brillen)



## 2.3 3D-Displaytechnologien

### Zeitmultiplex: Shutter-Glasses

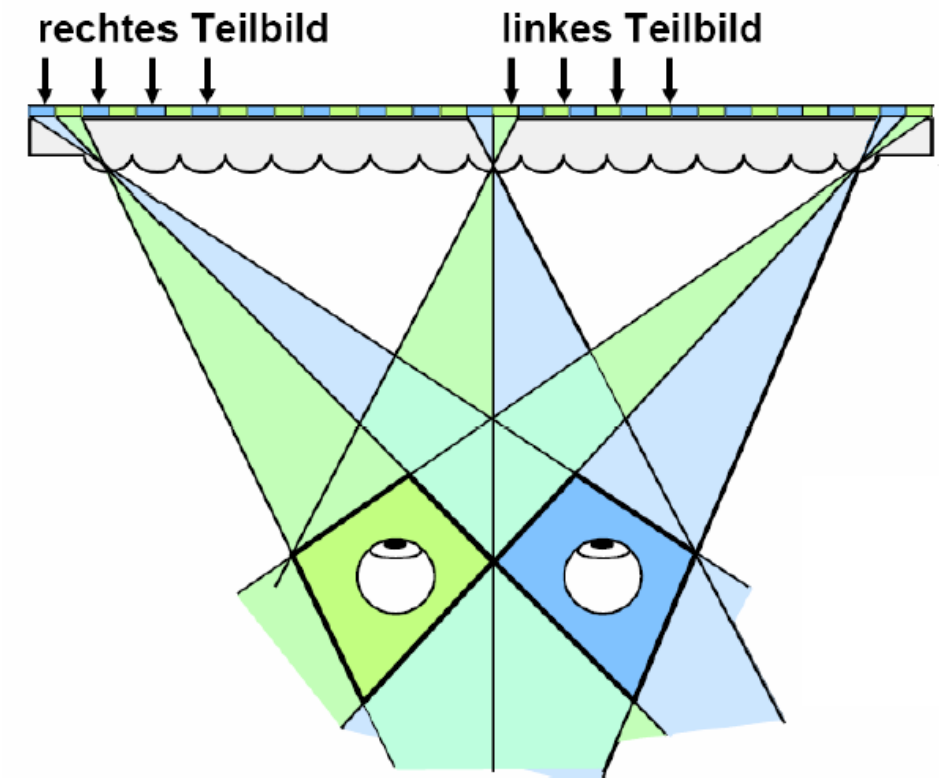
- Synchronisiertes An-/Ausschalten der Brillengläser



## 2.3 3D-Displaytechnologien

### Richtungsmultiplex: Linsensysteme (Autostereoskopische Systeme)

- Pixellinsen für Links-/Rechtaufteilung
- Halbe Auflösung
- Links-/Rechtsteilbilder verschränkt



## 2.3 3D-Displaytechnologien

### Head Mounted Display (HMD)

- Besteht aus zwei Bildschirmen, die am Kopf des Benutzers angebracht sind.
- Liefert in Abhängigkeit von Position und Orientierung Stereobilder
- Es entsteht der Eindruck einer dreidimensionalen Umgebung



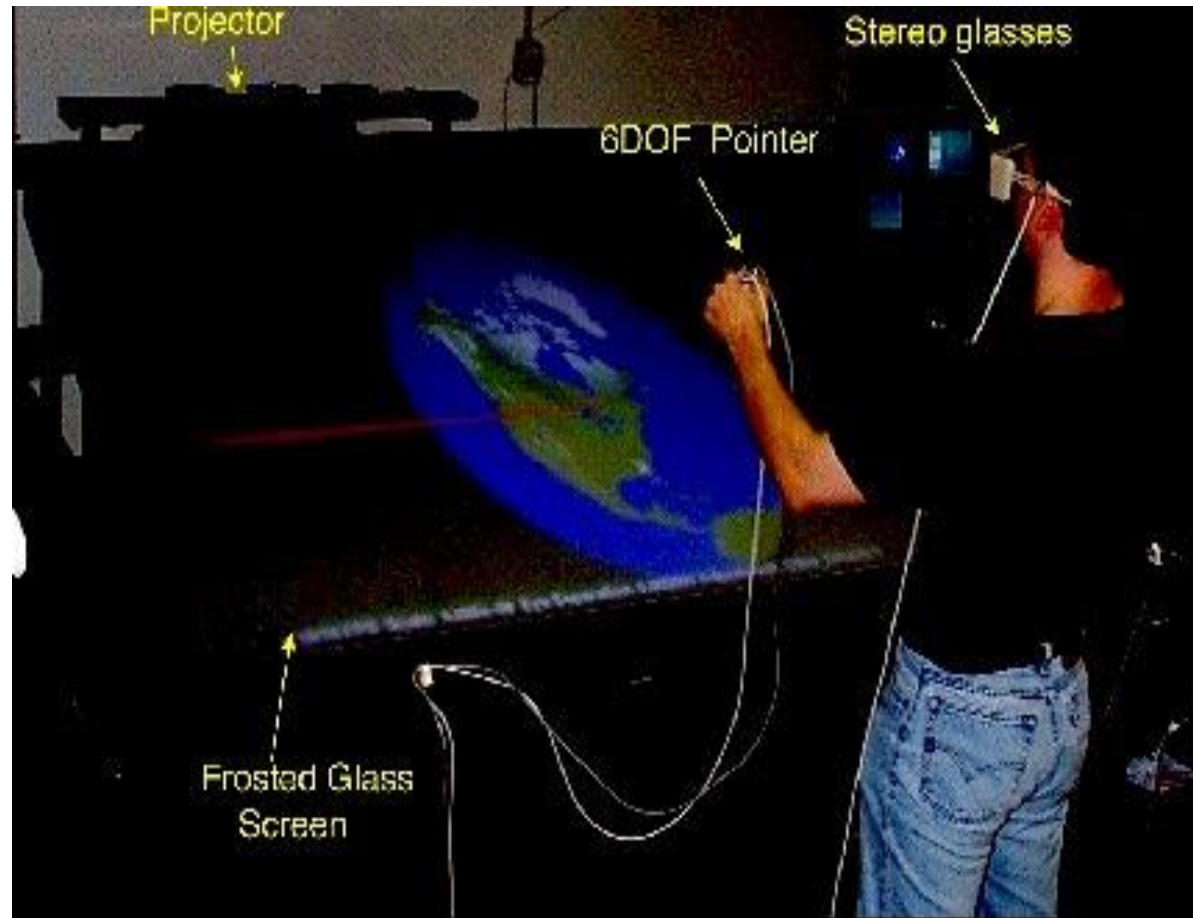
## 2.3 3D-Displaytechnologien

### Responsive Workbench / VR Bench / Virtual Table

- Ein fest installierter Großbildschirm, der mit einer Frequenz von 100 Hz alternierende Stereobilder anzeigt
- Der Benutzer trägt dabei i.A. Shutter-Glasses, welche mit Hilfe von Polarisationsfiltern nur die Bilder für das linke bzw. rechte Auge durchlassen
- Die Position und die Orientierung der Shutter-Glasses wird durch ein Trackingssystem erfasst und an die bildgenerierende Software weitergeleitet
- Mit Hilfe von Tracking können auch virtuelle Werkzeuge durch den Benutzer positioniert werden
- An einer Workbench können bis zu zwei Benutzer arbeiten

