

# Datenkompression: JPEG

## Kurs Information und Codierung Joint Photographic Experts Group (JPEG)

**Studiengang IT**  
**21.08.2017**

<https://olat.zhaw.ch/...>

**Autoren: Prof. Dr. Marcel Rupf, Kurt Hauser**

**Dozenten: Dr. Jürg Stettbacher, Kurt Hauser**

# Lernziele

- **Die Studierenden kennen die sieben Schritte, die bei der JPEG-Kompression eine Rolle spielen. Die Studierenden können die Prinzipien dieser Schritte beschreiben**
- **Sie kennen den Unterschied zwischen der Luminanz und der Chrominanz und können beschreiben, wie dies bei JPEG genutzt wird**
- **Die Studierenden kennen das Prinzip der JPEG Blockverarbeitung**
- **Sie kennen den Anwendungsbereich von JPEG.**

# Bildkompression

## Referenzen

- [1] D. Salomon, „Data Compression“, Springer, 2004.
- [2] Prof. Dr. A. Steffen, „Kurs SU“, ZHW, 1999-2004.
- [3] G. Wallace, „The JPEG Still Picture Compression Standard“, 1991.

## Digitales Bild

Pixel-Array mit M Zeilen und N Kolonnen (MxN-Matrix)

Auflösung:  $M \times N$ , manchmal auch *dpi* (dots per inch)

## Bildtypen

**schwarzweiss Bild:** 2-wertige Pixel

**Graustufenbild:** Pixel mit Wertebereich  $[0 \dots W-1]$ , typisch  $W=8$  bit

**natürliches Bild:** (Farb-) Pixel mit 3 Komponenten (z.B. RGB)

Bereiche mit kontinuierlich ändernden Farben (continuous tone)

=> benachbarte Pixelwerte sind oft fast gleich gross

**Grafik oder synthetisches Bild**

scharfe Kanten, *discrete-tone* Bereiche mit identischen Pixeln

# Bildkompression

## Bilder sind wichtig, aber tendenziell „gross“

1024 x 1024 Bild mit 24 bit RGB-Pixel > 3 MB

Speicher- oder Übertragungskosten => **Datenkompression**

benachbarte Pixel haben oft ähnliche Farbe (Helligkeit)

Kompression muss Korrelation benachbarter Pixel ausnützen

## Kompressionsmethoden meist für bestimmte Bildtypen (z.B. Fax)

Wörterbuch-Kompression ungeeignet für natürliche Bilder

benachbarte Pixel sind selten identisch bzw. repetitiv

vertikale Korrelation mit zeilenweisem Scanning kaum nutzbar

statistische Kompression meist ungeeignet für natürliche Bilder

„Farben“ meist gleich häufig, Pixel aber korreliert

## Bilder werden meistens von Menschen betrachtet

Verlust von „gewissen“ Bilddetails ist akzeptabel

statt Redundanzreduktion vor allem **Irrelevanzreduktion**

oft unterschiedliche Qualitäten / Kompressionsraten wählbar

# JPEG

## Gemeinsames Standardisierungsprojekt von CCITT und ISO

JPEG steht für Joint Photographic Experts Group

Start 1987, erster Draft-Standard 1991, heute weit verbreitet

## Verlustbehaftetes Kompressionsverfahren für natürliche Bilder

verlustlose Variante kaum implementiert

## Wichtigste Kompressionsschritte:

### 1. Transformation Farbbilder RGB => Luminanz / Chrominanz

Das Auge ist viel empfindlicher auf kleine Helligkeitsunterschiede als auf kleine Farbunterschiede (stärker komprimierbar)

Vorbereitung für Datenkompression

### 2. Downsampling der beiden Chrominanz-Komponenten

2:1 horizontal und vertikal (2h2v oder 4:1:1)

=> Bildgrösse  $1/3 + (2/3) \cdot (1/4) = 1/2$

2:1 horizontal, 1:1 vertikal (2h1v oder 4:2:2)

