



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, Heise-Pfeiffer-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@ipi.uni-potsdam.de

2

Rechnernetze und Internettechnologien

2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer

- 2.5 Grafikkodierung und -komprimierung
 - 2.5.1 Farbe und Farbmodelle
 - 2.5.2 einfache Grafikkdatenformate
 - 2.5.3 visuelle Wahrnehmung und JPEG Komprimierung
- 2.6 Audiokodierung und -komprimierung
- 2.7 Videokodierung- und komprimierung

Rechnernetze und Internettechnologie
 Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Pfeiffer-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@ipi.uni-potsdam.de

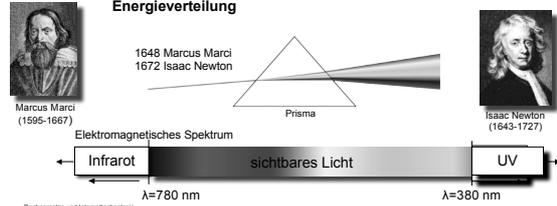
3

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

• Farbe und Farbmodelle (1/13)

- Was ist **Farbe**?
- Farben sind die Grundbestandteile des weißen Lichts
- **Prisma** zerlegt weißes Licht in seine spektralen Bestandteile
- Lichtstrahlen besitzen keine **Farbe** sondern eine **spektrale Energieverteilung**



Rechnernetze und Internettechnologie
 Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Pfeiffer-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@ipi.uni-potsdam.de

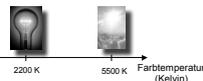
4

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

• Farbe und Farbmodelle (2/13)

- **Th. Young (1801)** weist nach, dass das menschliche Auge nur in der Lage ist, 3 Grundfarben wahrzunehmen (**3-Fartheorie**)
 - Alle übrigen wahrgenommenen Farben ergeben sich durch **Mischung** der 3 Grundfarben in unterschiedlicher Intensität
- **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 Internettechnologie
 Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Pfeiffer-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@ipi.uni-potsdam.de

5

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

• Farbe und Farbmodelle (3/13)

- **Farbmodelle**
- 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 Internettechnologie
 Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Pfeiffer-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@ipi.uni-potsdam.de

6

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

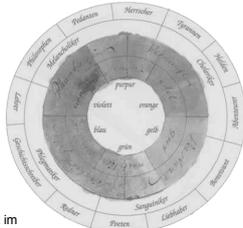
● Farbe und Farbmodelle (4/13)

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

7

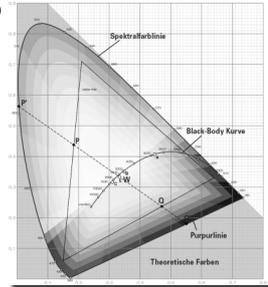
Rechnernetze und Internettechnologien

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

8

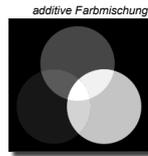
Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Farbe und Farbmodelle (6/13)

○ RGB-Farbmodell

- additive Farbmischung
- Mischung **selbsteuchtender** Grundfarben
 - **Rot** (700nm)
 - **Grün** (546,1nm)
 - **Blau** (435,8nm)
- Farbe wird als **Tripel (r,g,b)** aus den jeweiligen Farbanteilen angegeben
 - z.B. bei 8 Bit pro Farbkanal:
gelb = (255,255,0)
rot grün blau



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

9

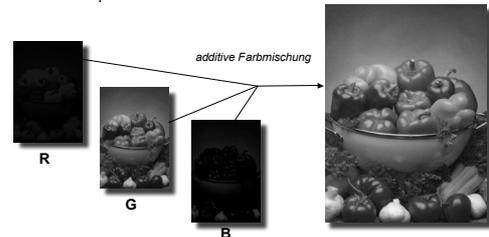
Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Farbe und Farbmodelle (7/13)

○ RGB-Farbmodell

- Beispiel



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

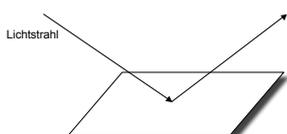
10

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
- 
- 
- Grundfarben **Cyan / Magenta / Yellow**
 - **Druckprinzip:** Farbpigmente der Grundfarben werden auf weiße Oberfläche aufgetragen

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

11

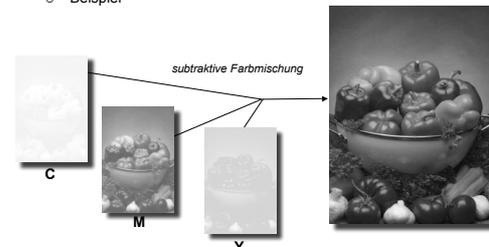
Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Farbe und Farbmodelle (9/13)

