

## 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

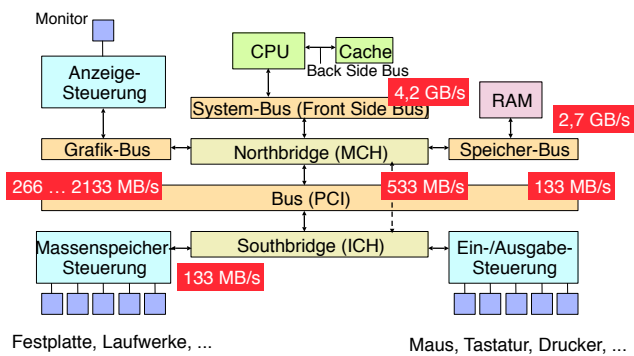
Literatur:  
H.-P. Messmer, K. Dembowski, PC-Hardwarebuch, 7. Auflage,  
Addison-Wesley 2003 (Kap. 17)

## 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

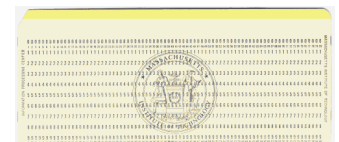
## 1a: Eingabe- und Ausgabetechnik bei Rechnersystemen

- 1.1 Architektur von Ein-/Ausgabesystemen
- 1.2 Geräte zur Texteingabe ←
- 1.3 Zeigegeräte
- 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



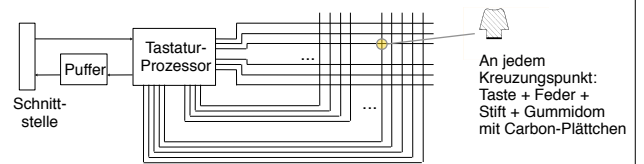
## Heutige Tastatur (aufgeschraubt)

- 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

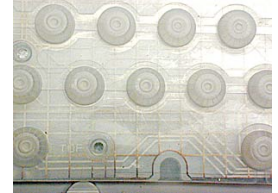


• Bilder: [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com)

## Tastatur: Grundsätzlicher Aufbau

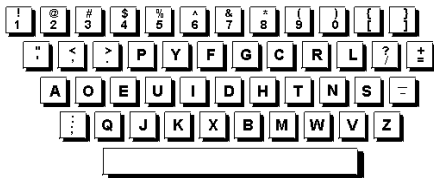


- Scan-Matrix
  - Zweidimensionales Array von Kontaktpaaren
- Tastaturprozessor:
  - testet laufend aktuellen Zustand
    - » spaltenweise Spannung anlegen und dann Widerstand zu Zeilen prüfen
  - Ermittelt Tastaturcode
  - Sendet Datenstrom zur Schnittstelle



## 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 Zeigeegeräte ←
- 1.4 Grafikkarten
- 1.5 Anzeigegeräte
- 1.6 Drucker

Literatur:  
Henning Abschnitt 7.1

## Manuelle Zeigeegeräte

- Manuelle Zeigeegeräte 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)

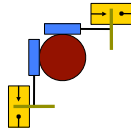
- Bekanntestes Zeigegerät
  - Entwickelt von Doug Engelbart 1964, 1973 eingesetzt im Xerox "Alto"-System
  - Auflösung typisch 100...300 Impulse/cm (bzw. 250...800 cpi, counts per inch)
  - Klassifikation: indirekt, kontinuierlich, relative Positionierung
- Prinzip:
  - Bewegung der Maus in x- und y-Richtung 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:

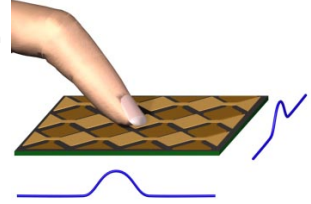
- Kommt ohne Kugel aus – geringeres Verschmutzungsproblem
- Ältere Modelle: Spezielle Unterlage (horizontale/vertikale Striche) wird beleuchtet und Reflexlicht mit Fotosensoren ausgewertet
- Neuere Modelle: Arbeiten mit beliebiger Unterlage (Bildverarbeitungstechnologie)

## 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

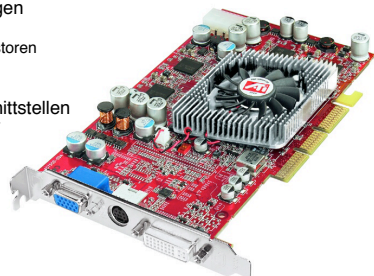


## 1a: Eingabe- und Ausgabetechnik bei Rechnersystemen

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

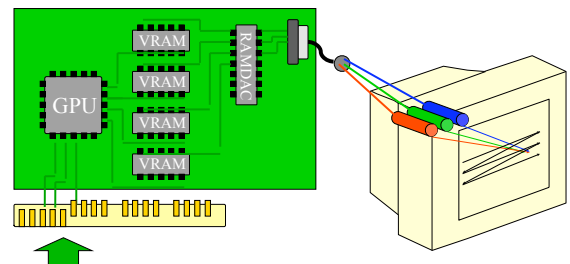
## Grafikkarten

- 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 (plattformübergreifend)



## 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

- Bildwiederholungspeicher (*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

