

Rechnernetze und Internettechnologien

Dr. Harald Sack
Institut für Informatik
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Sommersemester 2008

<http://www.informatik.uni-jena.de/~sack/SS08/>

Rechnernetze und Internettechnologien

1 2 28.04.2008 – Vorlesung Nr. 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

2. Grundlagen der Digitalisierung - Datenrepräsentation im Computer

Rechnernetze und Internettechnologie
Dr.rer.nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

2

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Farbe und Farbmodelle (2/13)



Thomas Young
(1773-1829)

- **Th. Young** (1801) weist nach, dass das menschliche Auge nur in der Lage ist, 3 Grundfarben wahrzunehmen (**3-Farbtheorie**)
- Alle übrigen wahrgenommenen Farben ergeben sich durch **Mischung** der 3 Grundfarben in unterschiedlicher Intensität



Max Planck
(1858- 1947)

- **Max Planck** (1900) weist Zusammenhang zwischen Strahlungsfrequenz (Farbe des Lichts) und Temperatur nach (**Schwarzkörperstrahlung und Farbtemperatur**)
- „In einem geschlossenem Hohlraum stellt sich eine nach allen Richtungen gleiche **elektromagnetische Strahlung bestimmter Gesamtenergie und bestimmter spektraler Verteilung ein, die nur von der Temperatur der Hohlraumwände abhängt.**“



Rechnernetze und Internettechnologien

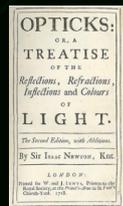
2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Farbe und Farbmodelle (3/13)

○ Farbmodelle



Isaac Newton
(1643-1727)



- Um Farben korrekt (auf dem Computer) reproduzieren zu können dienen **mathematische Farbmodelle**
- Diese basieren auf **unterschiedlichen Arten der Mischung** von Anteilen der jeweiligen Grundfarben, deren Helligkeit und anderer Farbeigenschaften

Newton (1704) verbindet die beiden Enden des optischen elektromagnetischen Spektrums zum **Farbkreis**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

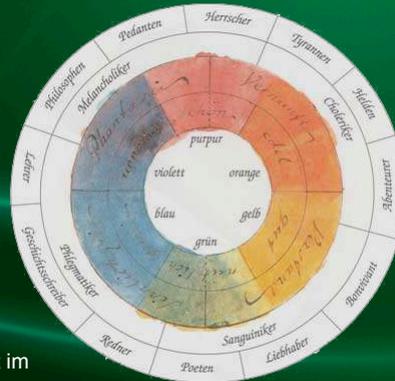
- **Farbe und Farbmodelle (4/13)**

- **Farbmodelle**



Johann Wolfgang v. Goethe (1749-1832)

- Auch **Goethe** beschäftigte sich mit der Farbenlehre. Er entwickelte einen Farbkreis und ordnete den einzelnen Farben spezifische Eigenschaften zu.
- **Goethe** vertrat im Gegensatz zu **Newton** die Ansicht, dass sich das weisse Licht nicht aus monochromatischen Komponenten zusammensetzt (Spektrum), sondern Farbe erst im Auge entsteht



Farbenkreis zur Symbolisierung des menschlichen Geistes- und Seelenlebens, 1809

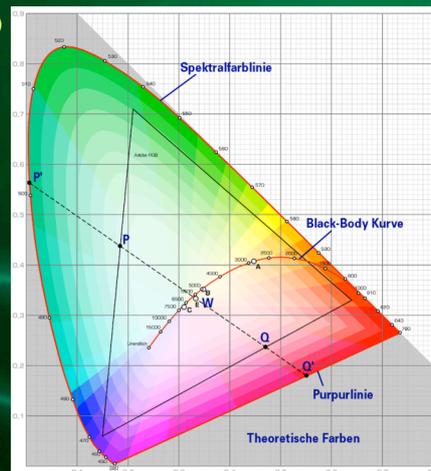
Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Farbe und Farbmodelle (5/13)**

- **Farbmodelle**

- 1931 wurde als erstes Modell zur objektiven Farbbestimmung die **Farbnormtafel** von der internationalen Beleuchtungskommission festgelegt (*Commission Internationale d'Eclairage, CIE*)
- Farben werden aus Farbanteilen der Grundfarben (Rot, Grün, Blau) gemischt und in ein 2-dimensionales Koordinatensystem projiziert