○ CMY(K)-Farbmodell

- Beispiel



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

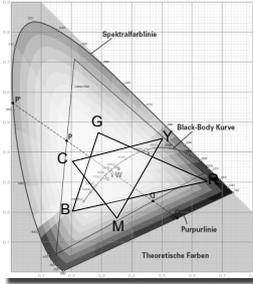
12

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Farbe und Farbmodelle (10/13)

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



CIE Farbnormtafel, 1931

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

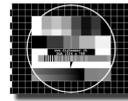
13

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 Farbfernsehen entstanden
 - Rückwärtskompatibilität mit Schwarzweiß-Empfängern
 - daher separater Helligkeitskanal
 - Ausnutzung der unterschiedlichen Empfindlichkeit des menschlichen Auges für Helligkeits- und Farbunterschiede



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

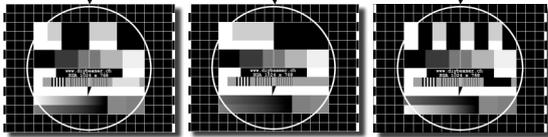
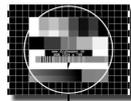
14

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Farbe und Farbmodelle (12/13)

- YUV-Farbmodell



rot

grün

blau

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

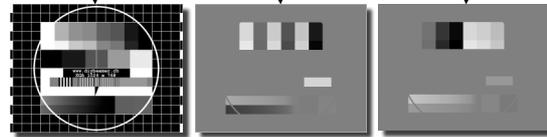
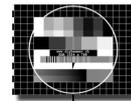
15

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Farbe und Farbmodelle (13/13)

- YUV-Farbmodell



Y

U

V

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

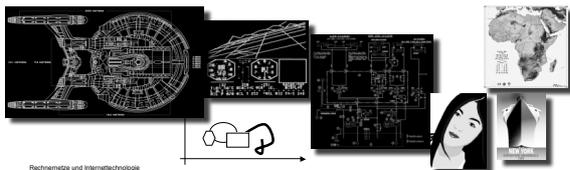
16

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

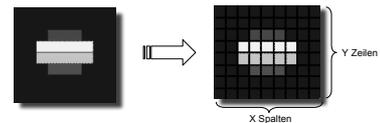
17

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

18

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 (max Farbanzahl) = 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

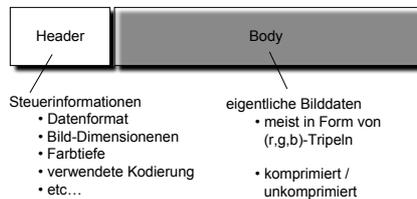
- **Einfache Grafikdatenformate** (1/10)
 - **BMP - Bitmap**
 - Einfachstes Rastergrafikdatenformat
 - Farbtiefe: 1- /4- /8- /24-Bit
 - Komprimierung: keine / RLE
 - Max. Größe: $2^{16} \times 2^{16}$ Pixel (65536 x 65536)



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

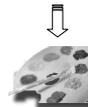
- **Einfache Grafikdatenformate** (4/10)
 - **Graphic Interchange Format - GIF**
 - **Transparenz:**
 - eine transparente Farbe kann **gelegt** werden
 - Transparenz wird als Alpha-Kanal bezeichnet (Abstufungen der Transparenz sind möglich)
 - GIF ermöglicht folglich:
 - Farbtiefe: bis zu 8-Bit
 - Alpha-Kanal: 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

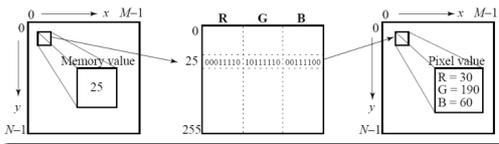


Rechnernetze und Internettechnologien

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

25

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

26

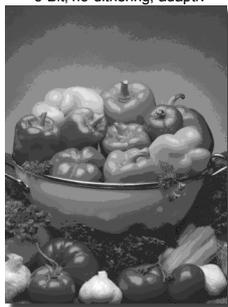
Rechnernetze und Internettechnologien

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 Software Systemtechnik 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 Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

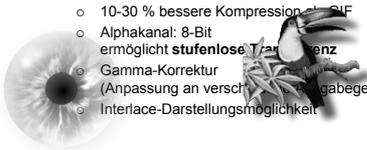
28

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

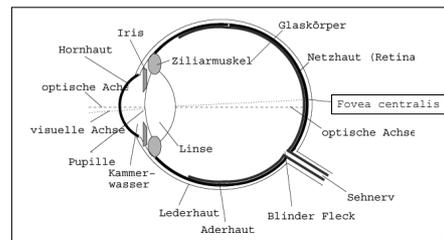
29

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

• Visuelle Wahrnehmung des Menschen (1/2)

