

Medientechnik

Andreas Butz

Ludwig-Maximilians-Universität München

Sommersemester 2008

Vorlesungskonzept: Heinrich Hußmann

1a: Eingabe- und Ausgabetechnik bei Rechnersystemen

1.1 Architektur von Ein-/Ausgabesystemen



1.2 Geräte zur Texteingabe

1.3 Zeigeegeräte

1.4 Grafikkarten

1.5 Anzeigegeräte

1.6 Drucker

Literatur:

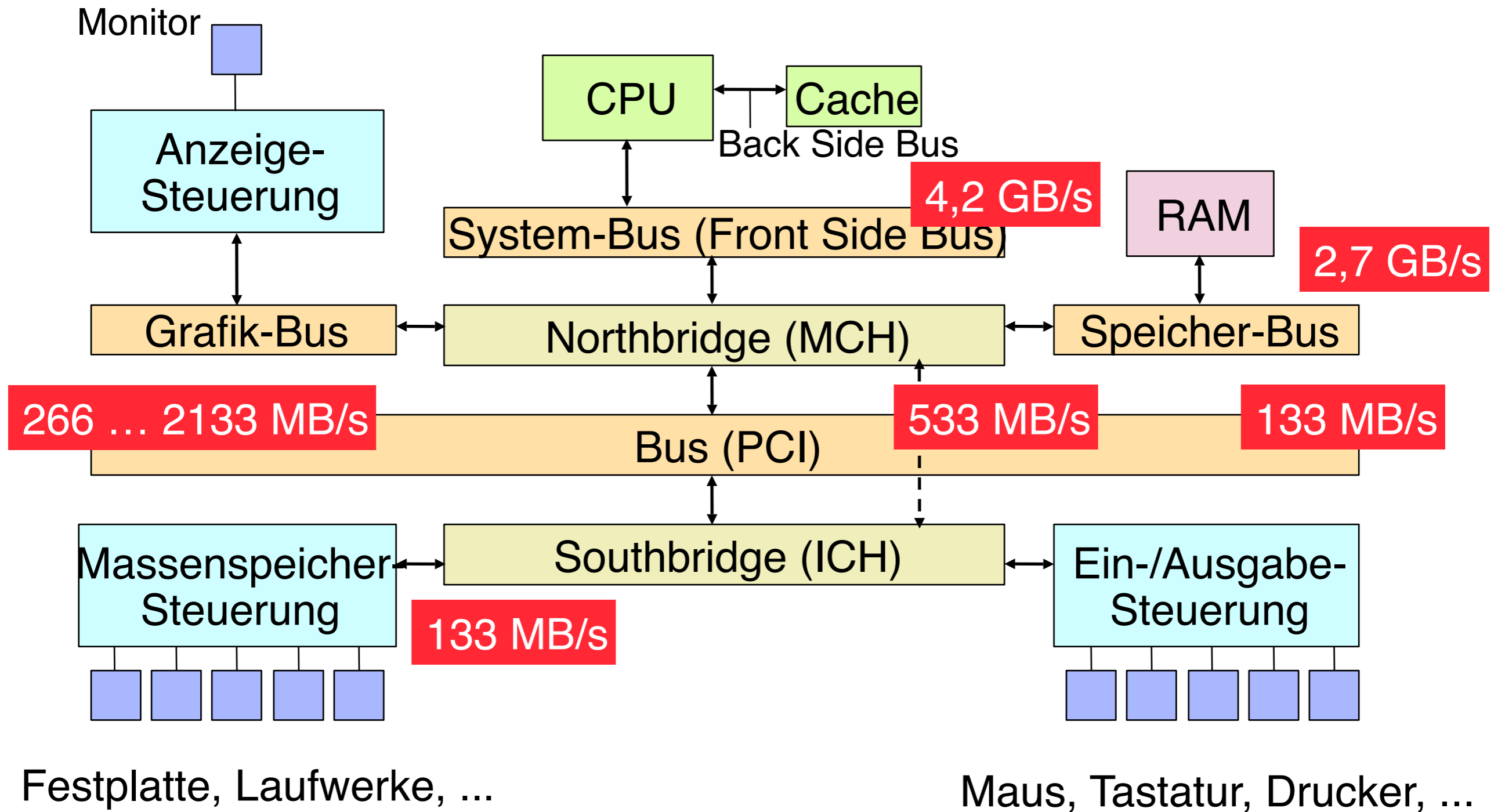
H.-P. Messmer, K. Dembowski, PC-Hardwarebuch, 7. Auflage,
Addison-Wesley 2003 (Kap. 17)

Hardware-Evolution

- Beispiel Standard-PC-Architektur
- Erster Standard-PC (IBM, 1981):
 - Prozessor Intel 8088, 4.77 MHz
 - Hauptspeicher 16 KB – 64 KB
 - Grafikkarte monochrom
 - Reine Textanzeige (25 Zeilen zu 80 Zeichen)
 - Keine Maus
- Heute (2007) gängig:
 - Prozessoren mit über 3,5 GHz Takt
 - Hauptspeicher 1 GB
 - Grafikkarten mit 16 Mio. Farben, 2D- und 3D-Grafikbeschleunigung, Grafikspeicher z.B. 256 MB
 - Maus
 - Soundsystem




PC-Architektur und Busgeschwindigkeiten



Integration von Ein-/Ausgabe im Betriebssystem

- Zwei prinzipielle Alternativen zur Überwachung und Aufnahme von Benutzereingaben:
- "Polling": Regelmässiges Abfragen der Signale des externen Geräts
 - Hohe Belastung der Rechenleistung
 - Nur sinnvoll bei schnell und laufend veränderlichen Informationen
 - z.B. Mausbewegung
- "Interrupt": Unterbrechung der aktuellen Berechnung
 - Hardware-Mechanismus zur vorrangigen Behandlung durch Betriebssystem
 - Sinnvoll vor allem bei unvorhersehbaren und vergleichsweise seltenen Eingabeereignissen
 - z.B. Mausklick, Tastatureingabe

1a: Eingabe- und Ausgabetechnik bei Rechnersystemen

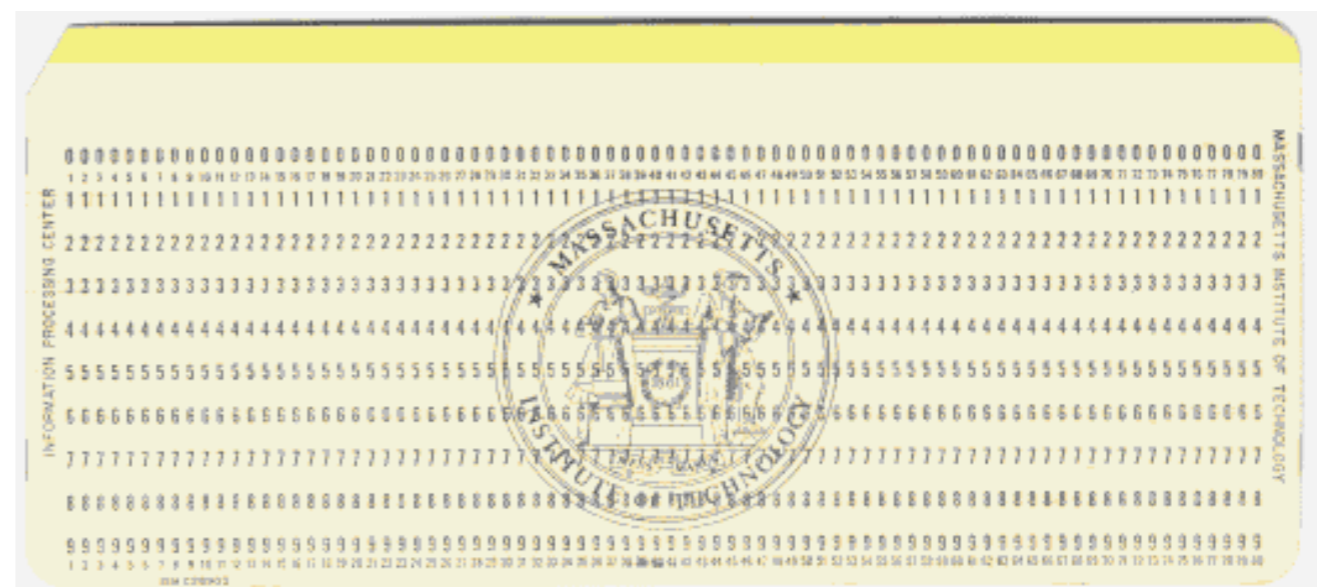
- 1.1 Architektur von Ein-/Ausgabesystemen
- 1.2 Geräte zur Texteingabe 
- 1.3 Zeigeegeräte
- 1.4 Grafikkarten
- 1.5 Anzeigegeräte
- 1.6 Drucker

Literatur:

H.-P. Messmer, K. Dembowski, PC-Hardwarebuch, 7. Auflage, Addison-Wesley 2003 (Kap. 17)

Texteingabe: Geschichte

- Eingabe von Text ist schon immer wesentlich für den Betrieb von Rechenanlagen
 - Daten und Programme sind Zeichenfolgen
 - Erster Abstraktionsschritt nach der Binäreingabe: Text
 - » Assemblerprogramme, höhere Programmiersprachen
- Dominierende Eingabegeräte bis ca. 1970:
 - Lochstreifen
 - Lochkarten
 - » 1 Karte entspricht einer Textzeile
 - » Karte (entspricht) Zeile) hat 80 Spalten
 - » Lochung in den Spalten codiert Zeichen

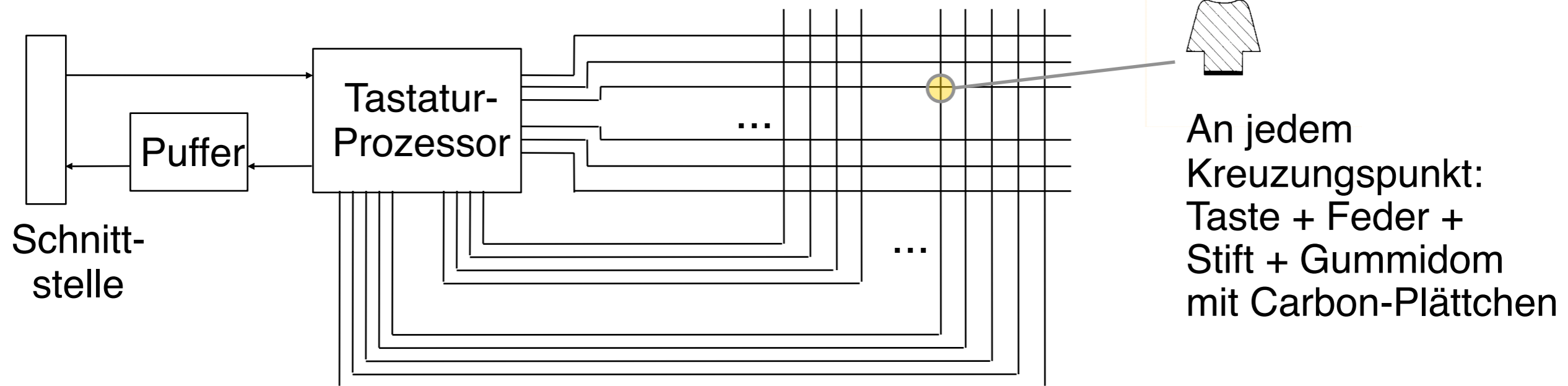


Heutige Tastatur (aufgeschraubt)

