

# Graphische Datenverarbeitung II

## Bildkompression & Dateiformate II

Prof. Dr. Elke Hergenröther

## Komperssionsverfahren

Nicht verlustbehaftete Verfahren:

- Run Length Encoding (RLE)
- Lempel-Ziv-Welch (LZW)
- Huffman Kodierung

Verlustbehaftete Verfahren:

- Fraktale Kompression
- Diskrete Kosinus-Transformation
- Wavelet-Kompression

Prof. Dr. Elke Hergenröther 2

## JEPG

Seit 1992 ist das JPEG-Verfahren zum weltweiten Standard in der Kompression von Farb- und Graustufenbildern geworden.

Die wichtigsten Anforderungen bei der Entwicklung des JPEG-Formats lauteten:

- Das Format soll sich für möglichst viele unterschiedliche Einsatzbereiche eignen.
- Die Bildqualität und der Kompressionsfaktor soll die Grenze des während der Entwicklung technisch Machbaren darstellen.
- Die Kompression muss unabhängig von Lage, Größe oder Farbanzahl des Bildes sein.
- Die mathematische Komplexität des Kompressionsalgorithmus soll gleichzeitig so gering wie möglich sein.
- Der Algorithmus muss auch in Hardware einfach zu realisieren sein (z.B. für Kompressionschips).
- Die Bildqualität soll durch die Auswahl eines Kompressionsfaktors einstellbar sein.

Prof. Dr. Elke Hergenröther 3

## JPEG

**JPEG ist gleichzeitig der Name**

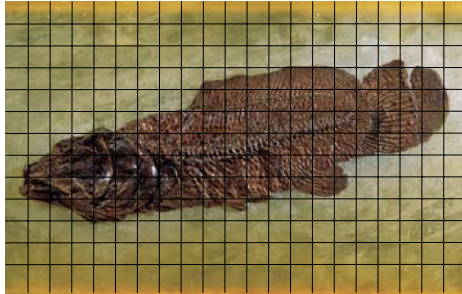
- eines Standardisierungsorganisation,
- eines Grafikformates und
- eines Bildkompressionsverfahren

JPEG = Joint Photographic Experts Group

Prof. Dr. Elke Hergenröther 4

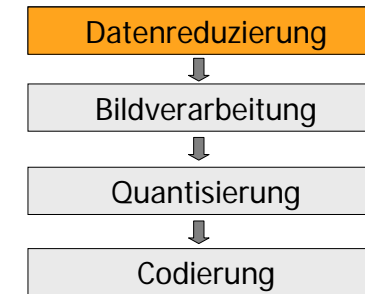
## JPEG: Blockorientiertes Verfahren

Zerlegen des Originalbildes in 8 x 8 große Blöcke



## JPEG

Die Komprimierung der Blöcke erfolgt in vier Schritten:



## JPEG

### 1. Schritt: Datenreduzierung

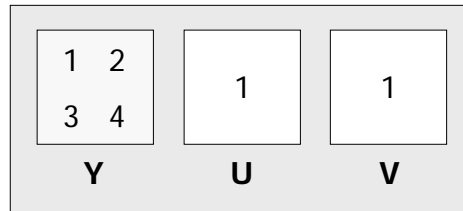
- Umwandlung: RGB Farbmodell in YUV Farbmodell
- entspricht einer Datenreduzierung von 50%

## JPEG: YUV- oder YIQ-Modell

- Das menschliche Auge besitzt mehr Rezeptoren für Helligkeitswerte als für Farbänderung.
- Daher können Farbwerte in geringerer Auflösung als Helligkeitswerte vorliegen.
- YUV- oder YIQ-Modelle unterstützen diese Eigenschaft:  
Y: Helligkeit (Grauwerte)  
I,Q bzw. U, V: Farbcodierung (Chrominanz)

