

§1 Hardwaregrundlagen

§2 Transformationen und Projektionen

§3 Repräsentation und Modellierung von Objekten

§4 Rasterung

§5 Visibilität und Verdeckung

§6 Rendering

§7 Abbildungsverfahren (Texturen, etc.)

§8 Freiformmodellierung

Anhang: Graphiksprachen und Graphikstandards

Anhang: Einführung in OpenGL

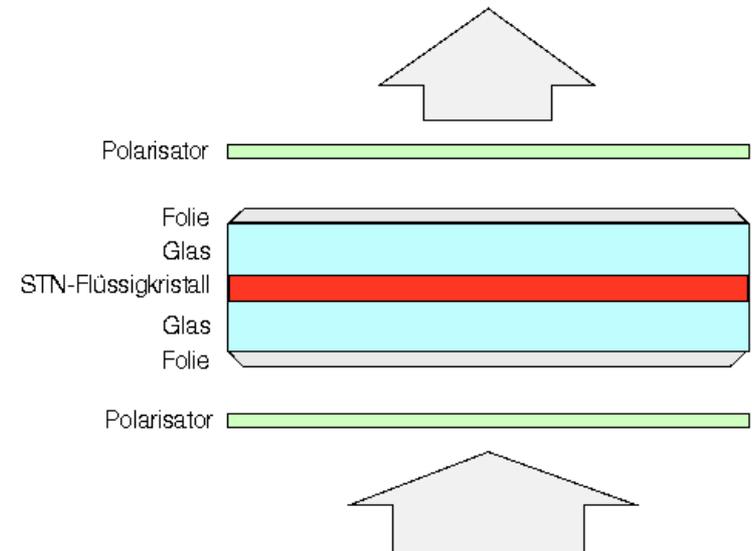
Weitere Themen: Netze, Fraktale, Animation, ...

1.1.1 Flüssigkristallbildschirm (LCD = Liquid Cristal 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
 - Relativ langsam (auch TFT)

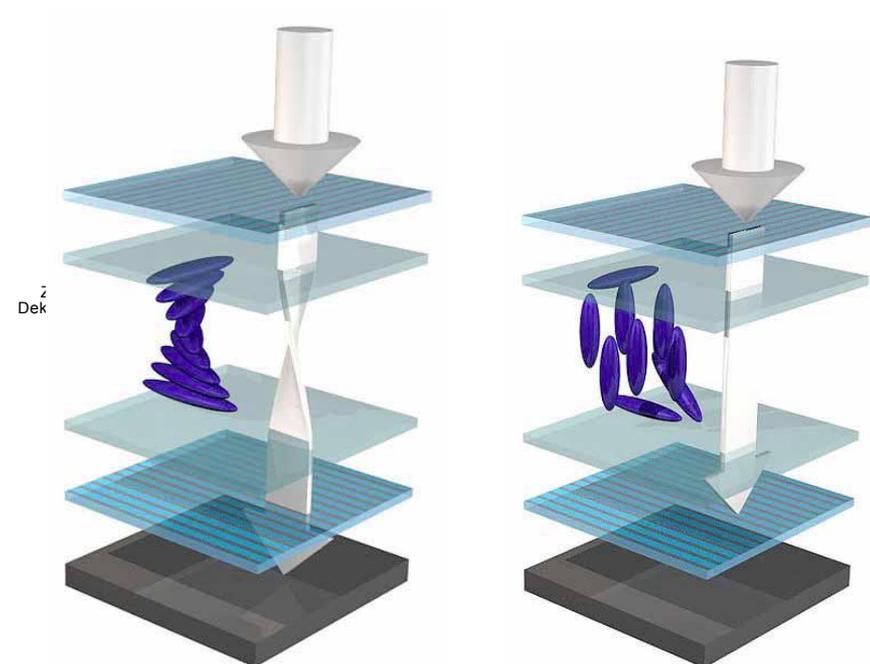
1.1.1 Flüssigkristallbildschirm LCD = Liquid Crystal Display

- Bestehen aus zwei **parallelen Glasplatten** im Abstand 5-10µm
- Dazwischen befindet sich **hermetisch abgeschlossener** Flüssigkristall
- Bildschirm wird i.A. durch künstliches Licht **von hinten beleuchtet**.
- An beiden Glasplatten liegen transparente Elektroden an
- Die Elektroden erzeugen **unterschiedliche elektrische Felder** in verschiedenen Bildschirmelementen



1.1.1 Flüssigkristallbildschirm (LCD)

- Nur **polarisiertes Licht** in den Kristall durch Polarisationsfilter hinter dem Bildschirm
- **Licht wird** durch die organischen Moleküle des Flüssigkristalls **gedreht**
- Dieses Licht **passiert einen zweiten Polarisationsfilter** ungehindert, wenn keine Spannung anliegt.
- Wenn Spannung anliegt, erscheint das Bild an dieser Stelle **entsprechend dunkler** (kein Schwarz)

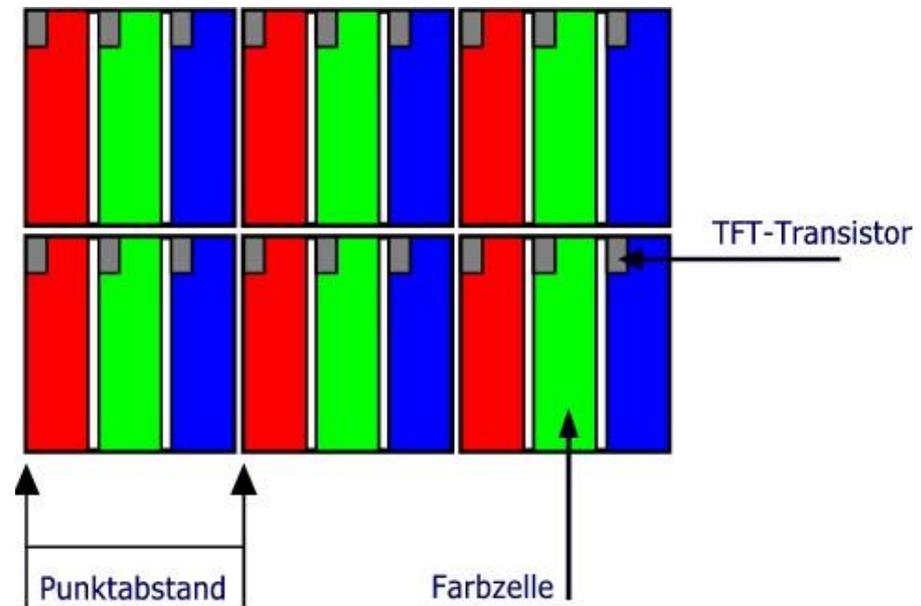


1.1.1 Flüssigkristallbildschirm (LCD)

- Nematisch - Fadenförmig
- Twisted - Gedreht / verdrillt
- TN - Zelle, twisted-nematic cell, STN - Super-Twisted-Nematic, DSTN - Double STN: Passiv-Matrix Display
- Nachteile
 - Langsam
 - Verminderter Kontrast (CrossTalk) oder geringere Auflösung
 - Farbprobleme
 - Beschränkter Sichtwinkel / Weitwinkeligkeit

1.1.1 Flüssigkristallbildschirm (LCD)

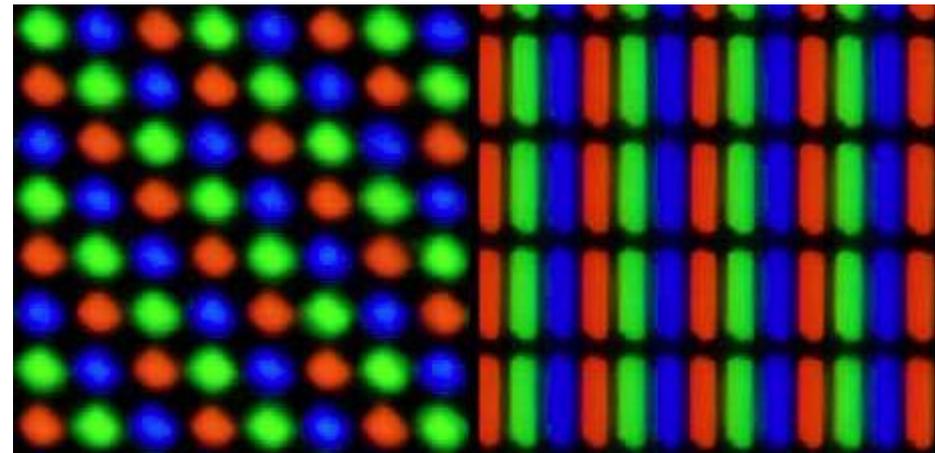
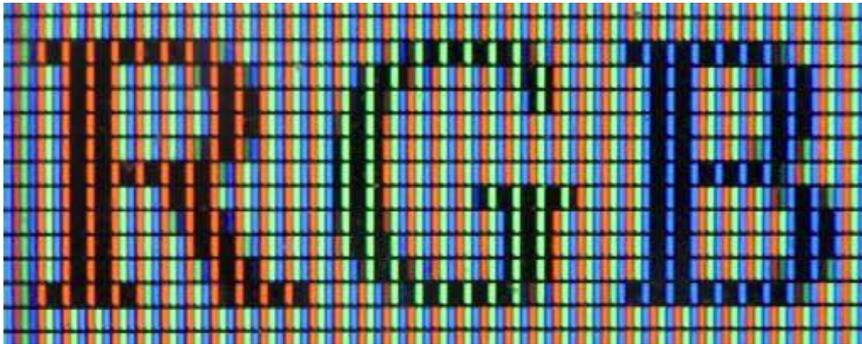
- Dünnschichttransistoren (TFT - Thin-Film-Transistor) zur Ansteuerung der Elektroden
- **Active**-Matrix-Display
- TFTs sind in einer **matrixartigen Anordnung** auf den Glasplatten angebracht
- Jedem Schalttransistor ist **eine Flüssigkristallzelle** zugeordnet
- Für Farbdarstellungen werden **drei Flüssigkristallzellen** zu einem RGB-Farbtripel zusammengefasst
- Die einzelnen Zellen erhalten durch **Mikrofilter** die Farben Rot, Grün und Blau



Aufbau der Bildpunkte eines TFT's

1.1.1 Flüssigkristallbildschirm (LCD)

- Unterschiedliche Zellgeometrie für R, G, B
- Kann ggf. für Antialiasing (Subpixel-Rendern) ausgenutzt werden



Delta-TFT, Vertical-Stripe-TFT

1.2.1 CRT – Projektion

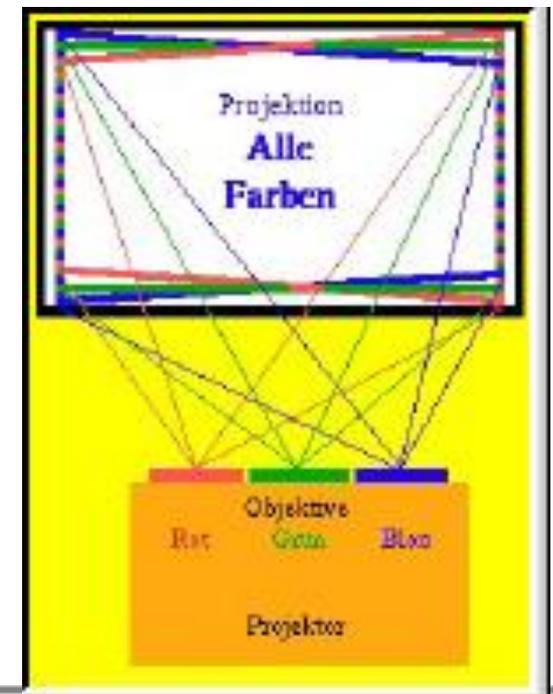
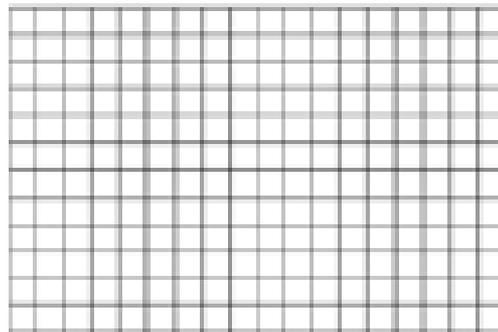
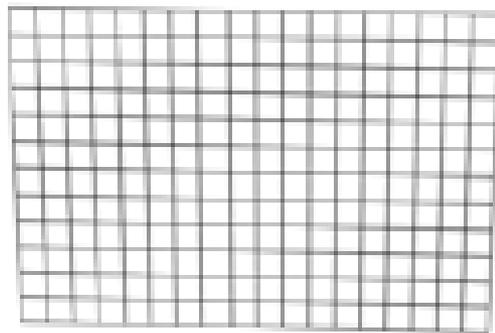
- Drei Kathodenstrahlröhren (RGB)
- Erfordert „schnellen“ Phosphor für Stereo (max. 120-180Hz)
- Aktives Stereo
- Lichtschwach



Barco Projektor

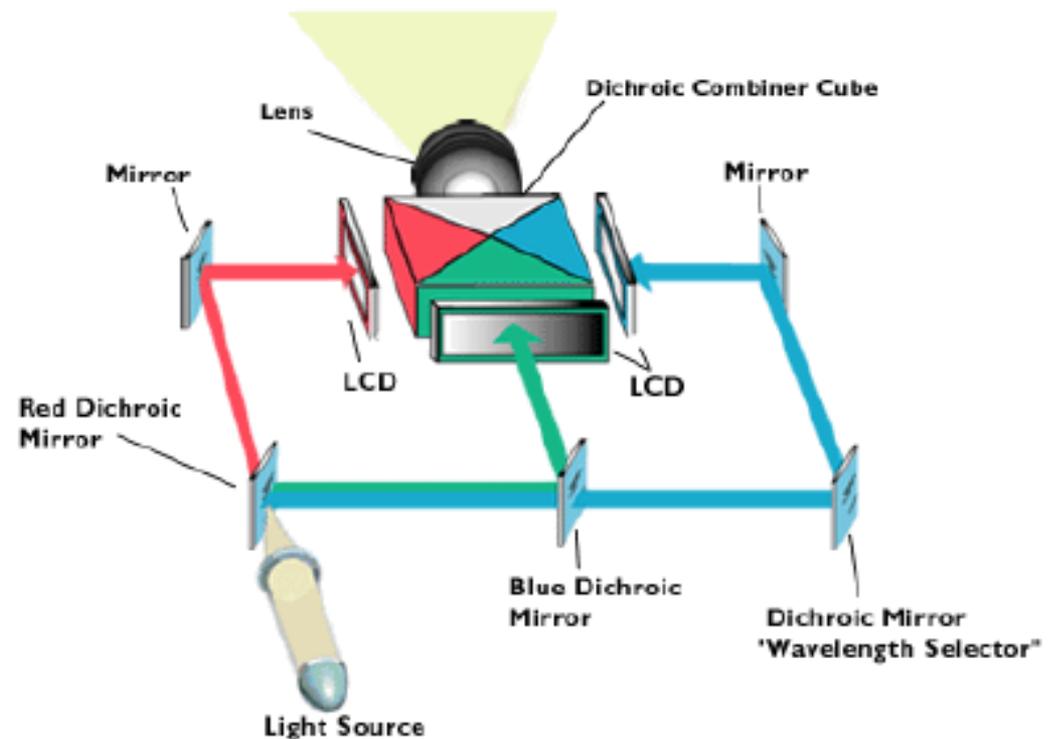
1.2.1 CRT – Projektion

- Drei Kathodenstrahlröhren (RGB) **erfordern Kalibrierung** (aufwändig) gegen Verzerrungen