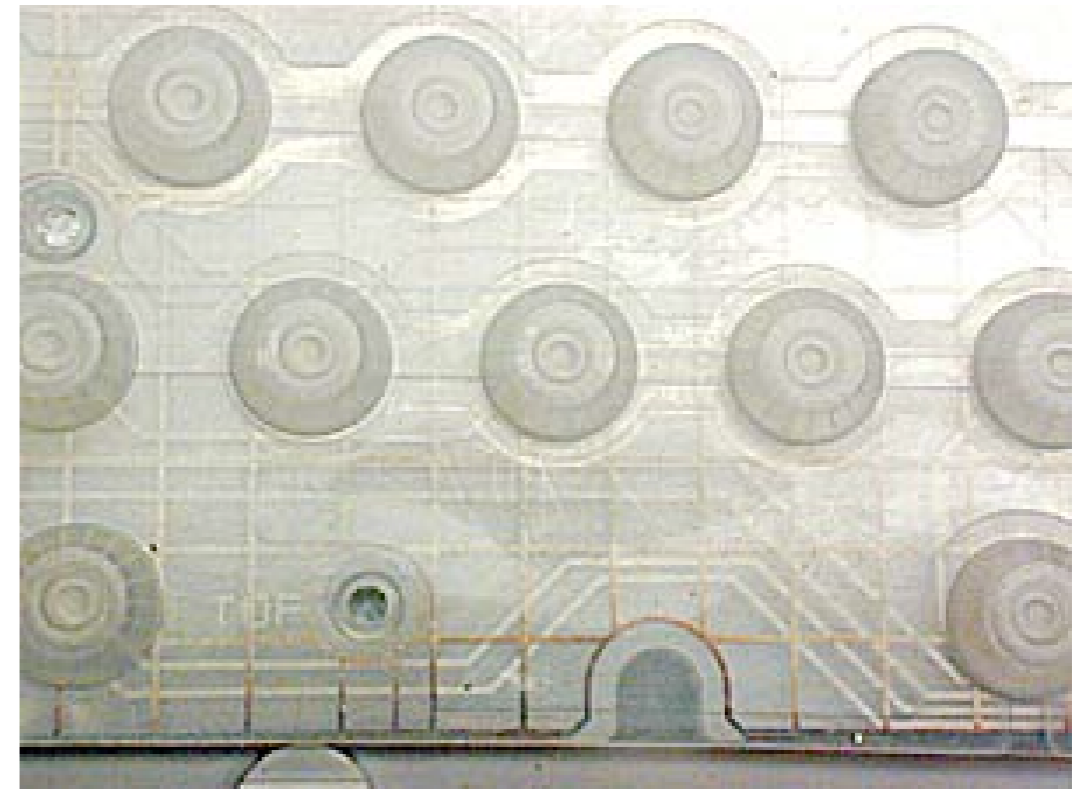
- Große Leiterplatte mit Kontaktpaaren
- Darüber Gummimatte mit kleinen Domen und leitenden Carbonplättchen
- Darüber Tasten mit Federn und Stiften, die die Dome herunterdrücken (Druckpunkt) und damit das jeweilige Kontaktpaar kurzschließen
- Bilder: www.howstuffworks.com



Tastatur: Grundsätzlicher Aufbau

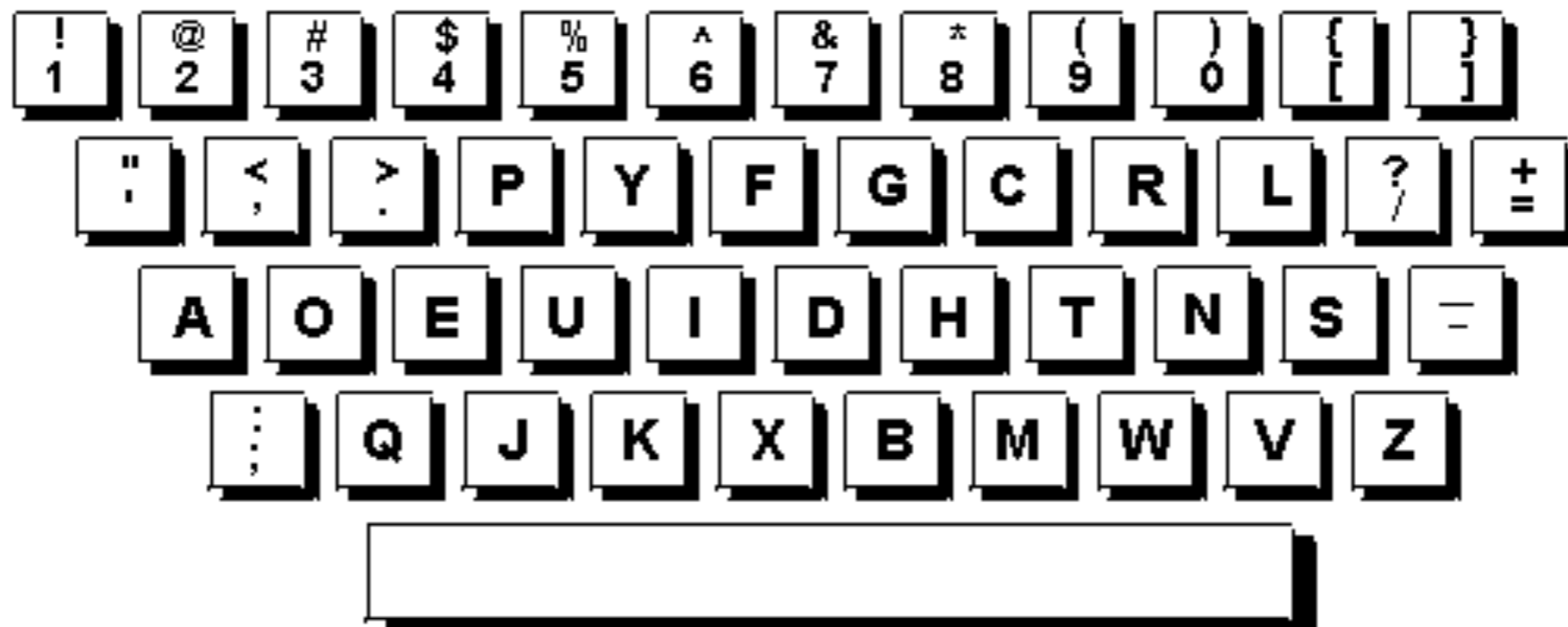


- Scan-Matrix
 - Zweidimensionales Array von Kontaktpaaren
- Tastaturprozessor:
 - testet laufend aktuellen Zustand
 - » spaltenweise Spannung anlegen und dann Widerstand zu Zeilen prüfen
 - Ermittelt Tastaturcode
 - Sendet Datenstrom zur Schnittstelle




Dvorak-Tastatur

- QWERTY Layout basiert auf mechanischer Konstruktion der Schreibmaschine
- Ergonomisches Tastatur-Layout:
 - Dr. Dvorak (Univ. of Washington, Seattle; 1894-1975)
 - Basiert auf ausführlichen wissenschaftlichen Untersuchungen
 - Angeblich dem "QWERTY"-Layout (zumindest für Englisch) überlegen
 - Alternative Treiber für verschiedene Betriebssysteme verfügbar



1a: Eingabe- und Ausgabetechnik bei Rechnersystemen

- 1.1 Architektur von Ein-/Ausgabesystemen
- 1.2 Geräte zur Texteingabe
- 1.3 Zeigegeräte 
- 1.4 Grafikkarten
- 1.5 Anzeigegeräte
- 1.6 Drucker

Literatur:

Henning Abschnitt 7.1

Manuelle Zeigegeräte

- Manuelle Zeigegeräte ermöglichen die Festlegung von Punkten und Richtungen, allgemeiner also von Vektoren.
 - Zweidimensionale Eingabe
 - Dreidimensionale Eingabe (siehe etwas später)
- Klassifikationen:
 - *direkt* oder *indirekt*: Integration mit Darstellung oder abgesetztes Gerät
(Beispiele: Touchscreen = direkt, Maus = indirekt)
 - *diskret* oder *kontinuierlich*
(Beispiele: Touchscreen-Zeigefelder = diskret, Maus = kontinuierlich)
 - *absolute* oder *relative* Positionierung (relativ zur Vorgängerposition)
(Beispiele: Touchscreen = absolut, Maus = relativ)

Maus (1)

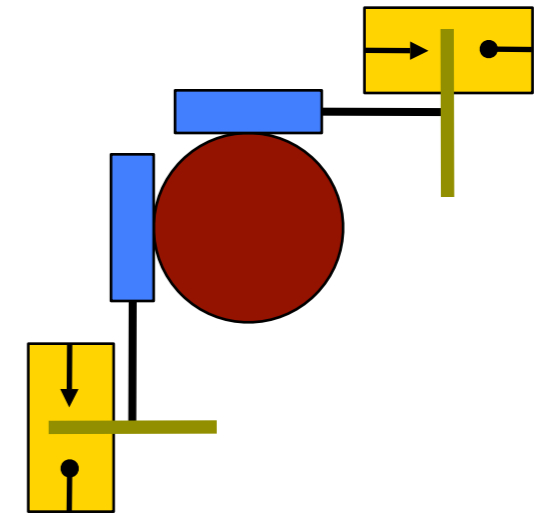
- Bekanntestes Zeigegerät
 - Entwickelt von Doug Engelbart 1964, 1973 eingesetzt im Xerox "Alto"-System
 - Auflösung typisch 100...300 Impulse/cm (bzw. 250...800 cpi, *counts per inch*)
 - Klassifikation: indirekt, kontinuierlich, relative Positionierung
- Prinzip:
 - Bewegung der Maus in x- und y-Richtung wird durch Sensoren ermittelt und von Treibersoftware ausgewertet
 - Meist Darstellung einer aktuellen Position als Mauszeiger (*cursor*) auf dem Bildschirm
 - Maus kann ihre absolute Position nicht mitteilen
 - Bewegung der Maus meist klein im Vergleich zur Auslenkung des Mauszeigers auf dem Bildschirm
 - » Geschwindigkeit des Cursors individuell einstellbar
 - » "ballistische" Steuerung: Cursor bewegt sich bei schnellen Bewegungen überproportional schnell



Maus (2)

- Mechanische Maus:

- Kugel nimmt Bewegung auf und überträgt x- und y-Komponente auf Drehwalzen
- Drehung der Walzen durch Lochscheiben und Lichtschranken in digitales Signal umgewandelt
- Je Scheibe *zwei* Lichtschranken: ermöglicht die Bestimmung der Drehrichtung