CIE Farbnormtafel, 1931

Rechnernetze und Internettechnologien

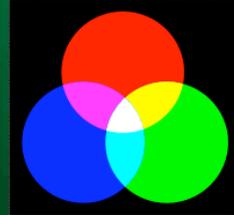
2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Farbe und Farbmodelle (6/13)**

- **RGB-Farbmodell**

- additive Farbmischung
- Mischung **selbstleuchtender** Grundfarben
 - **Rot** (700nm)
 - **Grün** (546,1nm)
 - **Blau** (435,8nm)

additive Farbmischung



- Farbe wird als **Tripel (r,g,b)** aus den jeweiligen Farbanteilen angegeben

- z.B. bei 8 Bit pro Farbkanal:

gelb = (255,255,0)



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Farbe und Farbmodelle (7/13)**

- **RGB-Farbmodell**

- Beispiel



additive Farbmischung



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

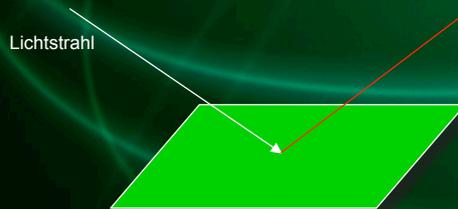
- **Farbe und Farbmodelle (8/13)**

- **CMY(K)-Farbmodell**
 - subtraktive Farbmischung
 - Farbe entsteht durch **Reflektion/Absorption** an unterschiedlichen Oberflächen

subtraktive Farbmischung



Lichtstrahl



bestimmte Farbanteile werden **reflektiert**, andere **absorbiert**

- Grundfarben **C**yan / **M**agenta / **Y**ellow
- **Druckprinzip**: Farbpigmente der Grundfarben werden auf weiße Oberfläche aufgetragen

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Farbe und Farbmodelle (9/13)**

- **CMY(K)-Farbmodell**
 - Beispiel



subtraktive Farbmischung

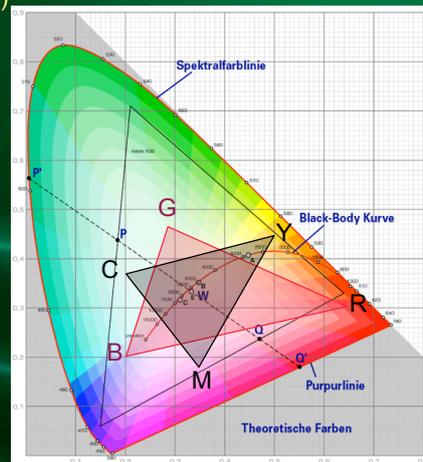


Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Farbe und Farbmodelle (10/13)**

- **Probleme der Farbdarstellung**
 - Ausgabegeräte des Computers verfügen über **unterschiedliche Farb Räume**
 - Bildschirm: RGB
 - Drucker: CMY, CMYK
 - Konvertierung von einem Farb-
raum in den anderen ist oft
problematisch



CIE Farbnormtafel, 1931

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Farbe und Farbmodelle (11/13)**

- **YUV-Farbmodell**
 - Zerlegung der Farben in
 - **Helligkeitsanteil** (Luminanz) – **Y**-Komponente
 - **Farbanteil** (Chrominanz) – **U** und **V** Komponente
 - Historisch in Verbindung mit dem **Farbfernsehens** entstanden
 - Rückwärtskompatibilität mit Schwarzweiß-Empfängern
 - daher separater Helligkeitskanal
 - Ausnutzung der unterschiedlichen Empfindlichkeit des menschlichen Auges für Helligkeits- und Farbunterschiede



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Farbe und Farbmodelle (12/13)**

- **YUV-Farbmodell**



rot



grün



blau

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Farbe und Farbmodelle (13/13)**