## 2.3 3D-Displaytechnologien

### Responsive Workbench / VR Bench / Virtual Table





## 2.3 3D-Displaytechnologien

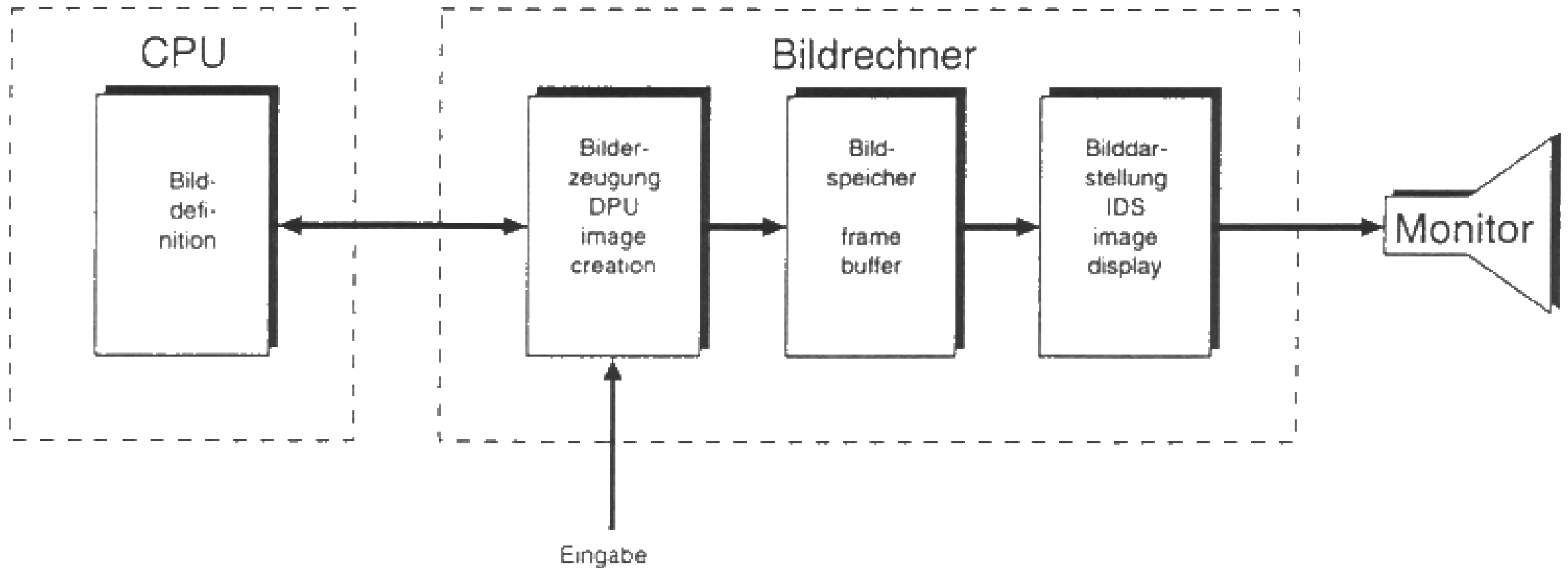
### CAVE

- Die CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) besteht aus 4-6 Großbildschirmen, die den Benutzer umgeben.
- Dadurch ist der Bildbereich nahezu unbegrenzt.



## 2.4 Bildrechner/GPU

### Hauptkomponenten eines klassischen Rasterdisplays





## 2.4 Bildrechner/GPU

- Der wichtigste Teil des Bildrechners ist der Displayprozessor (Display Processing Unit), welcher die Bilddefinition des Anwendungsprogramms so aufbereitet, dass auf dem Ausgabegerät (Display) das gewünschte Bild erscheint
- Bei den heute gebräuchlichen Rastergeräten müssen die graphischen Objekte (Linien, Kreise, Dreiecke,...) gerastert werden (siehe §5) und in einem Bildspeicher (Framebuffer) abgelegt werden.