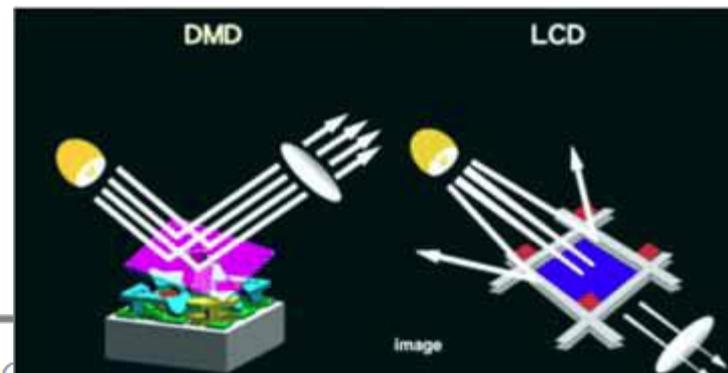
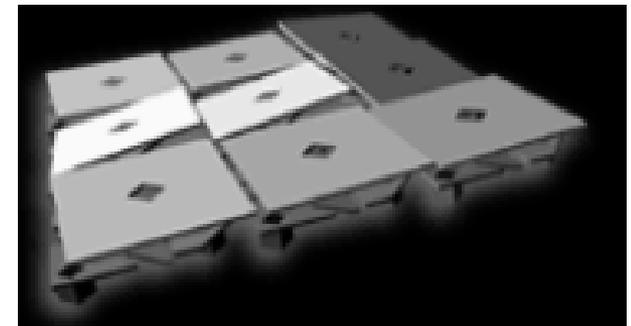
1.2.2 LCD Projektoren (Liquid Crystal Display)

- Starke Projektorlampe
- Elektrische Ladung der Kristalle ändert Lichtdurchlässigkeit
- **Kein Schwarz**
- Günstig

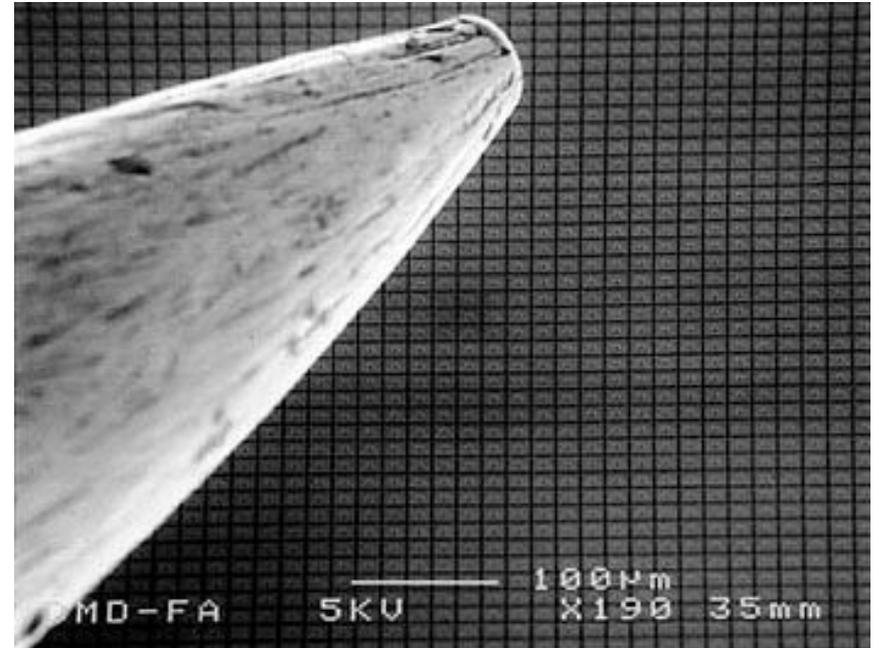
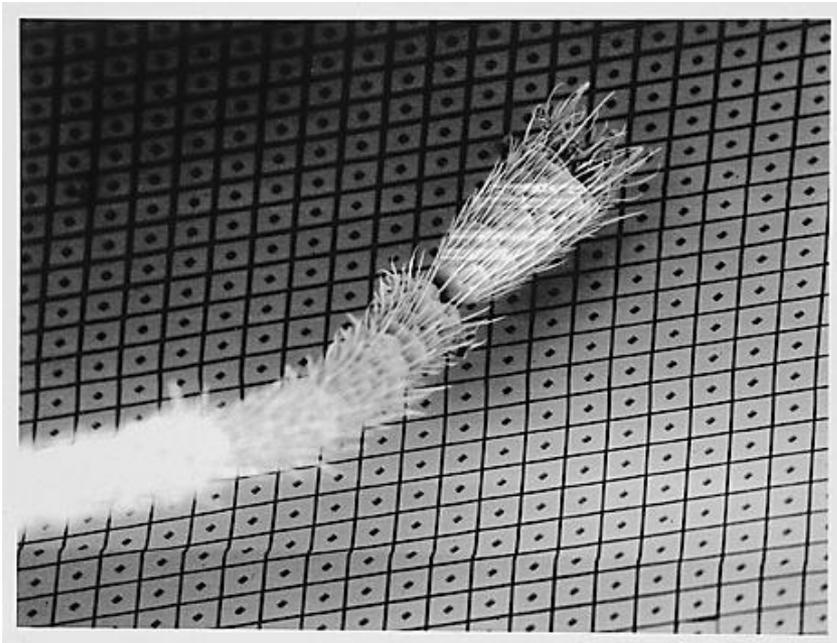


1.2.3 DLP Projektoren (Digital Light Processing)

- Auch Digital Micromirror Device (TI)
- **Feld von Spiegeln** (ein Spiegel/Pixel)
- Farben werden durch **Farbrad** zwischen Lampe und Spiegeln erzeugt
- Ein Chip (**Single Chip**) DLPs im **Zeitmultiplex**: langsamer, weniger Farben, Regenbogeneffekt
- **Drei Chips** (Three Chip DLPs): gleichzeitig, mehr Farben
- Bessere Lichtausnutzung
- Schnell
- Echtes Schwarz



1.2.3 DLP Projektoren (Digital Light Processing)

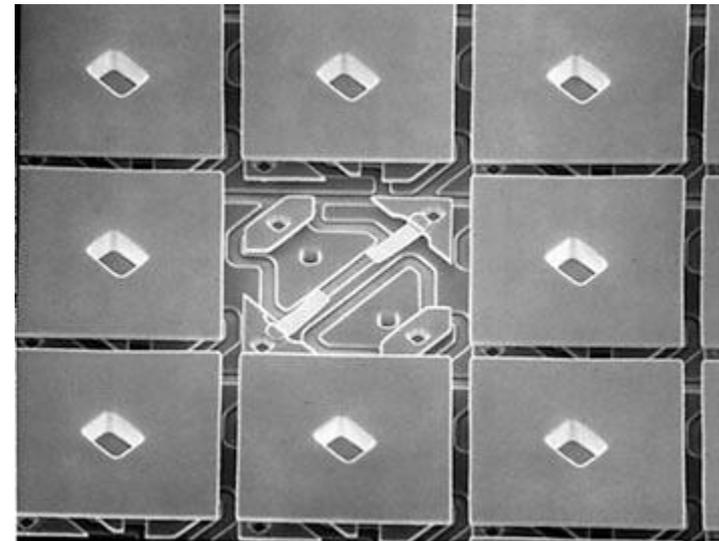
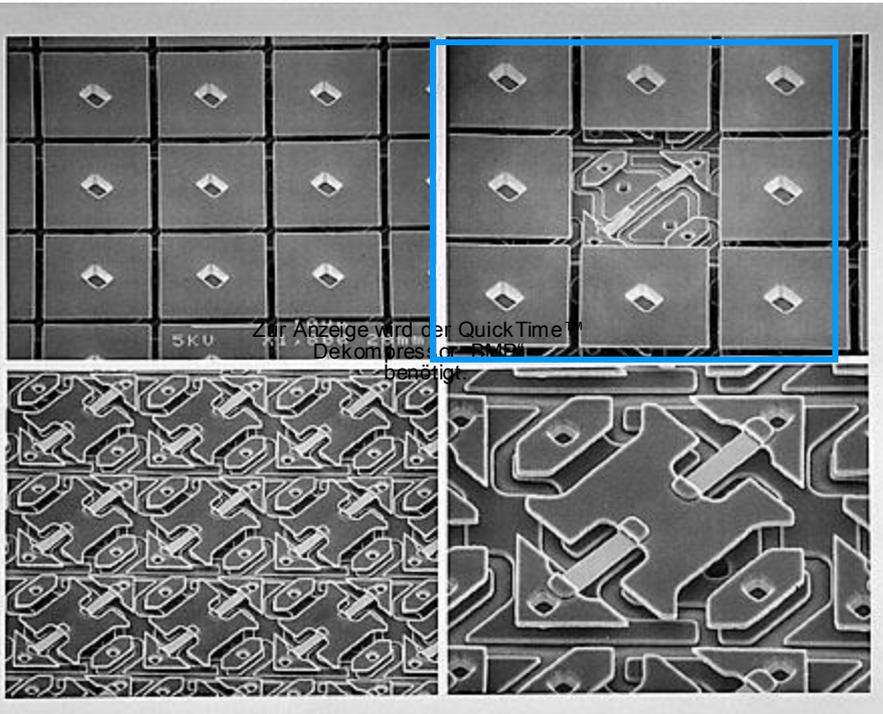


DMD: Digital Micro-Mirror Device

Mikroskopaufnahmen mit Vergleich zu Insektenhaar und Nadelspitze

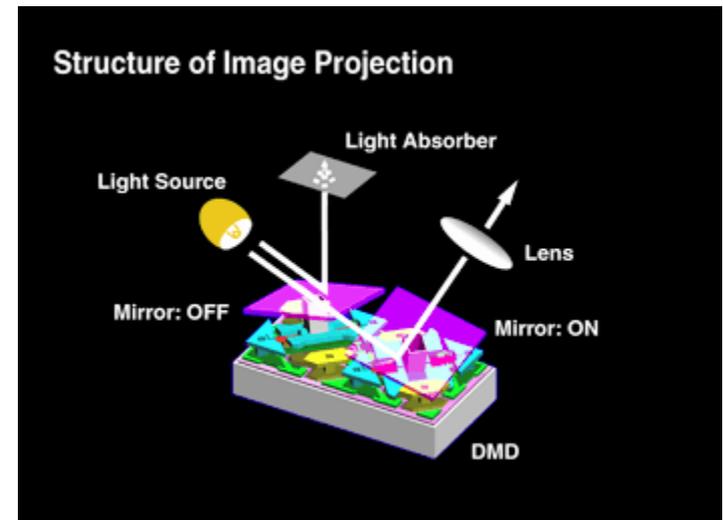
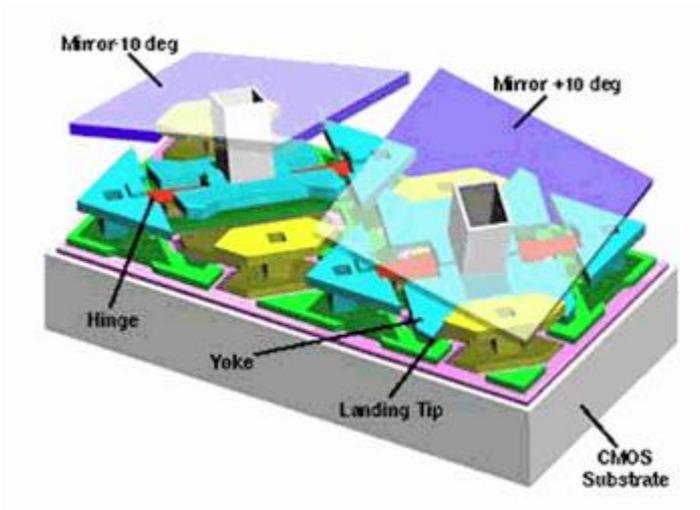
1.2.3 DLP Projektoren (Digital Light Processing)

- Mikrospiegel



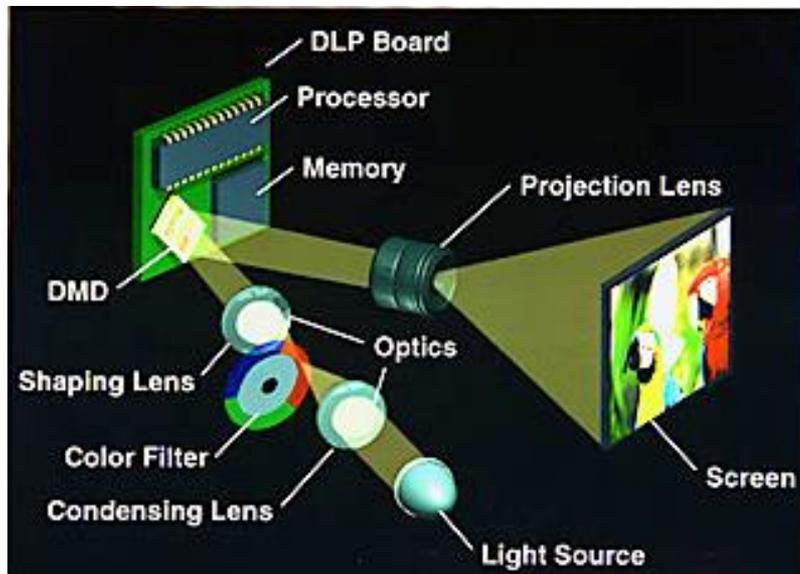
1.2.3 DLP Projektoren (Digital Light Processing)

- Mikrospiegel

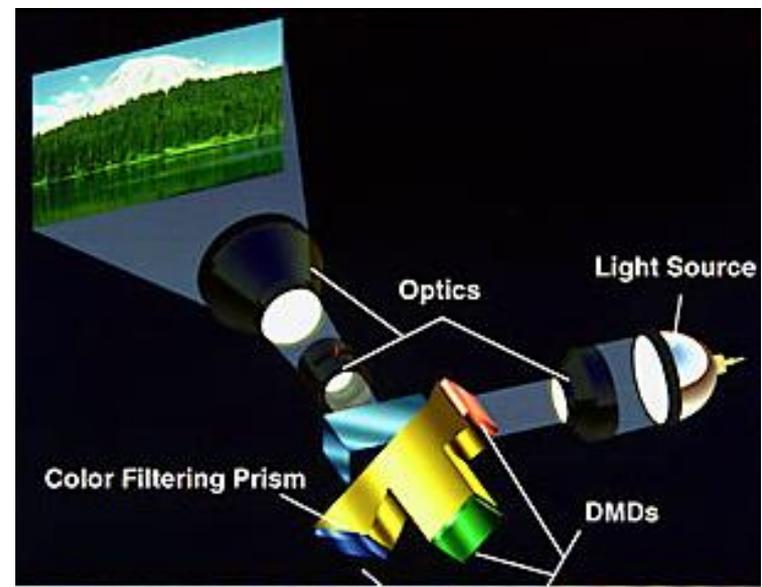


1.2.3 DLP Projektoren (Digital Light Processing)

- Mikrospiegel



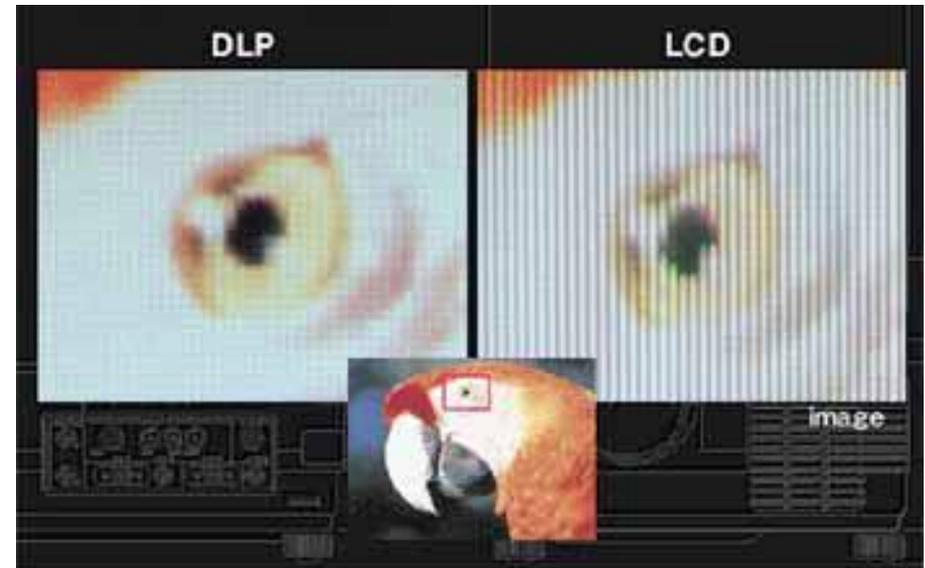
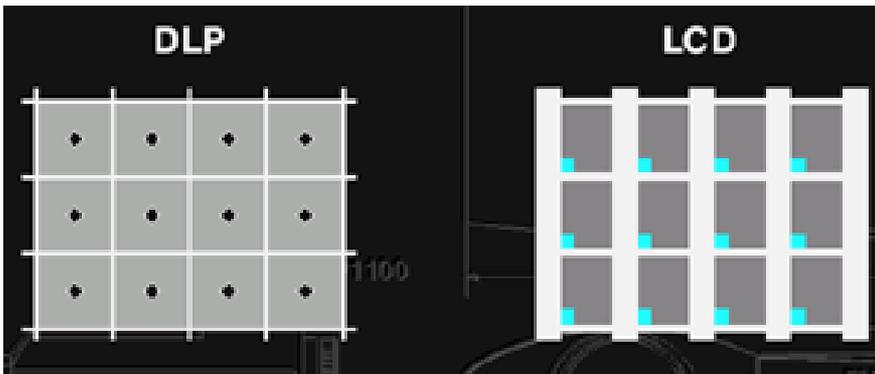
1 CHIP DLP