- **YUV-Farbmodell**



Y



U



V

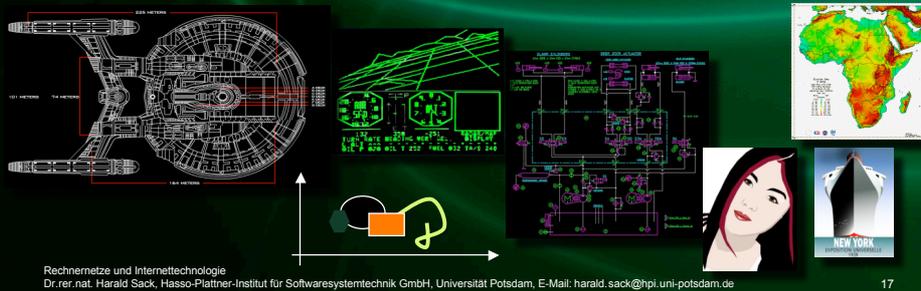
Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Raster- und Vektorgrafik (1/2)**

- **Vektorgrafik**

- **Linien, Polygone, Kurven** werden durch Angabe von Schlüsselpunkten charakterisiert
- zusätzliche Attributinformationen wie **Farbe, Linienstärke**, etc.
- Programm rekonstruiert daraus die darzustellende Figur



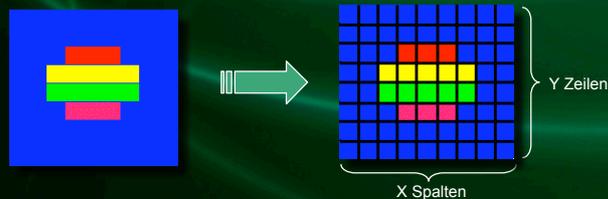
Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Raster- und Vektorgrafik (2/2)**

- **Bitmapgrafik**

- Grafik wird in Matrix aus einzelnen Bildpunkten (**Pixel**) aufgerastert (Rastergrafik). Als Pixel bezeichnet man das kleinste, auf einem Computerbildschirm darstellbare Element.
- kontinuierliches Bild wird räumlich diskretisiert → **Rasterung**
- jeder Pixel erhält Farb-/Helligkeitswert → **Quantisierung**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Grafik - Metadaten (1/1)

- Charakteristische Bildeigenschaften werden als **Grafik-Metadaten** bezeichnet.
- Dazu zählen z.B.
 - Bildauflösung
 - *Pixelmaße (x/y-Dimension)*
 - Farbtiefe
 - *wird als $\log_2(\text{max Farbanzahl}) = \text{Bits pro Pixel}$ angegeben*
 - Farbpalette
 - *Auswahl verfügbarer Farben, um Speicherplatz zu sparen...*
 - Dichte (Pixel Density)
 - *wird in dpi (dots per inch) angegeben*
 - Seitenverhältnis (Aspect Ratio)
 - *z.B. 16:9 oder 4:3*

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Einfache Grafikdatenformate (1/10)

- **BMP - Bitmap**
 - Einfachstes Rastergrafikdatenformat
 - Farbtiefe: 1- /4- /8- /24-Bit
 - Komprimierung: keine / RLE
 - Max. Größe: $2^{16} \times 2^{16}$ Pixel (65536 x 65536)



1-Bit



4-Bit



8-Bit



24-Bit

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Einfache Grafikdatenformate (2/10)**

- **BMP - Bitmap**
- Dateiaufbau



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Einfache Grafikdatenformate (3/10)**

- **Graphic Interchange Format - GIF**
- weit verbreitetes Rastergrafikdatenformat für **einfache, computergenerierte, grafische Objekte** (z.B. Icons) mit geringer Farbtiefe
- Farbtiefe: 1-8 Bit
- Komprimierung: LZW
- Max. Größe: $2^{16} \times 2^{16}$ Pixel (65536 x 65536)
- Copyright-geschützt (CompuServe Inc., bis 2004)
- GIF87a und GIF89a



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Einfache Grafikdatenformate (4/10)**

- **Graphic Interchange Format - GIF**

- **Transparenz:**

- eine transparente Farbe kann festgelegt werden
- Transparenz wird als Alpha-Kanal bezeichnet (Abstufungen der Transparenz sind möglich)
- GIF ermöglicht folglich:

Farbtiefe: bis zu 8-Bit
Alpha-Kanal: 1 Bit



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Einfache Grafikdatenformate (5/10)**

