

## Digitales Video

Dr. Detlev Marpe  
Fraunhofer Institut  
für Nachrichtentechnik HHI



## Warum digital?

- **Speicherung**
  - Repräsentierung des digitalen Videos in **Binärdarstellung**
  - Anwendung von **verlustfreier und verlustbehafteter Codierung**
  - **Ausnutzung von zeitl. Redundanzen** zwischen (Halb-) Bildern
- **Nachverarbeitung** (Post-Produktion)
  - Einsatz von **Computertechnik**
  - Mischung von **Computergraphik** und natürlichem digitalen Video
- **Übertragung**
  - **Effizientere Ausnutzung des Spektrums, d.h.:**
  - **Höhere und stabilere Bildqualität** bei geringerer Übertragungsrate; Voraussetzungen dazu:
    - **Effiziente Videocodierung**
    - **Hoher Fehlerschutz**
    - **Effiziente Modulationsverfahren**
  - **Neue Übertragungswege:** z.B. IP-Streaming, IPTV, etc.

2 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel

## Beispiel: Analoge vs. digitale Fernsehübertragung

- **PAL analog**
  - Typische **Bandbreite** eines Fernsehkanals: **8 MHz**
  - Angenommener Übertragungsweg: **Terrestrisch** d.h. per erdgebundenem Sender / Antenne
  - **1 Programm pro Kanal** mit oft schwachem / schwankendem Signalpegel
- **PAL digital**
  - **Szenario:** Übertragung per **DVB-T** (Digital Video Broadcasting - Terrestrial): 2-5 MBit/sec Videodatenrate pro Programm, ca. 25 MBit/sec Nettodatenrate (inkl. fehlerkorrigierender Bits) pro Kanal ("Multiplex"), d.h. **3-5 Programme pro Kanal**
  - **Hoher Fehlerschutz** (durch geeignete Kanalcodierung) und i.a. **Fehlerverschleierung** am Empfänger (Decoder)

3 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel

## Bsp.: Analoge vs. digitale Fernsehübertragung (Fortsetzung)

- **PAL digital per DVB-T** (Weitere Eigenschaften)
  - Mobiler Empfang
  - **Hohe Bild-/Tonqualität** auch bei geringem Signalpegel
  - Effiziente **digitale Aufzeichnung** ohne Qualitätsverlust (des codierten Videosignals, auch Kombination mit Time-Shift)
  - **Nachteile:**
    - **Zeitliche Verzögerung** (ca. 2-5 sec.) bedingt durch Live-Encodierung, Fehlerschutzverfahren, Decodierung, Fehlerverschleierung
    - **Hohe Rechenleistung** zur Videodecodierung (i.a. mittels spezieller Hardware)
- **Demo:** PAL, MPEG2 codiert via DVB-T

4 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel

## ITU-R BT.601: Standard-Definition TV

- "Studio Encoding Parameters of Digital Television For Standard 4:3 and Wide-Screen 16:9 Aspect Ratios"
- CCIR 601 (alter Name) = ITU-R BT.601
- Umfasst **Digitalisierung von 525-Zeilen (NTSC) und 625-Zeilen (PAL) Systemen** in 2 Teilen: Part A und B
- **Weitgehend für Studio-Anwendungen konzipiert**
- **Part A: 13,5 MHz 4:2:2 Abtastung mit 4:3 Aspect Ratio**
- Part B: Enthält (wenig genutzte) Spezifizierung für Systeme mit höherer horizontaler Luma/Chroma Auflösung für 16:9
- **Aber:** BT.601 findet **keine bzw. nur mittelbare Anwendung auf Digital TV-Übertragung** (z. B. in DVB-C/S/T), da dort **4:2:0 Chroma-Abtastung** verwendet wird

5 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel

## PAL 4:2:2 Digital gemäß ITU-R BT.601 (1/2)

- Bildwiederholfrequenz: **25 Bilder/sec** bzw. **50 Halbbilder/sec**
- Vertikale Auflösung  $y = 625$  Zeilen
- Abtastfrequenz für **Luma (Y)**:  $f_Y = 13,5$  MHz
  - Horizontale Auflösung  $x_Y$  (Spalten pro Bild):  
 $x_Y = f_Y / (y \times 25) = 13.500 / (625 \times 25) = 864$  Spalten
- Abtastfrequenz für **Chroma (C=U,V)**:  $f_C = 6,75$  MHz
  - Horizontale Auflösung  $x_C$  (Spalten pro Bild):  
 $x_C = f_C / (y \times 25) = 6.750 / (625 \times 25) = 432$  Spalten
- $\Rightarrow$  Chroma wird gegenüber Luma horizontal 2:1 unterabgetastet (Notation: **4:2:2**, vgl. nächste Folie)
- **Quantisierung der Abtastwerte mit 8 (optional 10) bit**

