

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 bei guter Qualität nur analoge Bild-Wiedergabe
 - » erste Kino-Digitalprojektoren (2004): „2K Auflösung“ (2048x1080)
 - 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

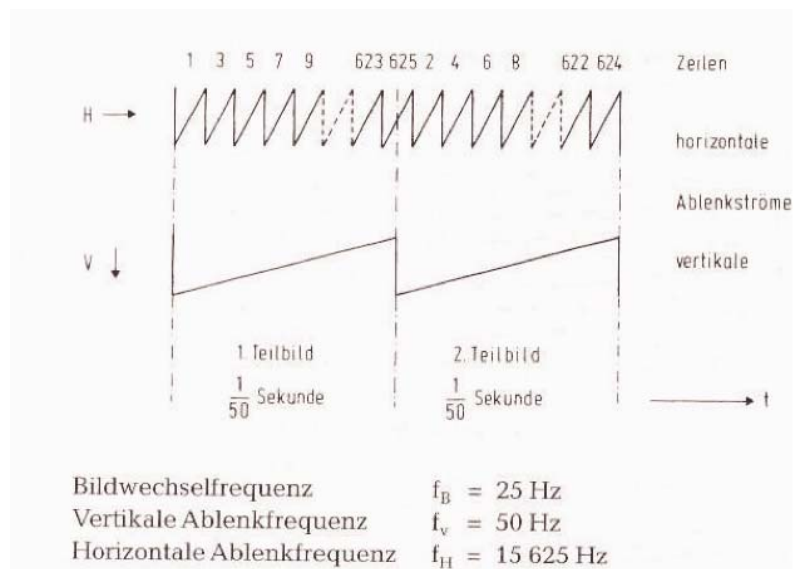
Physiologische Aspekte zur TV-Technologie

- 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“

TV-Signal elektrotechnisch

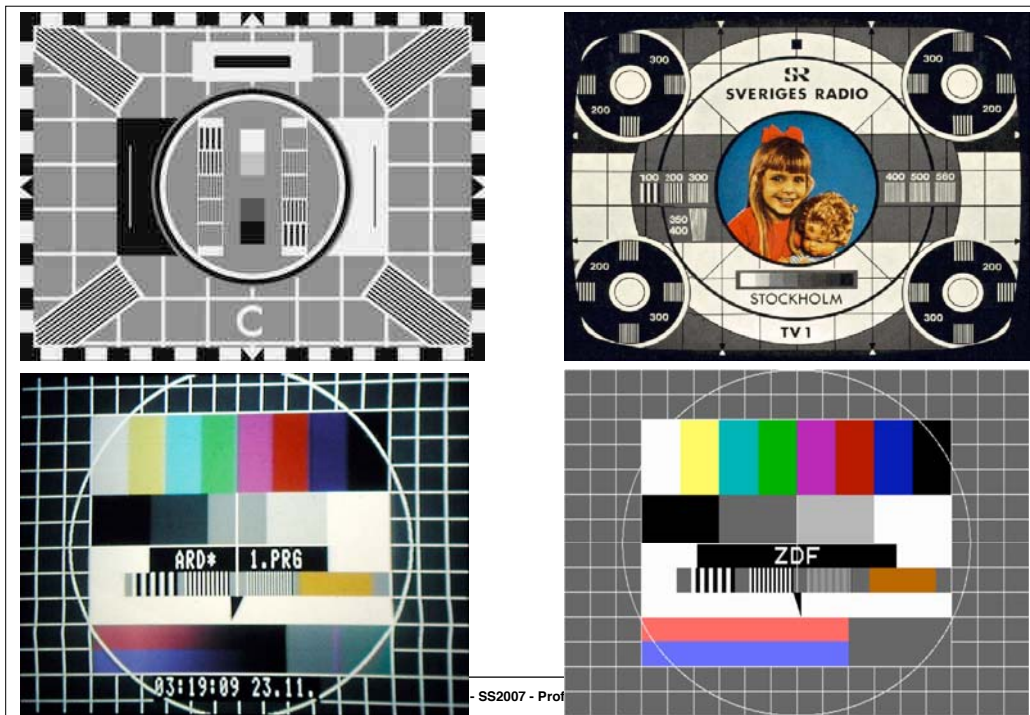
- Vier wesentliche Anteile des TV-Signals:
 - Bild-Signal (*B*)
 - Austast-Signal (*A*)
 - Synchron-Signal (*S*)
 - Farbsynchron-Signal (*F*) (entfällt bei Schwarz-Weiss)
- Zusammenfassung der Signale:
 - BAS-Signal (Schwarz-/Weiss)
 - FBAS-Signal (Farbe)
- „Austastsignal“:
 - Dient nur zum Abschalten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