=> Bildgrösse  $1/3 + (2/3) \cdot (1/2) = 2/3$

# JPEG

## 3. Pixel-Gruppierung Farbkomponenten in 8x8 Blöcke

Ausnützung der horizontalen und vertikalen Korrelation  
Blöcke werden separat komprimiert (*Schwachstelle!*)

## 4. Diskrete Cosinus Transformation (8x8 DCT)

Transformation in den Frequenzbereich

Vorbereitung für die Datenkompression

DC und 3-4 tieffrequente AC-Werte enthalten „Bildinformation“

## 5. Individuelle Quantisierung einzelner Frequenzkomponenten

Prinzip: Frequenzkomponenten mit viel bzw. wenig

Bildinformation werden fein bzw. grob quantisiert

## 6. Entropy-Coding der quantisierten Frequenzkomponenten

verlustlos, Kombination von RLE und Huffman encoding

## 7. Addition von Header und JPEG-Parameter

# Luminanz / Chrominanz Farbmodell

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_B \\ C_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}$$

**Y : Luminanz** (Graustufenintensität)

**C<sub>B</sub>: Chrominanz** (Blauanteil)

**C<sub>R</sub>: Chrominanz** (Rotanteil)

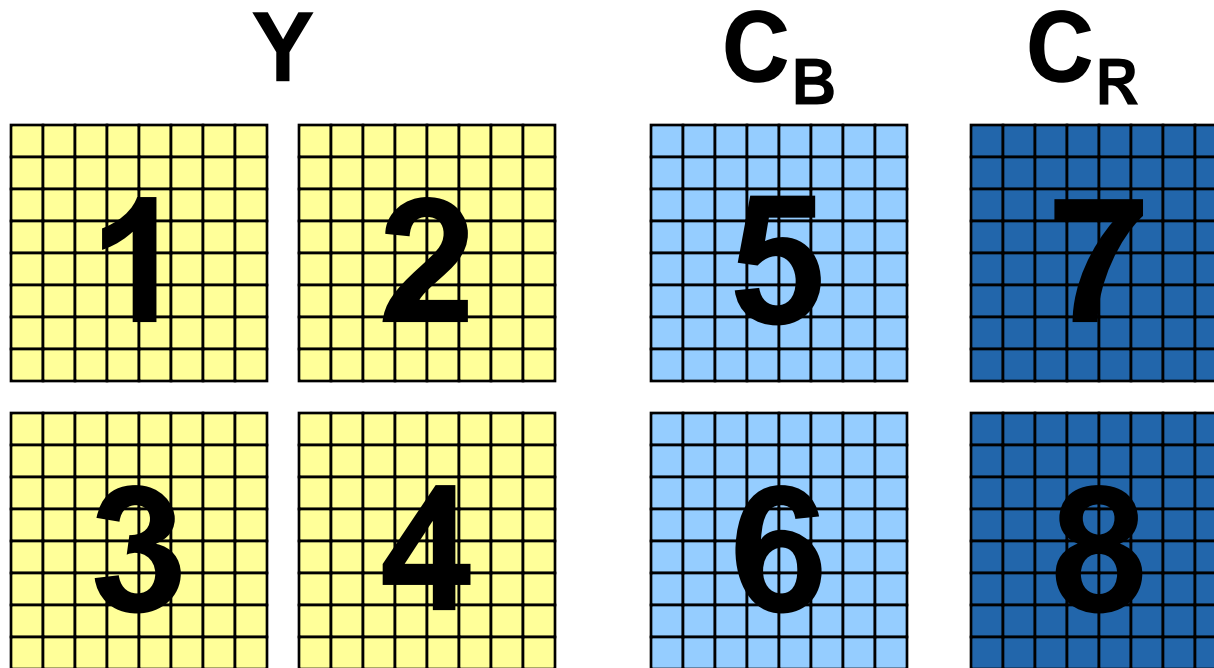
**R: Rot**

**G: Grün**

**B: Blau**

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.402 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y \\ C_B - 128 \\ C_R - 128 \end{bmatrix}$$

