

## A4. Technik der digitalen Bewegtbildverarbeitung

A4.1 Klassische Filmtechnik

A4.2 Analoge TV- und Videotechnik

TV-Technik

Videoaufnahme- und Speichertechnik



A4.3 Digitale Videotechnik

A4.4 Digitale Videoproduktion

Literatur:

Ulrich Schmidt: Digitale Film- und Videotechnik, Fachbuchverlag Leipzig 2002

Johannes Webers: Handbuch der Film- und Videotechnik, 7.Auflage,

Franzis-Verlag 2002

## Filmtechnik vs. TV/Videotechnik

- Film (= Kino)
  - Schwerpunkt auf ausgezeichneter Wiedergabequalität
  - Derzeit vorwiegend analoge Bild-Wiedergabe (erste Digitalprojektoren 2005 im Kino)
  - Digitalisierung derzeit nur beim Ton üblich
  - Alle Bilddaten „parallel“ übertragen
  - Bandbreitenproblem wird durch mechanischen Transport gelöst
  - Bildinhalte sind aktuell nur im Wochen- oder Monats-Maßstab
- Fernsehen
  - Schwerpunkt auf Aktualität und breitem Publikum
  - Technik muss auch sehr einfache Wiedergabegeräte unterstützen (Schwarz/weiß mit wenigen cm Bildschirmdiagonale...)
  - Eng begrenzte Bandbreite wegen Funkübertragung
  - Bilddaten „sequentiell“ übertragen
  - Geringere Auflösung, dadurch (derzeit) wesentlich geeigneter für Digitalisierung

## Geschichte der TV-/Videotechnik

- Abbe Giovanna Caselli, 1862:  
„Pantelegraph“
- Paul Nipkow, 1884:  
„Elektrisches Teleskop“
- Charles Jenkins, John Baird, 1924:  
Bewegtbildübertragung
- Ab 1928 reguläre Ausstrahlung von  
TV-Programmen
- Peter Goldmark, 1940:  
Farbfernsehen
- Ampex, 1956:  
Video-Magnetbandaufzeichnung
- Mondlandung 1969: 600 Millionen Zuschauer  
(über die Hälfte noch in schwarz/weiss)
- Sony, 1976:  
Heim-Videokassettenrecorder („betamax“)



1938

## Physiologische Aspekte zur TV-Technologie

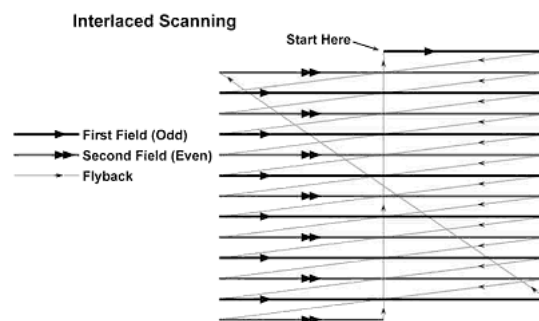
- Räumliches Auflösungsvermögen des menschlichen Auges:
  - Bestimmt durch Abstand der Zapfen auf der Netzhaut:  
ca.  $1,5' = 0,025^\circ$
- Günstiger Betrachtungswinkel für scharfes Sehen:
  - Ca.  $12-15^\circ$
- Notwendige Zeilenzahl:
  - Ca.  $15^\circ / 0,025^\circ = 600$
  - Nach CCIR-Norm: 625, davon 575 effektiv sichtbar (US: 525 Zeilen)
- Betrachtungsabstand für diese Bedingungen:
  - Ca. 5-6-fache Bildhöhe
- Grundkonzeption als „Bild“ innerhalb realer Umgebung
  - Ähnlich wahrgenommen wie Bilder, Kalender etc. an der Wand
  - Keine vollständige Inanspruchnahme des Sehfeldes
  - Stark begrenzte „Immersion“

