



Computergraphik I

Einführung

G. Zachmann
Clausthal University, Germany
zach@in.tu-clausthal.de



Ziel der Vorlesung

- Praxis: Sei in der Lage, ziemlich komplexe interaktive 3D Graphikprogramme zu schreiben (in OpenGL)
- Theorie: Verstehe den mathematischen Hintergrund und die grundlegenden Algorithmen der modernen 3D Graphiksysteme
- Diese Vorlesung behandelt **nicht** Graphikprogramme wie Maya, Alias, AutoCAD, Blender, 3DStudio Max, ...

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 2

Informatik-Disziplinen "mit Bildern"

- Computergraphik, Maschinelles Sehen und Bildverarbeitung stehen in einem engen Zusammenhang

The diagram consists of two blue circles. The left circle is labeled 'Szenen-beschreibung' (Scene description). The right circle is labeled 'Bild' (Image). A horizontal arrow points from 'Szenen-beschreibung' to 'Bild' and is labeled 'Computergraphik'. A horizontal arrow points from 'Bild' back to 'Szenen-beschreibung' and is labeled 'Maschinelles Sehen (Computer Vision)'. A curved arrow loops from the top of the 'Bild' circle back to itself and is labeled 'Bild-verarbeitung' (Image processing).

- Trend: Computergraphik und Computer Vision wachsen immer stärker zusammen ("ProCams")

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 3

Was ist Computergraphik?

Modelling
(Beschreibung der 3D
Geometrie und Szene)

Rendering
(Erzeugung der Bilder,
inkl. Shading, Lighting, Materials)

➔

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 4

Beispiel einer Szenen-Beschreibung

```

BACKGROUND: ( 0.10, 0.10, 0.30)
AMBIENT: ( 0.40, 0.40, 0.40)

SPHERE_LIGHT: ( 2.00, 2.00, 2.00) 0.25 (1.00, 1.00, 1.00)
SPHERE_LIGHT: ( 2.00, 2.00, -2.00) 0.25 (1.00, 1.00, 1.00)
SPHERE_LIGHT: (-2.00, 2.00, -2.00) 0.25 (1.00, 1.00, 1.00)
SPHERE_LIGHT: (-2.00, 2.00, 2.00) 0.25 (1.00, 1.00, 1.00)

SPHERE_LIGHT: ( 8.50, 0.00, 2.00) 0.50 (1.30, 1.30, 1.30)
SPHERE_LIGHT: ( 8.50, 0.00, -2.00) 0.50 (1.30, 1.30, 1.30)

#Globe
#
# Position Radius Diffuse Color Specular Color Phong Specular Coeff.
SPHERE: ( 7.00, -2.00, 0.00) 1.00 (0.95, 0.95, 0.95) (0.95, 0.95, 0.95) 1.00 0.10 MATTE
TEXTURE: 270 135 ./textures/globe.ppm

#Alcove side walls
RECT: Z 3.00 NEG ( 7.00, -5.00) (10.00, 2.00) (0.30, 0.40, 0.70) (0.95, 0.95, 0.95) 20.00 0.40 MATTE
RECT: Z -3.00 POS ( 7.00, -5.00) (10.00, 2.00) (0.30, 0.40, 0.70) (0.95, 0.95, 0.95) 20.00 0.01 MATTE

#Alcove front wall
RECT: X 10.00 NEG (-5.00, -3.00) ( 3.00, 3.00) (0.10, 0.30, 0.70)
(0.95, 0.95, 0.95) 20.00 0.01 MATTE
MAPPING: (10.00, -5.00, 0.00) (10.00, -5.00, 5.12) (10.00, -0.24, 0.00)
TEXTURE: 256 238 ./textures/rockface.ppm

#Alcove ceiling
RECT: Y 2.00 NEG (-3.00, 7.00) ( 3.00, 10.00) (0.10, 0.30, 0.70)
(0.95, 0.95, 0.95) 20.00 0.01 MATTE

#Alcove mirror.
RECT: X 9.99 NEG (-3.00, -1.00) ( 1.00, 1.00) (0.05, 0.05, 0.05)
(0.99, 0.99, 0.99) 20.00 0.999 MIRROR

#Alcove lamp posts
CYLINDER: (8.50, -5.00, 2.00) 0.10 (0.00, 1.00, 0.00) 4.50 (0.05, 0.05, 0.05)
(0.99, 0.99, 0.99) 20.00 0.90

CYLINDER: (8.50, -5.00, -2.00) 0.10 (0.00, 1.00, 0.00) 4.50 (0.05, 0.05, 0.05)
(0.99, 0.99, 0.99) 20.00 0.90
.
.
.
WINDOW: 1.0000 1.0000 1.0000
VIEW: (-6.0000, -2.0000, 4.0000) (6.0000, 0.0000, -2.0000) (0.00, 1.00, 0.00)
STOP:

```



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 5

Teilgebiete der Computergraphik

- Die wichtigsten Gebiete:
 - Modellierung
 - Festlegen der Form und Wirkung des äußeren Erscheinungsbildes
 - Rendering
 - Erzeugung des 2D Bildes aus einem 3D Modell
 - Animation / Simulation
 - Bewegung der Bilder
- Weitere Gebiete:
 - Interaktion mit dem Anwender (*Human-Computer Interaction - HCI*)
 - Virtual Reality (VR)
 - Visualisierung (*scientific / information visualization*)

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 6



Fragestellungen

- Wie beschreibt man ein Objekt einer Szene?
- Wie stellt man diese **schnell** dar?
- Was ist mit Lichtquellen?
- Wie erzeugt man Schatten? ... Verdeckungen? ... Tiefeneindruck?
- Was macht man bei "rauen" Oberflächen?
- Was ist mit kleinen Partikeln wie Nebel, Rauch, Dunst, ... ?
- Physik?
- Animation?

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 7



Anwendungen der Computergraphik

- Videospiele
- Filme
 - Zeichentrickfilme
 - Computeranimationsfilme
 - Spezialeffekte
- CAD / CAM
- Simulationen
- Medizinische Visualisierung
- Visualisierung von Informationen
- Training (Flug-, Fahr-, Operationssimulator)

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 8

Kinofilme



Pixar: Monster's Inc.