# 4:2:2 Downsampling 16x16 Bild



×○×

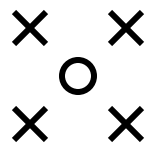
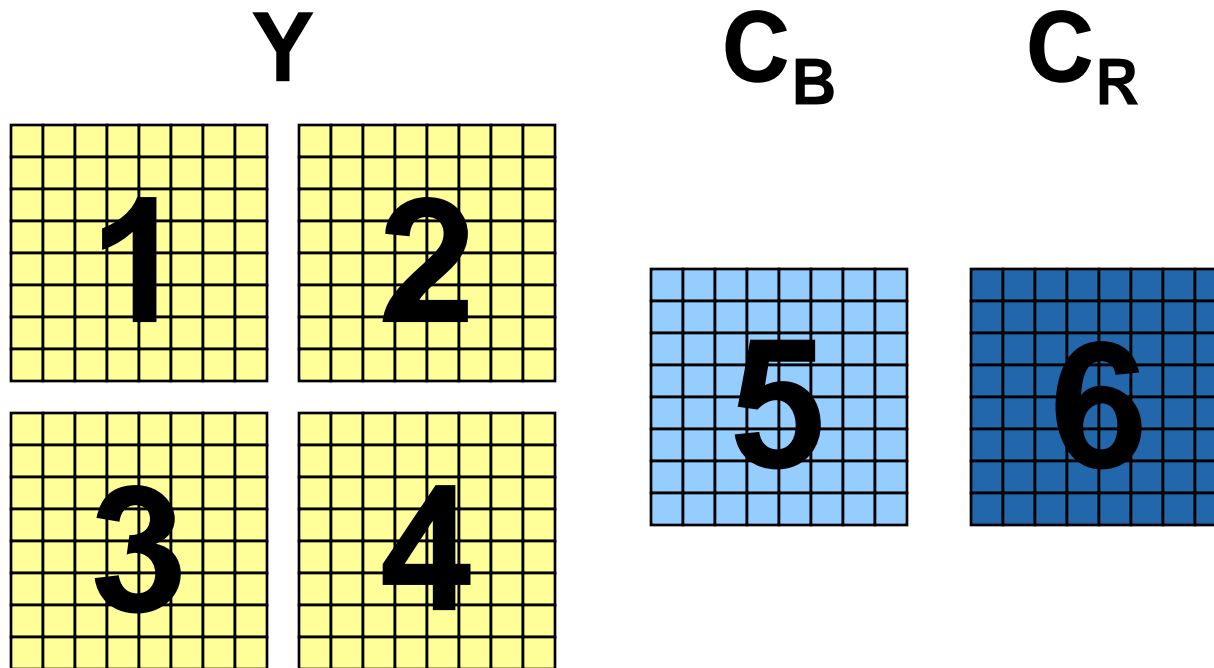
× Luminanzabtastwert

×○×

○ Chrominanzabtastwert  
(Mittelwert aus zwei Nachbarpixeln)