## Standard-TV und High-Definition-TV

- Standard-TV (SDTV):
  - Zeilenzahl 625
  - Seitenverhältnis 4:3
- High-Definition-TV (HDTV):
  - Verdopplung der Zeilenzahl (Europa 1250)
  - Verdopplung des Blickwinkels
  - Verkürzung des typischen Betrachtungsabstandes auf 3-fache Bildhöhe
  - Zusammen mit Formatwechsel auf 16:9 deutliche Annäherung an Kinobedingungen
- Historie von HDTV:
  - Europäische Initiative zu Beginn der 90er Jahre mit minimaler Akzeptanz
  - USA: Digitales (Kabel-)Fernsehen als Impulsgeber für höhere Auflösungen
  - Europa 2000+: Steigendes Interesse an hochauflösendem TV
    - » Grosse Bildschirme bzw. Projektionsanlagen preisgünstiger geworden
    - » Verfügbarkeit von DVD-Technik und DVB (Digitalfernsehen)

## Zeilensprungverfahren

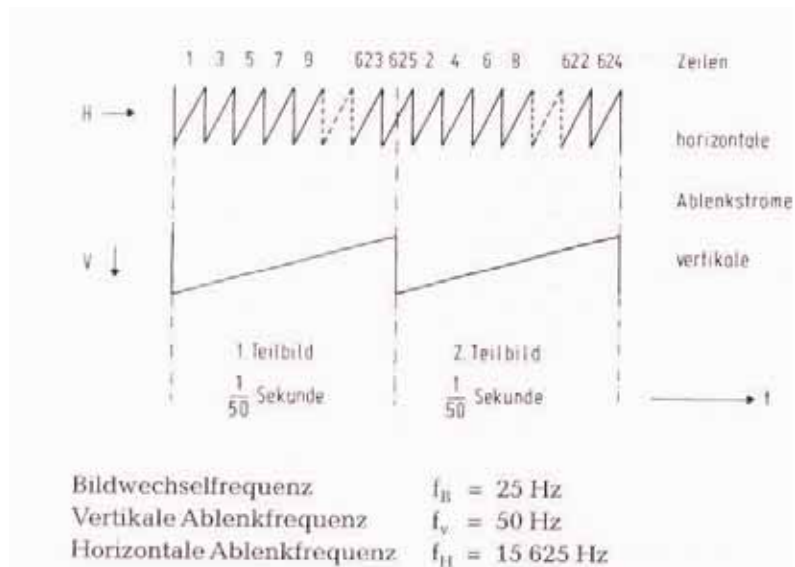
- Wie beim Kino: nur 25 Bilder/s realistischerweise übertragbar, aber 50 Bilder/s Bildwechselfrequenz zur Vermeidung von „Flimmern“ nötig
- Lösung:
  - Übertragung von zwei verzahnten Halbbildern („Interlacing Scan“)
- Bei modernen Geräten eigentlich technisch nicht mehr nötig
  - Bildspeicher
  - Ermöglicht „Progressive Scan“
- Dennoch Basis aller TV-Übertragungen



## TV-Signal elektrotechnisch

- Vier wesentliche Anteile des TV-Signals:
  - Bild-Signal (*B*)
  - Austast-Signal (*A*)
  - Synchron-Signal (*S*)
  - Farbsynchron-Signal (*F*) (entfällt bei Schwarz-Weiss)
- Zusammenfassung der Signale:
  - BAS-Signal (Schwarz-/Weiss)
  - FBAS-Signal (Farbe)
- „Austastsignal“:
  - Dient nur zum Abschalten des Elektronenstrahls während der Rückführung
  - Sägezahnartiger Spannungsverlauf