Square: Final Fantasy

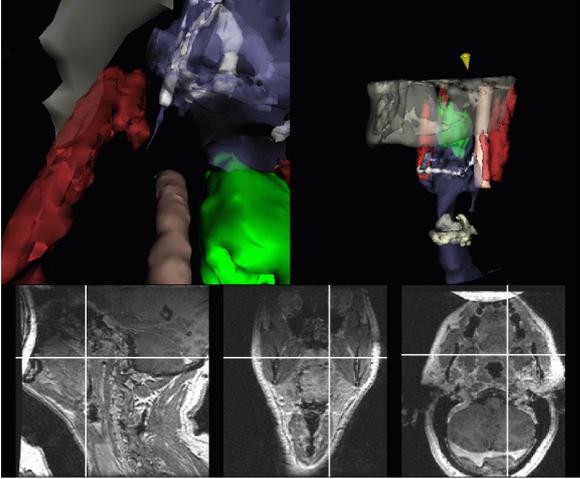
G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 9

Spiele

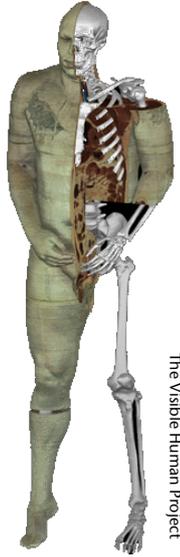


G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 10

Medizinische Darstellungen



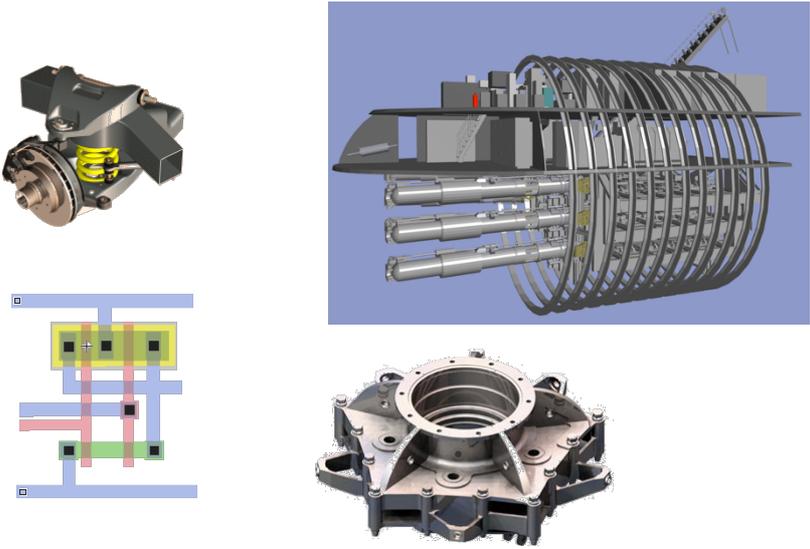
MIT: Image-Guided Surgery Project



The Visible Human Project

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 12

Computer Aided Design (CAD)



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 13

Visualisierung wissenschaftlicher Daten

The first visualization shows a protein structure with a pink ribbon backbone and a central cluster of atoms represented by orange, green, and red spheres. The second visualization is a 2x2 grid of satellite images showing cloud patterns at 12, 24, 36, and 48 hours. The third visualization is a weather forecast map for Europe, dated 05/12/2007 (12:00), showing isobars and temperature contours in K * 10.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 14

Kurze Historie der Computergraphik

Manchester Mark I

- Am Anfang: noch nicht einmal Text-Displays

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 15

Sketchpad (1963) & "The Mother of all Demos" (1968)

- Ivan Sutherland's Sketchpad
 - MIT, 1963
 - Der Beginn der modernen interaktiven Graphik
 - Sehr teuer!
 - Viele Konzepte findet man in heutigen Zeichensystemen wieder
 - Pop up Menü
 - Hierarchisches Modellieren
- Doug Engelbart
 - Maus
 - Hyperlinks / Hypertext
 - Email, CSCW
 - Telekonferenz, ...

Sketchpad System
1964 MIT Archive Footage

Engelbart, 1968

"The Mother of all Demos"

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 16

Von Text zu GUIs

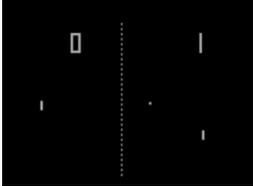
- Ausgedacht für Xerox PARC etwa 1975
- 1981: "Echtzeit" Vektor-Displays, erste bezahlbare Rastergraphik (Apple II)
- "GUI / Desktop" zuerst kommerziell eingesetzt auf Apple Macintosh
- Mitte/Ende 80er: C64, IBM PC
 - PCs mit eingebautem Raster-Display
 - Bezahlbare Rastergraphik

Windows 1.0

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 17

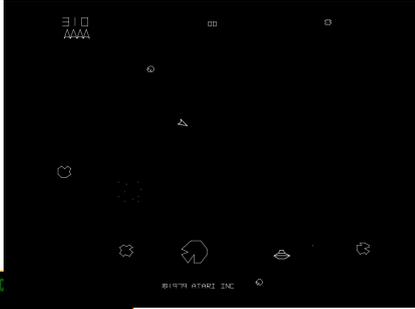
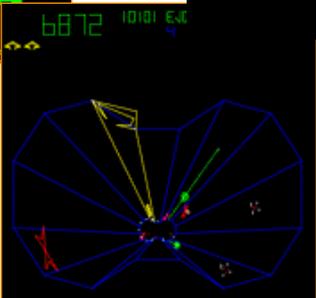
Die Computergraphik verläßt die "Big Iron"-Rechenzentren

- Pong
- Space Invaders
- Atari 2600
- Pac Man
- Star Wars (Vektorgrafik)



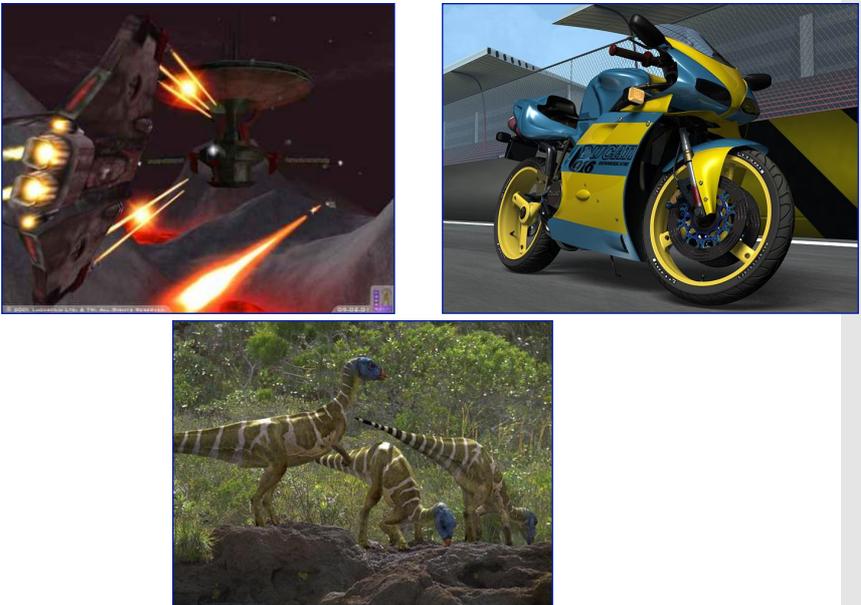

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 18

Damals ...