3 CHIP DLP

1.2.3 DLP Projektoren (Digital Light Processing)

- Mikrospiegelanordnung (Gitter)
- Gitterartefakte stark reduziert



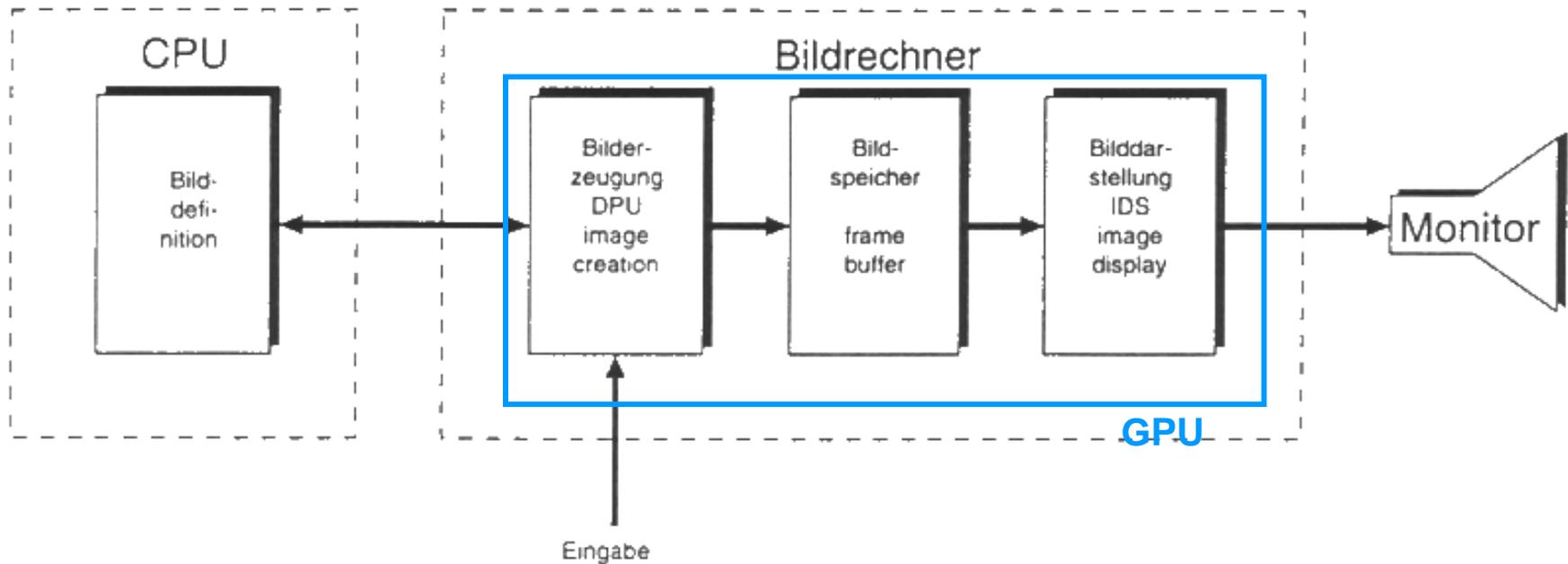


Abb.: Hauptkomponenten eines klassischen Rasterdisplays

- Der wichtigste Teil des Bildrechners ist der **Displayprozessor** (Display Processing Unit), der die Bilddefinition des Anwendungsprogramms so aufbereitet, dass auf dem Ausgabegerät (Display) das gewünschte Bild erscheint.
- Bei den heute gebräuchlichen Rastergeräten (siehe §1.1) müssen die graphischen Objekte (Linien, Kreise, Dreiecke,...) **gerastert** werden (siehe §5) und in einem **Bildspeicher** (Framebuffer) abgelegt werden.
- 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.

Entwicklung der Graphikhardware

1980er: Einfache Rastereinheiten (bitBLT, Fenster, Linien, Text)

1990-95: Geometry Engines / Geometriebeschleunigung (nur High-End)

ab 1995: Zusätzliche Rasterungsfunktionen (Texturen, nur SGI IR)

ab 1998: GPUs - Geometrieprozessoren (T&L) auf PC-Graphikkarten

2000: GPUs überholen High-End-Workstations

2001: GPUs mit neuer Funktionalität (Multitexturierung, Vertex-Shader, Pixel-Shader)

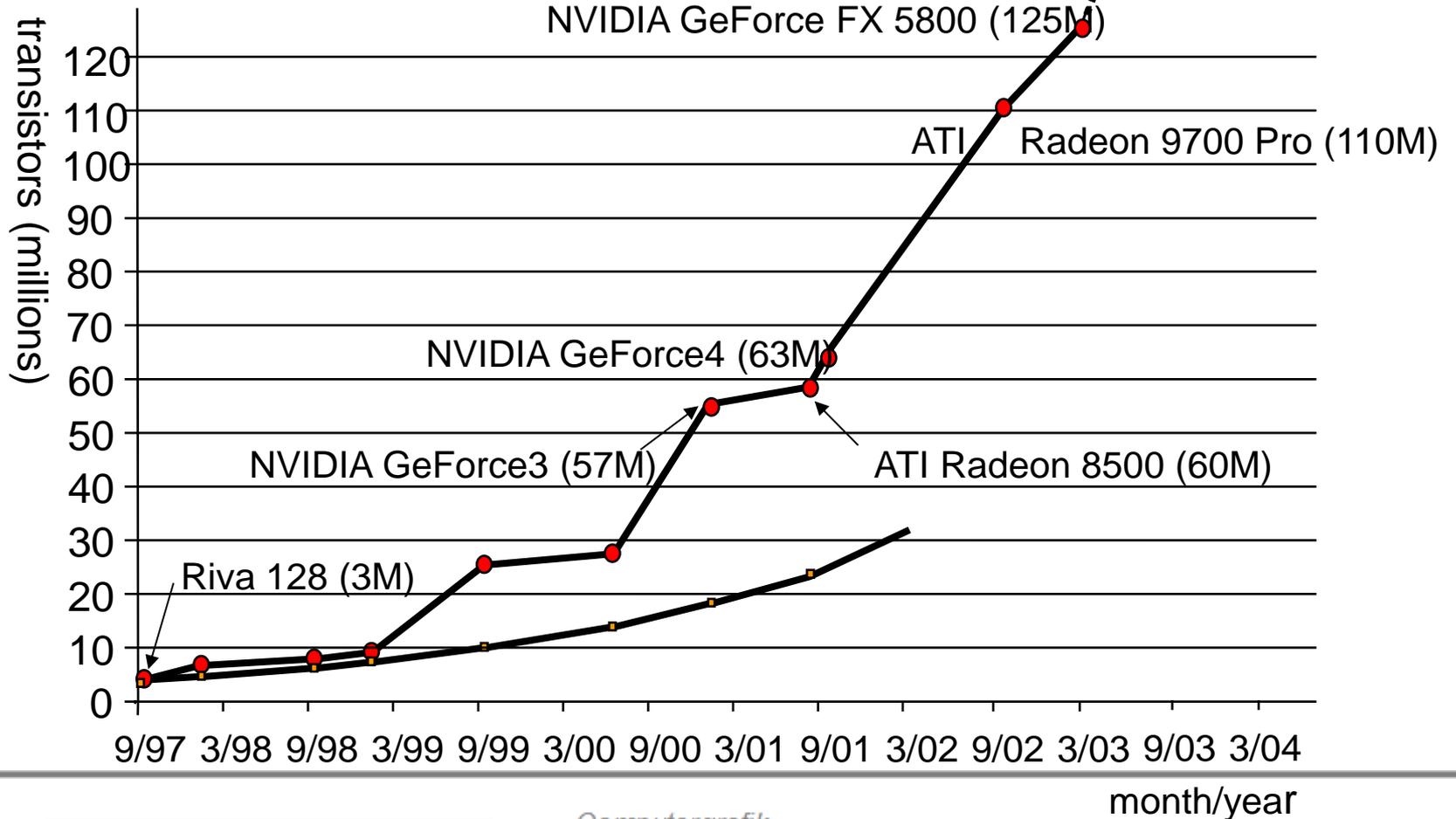
2003: Shading-Languages - OpenGL 2.0, NVIDIA CG, etc.

2004: NV40 & R420 mit 150M Transistoren, VS 3.0, PS 3.0 GLSL

Seit 2008: Flexible Verarbeitungsmodelle, Programmierung mittels CUDA, OpenCL

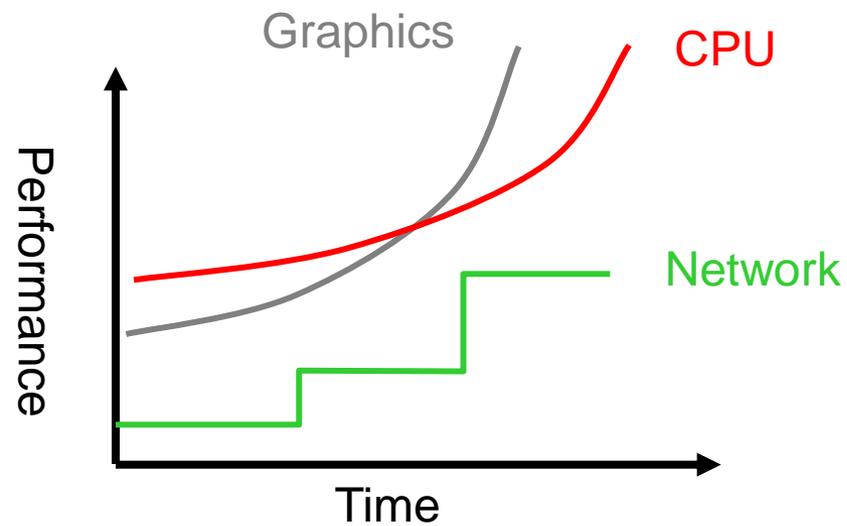
1.3 Bildrechner

GPU-Entwicklung



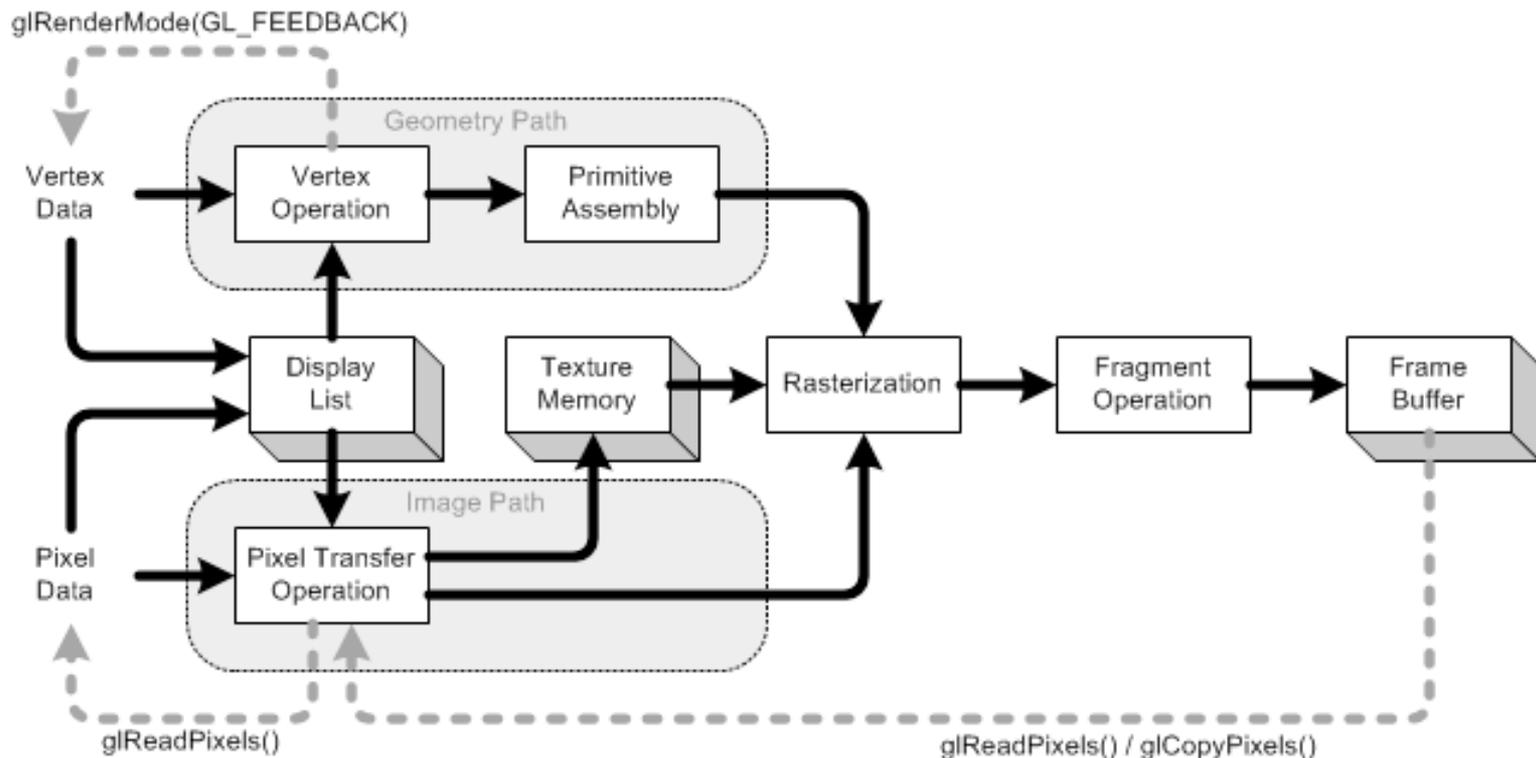
Gründe für die GPU-Entwicklung

- Pipelining
- Statische Ablaufmodelle
- Hochgradige Vektorisierung (SIMD)

