

Images

- Licht
- Auge, Retina
- Farbwahrnehmung
- Farbmodelle: RGB, HSB, YUV
- Rasterbilder
- Bildformate PNM, BMP, GIF, PNG
- Filter und elementare Algorithmen
- JPEG-Kodierung
- JPEG-2000
- Wavelets
- (Vektorgraphik, Animationen)

Medientechnik | WS 2001 | 18.204

Literatur

- B. Jähne, Digitale Bildverarbeitung, Springer 1997, 3-540-61379-X
 D. Salomon, Data Compression, Springer 2000,
 Proceedings of the IEEE, Vol. 86-4, 1998, "multimedia signal processing"
 Skripte Bildverarbeitung, Farbbildverarbeitung, ...

netpbm.sourceforge.net, www.acme.com/software/pbmplus
www.jpeg.org, jj2000.epfl.ch, www.libpng.org
www.gimp.org, www.adobe.com/products/photoshop/main.html

Medientechnik | WS 2001 | 18.204

Warnung

- Thema Bildverarbeitung hier nur angerissen
- als Grundlage für Videokodierung
- zur Abschätzung der Anforderungen an Spezialrechner
- keine mathematischen Grundlagen
- keine Algorithmen, Filter, ...
- keine Computergraphik, ...
- keine Details zu Applikationen

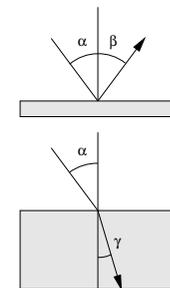
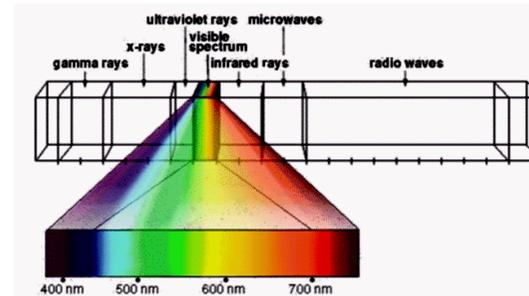
Vertiefung siehe Vorlesungen und Seminare:

- Bildverarbeitung (KOGS, IMA, ...)
- Computergraphik (TIS, ...)



Medientechnik | WS 2001 | 18.204

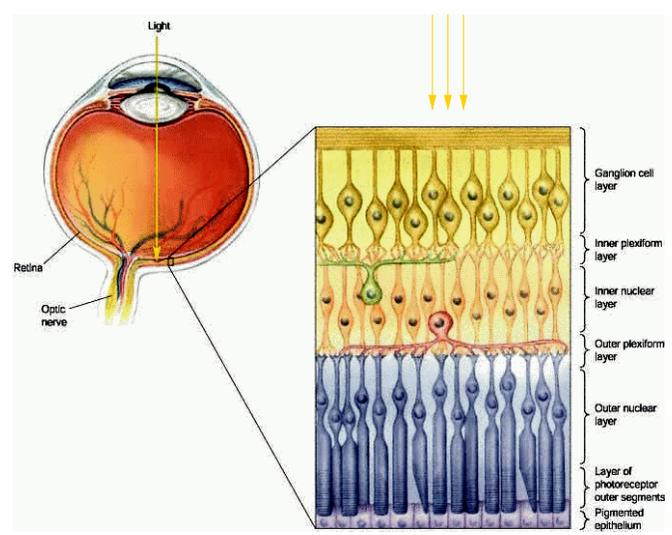
Licht:



- Licht: elektromagnetische Wellen im Bereich 400 .. 700 nm
- Brechung, Reflexion, Beugung
- Quantenmechanik: Strahlung des "schwarzen Körpers"
- Intensitätsverteilung abhängig von Temperatur: "Farbtemperatur"
 z.B. Sonnenlicht 5500K, Glühbirne 60W 2200K, Leuchtstoffröhre 4400K

Medientechnik | WS 2001 | 18.204

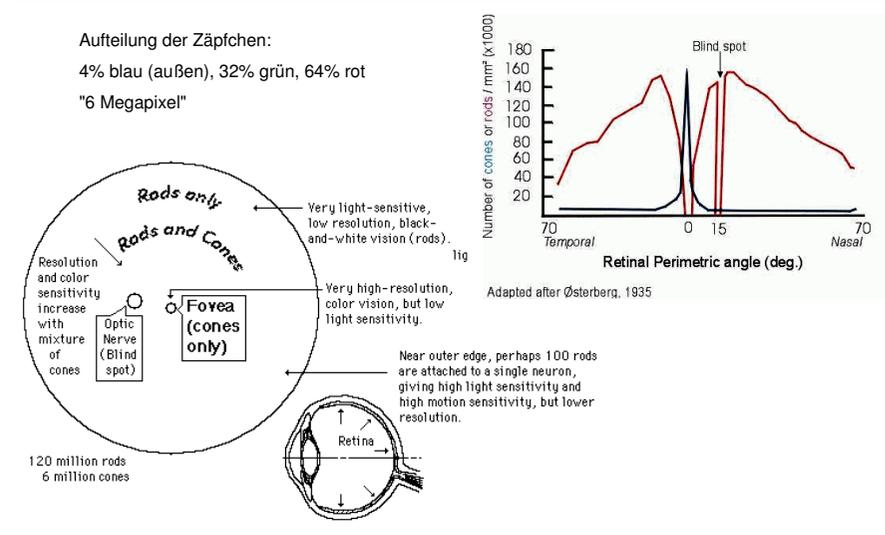
Auge: Aufbau



Medientechnik | WS 2001 | 18.204

Retina: Auflösung

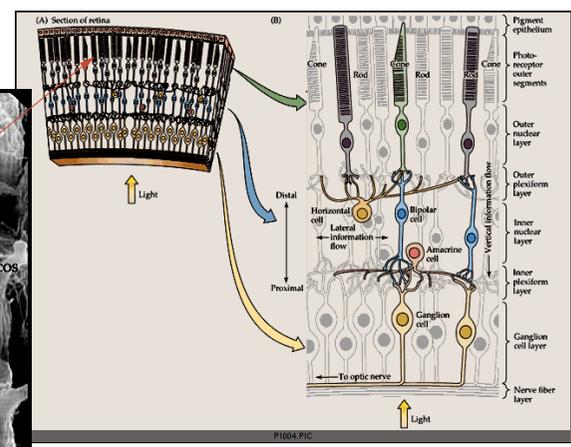
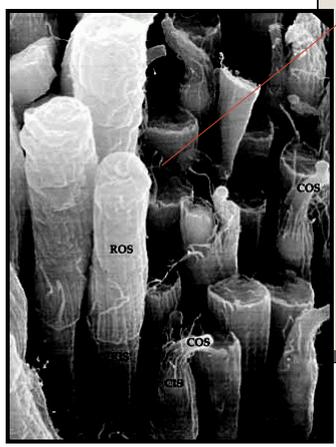
Aufteilung der Zapfen:
4% blau (außen), 32% grün, 64% rot
"6 Megapixel"



Medientechnik | WS 2001 | 18.204

Auge: Retina

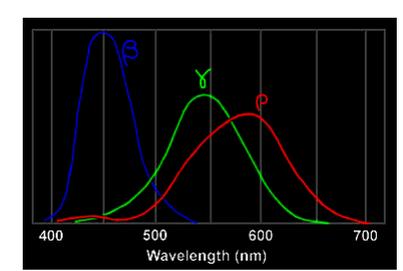
Stäbchen, "rods"
Zapfen, "cones"



- "festverdrahtete" Vorverarbeitung
- Ecken-, Kanten-, Bewegungserkennung

Medientechnik | WS 2001 | 18.204

Auge: Farbempfindung



spektrale Empfindlichkeit der blauen, grünen, roten Zapfen

Farb-Vorverarbeitung in Retina und Sehnerv:

- R - G Differenzsignal aus (rot - grün)
 - Y = R + G Helligkeits- und Gelbwahrnehmung
 - Y - B Differenz (gelb - blau) zur Gelb/Blau-Unterscheidung
- => ca. 128 Farbtöne, 130 Stufen Farbsättigung, 16..26 Helligkeiten

Medientechnik | WS 2001 | 18.204

Farbe: Richtlinien

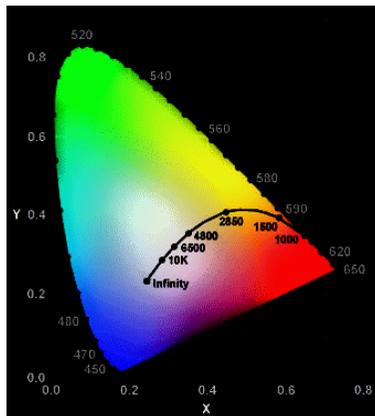
Aufbau der Retina, Vorverarbeitung: (R-G), Y=(R+G), (Y-B)

- möglichst nicht mehrere gesättigte Farben
- möglichst kein blauer Text oder feine blaue Linien:
(weil keine blauempfindlichen Zäpfchen in der Fovea)
- möglichst keine roten/grünen Details am Rand von Bildern
(weil außen an der Retina keine rot/grünempfindlichen Zäpfchen)
- keine roten Zeichen vor blauem Hintergrund
- keine benachbarten Farben, die sich nur im Blauanteil unterscheiden
- Verwendung von Farbe als einziges Mittel zur Kodierung
- usw.