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 19

Heute ...



The slide displays three distinct computer-generated scenes. The top-left image shows a futuristic, metallic spaceship with glowing orange lights and beams of light, set against a dark, starry space background. The top-right image is a high-quality render of a blue and yellow motorcycle, viewed from a three-quarter front perspective, parked on a paved surface. The bottom-center image depicts a green and brown striped dinosaur standing on a rocky outcrop in a lush, green forest.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 20

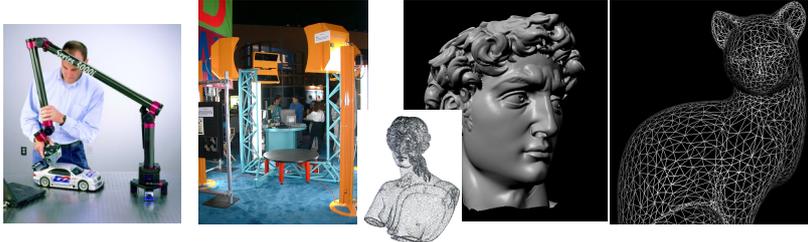


The slide features a single computer-generated image of a woman with dark hair and pointed ears, looking over her shoulder. She is positioned in a sun-dappled forest. A small NVIDIA logo is visible in the bottom right corner of the image area.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 21

Modellierung

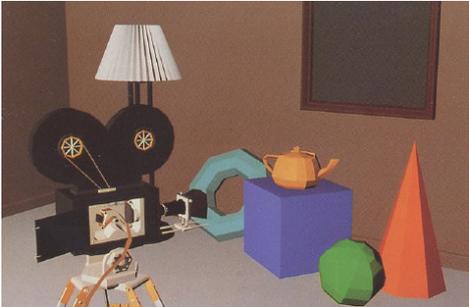
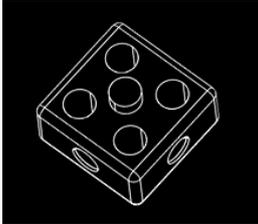
- Spline Kurven, Oberflächen: 70er – 80er
- Utah Teapot: Bekanntes 3D Modell
 - Von Hand modelliert von Newell
 - Zur "Folklore":
<http://www.sjbaker.org/teapot/>
- Erst kürzlich: Erstellung von Dreiecksnetzen von realen Objekten

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 22

Rendering: 1960 (Sichtbarkeit)

- Roberts (1963), Appel (1967): verdeckte Linien
- Warnock (1969), Watkins (1970): verdeckte Flächen
- Sutherland (1974): Sichtbarkeit = Sortierung

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 23

Rendering: 1970 (Beleuchtung)

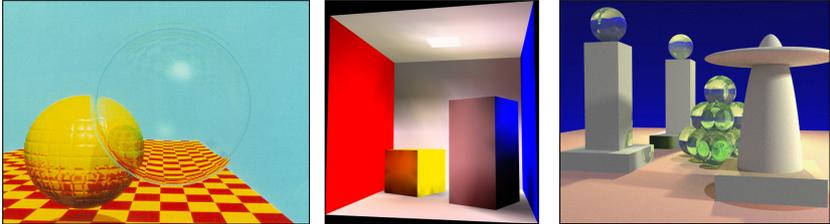
- Raster Graphiken:
 - Gouraud (1971) – diffuse Beleuchtung
 - Phong (1974) - spiegelnde Beleuchtung
 - Blinn (1974) – gewölbte Oberflächen, Texturen
 - Catmull (1974) – verdeckte Flächen mittels Z-Buffer



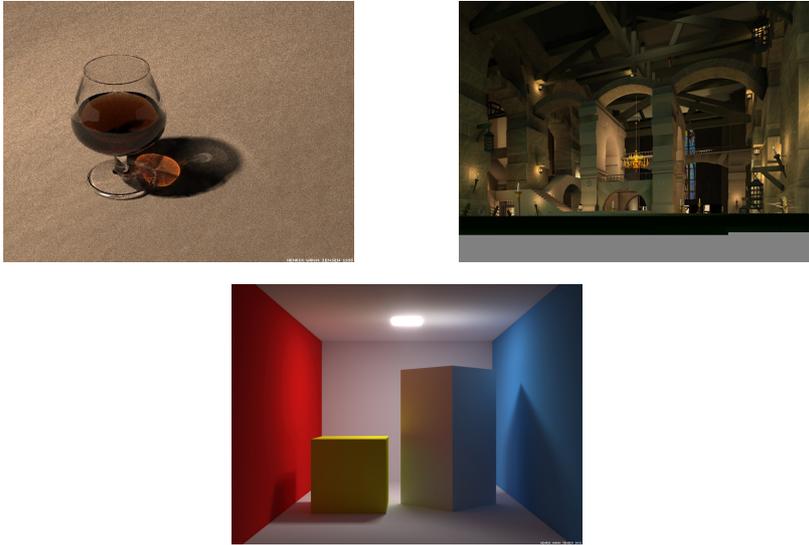
G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 24

Rendering: 1980, 1990 (Globale Beleuchtung)

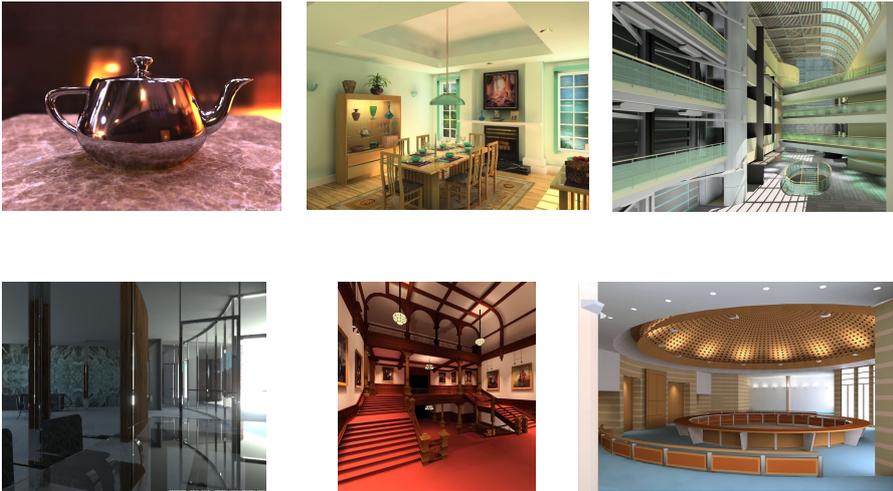
- Whitted (1980) : Ray-Tracing
- Goral, Torrance et al. (1984) : Radiosity
- Kajiya (1986) : Die Rendering-Gleichung



