



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 11/12 Einführung 2

Visual Computing

- *Visual Computing* = 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 'Szenenbeschreibung' (Scene Description). The right circle is labeled 'Bild' (Image). An arrow labeled 'Computergraphik' (Computer Graphics) points from the left circle to the right circle. A curved arrow labeled 'Bildverarbeitung' (Image Processing) points from the right circle back to itself. A double-headed arrow labeled 'Maschinelles Sehen (Computer Vision)' (Machine Vision) connects the two circles.

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

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 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 11/12 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 11/12 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 11/12 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 "rauhem" Oberflächen?
- Was ist mit kleinen Partikeln wie Nebel, Rauch, Dunst, ... ?
- Physik?
- Animation?

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 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 11/12 Einführung 8

Kinofilme



Pixar: Monster's Inc.



Square: Final Fantasy

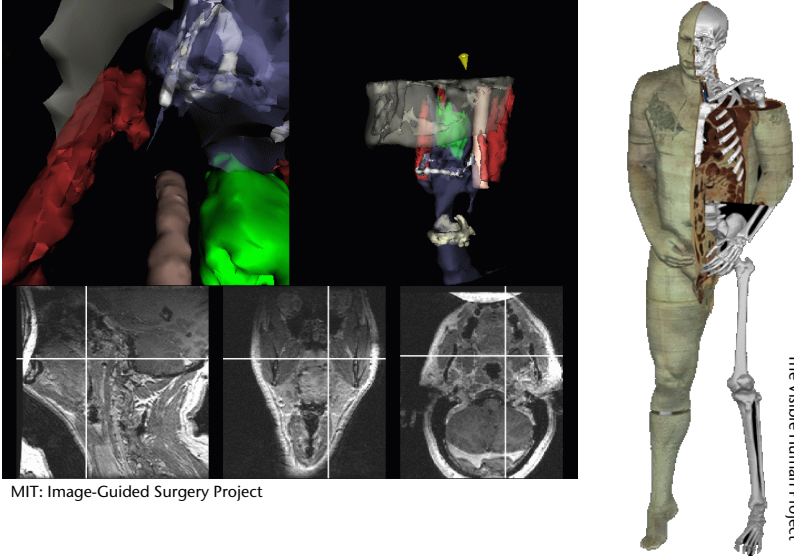
G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 9

Spiele



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

Medizinische Darstellungen



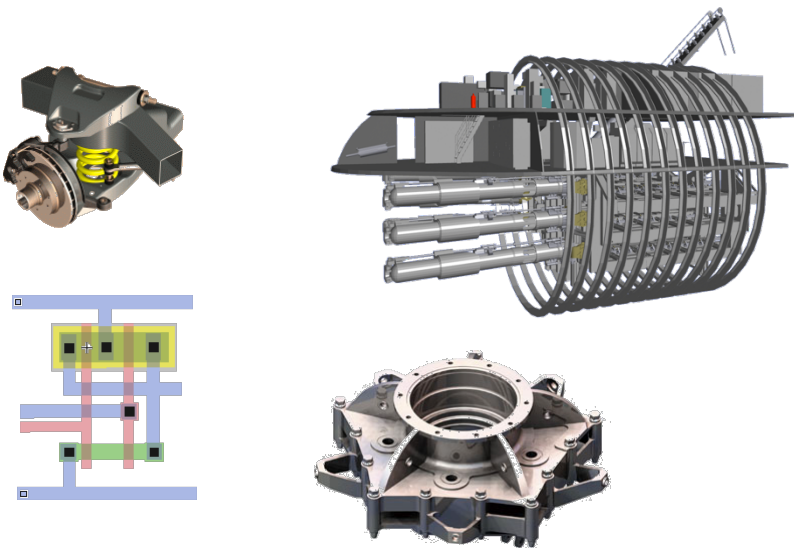
The image displays various medical visualizations. On the left, there are 3D anatomical models of a human torso, with different organs highlighted in red, green, and blue. Below these are several MRI scan slices showing internal structures in grayscale. On the right, a full-body human skeleton is shown in a standing pose, with the text 'The Visible Human Project' written vertically next to it.