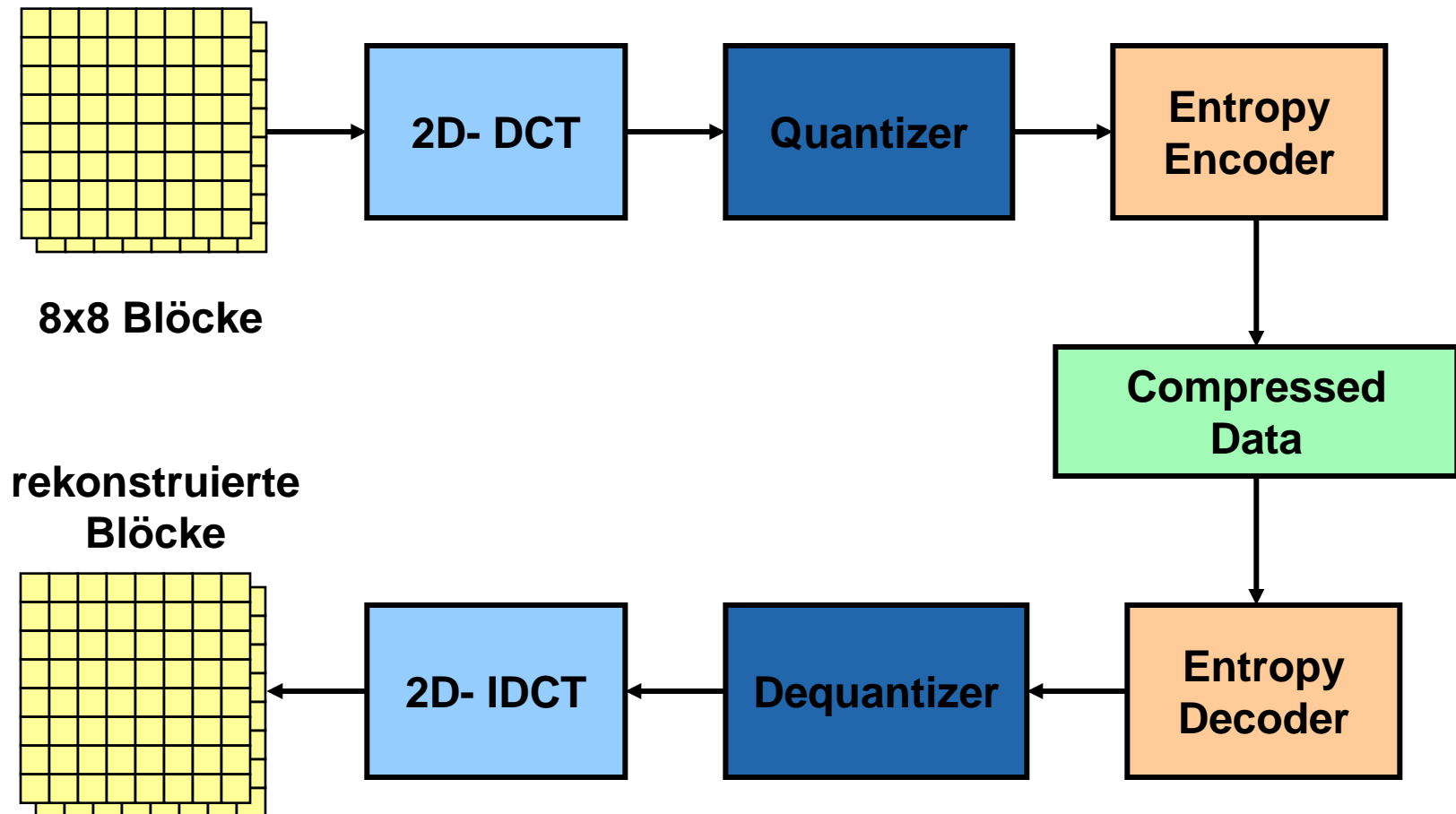
# 4:1:1 Downsampling 16x16 Bild



× Luminanzabtastwert

○ Chrominanzabtastwert  
(Mittelwert aus vier Nachbarpixel)