## Ablenkströme

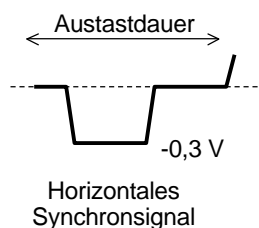


## Zeit- und Zeilenbilanz

- Bildfrequenz (Europa): 25 Bilder/s
  - Bilddauer =  $1000 \text{ ms} / 25 = 40 \text{ ms}$
- Zeilenfrequenz:
  - Zeilendauer:  $40 \text{ ms} / 625 = 64 \text{ } \mu\text{s}$  (d.h. Zeilenfrequenz 15,625 kHz)
- Strahlrücksprung (Strahl abgeschaltet, „Austastung“):
  - Horizontal:  $12 \text{ } \mu\text{s} * 312 = 3,75 \text{ ms}$
  - Vertikal:  $1,6 \text{ ms} = 25 \text{ Zeilendauern}$  (weil  $1,6 \text{ ms} / 64 \text{ } \mu\text{s} = 25$ )
  - Pro Vollbild:  $2 * 25 = 50 \text{ Zeilendauern}$  durch Rücksprung verbraucht
  - Deshalb häufige Sprechweise: „effektiv 575 Zeilen“
- TV-Bild als Pixelbild gesehen:
  - 625 Zeilen
  - Seitenverhältnis 4:3, d.h. ca. 833 „Spalten“
  - Insgesamt ca. 521.000 Bildelemente (Pixel)
    - » Deshalb bei digitalen Videokameras relativ geringe Pixelzahlen (typisch 800.000 Pixel)

## Synchronsignale

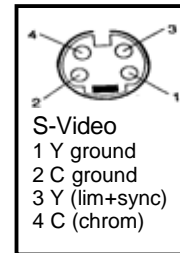
- Stellen identische Darstellung bei Wiedergabe und Aufnahme sicher
- Horizontal:
  - In der „Austastlücke“ ( $12 \text{ } \mu\text{s}$ ) negatives Rechtecksignal ( $4,7 \text{ } \mu\text{s}$ )
- Vertikal:
  - Sehr langes Rechtecksignal (über 2,5 Zeilen)
  - Mit einfachen elektrotechnischen Hilfsmitteln (RC-Glieder) erkennbar



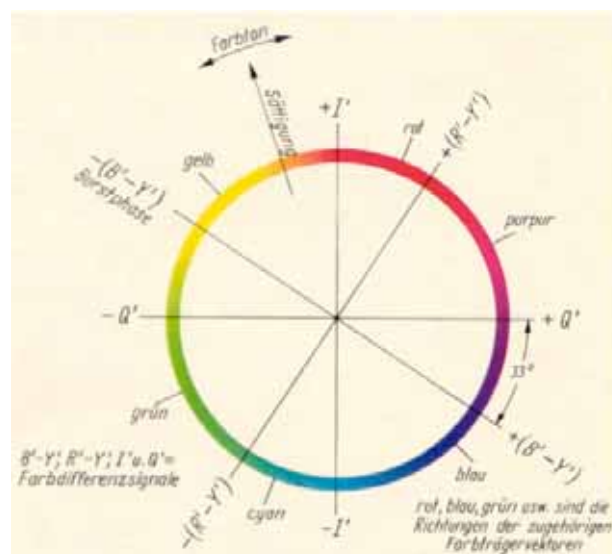
## Farbvideosignale



- Hochwertiges Farb-Video mit RGB:
  - 3 Farb-Bildsignale, separat geführt
  - Separates Synchronsignal
- Komponentensignal:
  - Luminanzsignal  $Y$  für Bildpunkthelligkeit (Schwarz-/Weiss-kompatibel)
    - » Enthält auch Abtast- und Synchronsignale
  - Chrominanzsignale ( $C$ )
    - » Farbwertdifferenzen ( $C_R = Rot - Y, C_B = Blau - Y$ )
  - Hochwertiges Komponentensignal durch 3 Leitungen (Analog-Studioteknik)
- Separate Führung von  $Y$  und  $C$ :
  - Überlagerung der beiden Chrominanzsignale ( $90^\circ$  phasenverschoben)
  - *S-Video, Y/C-Video* mit 4-poligem Hosiden-Stecker
  - Relativ hochwertige Bildqualität
- Gemeinsame Führung von  $Y$  und  $C$  auf einer Leitung:
  - *Composite Video, FBAS-Signal*, meist auf (gelbem) Cinch-Stecker
  - Einfachste Bildqualität



