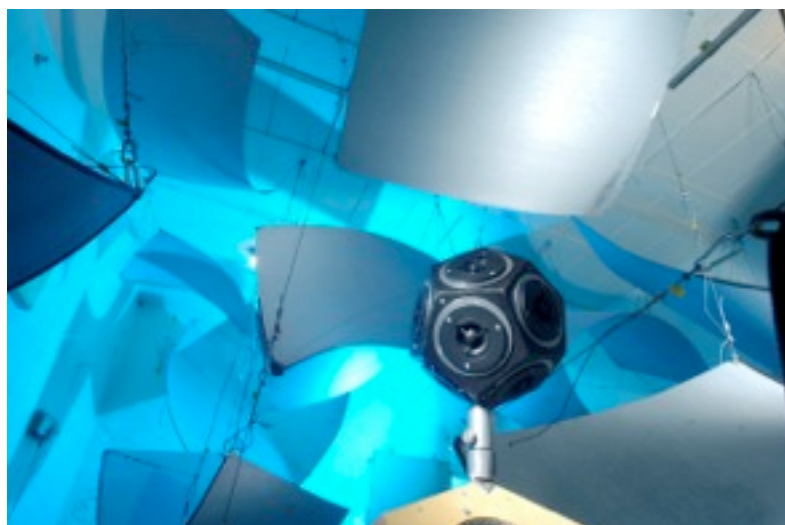



# Exkursion zum Institut für Rundfunktechnik



- IRT**                      Forschungsinstitut der öffentlich-rechtlichen  
Rundfunkanstalten
- Termin**                      21.06.13, 10 Uhr (Zeit unbestätigt),  
Floriansmühlstraße 60, 80939 München
- Anmeldung**                      Ab 07.06.13, 14 Uhr über UniWorX (als Übungsblatt)  
Maximal 40 Teilnehmer („first-come, first-served“)



# 3. Film- und Videotechnik und digitale Videobearbeitung

- 3.1 TV- und Videotechnik analog und digital
- 3.2 Produktion und Gestaltung von Videomaterial
- 3.3 Digitaler Videoschnitt und Nachbearbeitung
- 3.4 Speicherung und Übertragung von Videodaten 
- 3.5 Klassische Filmtechnik und digitales Kino

## Literatur:

Ulrich Schmidt: Digitale Film- und Videotechnik, 3. Auflage, Hanser 2010  
Johannes Webers: Handbuch der Film- und Videotechnik, 8. Auflage,  
Franzis-Verlag 2007

# Geschichte der Speichermedien im Überblick

1801: Joseph-Marie Jacquard: Steuerung von Webmaschinen für komplexe Muster durch Metallplatten mit gestanzten Löchern

1834: Charles Babbage, “Analytical Engine” nutzt Lochkarten als Speicher (nicht wirklich gebaut)

1890: Herman Hollerith, Lochkarten für U.S.-Volkszählung

Später auch Lochbänder

Die Idee, Löcher zur Speicherung zu verwenden, ist immer noch die Basis von CD, DVD und ihren Nachfolgemedien!

1951: UNIVAC I, Magnetbänder

50er Jahre: Magnettrommeln und -Scheiben

70er Jahre: Austauschbare flexible Magnetscheiben (floppy disks)

80er Jahre: Hochdichte Magnetspeicherung (Bernoulli-Prinzip) und magneto-optische (MO) Speicherung

Seit 1982: Siegeszug der “CD” (Compact Disc)