MIT: Image-Guided Surgery Project

The Visible Human Project

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

Computer Aided Design (CAD)



The image shows four different CAD models. Top left: A mechanical assembly featuring a yellow spring and various metal components. Top right: A large cylindrical component with a complex internal structure, including a coil of metal rings and several parallel tubes. Bottom left: A schematic diagram of a wiring harness with blue, red, and green lines connecting various points. Bottom right: A complex, multi-faceted mechanical flange or housing with several mounting points and a central opening.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 13

Visualisierung wissenschaftlicher Daten

The first visualization shows a 3D ribbon diagram of a protein structure in pink, with a central core 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 of Europe for 05/12/2007 at 12:00, showing isobars and temperature gradients in K * 10.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 14

Kurze Historie der Computergraphik

Manchester Mark I

- Am Anfang: noch nicht einmal Text-Displays

The text display shows a dense grid of characters, likely representing a program or data output from an early computer system.

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

"The Mother of all Demos"

Engelbart, 1968

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


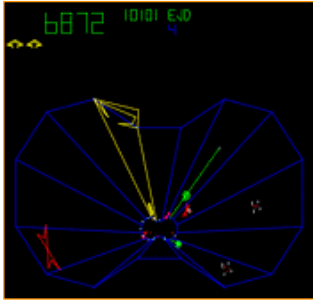
Windows 1.0

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 17

Erste Spiele

- Zunächst noch reine Vektorgraphik:
 - Pong
 - Asteroids
 - Star Wars

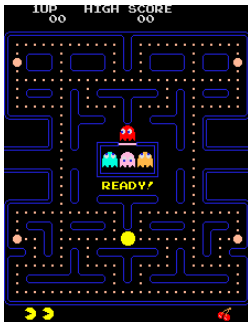



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12
Einführung 18

Damals ...


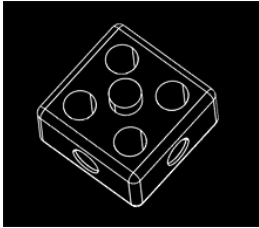
- Dann Rastergraphik:
 - Space Invaders
 - Pac Man

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12
Einführung 19

Rendering: 1960 (Sichtbarkeit)

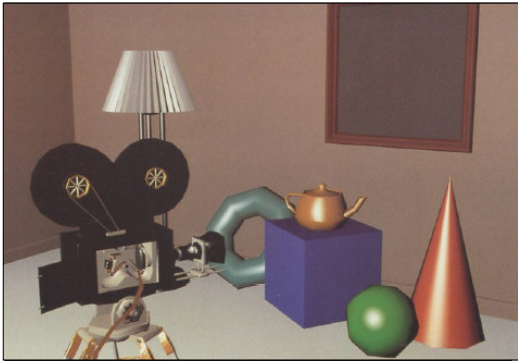
- Roberts (1963), Appel (1967): verdeckte Linien
- Warnock (1969), Watkins (1970): verdeckte Flächen
- Sutherland (1974): Sichtbarkeit = Sortierung

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 20

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 11/12 Einführung 21

Rendering: 1980, 1990 (Globale Beleuchtung)