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 25

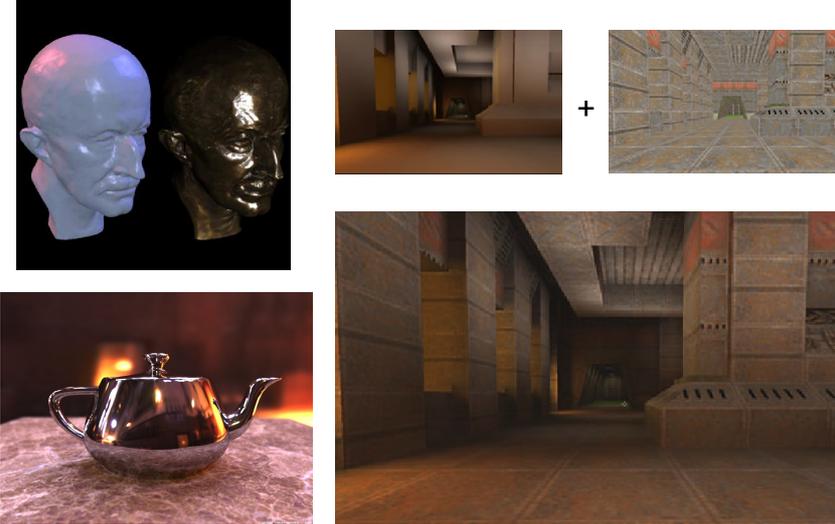


G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 26



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 27

Beleuchtungseffekte bei Polygonalem Rendering



The image illustrates lighting effects in polygonal rendering. It shows a white bust and a metallic bust, a teapot on a surface, and a 3D rendered hallway. A plus sign indicates the combination of two different lighting setups to create the final scene.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 28

Displays

- CRTs,
- LCDs,
- DMDs,



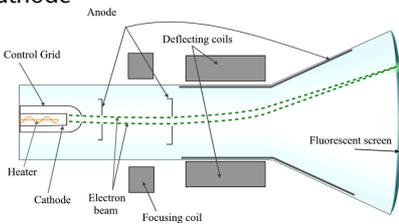
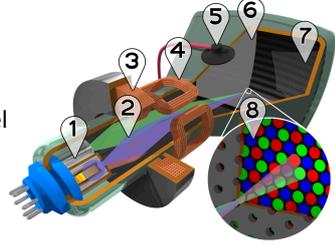
The image shows a variety of display technologies. In the background is a control room with multiple monitors. In the foreground, several individual displays are shown, including CRT monitors, LCD monitors, and DMD projectors, each displaying different content like a sunset, a desert landscape, and a movie scene.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 29

Kathodenstrahlröhre (CRT, Braunsche Röhre, 1897)



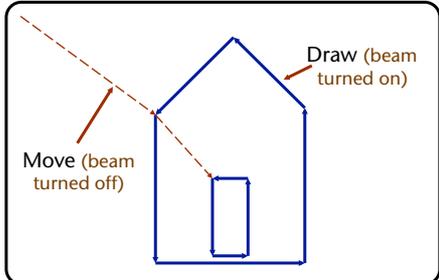
- Elektronen werden
 - erzeugt durch Erhitzung der Glühkathode
 - beschleunigt in Richtung Anode
 - fokussiert
 - Abgelenkt
 - gefiltert durch Lochmaske
 - treffen Phosphorpunkte
- Phosphor
 - Atome werden angeregt
 - bei Rückkehr zu normalem Energiepegel werden Photonen erzeugt
 - 3 Arten (rot, grün, blau) – später

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 30

Vektor Displays / Vektorgrafiken

- Bis Anfang / Mitte der 80er
 - Im Grunde Oszilloskope
 - Steuere X, Y durch die Ladung der vertikalen/horizontalen Ablenkspulen
 - Oft wird Intensität durch Z geregelt





G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 31

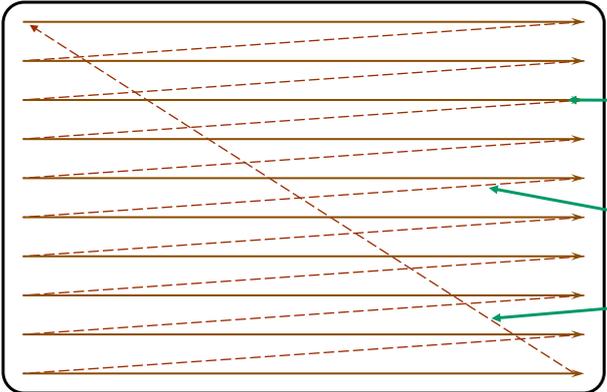
Aktualisieren

- Ein Frame muss aktualisiert werden, um ein neues Bild darzustellen
- Aktiviert der Elektronenstrahl eine Region von Phosphoratomen, so verblasst die vorhergehende
- Elektronenstrahl muss regelmäßig alle Stellen des Bildes treffen, um Flimmern zu vermeiden
- Kritische Frequenz: 25 Hz (Vollbilder!)
- Max. mögliche Refresh-Rate hängt bei Vektordisplays von Anzahl und Länge der Linien ab → beschränkte Komplexität der Szene

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 32

Rastergraphik (Raster / Scanline Displays)

- Heutzutage sind fast alle Displays Raster-basiert



Raster oder Scan Line

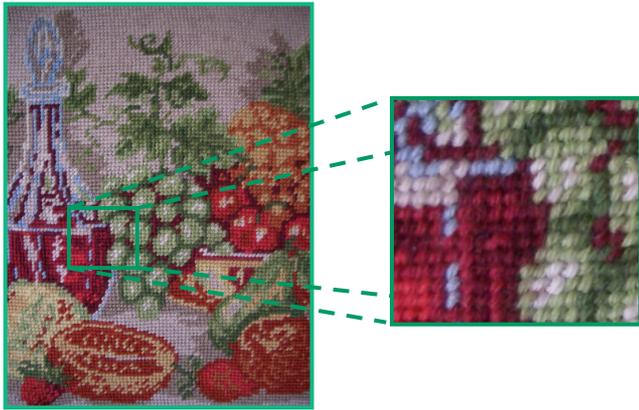
Horizontaler Rücksprung

Vertikaler Rücksprung

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 33

Bildraster

- Speicherung von Bildern als Bildpunktmatrix
 - Feste Informationsmenge pro Bildpunkt
 - Kompatibel zu Fernsehbildern