- **Das menschliche Auge**



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

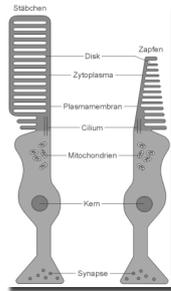
30

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

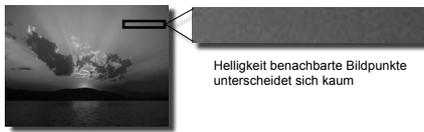
32

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (2/22)

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



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

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

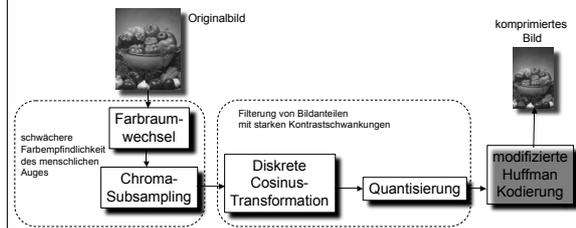
33

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (3/22)

- **JPEG-Komprimierung - Ablauf**



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

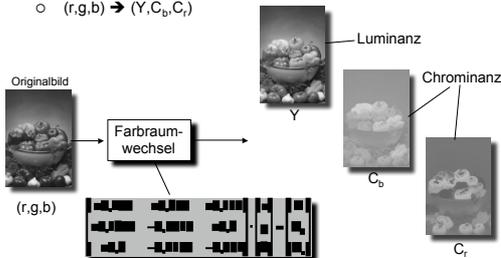
34

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

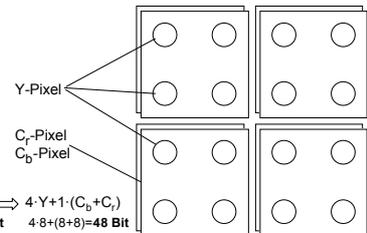
35

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

● Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (5/22)

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



Statt $4 \cdot (r, g, b) \Leftrightarrow 4 \cdot Y + 1 \cdot (C_b + C_r)$
 $4 \cdot (8+8+8) = 96 \text{ Bit} \quad 4 \cdot 8 + (8+8) = 48 \text{ Bit}$

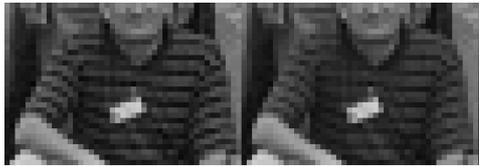
Rechnernetze und Internettechnologie
Dr. rer. nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für SoftwareSystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

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

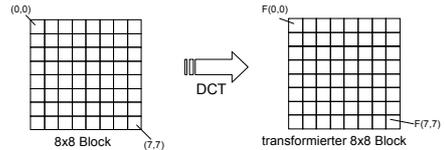
Rechnernetze und Internettechnologie
Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Profitor-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@uni-potsdam.de

37

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



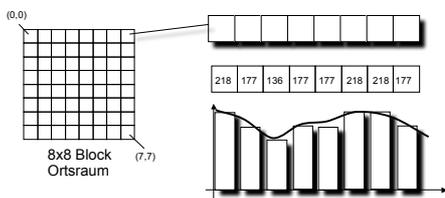
Rechnernetze und Internettechnologie
Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Profitor-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@uni-potsdam.de

38

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

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



Rechnernetze und Internettechnologie
Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Profitor-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@uni-potsdam.de

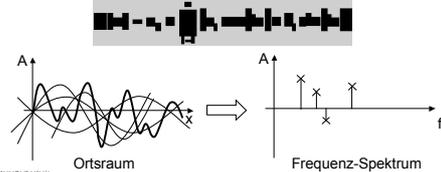
39

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.



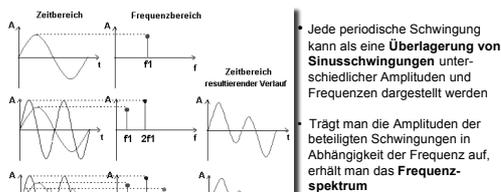
Rechnernetze und Internettechnologie
Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Profitor-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@uni-potsdam.de

40

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

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



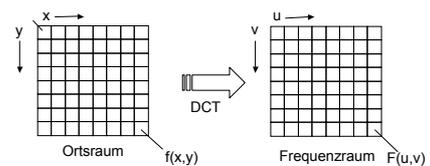
Rechnernetze und Internettechnologie
Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Profitor-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@uni-potsdam.de