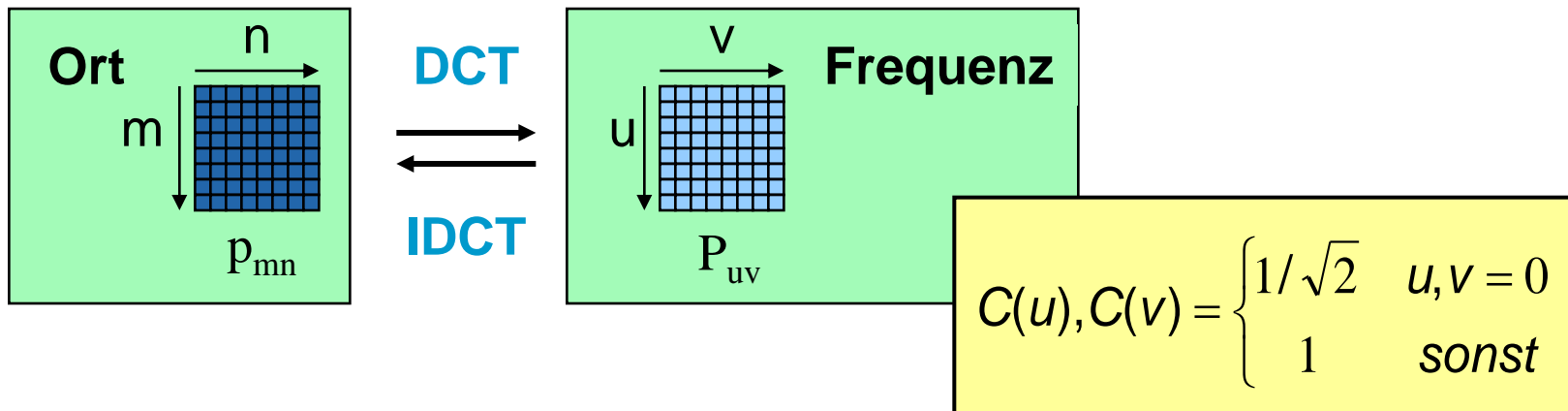
# JPEG Blockverarbeitung



# Definition zweidimensionale DCT

## MxN DCT (JPEG: M=N=8)

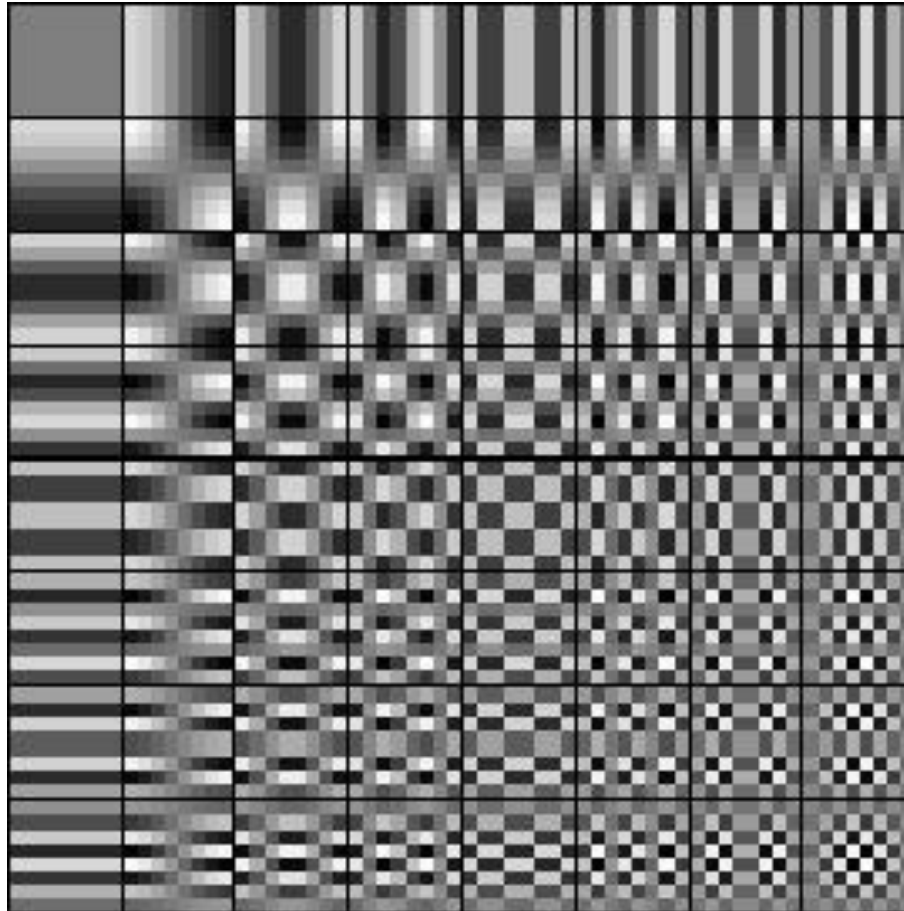
$$P_{uv} = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u)C(v) \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} p_{mn} \cdot \cos \frac{(2m+1)u\pi}{2M} \cos \frac{(2n+1)v\pi}{2N}$$