Ablenkströme



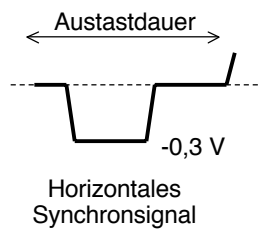
Zeit- und Zeilenbilanz

- 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)



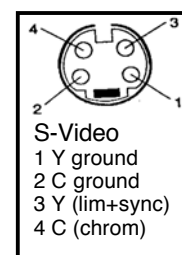
Synchronsignale

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

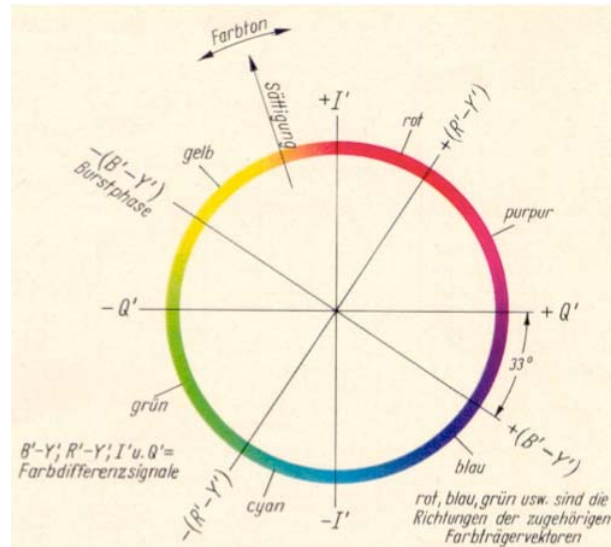


Farbvideosignale

- 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° 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



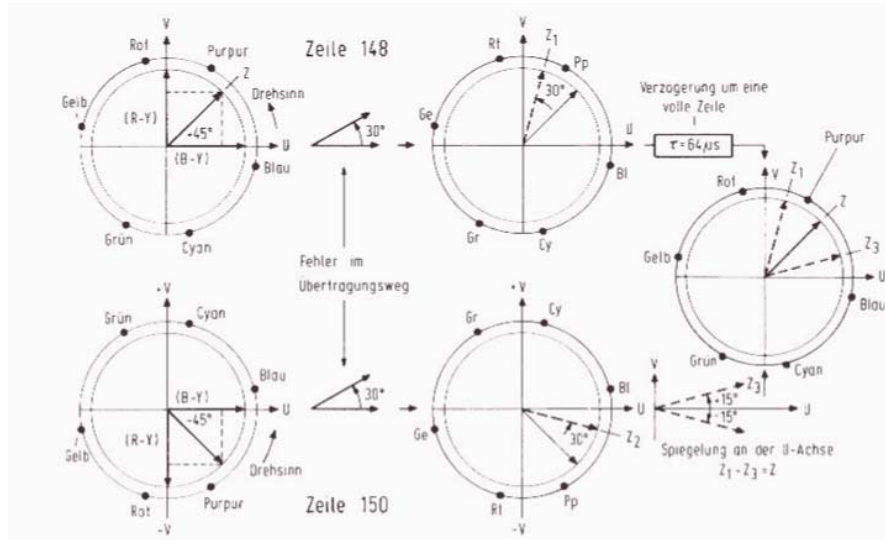
Farbkreis der TV-Phasenmodulation



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

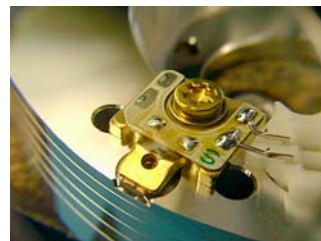
Typische Bildwandlergrößen bei Videokameras