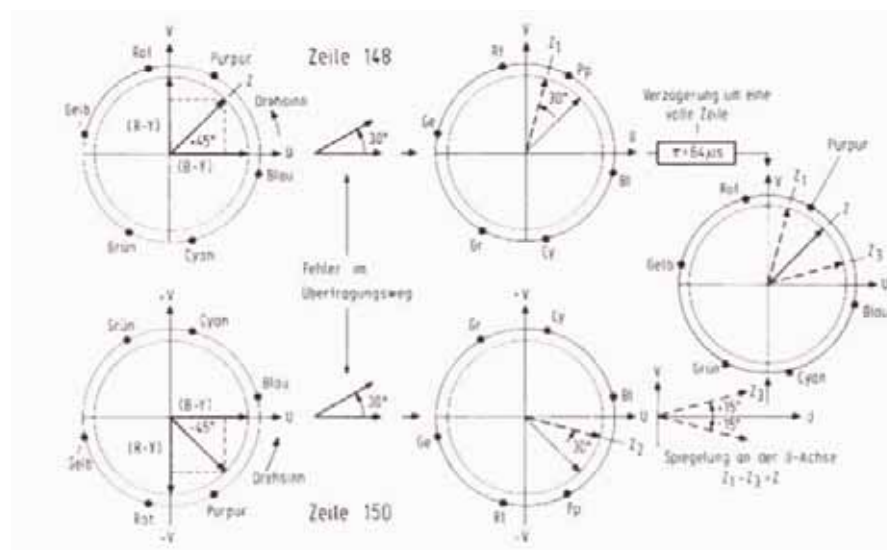
## Farbkreis der TV-Phasenmodulation



## Farbfernsehsysteme

- NTSC = National Television System Committee (USA)
  - Erstes Farbfernsehsystem
  - Farbton bestimmt sich aus der Phasenlage des Chrominanzsignals relativ zu einem Farbsynchronsignal (*burst*)
  - Fehler im Empfänger und in der Übertragung (Phasenverschiebungen) führen zu Farbtonveränderungen
    - » „Never the same color“
- PAL = Phase Alternating Line (Deutsche Entwicklung)
  - W. Bruch 1962
  - Richtung der Phasenmodulation für den Farbton bei jeder zweiten Zeile invertiert
  - Verzögerung des Farbwerts der vorhergehenden Zeile und Durchschnittsbildung mit aktuellem Farbwert
    - » dadurch kompensieren sich Phasenfehler der Übertragung
- SECAM = Secuentele Couleur à mémoire (Französische Entwicklung)
  - Sequentielle Übertragung der beiden Chrominanzwerte einer Zeile
  - Kombination mit dem anderen Chrominanzwert der vorhergehenden Zeile

## Beispiel zur Phasenkorrektur in PAL



## Verbreitung der Farbfernsehsysteme

- NTSC:
  - Japan
  - USA
  - Kanada
  - Korea
- PAL:
  - Brasilien
  - China
  - Deutschland
  - UK
  - Indien
- SECAM:
  - Frankreich
  - Ägypten
  - Polen
  - Russland

Beispiele!

## A4. Technik der digitalen Bewegtbildverarbeitung

A4.1 Klassische Filmtechnik

A4.2 Analoge TV- und Videotechnik

TV-Technik

Videoaufnahme- und Speichertechnik



A4.3 Digitale Videotechnik

A4.4 Digitale Videoproduktion

Literatur:

Ulrich Schmidt: Digitale Film- und Videotechnik, Fachbuchverlag Leipzig 2002  
Johannes Webers: Handbuch der Film- und Videotechnik, 7.Auflage,  
Franzis-Verlag 2002



## Video-Aufnahme

- Typen von Video-Kameras
  - Reine Video-Kamera, z.B. Fernseh-Studiokamera
  - *Camcorder* = Camera & Recorder, d.h. optische Kamera und Magnetbandaufzeichnung
- Video-Kameratechnik
  - Sehr ähnlich zur Filmkamera, aber Bildwandler statt Film
  - Analoger Bildwandler:
    - » Bildwandlung durch zeilenweise Abtastung mit Elektronenstrahl
    - » z.B. „Vidikon“: lichtempfindliche Halbleiterschicht und Speicherplatte wirken als Kondensatoren, die durch Licht entladen werden; Aufladung durch Elektronenstrahl ergibt messbaren Ladestrom
  - Digitaler Bildwandler (heute auch in Analog-Kameras!):
    - » CCD- oder CMOS-Bildwandler
    - » Bei „Frame-Transfer“ CCD mechanische Abdeckung (Flügelblende) während Ladungstransport
    - » Bei „Interline-Transfer“ CCD elektronischer „Verschluss“ durch Speicherbereich im Bildwandler
    - » „Frame-Interline-Transfer (FIT)“-CCD: Kombination der Vorteile