(Henning 4.2.4)

Medientechnik | WS 2001 | 18.204

Farbmodelle



CIE = comm. int. de l'elclairage
non-profit, gegründet 1913
diverse Farbmodelle / -Standards

Grundkoordinaten X, Y, Z
aufbauend auf Lichtempfindlichkeit
der blauen/grünen/roten Zäpfchen

"normierte" Koordinaten (x,y,z):

$$x = X / (X+Y+Z)$$

$$y = Y / (X+Y+Z)$$

$$z = 1-x-y$$

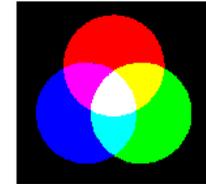
monochromatisches Licht:
schwarzer Körper (weiß):

liegt im CIE-Diagramm am Rand
im Zentrum, abhängig von Farbtemperatur

Medientechnik | WS 2001 | 18.204

RGB: Additive Farbmischung

"Red Green Blue"



- Modell der additiven Farbmischung
- aus den Grundfarben rot, grün, blau

zyan = blau + grün

gelb = rot + grün

magenta = rot + blau

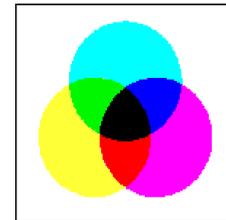
weiß = rot + blau + grün

- Anwendung beim Fernseher / Farbmonitor / Drei-Farb-LCDs
- deshalb meistens als Datenstruktur verwendet
- üblicher Wertebereich 0 .. 255 für jede Grundfarbe
- direkte Bearbeitung mit Algorithmen möglich

Medientechnik | WS 2001 | 18.204

CMYK: Subtraktive Farbmischung

"Cyan Magenta Yellow black":



- Herausfiltern von Farben aus weissem Licht
- Grundfarben Zyan, Magenta, Gelb

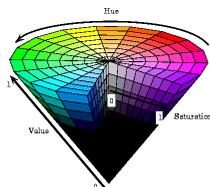
- im Prinzip komplementär zu RGB
- aber unterschiedlicher Farbumfang (mit verfügbaren Farbstoffen)

- Anwendung bei reflektierenden Medien (z.B. Papier)
- Farbdruck, "drei-Schichten" Farbfilme, ...
- weitere Farben für größeren Farbumfang
- bzw. um Farben zu sparen (insb. schwarz bei CMYK)

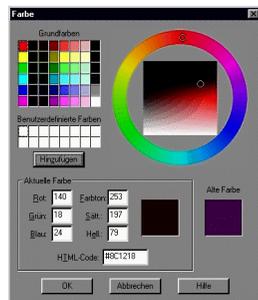
Medientechnik | WS 2001 | 18.204

HSB: Hue Saturation Brightness

oder "HSV": hue saturation value



- Auswahl einer Grundfarbe (sechsstufige Pyramide)
- Sättigung
- Helligkeit
- oft als GUI zur Farbauswahl



YUV

Y = Luminanzwert der CIE-Koordinaten, Wert [0 .. 1]

UV = Farbwerte ("Chrominanz"), Werte [-0.5 .. 0.5]

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.299 R + 0.587 G + 0.144 B \\
 U &= -0.169 R - 0.331 B + 0.500 G \\
 V &= 0.500 R - 0.419 B - 0.081 G \\
 Cb &= B - Y & U &= 0.577 Cb \\
 Cr &= R - Y & V &= 0.713 Cr
 \end{aligned}$$

- verwendet beim Farbfernsehen und für digitales Video
- abwärtskompatibel zum S/W-Fernsehen (nur Y)
- Details später, siehe Video
- andere Skalierung von UV: YCbCr-Modell

Umrechnung

$$\begin{aligned}
 C &= 1 - R \\
 M &= 1 - G \\
 Y &= 1 - B
 \end{aligned}$$

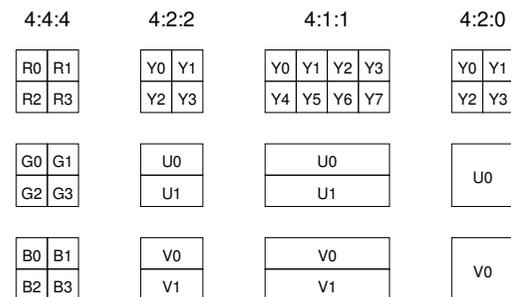
$$\begin{aligned}
 K &= \min(C, M, Y) \\
 C' &= C - K \\
 M' &= M - K \\
 Y' &= Y - K
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.299 R + 0.587 G + 0.144 B \\
 U &= -0.169 R - 0.331 B + 0.500 G \\
 V &= 0.500 R - 0.419 B - 0.081 G \\
 Cb &= B - Y & U &= 0.577 Cb \\
 Cr &= R - Y & V &= 0.713 Cr
 \end{aligned}$$

weitere Details: siehe Henning 4.4.3

Farb-Subsampling

- Stäbchen und Zäpfchen liefern Helligkeitsinformation
 - aber Farbinformation nur aus Zäpfchen
- => in der Bildkodierung und -kompression ausnutzen



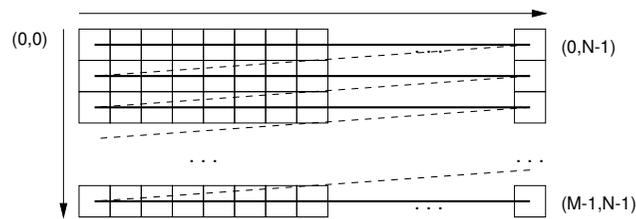


1861 stellte James Clerk Maxwell drei Diapositive eines Ordensbandes mit Streifenmuster her, fotografiert durch rote, grüne und blaue Filter. Diese drei Diapositive wurden mit drei Laterna magica-Projektoren durch die gleichen roten, grünen und blauen Filter projiziert. Sich genau überdeckend ergaben die drei Teilbilder eine beachtliche Farbrepräsentation des Originals. Dieses war die erste farbige Photographie.

Rechts oben: Ein Ives Kromogram (um 1897), direkt durch den Kromoskop-Betrachter fotografiert, ein Geröll, in dem die separaten roten, grünen und blauen Teilbilder zu einem Bild mit allen Farben kombiniert wurden.
Rechts unten: Ein Ives Photochromoscope-Projektor vorgeführtes Bild, reproduziert als Kodak Dye Transfer Vergrößerung nach den Originaldiapositiven.

(additive Farbmischung, Maxwell, 1861)

Raster-Bildformate

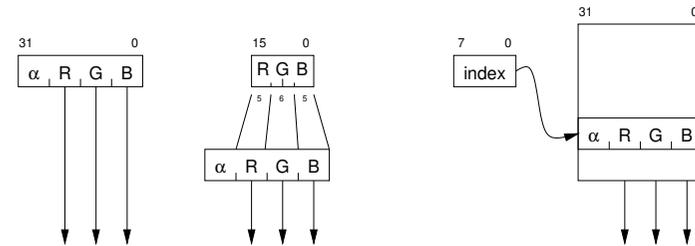


Digitalisierung von Bilddaten:

- rechteckiges Raster, "Pixel" (picture element, picture cell)
- Auflösung gemessen in dpi (dots per inch)
- Farbtiefe (bits per pixel)
- andere Rasterung möglich (z.B. hexagonal)

VGA:	640 x 480 x 8	300 KByte
XGA	1024 x 768 x 24	2.3 MByte
	1600 x 1200 x 24	5.7 MByte

Pseudo, High, True-Color



Speicherung der Helligkeits- / Farbwerte eines Pixels?

- | | |
|-------------------|---|
| direkt | "true color", üblich 24 bit 888 RGB |
| indirekt über LUT | "high color", z.B. 16 bit 565 RGB
"indexed color" / "pseudo color" |

Gammakorrektur

- Farbmonitore / Fernsehen haben nichtlineare Kennlinien
- Helligkeit als Funktion der Eingangsspannung:

$$Y = U^\gamma \quad \gamma = 2.5 \dots 3.5$$

- Einsatz einer Lookup-Tabelle für (RGB) -> (R'G'B')
- "Gammakorrektur"



Rasterung und Dithering



Darstellung von Bildern auf "minderwertigen" Geräten?!