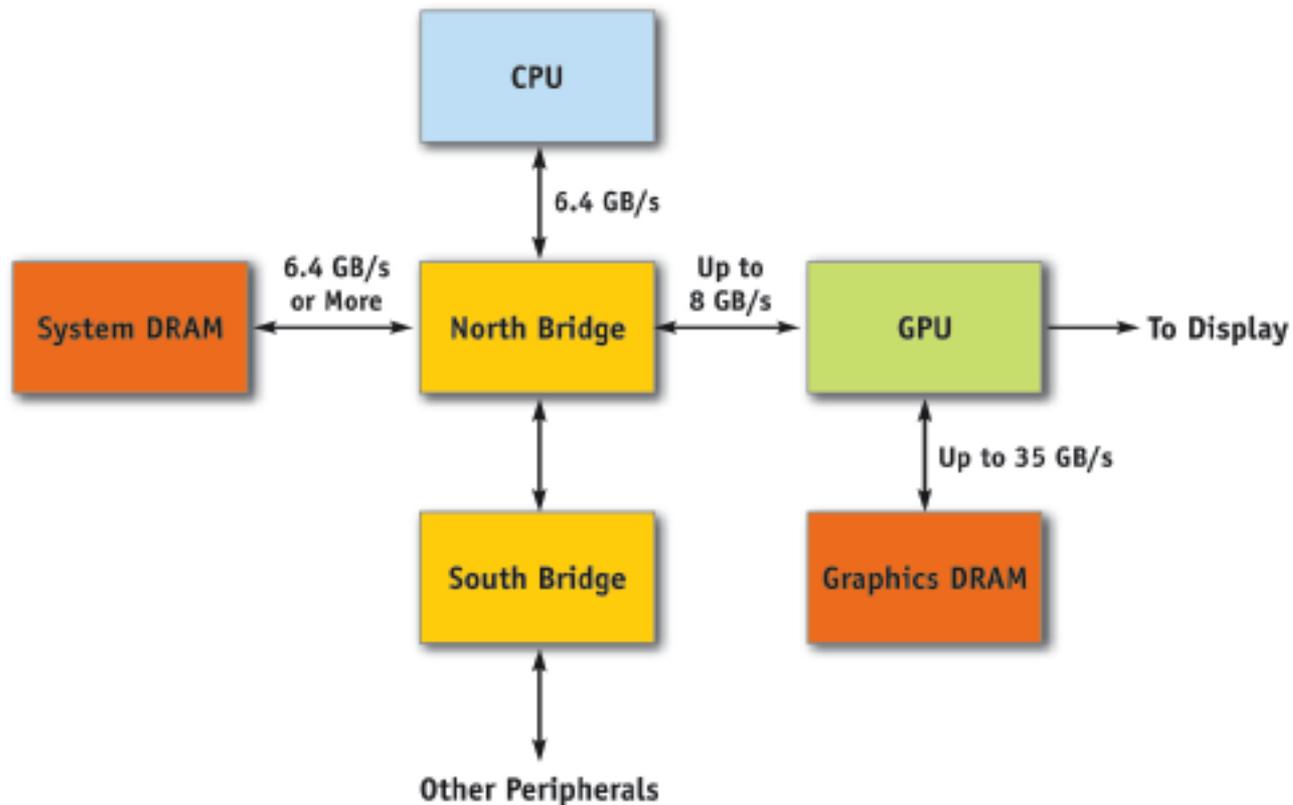


- Heute werden alle Komponenten in einer **Graphics Processing Unit** (GPU) zusammengefasst
- Graphik-Pipeline wird auf **Komponenten** verteilt
- Bestimmte Komponenten **hoch parallelisiert** (SIMD/Vektorisiert)
- **Pipelining**
- **Früher** waren Komponenten **statisch**
- **Heute** sind sie **programmierbar**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

OpenGL Rendering-Pipeline

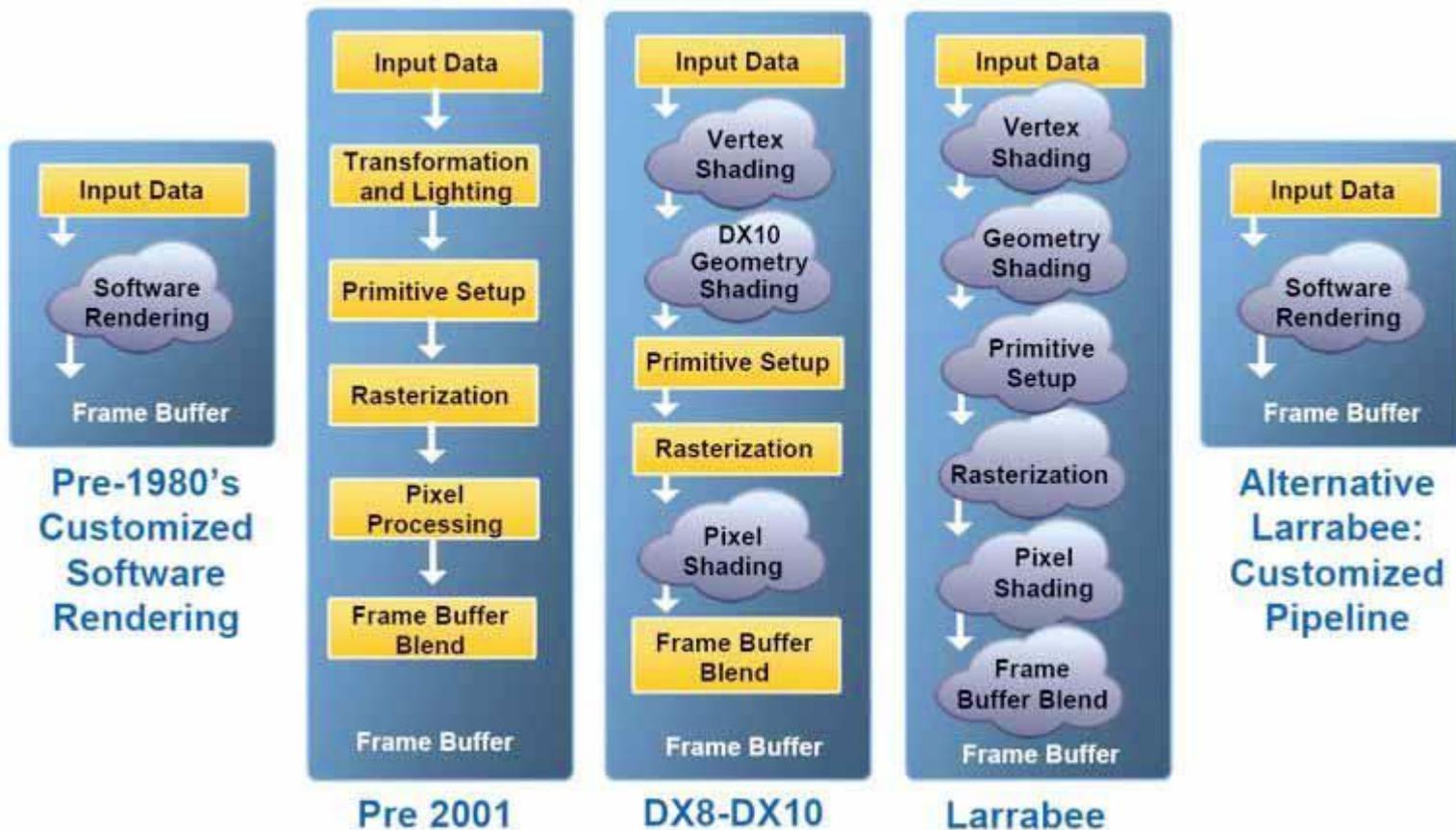


Systemarchitektur eines PCs

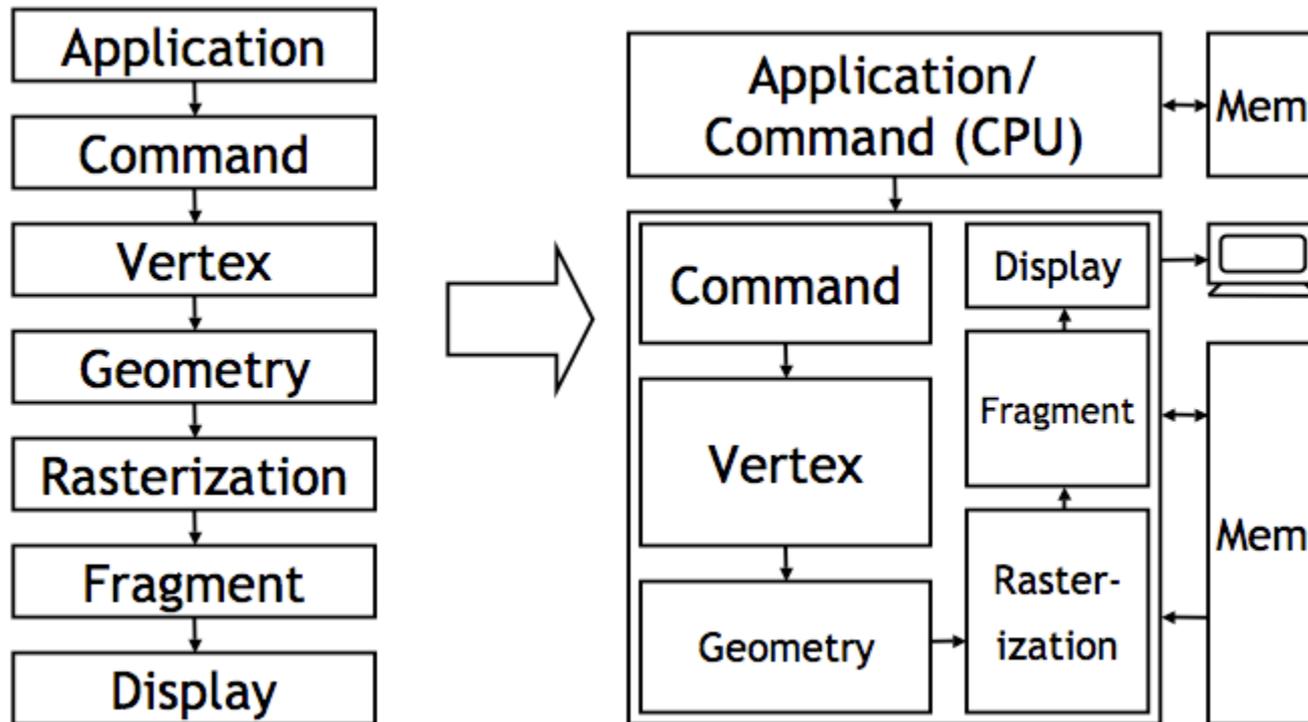


Graphics Rendering-Pipeline

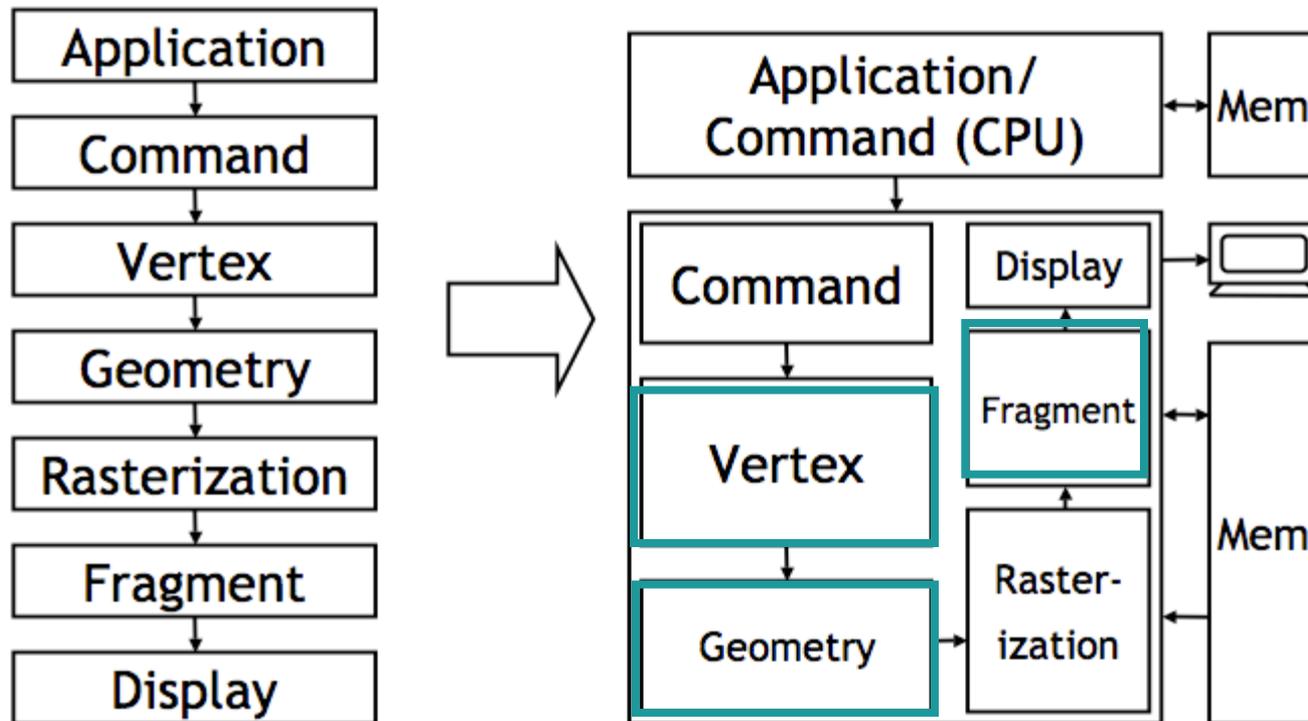
Graphics Rendering Pipelines



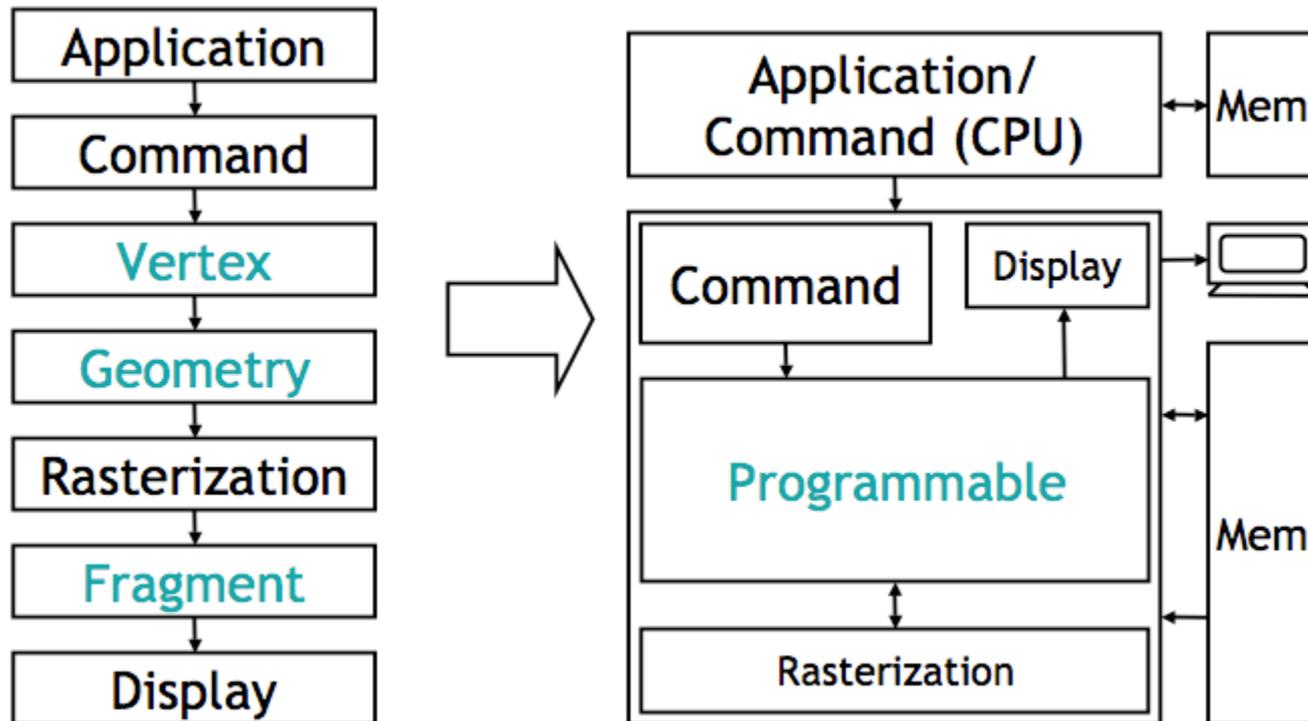
Evolution der Graphikhardware (ca. 2001)