Seit 1994: Zunehmende Bedeutung von nicht-flüchtigen Halbleiterspeichern

# Magnetbänder: Grundlagen

## Prinzip:

Kunststoffstreifen, mit ferromagnetischem Material beschichtet

Grundsätzlich nur sequentieller Zugriff

Start/Stop-Verfahren oder „Streaming“

## Geschichte:

entwickelt bei IBM (ca. 1951), Produkt ab 1953

IBM "Reel-to-Reel" System 726

Standard seitdem: Bandbreite 1/2 Zoll

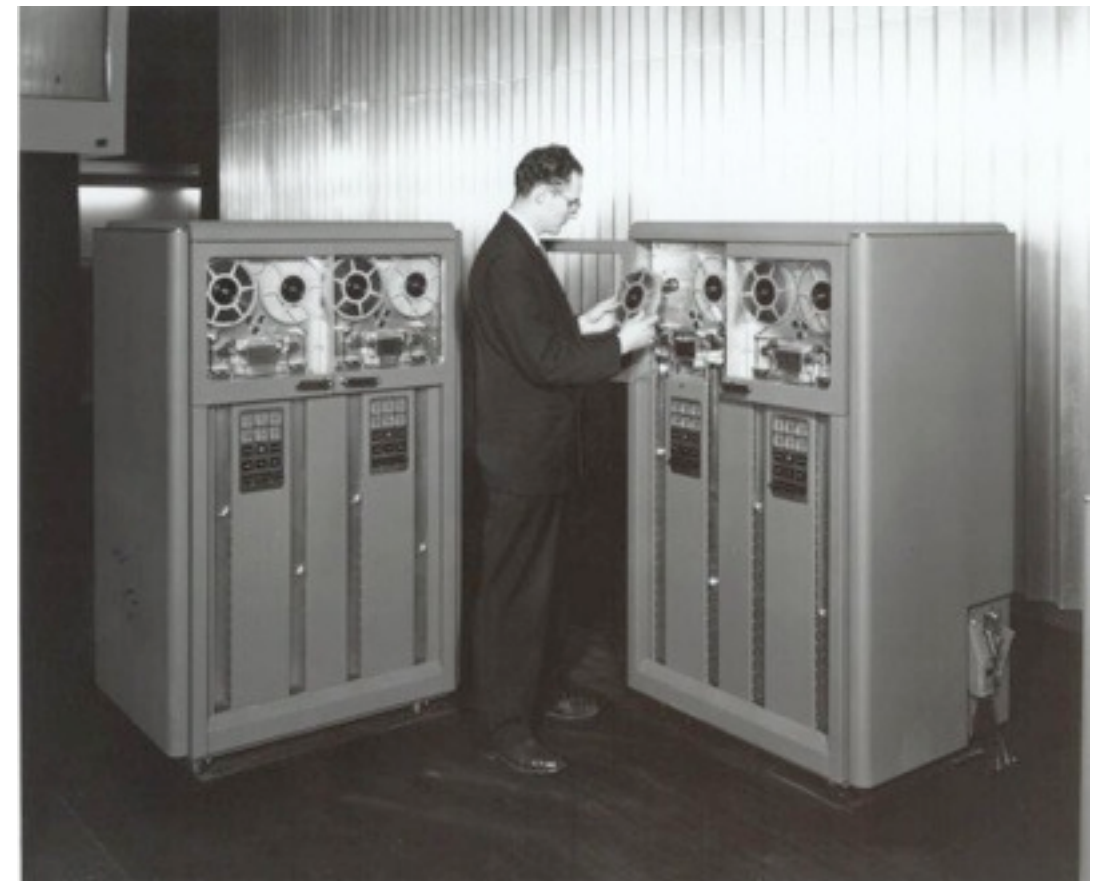
## Band/Festplatte:

Bis 1995 Magnetbänder  
immer preisgünstigster  
Massenspeicher

Ab ca. 2000: Festplatten  
teilweise günstiger?