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 34

Demo



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 35

Die Pointillisten

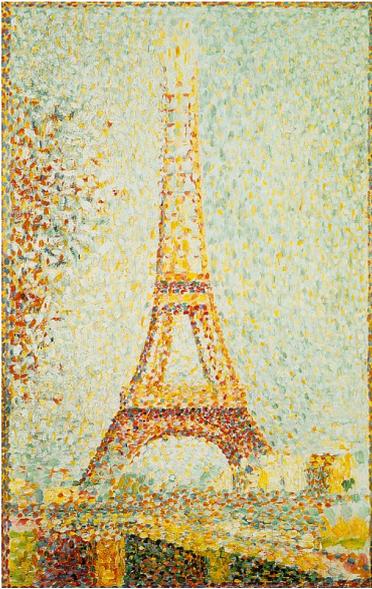


Seurat, *A Sunday Afternoon on the Island of La Grande Jatte*, 1884-86

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11

Einführung 36

The painting 'A Sunday Afternoon on the Island of La Grande Jatte' by Georges Seurat is a masterpiece of the Pointillist movement. It depicts a busy scene on a grassy island in the Bois de St. Mandé, Paris, where people are enjoying a day of leisure. The composition is filled with numerous small, distinct points of color that, when viewed from a distance, blend together to create a vibrant and detailed scene. In the foreground, a woman in a dark dress and hat stands with a black umbrella, looking towards the viewer. To her left, a man in a top hat sits on the grass, and a woman in a red dress is reclining. A black dog and a small child are also visible. The middle ground shows a variety of people engaged in different activities, some sitting on the grass, others walking, and some near the water's edge. In the background, a large white sailboat is on the water, and a bridge is visible in the distance. The overall atmosphere is one of a peaceful yet lively day in a park.



Seurat,
The Eiffel Tower,
1889

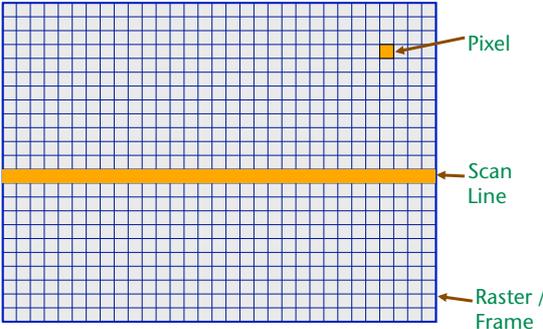
G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11

Einführung 37

The painting 'The Eiffel Tower' by Georges Seurat is a vertical composition that uses the Pointillist technique to depict the Eiffel Tower in Paris. The tower is the central focus, rendered with a dense array of small, colorful dots in shades of yellow, orange, and brown. The background is a mix of light blue, green, and white dots, creating a shimmering, atmospheric effect. The overall composition is balanced and harmonious, showcasing Seurat's mastery of color and light through his pointillist style.

Fachbegriffe

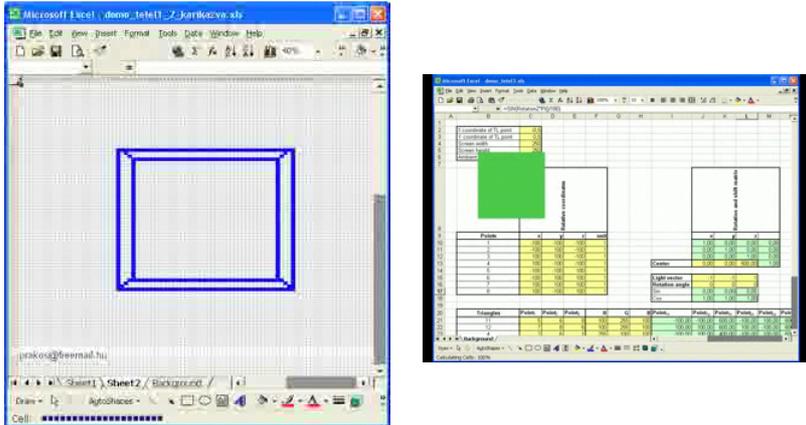
- Raster: ein rechteckiges Feld von Punkten oder Rasterpunkt
- **Frame**: Einzelbild, das auf dem Monitor dargestellt wird



- **Pixel**: ein einzelnes Bildelement oder Rasterpunkt
- **Scanline**: eine Reihe von Pixel
- **Auflösung**: eigentlich Pixel pro Zoll; hier Größenbeschreibung von Bildern (640x480)
- **Aspect ratio** = Breite : Höhe (früher 4:3, jetzt immer mehr 16:9)

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 38

Microsoft Excel: Revolutionary 3D Game Engine? ☺

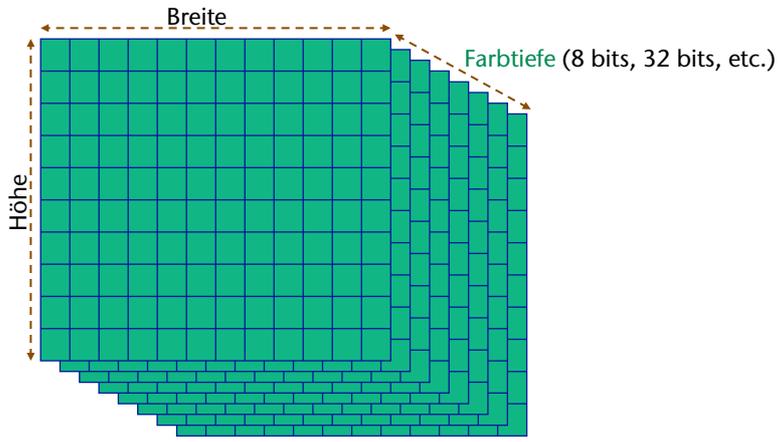


http://zach.in.tu-clausthal.de/teaching/cg_literatur/excel_3d_engine/

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 39

Der Frame Buffer

- Muss jetzt viele Bits pro Pixel spendieren (später noch mehr)



The diagram illustrates a 3D representation of a frame buffer. It consists of a grid of green squares representing pixels. The grid is labeled with 'Breite' (width) and 'Höhe' (height) on the left side. A dashed line indicates the depth of the buffer, labeled 'Farbtiefe (8 bits, 32 bits, etc.)'. The grid is shown as a stack of layers, with the front layer being a solid grid and subsequent layers being slightly offset to show depth.