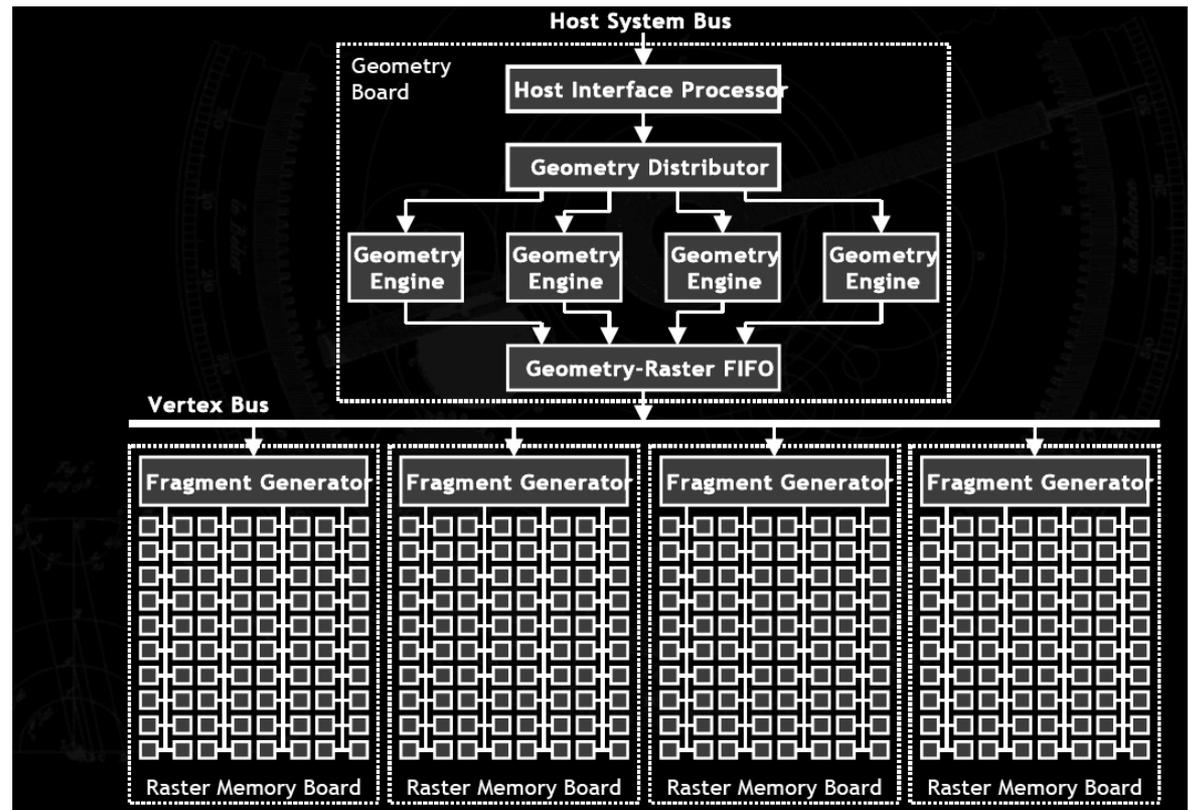
Evolution der Graphikhardware (ab 2001)



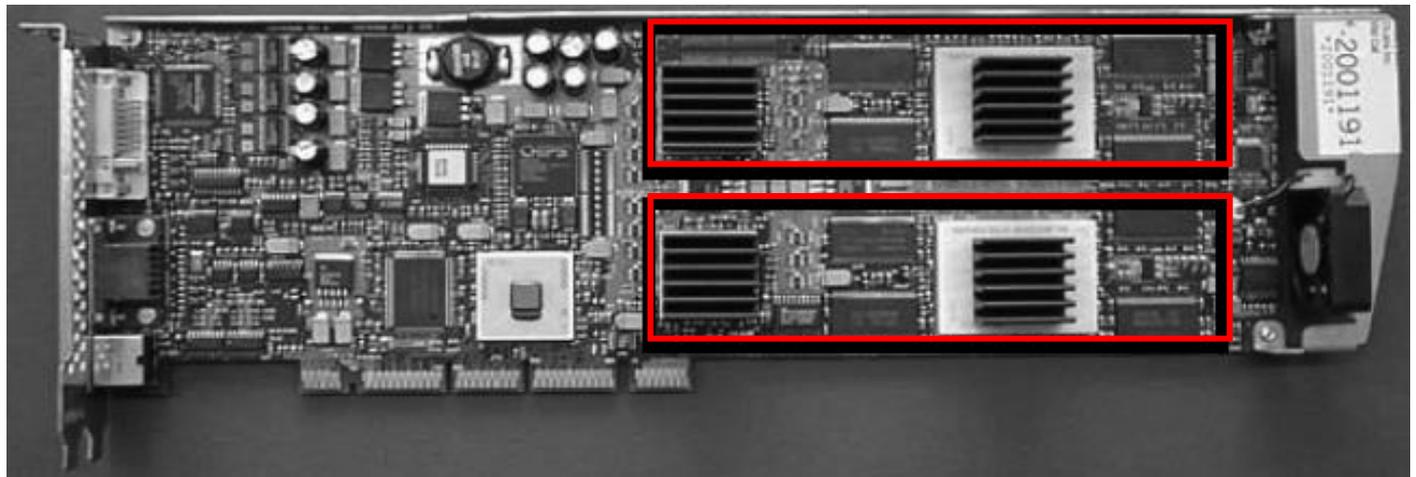
Evolution der Graphikhardware (2008)



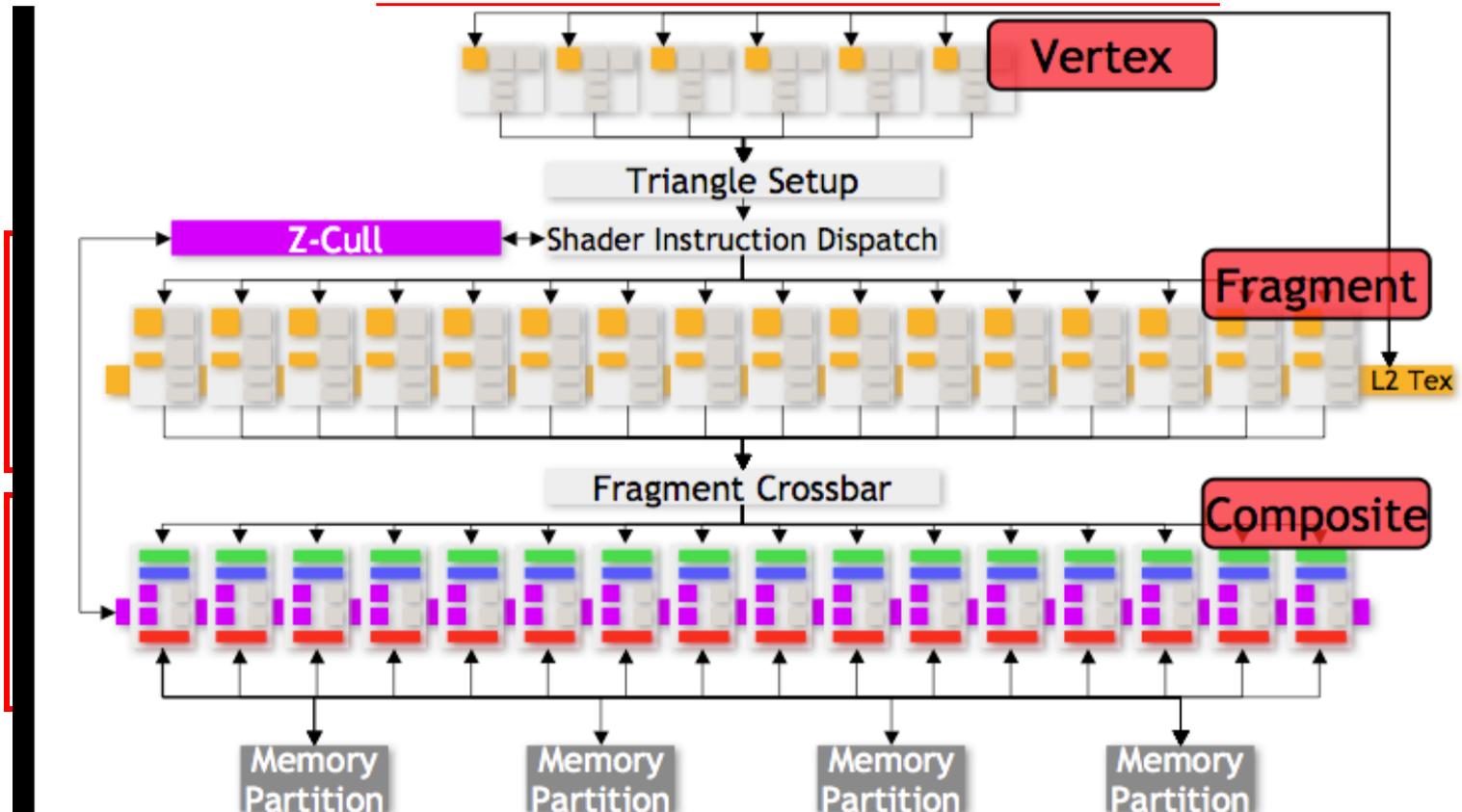
Beispiel: SGI InfiniteReality - MultiBoard (1996)



Beispiel: 3D Labs Wildcat III - Zwei Pipes (on-board) (2001)

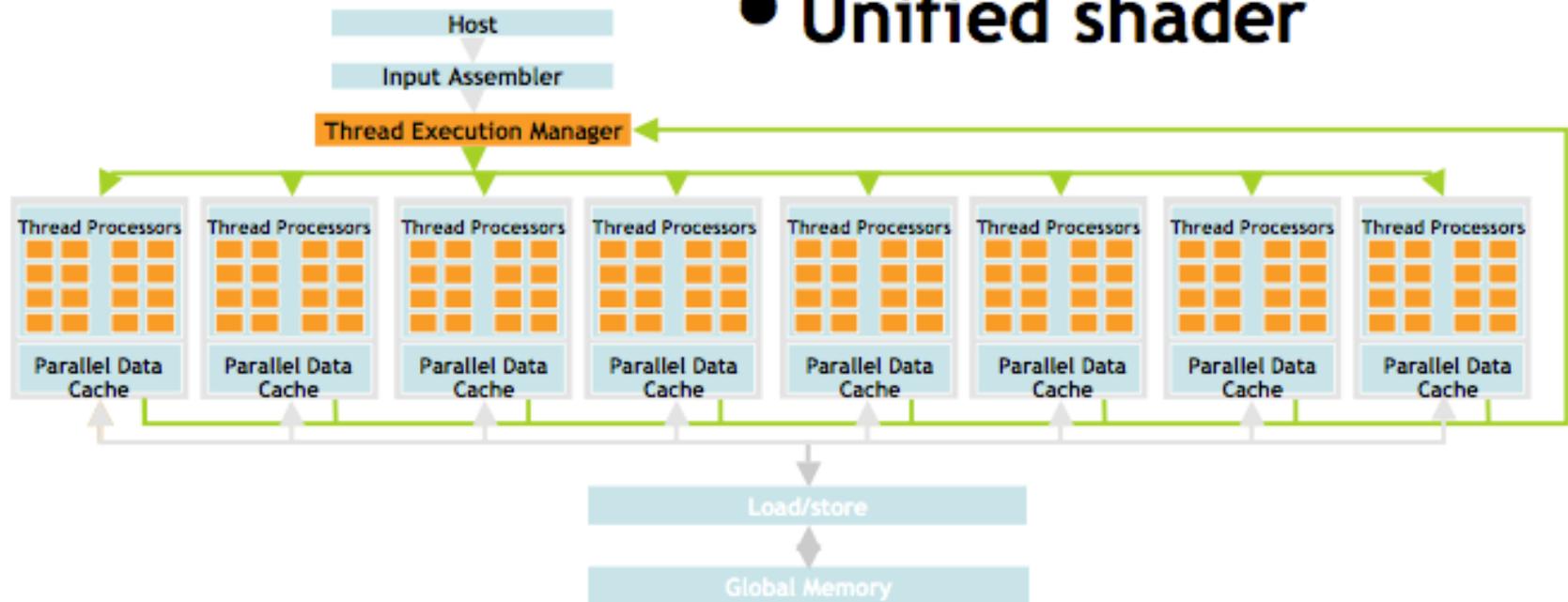


Beispiel: NVIDIA GeForce 6800 - on-chip (2004/5)

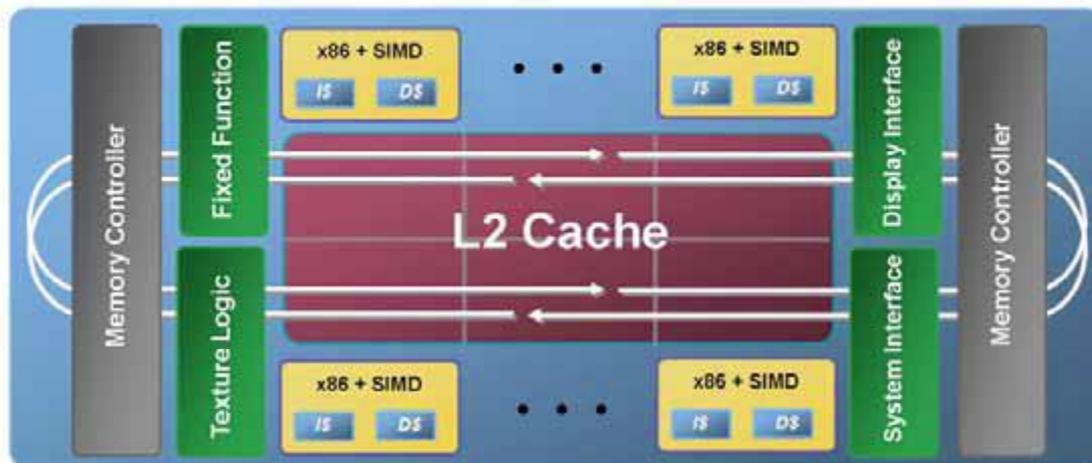


Beispiel: NVIDIA GeForce 8800 - on-chip

- Unified shader



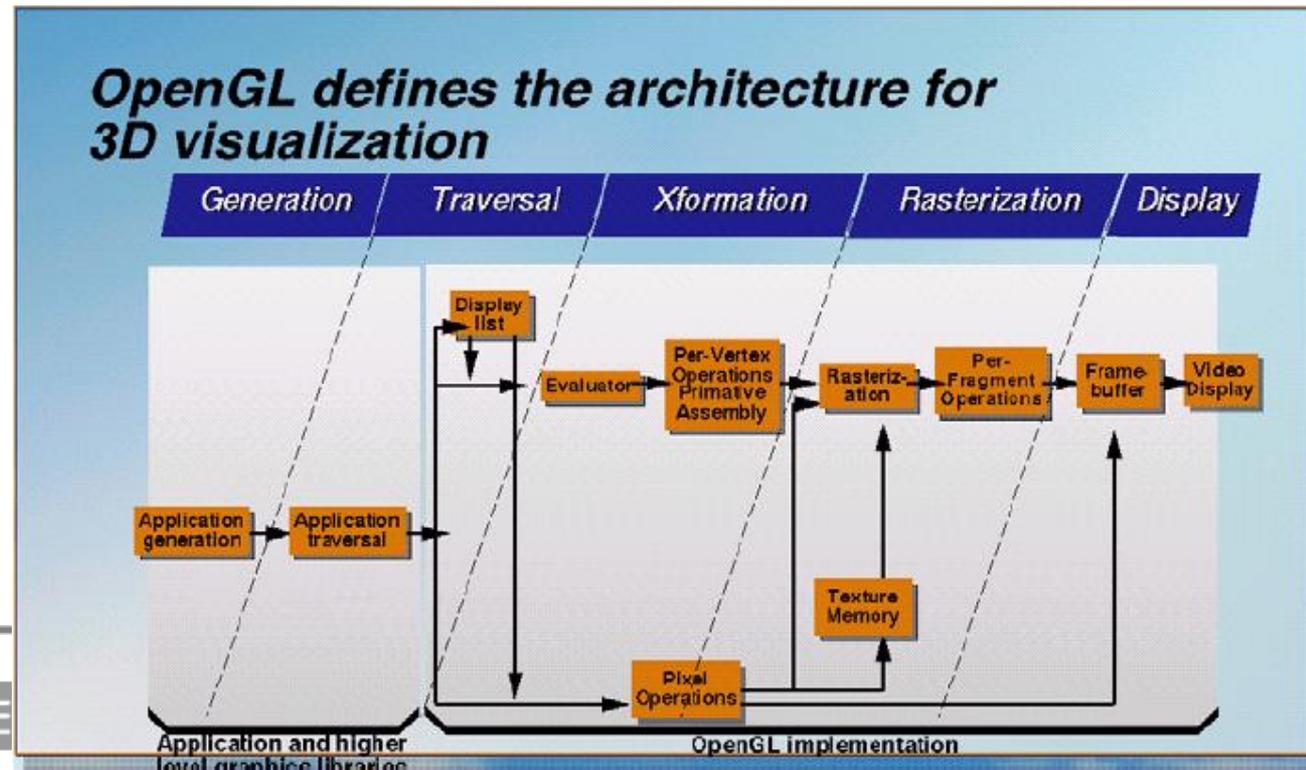
- Trend geht in Richtung **flexible MultiCore** -Architekturen mit
 - SIMD
 - Speicher-Hierarchie (Cache-Coherent)
 - Zusatz-Funktionen