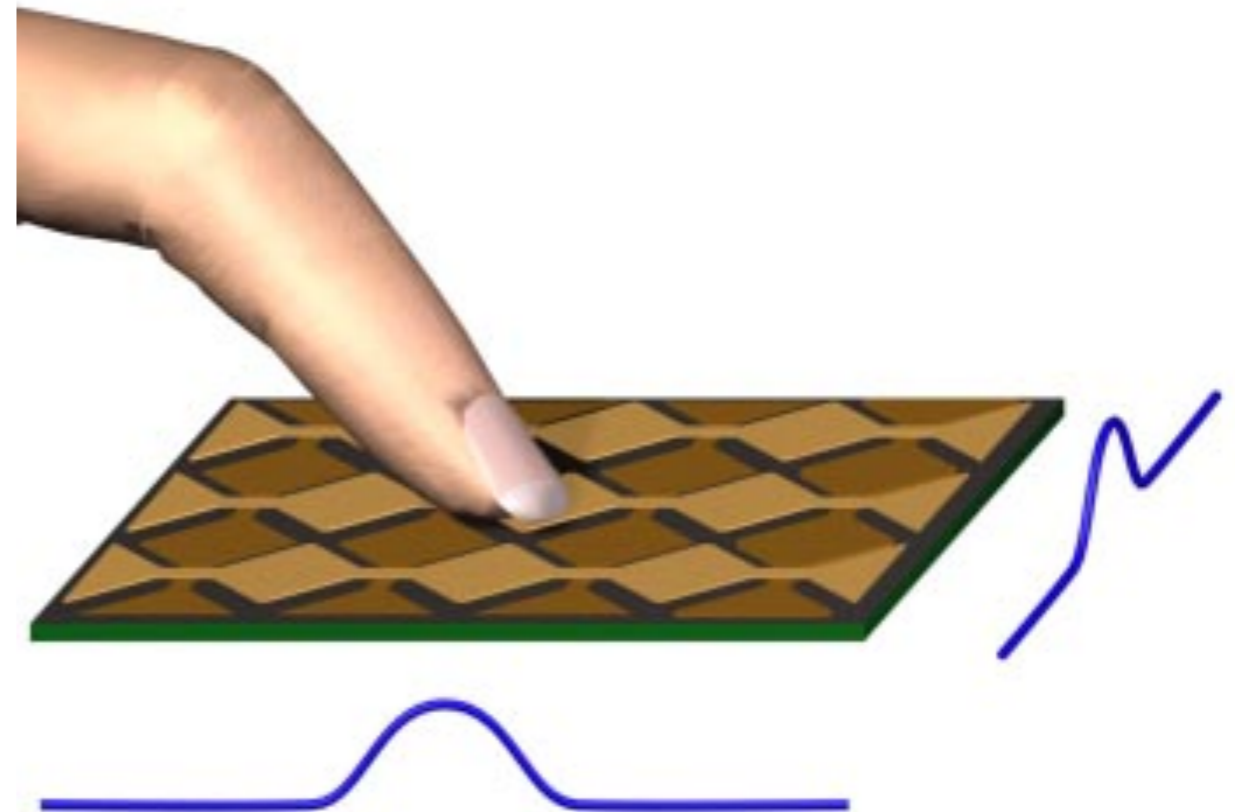


- Optische Maus:

- Kommt ohne Kugel aus – geringeres Verschmutzungsproblem
- Ältere Modelle: Spezielle Unterlage (horizontale/vertikale Striche) wird beleuchtet und Reflexlicht mit Fotosensoren ausgewertet
- Neuere Modelle: Arbeiten mit beliebiger Unterlage (Bildverarbeitungstechnologie)

Touchpad

- Rechteckige berührungsempfindliche Fläche (z.B. 6 x 8 cm)
- Bewegung des Cursors durch Fingerbewegungen beschrieben
- Anwendung sehr ähnlich zu Maus
 - Klassifikation: indirekt, kontinuierlich, relative Positionierung
- Funktionsprinzip:
 - Zweidimensionales Elektrodenraster, bildet Array von Kondensatoren
 - Annäherung eines elektrisch leitfähigen Gegenstands (bzw. des Fingers) verändert die Kapazität
 - Auflösung bis zu 1000 cpi




Quelle: www.synaptics.com

Grafiktablett



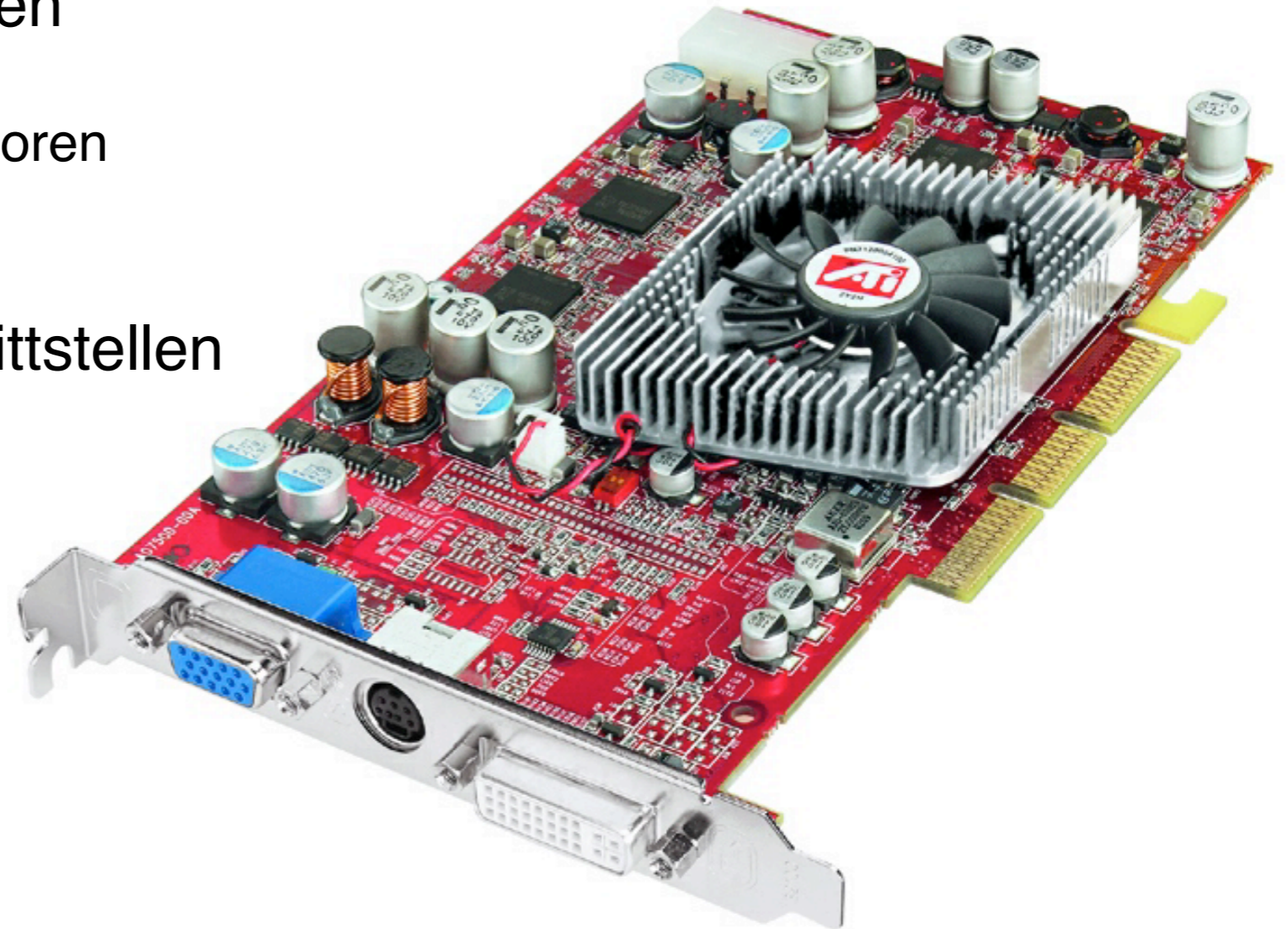
- Position eines (kabellosen) Griffels oder einer Lupe auf einer speziellen rechteckigen Arbeitsfläche wird 200- bis 500mal je Sekunde gemessen
 - Klassifikation: indirekt, kontinuierlich, *absolute* Positionierung
- Techniken zur Positionsbestimmung:
 - Elektrischer Widerstand oder Kapazität in Leitermatrix
 - Per Ultraschall (*tracking*)
 - Über Magnetfelder
- Auflösung bis zu 1000 Linien/cm (2500 cpi)
 - Hohe Präzision
 - Sichere absolute Positionierung
- Anwendung:
 - bei manuellen Zeichenvorgängen mit hoher Genauigkeitsanforderung
 - zur manuellen Digitalisierung von (Papier-)Vorlagen
- „3D-Grafiktablett“: Zusätzliches Messen von Höhe oder Druck am Stift

1a: Eingabe- und Ausgabetechnik bei Rechnersystemen

- 1.1 Architektur von Ein-/Ausgabesystemen
- 1.2 Geräte zur Texteingabe
- 1.3 Zeigegeräte
- 1.4 Grafikkarten 
- 1.5 Anzeigegeräte
- 1.6 Drucker

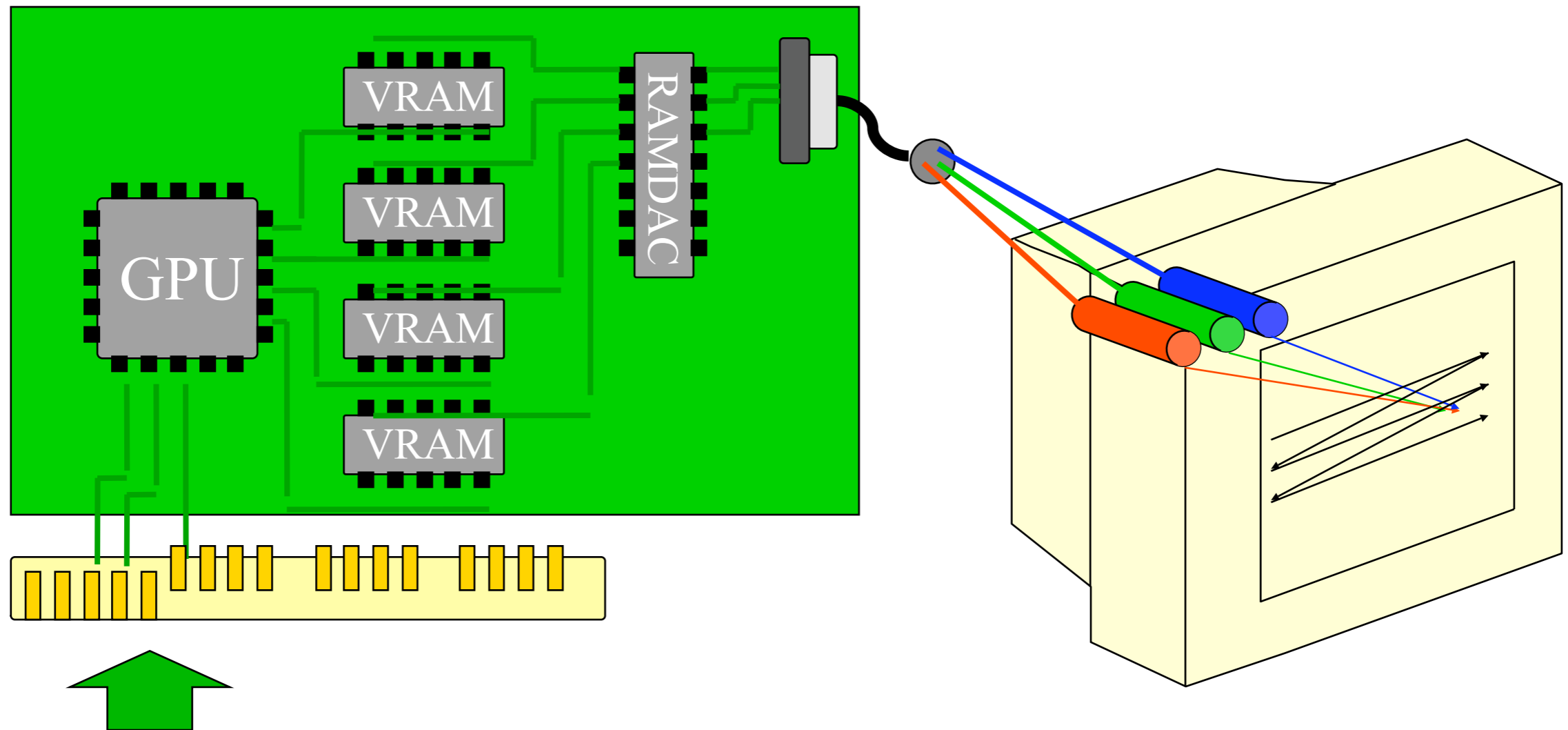
Grafikkarten

- Grafikkarte wandelt von der CPU berechnete Informationen in eine Form um, die von Monitoren darstellbar ist.
- Moderne Grafikkarten enthalten spezialisierte Prozessoren, die die CPU von aufwändigen numerischen Berechnungen entlasten.
 - Pentium 4: 55 Mio. Transistoren
 - ATI Radeon 9700 Pro: 110 Mio. Transistoren
- Low-Level Software-Schnittstellen direkt zur Grafikkarte, vor allem für 3D-Funktionen:
 - DirectX (Microsoft)
 - OpenGL (plattform-übergreifend)