- „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

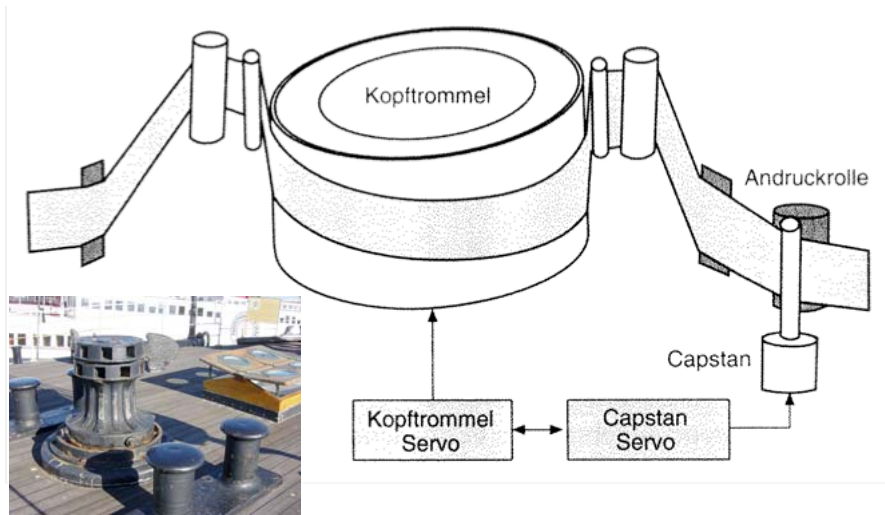


Magnetische Bildaufzeichnung (MAZ)

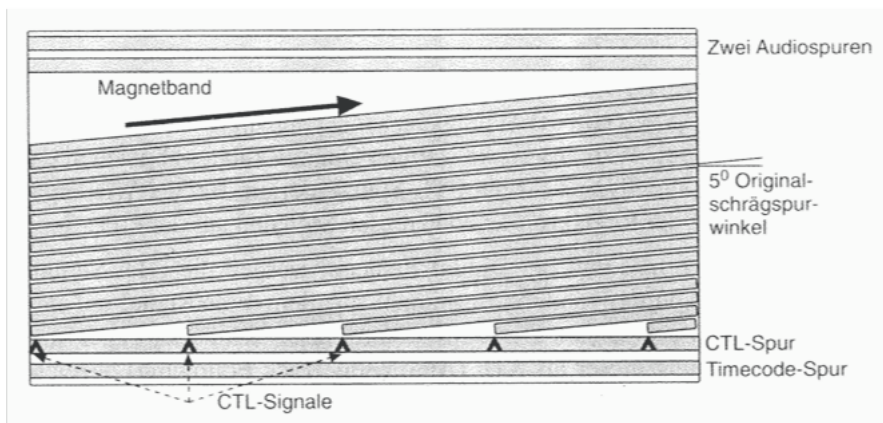
- In Fernsehstudios seit langem betrieben, um kurzfristige Bereitstellung von Einspielungen zu realisieren
- Grundproblem: Bandbreite
 - 10 Hz bis 5 MHz
(vgl. Audio 20 Hz bis 20 kHz)
- Lösungsansatz 1:
 - Frequenzmodulation des Signals auf Zwischenfrequenz-Träger
- Weiteres Problem: Bandgeschwindigkeit
 - 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

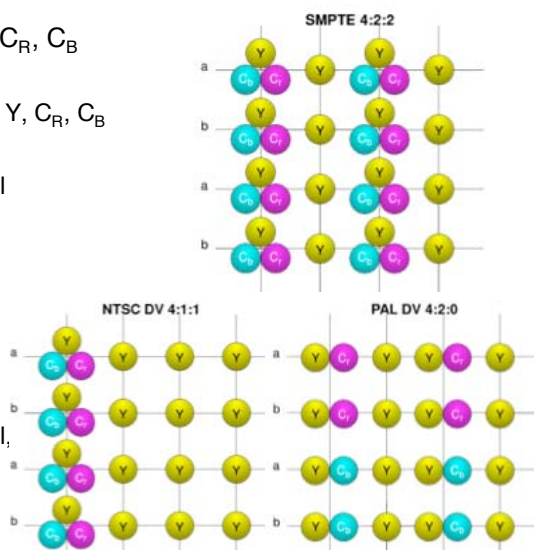
Digitalisierung von Video-Signalen

- Audio (CD-Qualität):
 - 16 bit Auflösung, Abtastfrequenz 44,1 kHz
- Video:
 - Für Videomonitore 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_R, C_B
- 4:4:4
 - Gleichmässige Abtastung von Y, C_R, C_B
- 4:2:2
 - Bei C_R, C_B: Jedes zweite Pixel
 - Reduzierte Datenrate: 2/3
- 4:1:1
 - Bei C_R, C_B: Jedes vierte Pixel
 - Reduzierte Datenrate: 1/2
 - Bei NTSC verbreitet
- 4:2:0
 - Bei C_R, C_B: Jedes zweite Pixel, abwechselnd C_R oder C_B
 - Reduzierte Datenrate: 1/2
 - Bei PAL verbreitet



