




Computergraphik I

Einführung & Displays



G. Zachmann
University of Bremen, Germany
cgvr.informatik.uni-bremen.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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 2

Das Gebiet "Visual Computing"

- *Visual Computing* = Informatik-Disziplinen "mit Bildern"
- Computergraphik, Maschinelles Sehen und Bildverarbeitung stehen in einem engen Zusammenhang

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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 3

Was ist Computergraphik?

Modelling
(Beschreibung der 3D Geometrie und Szene)

➔

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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 4




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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 7

 **Anwendungen der Computergraphik** 

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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 8

 **Kinofilme** 



Pixar: Monster's Inc.



Square: Final Fantasy

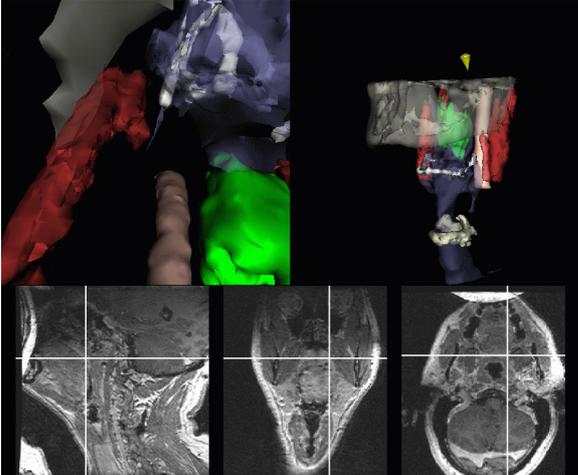
G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 9