## MxN inverse DCT (JPEG: M=N=8)

$$p_{mn} = \frac{2}{\sqrt{MN}} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u)C(v) \cdot P_{uv} \cdot \cos \frac{(2m+1)u\pi}{2M} \cos \frac{(2n+1)v\pi}{2N}$$

# Die DCT Basisfunktionen



# Eigenschaften der DCT

## Beispiel 2x1 DCT (n=0, v=0)

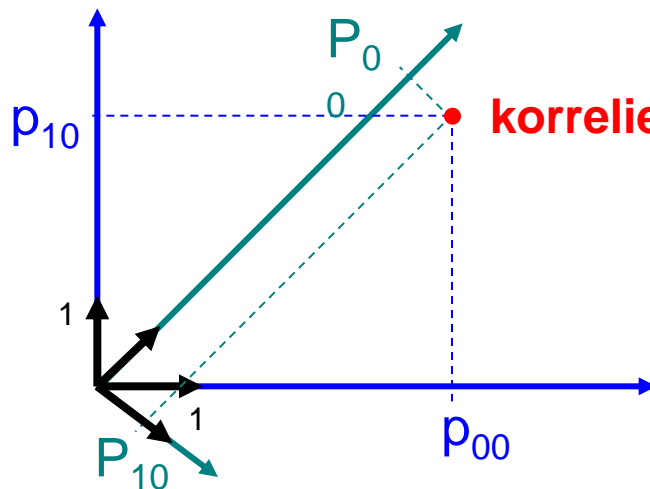
$$P_{u0} = C(u) \cdot \sum_{m=0}^1 p_{m0} \cdot \cos \frac{(2m+1)u\pi}{4}$$

**DCT-Koeff.**

**Pixel**

$$\begin{bmatrix} P_{00} \\ P_{10} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_{00} \\ p_{10} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} p_{00} \\ p_{10} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{00} \\ P_{10} \end{bmatrix} = \underbrace{P_{00} \cdot \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} + P_{10} \cdot \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} \end{bmatrix}}_{\text{neue(s) Koordinaten(system)}}$$



**korrelierte Pixel sind nahe bei der Diagonalen!**

**Pixel**

**DCT-Koeff.**

$$\begin{bmatrix} 40 \\ 39 \end{bmatrix}$$

**DCT**

$$\begin{bmatrix} 55.86 \\ 0.71 \end{bmatrix}$$

**DC-Wert gross  
AC-Wert klein**

$$\begin{bmatrix} 39.6 \\ 39.6 \end{bmatrix}$$

**IDCT**

$$\begin{bmatrix} 56 \\ 0 \end{bmatrix}$$

**quantisiert**

# Beispiel (I)

## 8x8 Block mit korrelierten Pixel

8x8 DCT (p-128)



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

## 8x8 Block mit DCT-Koeffizienten

**grosser DC-Wert**  
(Mass für Mittelwert)

**wenig tieffrequente**  
**grössere AC-Werte**

**viele kleine AC-Werte**  
(vernachlässigbar!)

<b>235.6</b>	-1.0	<b>-12.1</b>	-5.2	2.1	-1.7	-2.7	1.3
<b>-22.6</b>	<b>-17.5</b>	-6.2	-3.2	-2.9	-0.1	0.4	-1.2
<b>-10.9</b>	<b>-9.3</b>	-1.6	1.5	0.2	-0.9	-0.6	-0.1
-7.1	-1.9	0.2	1.5	0.9	-0.1	-0.0	0.3
-0.6	-0.8	1.5	1.6	-0.1	-0.7	0.6	1.3
1.8	-0.2	1.6	-0.3	-0.8	1.5	1.0	-1.0
-1.3	-0.4	-0.3	-1.5	-0.5	1.7	1.1	-0.8
-2.6	1.6	-3.8	-1.8	1.9	1.2	-0.6	-0.4