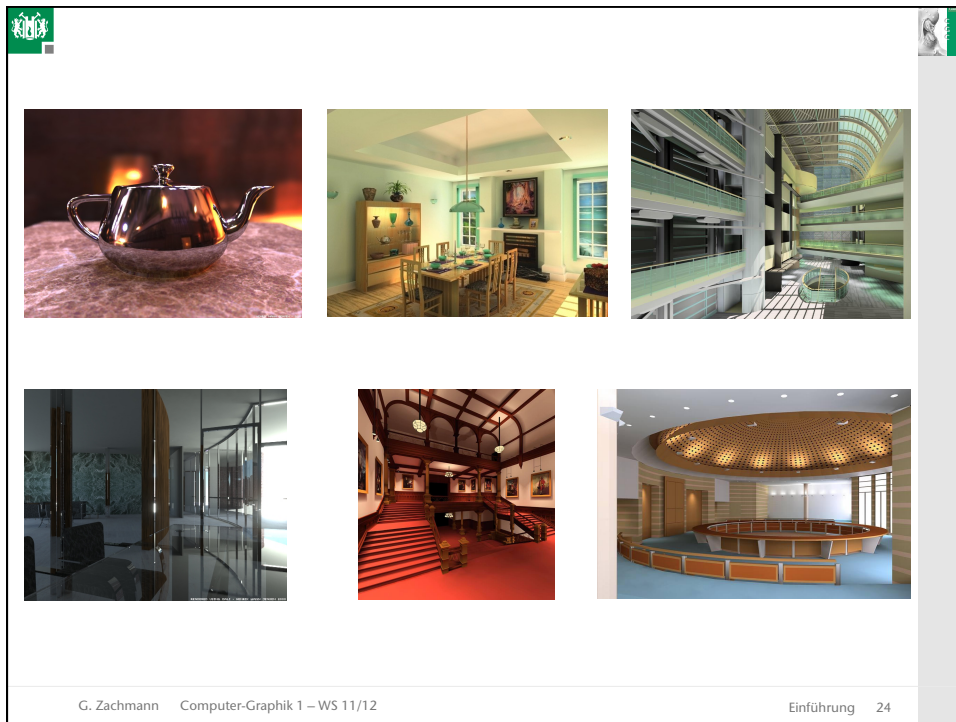
- Whitted (1980) : Ray-Tracing
- Goral, Torrance et al. (1984) : Radiosity
- Kajiya (1986) : Die Rendering-Gleichung



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 22



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 23




Polygonales Rendering heute ...



The slide displays three examples of polygonal rendering. The top-left image shows a futuristic spaceship with glowing orange lights and red laser beams against a dark space background. The top-right image is a detailed rendering of a blue and yellow motorcycle parked on a paved surface. The bottom-center image shows two green and yellow striped dinosaurs standing on a rocky outcrop in a lush, green forest.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 26



The slide features a close-up polygonal rendering of a woman's face with pointed ears, characteristic of an elf. She has dark hair and is looking slightly to the side. The background is a soft-focus forest scene. A small NVIDIA logo is visible in the bottom right corner of the image area.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 27

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 11/12 Einführung 28


Displays

- CRTs,
- LCDs,
- DMDs,

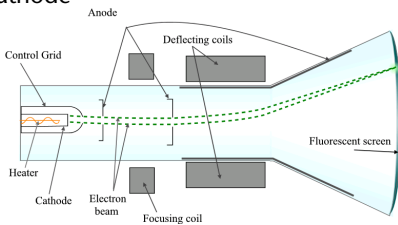
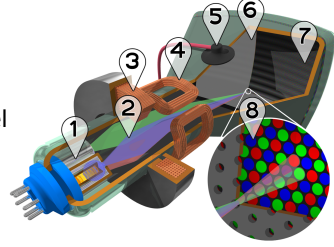


G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 29

Kathodenstrahlröhre (CRT, Braunsche Röhre, 1897)



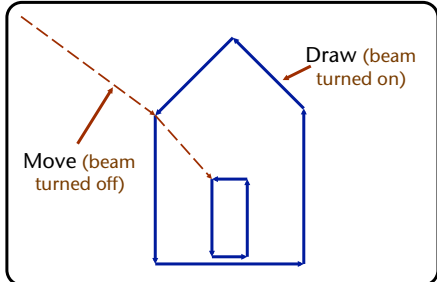
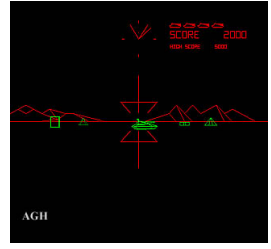

- Elektronen werden
 - erzeugt durch Erhitzung der Glühkathode
 - beschleunigt in Richtung Anode
 - fokussiert
 - Abgelenkt
 - gefiltert durch Lochmaske
 - treffen Phosphorpunkte
- Phosphor
 - Atome werden angeregt
 - bei Rückkehr zu normalem Energiepegel werden Photonen erzeugt
 - 3 Arten (rot, grün,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

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 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 11/12 Einführung 31