 Spiele 

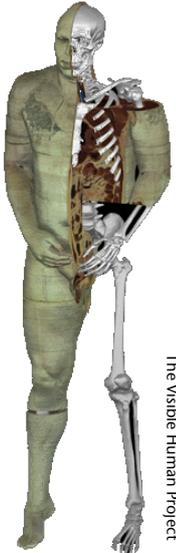


G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 10

 Medizinische Darstellungen 



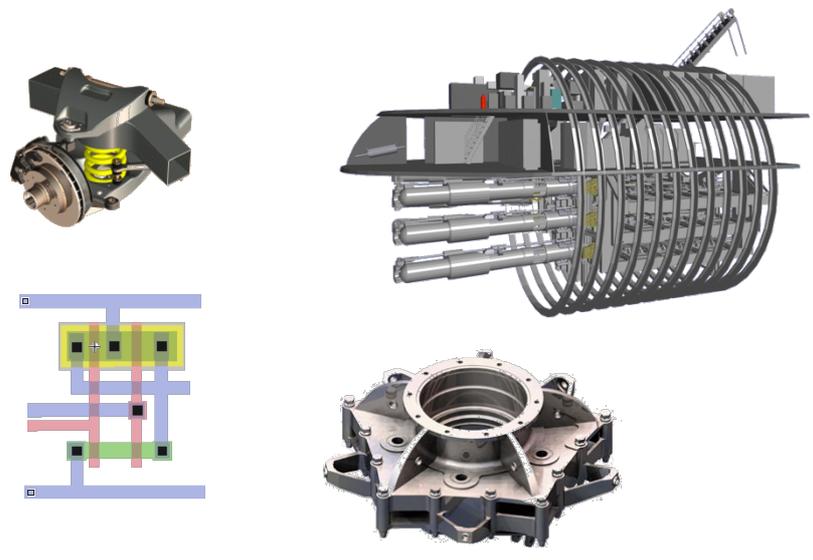
MIT: Image-Guided Surgery Project



The Visible Human Project

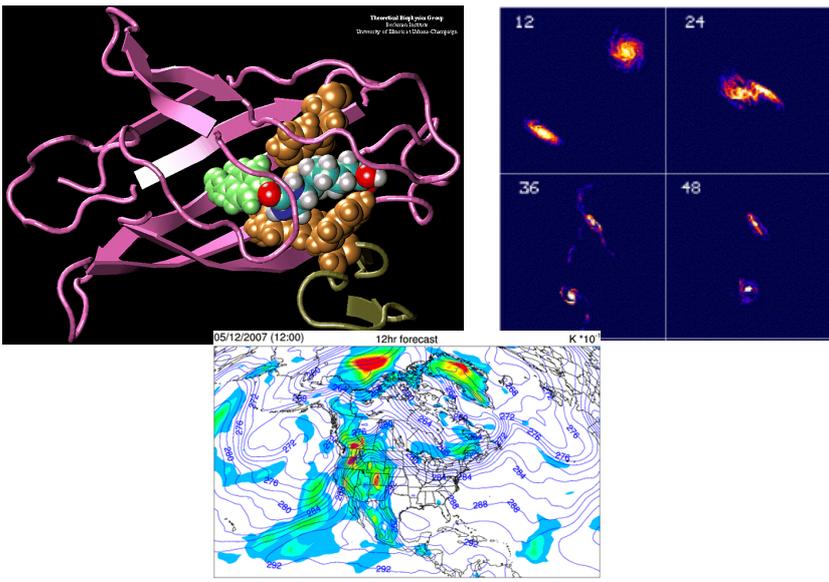
G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 12

 **Computer Aided Design (CAD)** 



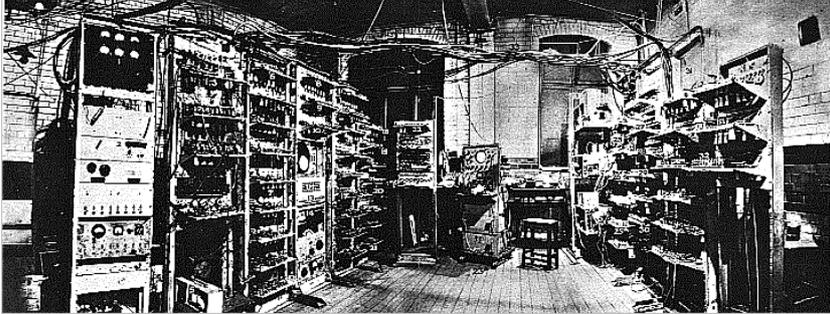
G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 13

 **Visualisierung wissenschaftlicher Daten** 

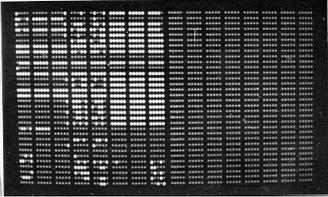


G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 14

 Kurze Historie der Computergraphik 



Manchester Mark I

- Am Anfang: noch nicht einmal Text-Displays → 

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 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, ...



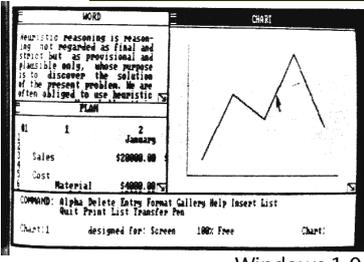

"The Mother of all Demos"

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 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



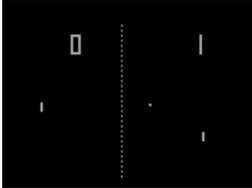
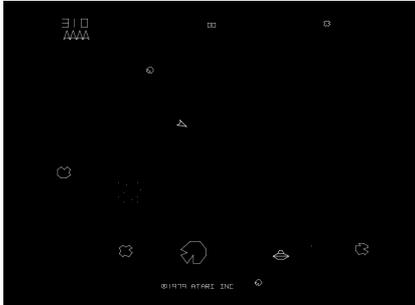
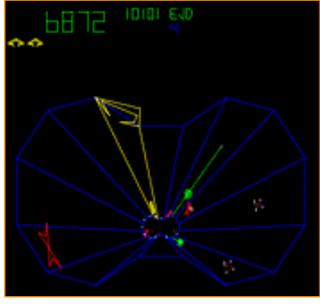



Windows 1.0

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 17

Erste Spiele

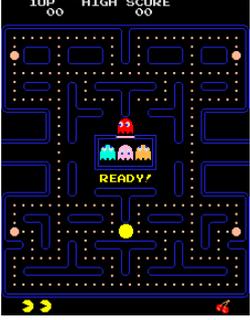
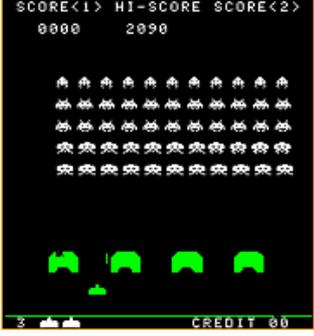
- Zunächst noch reine Vektorgraphik:
 - Pong
 - Asteroids
 - Star Wars