## JPEG: YUV- oder YIQ-Modell

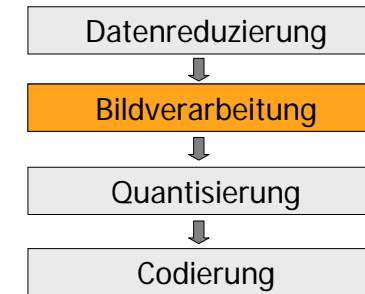
Codierung: 4:1:1-Farbraum im YUV-Modell



Komprimierungsrate: 50% (6 statt 12 Werte für 4 Pixel)

## JPEG

Die Komprimierung der Blöcke erfolgt in vier Schritten:



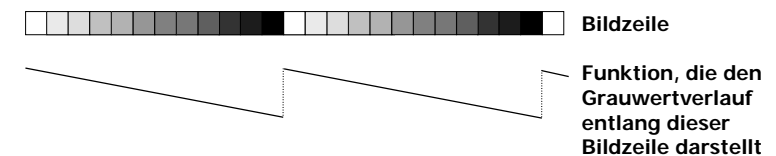
## JPEG

### 2. Schritt: Diskrete Kosinus-Transformation

- Abbildung in den Frequenzraum (Ortsfrequenzbereich)
- Abbildung ist bijektive (verlustfrei).

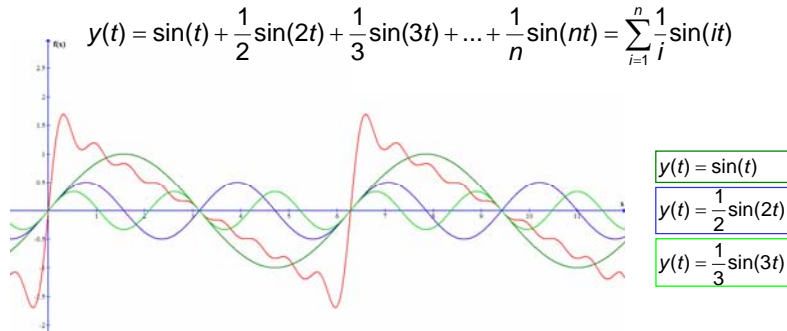
### Transformation vom Orts- in den Ortsfrequenzbereich

- Transformation der Grauwerte erfolgt zeilenweise
- Vor der Transformation der Farbbilder: Trennung der Kanäle
- Bildinformation wird in eine „andere“ Darstellungsweise überführt



## Transformation vom Orts- in den Ortsfrequenzbereich

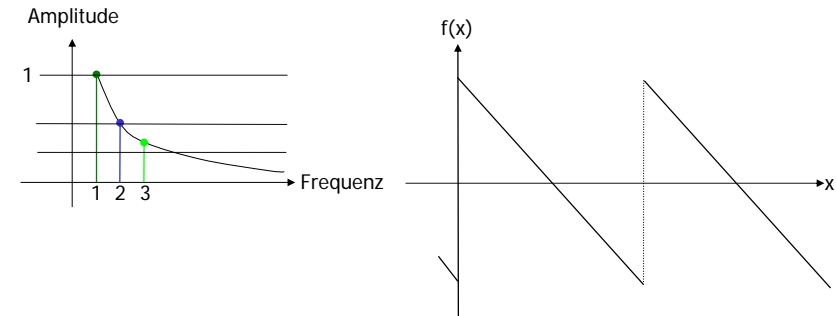
Jede Funktion lässt sich als Überlagerung von Sinus- bzw. Kosinus-schwingungen darstellen:



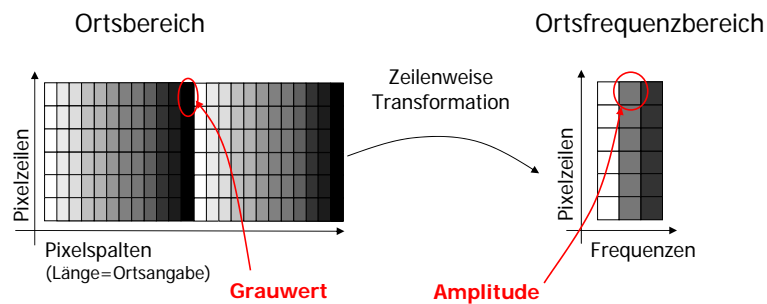
Probieren Sie es selbst aus: <http://padowan.dk/graph/>