Digitales Komponentensignal nach ITU-R 601

- Internationaler Standard für digitale Abtastung von Videosignalen
 - auch als CCIR-601 bzw. D1 bezeichnet
- Systemkompatibel zu:
 - PAL: 625 Zeilen, 50 Hz Halbbildwechselfrequenz
 - NTSC: 525 Zeilen, 59,94 Hz Halbbildwechselfrequenz
- Abtastfrequenz für Luminanzsignal (Y):
 - 13,5 MHz, d.h. 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. 1,3 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



Digitales Kino Literatur: DCI Specification (www.dci.com, 2007)

- Digitale Filmkameras seit ~ 2000 verfügbar
- Digitale Postproduktion weit verbreitet
 - Teilweise seit den 1980ern („The Abyss“)
 - Komplette digitale Postproduktion seit ~2000 (+ „Toy Story“, 1995)
- ⇒ nächster logischer Schritt: Digitale Distribution und Projektion
- Hindernisse:
 - Henne-Ei-Problem
 - Technik veraltet schnell
 - Sicherheit (Raubkopien, DRM)
 - Zuverlässigkeit
 - Wer zahlt? (Kostenvorteile für die einzelnen Verleihe, Ausgaben für Kinos)
 - Wer macht's? (Distributionsinfrastruktur, Abrechnung)



RED ONE, 2007

Produktions- und Distributionskette

Filmproduktion → Verleih → Kinobetreiber

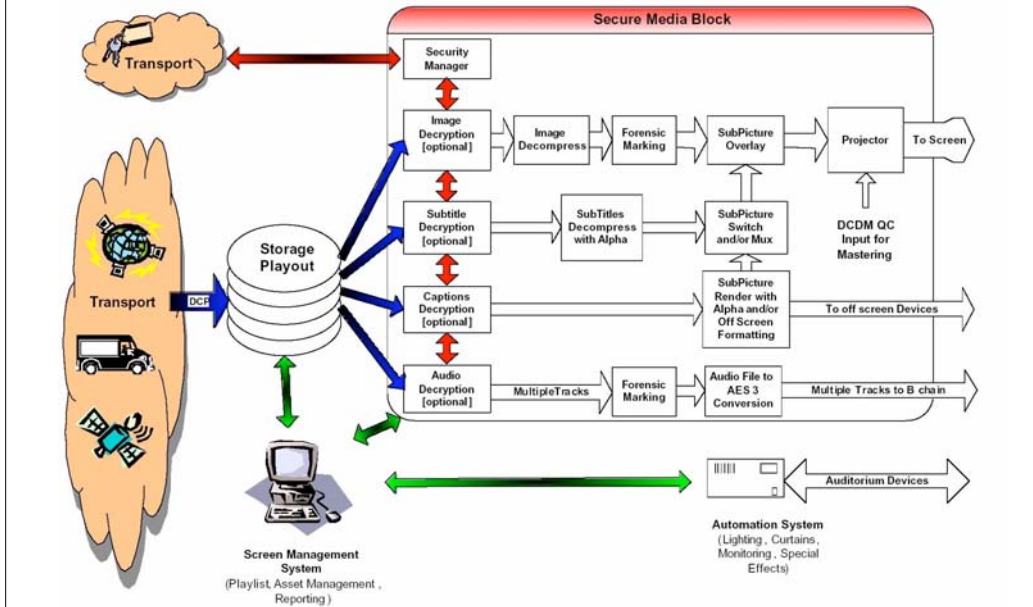
Filmproduktion → Verleih → **Intermediär** → Kinobetreiber

Produktion des Films	Vorfinanzierung	Betrieb Playout-Center
	Promotion	Betrieb Datennetze
	Lokalisierung	Vermietung / Wartung der Kinotechnik
	klassisch:	Abrechnung
	Kopienerstellung	
	Kopienversand	

DCI-Spezifikation

- Von der Digital Cinema Initiative (DCI) entworfen: DCSM -> DCDM
 - Disney, Fox, (MGM), Paramount, Sony, Universal, Warner Bros
- Umfassender Standard einer Vertriebs- und Produktionskette für Digitales Kino
- Letzte Version: 1.1 (April 2007)
- Baut auf existierenden Standards auf:
 - MXF (Container)
 - AES (Verschlüsselung)
 - HMAC-SHA-1 (Signatur)
 - JPEG 2000 (Bildkompression)
- Kinobetreiber-freundlich
 - “control lightly, audit tightly”
 - Technik soll nicht erneuert werden müssen
 - Hohe Stabilität (Offline-Betrieb, Fehlertoleranz)

Distributionskette und Secure Media Block



Digital Cinema System Workflow