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 18




- Dann Rastergraphik:
 - Space Invaders
 - Pac Man

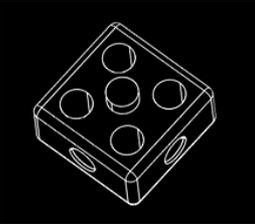



G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012
Introduction & Displays 19




Rendering: 1960 (Sichtbarkeit)

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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012
Introduction & Displays 20

 **Rendering: 1970 (Beleuchtung)** 

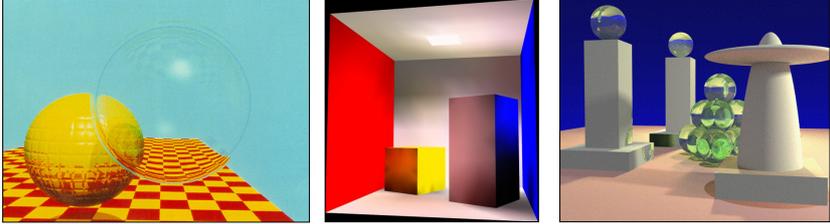
- Raster Graphiken:
 - Gouraud (1971) – diffuse Beleuchtung
 - Phong (1974) - spiegelnde Beleuchtung
 - Blinn (1974) – gewölbte Oberflächen, Texturen
 - Catmull (1974) – verdeckte Flächen mittels Z-Buffer



G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 21

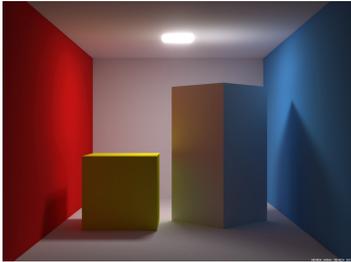
 **Rendering: 1980, 1990 (Globale Beleuchtung)** 

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



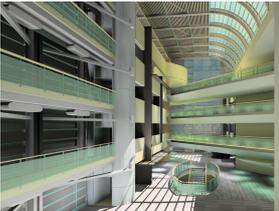
G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 22

UJ 



G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 23

UJ 



G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 24

 Beleuchtungseffekte bei polygonalem Rendering 

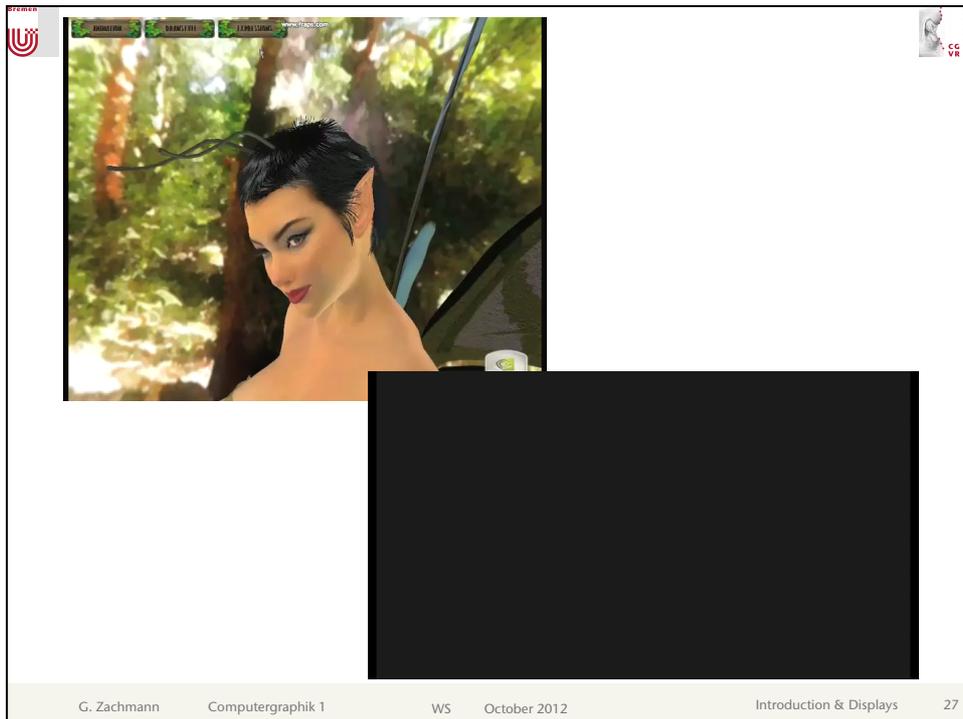


G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 25

 Polygonales Rendering heute ... 