## Transformation vom Orts- in den Ortsfrequenzbereich

**Frequenzspektrum der Funktion:**  $y(t) = \sin(t) + \frac{1}{2}\sin(2t) + \frac{1}{3}\sin(3t) + \dots + \frac{1}{n}\sin(nt) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}\sin(it)$



## Transformation vom Orts- in den Ortsfrequenzbereich



## Diskrete-Kosinus-Transformation: „Codierung“

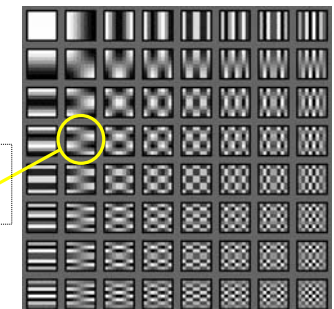
$$F(u,v) = \frac{1}{4} C(u)C(v) \sum_{j=0}^7 \sum_{k=0}^7 f(j,k) \cdot \cos\left(\frac{(2j+1)u\pi}{16}\right) \cdot \cos\left(\frac{(2k+1)v\pi}{16}\right)$$

Koeffizient (Amplitude) der Basisfunktion in der u. Zeile und der v. Spalte

Wert des Pixels in der j. Zeile und der k. Spalte des zu transformierenden Blocks

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{für } u, v = 0 \\ 1 & \text{sonst} \end{cases}$$

u = 3  
v = 1



Warum genügen diese 64 Basisfunktionen?

### Diskrete-Kosinus-Transformation

$$F(u,v) = \frac{1}{4} C(u)C(v) \sum_{j=0}^7 \sum_{k=0}^7 f(j,k) \cdot \cos\left(\frac{(2j+1)u\pi}{16}\right) \cdot \cos\left(\frac{(2k+1)v\pi}{16}\right)$$

„Grauwerte“  $f(j,k)$   $F(u,v)$  „DCT-Koeffizienten“ (Amplituden)

### Diskrete-Kosinus-Transformation: „Decodierung“

Verlustfreie Rücktransformation:

$$f(i,j) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u)C(v) \cdot F(u,v) \cdot \cos\left(\frac{(2j+1)u\pi}{16}\right) \cdot \cos\left(\frac{(2k+1)v\pi}{16}\right)$$

$$C(u), C(v) = \begin{cases} 1 & \text{für } u, v = 0 \\ \sqrt{2} & 1: \text{sonst} \end{cases}$$

### Prinzip der Diskrete-Kosinus-Transformation

Basisfunktionen der Diskreten-Cosinus-Transformation.

Ergebnis der (gewichteten) Überlagerung der rechts gezeigten Basis-Funktionen.

### Diskrete Kosinus-Transformation: Zusammenfassung

- Bild wird in 8x8 Pixel große Blöcke aufgeteilt
- Jeder Block des Bildes wird in den Ortsfrequenzbereich transformiert:
  - Bildausschnitt wird zerlegt in 64 vordefinierte Basisfunktionen.
  - Bildinformation wird als Überlagerung der Basisfunktionen definiert.
  - **Basisfunktionen sind Basisvektoren eines 64D-Raums.**
- Dies ist für jeden Farbkanal durchzuführen
- **Die Abbildung in den Frequenzraum ist bijektiv (verlustfrei).**

je weiter rechts, desto höher die Frequenzen der horizontal überlagerten Kosinus-Welle

je weiter nach unten, desto höher die Frequenzen der vertikal überlagerten Kosinus-Welle