$\text{Memory (Bits)} = \text{Breite} * \text{Höhe} * \text{Farbtiefe}$

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 40

Farbtiefen

- Schwarz und Weiß: 1 Bit/Pixel
- Grauskala: 8 Bit/Pixel
- 8-bit Farbe: spart Speicherplatz, 3-2-2 oder Color Lookup Table
- 24-bit (RGB) Farbe: 8 Bit pro Farbkanal – rot, grün, blau
- Wie groß muss der Frame Buffer für ein 1600x1200 Pixel großes Bild in true color (RGB) sein?
 - 8 Bit für jeden RGB Farbkanal
 - Das sind 24 Bit/Pixel
 - Das ergibt $1600 \cdot 1200 \cdot 24 \text{ Bit} = 5.76 \text{ MBytes}$
 - Die meisten Graphikkarten reservieren 32 Bit/Pixel bei true color = 7.68 MBytes
- Datenrate bei 30 frames per second (FPS): 230 Mbytes / sec

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 41

Standardauflösungen

VGA = 640x480
SVGA = 800x600
XGA = 1024x768
SXGA = 1280x1024
UXGA = 1600x1200
QXGA = 2048x1536

WXGA = 1366x768 = 1.78:1
WSXGA = 1680x1050 = 1.6:1
WUXGA = 1920x1200 = 1.6:1
HDTV = 1920x1080

Standardauflösungen:
Diese haben ein Seitenverhältnis (*aspect ratio*) von 4:3 = 1.33:1, außer SXGA mit 1.25:1

Wide-screen-Auflösungen:
Aspect ratio ≈ 16:9 ≈ 1.78:1.
(Viele Kinofilme sind in 1.85:1 oder 2.35:1 ≈ 7:3 gedreht.)

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11

Einführung 43

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11

Einführung 44

Bilddarstellung (Video-Controller)

- Aufgaben des Video-Controllers
 - Erzeugen der horizontalen (HSYNC) und vertikalen (VSYNC) Synchronimpulse für das entsprechende Bildformat
 - Adressierung und Auslesen des Bildspeichers
 - Ansteuern des Monitors mit entsprechenden Intensitäts-/ Farbwerten, mit Dunkelsignal für H/V-Austastlücke und Digital-Analog-Wandlung (DAC).

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 45

Farbtabelle (Color Lookup Table, Pseudo-Color)

- Idee, um Datenrate und Speicheraufwand zu senken:
 - Erstelle eine **Color Map** (Color Lookup Table, CLUT), welche alle im Bild benötigten Mischfarben enthält
 - Speichere pro Pixels nur einen Index (kleine Anzahl Bits) in die Color Map
 - Gibt keine direkte Abbildung vom Pixelwert auf den Farbwert der Color Map, aber Aufgrund der geringeren Anzahl an Bits pro Pixel spart man Speicherplatz & Datenrate

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 46



- Beispiel:
 - 8 Bit Farbe pro Pixel
 - 12 Bit breite Color Map
 - Das ergibt $2^{12} = 4096$ unterschiedliche Farben
 - Jeder Pixel durch 8 Bit dargestellt, kann nur $2^8 = 256$ Farben verwenden
 - Nehme 256 verschiedene Farben aus den möglichen 4096 und speichere sie in der Color Map
 - 8 Bit Farbwert eines Pixels indiziert einen Eintrag der Color Map
 - Die gespeicherte 12 Bit Farbe wird letztendlich angezeigt
- Wird heute nur noch selten gemacht, aber an anderer Stelle (in Algorithmen) taucht dieses Verfahren wieder auf ...

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 47



Das Zitat der Woche

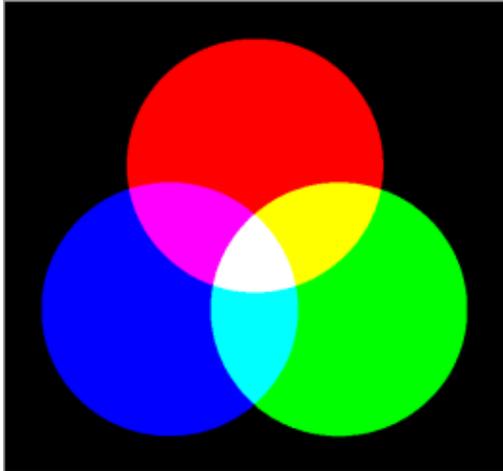
"640 Kilobyte ought to be enough for anybody."

Bill Gates, 1981

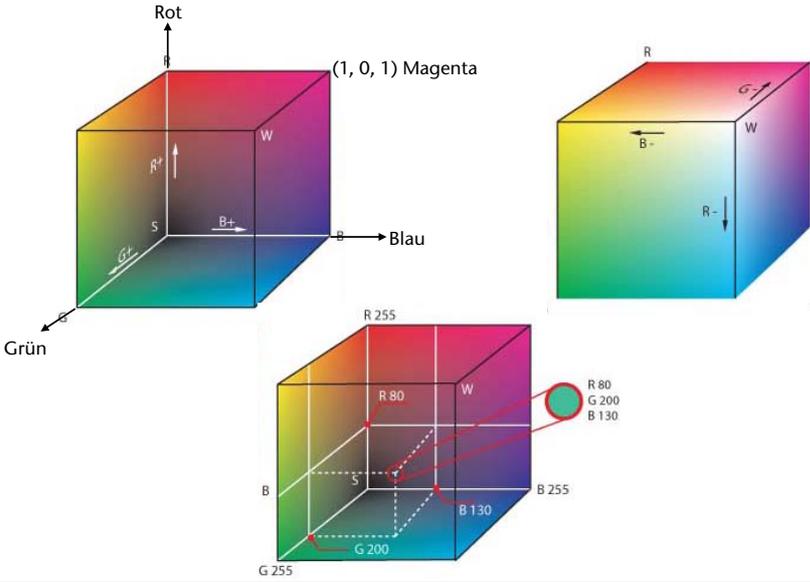
G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 48

Additive Farbmischung

- RGB Farbmodell:
 - (0, 0, 0) schwarz
 - (1, 0, 0) rot
 - (0, 1, 0) grün
 - (0, 0, 1) blau
 - (1, 1, 0) gelb
 - (1, 0, 1) Magenta
 - (0, 1, 1) cyan
 - (1, 1, 1) weiß