- Reduktion der Farbtiefe True-Color -> High-Color -> 256 Farben
- Reduktion auf S/W S/W-Monitor, Laserdrucker, ...
- Vierfarbdruck Tintenstrahldrucker, Offsetdruck, ...

"Dithering"

- höhere Farbauflösung auf Kosten der räumlichen Auflösung
- regelmässige, periodische Rasterung
- oder "Error-Diffusion", diverse Algorithmen

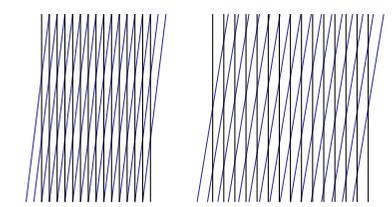
Dithering: Beispiel Grau nach SW

- "nearest neighbor"
- geordnetes, regelmässiges Raster
- Dithering, Floyd-Steinberg Algorithmus
- evtl. schwere Alias-Probleme, s.u.

Dithering: Alias-Effekte

mehrfache Rasterung:

- Überlagerung der einzelnen Raster
- period. Verstärkung/Auslöschung



Alias- bzw. "Moiré"-Effekte

- Darstellung eines gerasterten S/W-Bildes auf Monitor (Auflösung des Bildes vs. Auflösung des Monitors)
- Einscannen eines gedruckten Bildes (Druckauflösung vs. Auflösung des Scanners)
- usw.
- Verwendung "kompatibler" Raster (ganzzahliges Verhältnis)
- komplizierte Algorithmen zur "Entrasterung"

Netpbm: PBM, PGM, PPM

```
P3
# width height maxval r g b r g b r g b . . .
512 512
255
226 137 125 226 137 125 223 137 133 223 136 128 226 138 120
226 129 116 228 138 123 227 134 124 227 140 127 225 136 119
228 135 126 225 134 121 223 130 108 226 139 119 223 135 120
221 129 114 221 134 108 221 131 113 222 138 121 222 139 114
...
```

"Portable Bitmap / Graymap / Pixmap / Anymap":

- minimale, portable Dateiformate für S/W-, Grau-, Farbbilder
- "raw" oder ASCII-Format
- Format, Größe, max. Farbwert, Pixeldaten
- unkomprimiert, aber ideal für eigene Parser/Writer
- Jef Poskanzer (1991), jetzt als SourceForge-Projekt

Netpbm: Tools

Dutzende Format-Konverter:

- BMP, GIF, JPEG, PNG, TIFF, usw.
- Palm Pixmap, Nokia SMF, Windows Icons, WAP bitmap, ...

Beispiele für Transformationen und Filter:

ppmlabel	Text
ppmbrighten, ppmddim, ppmgamma	Helligkeit
ppmnorm	Histogrammausgleich
ppmscale, ppmrotate, ppmsharpen	Skalierung, Rotation, ...
ppmdither, ppmquant, ...	Dithering, Quantisierung
ppmmix, ppmarith, ...	Überlagerung, Verknüpfung
ppmconvol	allg. Filter
ppmshadow, ppmrainbow, ...	diverse Spezialfunktionen

(netpbm.1 Manpage)

Netpbm: Anwendungsbeispiel

- Verkettung von Filtern / Operatoren via Unix-Pipes
- auch per Skript: Automatisierung / Batch-Verarbeitung
- Beispiel: mehrere Bilder konvertieren:

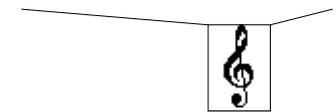
```
for i in *.png; do pngtopnm $i | ppmtotjpeg >'basename $i .png'.jpg; done
```

- Beispiel: Scans (TIFF) für dieses Skript aufbereiten:

```
tifftoppm scan.tif | von TIFF nach PPM
ppmbrighten -value +10 | Bild aufhellen
pnmscale -width 800 | neue Bildgröße
ppmquant 31 | Anzahl der Farben
ppmtogif > scan.gif Umwandlung nach GIF
```

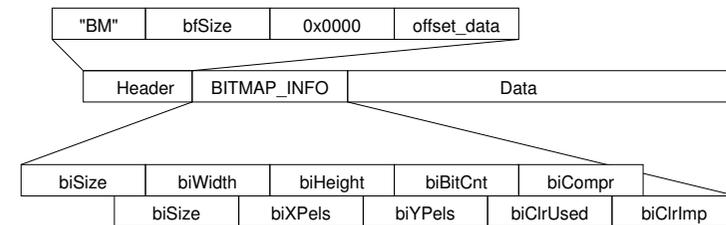
XBM-Format

```
#define key0_width 32
#define key0_height 42
static char key0_bits[] = {
0x00, 0x00, 0x03, 0x00, 0x00, 0x80, 0x07, 0x00, 0x00, 0x80, 0x07, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x0f,
0x00, 0x00, 0xc0, 0x0d, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x09, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x08, 0x00, 0x00, 0xc0,
0xc0, 0x00, 0x00, 0x40, 0x0e, 0x00, 0x00, 0x40, 0x0e, 0x00, 0x00, 0x40, 0x0e, 0x00, 0x00,
0xc0, 0x07, 0x00, 0xc0, 0x07, 0x00, 0xc0, 0x03, 0x00, 0x00, 0xe0, 0x01, 0x00,
0x00, 0xf0, 0x01, 0x00, 0xc0, 0xf8, 0x01, 0x00, 0x00, 0x7c, 0x01, 0x00, 0x00, 0x3c, 0x01,
0x00, 0x00, 0x1e, 0x01, 0x00, 0x00, 0x8f, 0x1f, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x3f, 0x00, 0x00, 0xe7,
0x3f, 0x00, 0x00, 0xe7, 0x7a, 0x00, 0x00, 0x67, 0x72, 0x00, 0x00, 0x67, 0x62, 0x00, 0x00,
0x6f, 0x62, 0x00, 0x00, 0x4e, 0x64, 0x00, 0x00, 0x8c, 0x24, 0x00, 0x00, 0x18, 0x34, 0x00,
0x00, 0x70, 0x1c, 0x00, 0xc0, 0x0f, 0x00, 0x00, 0x04, 0x00, 0x00, 0x04, 0x00, 0x00, 0xf0,
0x00, 0x00, 0x08, 0x00, 0xc0, 0x08, 0x00, 0x00, 0xf0, 0x09, 0x00, 0x00, 0xf0,
0x09, 0x00, 0x00, 0xf0, 0x09, 0x00, 0xf0, 0x08, 0x00, 0x00, 0x60, 0x04, 0x00, 0x00,
0xc0, 0x03, 0x00};
```



- einfaches Format für S/W-Bilder
- als C-Quelltext, unkomprimiert
- ähnliches Prinzip für XPM (X11 Pixmap)

BMP: Bitmap-Format

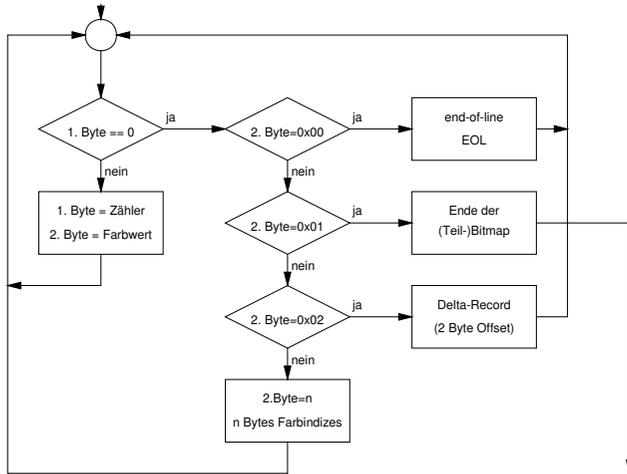


ab Offset 0x36 die Daten:



- unkomprimiert als RGB_QUAD:
- unkomprimiert mit "Maske", z.B. für 16-bit 5-6-5 Kodierung
- Lauflängenkodiert

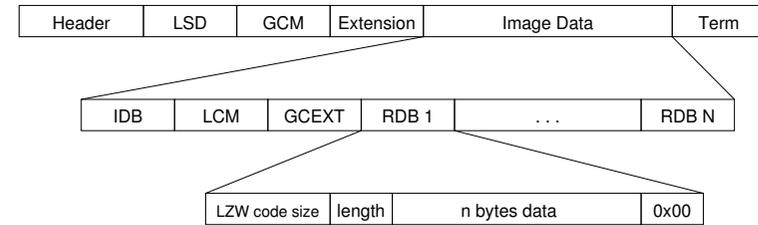
BMP: Runlength Encoding



GIF

- flexibles Bildformat für Grau- und Farbbilder
- nutzt LZW-Kompression
- weite Verbreitung dank Einsatz in HTML
- Unisys / Comuserve, 1987
- Verfahren ist patentiert, Einsatz im Web lizenzfrei
- aber Lizenz erforderlich für Programme, die GIFs erzeugen
- Index-Farbmodell, max. 256 Farben
- max. 16.000 x 16.000 Pixel
- erweiterte Version (GIF 89a):
- transparente Hintergrundfarbe
- "animated GIFs": mehrere Teilbilder in einer Datei