DC-Koeffizient, alle anderen: AC-Koeffizienten

### Diskrete Kosinus-Transformation

139	144	149	153	155	155	155	155
144	151	153	156	159	156	156	156
150	155	160	163	158	156	156	156
159	161	162	160	160	159	159	159
159	160	161	162	162	155	155	155
161	161	161	161	160	157	157	157
162	162	161	163	162	157	157	157
162	162	161	161	163	158	158	158

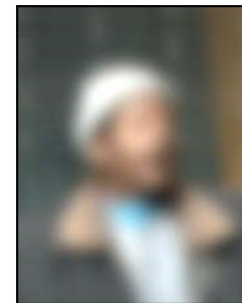
Grauwertverteilung in einem 8x8 großen Block

Mittelwert der Blockhelligkeit

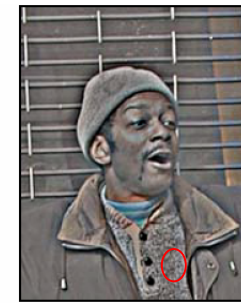
1260	-1	-12	-5	2	-2	-3	1
-23	-17	-6	-3	-3	0	0	-1
-11	-9	-2	2	0	-1	-1	0
-7	-2	0	1	1	0	0	0
-1	-1	1	2	0	-1	1	1
2	0	2	0	-1	1	1	-1
-1	0	0	-1	0	2	1	-1
-3	2	-4	-2	2	1	-1	0

DCT  
Koeffizientenmatrix

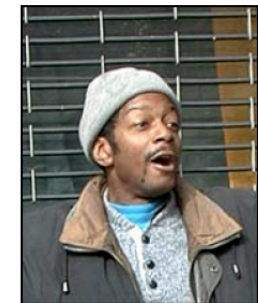
### Zerlegung eines Bildes in seine unterschiedlichen Frequenzen



niedrige Frequenzen



hohe Frequenzen

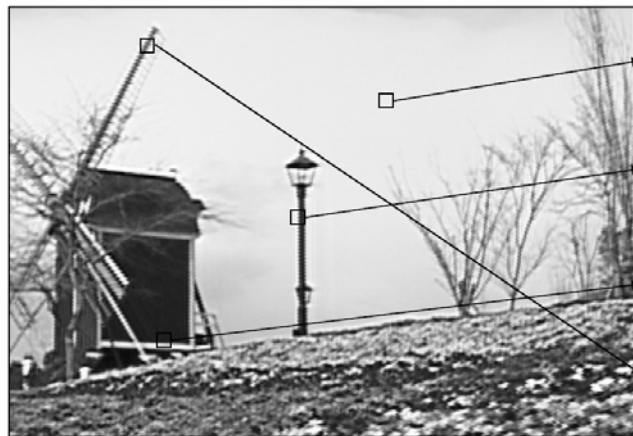


Überlagerungen

Bilder: Koll, MPEG-Video-Kompression

Relativ uninteressanter Bildinhalt!

### MPEG Flower Garden

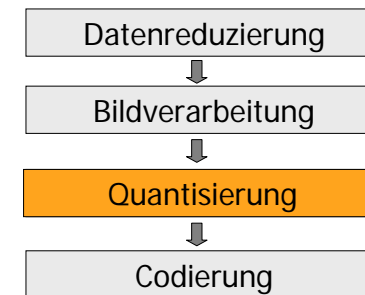


Block of 8x8 Pixels    Their DCT Coefficients

- DC
- Flat Area
- Vertical Edge
- Horizontal Edge
- Single Pixel
- Diagonal Line

### JPEG

Die Komprimierung der Grafikdaten erfolgt in vier Schritten:

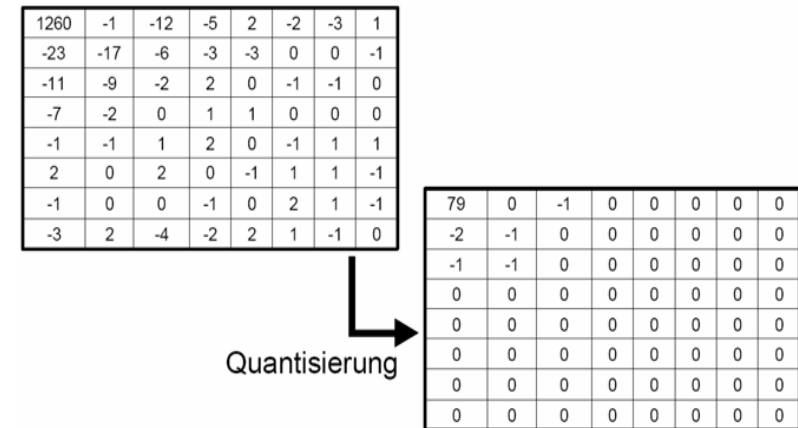


## JPEG

### 3. Schritt: Quantisierung:

- Ganzzahlige Division der Koeffizienten durch vorgegebene Zahl (entweder für alle gleich oder aus Tabelle, die mitübertragen wird)
- Dadurch werden hochfrequente Anteile kontrollierte beseitigt.
- **Löschung von Information!**

## JPEG



## JPEG

### 3. Schritt: Beispiel für Quantisierungsmatrizen

Luminanz (Y)	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>16</td><td>11</td><td>10</td><td>16</td><td>24</td><td>40</td><td>51</td><td>61</td></tr> <tr><td>14</td><td>12</td><td>14</td><td>19</td><td>26</td><td>58</td><td>60</td><td>55</td></tr> <tr><td>14</td><td>13</td><td>16</td><td>24</td><td>40</td><td>57</td><td>69</td><td>56</td></tr> <tr><td>14</td><td>17</td><td>22</td><td>29</td><td>51</td><td>87</td><td>80</td><td>62</td></tr> <tr><td>18</td><td>22</td><td>37</td><td>56</td><td>68</td><td>109</td><td>103</td><td>77</td></tr> <tr><td>24</td><td>35</td><td>55</td><td>64</td><td>81</td><td>104</td><td>113</td><td>92</td></tr> <tr><td>49</td><td>64</td><td>78</td><td>87</td><td>103</td><td>121</td><td>120</td><td>101</td></tr> <tr><td>72</td><td>92</td><td>95</td><td>98</td><td>112</td><td>100</td><td>103</td><td>99</td></tr> </table>	16	11	10	16	24	40	51	61	14	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	103	121	120	101	72	92	95	98	112	100	103	99
16	11	10	16	24	40	51	61																																																										
14	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	103	121	120	101																																																										
72	92	95	98	112	100	103	99																																																										
Chrominanz (UV)	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>17</td><td>18</td><td>24</td><td>47</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td></tr> <tr><td>18</td><td>21</td><td>26</td><td>66</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td></tr> <tr><td>24</td><td>26</td><td>56</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td></tr> <tr><td>47</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td></tr> <tr><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td></tr> <tr><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td></tr> <tr><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td></tr> <tr><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td><td>99</td></tr> </table>	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	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	99
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	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	99																																																										

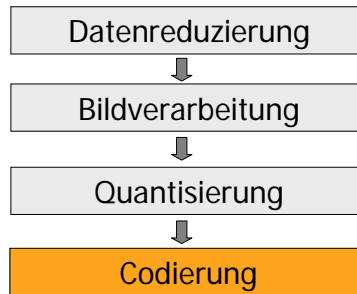
## Quantisierung

Durch die Quantisierung in JPEG werden die hochfrequenten Bildanteile kontrolliert beseitigt.