- **Graphic Interchange Format - GIF**

- **Animated GIF:**

- Speicherung mehrerer Bilder in einem GIF-Datensatz möglich
- Einzelbilder können als aufeinander folgende Bildsequenz dargestellt werden



- **Farbpalette**

- GIF ermöglicht die gleichzeitige Darstellung von 256 unterschiedlichen Farben (=2⁸, 8-Bit Farbtiefe)
- Diese können aber aus 2²⁴ möglichen Farben ausgewählt werden



Rechnernetze und Internettechnologien

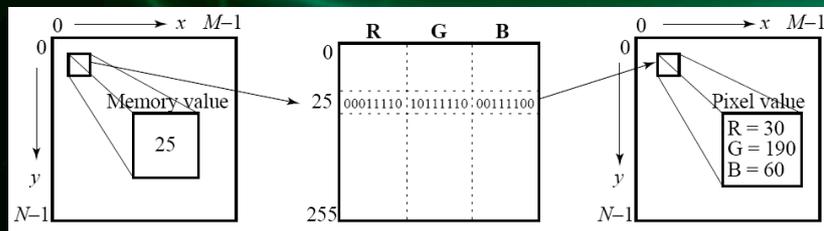
2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Einfache Grafikdatenformate (6/10)**

- **Graphic Interchange Format - GIF**

- **Farbpalette**

- Die Idee hinter der Nutzung einer Farbpalette besteht darin, anstelle des (R,G,B)-Tripels nur einen Indexwert abzuspeichern, dessen Farbwert im Color Lookup Table gespeichert wird.



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Einfache Grafikdatenformate (7/10)**

- **Graphic Interchange Format - GIF**

- Wie stellt man Bilder mit **mehr als 256 Farben** dar?

- Approximation oder **Dithering**
(Farbmischung, z.B. hellblau = blau/weiß)



- Qualität der Darstellung ist abhängig vom gewählten Ditheringverfahren



256 Farben



32 Farben



8 Farben

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

Original, 24-Bit



8-Bit, no-dithering, adaptiv



Rechnernetze und Internettechnologie
Dr.rer.nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

27

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

Original, 24-Bit



8-Bit, dithering, adaptiv



Rechnernetze und Internettechnologie
Dr.rer.nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

28

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Einfache Grafikdatenformate (10/10)**

- **Portable Network Graphics - PNG**

- soll GIF ablösen
- Farbtiefe: bis 48 Bit
- keine Beschränkung der Bilddimension
- verlustfreie und lizenzfreie Komprimierung (LZ77-Komprimierung)
- 10-30 % bessere Kompression als GIF
- Alphakanal: 8-Bit ermöglicht **stufenlose Transparenz**
- Gamma-Korrektur (Anpassung an verschiedene Ausgabegeräte)
- Interlace-Darstellungsmöglichkeit

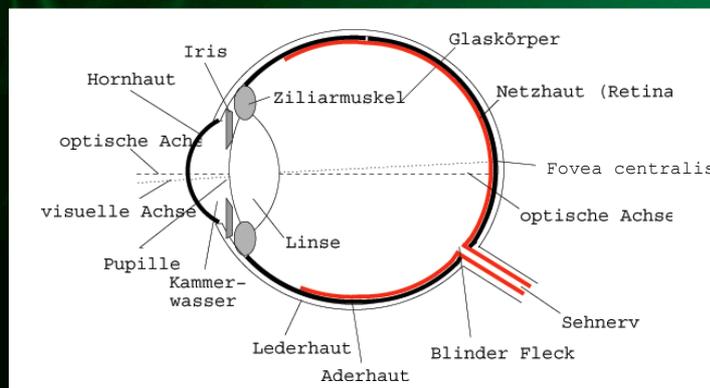


Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Visuelle Wahrnehmung des Menschen (1/2)**

- **Das menschliche Auge**

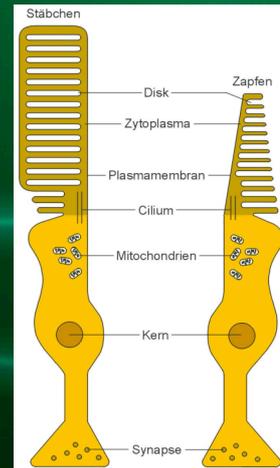


Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Visuelle Wahrnehmung des Menschen (2/2)