## Typische Bildwandlergrößen bei Videokameras

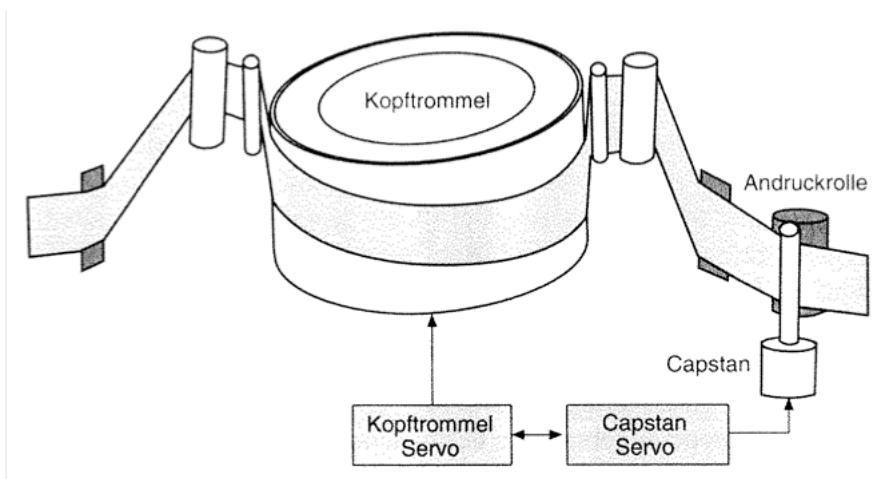
- „2/3-Zoll“:
  - 8,8 x 6,6 mm (4:3)
  - 9,6 x 5,4 mm (16:9)
  - Erreicht fast die Größe des 16mm-Filmformats
  - Profikameras
- „1/2-Zoll“:
  - 6,4 x 4,8 mm (4:3)
  - Profikameras, Überwachungskameras
- „1/4-Zoll“:
  - 4,4 x 3,7 mm (4:3)
  - Consumer-Kameras
- Zur Erhöhung der Auflösung haben hochwertige Kameras ein 3-Sensor-System
  - je ein CCD je Grundfarbe



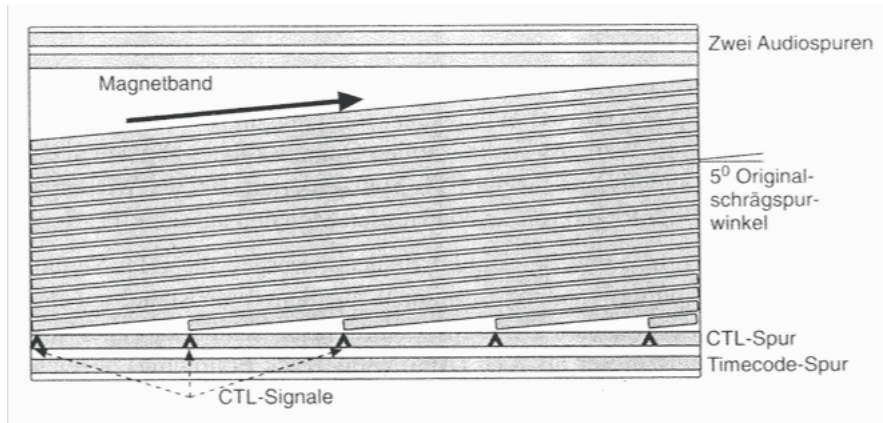
## Magnetische Bildaufzeichnung (MAZ)