6 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel

### 4:4:4 vs. 4:2:2 vs. 4:2:0 (Bsp.: progressiv)

A:B:C Notation: Indiziert wie oft Chroma gegenüber Luma horizontal bzw. vertikal abgetastet ist

○ Chroma Sample  
 × Luma Sample

**4:4:4**  
keine Unterabtastung

**4:2:2**  
2:1 Unterabtastung horizontal

**4:2:0**  
2:1 Unterabtastung horizontal und vertikal

Quelle: G. Sullivan, Video Rendering

### PAL 4:2:2 Digital gemäß ITU-R BT.601 (2/2)

864 / 432 Luma-/Chroma-Spalten pro Bildzeile

625 Zeilen

576 Zeilen sichtbar

720 / 360 Luma-/Chroma Spalten sichtbar

### Abtastparameter

	QCIF	CIF/SIF	ITU-R 472	ITU-R 601	ITU-R 709	HD-P
Abtastfrequenz (f) [MHz]	--	--	5,0	13,5	72	≥144
Abtastfrequenz (U, f) [MHz]	--	--	2,5	6,75	36	≥36
Bildpunkte/Zeile (f)	176	352	256	720	1920	≥1920
Zeilenanzahl (f)	144	288	576 (480)	576 (480)	1080	≥1080
Bildpunkte/Zeile (U, f)	88	176	128	360	960	≥960
Zeilenanzahl (U, f)	72	144	576 (480)	576 (480)	1080	≥540
Bildseitenverhältnis	4:3	4:3	4:3	4:3	16:9	var.
Bildfolgefrequenz [Hz]	5-15	10-30	50	50	50	≥50
Datenraten						
Datenmenge Einzelbild [kbyte] bei 80-PCM	38,02	152,1	294,9	829,4 (693,2)	4424 (3680)	3110
Datenrate Bildsequenz [Mb/s]	0,84 - 3,8	10,1 - 30,4	59,0	165,9	884,7	≥1244

**Beispiel:**  
 Pixelanzahl pro Bild = 720 x 576 = 414720  
 Bytes pro Bild = 414720 x 2 = 829440 Bytes  
 Bytes pro Sekunde = 829440 x 25 = 20.736.000 B/s  
 Bits pro Sekunde = 20.736.000 B/s \* 8 = 165.888.000 b/s

### Pixel Aspect Ratio für PAL 4:2:2 Digital

- Breiten-/Höhenverhältnis des sichtbaren Bereichs: **4:3**
- Sichtbarer Bereich (aktive Pixel): **720 x 576 Pixel (Luma)**

⇒ **Pixel Aspect Ratio** = Pixelbreite : Pixelhöhe  
 = (576 x 4 / 3) / 720  
 = 768 / 720  
 = **48 / 45 ≈ 1,0667**

- Pixel in PAL 4:2:2 Digital sind nichtquadratisch!**
- Erforderliche Bildpunkte pro Luma-Zeile für **quadratische Pixel: 768 Pixel pro Zeile**
- PAL-Bild auf Computermonitor ist horizontal gestaucht** (sofern kein vorheriges Resampling stattgefunden hat)

### High-Definition Television (HDTV)

- Zwei gebräuchliche Auflösungen** (jeweils aktive Pixel):
  - 1280 x 720 Pixel: 720p** (~1 MPixel):
    - Progressiv (p)
    - Bildwiederholraten: 24, 25, 30, 50, 60 Hz
    - Datenrate für 720p@50Hz (4:2:2) ≈ 737 Mbit/sec
  - 1920 x 1080 Pixel: 1080p/i** (~2 MPixel)
    - Progressiv (p) und Interlace (i)
    - Bildwiederholraten: 24, 25, 30 Hz
    - Datenrate für 1080i@25Hz (4:2:2) ≈ 829 Mbit/sec
- Für beide Formate gilt:**
  - Abtastfrequenz (bezogen jeweils auf höchste Bildwiederholrate): **74,25 MHz**
  - Image Aspect Ratio: **16:9**
  - Pixel Aspect Ratio: **1 (Quadratische Pixel)**