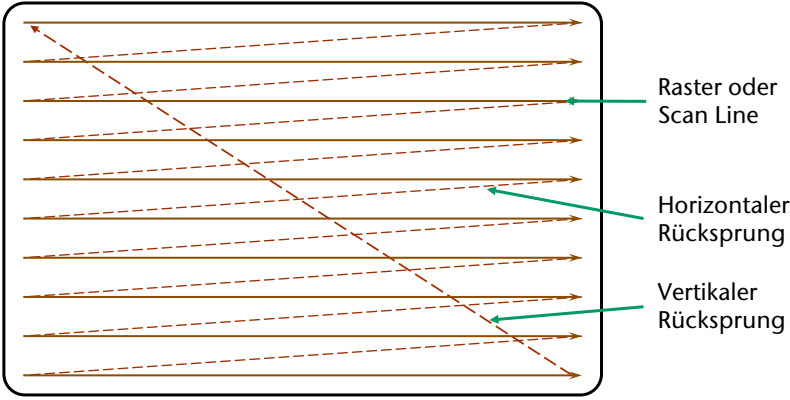
Aktualisieren

- 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 11/12 Einführung 32

Rastergraphik (Raster / Scanline Displays)

- Heutzutage sind fast alle Displays Raster-basiert



Raster oder Scan Line

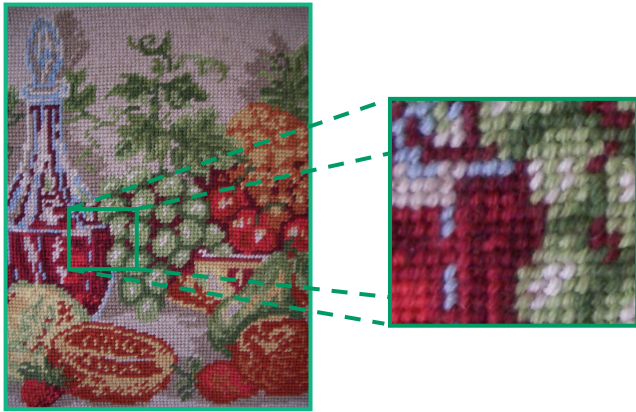
Horizontaler Rücksprung

Vertikaler Rücksprung

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 33

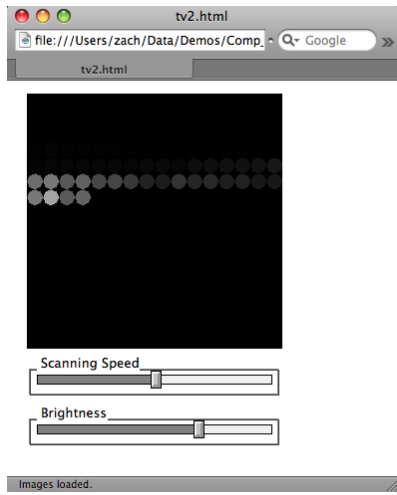
Bildraster

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




G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 34

Demo



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 35

Die Pointillisten



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

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

Einführung 36

The painting 'A Sunday Afternoon on the Island of La Grande Jatte' by Georges Seurat is a prime example of Pointillism. It depicts a busy scene on a grassy island with a river in the background. The composition is filled with numerous small, distinct dots of color that, when viewed together, create a vibrant and detailed scene. In the foreground, a woman in a purple dress stands with a black umbrella, while a man in a top hat sits nearby. A dog is visible in the middle ground. The background shows a river with sailboats and more people in the distance. The overall style is characterized by its meticulous use of color and light through the pointillist technique.



Seurat,
The Eiffel Tower,
1889

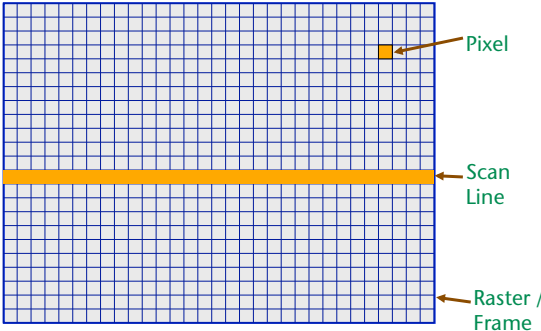
G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12

Einführung 37

The painting 'The Eiffel Tower' by Georges Seurat is a vertical composition that uses the pointillist technique to depict the Eiffel Tower. The tower is the central focus, rendered with a dense array of small dots in various shades of brown, yellow, and green. The background is a mix of light blue and green dots, creating a shimmering, atmospheric effect. The overall composition is balanced and emphasizes the texture and color created by the individual points of paint.