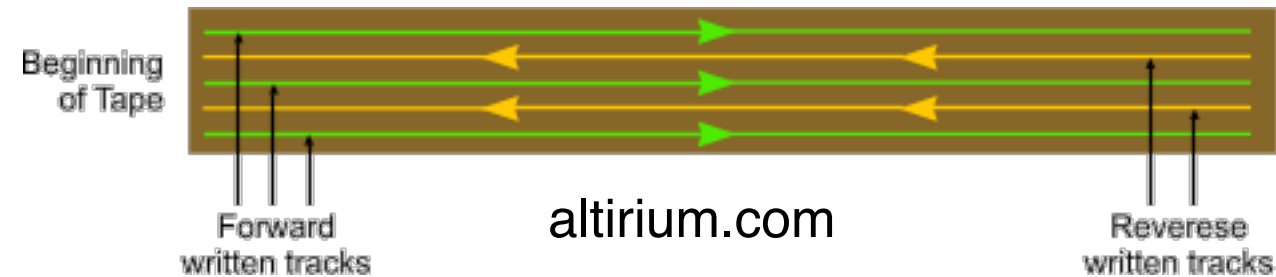
## Trends:

WORM (nur einmal schreibbar)  
(verlustfreie) Kompression





# Magnetband-Standards



Linearverfahren (Parallels Spuren im „Serpentinenverfahren“):

Magnetbänder in "Cartridges":

z.B. Linear Tape Open (LTO) von IBM/HP/Quantum

- Kapazität 1500 GByte in "Ultrium 5" Standard (2010); bis 12.8 TB geplant

Magnetbänder, die die Cartridge nicht verlassen (Kopf fährt in Cartridge):

QIC (Quarter Inch Cartridge) von 3M, 1972

- Kapazität 40 GByte in "Travan"-Standard

Diagonalaufzeichnung (*helical scan*):

8mm-Standardbänder aus dem Heimvideobereich  
(ab 1985: Exabyte)

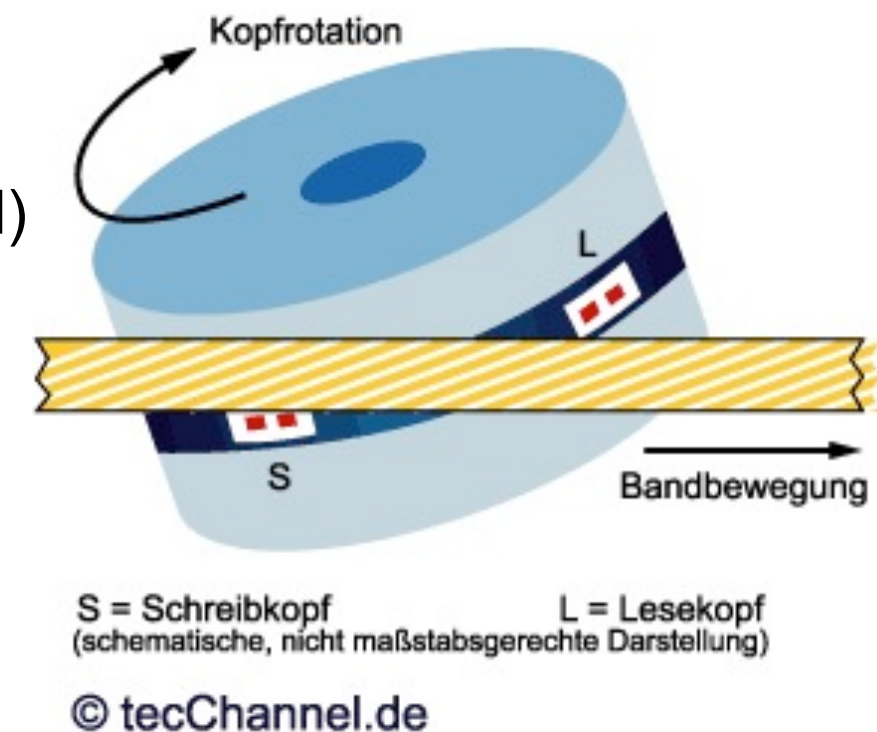
- Kapazität 320 GByte (aktueller VXA-4-Standard)

Digital Data Storage (DDS)

- analoges System basierend auf  
(erfolglosem) Audio-Standard DAT

(Super) Advanced Intelligent Tape (S-AIT)