## 2.4 Bildrechner/GPU

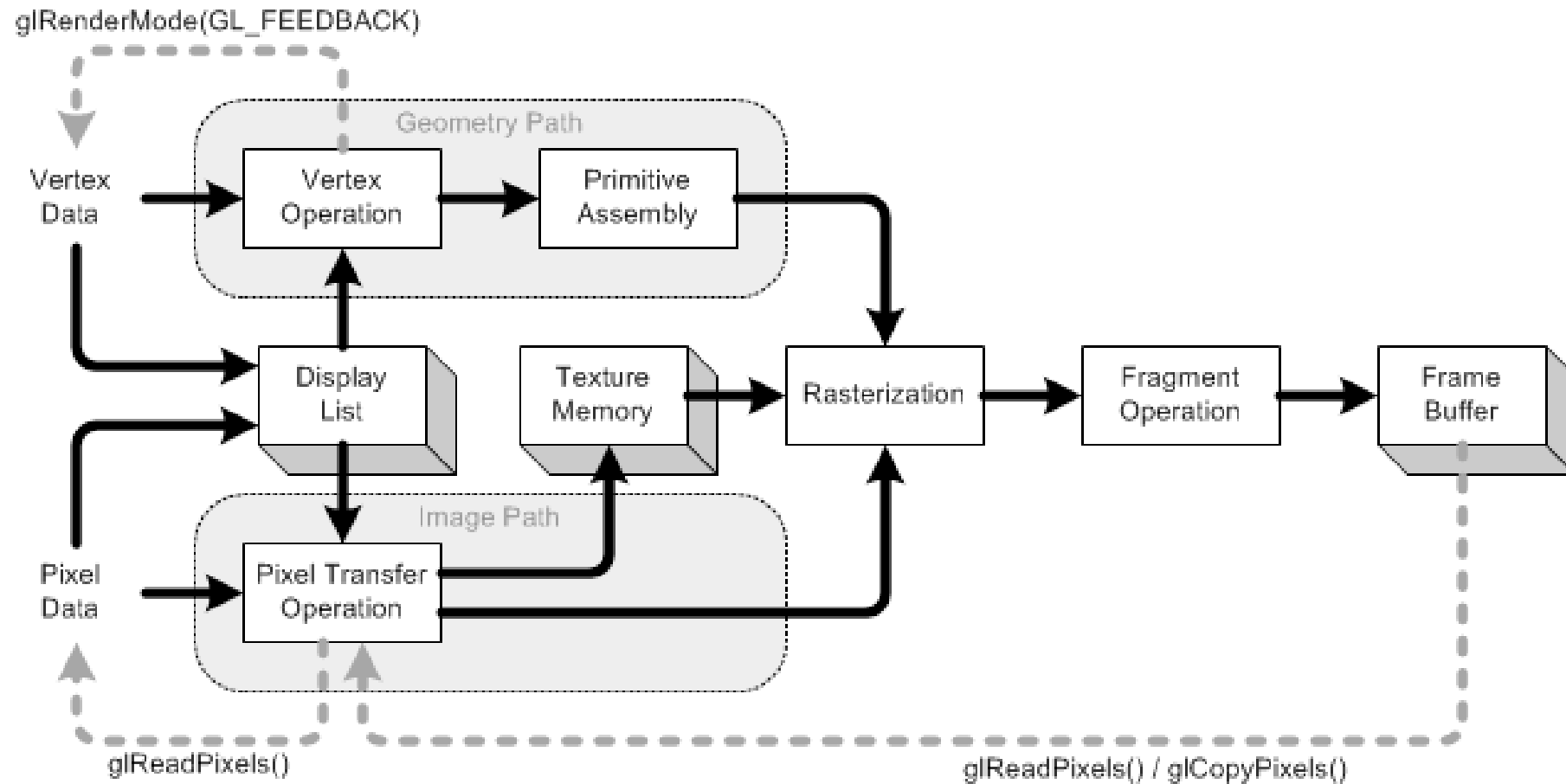
- Die Aufrechterhaltung des Bildes erfolgt mittels periodischen Auslesens des Bildspeichers durch den Videocontroller (Image Display System) - RAMDAC (RAM D/A Converter), sofern die Darstellung noch analoge Signale erfordert.
- Bei digitalem Ausgang wird auf die Umwandlung in analoge Signale verzichtet.

## 2.4 Bildrechner/GPU

- Heute werden alle Komponenten in einer Graphics Processing Unit (GPU) zusammengefasst
- Graphik-Pipeline wird auf Komponenten verteilt
- Bestimmte Komponenten sind hoch parallelisiert (SIMD/Vektorisiert)
- Pipelining
- Früher waren Komponenten statisch
- Heute sind sie programmierbar: Shader-Programme
- Hohe kanonische Leistung (GPU) gegenüber Programm-Flexibilität (CPU)