GIF 89a: Dateiformat



LSD	logical screen descriptor: width, height, background, ...
GCM, LCM	global/local color map, 256 entries
EXT	extension block (user defined data)
IDB	image descriptor block
RDB	raster data block: LZW-encoded image data
GCEXT (GIF89a)	graphics control extension, u.a. animation delay
CEXT (GIF89a)	connect extension block

(members.aol.com/royalef/gif89a.txt)

GIF 89a: Interlacing

The rows of an Interlaced images are arranged in the following order:

Group 1 : Every 8th. row, starting with row 0. (Pass 1)
 Group 2 : Every 8th. row, starting with row 4. (Pass 2)
 Group 3 : Every 4th. row, starting with row 2. (Pass 3)
 Group 4 : Every 2nd. row, starting with row 1. (Pass 4)

Row Number	Interlace Pass
0	1
1	
2	3
3	4
4	
5	2
6	
7	3
8	4
9	1
10	
11	3
12	4
13	2
14	
15	3
16	4
17	1
18	
19	3
	4

(members.aol.com/royalef/gif89a.txt)

GIF: LZW-Kompression

- zeilenweise Kodierung der Bilddaten
- nur ein-dimensionale Korrelationen
- gut geeignet für Zeichnungen etc.

LZW-Variante:

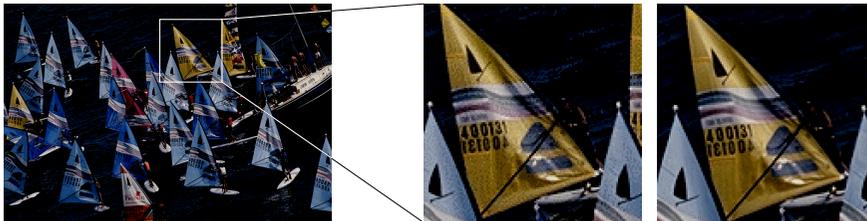
- Dictionary wird während der Kodierung gefüllt
- Startgröße ist $b=2$ (S/W) bzw. $b=8$ (Grau-/Farbbilder)
- max. 4096 Einträge
- bei Bedarf Anlegen eines neuen Dictionary

1 byte block size

data (pointers into dictionary into color map)

1 byte end marker (0x00)

GIF: Farbphotos



GIF, 256 Farben

GIF

JPEG

GIF-Format nur bedingt für Farbphotos geeignet:

- Beschränkung auf 256 Farben
- "Farbrauschen"
- selbst bei Einsatz guter Dithering-Verfahren
- andere Verfahren (PNG, JPEG, TIFF) besser

GIF: Dithering



GIF; 256 Farben

32 Farben, Floyd-Steinberg

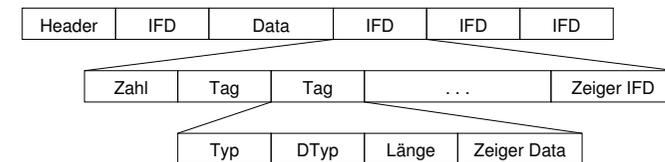
32 Farben, nearest



8 Farben, Floyd-Steinberg

8 Farben, nearest

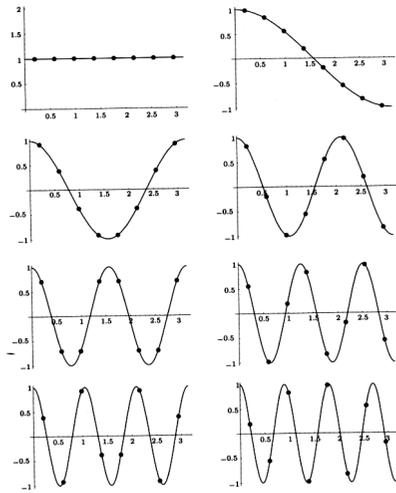
TIFF



"Tagged Image File Format"

- Aldus Corporation, Hewlett Packard, Microsoft, 1980
- hierarchischer Aufbau, Header und var. Anzahl von Datenblöcken
- Verkettung der Blöcke über Zeiger (Image File Directories)
- Zeiger kodiert in 12-Byte "Tag"-Strukturen
- Vielzahl von Tag-Varianten definiert
- für Bildformat, -auflösung, -größe, -kompression, ...

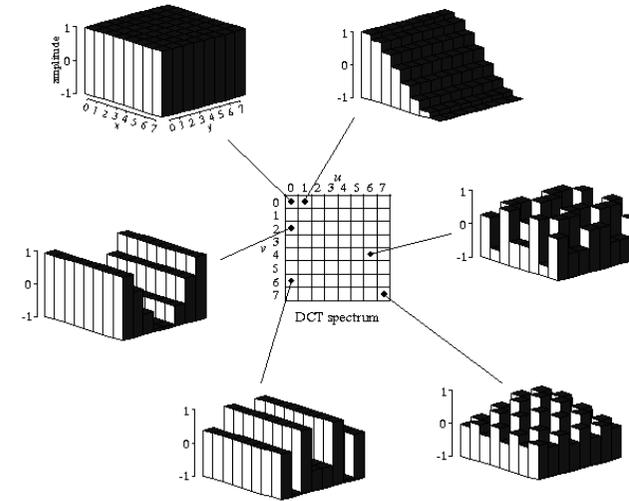
DCT: Diskrete Kosinus-Transformation



Kosinusfunktionen für die 1D DCT:
zunehmende Frequenz
entsprechende Abtastpunkte

(Salomon)

DCT: Basisfunktionen



DCT: 8x8 2D-Transformation

DCT:

$$G_{ij} = \frac{1}{4} C_i C_j \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 p_{xy} \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{16}\right),$$

where $C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & f = 0, \\ 1, & f > 0, \end{cases}$ and $0 \leq i, j \leq 7$.

IDCT:

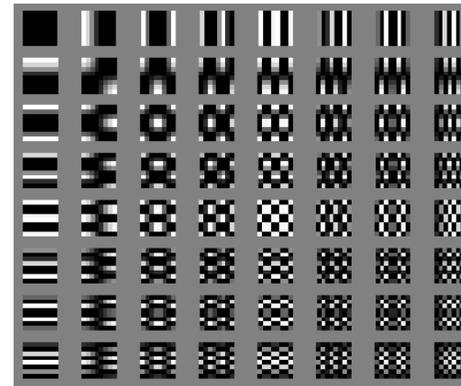
$$p_{xy} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 C_i C_j G_{ij} \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{16}\right),$$

where $C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & f = 0; \\ 1, & f > 0. \end{cases}$

effiziente Implementierung?

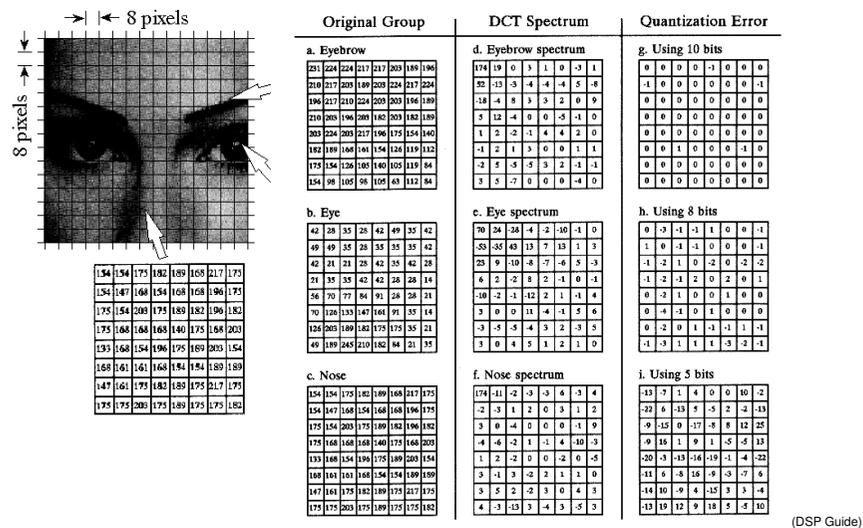
- Vorberechnung der cos(x) Terme
- Kombination von 1D-Transformationen (min. Anzahl von Ops)
- zeilenweise Berechnung (Cache-freundlich)
- MMX, SSE, Spezialhardware

DCT: Basisfunktionen



- die Basisfunktionen der 2D 8x8 DCT
- entsprechende Bilder liefern max. Antwort der DCT
1 (weiß) .. 0 (grau) .. -1 (schwarz)

DCT: Beispiel



JPEG: Übersicht

JPEG := "Joint Picture Experts Group"