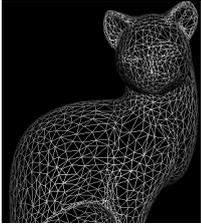
G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 26



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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 28

Displays

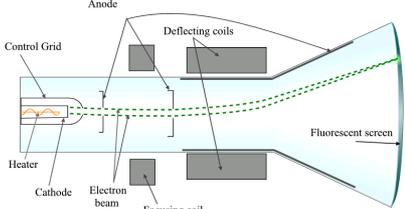
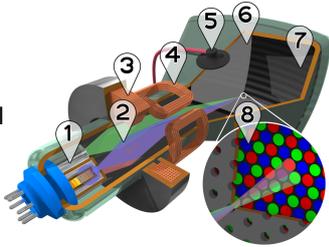
- CRTs,
- LCDs,
- DMDs,



G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 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

Battlezone

Tempest

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012
Introduction & Displays 31

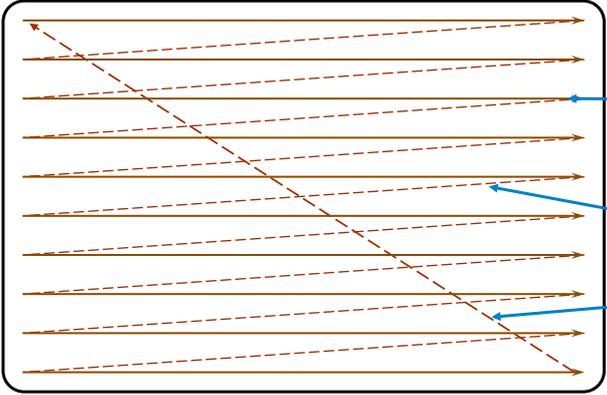
Aktualisieren

- 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 Computergraphik 1 WS October 2012
Introduction & Displays 32

Rastergraphik (Raster / Scanline Displays)

- Heutzutage sind fast alle Displays Raster-basiert



Raster oder Scan Line

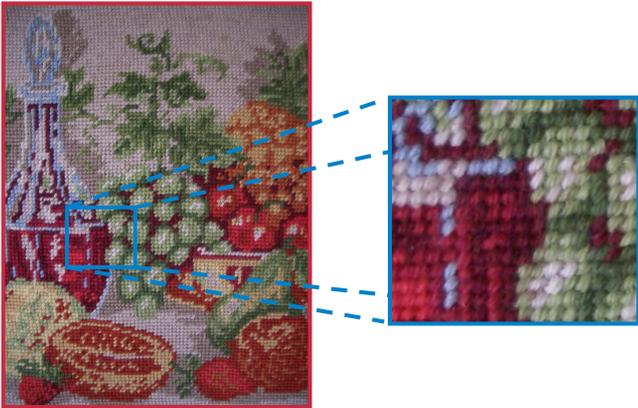
Horizontaler Rücksprung

Vertikaler Rücksprung

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 33

Bildraster

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



G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 34

U Demo

tv2.html

file:///Users/zach/Data/Demos/Comp... Google

tv2.html

Scanning Speed

Brightness

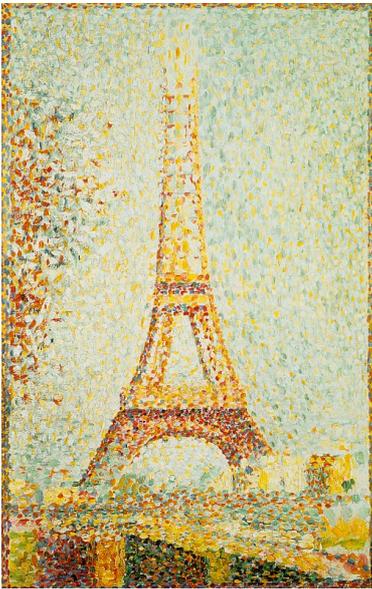
Images loaded.