- Kapazität (Stand 2005) 500 GB unkomprimiert



# Magnetische Festplatten

## Geschichte:

1878: Oberlin Smith (USA): magnetisierter Draht als Speicher  
Trommelspeicher in den 50er Jahren (z.B. in der Münchner PERM)

Erste Festplatte (ferromagnetisch beschichtete Scheiben):

IBM 305 RAMAC, September 1956

Kapazität 5 MByte

50 Scheiben mit je 60 cm (24 Zoll)  
Durchmesser

Entwicklung der Flächendichte:

1957: 2 kBit/in<sup>2</sup>

2003: 60 GBit/in<sup>2</sup>

2012: ca. 780 GBit/in<sup>2</sup>

Verdoppelung der Kapazität ca. alle  
16 Monate (Preis eher sinkend)



<http://wapedia.mobi/de/Festplatte>, [www.ihs.com](http://www.ihs.com)

# Längs- und Senkrecht-Aufzeichnung

Längsaufzeichnung (*longitudinal recording*):

Magnetische Momente entlang der Rotationsrichtung

Grundprinzip der Kapazitätssteigerung (bei *longitudinal recording*):

Verkleinerung der verwendeten magnetischen "Körner" (grains)

Superparamagnetismus:

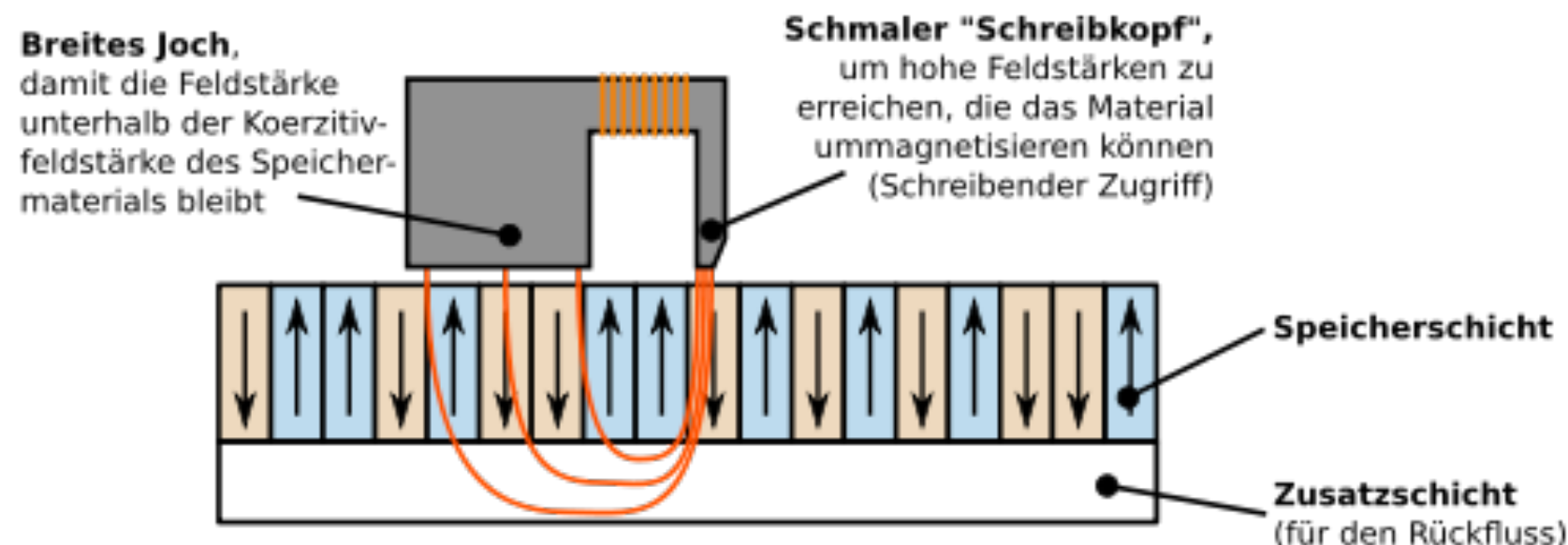
Körner sind so klein, dass Temperaturschwankungen Bits umkehren