- In Fernsehstudios seit langem betrieben, um kurzfristige Bereitstellung von Einspielungen zu realisieren
- Grundproblem: Bandbreite
  - 10 Hz bis 5 MHz  
(vgl. Audio 20 Hz bis 20 kHz)
- Lösungsansatz 1:
  - Frequenzmodulation des Signals auf Zwischenfrequenz-Träger
- Weiteres Problem: Bandgeschwindigkeit
  - Linearer Bandtransport müsste ca. 40 m/s leisten !  
(d.h. 216 km Band für einen Spielfilm)
- Lösungsansatz 2:
  - Rotierende Schreib-/Leseköpfe
  - Schrägspuraufzeichnung

## Bandführung bei der Schrägaufzeichnung



## Schrägaufzeichnung auf Magnetband (Beispiel)



## Ein frühes Schrägspur-Aufzeichnungsgerät

- 1967 Ampex CR-2000 (ca. 1 Tonne Gewicht)
- Analoges (unkomprimiertes) Video, vier rotierende Köpfe



## Videobandformate

	1950	1960	1970	1980	1990
FM-Direkt		Quadruplex		1" B, 1" C	
Colour Under			U-Matic VCR	Betamax VHS	Video8 Hi8 S-VHS
Komponenten				Betacam (SP) MI MII	
Digital Composite					D2 D3
Digitale Komponenten				D1	DCT D5 D-Beta DVC

Nach wie vor weitverbreiteter analoger Videoband-Standard: Sony Betacam SP  
 – separate Spuren für Luminanz- & Chrominanz-Signale  
 – Farbkomponentensignale getrennt (komprimiert) aufgezeichnet

## Video Home System (VHS)

- Entwickelt von JVC (mit von Sony gekauften Patenten)
  - Sieger im Marktkampf mit den Systemen Betamax (Sony) und Video 2000 (Philips/Grundig)
- Bandmaterial wie bei professionellen Systemen (1/2")
  - langsamere Bandgeschwindigkeit (2 cm/s)
- Spuren:
  - Eine Spur für Luminanz und Chrominanz (Frequenzmultiplex)
  - „ColourUnder“: Farbsignal in Frequenzbereich unterhalb des Y-Signals
- Auflösung:
  - 250 Linien (Variante S-VHS: 400 Linien)
  - Zum Vergleich: Gute Monitore lösen 800 Linien auf
- Aktuelle Weiterentwicklung:
  - Digitale Varianten von VHS
  - „High Definition VHS“

## A4. Technik der digitalen Bewegtbildverarbeitung

A4.1 Klassische Filmtechnik

A4.2 Analoge TV- und Videotechnik

TV-Technik

Videoaufnahme- und Speichertechnik

A4.3 Digitale Videotechnik



A4.4 Digitale Videoproduktion

Literatur:

Ulrich Schmidt: Digitale Film- und Videotechnik, Fachbuchverlag Leipzig 2002

Johannes Webers: Handbuch der Film- und Videotechnik, 7.Auflage,  
Franzis-Verlag 2002