- **Licht- / Farbempfindlichkeit**
 - Netzhaut enthält zwei Typen von Lichtrezeptoren im menschlichen Auge:
 - **Zapfen**
Farb- und Helligkeitsempfindlich, verantwortlich für Farbsehen, im zentralen Retinabereich, ca. 6 Millionen, man unterscheidet **drei Typen von Zapfen**, die jeweils über unterschiedliches Sehpigment verfügen
 - **Stäbchen**
Helligkeitsempfindlich auch bei geringer Beleuchtung im peripheren Retinabereich ca. 120 Millionen



Rechnernetze und Internettechnologie
Dr.rer.nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

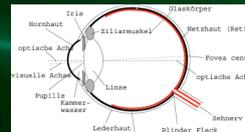
31

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (1/22)

- JPEG, Joint Photographic Experts Group
- **verlustbehaftete** Komprimierung
- sehr gut geeignet für **natürliche Bildquellen**
- Komprimierung bis **1:20** bei kaum nennenswerten Verlust der Darstellungsqualität
- Ausnutzung der Physiologie der **menschlichen Wahrnehmung**
 - Das menschliche Auge reagiert auf Änderungen der Helligkeit empfindlicher als auf Farbänderungen



Rechnernetze und Internettechnologie
Dr.rer.nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

32

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (2/22)**

- **Natürliche Bildquellen**
 - häufig Farb- / Helligkeitsverläufe
 - häufig keine starken Kontrastschwankungen



Helligkeit benachbarte Bildpunkte unterscheidet sich kaum

Idee:

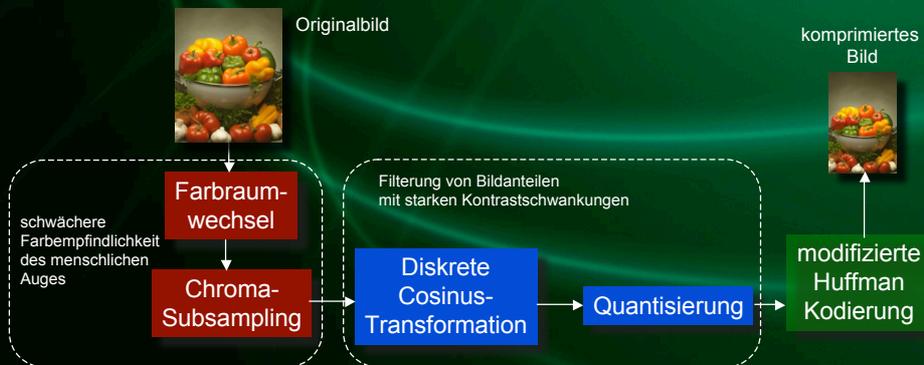
Das Herausfiltern von Bildanteilen mit starken Kontratschwankungen fällt bei den meisten „natürlichen“ Bildern nicht auf

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (3/22)**

- **JPEG-Komprimierung - Ablauf**

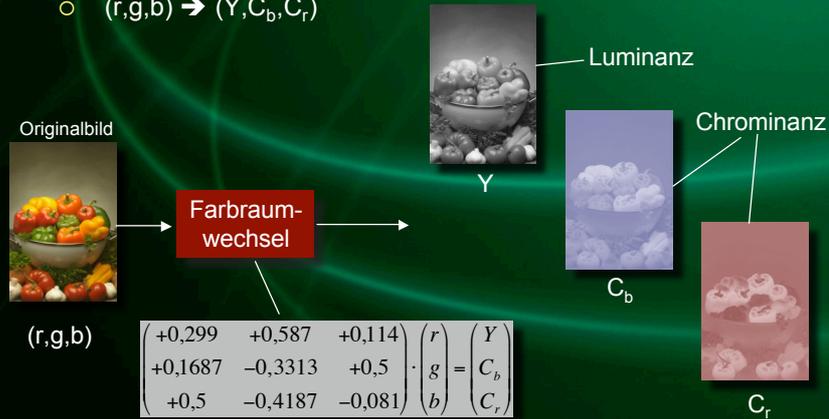


Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (4/22)**

- **JPEG-Komprimierung – Farbraumwechsel**
- $(r,g,b) \rightarrow (Y,C_b,C_r)$



Rechnernetze und Internettechnologie
Dr.rer.nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