Fachbegriffe

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

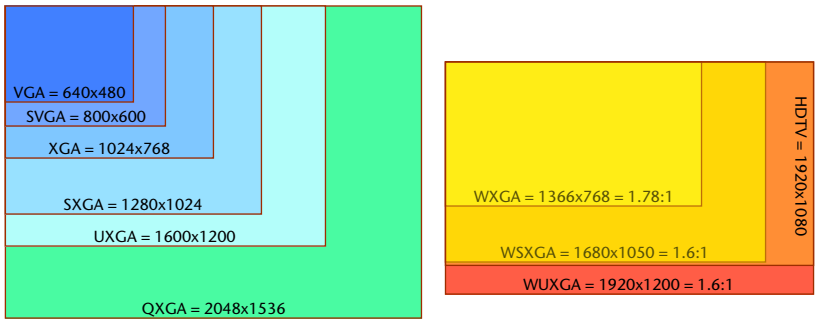


Das Diagramm zeigt ein rechteckiges Gitter (Raster) aus blauen Linien. Ein einzelnes Gitterquadrat ist als 'Pixel' beschriftet. Eine horizontale Reihe von Gitterquadraten ist als 'Scan Line' beschriftet. Die gesamte Gitterfläche ist als 'Raster / Frame' beschriftet.