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 35

U Die Pointillisten

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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 36

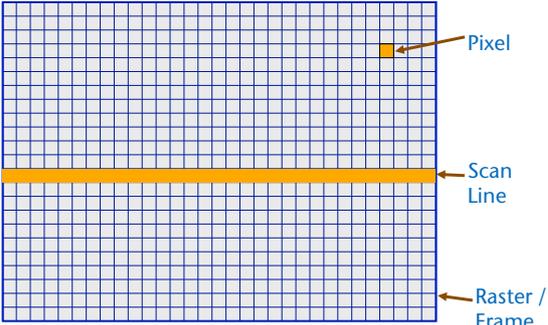


Seurat,
The Eiffel Tower,
1889

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 37

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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 38

Standardauflösungen

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
Computergraphik 1
WS
October 2012
Introduction & Displays
39

G. Zachmann
Computergraphik 1
WS
October 2012
Introduction & Displays
40

Microsoft Excel: Revolutionary 3D Game Engine? ☺

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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 41

Pixelgraphik vs. Vektorgraphik

Vektorgrafik Pixelgrafik

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 42

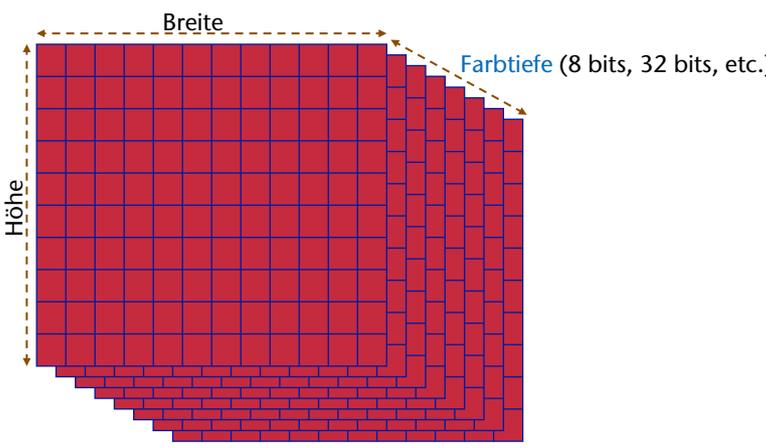
Exkurs: Pixelgraphik- vs. Vektorgraphik-Bildformate

Vektorgraphik	Pixelgraphik
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Linien- und Kurveninformationen die geometrische Eigenschaften beschreiben ▪ Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Skalierung ohne Qualitätsverlust ▪ Kompression / geringe Dateigröße ▪ Textbearbeitung ▪ PDF, SVG 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quadratische Bildpunkte, denen jeweils eine Farbe zugeordnet ist ▪ Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Programmunabhängig ▪ Bearbeitung jedes einzelnen Bildpunktes ▪ Detailreicher ▪ JPG, PNG, BMP, GIF, ...

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 43

Der Frame Buffer

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



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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 44

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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 45

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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 47

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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 48

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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 49

Das Zitat der Woche

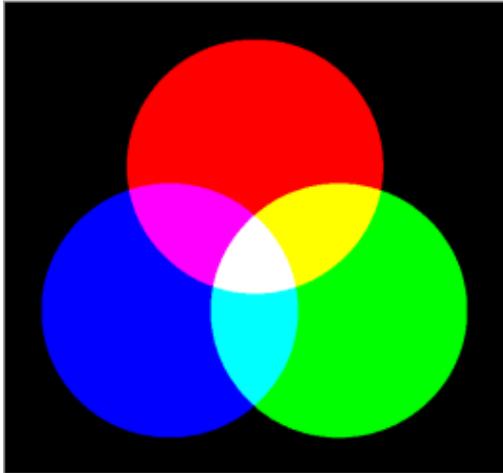
"640 Kilobyte ought to be enough for anybody."