Aufbau einer Grafikkarte

- RAMDAC: RAM Digital to Analog Converter
- VRAM: Video RAM (gleichzeitig beschreibbar und lesbar)
- GPU: Graphics Processor Unit



Zeichenbefehle von der CPU

Abb.: Milena Velikova

Grafik-Speicher

- Bildwiederholtspeicher (*frame buffer*):
 - Speicher, aus dem der RAMDAC das anzuzeigende Bild auslesen kann
 - Notwendige Grösse ergibt sich aus Bildgrösse (Auflösung) und Farbtiefe
 - » z.B. bei Auflösung 1024 x 768 pixel mit 256 Farben (8 Bit/pixel): 768 kB
- Texturspeicher (*texture buffer*):
 - Speichert darzustellende Texturen
 - Speicher auf Grafikkarte u.U. bei komplexen Szenen nicht ausreichend, deshalb "virtueller Texturspeicher" (Ausweichen auf normales RAM)
- Z-Puffer (*z buffer*):
 - Nur bei dreidimensionalen Darstellungen relevant
 - Speichert den aktuellen z-Achsen-Wert (Tiefe) für das "am weitesten vorne" liegende Objekt eines Pixels, um effektiv Verdeckungseffekte ausnutzen zu können

Grafikstandards: historisch

MDA (Monochrome Display Adapter):

- Schwarz/Weiss, 25(Zeilen) x 80(Spalten) Textmodus, Auflösung 720x350

CGA (Color Graphics Adapter):

- 25(Zeilen) x 80(Spalten) Textmodus,
- 320x200 Pixel mit 4 Farben, 640x200 Pixel mit 2 Farben

Hercules Graphics Card:

- eine Kombination der Lesbarkeit der MDA-Karte und der Grafikfähigkeiten der CGA-Karte mit noch besserer Auflösung

EGA (Enhanced Graphics Adapter):

- abwärtskompatibel und grössere Auflösung

VGA (Video Graphics Array):

- 640x480 Pixel mit 2,4 oder 16 Farben
- 320x200 mit 256 Farben

SVGA (Super Video Graphics Array): 800x600

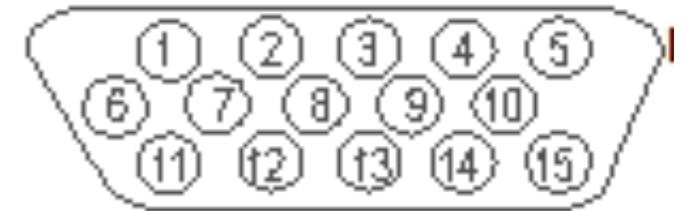
XGA (Extended Graphics Array): 1024x768

WUXGA, WXGA, HGC, MDA, CGA, EGA, VGA, QVGA, SVGA, XGA, SXGA, SXGA, WSXGA, WSXGA, UXGA ...?

Digitale und analoge Monitoranschlüsse

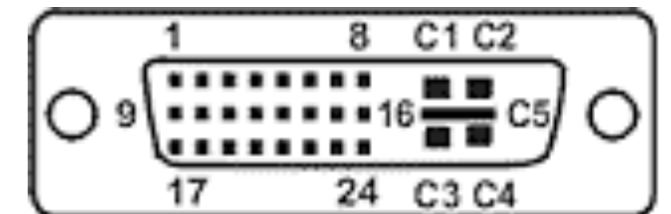
- Analoger Monitoranschluss:

- Im wesentlichen Rot-/Grün-/Blau-Komponenten + Taktsignale
- Verbreitetster Stecker-Standard: VGA 15 Pin



- Digitaler Monitoranschluss:

- Geeignet für moderne LCD-Displays und andere Digitalmonitore
- Vermeidet "Umweg" über Analogsignal
- Verbreitetster Stecker-Standard: DVI



- » DVI-D: Nur digital
- » DVI-I: Digital und analog (VGA-Signal über einfachen Steckeradapter)
- » siehe <http://www.ddwg.org/>