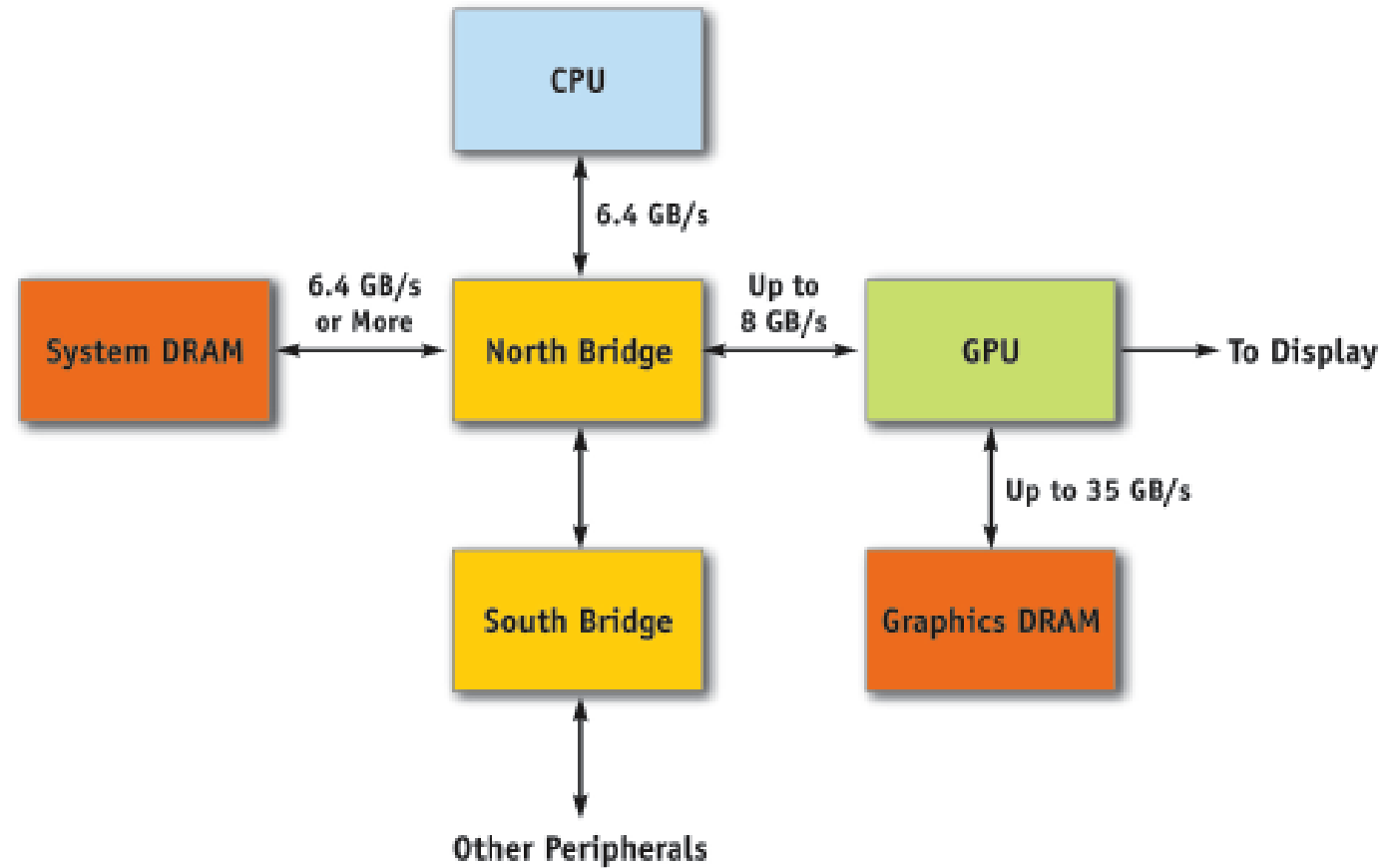
## 2.4 Bildrechner/GPU

### OpenGL Rendering-Pipeline [www.sungho.ca]



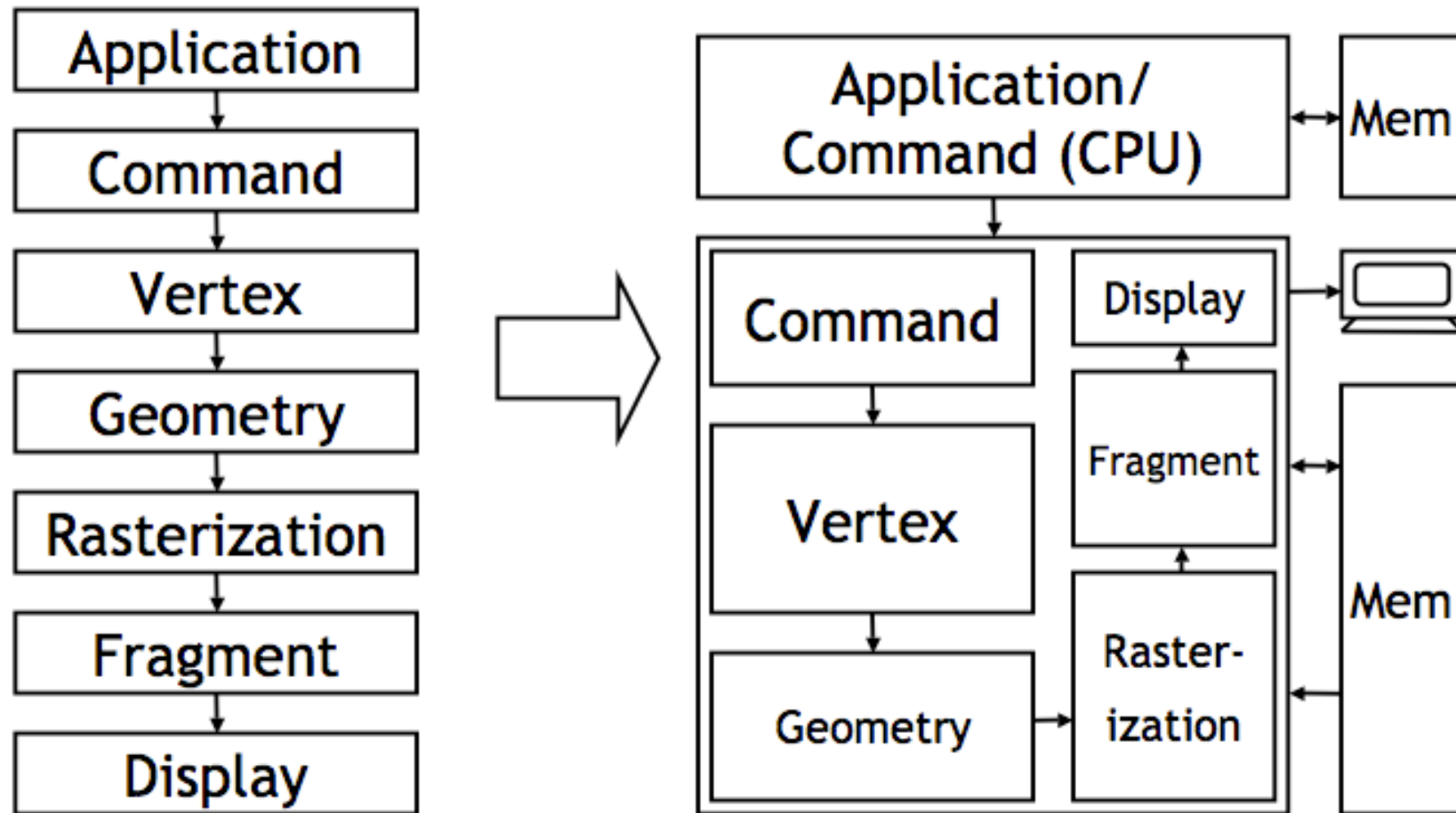
## 2.4 Bildrechner/GPU

### Systemarchitektur eines PCs



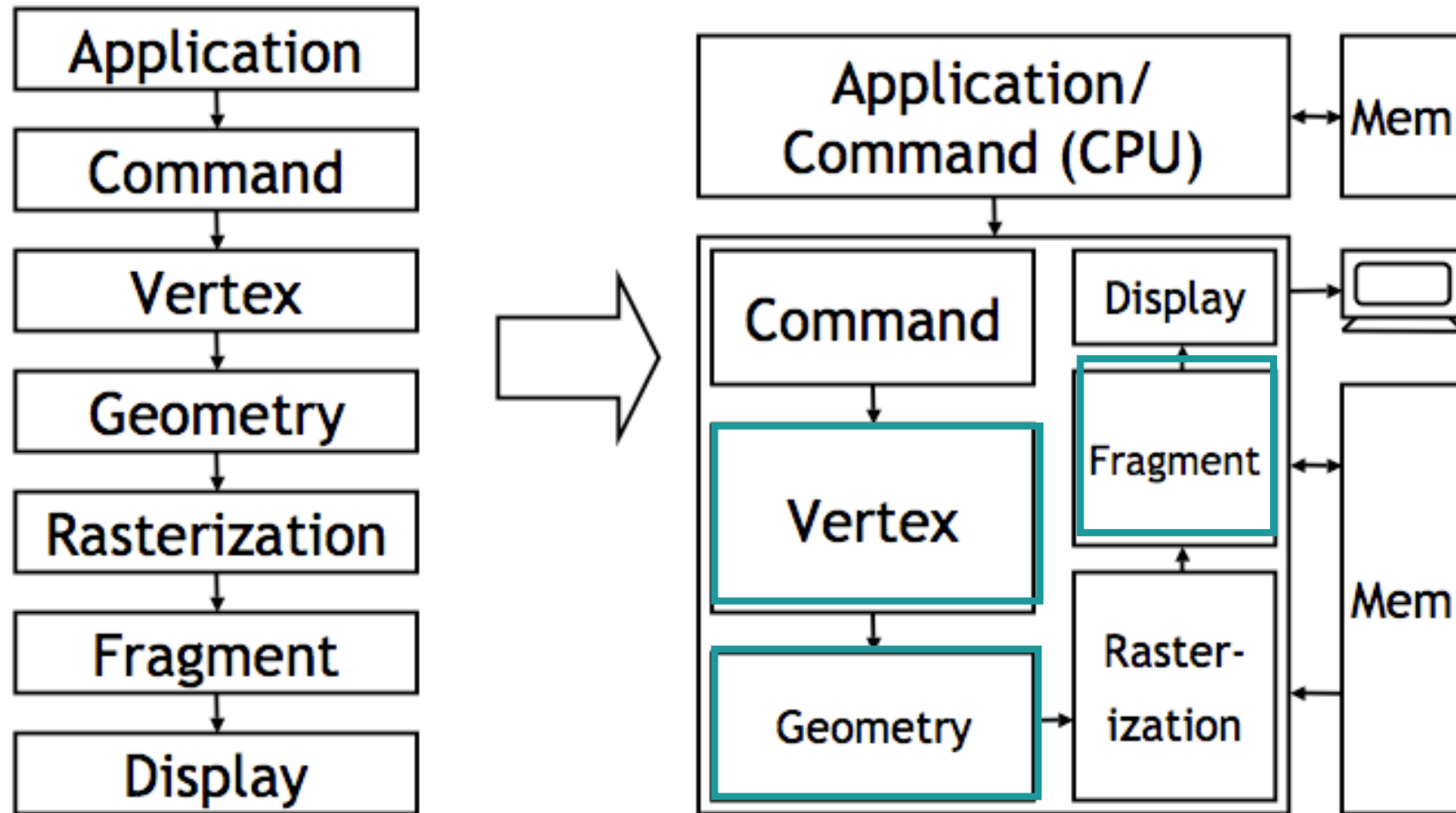