Larrabee-Architektur (2008)

Taxonomie nach Akeley (GTXRD)

- G: Generation
- T: Traversal - Szenengraph
- X: Xformation - Geometrieverarbeitung
- R: Rasterung
- D: Display - Darstellung



Taxonomie nach Akeley (GTXRD)

- 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)

1.4.1 Laserdrucker

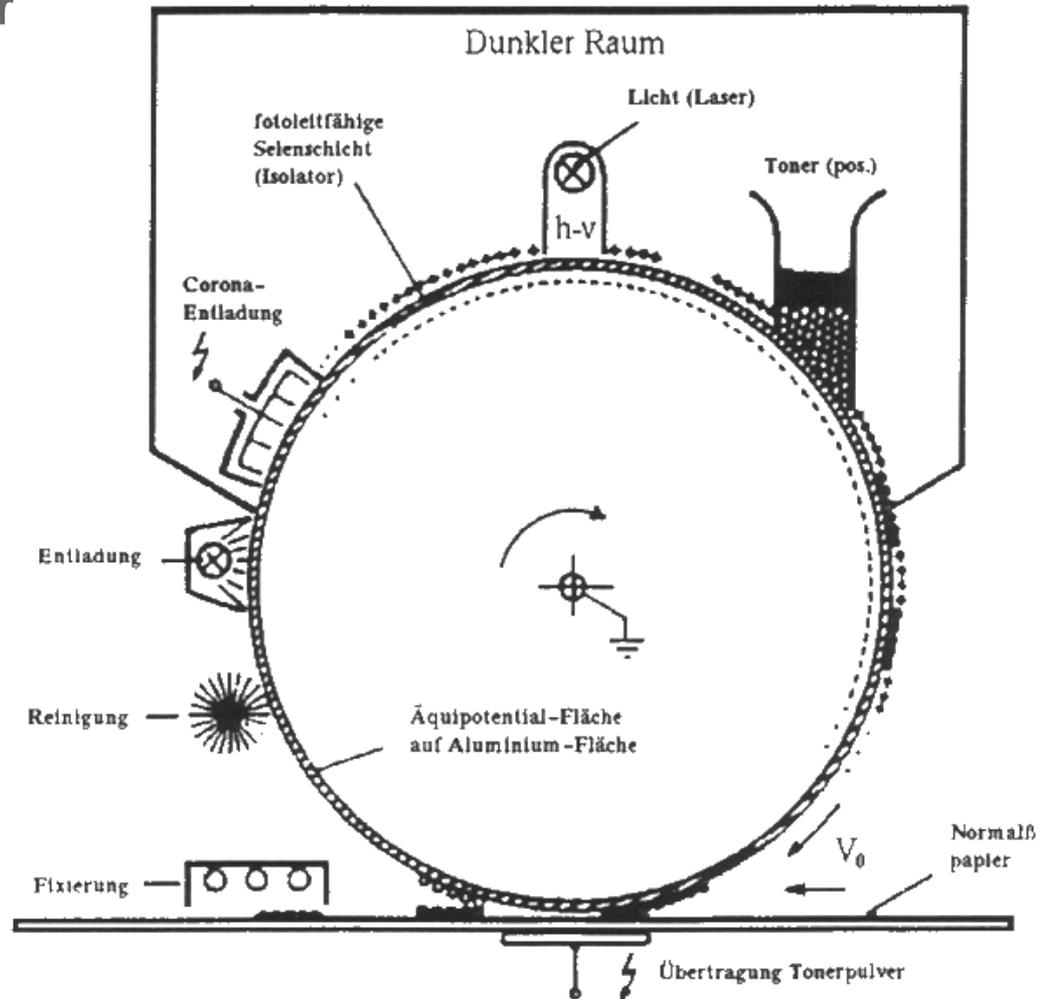


Abb.: Prinzip des xerographischen Druckverfahrens

- Laserdrucker verwendet **elektrographische (xerographische) Aufzeichnungsverfahren**, vgl. die meisten Kopierer
- Durch eine **Coronaentladung** wird die **photo-leitfähige Selenschicht** auf einer sich drehenden Aluminiumtrommel positiv geladen.
- Mit Laserlicht kann darauf das **Bild aufgetragen** werden
 - Selenschicht verhält sich im **Dunkeln als Isolator**,
 - ... bei **Licht wie ein Halbleiter**.
- Mit **positiv geladenem Toner** wird das Bild sichtbar.
- Der Toner wird dann durch Anlegen eines elektrostatischen Feldes auf normales Papier **übertragen** und durch **Erhitzen fixiert**.
- Reinigung vom Toner und Entladung der Selenschicht erlauben einen kontinuierlichen Druckprozess

1.4.2 Tintenstrahldrucker

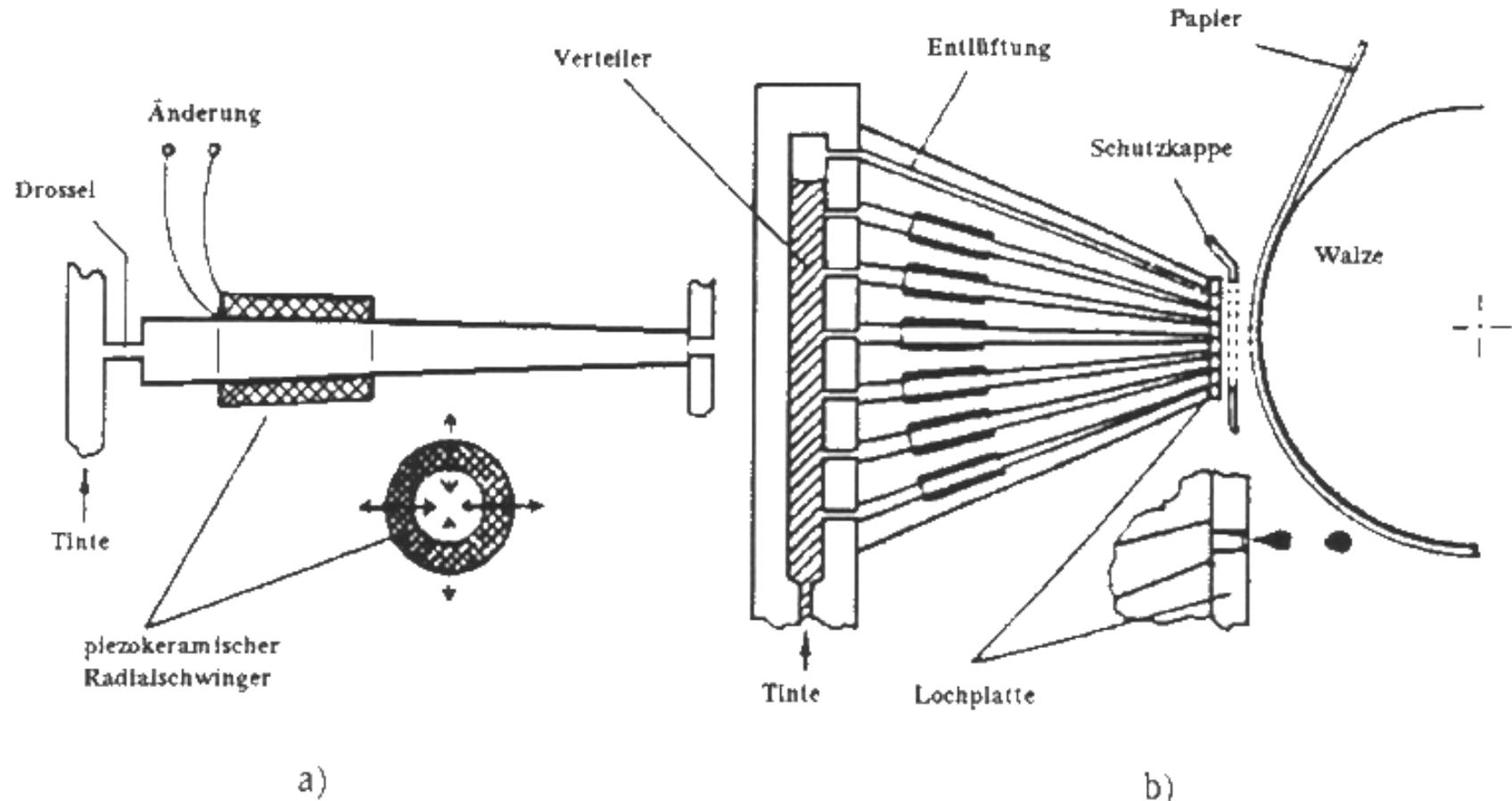
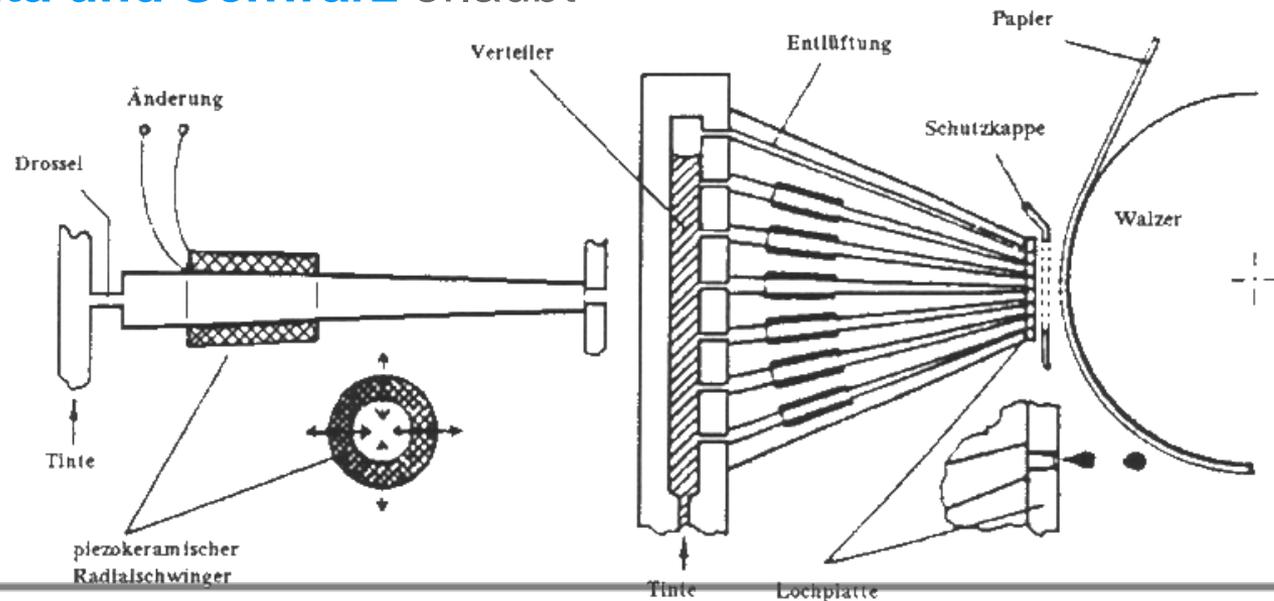


Abb.: Tintenschreibwerk nach dem Unterdruckverfahren. a) Einzeldüse b) Kopf mit 2x6 Düsen

- Der Tintenstrahldrucker (Inkjet) erzeugt das Bild durch **gezieltes Spritzen von Tintentröpfchen** auf normales Papier
- Die Tröpfchen haben einen Durchmesser von ca. 50 µm, **dehnen sich auf Papier weiter aus**
- Die vorherige Abbildung vermittelt einen Eindruck dieses Verfahrens, das sehr günstige Farbdrucke auf Basis der Farben **Cyan, Gelb, Magenta und Schwarz** erlaubt