- Verfahren zur Kodierung von Grau- und Farbbildern
- 1991 standardisiert
- diverse Varianten, "baseline" oder "lossless"

Kodierung via DCT von Blöcken a 8x8 Pixeln
YCbCr Farbmodell (Farbsubsampling)
Kompressionsraten bis ca. 40:1 möglich

- JFIF: Bezeichnung für das Dateiformat (.jpg, .jpeg)
- JBIG: "Joint Bi-level image experts group" (s/w-Bilder)
- JPEG-2000: aktuelle, erweiterte Version

JPEG: Konzepte, Ziele

sehr flexibles Format:

- fast beliebige Bildauflösung
- beliebiges Bild/Pixel-Aspektverhältnis
- unabhängig vom Farbmodell
- für alle Arten von Bildern, aber insb. für Photos
- progressive Kodierung (schnelle Vorschau)
- Implementierung in Software, bei Bedarf in Hardware:
- "Motion-JPEG", Anwendung für Video

JPEG: Beispiel



229 KByte, 3:1, 7 bpp



24 KByte, 32:1, 0.74 bpp



18 KByte, 43:1



12 KByte, 66:1, 0.36 bpp



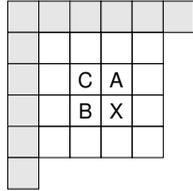
10 KByte, 78:1



5 KByte, 140:1, 0.17 bpp

=> Vergleich: PPM-raw, 512x512x24: 786 KByte, 24 bpp
=> praktisch optimale Qualität bei 10:1, brauchbar bis ca. 40:1

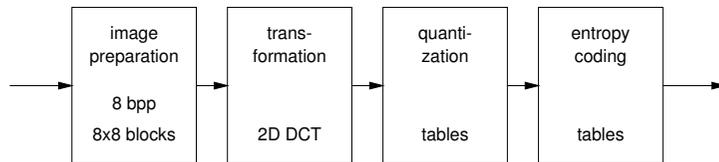
JPEG: verlustfreie Kodierung



Nr.	Vorhersage V:
0	-
1	A
2	B
3	C
4	A+B-C
5	$A+(B-C)/2$
6	$B+(A-C)/2$
7	$(A+B)/2$

- Vorhersage V von Pixelwerten aus Nachbarpixeln
- sieben verschiedene Algorithmen für V
- kodiert Index des Algorithmus und Differenz (X-V)
- anschliessend Huffman-Kodierung
- Kompressionsfaktor ca. 2

JPEG: Verarbeitungsschritte

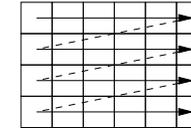


- Eingangsdaten in YUV-Darstellung und auf 8 bits/pixel wandeln
- Aufteilung in Blöcke, feste Größe 8x8
- 2D Kosinustransformation
- Quantisierung der Koeffizienten, feste (oder variable) Tabellen
- kombinierte Huffman-/Runlength-Kodierung

JPEG: Vorbereitung

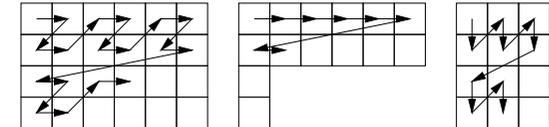
verlustfreie Kodierung mit 2 .. 16 bpp
 verlustbehaftete Kodierung intern mit 8 bpp / 12 bpp

"normale" Kodierung:

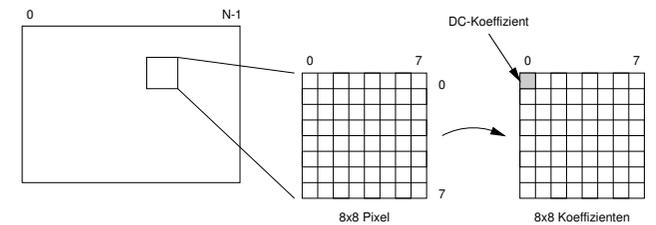


□ = Block mit 8x8 Pixeln

"interleaved"
 (progressive)



JPEG: Blöcke



- JPEG transformiert Blöcke, nicht einzelne Pixel
 - Annahme: benachbarte Pixel haben ähnliche Werte
- => nach der 2D-DCT liegen die größten Koeffizienten "links oben"
- kein Ausnutzen von Korrelationen über Blockgrenzen hinaus
 - Neigung zu "Blockartefakten" bei starker Kompression