# Quantisierung (Luminanz)

## feine Stufung

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	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

## grobe Stufung

- Quantisierungstabellen sind im Standard nicht verbindlich normiert.
- Steuerung des Kompressionsverhältnisses meistens über Skalierung der Quantisierungstabelle.

**Default Quantisierungstabelle: Resultat intensiver Experimente!**

# Beispiel (II)

## quantisierte Koeffizienten

$$P'_{uv} = \text{round}(P_{uv}/Q_{uv})$$

15	0	-1	0	0	0	0	0
-2	-1	0	0	0	0	0	0
-1	-1	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

## dequantisierte Koeffizienten

$$P''_{uv} = P'_{uv} \cdot Q_{uv}$$

240	0	-10	0	0	0	0	0
-24	-12	0	0	0	0	0	0
-14	-13	0	0	0	0	0	0
-14	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

EOB

(2)(3), (1,2)(-2), (0,1)(-1), (0,1)(-1), (0,1)(-1), (2,1)(-1), (0,0)

=> 011 11, 11011 01, 00 0, 00 0, 00 0, 11100 0, 1010

=> 31 bit / 64 Pixel < 0.5 bit / Pixel



# Beispiel (III)

## Rekonstruierte Pixel-Werte

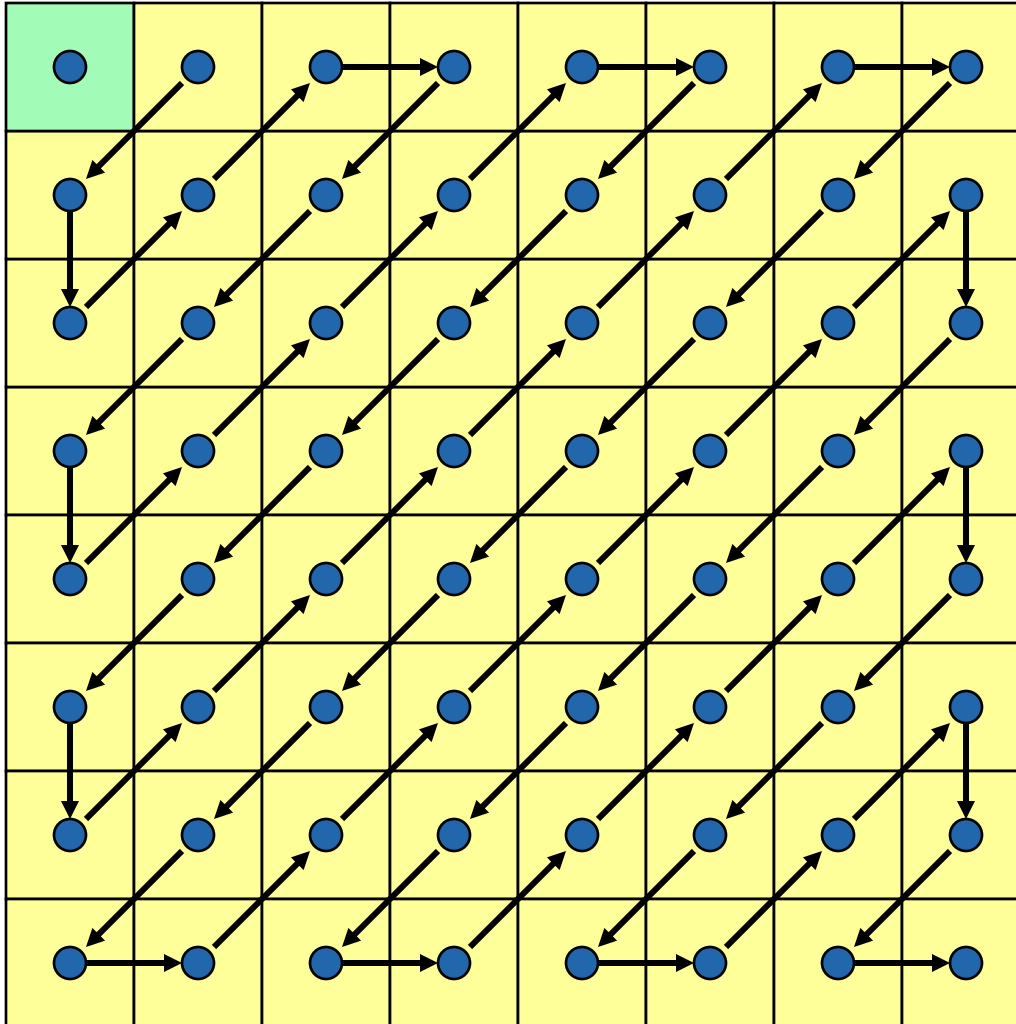
=> grosse Ähnlichkeit  
mit Original

144	146	149	152	154	156	156	156
148	150	152	154	156	156	156	156
155	156	157	158	158	157	156	155
160	161	161	162	161	159	157	155
163	163	164	163	162	160	158	156