1.5.1 Lichtgriffel (light pen)

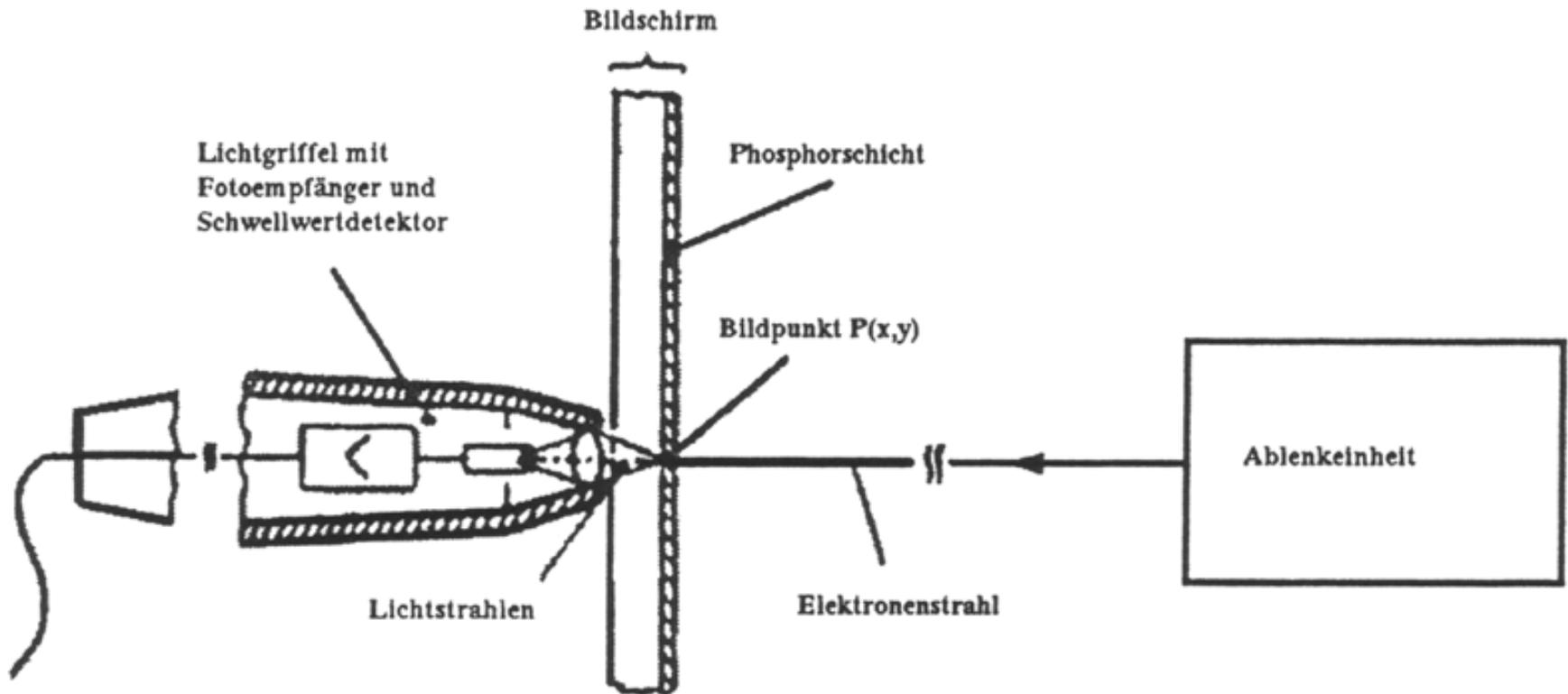
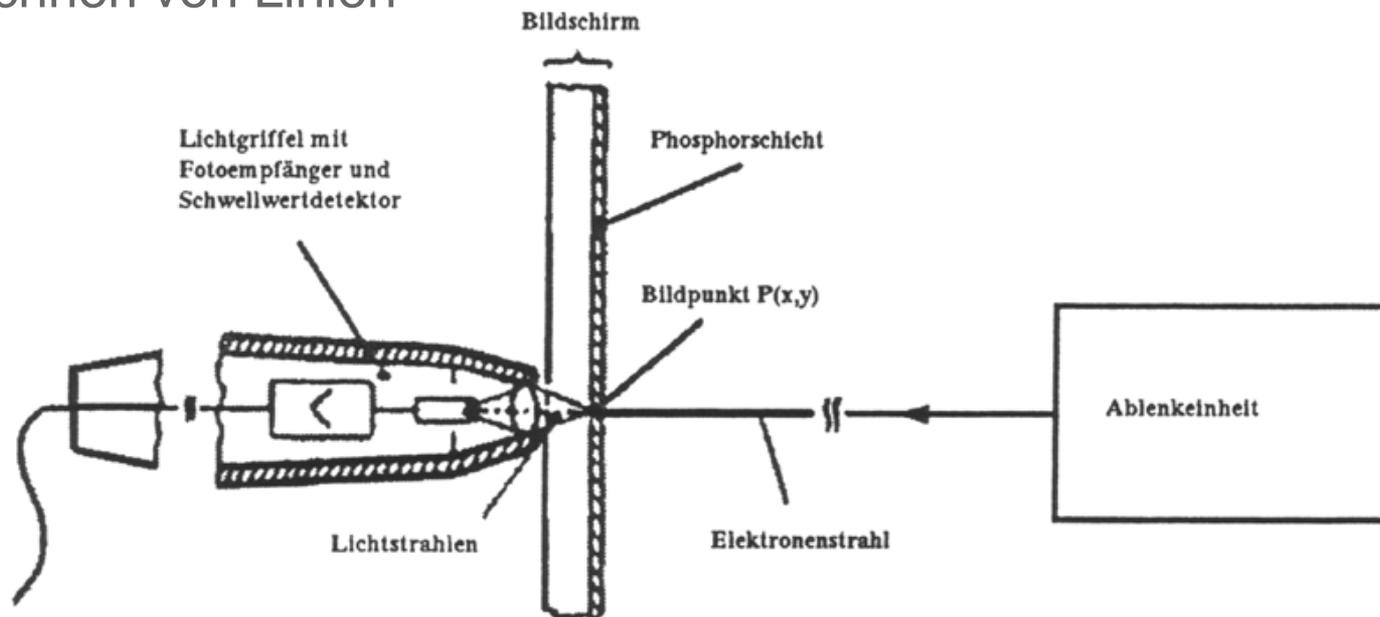


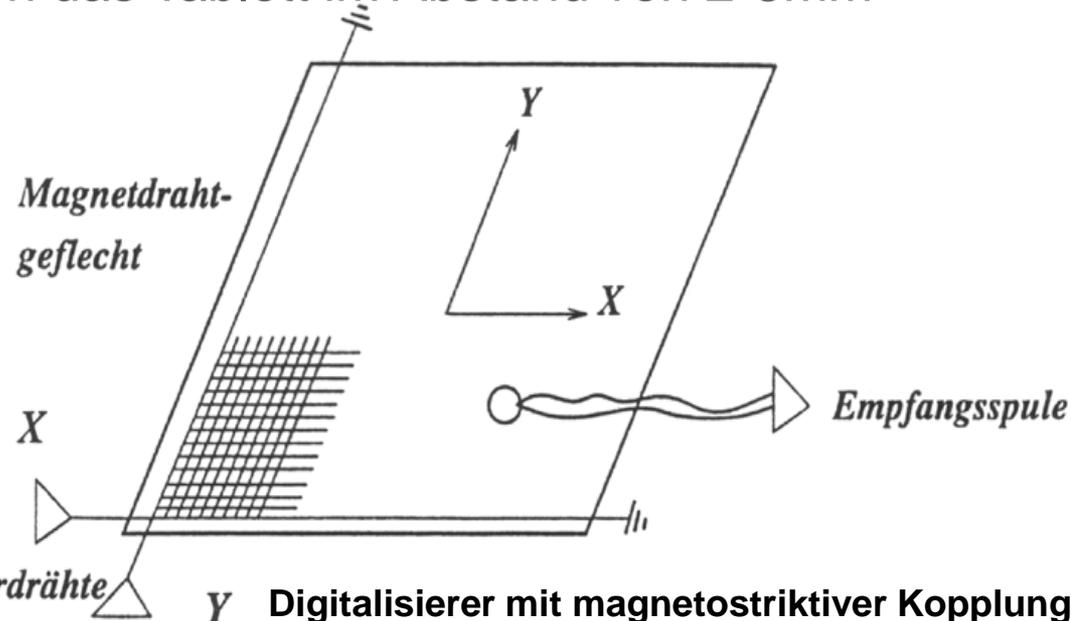
Abb.: Prinzipieller Aufbau des Lightpen

- Der Lichtgriffel reagiert auf Licht der Kathodenstrahlröhre durch einen **Lichtsens**or
- Position ermittelt sich durch **Synchronisation mit dem Display** aus dem **Zeitpunkt**, in dem der Strahl den Lichtgriffel passiert
- Der Lichtgriffel dient zum Ansprechen von Bildelementen und Zeichnen von Linien



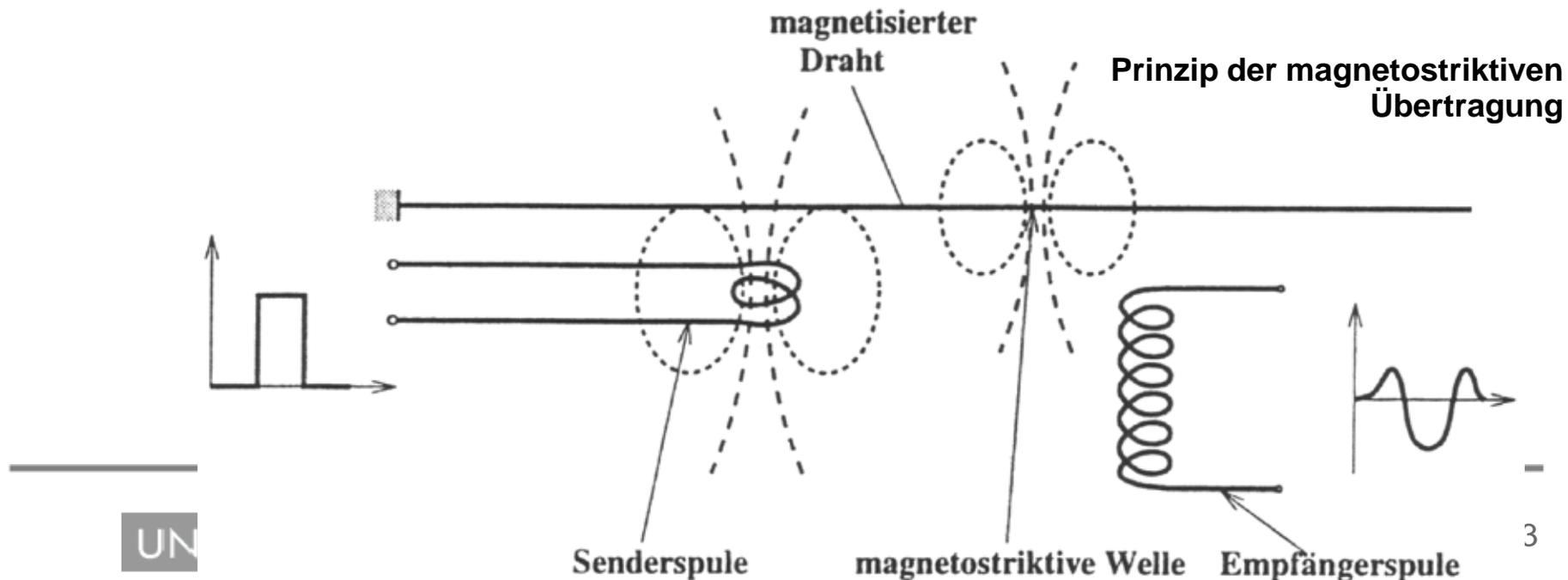
1.5.2 Grafiktablett

- Das Tablett ermöglicht das Eingeben einer Liniengraphik durch **Nachzeichnen** auf einem Blatt Papier.
- Durch eine **schnelle Positionsbestimmung** des Stiftes (200-500 Hz) werden auch schnelle Bewegungen erfasst.
- Es gibt verschiedene Realisierungen, zB. **magnetostruktive Kopplung**
 - **Stahldrähte** durchziehen das Tablett im Abstand von 2-3mm



Tablett

- **Magnetostruktive Kopplung, Frts.**
 - Die Stahldrähte werden durch ein Magnetfeld zu einer **Längenänderung** angeregt, die durch den Draht als **Spannungswelle** läuft.
 - Trifft diese Welle auf die Empfangsspule im Stift, so ergibt sich ein **Impuls**, dessen **Zeitpunkt die Positionsbestimmung** gestattet.



1.5.3 Touchscreens

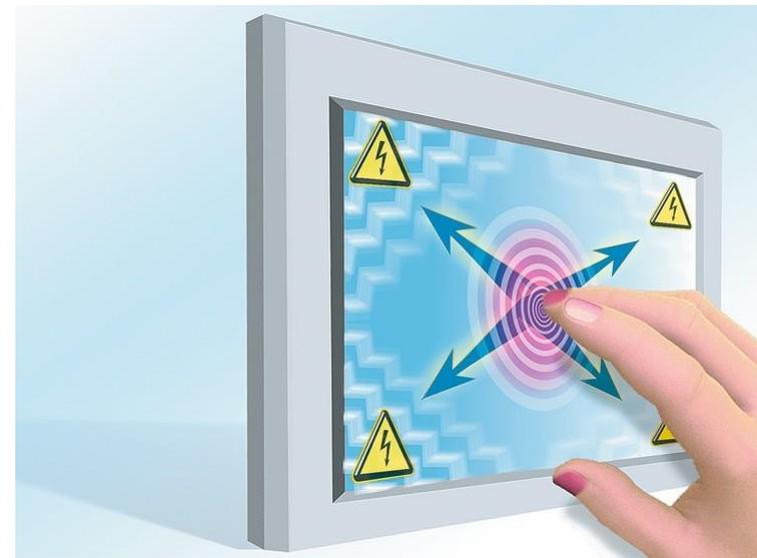
▪ Resistive Touchscreens

- Resistive Touchscreens besitzen zwei leitfähige Schichten, die durch Abstandhalter getrennt sind. Druck verbindet die beiden Schichten.
- Gleichspannung an einer Schicht und Messen der Spannungsdifferenz der Schichten an den Rändern bestimmt die Position der Druckberührung.
- Die beiden leitenden Schichten bestehen aus Indiumzinnoxid, einem lichtdurchlässigem Halbleiter.
- Die obere Schicht ist an einer Folie angebracht, die sich verformen lässt, während die untere Schicht an einer Glasplatte angebracht ist.
- Vorteile: Stiftbedienung, Handschuhe
- Nachteile: kein Multitouch, Verschleiß der Folie



■ Kapazitive Touchscreens

- Kapazitive Touchscreens arbeiten ebenfalls mit 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.
- Vorteile: Anbringen auf Rückseite von Glasscheibe – kaum Verschleiß
Multitouch ist möglich
- Nachteile: nur Hand oder spezielle Stifte
keine Handschuhe



1.5.3 Indirekt graphische Eingabe

- **Maus und Rollball** verwenden einen Cursor zur Positionierung und können so auch zur graphischen Eingabe benutzt werden.
- Insbesondere die Maus ist so zum **geläufigsten graphischen Eingabegerät** geworden.

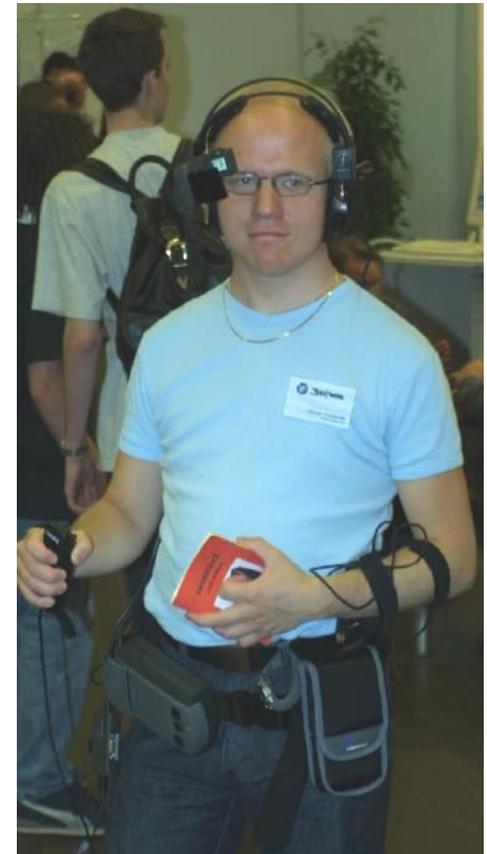
1.5.4 Bildgebende Eingabegeräte

- Scanner, digitale Kameras und mit A/D-Wandlern / Framegrabbern versehene Videorecorder können Bildinformationen direkt in den Rechner übertragen.
- [Encarnaçao, Strasser, Klein; Graphische Datenverarbeitung 1, Oldenburgverlag, München, 1996, Kapitel 2]

- Virtuelle Realität = Virtual Reality (VR)
- Vorlesung **Virtuelle Realität** (MSc) im Sommersemester

1.6.1 Head Mounted Display (HMD)

- Das HMD besteht aus **zwei Bildschirmen**, die am Kopf des Benutzers angebracht sind
- Liefern in **Abhängigkeit von Position und Orientierung** Stereobilder
- Dadurch entsteht der Eindruck einer **dreidimensionalen Umgebung**