- **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 11/12 Einführung 38

Standardauflösungen

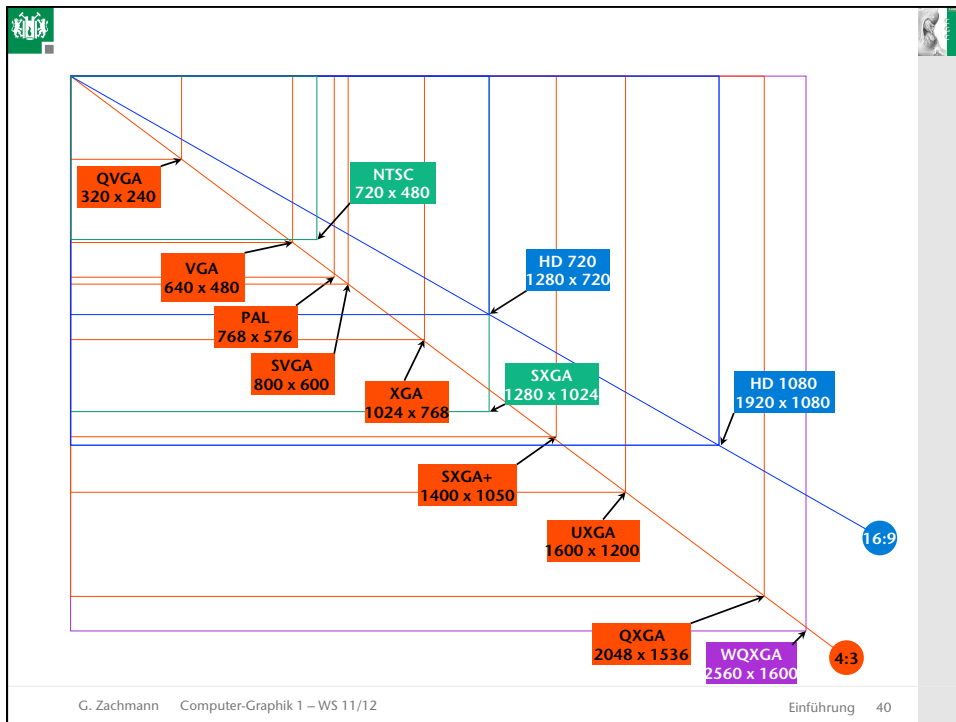


Das Diagramm zeigt zwei Gruppen von Auflösungen. Die linke Gruppe zeigt Standardauflösungen in verschiedenen Farben (blau, hellblau, hellgrün, grün) in aufsteigender Reihenfolge: VGA = 640x480, SVGA = 800x600, XGA = 1024x768, SXGA = 1280x1024, UXGA = 1600x1200, QXGA = 2048x1536. Die rechte Gruppe zeigt Wide-screen-Auflösungen in verschiedenen Farben (gelb, orange, rot) in aufsteigender Reihenfolge: WXGA = 1366x768 = 1.78:1, WSXGA = 1680x1050 = 1.6:1, WUXGA = 1920x1200 = 1.6:1. Eine vertikale orangefarbene Linie rechts daneben ist als 'HDTV = 1920x1080' beschriftet.

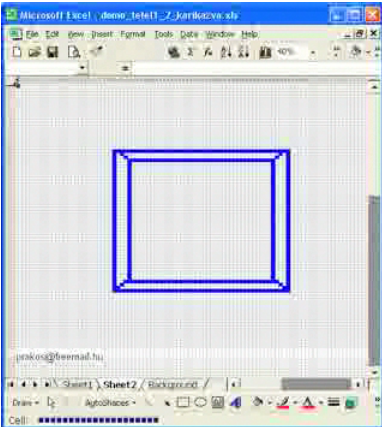
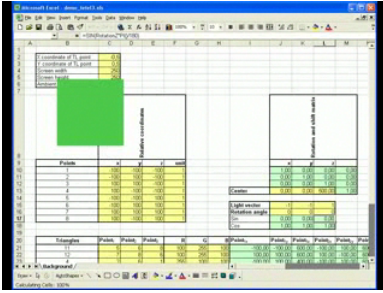
Standardauflösungen:
Diese haben ein Seitenverhältnis (*aspect ratio*) von 4:3 = 1.33:1, außer SXGA mit 1.25:1

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

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 39



Microsoft Excel: Revolutionary 3D Game Engine? ☺

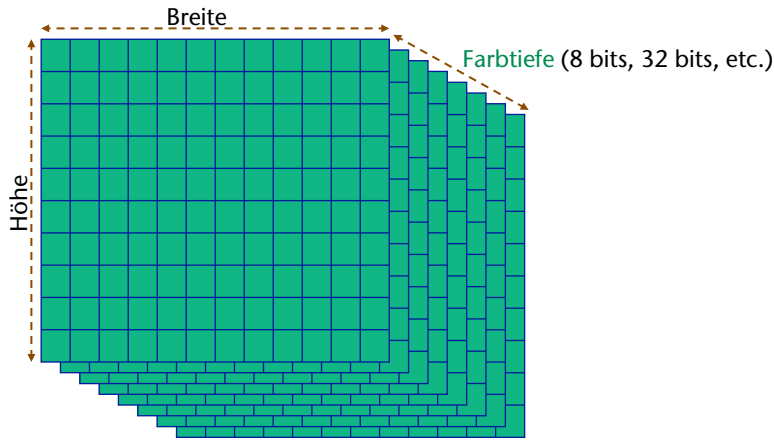



http://zach.in.tu-clausthal.de/teaching/cg_literatur/excel_3d_engine/

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 41

Der Frame Buffer

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



Memory (Bits) = Breite * Höhe * Farbtiefe

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 42

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 11/12 Einführung 43

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 11/12 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 11/12 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 11/12 Einführung 47



Das Zitat der Woche

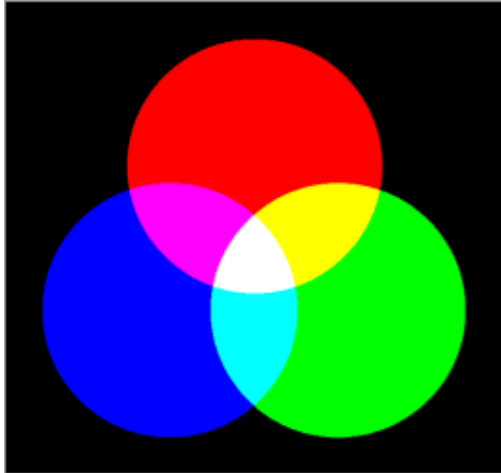
"640 Kilobyte ought to be enough for anybody."