Bill Gates, 1981

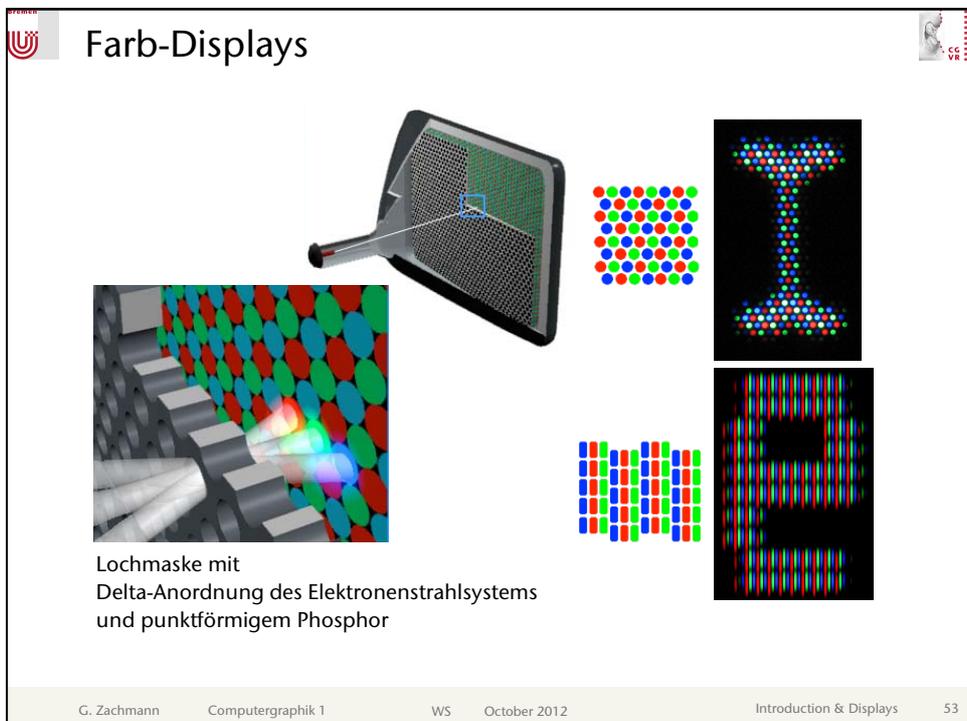
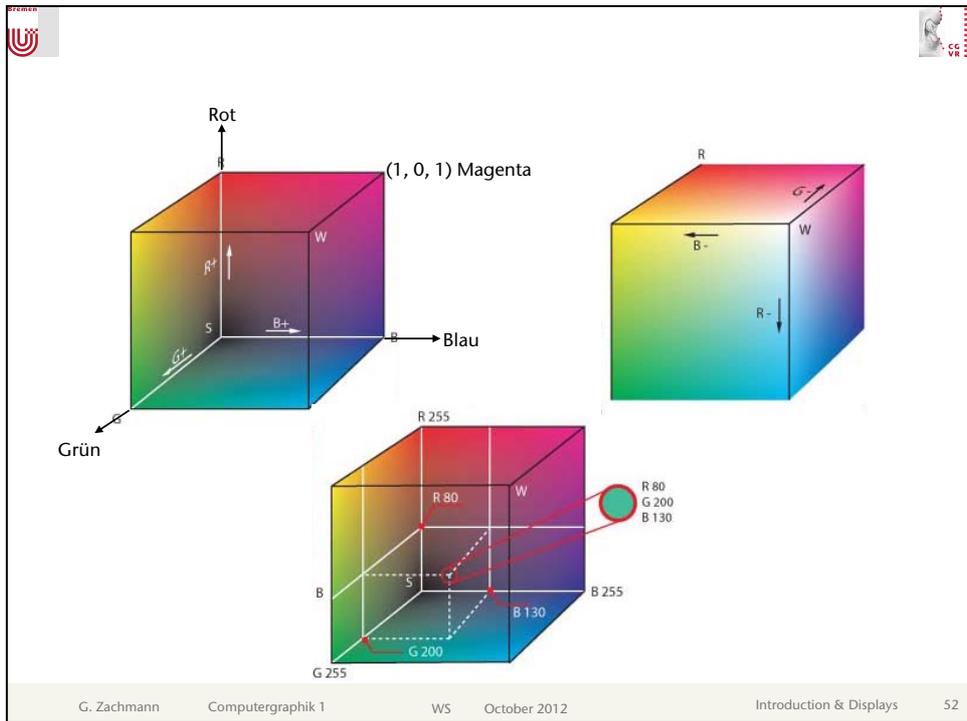
G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 50