### Internet Videobildformate

Typ	Breite	Höhe	Rate	Pixel Aspect Ratio
QSIF	160	120	5-15	1
QCIF	176	144	5-15	1
SIF/QVGA	320	240	10-30	1
CIF	352	288	10-30	1
4CIF	704	576	20-30	1
VGA	640	480	20-30	1

...  
**Akronyme:**  
 SIF: Standard Input Format  
 CIF: Common Intermediate Format  
 VGA: Video Graphics Array  
 Q...: Quarter ....

### Digital Video (DV/Mini-DV) Format

- Einsatz in Consumer-Anwendungen, wie z.B. **Camcorder**
- Aufzeichnung auf Kassette
- Übertragung der DV-Daten meist über FireWire oder USB
- Intern. Standard: IEC 61834 (1998)
- Gebräuchlichste Variante: **DV25**
  - **4:2:0** für PAL bzw. 4:1:1 für NTSC
  - **8 bit** pro Luma- und Chroma-Sample
  - **25 Mbit/sec** Videodatenrate



13 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel

### Beispiel: PAL (720 x 576 @ 25 Hz)

Datenrate =  $720 \cdot 576 \cdot 3/2 = 622.080$  Bytes/frame  
 $\Rightarrow 15.552.000$  Bytes/s =  $124.416.000$  bits/s  $\approx$  **124 Mbit/s**

Max. Videodatenrate für Mini-DV (DV25):  $25.000.000$  bits/s

**Kompressionsfaktor** =  $124.416.000 / 25.000.000$   
 $= 4,97664 : 1 \approx$  **5 : 1**

$\Rightarrow$  1 Minute Video entspricht  $\sim$ 188 MB

□ Nach welchem Prinzip erfolgt die Bildcodierung in DV?

14 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel

### Prinzip der DV-Codierung

- Reine **Intraframekodierung**, dadurch wahlfreier Zugriff auf jedes individuelle Bild
- Kodierungsprinzip **ähnlich JPEG**
- Zerlegung der Luma- und Chromasignalanteile in **Blöcke der Größe 8x8**
- 8x8 Diskrete Cosinus-Transformation (**DCT**)
- **Quantisierung** der DCT-Koeffizienten und Codierung mit Codes Variabler Länge (**VLC**)
- **Aber:** Codierung ist **nicht konform** zum JPEG-Standard

15 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel

### Besonderheiten der DV-Codierung

- Adaptive **Frame/Field-Umschaltung** für jeden 8x8 Block:
  - **Frame-Mode:** Bildzeilen der Halbbilder werden verschränkt zusammengefügt und einer 8x8 DCT unterzogen
  - **Field-Mode:** jeder der zwei 8x4 Halbbild-Blöcke wird einer separaten DCT unterzogen
  - Encoder wählt zwischen beiden Modi: Frame-Mode für statische Bereiche, Field-Mode bei Bewegung
- **Adaptation der Quantisiererstufenhöhe** an die unterschiedliche Komplexität innerhalb eines Bildes
- Mehrere **Probedurchläufe** zur Quantisierung um vorgegebene Rate (25 Mbit/s) anzunähern
- **Im Allgem. höhere Codiereffizienz** als Motion-JPEG

16 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel

### Qualitätsvergleich von Videosystemen

	subjektive Qualität
□ D-5 (10-bit, unkomprimiert, BT.601)	10.0
□ D-1 (8-bit, unkomprimiert, BT.601)	9.9
□ Digital Betacam (Motion-JPEG, 90 Mbit/s)	9.7
□ DV, Mini-DV (DV25: 25 Mbit/s)	9.0
□ Betacam SP	8.9
□ Hi8, S-VHS	5.0
□ Video-8, Betamax	4.0
□ VHS	3.0

**Bewertung:** 10 = exzellente Studioqualität  
 (Subjektive Einschätzung nach A. J. Wilt, 2000)

17 © Detlev Marpe, Kai Uwe Barthel