1a: Eingabe- und Ausgabetechnik bei Rechnersystemen

1.1 Architektur von Ein-/Ausgabesystemen

1.2 Geräte zur Texteingabe

1.3 Zeigeegeräte

1.4 Grafikkarten

1.5 Anzeigegeräte

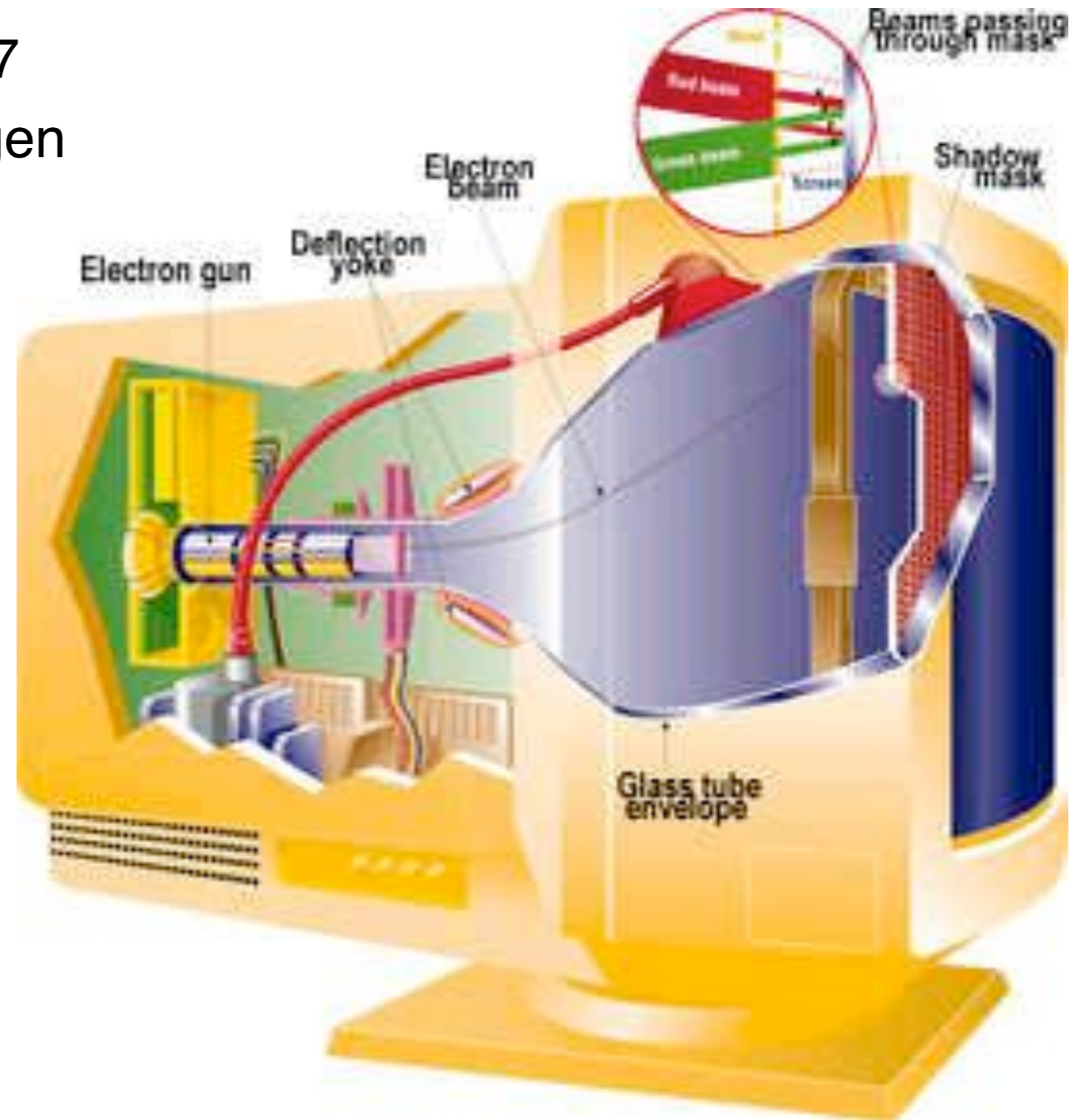


Bildschirme, Displays, Beamer

1.6 Drucker

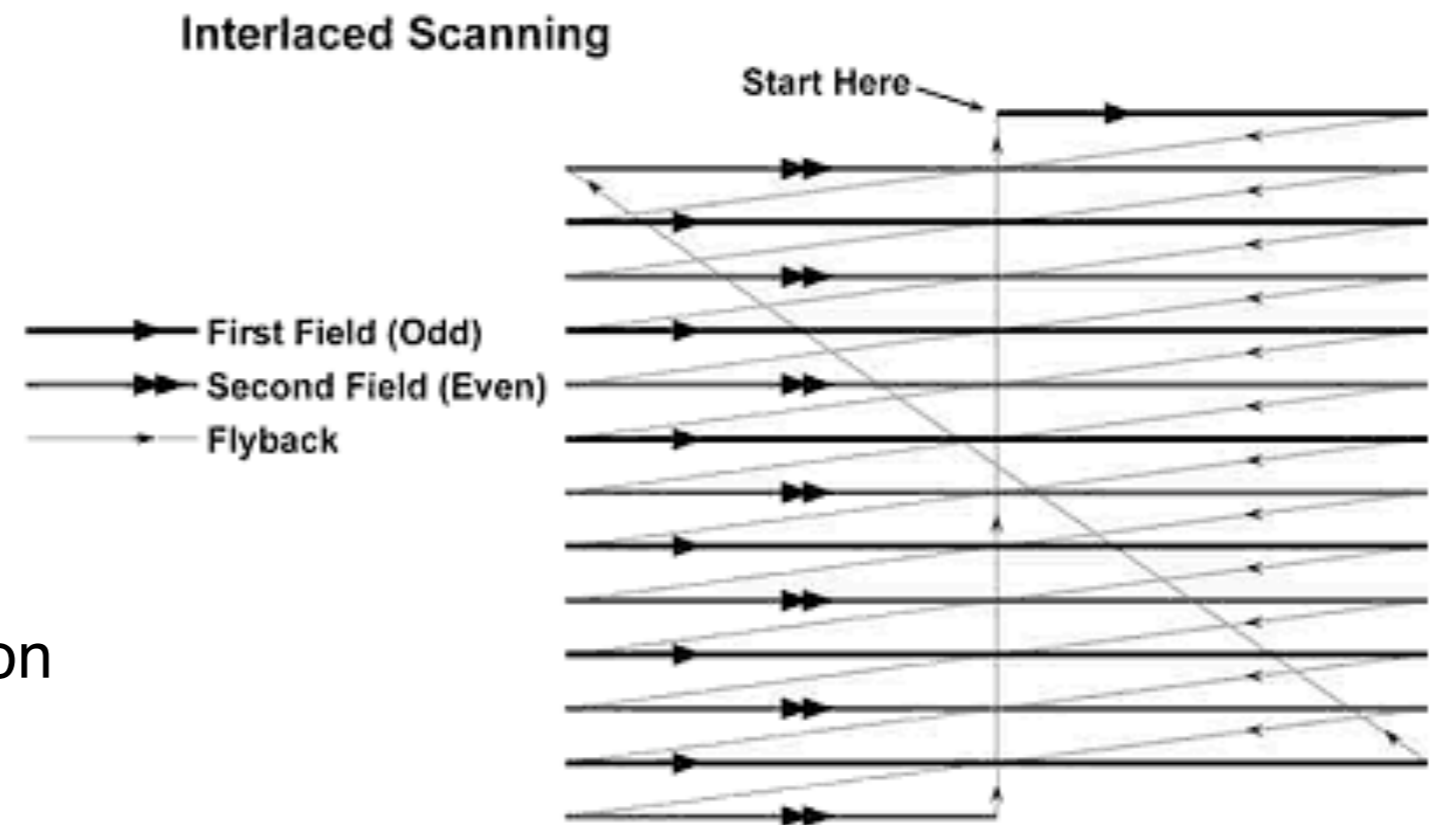
Kathodenstrahlröhre (*cathode ray tube, CRT*)

- Karl Ferdinand Braun 1897
- Technologie wie bei heutigen Standard-Fernsehgeräten
- Vakuum-Glasröhre
- Phosphorschicht
 - glüht bei Erhitzung
 - drei Zellen (RGB) je Pixel
- Elektronenstrahlkanonen
 - 3 Strahlen für RGB
- Loch- oder Schlitzmaske
 - für präzise Ausrichtung der Strahlen auf die jeweiligen Farbelemente
- Ablenkungsspulen



Bildwiederholfrequenz, Interlacing

- Bewegungseindruck:
 - von 25-30 Bildern/s (*frames per second, fps*) aufwärts
 - gut ab 50 fps
- Zum Zeitpunkt der TV-Einführung:
 - 50 fps technisch nicht realisierbar
 - Übertragung von 2 verschachtelten Halbbildern mit je 25 bzw. 30 fps:
Interlacing
 - USA: 60 Hz
Europa: 50 Hz
- Computer-Monitore:
 - normalerweise
non-interlacing
(progressive)
 - Bildwiederholfrequenzen von
75 Hz aufwärts für
flimmerfreies Bild



Liquid Crystal Display (LCD)

- Technologie ursprünglich für kleine Anzeigen (seit etwa 1980)
 - z.B. Uhren, Taschenrechner
- Technische Basis für Monitore auf LCD-Basis:
 - Flüssigkristalle
 - Polarisierungseffekte
 - Transistor-Aktivmatrix

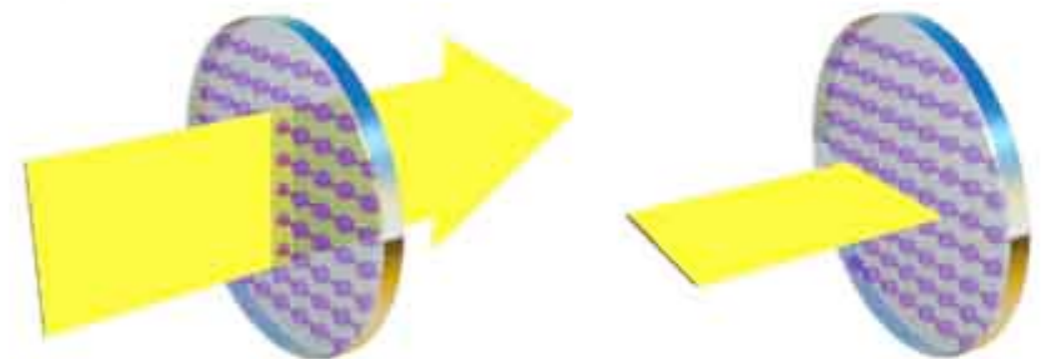
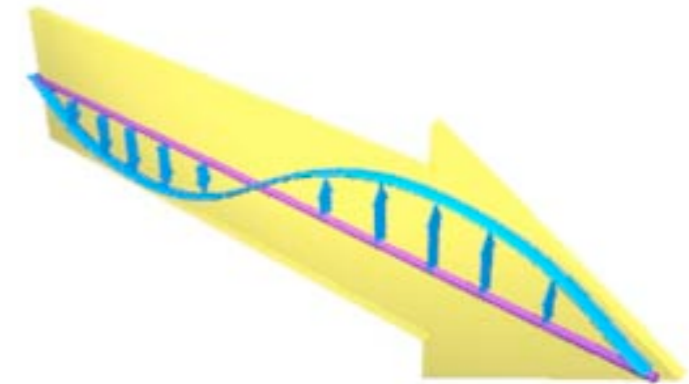
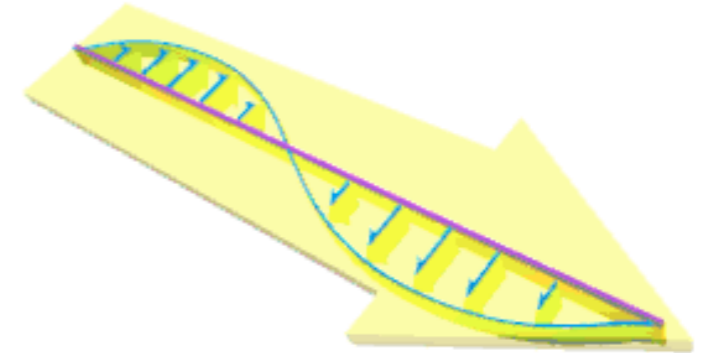


Flüssigkristalle

- Kristalle:
 - feste regelmässige Struktur, lichtbrechende Eigenschaften
- Reinitzer 1888:
 - Cholesterinbenzoat hat einen "Zwischen-Aggregatzustand":
 - » fest: Kristallcharakter
 - » "Zwischenzustand": flüssig, dennoch lichtbrechend wie ein Kristall
 - » flüssig: nicht mehr lichtbrechend
- Moderne Flüssigkristalle:
 - Im Bereich üblicher Raumtemperaturen
 - » flüssig
 - » aber mit optischen Eigenschaften wie ein Kristall
 - Beeinflussbar durch elektromagnetische Felder

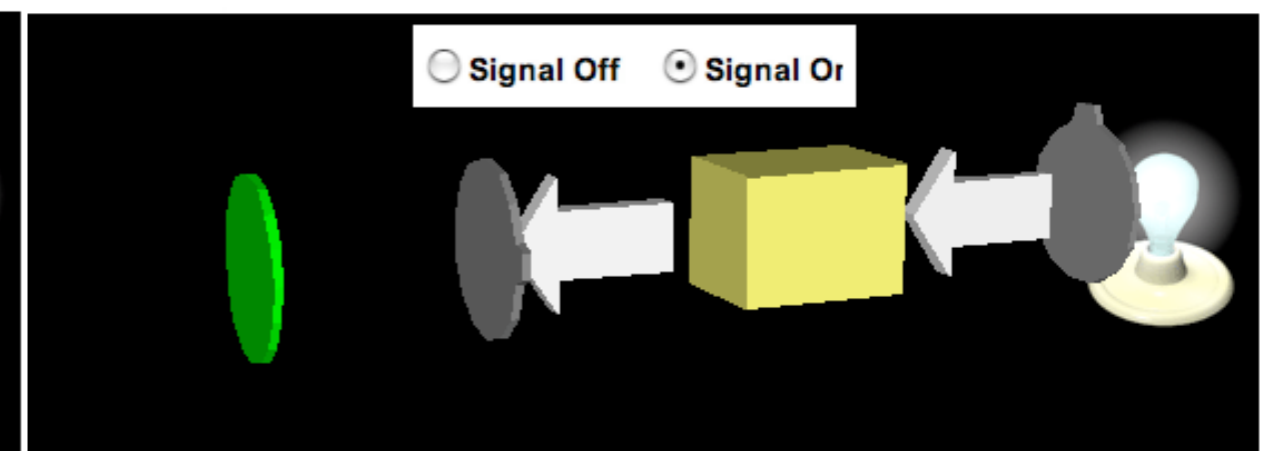
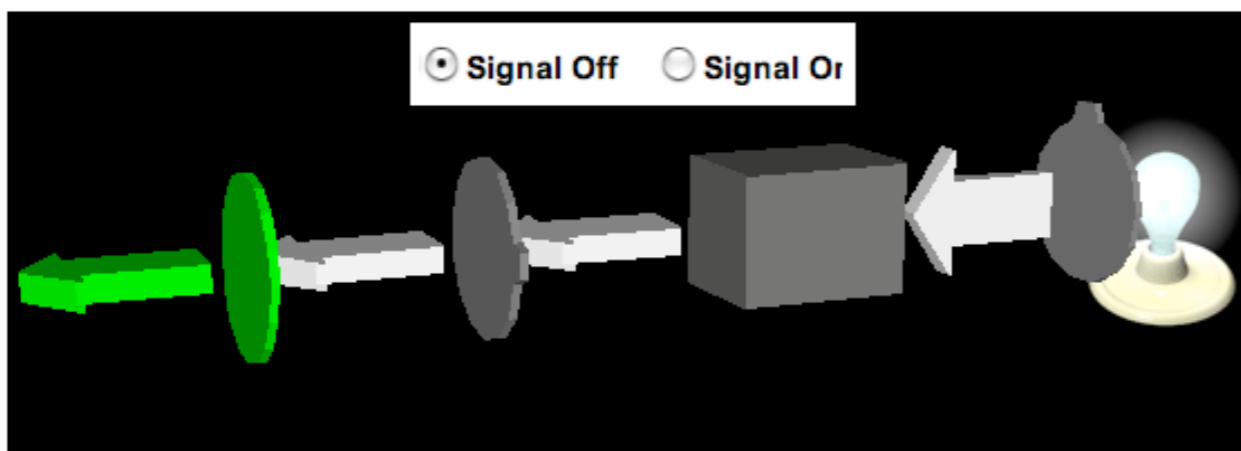
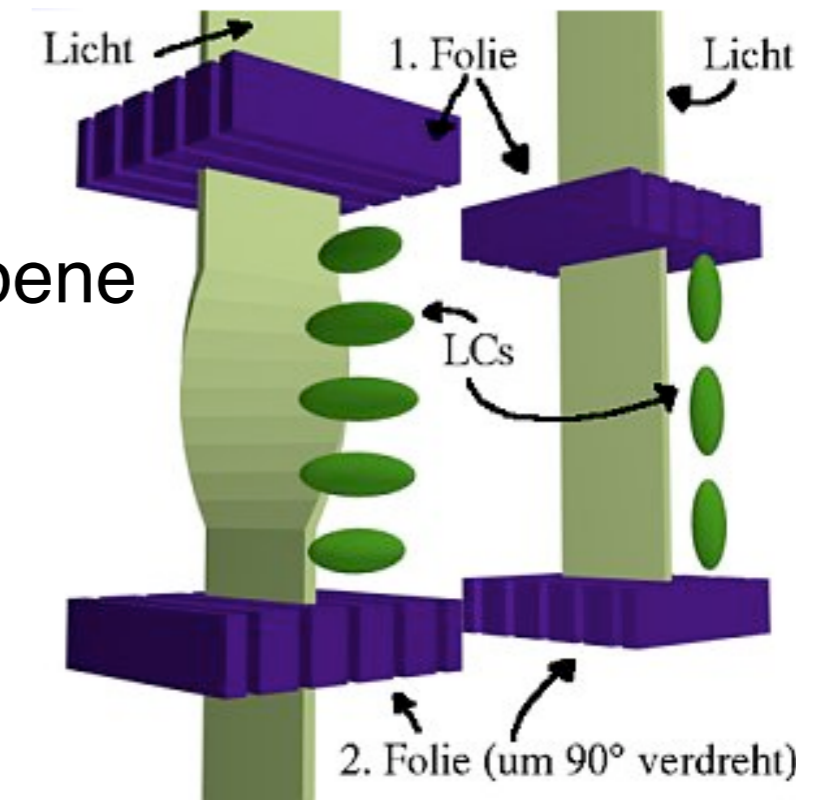
Polarisation