## 2.4 Bildrechner/GPU

Evolution der Graphikhardware (ca. 2001) [J. Owen, UC Davis]



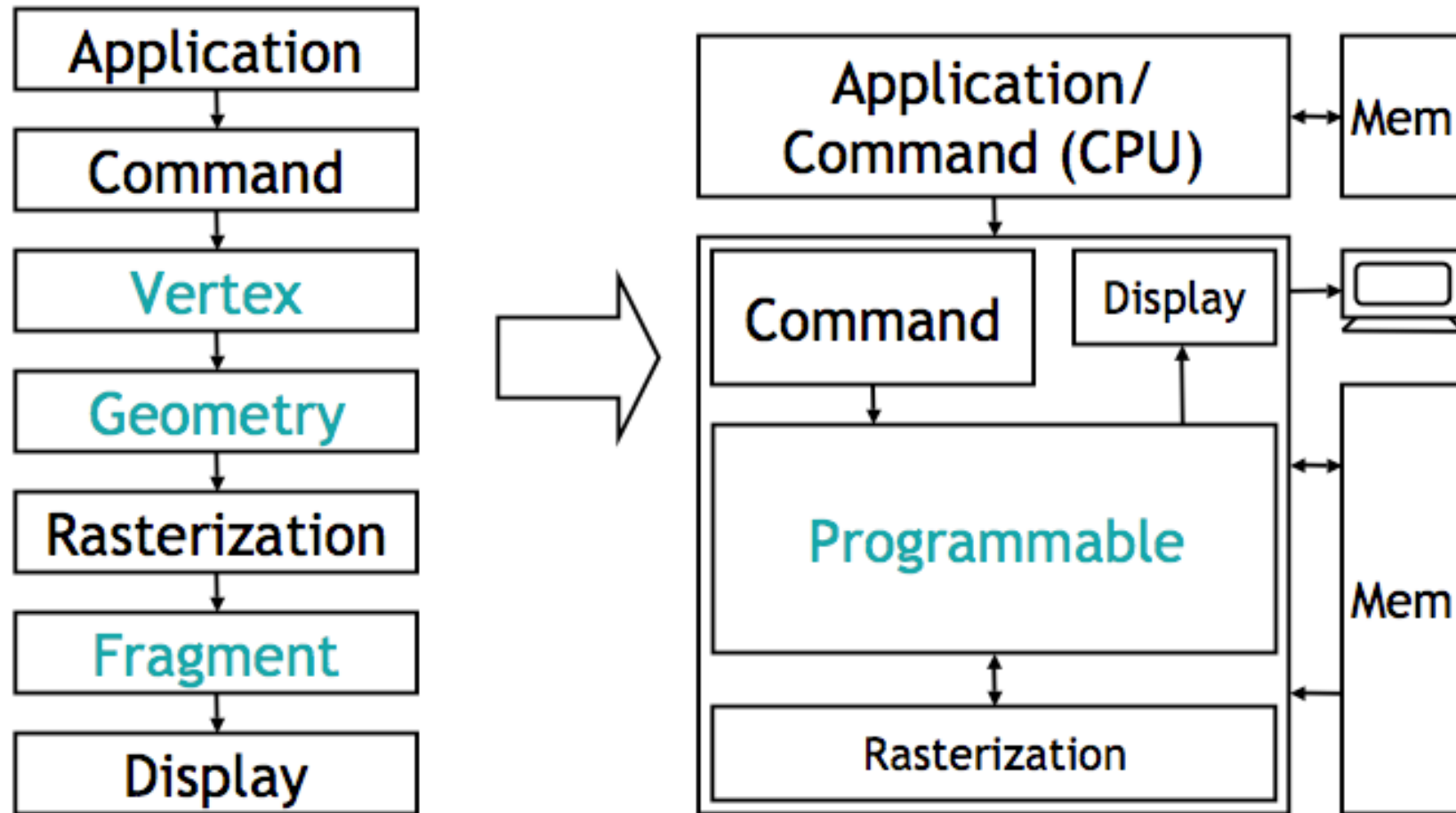
## 2.4 Bildrechner/GPU

Evolution der Graphikhardware (ab 2001) [J. Owen, UC Davis]