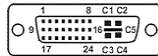
## Grafikstandards: historisch

- **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

- Analog 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/>

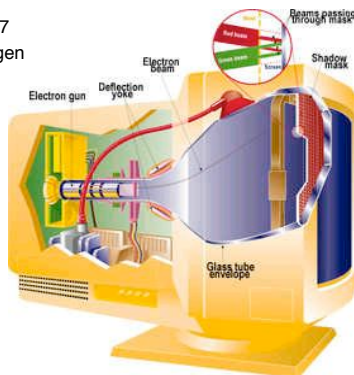


## 1a: Eingabe- und Ausgabetechnik bei Rechnersystemen

- 1.1 Architektur von Ein-/Ausgabesystemen
- 1.2 Geräte zur Texteingabe
- 1.3 Zeigergeräte
- 1.4 Grafikkarten
- 1.5 Anzeigergeräte ➔
  - Bildschirme, Displays, Beamer
- 1.6 Drucker

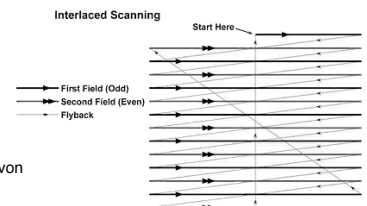
## Kathodenstrahlröhre (*cathode ray tube, CRT*)

- Karl Ferdinand Braun 1897
- Technologie wie bei heutigen Standard-Fernsehergeräten
- 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

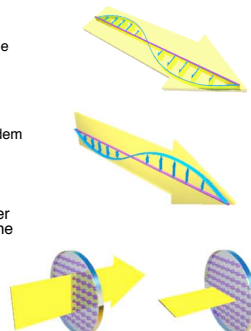


## Flüssigkristalle

- 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

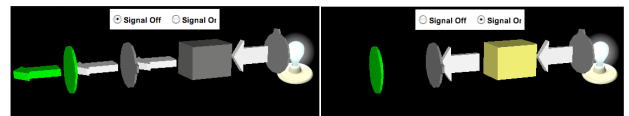
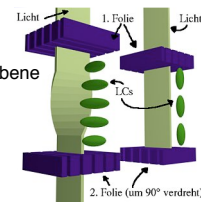
## Polarisation

- 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>



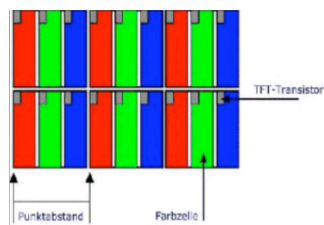
## Prinzip einer Bildschirm-Zelle

- 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
Elektromog	ja	nein
Betrachtungswinkel	gross	relativ klein
Helligkeit	sehr gut	gut
Schärfe	akzeptabel	sehr gut
Flimmern	gering	keines
Platzverbrauch	hoch	gering

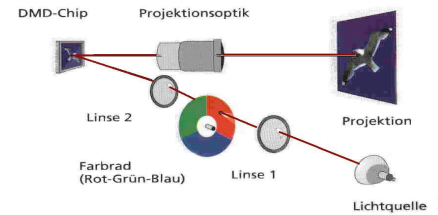
## Plasma-Display

- 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 Zeigegeräte
- 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, ...)
  - Farbdrucker
    - » 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

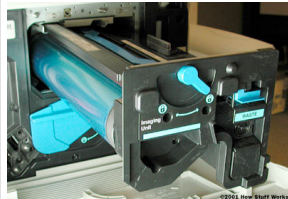
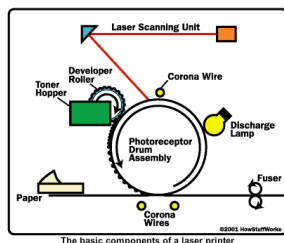
- Spezialpapier
  - verfärbt sich unter Hitzeeinwirkung
- Druckvorgang:
  - Heisse Nadel brennt das darzustellende Bild pixelweise auf das Papier
- Verbreitung:
  - nur noch gering, z.B. bei Kassensystemen, älteren Faxgeräten
- Problem:
  - Papier rollt sich stark
  - Fertige Drucke vergilben schnell

## 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



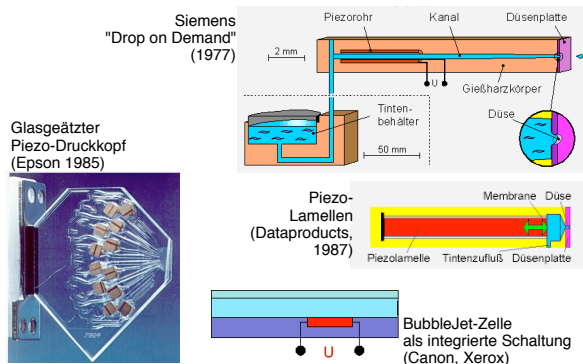
- Koronadraht lädt Trommel positiv auf
- Laserstrahl entlädt Stellen der Trommel, an denen gedruckt werden soll
- Tonerstaub wird aufgetragen: positiv geladen, haftet wo belichtetet
- Abrollen der Trommel auf stark negativ geladenes Papier (*transfer corona wire*) und Entladung des Papiers (*detac corona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



## Evolution der Tintendrucktechnik



## 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:
  - Farbräger in Kontakt mit dem Papier
- Thermosublimations-Druck:
  - Farbe wird durch Diffusionseffekte über kleinen Luftspalt übertragen