- Licht hat (als Welle verstanden) Schwingungsebenen
 - *Unpolarisiertes* Licht wechselt fortlaufend die Schwingungsebene
 - *Polarisiertes* Licht hat nur eine Schwingungsebene
- Polarisationsfilter
 - absorbieren alle Schwingungsebenen aus dem Licht bis auf eine
 - liefern als Ergebnis polarisiertes Licht
- Flüssigkristalle können als Polarisationsfilter wirken und vor allem die Schwingungsebene polarisierten Lichts verdrehen!
- Zum Selberlernen ganz einfach erklärt:
<http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/polarization>



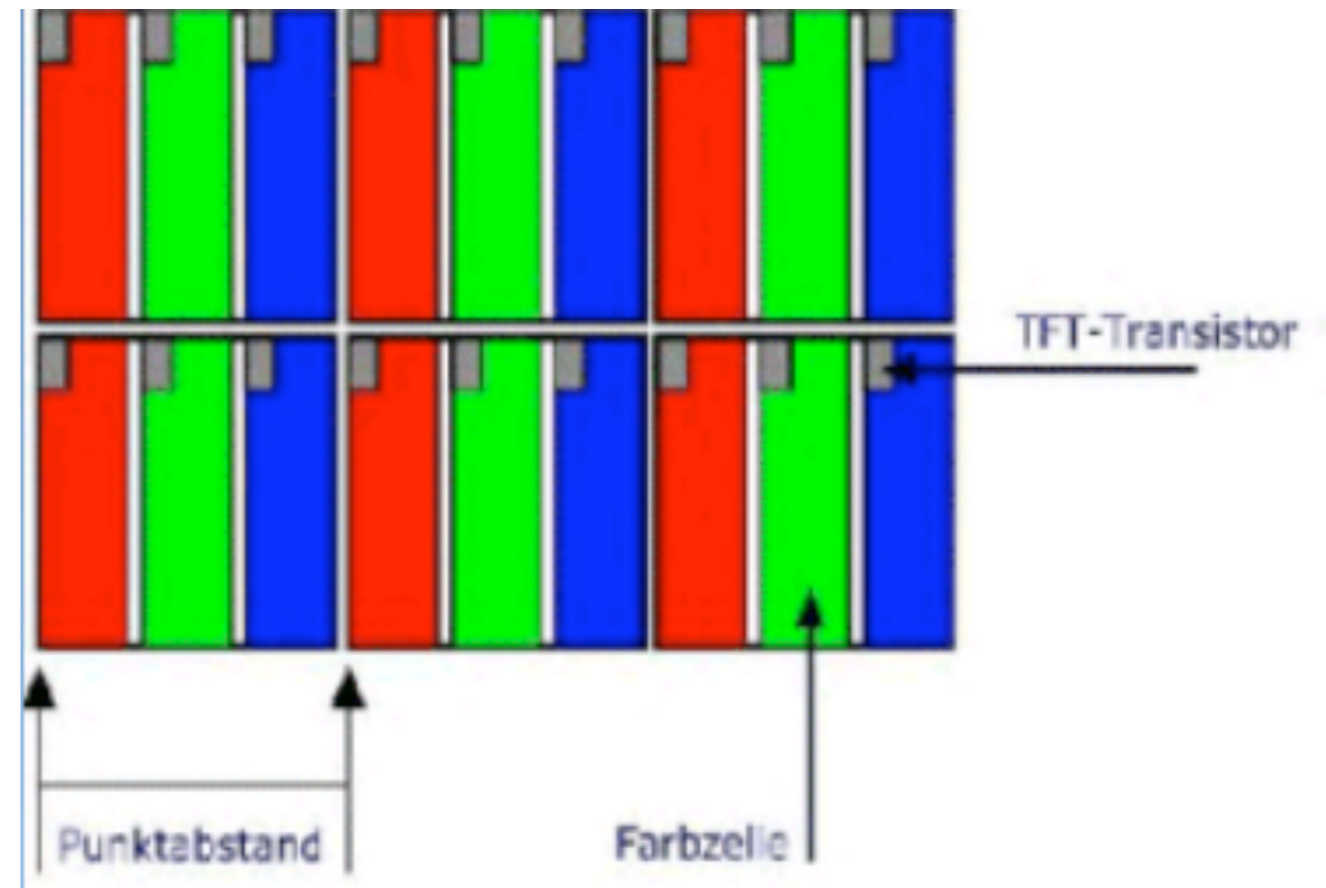
Prinzip einer Bildschirm-Zelle

- Zwei um 90° verdrehte Polarisationsfilter
 - Blockieren Lichtdurchgang
- Flüssigkristall-Füllung verdreht Schwingungsebene
 - Lichtdurchgang ermöglicht
- In elektrischem Feld richten sich Moleküle im Flüssigkristall aus
 - Verdrehungseffekt verschwindet
 - Lichtdurchgang wieder blockiert



Thin Film Transistor (TFT-) Displays

- Matrix aus vielen dünnen und durchsichtigen Transistoren
 - einzeln ansteuerbar und schaltbar
 - je Pixel 3 Transistoren (RGB)
 - 3 verschiedene Farbfilter auf Oberfläche des Monitors
- Extrem hohe Anforderungen an den Fertigungsprozess
 - für 21-Zoll-Monitor: 5,7 Millionen Transistoren

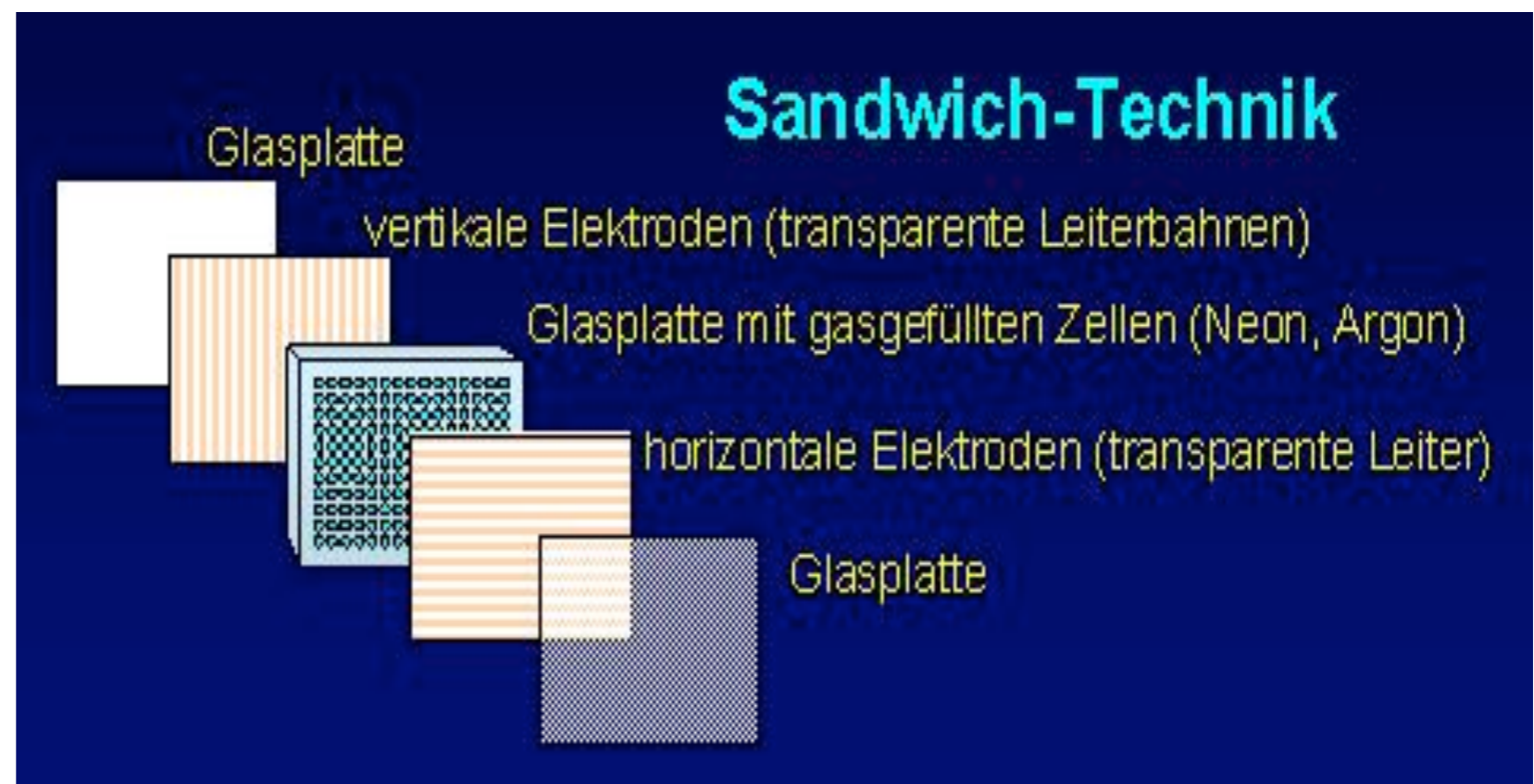


Vorteile/Nachteile CRT vs. LCD

	CRT:	LCD-TFT:
Gewicht	hoch	niedrig
Preis	niedrig	hoch
Energieverbrauch	hoch	niedrig
Elektrosmog	ja	nein
Betrachtungswinkel	gross	relativ klein
Helligkeit	sehr gut	gut
Schärfe	akzeptabel	sehr gut
Flimmern	gering	keines
Platzverbrauch	hoch	gering