1.6.1 Head Mounted Display (HMD)

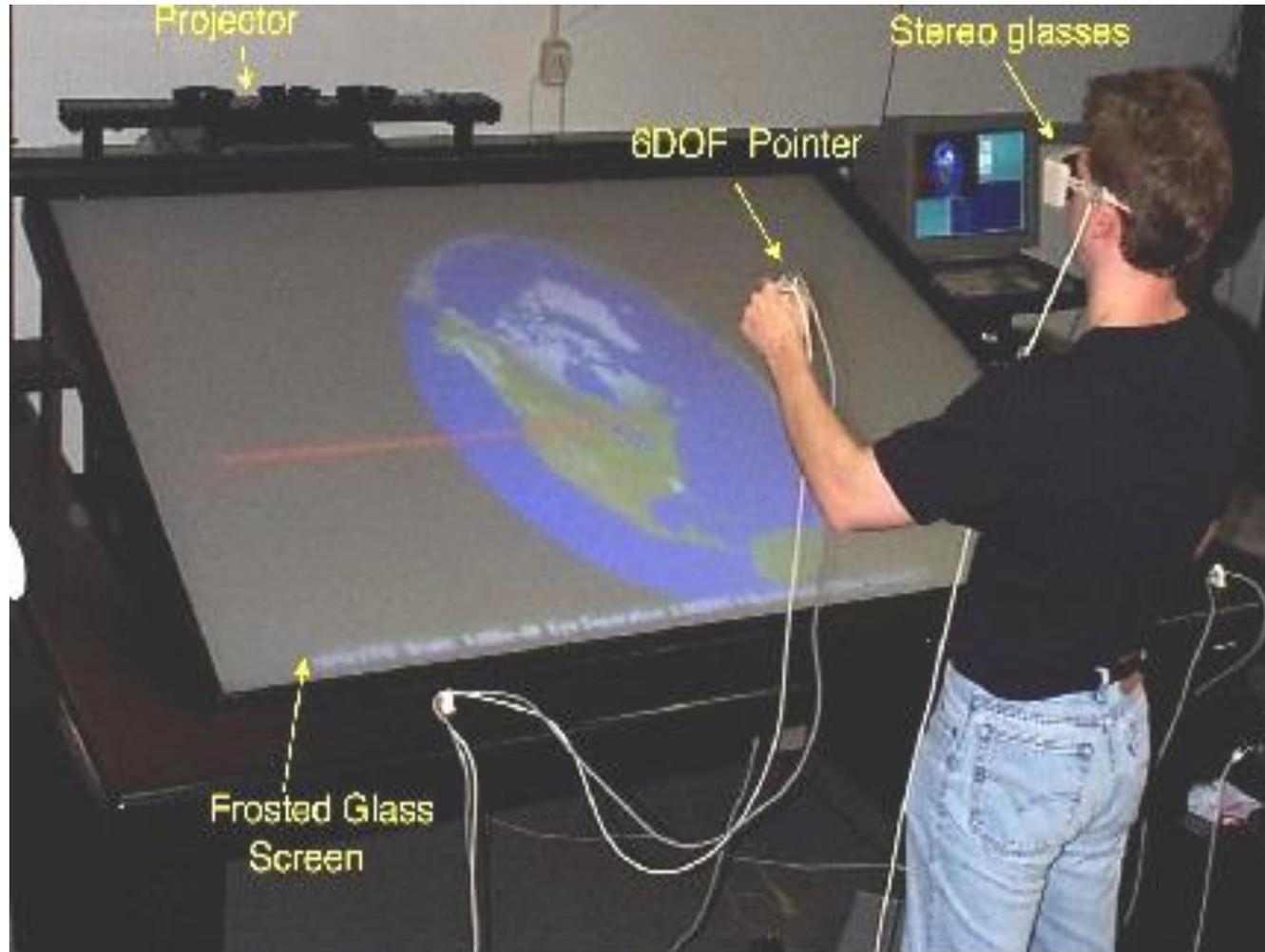
- HMDs können relativ **groß und umständlich** sein
- Werden in vielen Bereichen **nicht akzeptiert**



© Das Werk/Serpa

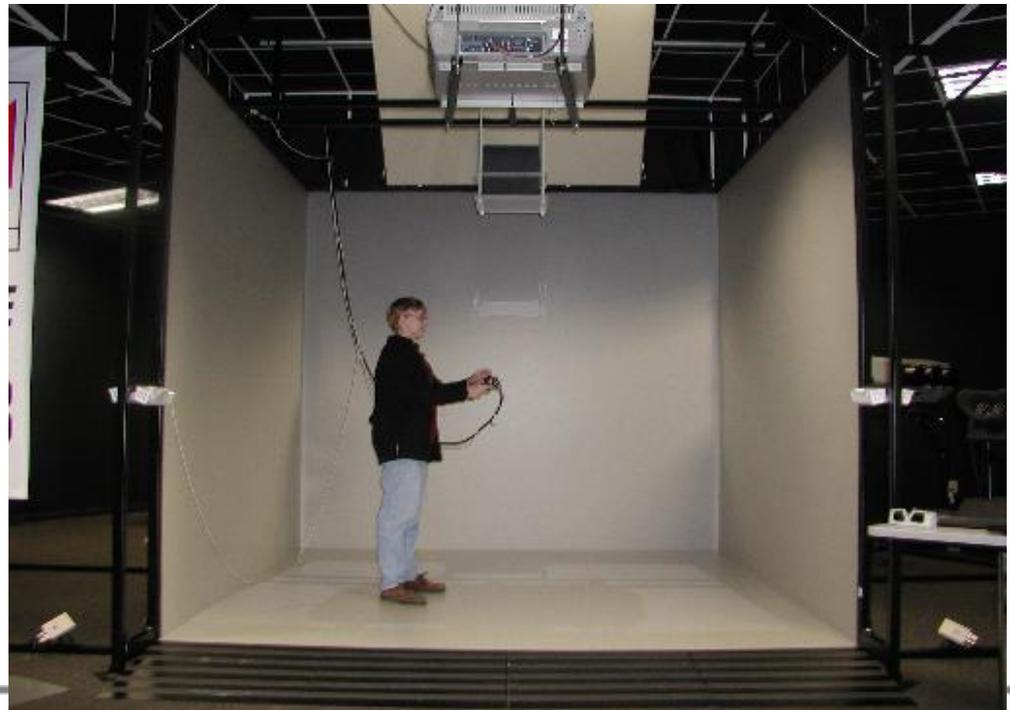
1.6.2 Responsive Workbench / VR Bench / Virtual Table

- Bei der Workbench handelt es sich um einen fest installierten Großbildschirm, der mit hoher Frequenz (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 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.



1.6.3 CAVE

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

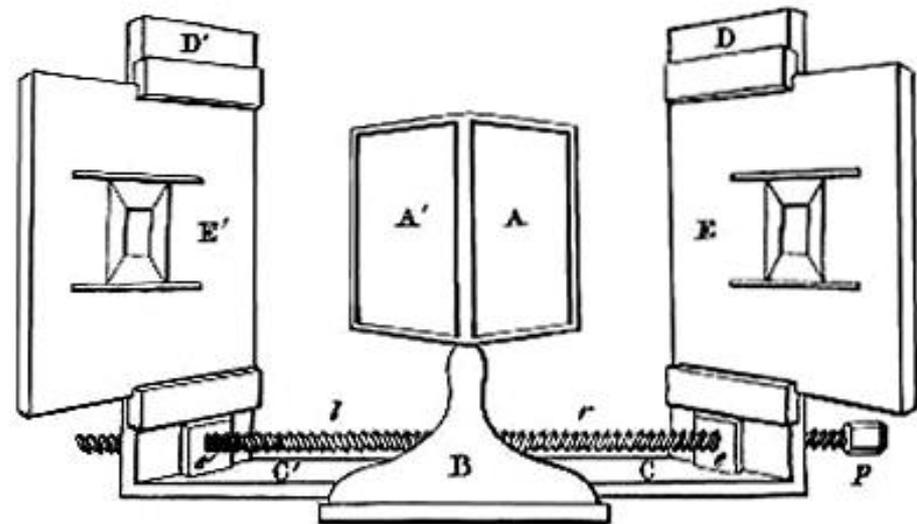


1.6.4 Haptische Geräte

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



- Es müssen **getrennte Bilder** für linkes und rechtes Auge errechnet werden
- **Disparität** der Bilder entscheidet über 3D-Eindruck
 - Augenabstand
 - Vergence - Augenrotation nach innen (Fokus)



[1838]

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

Multiplex-Verfahren

- **Farb** multiplex: Anaglyphs, Infitec
- **Polarisation**smultiplex: Senkrecht/Waagrecht, zirkulär
- **Zeit** multiplex: Shutter-Glasses
- **Richtung**smultiplex: Linsensysteme (Autostereoskopische Systeme)
- **Geometrisches** Multiplex (HMD)

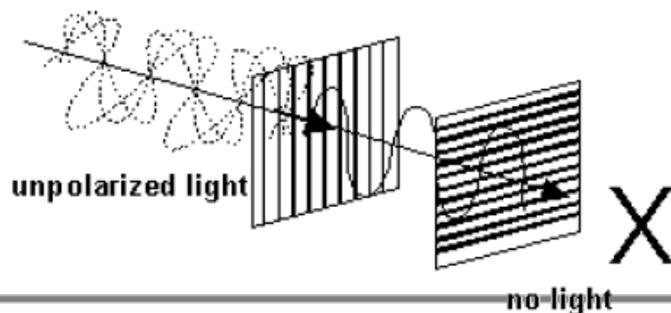
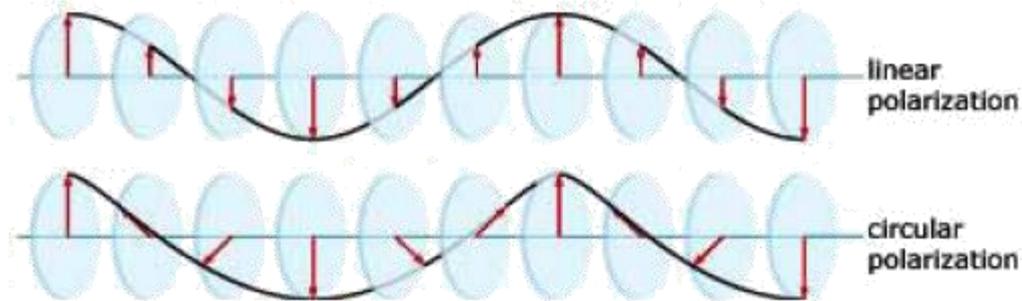
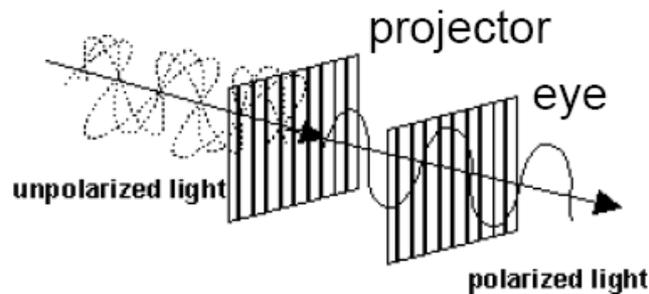
Multiplex-Verfahren

- Farbmultiplex: **Anaglyphs**, Infitec



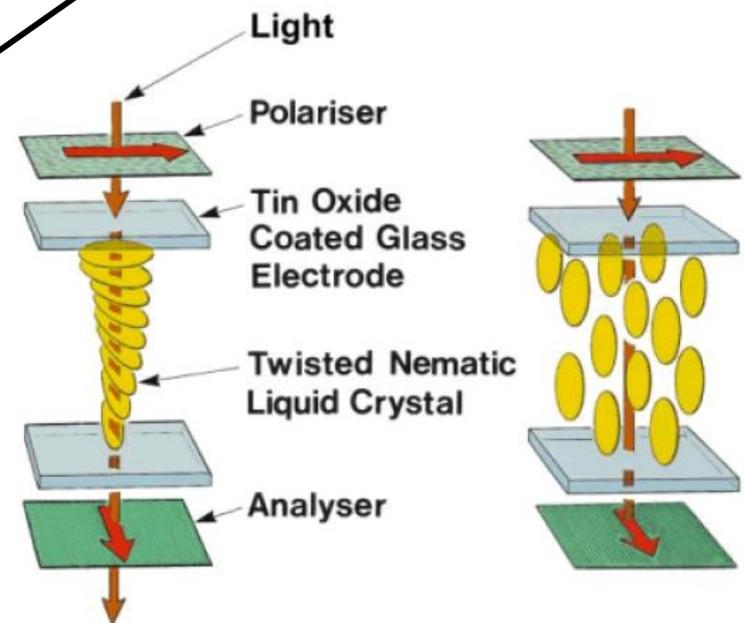
Multiplex-Verfahren

- **Polarisation**smultiplex: Senkrecht/Waagrecht, zirkulär
- Links-/Rechtssynchronisation durch Polarisationsfilter (Projektor und Brillen)



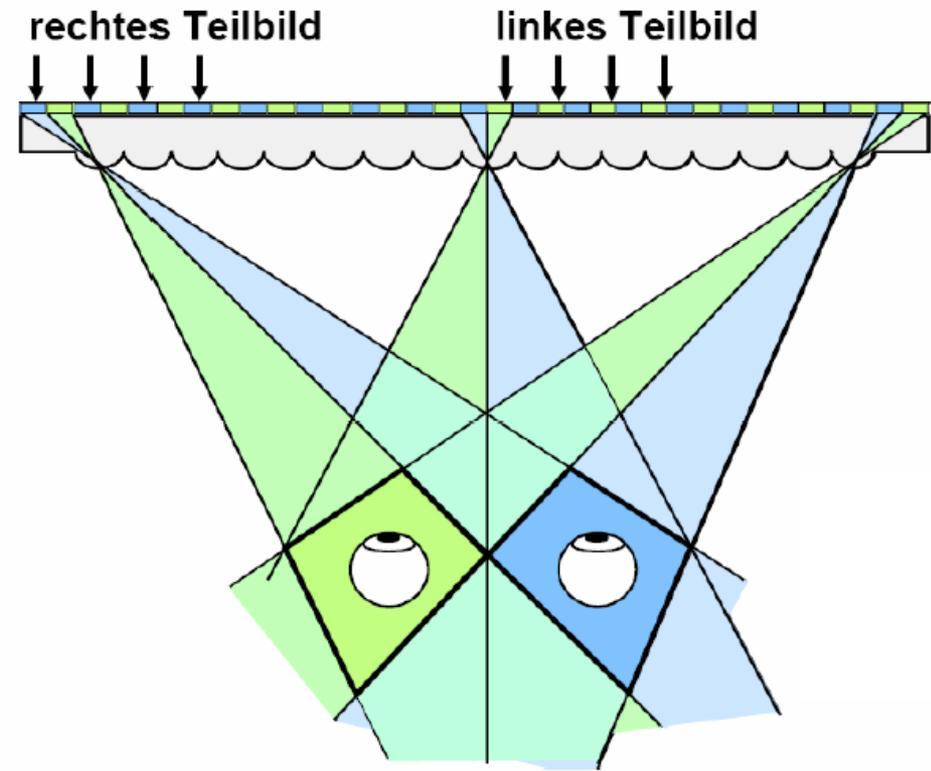
Multiplex-Verfahren

- **Zeit**multiplex: Shutter-Glasses
- Synchronisiertes An-/Ausschalten der Brillengläser



Multiplex-Verfahren

- **Richtung**smultiplex: Linsensysteme (Autostereoskopische Systeme)
- **Pixellinsen** für Links-/Rechtaufteilung
- **Halbe** Auflösung
- Links-/Rechtsteilbilder **verschränkt**



- Computergraphik, Universität Leipzig
(Prof. D. Bartz)
- Graphische Datenverarbeitung I, Universität Tübingen
(Prof. W. Straßer, Prof. Dr. A. Schilling)
- Graphische Datenverarbeitung I, TU Darmstadt
(Prof. M. Alexa)
- GPU-Programmierung, Simon-Fraser-Univ., Canada
(Prof. D. Weiskopf)
- www.hardware-info.com
- www.gpgpu.org
- www.opengl.org
- www.wikipedia.org