# JPEG

Die Komprimierung der Grafikdaten erfolgt in vier Schritten:

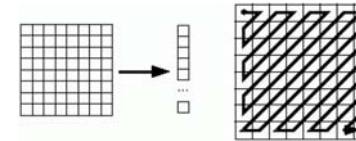


# JPEG

## 4. Schritt: Entropiecodierung

Codierung mit verlustfreier Kompression

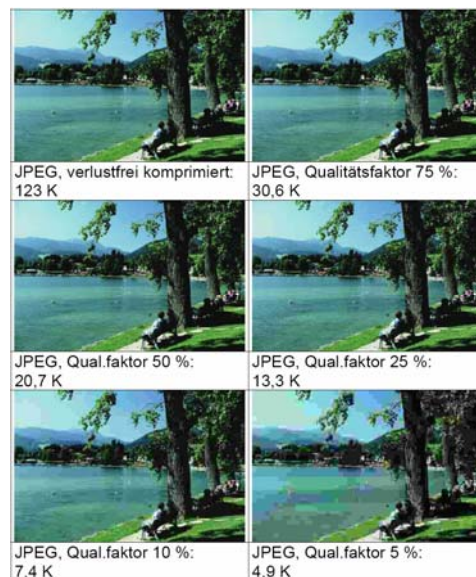
- Werte werden in Zickzack Reihenfolge ausgelesen:



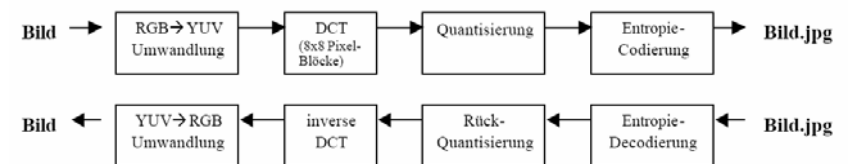
Beispiel einer ausgelesenen Koeffizientenmatrix (F(u,v)-Werte):



- durch **Laufängen-Codierung** (je mehr Koeffizienten == 0 sind, desto mehr Platz spart man!) und anschließender Huffman- bzw. Arithmetischer-Codierung komprimiert



## JPEG-Prozess



## JPEG

## Sequentieller Modus

sequentieller Bildaufbau (von oben nach unten)



## JPEG

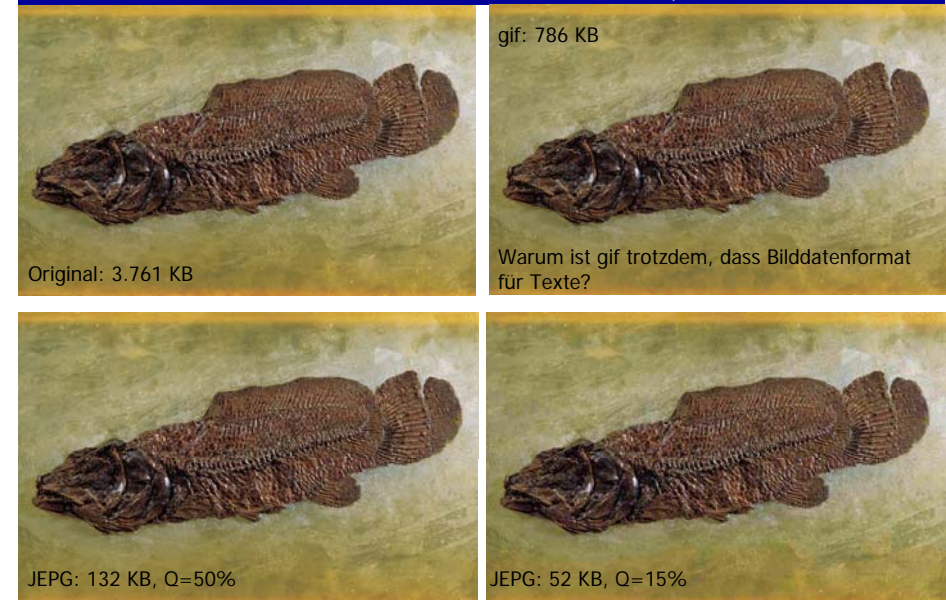
## Progressiver Modus

- Übertragung mit sukzessiver Verfeinerung
- zuerst die DC-Koeffizienten (8 x 8 - Blockgrafik)
- dann die niederfrequenten AC-Koeffizienten
- dann die hochfrequenten AC-Koeffizienten