## 2.4 Bildrechner/GPU

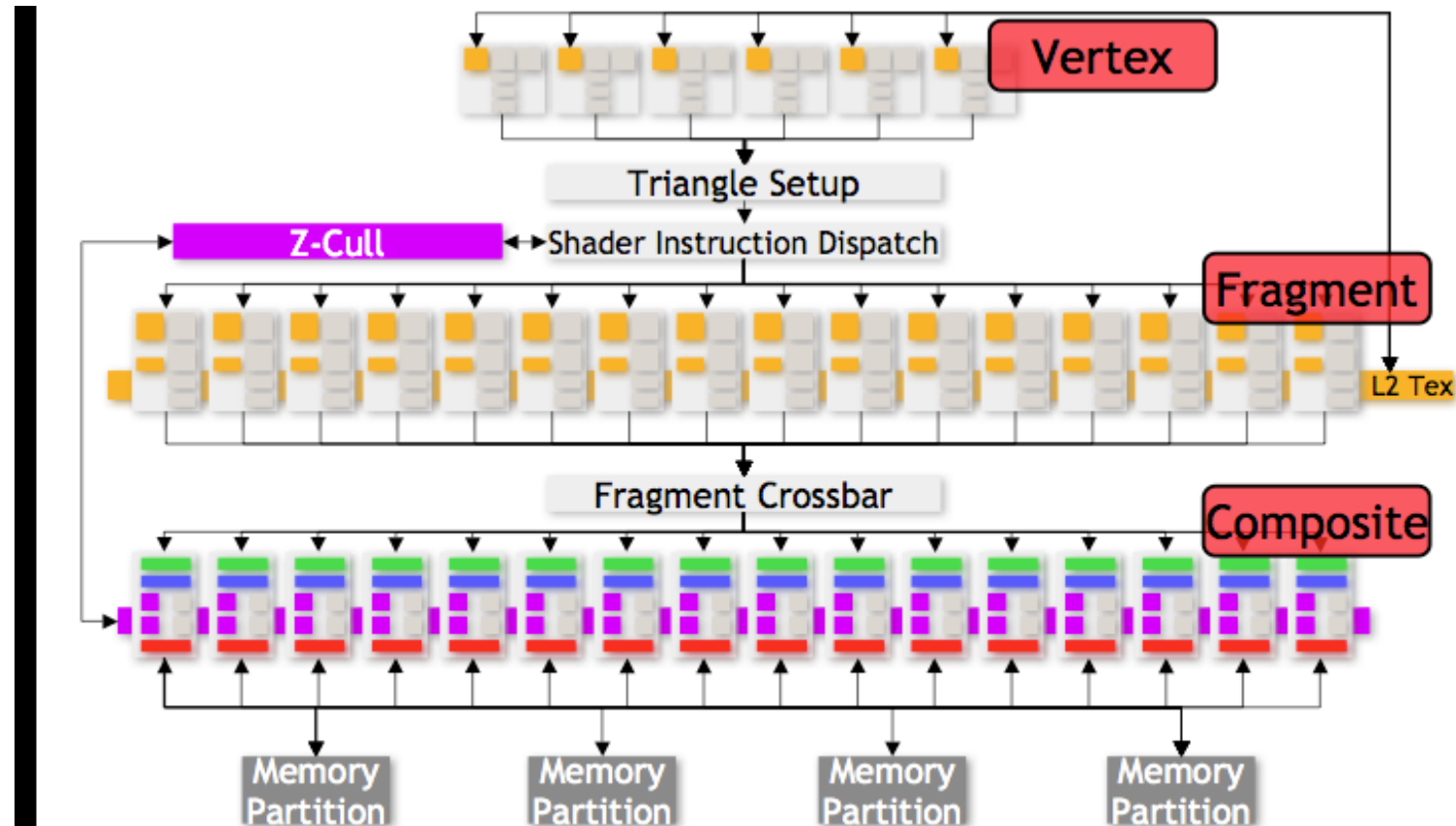
Evolution der Graphikhardware (2008) [J. Owen, UC Davis]





## 2.4 Bildrechner/GPU

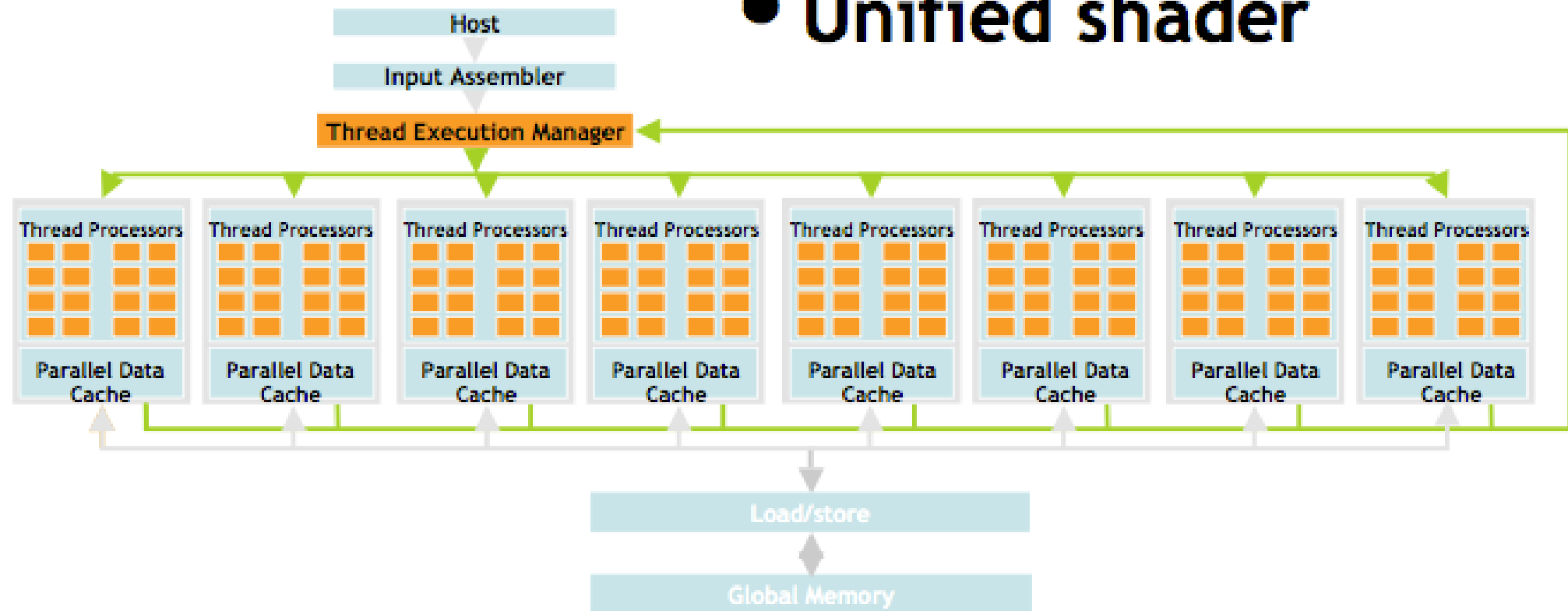
NVIDIA GeForce 6800 - on-chip (2004/5) [N. Triantos, NVIDIA]



## 2.4 Bildrechner/GPU

NVIDIA GeForce 8800 - on-chip [I. Buck, NVIDIA]