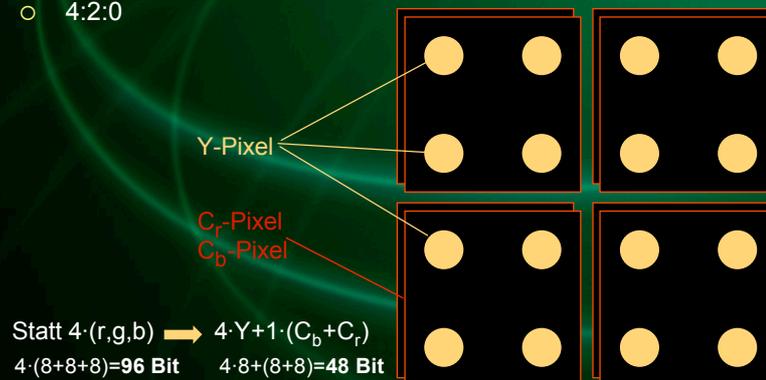
35

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (5/22)**

- **JPEG-Komprimierung – Chroma-Subsampling**
- 4:2:0



Rechnernetze und Internettechnologie
Dr.rer.nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

36

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (6/22)**
 - **JPEG-Komprimierung – Chroma-Subsampling**
 - Beispiel



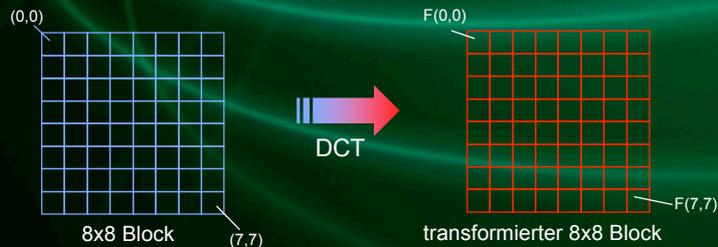
4:2:0 Subsampling
285 KB

Original PNG
968 KB

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

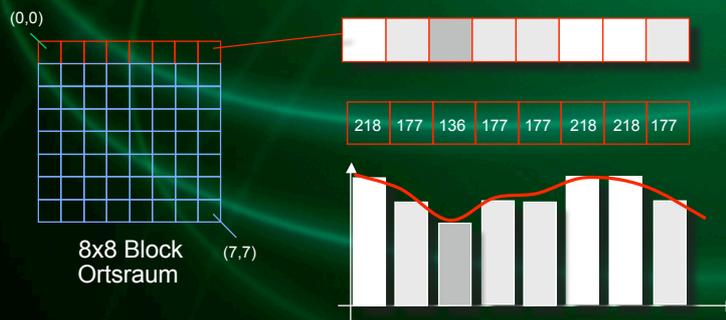
- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (7/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**
 - versetzt einzelne Helligkeitswerte von **Ortsraum** in **Frequenzraum**
 - Jede Komponente (Y, C_b, C_r) wird separat transformiert
 - Bild wird dazu in Blöcke 8x8-Pixel zerlegt



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (8/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

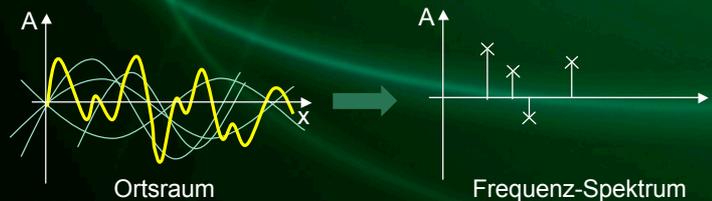
- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (9/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**
 - Prinzip der Fourier-Transformation

Jean-Baptiste Joseph Baron de Fourier (1768-1830):

Jede periodische Funktion lässt sich als Summe von Sinus- und Cosinus-Funktionen darstellen.