Bill Gates, 1981

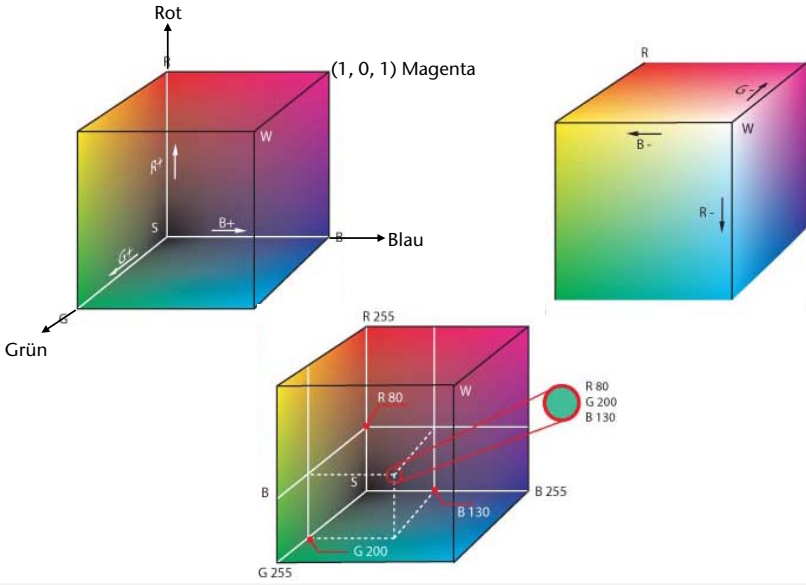
G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 48

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

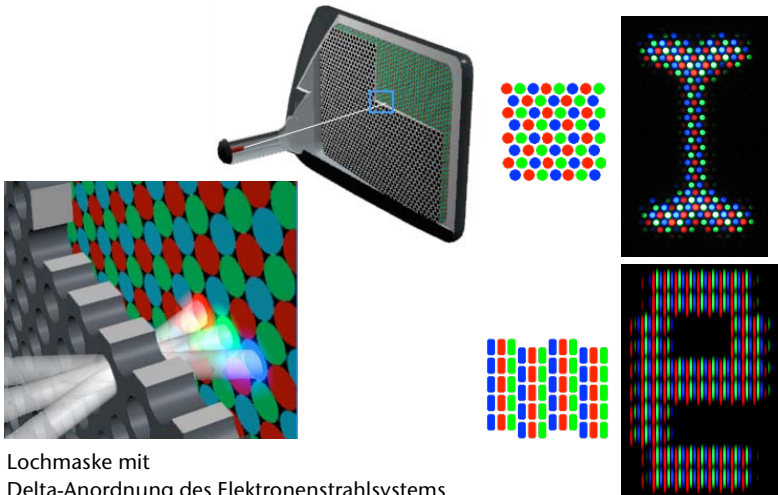


G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 49



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 50

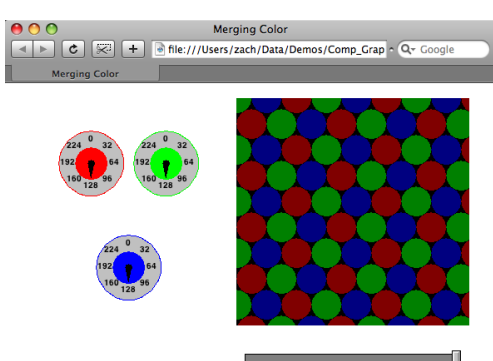
Farb-Displays



Lochmaske mit Delta-Anordnung des Elektronenstrahlsystems und punktförmigem Phosphor

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 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 11/12 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, then a Twisted Nematic Cell with an applied electric field, and finally another polarizer, resulting in blocked light. The bottom diagram shows the physical layers of the LCD: Glass, Liquid Crystal, Glass, Transparent Electrodes, and Polarizer.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 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 top diagram shows a microscopic view of a pixel structure, highlighting three sub-pixels (red, green, blue) and a transistor. The bottom image shows a photograph of a TFT-LCD display panel with a blue backlight.