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 49



Rot

(1, 0, 1) Magenta

Blau

Grün

R 255

R 80

G 200

B 130

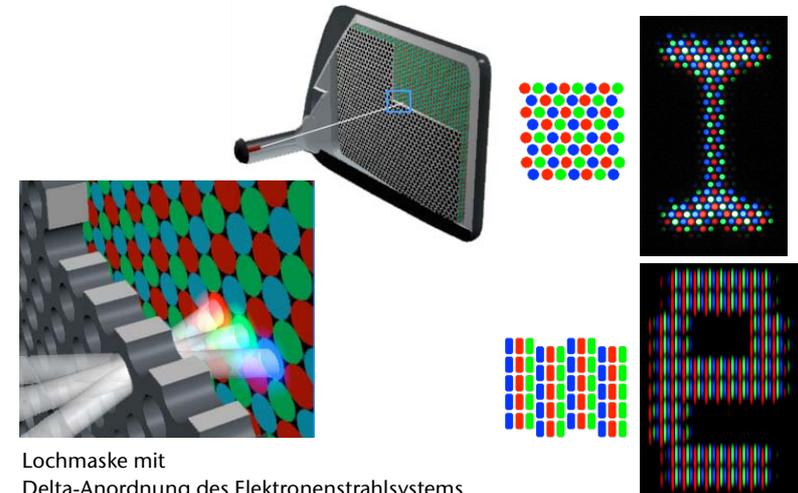
B 255

G 255

R 80
G 200
B 130

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 50

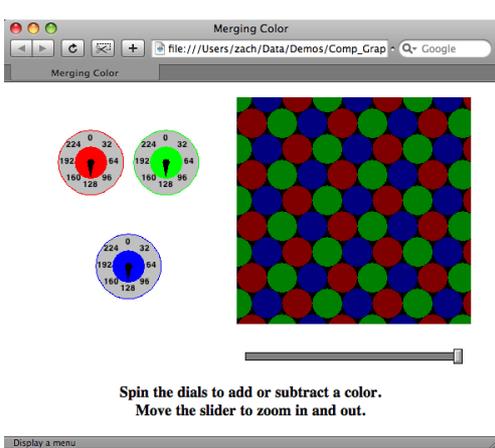
Farb-Displays



Lochmaske mit
Delta-Anordnung des Elektronenstrahlsystems
und punktförmigem Phosphor

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 51

Demo



Spin the dials to add or subtract a color.
Move the slider to zoom in and out.

Display a menu

http://www.colorado.edu/physics/2000/tv/merging_color.html

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 52

Liquid Crystal Displays (LCDs)

- LCDs lassen das Licht hindurch bzw. nicht und sind somit auf eine externe Lichtquelle angewiesen
- Laptop Bildschirme: von hinten beleuchtet, durchlässige Displays
- PDAs/ Handy: reflektierende Displays (+ Lichtquelle)

The diagrams illustrate the operation of a Twisted Nematic Cell (TNC) in an LCD. The top diagram shows incident light passing through a polarizer, then a Twisted Nematic Cell, and finally another polarizer, resulting in transmitted light. The middle diagram shows incident light passing through a polarizer, a Twisted Nematic Cell with an applied electric field, and another polarizer, resulting in blocked light. The bottom diagram shows the physical layers: Glass, Liquid Crystal, Glass, Transparent Electrodes, and Polarizer.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 53

TFT-LCD-Displays

- Pixel besteht aus drei **Sub-Pixeln** mit R/G/B-Farbfiler
 - Jedes **Subpixel** ist ein Transistor!
- Leuchtmittel bei **transmissiven LCDs**
 - schmale Leuchtstofflampe oder LEDs an der Seite
 - Licht wird verteilt durch flachen Lichtleiter + Diffuser-Scheibe
 - Liefert etwas sichtbares Licht, vor allem UV-Spektrum
 - Beschichtung an der Innenseite des Glaspanels erzeugt daraus sichtbares Licht
 - Desktop-Displays an jeder Seite eine Röhre, Notebook-Displays nur zwei, um Strom zu sparen
- **Reflektive LCDs** schalten Hintergrund nur bei Bedarf an

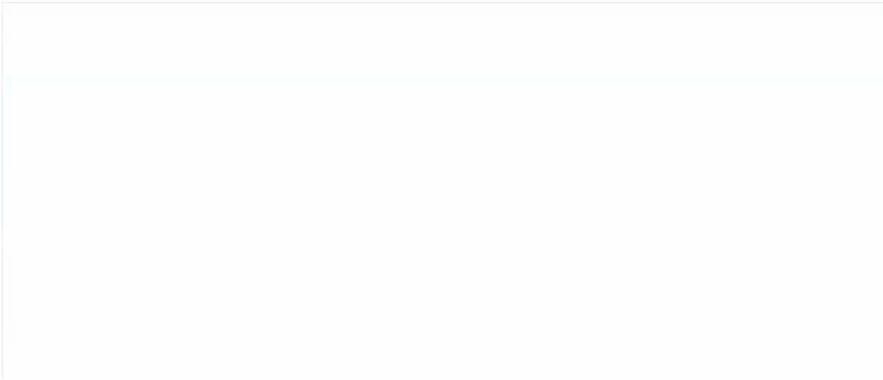
The image shows a microscopic view of a pixel structure with three sub-pixels (red, green, blue) and a photograph of a TFT-LCD panel.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 54

- Das Licht durchdringt den hinteren (vertikalen) Polarisator, wird dabei polarisiert (schwingt nur noch in einer Richtung)
- Nichtaktivierte Flüssigkristalle drehen die Polarisierung um 90° → Licht gelangt durch vorderen (horizontalen) Polarisator
- Angeschaltete Transistoren erzeugen ein elektrisches Feld (in diesem Subpixel)
 - Das führt zu einer Drehung der Flüssigkristalle
 - Aktivierte Flüssigkristalle ändern die Polarität des Lichtes **nicht**
 - Licht wird vom vorderen (horizontalen) Polarisator geblockt
- Die Transistoren werden Zeile für Zeile nach dem Scan-Line-Verfahren aktualisiert
- Die Kristalle müssen eine gewisse Zeit ausgerichtet bleiben, um Flimmern zwischen der Aktualisierung zu verhindern

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 56

Das Ganze nochmal als Video



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 57

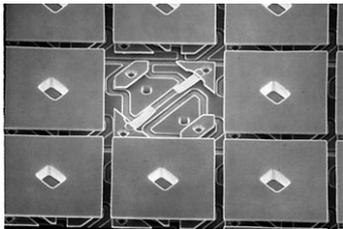
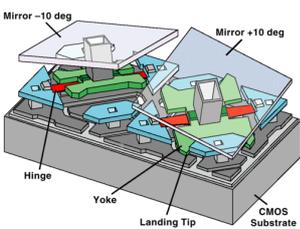
Weiterentwicklungen