Führt zu einem physikalischen Limit der Kapazität

Wesentlicher Sprung durch *perpendicular recording*:

Magnetische Momente *senkrecht* zur Rotationsrichtung

In Produkten  
für den Massenmarkt  
seit 2005



# Vergleich Massenspeicher 2012

## Kapazität:

Größte Festplatte (Seagate Barracuda XT) (2012):  
4 TB

Modernes lineares Band (HP StorageWorks LTO-5):  
1,5 TB (LTO-8 Spezifikation ca. 2016: 12,8 TB)

Halbleiter-Massenspeicher:  
1 – 1,5 TB (z.B. OCZ 1 TB Octane, ca. € 1.900)

## Preise:

Festplatte (4 TB) ca. 270 € (pro GByte 0,065 €)

Band: Laufwerk 1.200 €, Medium 40 €  
(pro GByte 0,025 € zuzüglich Abschreibung für Laufwerk)

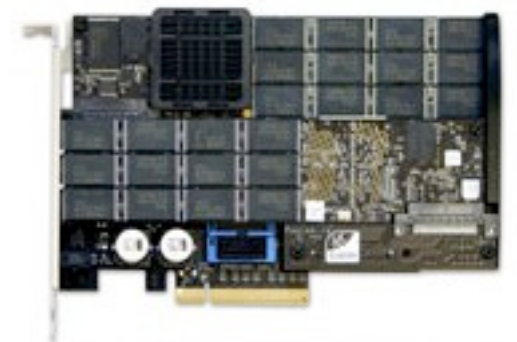
Halbleiter: Derzeit (2012) ca. 2 € pro GByte (2011: 20 € !)

## Transferrate:

Band/Platte bei neuesten Generationen bis zu 6 Gbit/s (SAS)

Halbleiterspeicher bis zu 16 Gbit/s (PCI Express 2.0 x4)

Fazit: Trend eher weg vom Band, zu Platte und Halbleiter





# Future Trends in Storage Technology

“... technologies bring along the potential for devices as small as flash drives to hold as much data in 10 years as the world's largest data centers held only 10 years ago”

According to

<http://pcquest.ciol.com/content/techtrends/2009/109050101.asp>

Carbon nanotubes

"NRAM": Faster than DRAM, as portable as Flash memory, permanent

Bit patterned media

Create magnetic layer as an ordered array of highly uniform islands of nanometer scale "grains"

Heat-assisted magnetic recording

Laser heats disk medium while magnet writes it

Holographic optical drives

3-dimensional optical storage

According to <http://www.golem.de/1005/75039.html>

10 Terabit pro Quadratzoll realisierbar

# 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:

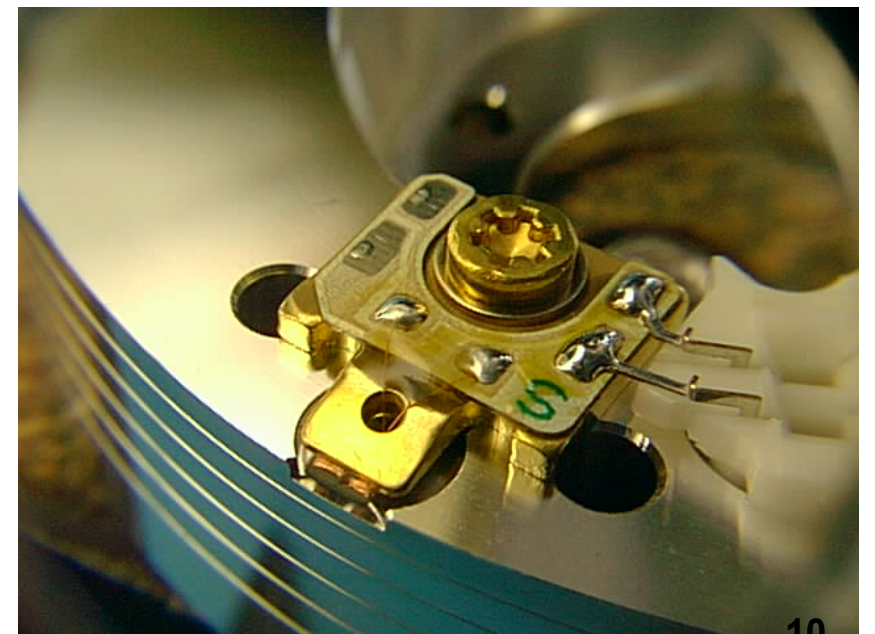
Frequenzmodulation des Signals auf Zwischenfrequenz-Träger