JPEG: Quantisierung

Original Group	DCT Spectrum	Quantization Error																																																																																																																																																																																																																
a. Eyebrow	d. Eyebrow spectrum	g. Using 10 bits																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <tr><td>251</td><td>224</td><td>224</td><td>217</td><td>217</td><td>203</td><td>189</td><td>196</td></tr> <tr><td>210</td><td>217</td><td>203</td><td>189</td><td>203</td><td>224</td><td>217</td><td>224</td></tr> <tr><td>196</td><td>217</td><td>210</td><td>224</td><td>203</td><td>203</td><td>196</td><td>189</td></tr> <tr><td>210</td><td>203</td><td>196</td><td>203</td><td>182</td><td>203</td><td>182</td><td>189</td></tr> <tr><td>203</td><td>224</td><td>203</td><td>217</td><td>196</td><td>175</td><td>154</td><td>140</td></tr> <tr><td>182</td><td>189</td><td>168</td><td>161</td><td>154</td><td>126</td><td>119</td><td>112</td></tr> <tr><td>175</td><td>154</td><td>126</td><td>105</td><td>140</td><td>105</td><td>119</td><td>84</td></tr> <tr><td>154</td><td>98</td><td>105</td><td>98</td><td>105</td><td>63</td><td>112</td><td>84</td></tr> </table>	251	224	224	217	217	203	189	196	210	217	203	189	203	224	217	224	196	217	210	224	203	203	196	189	210	203	196	203	182	203	182	189	203	224	203	217	196	175	154	140	182	189	168	161	154	126	119	112	175	154	126	105	140	105	119	84	154	98	105	98	105	63	112	84	<table border="1"> <tr><td>174</td><td>19</td><td>0</td><td>5</td><td>1</td><td>0</td><td>-3</td><td>1</td></tr> <tr><td>85</td><td>-13</td><td>-3</td><td>4</td><td>-4</td><td>4</td><td>5</td><td>-8</td></tr> <tr><td>-18</td><td>-4</td><td>8</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>9</td></tr> <tr><td>5</td><td>12</td><td>-4</td><td>0</td><td>0</td><td>-5</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>4</td><td>4</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>-2</td><td>5</td><td>-5</td><td>-5</td><td>3</td><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td><td>-7</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-4</td><td>0</td></tr> </table>	174	19	0	5	1	0	-3	1	85	-13	-3	4	-4	4	5	-8	-18	-4	8	3	3	2	0	9	5	12	-4	0	0	-5	-1	0	1	2	-2	-1	4	4	2	0	-1	2	1	3	0	0	1	1	-2	5	-5	-5	3	2	-1	-1	3	5	-7	0	0	0	-4	0	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
251	224	224	217	217	203	189	196																																																																																																																																																																																																											
210	217	203	189	203	224	217	224																																																																																																																																																																																																											
196	217	210	224	203	203	196	189																																																																																																																																																																																																											
210	203	196	203	182	203	182	189																																																																																																																																																																																																											
203	224	203	217	196	175	154	140																																																																																																																																																																																																											
182	189	168	161	154	126	119	112																																																																																																																																																																																																											
175	154	126	105	140	105	119	84																																																																																																																																																																																																											
154	98	105	98	105	63	112	84																																																																																																																																																																																																											
174	19	0	5	1	0	-3	1																																																																																																																																																																																																											
85	-13	-3	4	-4	4	5	-8																																																																																																																																																																																																											
-18	-4	8	3	3	2	0	9																																																																																																																																																																																																											
5	12	-4	0	0	-5	-1	0																																																																																																																																																																																																											
1	2	-2	-1	4	4	2	0																																																																																																																																																																																																											
-1	2	1	3	0	0	1	1																																																																																																																																																																																																											
-2	5	-5	-5	3	2	-1	-1																																																																																																																																																																																																											
3	5	-7	0	0	0	-4	0																																																																																																																																																																																																											
0	0	0	0	-1	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
-1	0	0	0	0	0	-1																																																																																																																																																																																																												
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
b. Eye	e. Eye spectrum	h. Using 8 bits																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <tr><td>42</td><td>28</td><td>35</td><td>28</td><td>42</td><td>49</td><td>35</td><td>42</td></tr> <tr><td>49</td><td>49</td><td>35</td><td>28</td><td>35</td><td>31</td><td>37</td><td>42</td></tr> <tr><td>42</td><td>21</td><td>21</td><td>28</td><td>42</td><td>35</td><td>42</td><td>28</td></tr> <tr><td>31</td><td>35</td><td>35</td><td>42</td><td>42</td><td>28</td><td>28</td><td>14</td></tr> <tr><td>56</td><td>70</td><td>77</td><td>84</td><td>91</td><td>28</td><td>28</td><td>21</td></tr> <tr><td>70</td><td>126</td><td>135</td><td>147</td><td>164</td><td>91</td><td>85</td><td>14</td></tr> <tr><td>126</td><td>203</td><td>189</td><td>182</td><td>175</td><td>175</td><td>35</td><td>21</td></tr> <tr><td>49</td><td>189</td><td>1845</td><td>210</td><td>182</td><td>84</td><td>21</td><td>35</td></tr> </table>	42	28	35	28	42	49	35	42	49	49	35	28	35	31	37	42	42	21	21	28	42	35	42	28	31	35	35	42	42	28	28	14	56	70	77	84	91	28	28	21	70	126	135	147	164	91	85	14	126	203	189	182	175	175	35	21	49	189	1845	210	182	84	21	35	<table border="1"> <tr><td>70</td><td>24</td><td>24</td><td>4</td><td>-2</td><td>10</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-50</td><td>-35</td><td>40</td><td>13</td><td>7</td><td>13</td><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>23</td><td>9</td><td>10</td><td>4</td><td>-7</td><td>-6</td><td>5</td><td>-3</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>-2</td><td>0</td><td>2</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-10</td><td>-2</td><td>-1</td><td>12</td><td>2</td><td>1</td><td>-1</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>11</td><td>4</td><td>-1</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>-3</td><td>3</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>4</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	70	24	24	4	-2	10	-1	0	-50	-35	40	13	7	13	1	3	23	9	10	4	-7	-6	5	-3	6	2	-2	0	2	-1	0	-1	-10	-2	-1	12	2	1	-1	4	3	0	0	11	4	-1	5	6	-3	-3	-3	4	3	2	-3	3	3	0	4	5	1	2	1	0	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td><td>0</td><td>-2</td><td>0</td><td>-2</td><td>-2</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-2</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-4</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-2</td><td>0</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-3</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>-3</td><td>-2</td><td>-1</td></tr> </table>	0	-3	-1	-1	1	0	0	-1	1	0	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-2	1	0	-2	0	-2	-2	-1	-2	1	1	0	2	0	1	0	-2	1	0	0	1	0	0	0	-4	-1	0	1	0	0	0	0	-2	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	-3	1	1	1	-3	-2	-1																
42	28	35	28	42	49	35	42																																																																																																																																																																																																											
49	49	35	28	35	31	37	42																																																																																																																																																																																																											
42	21	21	28	42	35	42	28																																																																																																																																																																																																											
31	35	35	42	42	28	28	14																																																																																																																																																																																																											
56	70	77	84	91	28	28	21																																																																																																																																																																																																											
70	126	135	147	164	91	85	14																																																																																																																																																																																																											
126	203	189	182	175	175	35	21																																																																																																																																																																																																											
49	189	1845	210	182	84	21	35																																																																																																																																																																																																											
70	24	24	4	-2	10	-1	0																																																																																																																																																																																																											
-50	-35	40	13	7	13	1	3																																																																																																																																																																																																											
23	9	10	4	-7	-6	5	-3																																																																																																																																																																																																											
6	2	-2	0	2	-1	0	-1																																																																																																																																																																																																											
-10	-2	-1	12	2	1	-1	4																																																																																																																																																																																																											
3	0	0	11	4	-1	5	6																																																																																																																																																																																																											
-3	-3	-3	4	3	2	-3	3																																																																																																																																																																																																											
3	0	4	5	1	2	1	0																																																																																																																																																																																																											
0	-3	-1	-1	1	0	0	-1																																																																																																																																																																																																											
1	0	-1	-1	0	0	0	-1																																																																																																																																																																																																											
-1	-2	1	0	-2	0	-2	-2																																																																																																																																																																																																											
-1	-2	1	1	0	2	0	1																																																																																																																																																																																																											
0	-2	1	0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																											
0	-4	-1	0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																											
0	-2	0	1	-1	-1	-1	-1																																																																																																																																																																																																											
-1	-3	1	1	1	-3	-2	-1																																																																																																																																																																																																											
c. Nose	f. Nose spectrum	i. Using 5 bits																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <tr><td>154</td><td>154</td><td>175</td><td>182</td><td>189</td><td>168</td><td>217</td><td>175</td></tr> <tr><td>154</td><td>147</td><td>168</td><td>154</td><td>168</td><td>168</td><td>196</td><td>175</td></tr> <tr><td>175</td><td>154</td><td>203</td><td>175</td><td>189</td><td>182</td><td>196</td><td>182</td></tr> <tr><td>175</td><td>168</td><td>168</td><td>168</td><td>140</td><td>175</td><td>168</td><td>203</td></tr> <tr><td>133</td><td>168</td><td>154</td><td>139</td><td>175</td><td>189</td><td>203</td><td>154</td></tr> <tr><td>168</td><td>104</td><td>101</td><td>168</td><td>154</td><td>154</td><td>189</td><td>189</td></tr> <tr><td>147</td><td>104</td><td>175</td><td>182</td><td>189</td><td>175</td><td>217</td><td>175</td></tr> <tr><td>175</td><td>175</td><td>203</td><td>175</td><td>189</td><td>175</td><td>175</td><td>182</td></tr> </table>	154	154	175	182	189	168	217	175	154	147	168	154	168	168	196	175	175	154	203	175	189	182	196	182	175	168	168	168	140	175	168	203	133	168	154	139	175	189	203	154	168	104	101	168	154	154	189	189	147	104	175	182	189	175	217	175	175	175	203	175	189	175	175	182	<table border="1"> <tr><td>174</td><td>-11</td><td>-2</td><td>-3</td><td>4</td><td>-3</td><td>4</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-3</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>-4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>9</td></tr> <tr><td>-4</td><td>-6</td><td>-2</td><td>1</td><td>-1</td><td>4</td><td>-10</td><td>-3</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>-2</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>0</td><td>-5</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-1</td><td>3</td><td>-2</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-3</td><td>5</td><td>2</td><td>-2</td><td>3</td><td>0</td><td>4</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>-3</td><td>-13</td><td>3</td><td>-4</td><td>3</td><td>-5</td><td>3</td></tr> </table>	174	-11	-2	-3	4	-3	4	-2	-3	1	2	0	3	1	2	3	0	-4	0	0	0	-1	9	-4	-6	-2	1	-1	4	-10	-3	1	2	-2	0	0	-2	0	-5	-3	-1	3	-2	2	1	1	0	-3	5	2	-2	3	0	4	3	4	-3	-13	3	-4	3	-5	3	<table border="1"> <tr><td>-13</td><td>-7</td><td>1</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>10</td><td>-2</td></tr> <tr><td>-22</td><td>6</td><td>-13</td><td>5</td><td>-5</td><td>2</td><td>-2</td><td>-13</td></tr> <tr><td>-9</td><td>-15</td><td>0</td><td>-17</td><td>8</td><td>8</td><td>12</td><td>25</td></tr> <tr><td>-9</td><td>16</td><td>1</td><td>9</td><td>1</td><td>-5</td><td>-5</td><td>13</td></tr> <tr><td>-20</td><td>-3</td><td>-13</td><td>-16</td><td>-19</td><td>-1</td><td>4</td><td>-22</td></tr> <tr><td>-11</td><td>5</td><td>-8</td><td>16</td><td>-9</td><td>-3</td><td>-7</td><td>6</td></tr> <tr><td>-14</td><td>10</td><td>-9</td><td>4</td><td>-15</td><td>3</td><td>3</td><td>-4</td></tr> <tr><td>-13</td><td>15</td><td>12</td><td>9</td><td>18</td><td>5</td><td>-5</td><td>10</td></tr> </table>	-13	-7	1	4	0	0	10	-2	-22	6	-13	5	-5	2	-2	-13	-9	-15	0	-17	8	8	12	25	-9	16	1	9	1	-5	-5	13	-20	-3	-13	-16	-19	-1	4	-22	-11	5	-8	16	-9	-3	-7	6	-14	10	-9	4	-15	3	3	-4	-13	15	12	9	18	5	-5	10																	
154	154	175	182	189	168	217	175																																																																																																																																																																																																											
154	147	168	154	168	168	196	175																																																																																																																																																																																																											
175	154	203	175	189	182	196	182																																																																																																																																																																																																											
175	168	168	168	140	175	168	203																																																																																																																																																																																																											
133	168	154	139	175	189	203	154																																																																																																																																																																																																											
168	104	101	168	154	154	189	189																																																																																																																																																																																																											
147	104	175	182	189	175	217	175																																																																																																																																																																																																											
175	175	203	175	189	175	175	182																																																																																																																																																																																																											
174	-11	-2	-3	4	-3	4																																																																																																																																																																																																												
-2	-3	1	2	0	3	1	2																																																																																																																																																																																																											
3	0	-4	0	0	0	-1	9																																																																																																																																																																																																											
-4	-6	-2	1	-1	4	-10	-3																																																																																																																																																																																																											
1	2	-2	0	0	-2	0	-5																																																																																																																																																																																																											
-3	-1	3	-2	2	1	1	0																																																																																																																																																																																																											
-3	5	2	-2	3	0	4	3																																																																																																																																																																																																											
4	-3	-13	3	-4	3	-5	3																																																																																																																																																																																																											
-13	-7	1	4	0	0	10	-2																																																																																																																																																																																																											
-22	6	-13	5	-5	2	-2	-13																																																																																																																																																																																																											
-9	-15	0	-17	8	8	12	25																																																																																																																																																																																																											
-9	16	1	9	1	-5	-5	13																																																																																																																																																																																																											
-20	-3	-13	-16	-19	-1	4	-22																																																																																																																																																																																																											
-11	5	-8	16	-9	-3	-7	6																																																																																																																																																																																																											
-14	10	-9	4	-15	3	3	-4																																																																																																																																																																																																											
-13	15	12	9	18	5	-5	10																																																																																																																																																																																																											