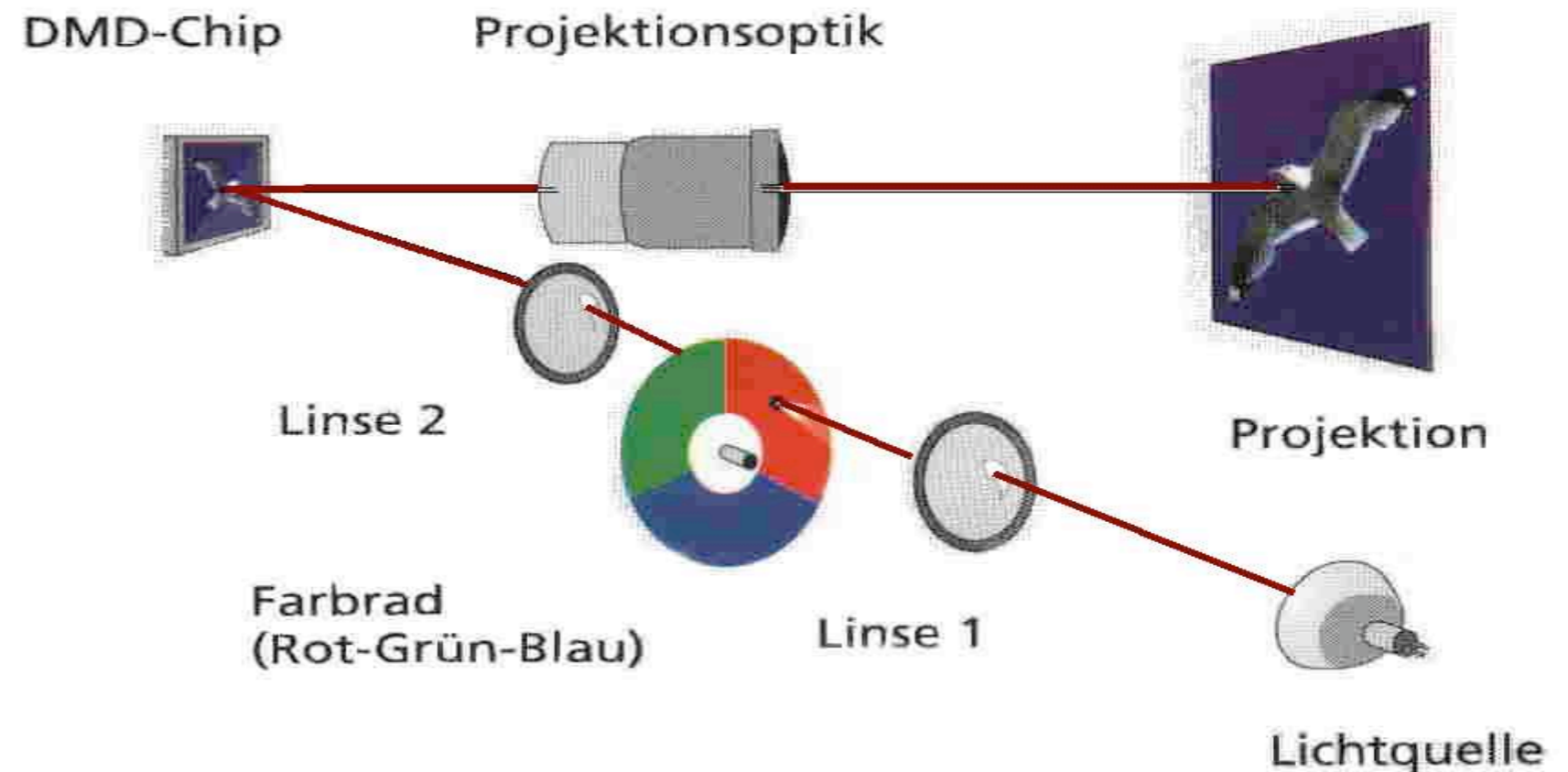
Plasma-Display

- Prinzip:
 - Glasplatte mit vielen (hunderttausenden) kleinen Löchern
 - Jedes Loch stellt eine miniaturisierte Leuchtstoffröhre dar
- Vorteile:
 - Hohe Lichtstärke, grosser Betrachtungswinkel
- Nachteile:
 - sehr hohe Leistungsaufnahme, hohes Gewicht, begrenzte Lebensdauer, hoher Preis



Digital Mirroring Device (DMD)


- Für jedes Pixel ein kippbarer Spiegel (DMD Chip)
- Bildschirm mit Lichtquelle bestrahlt
- Je nach der Spiegelstellung mehr oder weniger Licht
- Bei 1 DMD-Chip: rotierendes Rad mit RGB-Flächen => Farbe
- Varianten mit mehreren DMD-Chips (z.B. 3 für RGB)



"Beamer"

- Technologien zur Datenprojektion:
 - LCD-Display
 - » niedrige Lichtdurchlässigkeit, geringe Haltbarkeit (ca. 3 Jahre)
 - Polysilizium-LCD
 - » verbesserte Version der LCD-Technologie, höhere Lichtdurchlässigkeit
 - Digital Mirroring Device
 - » früher teure Spezialtechnologie für Grossanlagen
 - » heute auch in Kleinprojektoren (Texas Instruments DLP-Technologie)
 - Direct-Drive Image Light Amplifier (D-ILA)
 - » sehr teuer und schwer, für Grossanlagen
 - » extrem gute Bildqualität
 - Laser-Display-Technologie (LDT)
 - » drei Laserstrahlen
 - » zukunftsweisende neue Technologie

1a: Eingabe- und Ausgabetechnik bei Rechnersystemen

- 1.1 Architektur von Ein-/Ausgabesystemen
- 1.2 Geräte zur Texteingabe
- 1.3 Zeigeegeräte
- 1.4 Grafikkarten
- 1.5 Anzeigegeräte
- 1.6 Drucker 

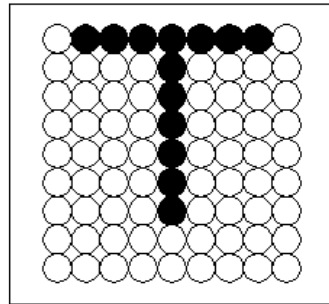
Literatur: Henning Kapitel 7.4

Drucker

- Ein **Drucker** ist ein Peripheriegerät, das digitale Zeichen und Bilder auf Papier darstellt.
- Grobe Klassifikation:
 - papiergebundene Bilderzeugung (*impact printer*)
 - » Bsp.: Nadeldrucker
 - papierunabhängige Bilderzeugung (*non-impact printer*)
 - » Bsp.: Laserdrucker
- Behandlung von Farbe:
 - Schwarz/Weiss-Drucker
 - » anhaltend hohe Verbreitung wegen Bedeutung für Texte (Büro, Bücher, ...)
 - Farbdruker
 - » grundsätzlich beim Drucken subtraktive Farbmischung, d.h. CMY(K)-Farbmodell

Ältere Druckertypen mit Farbband

- Typenraddrucker (*character wheel printer*)
 - ähnlich zu einer Schreibmaschine, Typen schlagen durch Farbband
 - Wechsel der Schriftart erfordert Austausch des Typenrades
- Nadeldrucker (*dot matrix printer*)
 - Drucknadel baut Grafik oder Zeichen pixelweise auf
 - Flexibler als Typenraddrucker; schlechte Auflösung (und damit Druckbild)
 - Meist unangenehm laut und relativ langsam (max. 1 Zeile/Sekunde)
- Zeilendrucker (*character line printer*)
 - Druckt eine ganze Zeile, z.B. mit einer pro Position verstellbaren Typenwalze
 - Klassisches Verfahren zum Massendruck in Rechenzentren (ca. 250 Zeilen/Minute), meist gelochtes Endlospapier
- Vorteil der (immer papiergebundenen) Farbbandverfahren:
 - Erstellung von Durchschlägen
 - Immer noch im Einsatz für Rechnungen, Ausgabe von PIN/TAN-Listen etc.



Thermodrucker

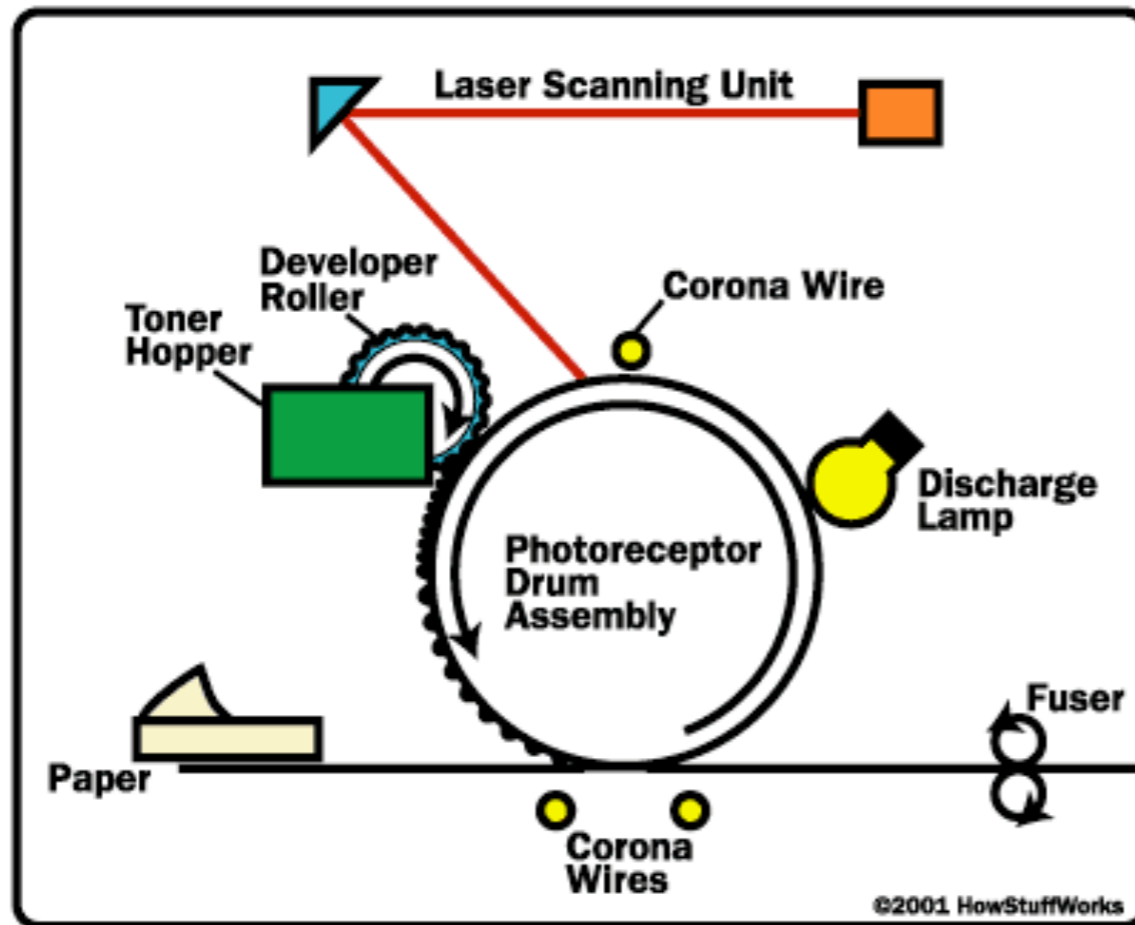
- Spezialpapier
 - verfärbt sich unter Hitzeeinwirkung
- Druckvorgang:
 - Heisse Nadel brennt das darzustellende Bild pixelweise auf das Papier
- Verbreitung:
 - nur noch gering, z.B. bei Kassensystemen, älteren Faxgeräten
- Problem:
 - Papier rollt sich stark
 - Fertige Drucke vergilben schnell