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 58

Digital Light Processing Devices

- DMD-Chip (Digital Micromirror Device)
 - Kernstück eines DLP-Projektors
 - **Microelectromechanical** (MEM) Geräte werden mit VLSI Technik gefertigt
 - Auf 2 cm² über 508.000 reflektierende Mikro-Spiegel, jeder für sich um bis zu 10° kippbar
 - Jeder Spiegel kann einzeln elektrostatisch bewegt werden und schaltet genau ein Pixel hell oder dunkel

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 59

- DMDs haben „digitale“ Pixel →
 - Verschiedene Grauwerte durch Anpassen der Impulslänge
- Drei Grundfarben per rotierende RGB-Farbfiler-Scheibe oder mehrere Chips
- Vorteile:
 - Hochauflösend
 - Sehr Flach
 - Sehr lichtstark
- Problem mit Flimmern

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 60

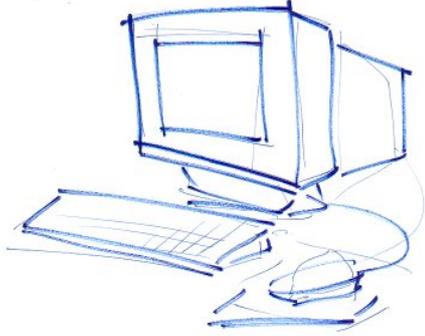
Weitere Displays

- Plasma
- OLEDs
- Laser ...

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 61

Kurzer Exkurs: Der "Bill Buxton Test"

- Zeichnen Sie einen Computer in 15 Sek.
- Ca. 80% der Fälle
 - Monitor
 - Tastatur
 - Maus
- Interessant:
 - kein „Computer“ auf dem Bild
 - Benutzer nehmen „Computer“ hauptsächlich über Ein- und Ausgabe wahr

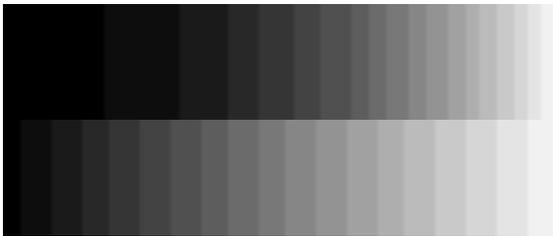


G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 62

Die Gammakorrektur

- Was ist hier der Unterschied?

Ohne Gammakorrektur



Mit Gammakorrektur

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 67

Nichtlineare Transferfunktionen

- Begriffe:
 - Die **wahrgenommene(!) Helligkeit** = eine **physiologische** Größe
 - Die **Intensität** = eine **physikalische** Größe
 - **Dynamikbereich (dynamic range)** = Verhältnis max. / min. Intensität
- Die Nichtlinearität im Auge:
 - Beobachtung: eine Folge von Intensitäten I_j wird als linear **wahrgenommen** gdw.
$$\forall j : \frac{I_{j+1}}{I_j} \equiv \text{const.}$$
- Aufgabe: $k+1$ Intensitätsstufen I_j so im Intervall I_{min} bis I_{max} verteilen, dass die wahrgenommenen Helligkeitsstufen **linear** verlaufen

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 68

Lösung: geometrische Reihe

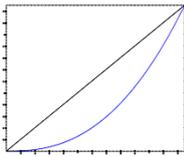
- Annahme: $k+1 = 256$ Stufen werden benötigt
- $I_0 = I_{min}$, $I_1 = r \cdot I_0$, ..., $I_j = r^j \cdot I_0$, ..., $I_k = r^k \cdot I_0$
- I_{max} / I_{min} kann man messen →

$$r = \left(\frac{I_{max}}{I_{min}} \right)^{1/k}$$

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 69

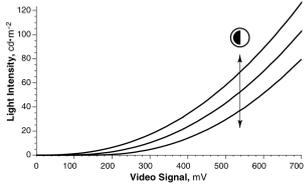
- Die Nichtlinearität im Monitor:
 - Beobachtung: bei Eingangsspannung V liefert ein Monitor eine Ausgangsintensität I (an einem Pixel) von

$$I = I_{\max} \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^\gamma$$
 - Typ. Wert ist $\gamma = 2.5$
- Die Gamma-Korrektur:
 - Gegeben: j = Pixel-Wert im Framebuffer
 - Bestimme:
 1. $I_j = r^j \cdot I_{\min}$
 2. $V_j = \left(\frac{I_j}{I_{\max}} \right)^{1/\gamma} \cdot V_{\max}$



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 70

- Bemerkung: "Contrast"-Knopf am Monitor ändert einfach das Gamma des Monitors



- Poor man's gamma correction:
 - Falls man Schritt 1 der Gammakorrektur weglassen möchte
 - Korrigiere einfach weniger, als der Monitor eigtl. bräuchte, z.B.

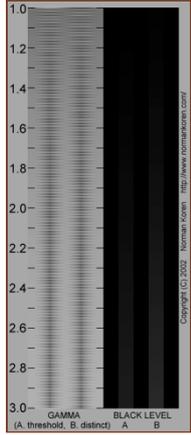
$$\frac{1}{\gamma} = \frac{1}{2.2} \approx 0.45$$
 - Gleicht Nichtlinearität des menschlichen Helligkeitsempfindens ungefähr aus; reduziert den Exponent auf etwa

$$0.45 \cdot 2.5 = 1.13$$

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 71

Wie bestimmt man das Monitor-Gamma?

- Achtung: LCD screens are poorly suited for critical image editing because gamma is extremely sensitive to viewing angle
- Testbild zur visuellen Bestimmung des aktuellen Gammas des Gesamtsystems
 - Aktuelles Gamma ist dort, wo ein einheitlicher Grau-Level auf einer horizontalen Linie zu sehen ist
 - Die Methode:
 - Schwarze & weiße Pixel werden – **unabhängig von γ !** – als keine bzw. volle Helligkeit wahrgenommen →
 - Die beiden Streifenmuster werden aus der Entfernung als halbe Helligkeit wahrgenommen
 - Finde den Pixel-Grauwert a , so daß $\frac{1}{2} = a^\gamma$ und löse nach γ auf



Copyright © 2002 Norman Koren <http://www.normankoren.com/>

GAMMA (A threshold, B distinct) BLACK LEVEL A B

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 72



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 73

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 74

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 75



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 10/11 Einführung 76