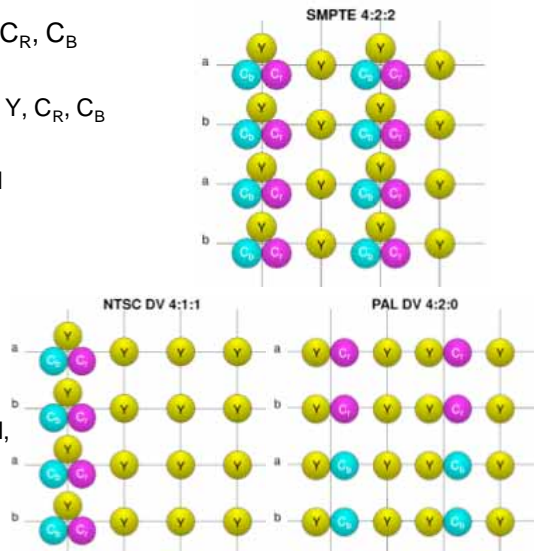
## Digitalisierung von Video-Signalen

- Audio (CD-Qualität):
  - 16 bit Auflösung, Abtastfrequenz 44,1 kHz
- Video:
  - Für Videomonitor üblich:
    - 8 oder 10 bit Bildwertauflösung (256 bzw. 1024 Farbwerte)
  - Bei Filmdigitalisierung höchster Qualität:
    - 14 bit Bildwertauflösung (16384 Farbwerte)
  - Abtastfrequenz (bei Digitalisierung von „Composite Video“):
    - » Farbträgerfrequenz ca. 4,43 MHz, also min. 10 MHz Abtastung
    - » Zur Vermeidung von Interferenzen besser vierfache Frequenz des Farbträgers, d.h. 17,73 MHz
  - Bitrate:  $17,73 \text{ MHz} * 8 \text{ bit} = 142 \text{ Mbit/s}$ 
    - » D.h. ca. 1 GByte/Minute ! ( $17,73 * 60 = 1064$ )

—> Digitale Videosignale stellen höchste Anforderungen an Speicherplatz

## Komponentensignal: Chroma-Subsampling

- Video-Komponentensignal: Y, C<sub>R</sub>, C<sub>B</sub>
- 4:4:4
  - Gleichmässige Abtastung von Y, C<sub>R</sub>, C<sub>B</sub>
- 4:2:2
  - Bei C<sub>R</sub>, C<sub>B</sub>: Jedes zweite Pixel
  - Reduzierte Datenrate: 2/3
- 4:1:1
  - Bei C<sub>R</sub>, C<sub>B</sub>: Jedes vierte Pixel
  - Reduzierte Datenrate: 1/2
  - Bei NTSC verbreitet
- 4:2:0
  - Bei C<sub>R</sub>, C<sub>B</sub>: Jedes zweite Pixel, abwechselnd C<sub>R</sub> oder C<sub>B</sub>
  - Reduzierte Datenrate: 1/2
  - Bei PAL verbreitet



## Digitales Komponentensignal nach ITU-R 601

- Internationaler Standard für digitale Abtastung von Videosignalen
- Systemkompatibel zu:
  - PAL: 625 Zeilen, 50 Hz Halbbildwechselfrequenz
  - NTSC: 525 Zeilen, 59,94 Hz Halbbildwechselfrequenz
- Abtastfrequenz für Luminanzsignal (Y):
  - 13,5 MHz, d.h. bei 864 Abtastwerte/Zeile (PAL) bzw. 858 (NTSC)
  - Berücksichtigung der Austastlücke: 720 Abtastwerte je Zeile (*unabhängig vom TV-Standard!*)
- Z.B. bei 4:2:2-Chroma-Subsampling:
  - 720 Luminanzwerte + 2 \* 360 Farbwerte je Zeile
  - 576 Bildzeilen (effektiv), d.h. Speicherbedarf je Vollbild 829440 Samples
  - Datenrate (umfasst auch Daten der Austastlücke):  
13,5 MHz \* 2 \* Samplegrösse, d.h. 216 Mbit/s bei 8 Bit Bildwertauflösung  
» D.h. ca. 1,6 GByte/Minute !
- Bei 4:1:1- oder 4:2:0-Subsampling: 162 Mbit/s
- Physikalische Schnittstellen (ITU-R 656):
  - parallel oder seriell (Serial Digital Interface SDI)

## High-Definition Video - Digital

- Hochqualitatives Videosignal:
  - Höhere Zeilenzahl (effektiv 1080)
  - Höhere Abtastrate (74,25 MHz nach ITU-R 709)
  - 1920 Samples/Zeile
  - Bildformat 16:9
  - Bildwertauflösung 10 bit
- Datenrate 1,485 Gbit/s
- Digitale Filmproduktion:
  - Abtastung mit 2048 oder 4096 Samples/Zeile („2k“ und „4k“)
  - Z.B. „MPEG 4 Studio Profile“:
    - » Bis zu 4096 x 4096 Pixel
    - » Auch 4:4:4 Sampling von RGB-Signalen
    - » Datenraten bis zu 2,4 Gbit/s