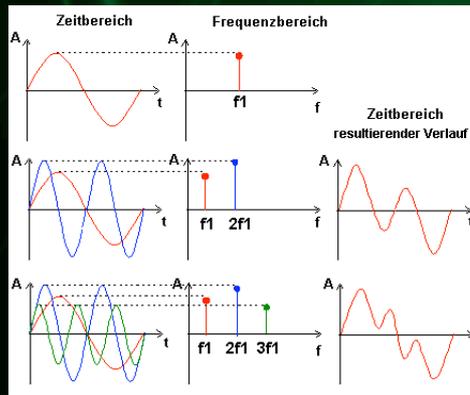
$$f(x) = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cos(ix) + b_i \sin(ix))$$



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (10/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**
 - Prinzip der Fourier-Transformation



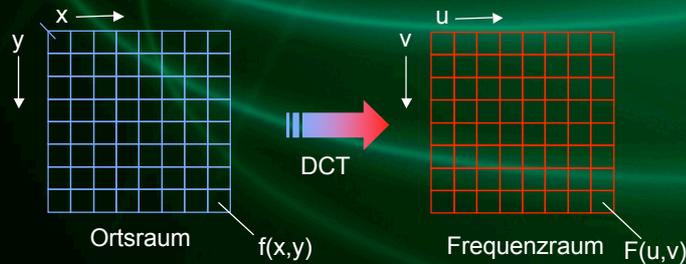
- Jede periodische Schwingung kann als eine **Überlagerung von Sinusschwingungen** unterschiedlicher Amplituden und Frequenzen dargestellt werden
- Trägt man die Amplituden der beteiligten Schwingungen in Abhängigkeit der Frequenz auf, erhält man das **Frequenzspektrum**

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (11/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u)C(v) \left[\sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right] \text{ mit } C(z) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & , z = 0 \\ 1 & , \text{sonst} \end{cases}$$

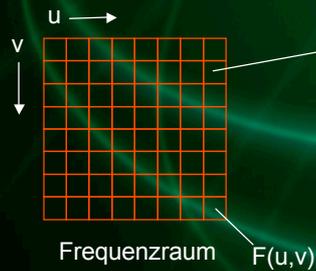


Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (12/22)**

- **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**



- Jeder Punkt bezeichnet Anteil einer bestimmten Frequenz
- $F(0,0)$ - niedrigste Frequenz
- $F(7,7)$ - höchste Frequenz

Niedrige Frequenz = langsame Änderung
Hohe Frequenz = rasche Änderung

„natürliche“ Bilder besitzen viele kontinuierliche Farb-/Helligkeitsübergänge
d.h. Hauptanteil der Bildinformation liegt in den **niedrigen Frequenzen**

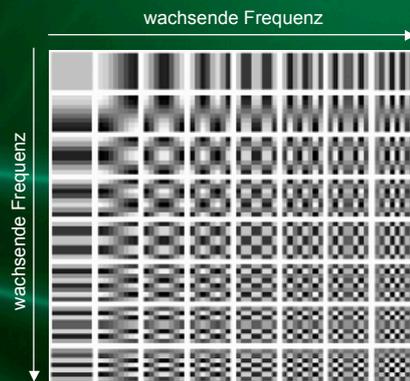
Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (13/22)**

- **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**

- große, regelmäßig gefärbte Flächen → **niedrige Frequenzanteile**
- feine Details, hohe Kontrastunterschiede → **hohe Frequenzanteile**
- **DC** (Direct Current) = $F(0,0)$ enthält Durchschnittswert der 8x8-Matrix
- **AC** (Alternating Current) = $F(0,1) \dots F(7,7)$ speichern Veränderungen zum DC