- **Unified shader**



## 2.4 Bildrechner/GPU

### NVIDIA GeForce 2080RTX



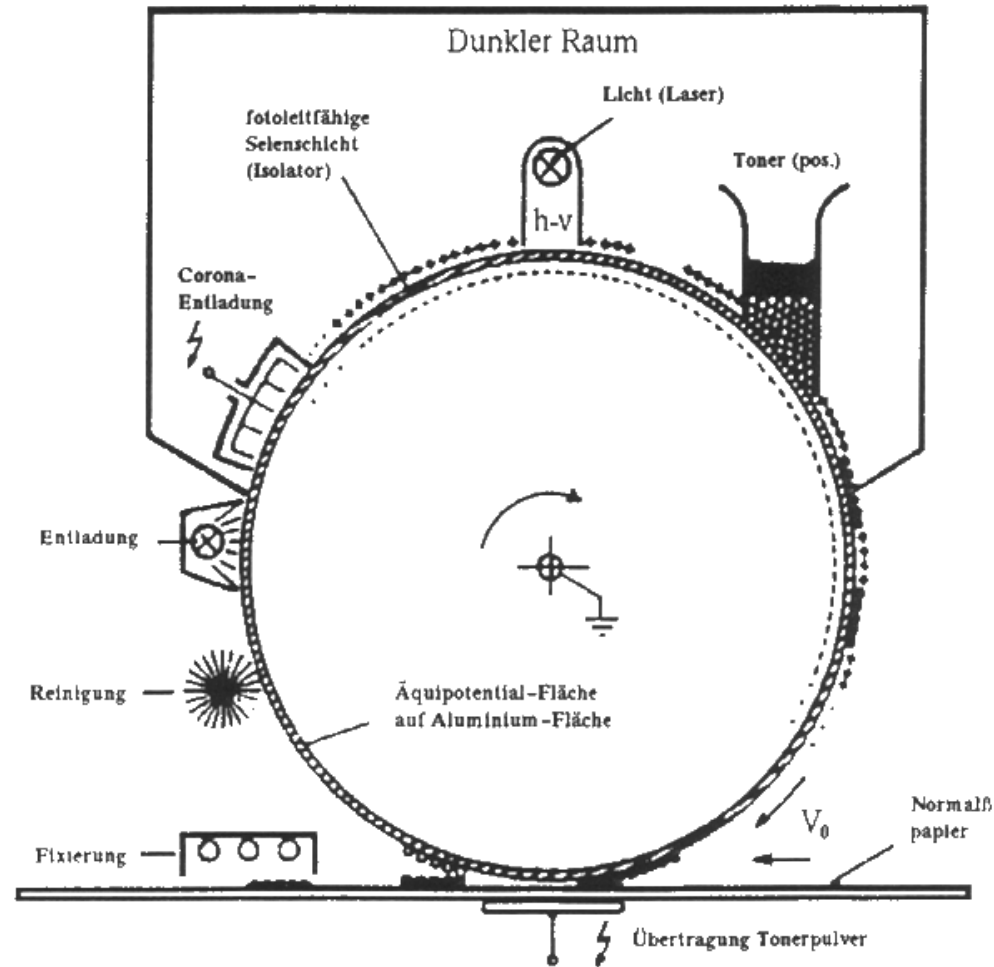
## 2.4 Bildrechner/GPU

### Taxonomie nach Akeley (GTXRD)

- G: Generation
- T: Traversal - Szenengraph
- X: Xformation - Geometrieverarbeitung
- R: Rasterung
- D: Display - Darstellung
- Aufteilung der Abschnitte in Software-Hardware
- GTXR-D - Nur Framebuffer (Bildspeicher, zB. VGA)
- GTX-RD – Rasterungsunterstützung (zB. SGI O2)
- GT-XRD - T&L in Hardware (zB. SGI RE, GeForce GPUs)
- G-TXRD – Szenengraphtraversierung in Hardware (zB. E&S)

## 2.5 Weitere graphische Ausgabegeräte

### Laserdrucker: Prinzip des xerographischen Druckverfahrens



## 2.6 Graphische Eingabegeräte

### Touchscreens: Resistive Touchscreens

- Zwei leitfähige Schichten, die durch Abstandshalter getrennt sind
- Druck verbindet die beiden Schichten
- Gleichspannung entlang einer Schicht und Messen der Spannungsdifferenz zu den Rändern bestimmt die Position der Druckberührung
- Die beiden leitenden Schichten bestehen aus Indium-Zinn-Oxid, einem lichtdurchlässigem Halbleiter





## 2.6 Graphische Eingabegeräte

### Touchscreens: Resistive Touchscreens

- Die obere Schicht ist an einer Folie angebracht, die sich verformen lässt
- Die untere Schicht ist an einer Glasplatte angebracht
- Vorteile:
  - Stiftbedienung
  - Handschuhe
- Nachteile:
  - kein Multitouch
  - Verschleiß der Folie