41

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

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



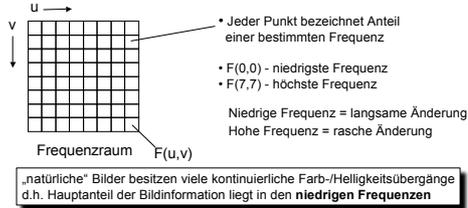
Rechnernetze und Internettechnologie
Dr. rer. nat. Harald Sack, Heise-Profitor-Institut für Software Systemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@uni-potsdam.de

42

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

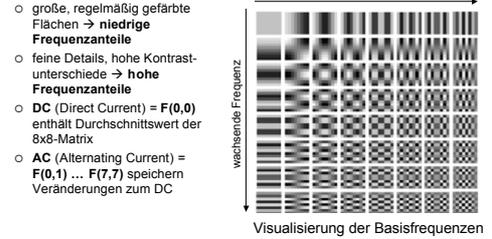
- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (12/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

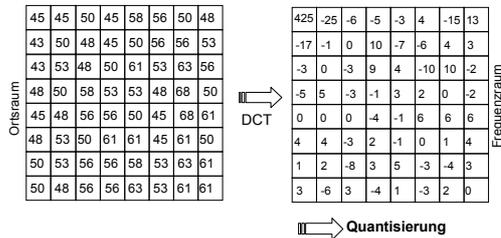
- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (13/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

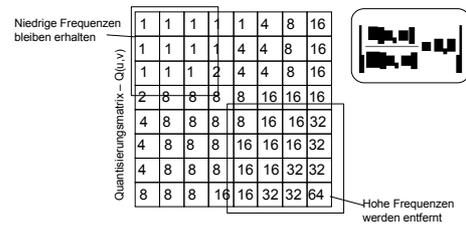
- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (14/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

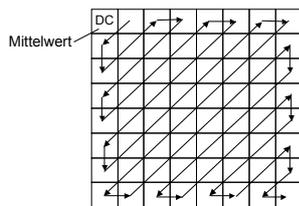
- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (15/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (16/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - Zig-Zag-Encoding**



Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete JPEG-Komprimierung (17/22)**
 - **JPEG-Komprimierung - modifizierte Huffman-Kodierung**

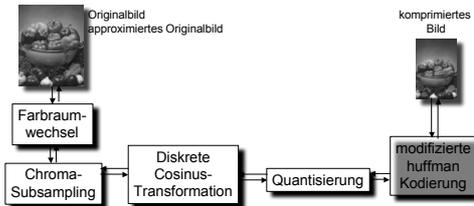
- Kodierung variabler Länge mit **fester Kodierungsvorschrift**
- Zusammenfassung von Null-Ketten mit **Laufängenkodierung (RLE-Kodierung)**

Bits	Wertebereich
1	-1, +1
2	-3,-2, +2,+3
3	-7,...-4, +4,...7
4	-15,...-8, 8,...15
5	-31,...-16, 16,...31
6	-63,...-32, 32,...63
7	-127,...-64, 64,...127
8	-255,...-128, 128,...255
9	-511,...-256, 256,...511

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

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



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

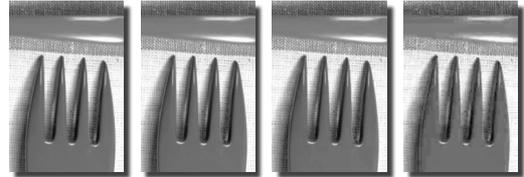
49

Rechnernetze und Internettechnologien

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

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

Quality : 100% Quality : 90% Quality : 50% Quality : 10%
Size: 54,124 bytes Size: 21,868 bytes Size: 9,096 bytes Size: 3,519 bytes

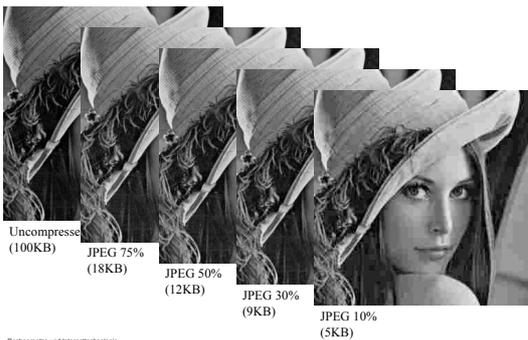


Rechnernetze und Internettechnologie
Dr. rer. nat. Harald Sack, Hasso-Plattner-Institut für SoftwareSystemtechnik GmbH, Universität Potsdam, E-Mail: harald.sack@hpi.uni-potsdam.de

50

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



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

53

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

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

54