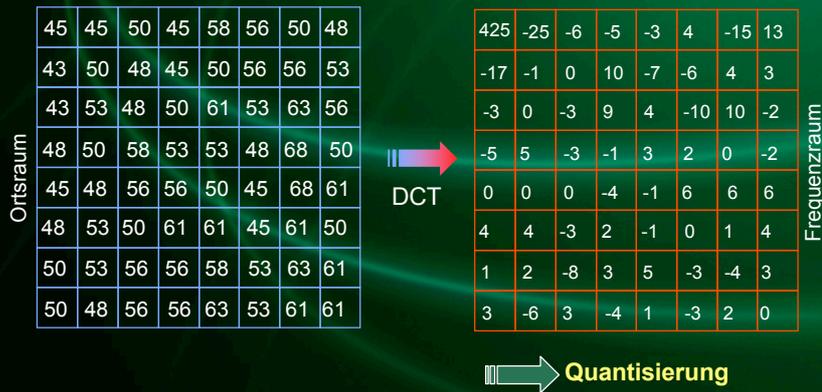


Visualisierung der Basisfrequenzen

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

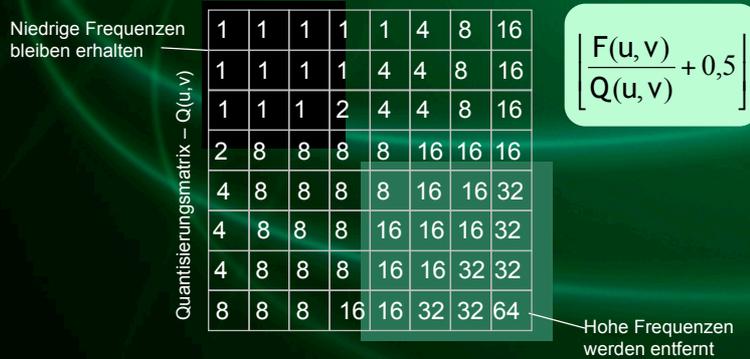
- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (14/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (15/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (18/22)**

- **JPEG-Komprimierung – Dekodierung**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (19/22)**

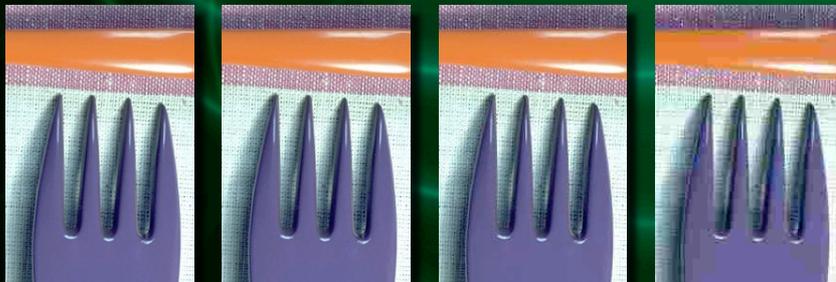
- **JPEG-Komprimierung – Bildqualität**

Quality : 100%
Size: 54,124 bytes

Quality : 90%
Size: 21,868 bytes

Quality : 50%
Size: 9,096 bytes

Quality : 10%
Size: 3,519 bytes



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung



Rechnernetze und Internettechnologie
Dr.rer.nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

51

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung** (21/22)
 - **JPEG 2000**
 - Höhere Qualität bei gleicher Komprimierung
 - Höhere Komprimierung bei gleicher Qualität
 - Bildgröße bei JPEG auf 65k x 65k beschränkt, bei JPEG 2000 auf $2^{32} \times 2^{32}$
 - Unterstützt verlustfreie UND verlustbehaftete Komprimierung
 - verwendet statt **DCT** eine **Wavelet-Transformation**
 - **Wavelets** sind keine periodischen Funktionen wie sinus/cosinus, sondern nur „kurze, ungleichmäßige Pulse“, die nach wenigen Schwingungen enden
 - nicht-periodische Signale lassen sich mit Wavelets in besserer Qualität komprimieren (bis zu 100:1)

Rechnernetze und Internettechnologie
Dr.rer.nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

52

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (22/22)**
 - **JPEG2000 Bildqualität**
 - Vergleich mit herkömmlicher JPEG Komprimierung



JPG (DCT)

JPG2000

Rechnernetze und Internettechnologien

2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer

- **Literatur**
 - Ch. Meinel, H. Sack:
WWW– Kommunikation, Internetworking, Web-Technologien,
Springer, 2004.
 - P.A. Henning:
Taschenbuch Multimedia,
3. Aufl., Fachbuchverlag Leipzig, 2003.
 - Thilo Strutz:
*Bilddatenkompression - Grundlagen, Codierung, JPEG, MPEG,
Wavelets*,
Vieweg, 2. Aufl. 2002