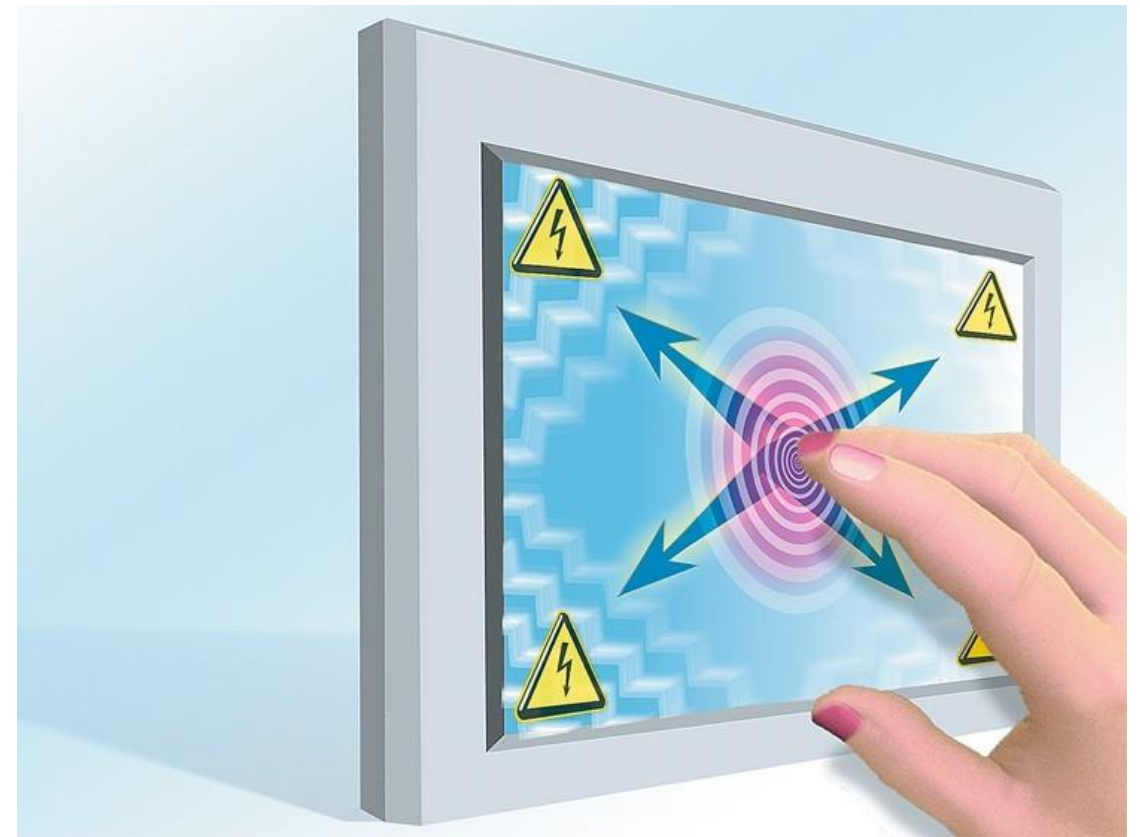




## 2.6 Graphische Eingabegeräte

### Touchscreens: Kapazitive Touchscreens

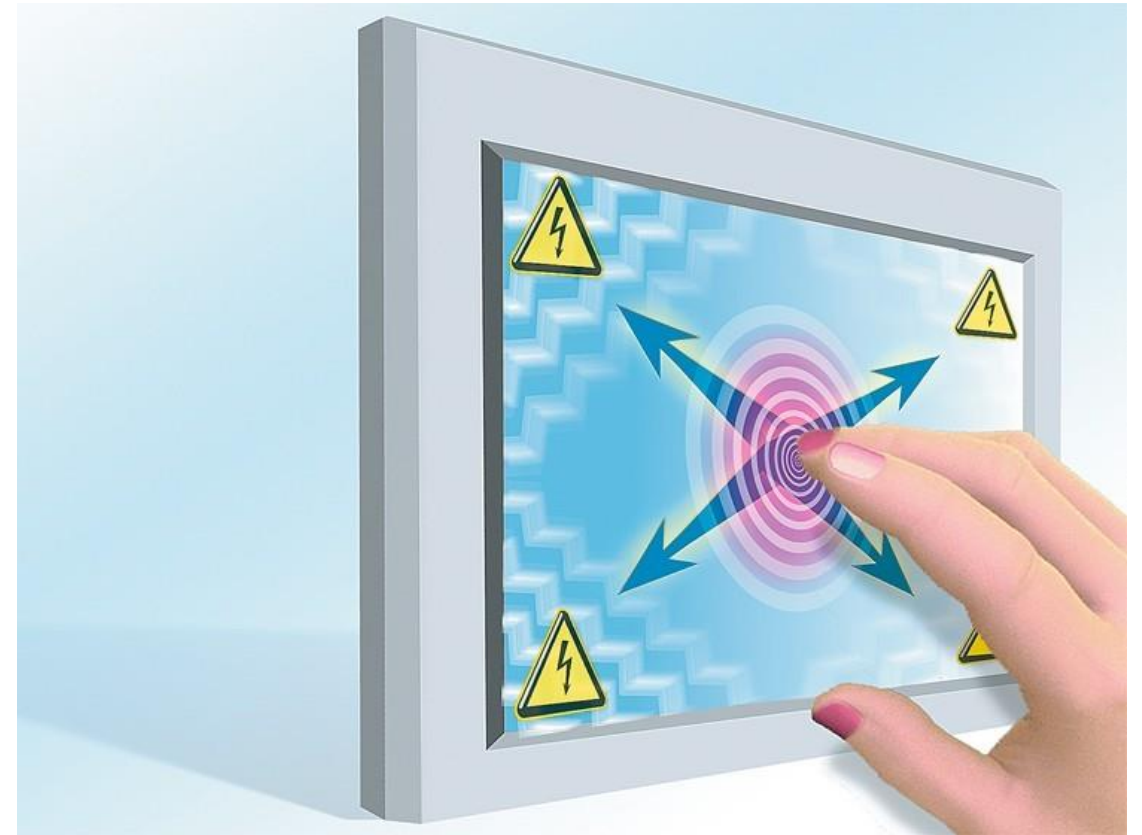
- Zwei Ebenen, die voneinander getrennt sind
- Auf diesen Ebenen sind leitfähige Muster (Streifen oder Rauten) befestigt, die einen Kondensator erzeugen
- Durch einen Finger entsteht ein geringer Ladungstransport, der die Kapazität des Kondensators reduziert
- Dies erzeugt in den Ecken schwache Ströme, aus denen die Position bestimmt wird



## 2.6 Graphische Eingabegeräte

### Touchscreens: Kapazitive Touchscreens

- Vorteile:
  - Anbringen auf der Rückseite der Glasscheibe – kaum Verschleiß
  - Multitouch ist möglich
- Nachteile:
  - nur Hand oder spezielle Stifte
  - nur mit speziellen Handschuhen



## 2.6 Graphische Eingabegeräte

### Indirekt graphische Eingabe

- 2D: Maus und Rollball
  - verwenden einen Cursor zur Positionierung
  - können zur graphischen Eingabe benutzt werden
- Insbesondere die Maus ist so zum geläufigsten graphischen Eingabegerät geworden
- Werden zunehmend von Touchdisplays verdrängt
- 3D: 3D-Maus
  - 6 Freiheitsgrade zum Verschieben
    - links, rechts
    - oben, unten
    - vor, zurück
  - 6 Freiheitsgrade zum Drehen
    - x-Achse: links, rechts
    - y-Achse: links, rechts
    - z-Achse: links, rechts
  - zusätzliche Funktionstasten

## 2.6 Graphische Eingabegeräte

### Haptische Eingabegeräte

- Mit Hilfe haptischer Geräte kann der Benutzer die virtuelle Geometrie „fühlen“
- Sobald er mit seiner Hand oder mit einer Sonde die Geometrie berührt, übt das haptische Gerät eine entsprechende Kraft aus, die eine Durchdringung verhindert



## 2.6 Graphische Eingabegeräte

### Bildgebende Eingabegeräte

- Können Bildinformationen direkt in den Rechner übertragen
  - Scanner
  - Digitale Kameras
  - Videorekorder mit A/D-Wandlern / Framegrabber

## Quellen

- Computergraphik, Universität Leipzig (Prof. D. Bartz)
- Computergraphik, TU Kaiserslautern (Prof. H. Hagen)
- Graphische Datenverarbeitung I, Universität Tübingen (Prof. W. Straßer, Prof. A. Schilling)
- Graphische Datenverarbeitung I, TU Berlin (Prof. M. Alexa)
- GPU-Programmierung, Universität Stuttgart (Prof. D. Weiskopf)
- [www.hardware-info.com](http://www.hardware-info.com)
- [www.gpgpu.org](http://www.gpgpu.org)
- [www.opengl.org](http://www.opengl.org)
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)