Weiteres Problem: Bandgeschwindigkeit

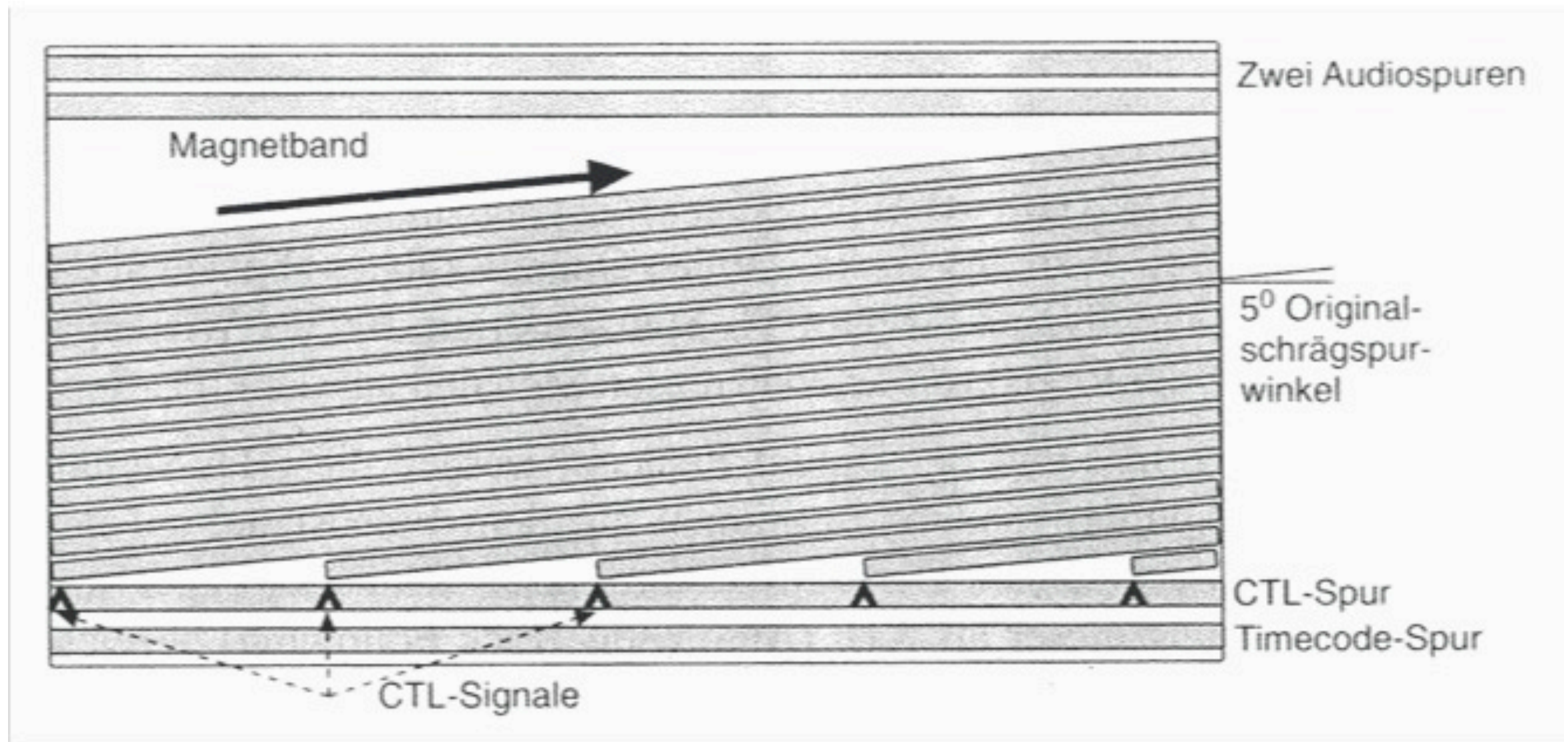
Linearer Bandtransport müsste ca. 40 m/s leisten !  
(d.h. 216 km Band für einen Spielfilm)