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 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 11/12 Einführung 56

Das Ganze nochmal als Video

Ausschnitt aus http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Vikuiti1/BrandProducts/secondary/optics101/

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 57

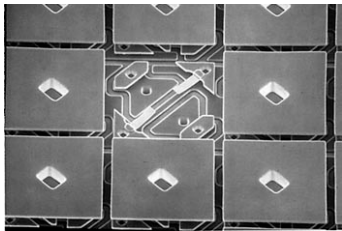
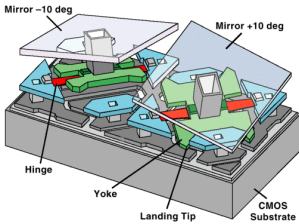
Weiterentwicklungen



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

The diagram shows a cross-section of a DMD chip. A light source on the left emits a beam towards a mirror on the chip. The mirror can be tilted away from the light source (labeled 'Mirror: OFF') or towards it (labeled 'Mirror: ON'). A light absorber is positioned above the chip, and a lens is positioned to the right to project the light.

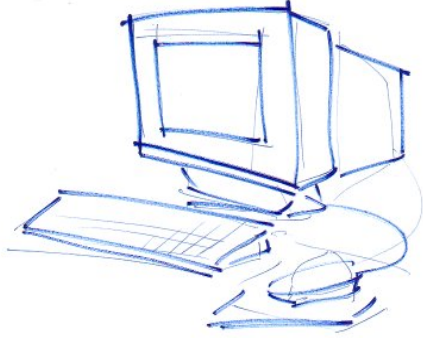
The diagram illustrates a projection system. Light from a 'Lichtquelle' (light source) passes through 'Linse 1' and a 'Farbrad (Rot-Grün-Blau)' (color wheel). It then passes through 'Projektionsoptik' (projection optics) and 'Linse 2' to reach a 'DMD-Chip'. The light is then projected onto a screen, labeled 'Projektion'.

Weitere Displays

- Plasma
- OLEDs
- Laser ...

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 11/12 Einführung 62

Die Gammakorrektur

- Was ist hier der Unterschied?

Ohne Gammakorrektur



Mit Gammakorrektur

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 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 11/12 Einführung 68

Lösung: geometrische Reihe

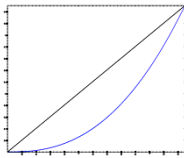
- Annahme: $k+1 = 256$ Stufen werden benötigt
- $I_0 = I_{min}, I_1 = r \cdot I_0, \dots, I_j = r^j \cdot I_0, \dots, I_k = r^k \cdot I_0$
- I_{max} / I_{min} kann man messen \rightarrow

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

G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 69

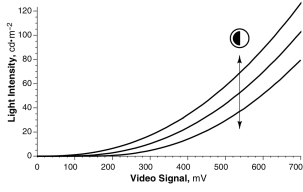
- Die Nichtlinearität im Monitor:
 - Beobachtung: bei Eingangsspannung V liefert ein Monitor eine Ausgangsintensität I (an einem Pixel) von

$$I = I_{\max} \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^\gamma$$
 - 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 11/12 Einführung 70

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



- Poor man's gamma correction:
 - Approximiere

$$I_j = f(j) = r^j \cdot I_{\min}$$

durch

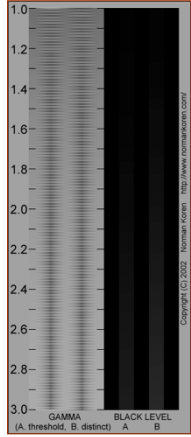
$$I_j \approx j^\gamma \cdot I_{\min}$$
 - Damit wird

$$V_j = \left(\frac{I_j}{I_{\max}} \right)^{1/\gamma} \cdot V_{\max} \approx \left(\frac{j^\gamma \cdot I_{\min}}{I_{\max}} \right)^{1/\gamma} \cdot V_{\max} = j \cdot c$$

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



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 72



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 73



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 74



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 75



G. Zachmann Computer-Graphik 1 – WS 11/12 Einführung 76