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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 51



Demo

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

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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 54

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)

Incident Light Polarizer Twisted Nematic Cell Polarizer Transmitted Light

Incident Light Polarizer Twisted Nematic Cell Polarizer Blocked Light

Electric Field

Glass Polarizer Liquid Crystal Transparent Electrodes Glass Polarizer

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 55

 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

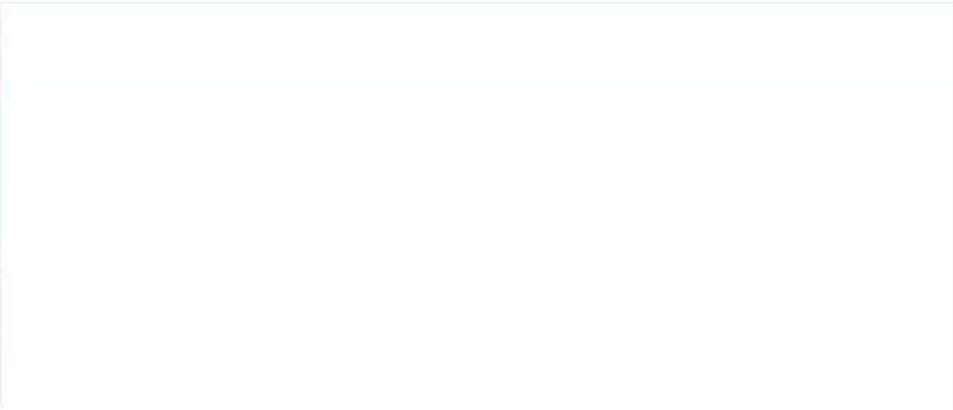
G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 56

- 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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 58

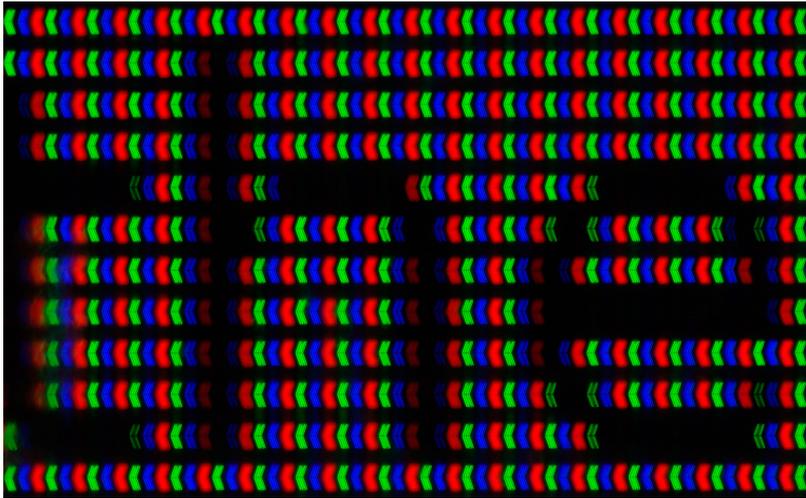
Das Ganze nochmal als Video



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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 59

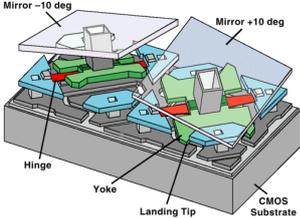
Weiterentwicklungen



G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 60

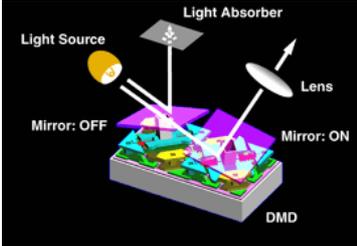
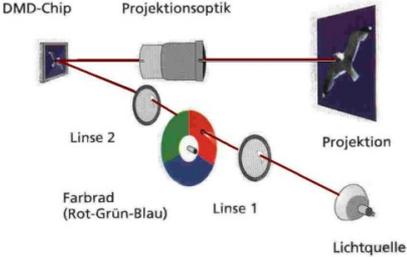
Digital Light Processing Devices

- 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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 61

- 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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 62

 Quantum Dots 

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 63

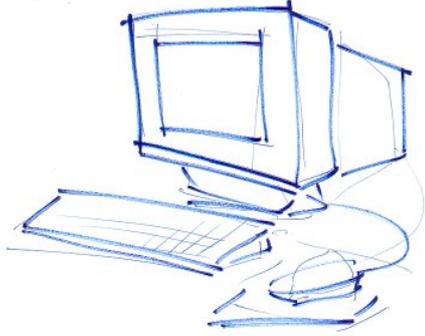
 Weitere Displays 

- Plasma
- OLEDs
- Laser ...