## Weitere Video-Datenreduktion

- Intraframe-Codierung:
  - Anwendung der Diskreten Cosinus-Transformation (DCT)  
analog zu JPEG
  - In vielen Video-Standards verwendet (z.B. in DV = Digital Video)
- Interframe-Codierung:
  - Basiert auf Prädiktionsverfahren (z.B. Bewegungskompensation)
  - Differential-Codierung (Differenz tatsächliches Bild - vorhergesagtes Bild)
  - MPEG-Standard-Familie (derzeit v.a. MPEG-2 und MPEG-4)
  - Zunehmende Verbreitung als Video-Standard
    - » Problematisch beim digitalen Videoschnitt

## Professionelle Video-Bandgeräte



DVCAM-Recorder



Digital Betacam Recorder

## Digitale Video-Bandaufzeichnung

- Digitale Komponenten-Signal-Aufzeichnung (unkomprimiert):
  - D1-Standard (1985)
    - » Digitales Komponenten-Signal nach ITU-R 601 (227 Mbit/s), 8 bit Samples
    - » Chroma-Subsampling 4:2:2, sonst unkomprimiert
    - » Diagonale Bandaufzeichnung mit schmalen Spuren
  - Ähnliches Format mit 10 bit Samples: D5
- Digitale Komposit-Signal-Aufzeichnung (unkomprimiert):
  - D2- und D3-Formate, heute fast bedeutungslos
- Digitale Komponenten-Signal-Aufzeichnung (komprimiert) - Beispiele:
  - Digital Betacam
    - » DCT-Kompression 2:1 (124 Mbit/s)
  - Digital Video (DV)
    - » DCT-Kompression 5:1 und 4:2:0 Subsampling (25 Mbit/s) (d.h. 190 MByte/Minute)
  - DVCPRO 50
    - » DCT-Kompression 3,3:1 und 4:2:2 Subsampling (50 Mbit/s)



## Trend im professionellen Bereich: MPEG

- Z.B. Sony IMX-System
  - Kompatibel zu MPEG-2 und MPEG-4
    - » Wichtig für Digital Video Broadcast (DVB) und DVD-Video
  - 4:2:2 Subsampling
  - Reiner I-Frame MPEG-Strom
    - » Damit geeignet für Videoschnitt
  - Datenrate 50 Mbit/s
  - Abspielgeräte („Multi-Format-Player“)  
kompatibel mit Betacam
- „D10“-Standard  
= MPEG-2



## Heimbereich wird semiprofessionell: DV-Standard

- Vielzahl analoger Standards für den Heimbereich:  
VHS, S-VHS, VHS-C, Video-8, Hi8
- Digitale Standards für den Heimbereich:  
Digital8, DV, ...
- DV
  - Familie von Formaten mit semiprofessioneller Qualität
  - Starke DCT-Kompression (5:1) - 25 Mbit/s
  - Einfach über IEEE 1394 (FireWire, iLink) übertragbar („DV in/out“)
  - 6,3 mm breite Bänder
  - Zwei Kassettengrößen (Standard und mini)
  - Professionelle Varianten: DVCPRO und DVCAM
  - Höhere Qualität: DVCPRO 50 (doppelte Datenrate: 50 Mbit/s)
  - Heimbereich-DV („miniDV“):
    - » Kleine Kassetten
    - » Fast sendereife Qualität



## Trends im Heimbereich

- Direkte Aufzeichnung auf DVD
- Direkte Aufzeichnung im MPEG-Format
  - Z.B. MicroMV (MPEG-2)



## Digital <—> Analog - Wandlung

- A → D: Digitalisierung analoger Video-Quellen
  - Bei Weiterverarbeitung analog vorliegenden Materials (z.B. Videobänder)
  - Hardware-Lösungen (z.B. auf Video-Schnittkarte oder „Break-Out-Box“)
- A → D: Filmabtastung
  - Scannen von Filmmaterial
    - » Punktweise („flying spot“), zeilenweise oder bildweise
  - Spezialgeräte (z.B. „Telecine“)
- D → A: Analoges Rendering digitaler Quellen
  - Z.B. zur Ausgabe auf TV-Monitor, Aufnahme auf Analog-Videoband, Belichten von Film
  - Hochwertige Lösung: Laserbelichter (z.B. „Arrilaser“)
- Einfache Möglichkeit zur Digital<->Analog-Wandlung:
  - Digitaler Camcorder mit analogem und digitalem Ein-/Ausgang