163	164	164	164	162	160	158	157
160	161	162	162	162	161	159	158
158	159	161	161	162	161	159	158

## Original Pixel-Werte

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

# Zick-Zack-Scanning DCT-Koeffizienten

**DC****63 AC**

- Run Length Codierung nacheinanderfolgender Nullen.
- End of Block Symbol (EOB) steht für „alles Nullen“ bis zum Blockende.

# Entropy Encoding

## AC-Koeffizienten

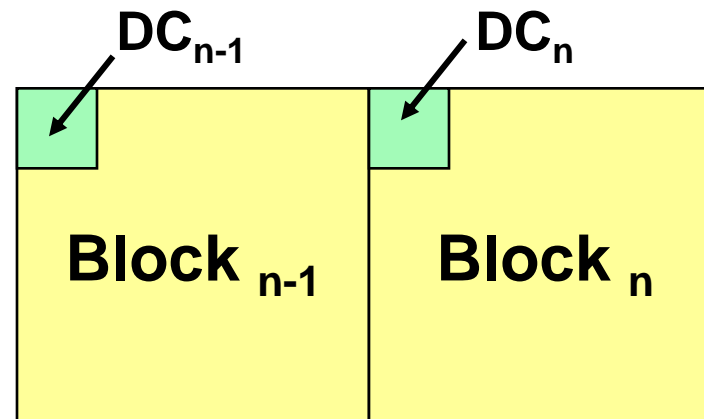
Darstellung der nicht-Null Koeffizienten:



## DC-Koeffizienten

horizontale Prädiktion:

$$DC_n - DC_{n-1}$$



Darstellung:



# JPEG – Kompressionsfaktor, Bildqualität

## **24 Bit / Pixel**

Originalbild mit True Color Auflösung.

## **1.5 - 2.0 Bit / Pixel (Kompressionsfaktor 12 ... 16)**

Normalerweise nicht vom Original unterscheidbar.

Genügt den höchsten professionellen Anforderungen.

## **0.75 - 1.5 Bit / Pixel (Kompressionsfaktor 16 ... 32)**

Exzellente Qualität.

Genügt den meisten Anforderungen.

## **0.5 - 0.75 Bit / Pixel (Kompressionsfaktor 32 ... 48)**

Gute bis sehr gute Qualität.

Genügend für viele Anwendungen.

## **0.25 - 0.5 Bit / Pixel (Kompressionsfaktor 48 ... 96)**

Bescheidene bis gute Qualität.

Genügend für gewisse Anwendungen.