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 64

 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

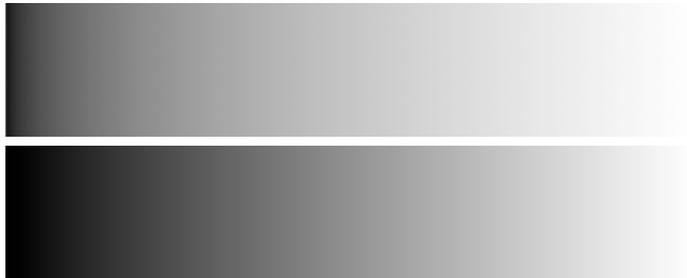


G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 65

 Die Gammakorrektur 

- Was ist hier der Unterschied?

Ohne Gammakorrektur



Mit Gammakorrektur

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 70

 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 Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 71

- 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

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

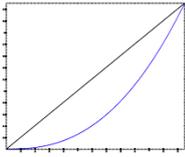
- Korrektur der wahrnehmungspsychologischen Nicht-Linearität:
 - Gegeben: j = Pixel-Wert im Framebuffer
 - Bestimme: $I_j = r^j \cdot I_{min}$
 - Evtl. in LUT ablegen (als Preprocessing / in HW)

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 72




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

$$I = I_{\max} \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^\gamma$$
 - Typischer Wert ist $\gamma = 2.5$



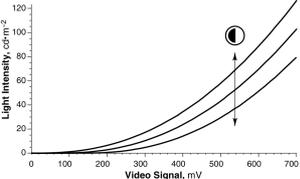
- Die Gamma-Korrektur:
 - Gegeben I_j
 - Bestimme:

$$V_j = \left(\frac{I_j}{I_{\max}} \right)^{1/\gamma} \cdot V_{\max}$$
 - Passiert nach der DA-Konvertierung (oder gleichzeitig) auf Rechnerseite

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 73




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



- Wahrnehmungspsychologische Korrektur "für Arme":
 - Approximiere

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

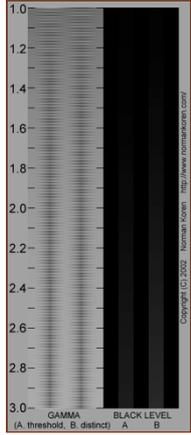
$$I_j \approx j^\gamma \cdot I_{\min}$$
 - Damit wird

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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 74

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



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

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

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 75

Das Chaos & die Lösung

- Das Chaos (jahrzehntelang):
 - Verschiedene Monitor- und System-Gammas
 - Unklarheit darüber, an welcher Stelle in der Pipeline die Gamma-Korrektur gemacht werden soll:
 - Im Bild? (manche Tools haben das Bild schon gamma-korrigiert abgespeichert!)
 - In der Software? (= vor dem sog. Frame-Buffer, d.h., im Browser, Video-Spiel, Photoshop, ...)
 - In der Graphikkarte? (= beim Auslesen und Konvertieren des Frame-Buffers)
 - Im Monitor? (= vor der Ansteuerung der CRT-Kanone / der LCD-Transistoren)
- Die Lösung: *Color Profiles*
 - Speichern Info, ob das Bild schon gamma-korrigiert wurde, und – falls ja – mit welchem Gamma (speichern noch viel mehr, u.a. den Farbraum)
 - Kann man in moderne Bildformate einbetten (z.B. JPG, TIF, PNG)

G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 76

The image shows a large, empty rectangular frame with a thin black border. In the top-left corner, there is a small red logo with the word "fremm" above it. In the top-right corner, there is a small red logo with the text "CC BY-NC-SA" below it. At the bottom of the frame, there is a light gray footer bar containing the text: "G. Zachmann Computergraphik 1 WS October 2012 Introduction & Displays 77".