- typisches Beispiel für (gerundete) Wert der Koeffizienten
- weitere Quantisierung: Koeffizienten durch Tabellenwerte teilen

JPEG: Quantisierung: Tabellen

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	193	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Quantisierung für Luminanz (Y)

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

Quantisierung für Chrominanz (UV)

- einzelne Koeffizienten nach DCT bereits gerundet
- weitere Quantisierung nach Tabellen,
- einzelner Koeffizient wird durch Tabellenwert geteilt
- vordefinierte Tabellen nutzen physiologische Daten
Beispiel: $Y00' = Y00/16$, $V13' = V13/66$, usw.

JPEG: Quantisierung: Beispiel

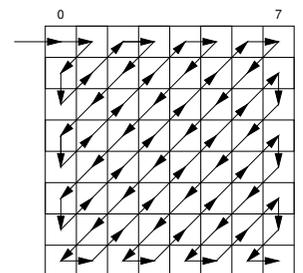
32	4	-3	0	0	0	1	0	70	0	0	0	0	0	0	0
6	-2	0	0	-2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
-7	3	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(a) (b)

Table 4.53: (a) The Quantized Coefficients of Table 4.49. (b) Those of Table 4.50.

- Beispiel für (typ.) Werte der quantisierten Koeffizienten
- DC-Koeffizient hat großen Wert
- Koeffizienten "links oben" sind klein oder null
- Koeffizienten "rechts unten" sind (fast) alle null
- weitere Kodierung mit Huffman/Runlength-Verfahren

JPEG: ZigZag



DC AC01 AC10 AC20 AC11 AC02 ...
AC03 AC12 AC21 ... AC76 AC77

- Koeffizienten kleiner Frequenz liegen "oben links"
- "ZigZag"-Anordnung der Koeffizienten für die Huffman-Phase
- erzeugt Paare von "00..00"-Folgen und kleinen Integern
- lange "000..0" Folge am Ende

JPEG: Huffman

- Beispiel-Sequenz von Koeffizienten (nach der Quantisierung):

1118, 2, 0, -2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, ...

- (Z, V)-Paare: Anzahl der Nullen vor dem Wert V

DC=1118, (0,2), (1,-2), (13,-1), (...)

- Kodetabellen für (Z,V)-Paare
- Zahldarstellung mit r bits, r abhängig von Tabellenzeile

(0,2) -> 01 | 10
 (1,-2) -> 1100 | 1110
 (13,-1) -> 11111111010 | 11111111111

- am Ende (EOB) Marker, z.B. 64 Koeffizienten -> 50 bits

JPEG: Huffman-Tabellen

Z	R				
	1 6	2 7	3 8	4 9	5 A
0	00	01	100	1011	11010
1	11000	1111000	111110110	11111110000010	11111110000011
2	1100	1101	1110001	11110110	1111110110
3	11111110000100	11111110000101	11111110000110	11111110000111	11111110001000
4	11100	1111001	111110111	11111110100	11111110001001
5	11111110001010	11111110001011	11111110001100	11111110001101	11111110001110
6	111010	11110111	11111110101	111111110001111	111111110010000
7	111111110010001	111111110010010	111111110010011	111111110010100	111111110010101
8	111011	111111000	11111110010110	111111110010111	111111110011000
9	111111110011001	111111110011010	111111110011011	111111110011100	111111110011101
A	1111010	11111110111	111111110011110	111111110011111	111111110100000
B	111111110100001	111111110100010	111111110100011	111111110100100	111111110100101
C	1111011	11111110110	111111110100110	111111110100111	111111110101000
D	111111110101001	111111110101010	111111110101011	111111110101100	111111110101101
E	1111010	11111110111	111111110101110	111111110101111	111111110110000
F	111111110110001	111111110110010	111111110110011	111111110110100	111111110110101
G	111111000	1111111100000	111111110110110	111111110110111	111111110111000
H	11111111011001	11111111011010	11111111011011	111111110110111	111111110111001
I	11111001	1111111011110	111111110111111	11111111000000	11111111000001
J	11111111000010	11111111000011	11111111000100	11111111000101	11111111000110
K	1111111010	1111111100011	11111111001000	11111111001001	11111111001010
L	1111111100101	11111111001100	11111111001101	11111111001110	11111111001111
M	1111111001	11111111010000	11111111010001	11111111010010	11111111010011
N	11111111010100	11111111010101	11111111010110	11111111010111	11111111011000
O	1111111010	1111111101001	11111111011010	11111111011011	11111111011100
P	1111111101101	1111111101110	1111111101111	1111111100000	1111111100001
Q	1111111000	1111111100010	1111111100011	11111111000110	11111111000111
R	111111110010	111111110011	1111111101000	1111111101001	1111111101010
S	111111110101	111111110110	111111110111	1111111101110	1111111101111
T	1111111001	1111111101010	1111111101101	1111111101110	1111111101111
U	11111111011001	11111111011010	11111111011101	11111111011110	11111111011111

Table 4.56: Recommended Huffman Codes For Luminance AC Coefficients.

(erster Teil der Tabelle)

- Leerseite

(Zitat)

- Leerseite

(Zitat)

JPEG2000

• JPEG hat sich bewährt
aber diverse Erweiterungen wünschenswert:

- bessere Qualität bei geringen Bitraten (< 0.25 bpp)
- einheitliches Format für S/W-, Grau-, und Farbbilder
- Kombination von verlustfreier und verlustbehafteter Kodierung:
- progressive Kodierung: Vorschau ... verlustfreie Kodierung
- Qualitätsstufen, z.B. 72 dpi Monitor vs. 2400dpi Drucker
- "region of interest" Kodierung
- Robustheit, bessere Korrektur von Bitfehlern
- offene, erweiterbare Architektur
- Unterstützung für Indizierung / Inhaltssuche / MPEG-7
- Unterstützung für Verschlüsselung, Wasserzeichen, ...

(Christopoulos, IEEE Tr. CE 46-4, 1103, 2000)

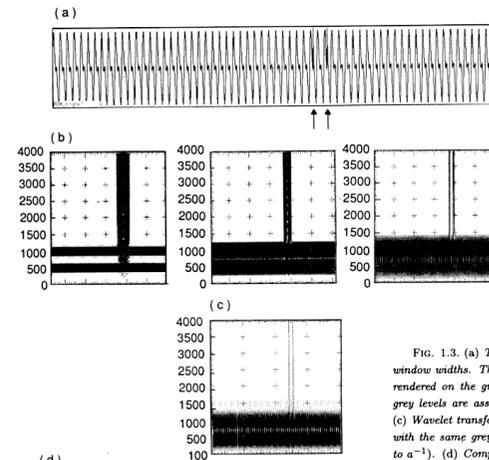
JPEG 2000

ähnliches Prinzip wie JPEG:

- | | | |
|-------------------------------------|---------|--------------|
| | JPEG | JPEG 2000 |
| • Bildvorbereitung, Farbsubsampling | | |
| • lineare Transformation | DCT | Wavelets |
| • Entropiekodierung | Huffman | arithmetisch |
-
- keine feste Blockgröße für die Wavelet-Transformation
 - gesamtes Bild, oder "Tiles" beliebiger Größe
 - verlustfreie / -behaftete Kodierung (Integer/Float, zwei Wavelets)
 - Wavelets kodieren Bild in verschiedener Auflösung
 - daher weniger Neigung zu Blockartefakten
-
- Bildqualität nicht unbedingt besser als JPEG oder PNG
 - nur bei sehr hoher Kompression

(Santa-Cruz et al. SPIE ADIP 23, 4446, 2000)

Wavelet- vs. Fourier-Analyse



Eingangssignal:
zwei Sinussignale 500 Hz/1 KHz,
plus zwei Störimpulse (Pfeile)

Fourieranalyse:
Fenstergröße 12.8 / 6.4 / 3.2 msec.
abnehmende Frequenzauflösung
zunehmende Zeitauflösung

FIG. 1.3. (a) The signal $f(t)$. (b) Windowed Fourier transforms of f with three different window widths. These are so-called spectrograms: only $|T^{w_{10}}(f)|$ is plotted (the phase is not rendered on the graph), using grey levels (high values = black, zero = white, intermediate grey levels are assigned proportional to $\log |T^{w_{10}}(f)|$ in the t (abscissa), ω (ordinate) plane. (c) Wavelet transform of f . To make the comparison with (b) we have also plotted $|T^{w_{10}}(f)|$, with the same grey level method, and a linear frequency axis (i.e., the ordinate corresponds to ω^{-1}). (d) Comparison of the frequency resolution between the three spectrograms and the wavelet transform. I would like to thank Oded Ghitza for generating this figure.