## JPEG

- Verlustbehaftete JPEG-Kompression gut geeignet für Fotos (realistische Farbdarstellung)
- Schwächen bei Bildern mit:
  - scharfen Kontrasten
  - Kanten
  - bei künstlichen Bildern
  - Texten
  - detail-sensitiven Daten (z.B. medizinische Bilddaten)



# JPEG Komprimierungsbeispiel



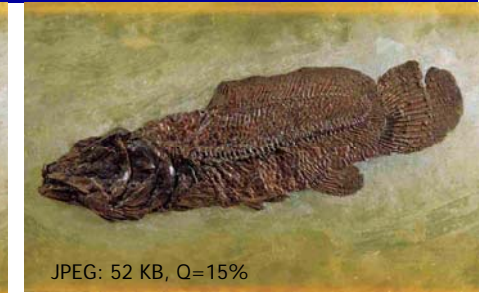
JPEG: 66 KB, Q=20%



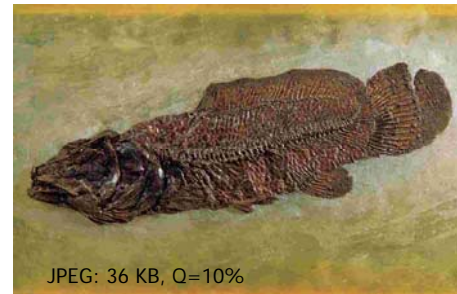
BMP: 3.761 KB



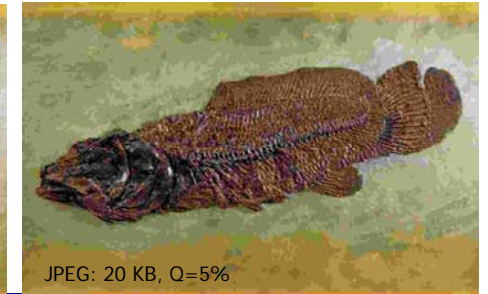
JPEG: 66 KB, Q=20%



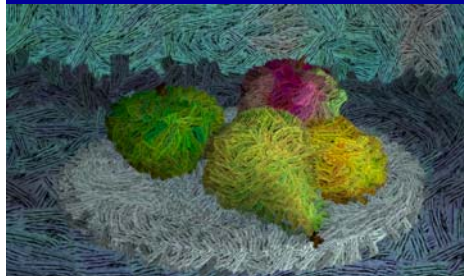
JPEG: 52 KB, Q=15%



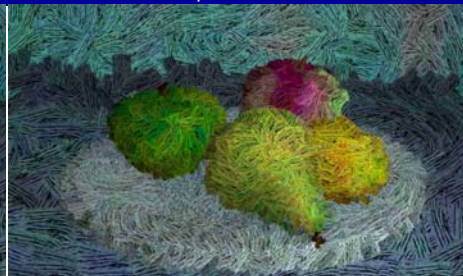
JPEG: 36 KB, Q=10%



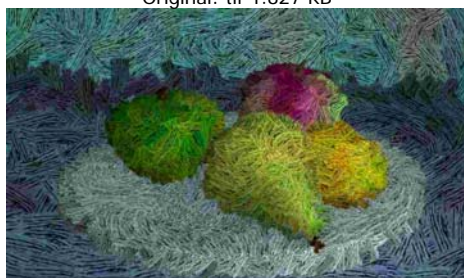
JPEG: 20 KB, Q=5%



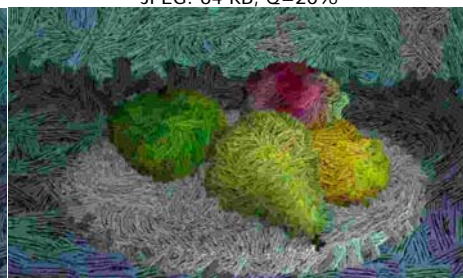
Original: tif 1.827 KB



JPEG: 64 KB, Q=20%



JPEG: 37 KB, Q=10%



JPEG: 19 KB, Q=5%