Laserdrucker: Geschichte

- 1938: Chester Carlson erfindet "Elektrofotografie", ein Trocken-Druckverfahren, das auf elektrischer Aufladung einer Trommel basiert
 - Basis für Fotokopierverfahren ("Xerox")
- 1969-71: Erster Laserdrucker (EARS) wird am Palo Alto Research Center (PARC) entwickelt
 - Gary Starkweather: Xerox-Fotokopierer, dessen Trommel mit computergesteuertem Laser beschrieben wird
- Erster kommerzieller Laserdrucker:
 - entweder Xerox 9700 (1977)
 - oder IBM 3800 (1976), bereits mehr als 100 Seiten/Minute
- 1985: Apple LaserWriter
 - Erster Drucker mit PostScript (Adobe)
 - Motorola 68000 CPU mit 12 MHz, schneller als damals aktuelle Macintosh-Desktop-Rechner
 - Auslöser des "Desktop Publishing" (DTP)
- 1992: Hewlett-Packard LaserJet 4, erster 600x600 dpi Laserdrucker



Laserdrucker: Funktionsprinzip



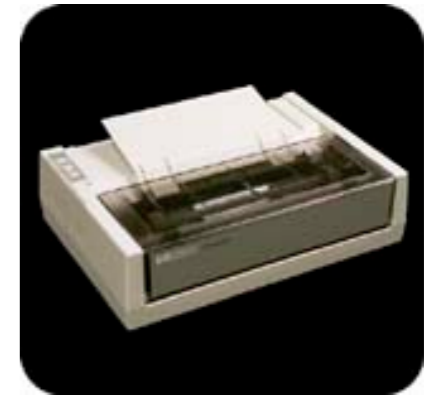
The basic components of a laser printer



- Koronadraht lädt Trommel positiv auf
- Laserstrahl entlädt Stellen der Trommel, an denen gedruckt werden soll
- Tonerstaub wird aufgetragen: positiv geladen, haftet wo belichtetet
- Abrollen der Trommel auf stark negativ geladenes Papier (*transfer corona wire*) und Entladung des Papiers (*detac corona wire*)
- Fixierung durch Erhitzung (*fuser*)

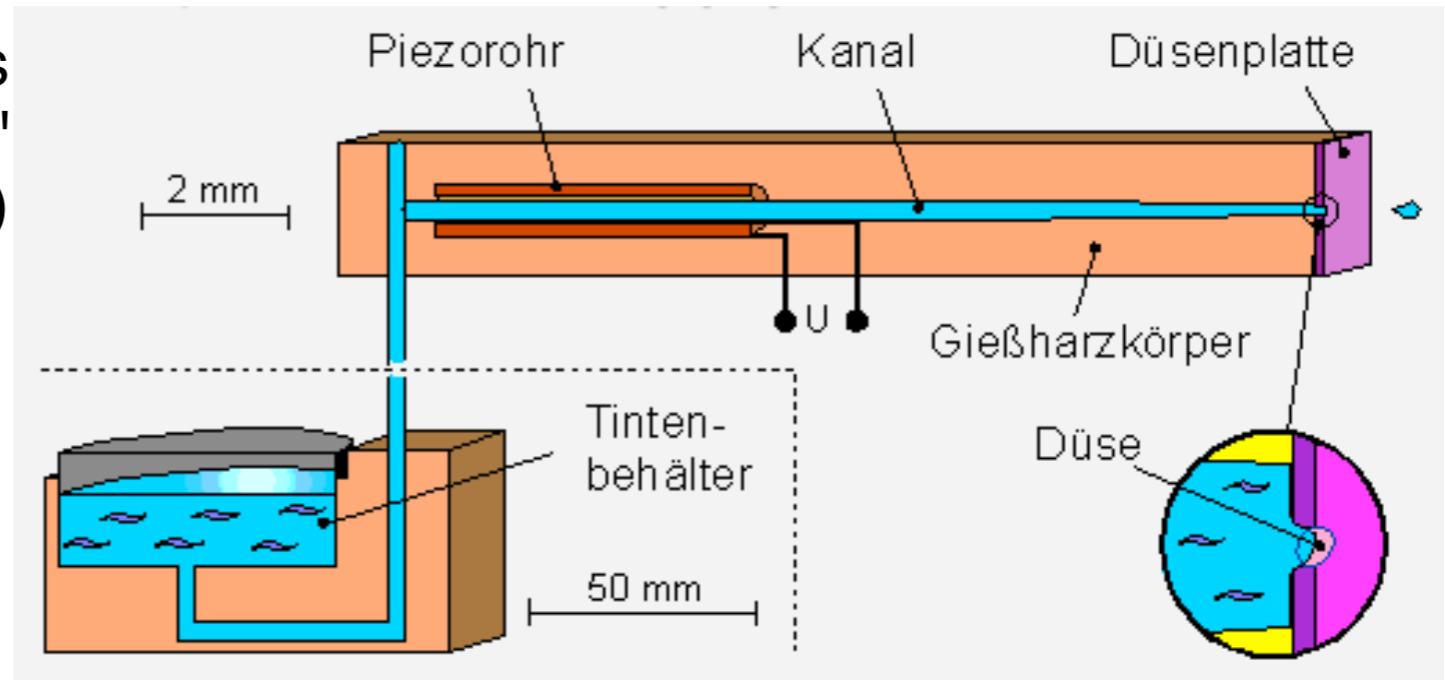
Tintendrucker

- Geschichte:
 - Seit 1978 Technologie verfügbar (Siemens, Hewlett-Packard)
 - Erster kommerzieller Erfolg Hewlett-Packard ThinkJet 1984
- Funktionsprinzip:
 - Genau gesteuerte Bildung von Tintentröpfchen
 - Übertragung auf Papier aus geringem Abstand durch Düse
 - Häufigstes technisches Problem: Verkleben der Düsen
- Tinte (heute fast immer farbig):
 - Typischerweise drei oder vier verschiedene Behälter: CMY oder CMYK
- Mechanismus zur Tröpfchen-Bildung:
 - mithilfe von Piezo-Elementen
(Piezo-Effekt: Spannungsabhängige Verbiegung bei Keramikmaterial)
 - durch Verdampfung und Rekondensation
 - (ältere Drucker auch mit elektrostatischen Effekten und Ultraschall)
- Praktischer Aspekt:
 - Tinten-Ausdrucke auf Transparentfolie gut geeignet für Durchlicht
- Detailinformationen: <http://www.inksystems.de/info-tintenstrahldrucker.php>

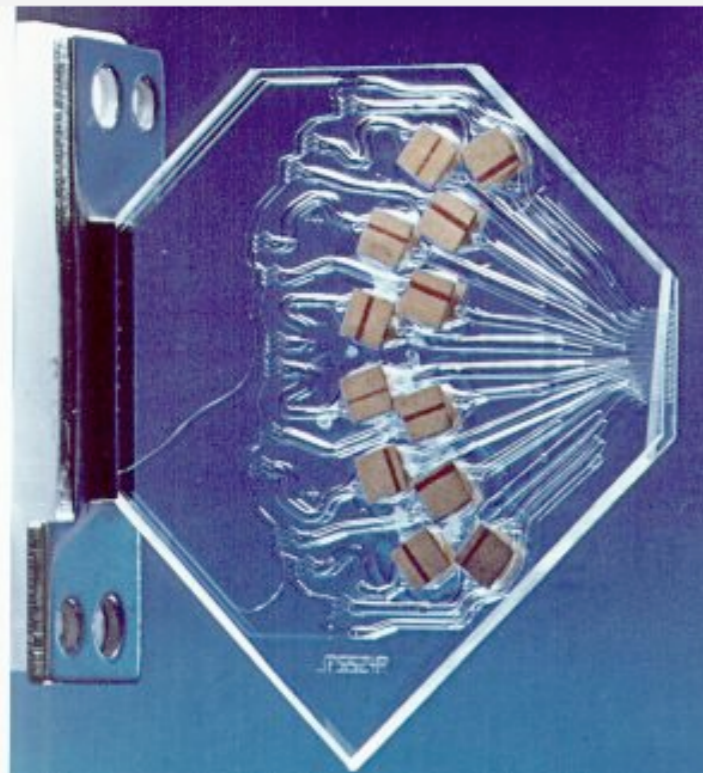


Evolution der Tintendrucktechnik

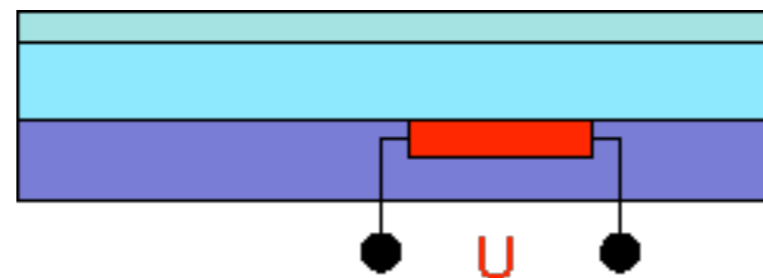
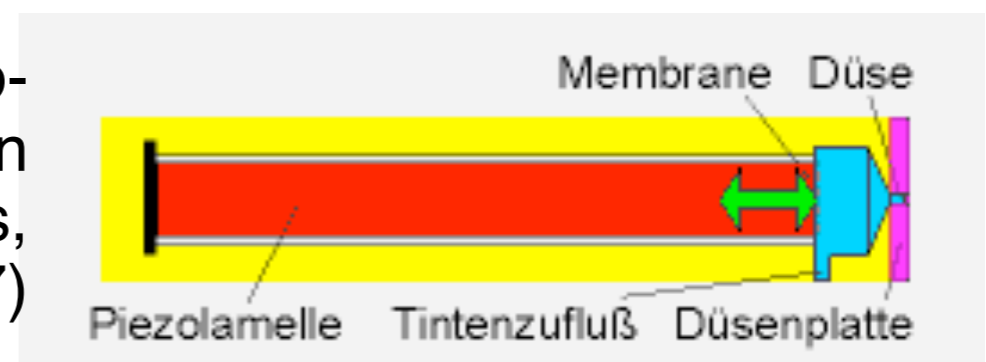
Siemens
"Drop on Demand"
(1977)



Glasgeätzter
Piezo-Druckkopf
(Epson 1985)



Piezo-
Lamellen
(Dataproducts,
1987)



BubbleJet-Zelle
als integrierte Schaltung
(Canon, Xerox)

Thermografische Drucker

- Funktionsprinzip:
 - Farbe liegt auf speziellen Folien oder Druckbändern vor
 - Mechanik positioniert Druckkopf über gewünschter Stelle des Papiers und positioniert passende Farbfolie zwischen Druckkopf und Papier
 - » meist nur eine Farbe je Durchgang über Blatt, d.h. 3 Durchgänge
 - Druckkopf erhitzt sich (je nach gewünschtem Färbungsgrad), Farbe schmilzt oder verdampft und wird auf das Papier übertragen
 - Mischfarben ergeben sich durch Zusammenschmelzen der drei Farben
- Gut geeignet für glänzende Oberflächen, erlaubt genaue Steuerung der Farbmischung
 - besonders geeignet zum Fotodruck
- Thermotransfer-Druck:
 - Farbträger in Kontakt mit dem Papier
- Thermosublimations-Druck:
 - Farbe wird durch Diffusionseffekte über kleinen Luftspalt übertragen