Wavelet-Analyse:
gute Zeitauflösung, mittlere Frequenzauflösung

(Daubechies: Ten lectures on wavelets, 1.2)

JPEG 2000: Beispiel



JPEG 2000, 9819 bytes, 0.3bpp

JPEG, 9643 bytes

JPEG, 11904 bytes

- Vorführung des JJ2000 Encoders/Decoders

```
java JJ2KEncoder -i lena.ppm -o lena.j2k -rate 0.3
java JJ2KDecoder -i lena.j2k
```

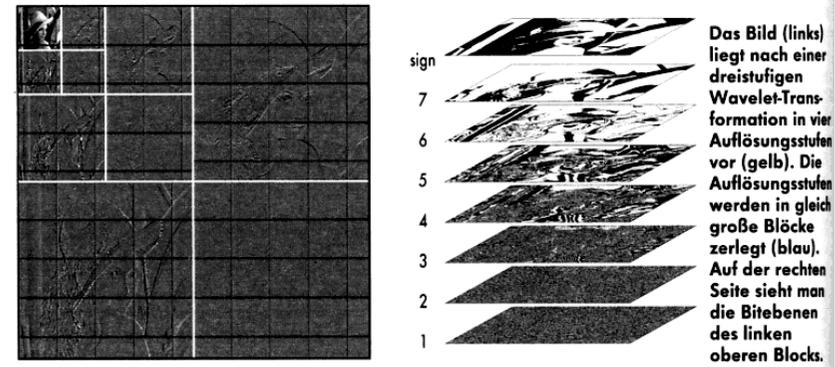
(jj2000.epfl.ch)

JPEG 2000: Skalierung



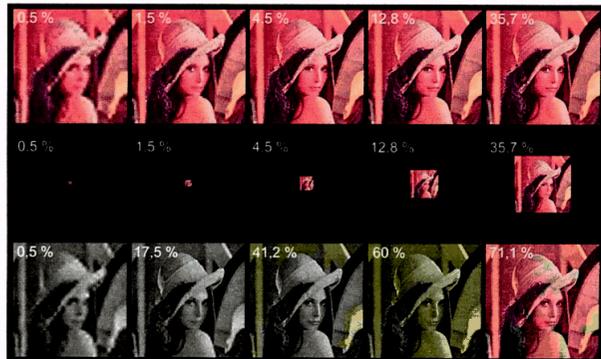
- rekursive Anwendung der Wavelet-Transformation
- Tiefpaßanteile "oben links", Details "unten und rechts"

JPEG 2000: Bitplanes



- weitere Skalierungsmöglichkeit: Übertragung der MSBs zuerst

JPEG 2000: progressive Kodierung



Flexible Progression: Verwendet man nur einen Teil der komprimierten Daten (Prozentangabe), zeigt sich, in welcher Reihenfolge die Pakete in der Datei gespeichert sind. Hier zu sehen (von oben nach unten): qualitative Verbesserung, Steigerung der Auflösung und Komponentenprogression.

- Leerseite

Bildverarbeitung: Filter

- Grundoperatoren: lineare, verschiebungsinvariante Filter
- Beispiel 3x3 Filter zur Glättung:

$$\begin{matrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots \\ \dots & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots \\ \dots & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix} * \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{matrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & 0 & 1/3 & 2/3 & 1 & \dots \\ \dots & 0 & 1/3 & 2/3 & 1 & \dots \\ \dots & 0 & 1/3 & 2/3 & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix}$$

- für jeden Bildpunkt: Auslesen der Nachbarpixel
- Multiplikation mit den entsprechenden Filterkoeffizienten
- Summation
- alternative Berechnung via Fouriertransformation

Filter:

- große Auswahl wichtiger Algorithmen
- typ. Matrixgröße von 3x3 bis 15x15 bis ..
- Limit wegen Rechenaufwand: 9 .. 225 .. Operationen / Pixel

Glättung, Weichzeichner (Gauß), Schärfung, Kantendetektion, ...

- Verbesserung durch "separierbare" Filter
- Auftrennung der Matrix in zwei Vektoren
- Anwendung erst zeilen- dann spaltenweise (oder umgekehrt)
- lineare Abhängigkeit von der Filtergröße
- entsprechendes Prinzip auch für nichtlineare Op. (z.B. Median)

Filter:

Beispielmatrizen: Weichzeichner 3x3 und 5x5:
Koeffizienten aus Binomialverteilung

$$\frac{1}{16} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad \frac{1}{256} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

- Herleitung und weitere Beispiele: s. Jähne

Bildverarbeitung: Filter-Pipelines

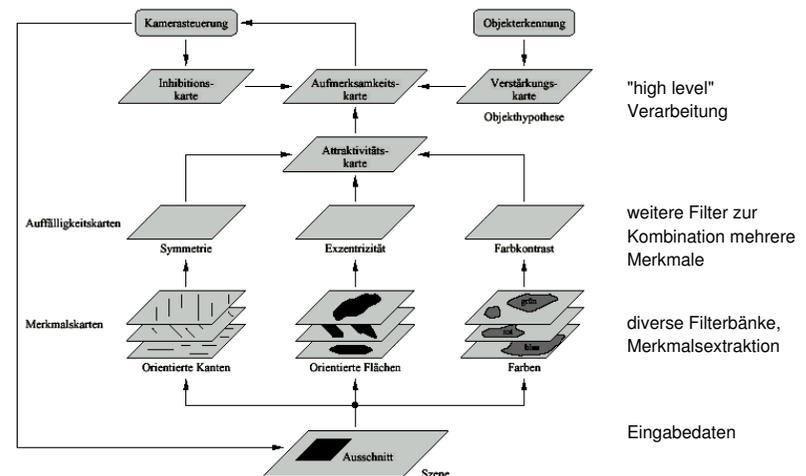


Abbildung 4.1: Schema der Aufmerksamkeitssteuerung in NAVIS

Vektorgraphik

- Aufwand bei Rasterbildern: (etwa) quadratisch mit Bildgröße
- auflösungsunabhängige Formate?

=> "Vektorgraphik"

- Grundobjekte Linien, Rechtecke, usw.
- Angabe der Koordinaten und Attribute
- einfache Manipulation
- Darstellung via Koordinatentransformation und Rasterung

- ideal für Zeichnungen, Diagramme, etc.
- aber nur bedingt für "photorealistische" Darstellungen
- diverse Editoren: Corel Draw & Co.

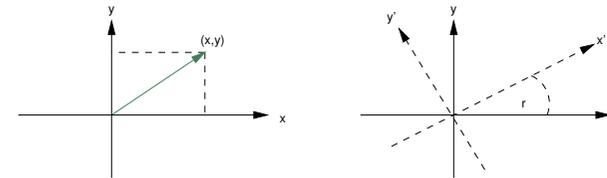
Vektorgraphik: Beispiel FIG-Format

```
#FIG 3.2
Landscape
Center
...
0 34 #4193ff
...
4 0 0 100 ... 2250 8100 Vektorgraphik
...
2 2 0 1 7 0 ... 5
0 0 13500 0 13500 0 9450 0 9450 0 0
...
3 1 0 ... 45
...
```

] Dateiheader, globale Attribute
] 0=benutzerdefinierte Farbe (RGB)
 4=Textobjekt, 0=left justified, 0=black...
 2=Polyline, 2=Box, 0=solid, 1=thickness...
 ... 5=number of points
 ... 5 points (x1,y1) (x2,y2) ...
 3=Spline, 1=closed, 0=solid... 45=npoints.

(www.xfig.org, ftp.x.org/contrib/applications/drawing_tools/xfig)

Vektorgraphik:



einfache Transformationen: Skalierung, Translation, Rotation

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ax \\ ay \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x0 \\ y0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos r & \sin r \\ -\sin r & \cos r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Rasterung via "Bresenham"-Algorithmus

Fonts: TrueType

- entfällt aus Zeitgründen, siehe Henning 3.2