Lösungsansatz 2:

Rotierende Schreib-/Leseköpfe  
Schrägspuraufzeichnung



# 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

- Lange 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 (70er/80er Jahre)

Konkurrenten 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

Spätere Weiterentwicklung:

Digitale Varianten von VHS

„High Definition VHS“

# 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 (nur SD): 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)

Professionelle Versionen von DV: DVCPRO (Panasonic) und DVCAM (Sony)

Beide in diversen Versionen, z.B. DVCPRO HD (100 Mbit/s)

HDCAM/HDCAM-SR/CineAlta (Sony):

Produktfamilie für professionelles Video

HDCAM-SR unterstützt 4:4:4-RGB (440 Mbit/s)

# Professionelle Video-Bandgeräte



Panasonic AJ-HD3700B  
D-5 HD Studio Mastering System  
4:2:2, 10 Bit Recording  
(Listenpreis \$ 75,000)

Bildquelle: Panasonic

Sony HDW-1800  
HDCAM-Recorder  
unterstützt 1080p  
(ca. € 30.000)

Bildquelle: Sony





# Hardware-Schnittstellen

Standard zur Verbindung von Geräten

z.B. Computer und Peripherie

Prinzip 1: Parallele Übertragung

Parallele Datenleitungen unterstützen Wortbreite in Bits

Prinzip 2: Serielle Übertragung

Bits werden in Folge übertragen

Synchrone Übertragung:

Takt- oder Handshake-Information separat auf eigener Leitung übertragen

Asynchrone Übertragung:

Synchronisationsinformation in der Nachricht eingebettet  
(Start- und Stopbits)

# Universal Serial Bus (USB)

Entwickelt durch Industriekonsortium (u.a. Intel)

verbreitet seit ca. 1995

Inzwischen vier Generationen: 1.0, 1.1, 2.0 und 3.0

Vereinheitlichung von Peripherie-Schnittstellen

Entwurfsziele:

Einheitliche Steckverbinder für alle Endgeräte  
(von der Tastatur bis zum CD-Brenner)

Unterstützung für Vervielfachung von Anschlüssen  
(Baum-Topologie, bis zu 127 Geräte an einem Port)

*"Hot plugging"*:

Ein- und Ausstecken im laufenden Betrieb




Stromversorgung integriert

verschiedene Leistungsklassen

preisgünstig

niedriger Energieverbrauch

# USB: Versionen, Geschwindigkeit

	<b>USB 1.1</b>	<b>USB 2.0</b>	<b>USB 3.0</b>
Jahr	1996	2000	2008
Bandbreite	1,5 Mb/s (low speed) 12 Mb/s (full speed)	1,5 Mb/s (low speed) 12 Mb/s (full speed) 480 Mb/s (high speed)	1,5 Mb/s (low speed) 12 Mb/s (full speed) 480 Mb/s (high speed) 5 Gb/s (SuperSpeed)
Stromversorgung	100 - 500 mA		150 - 900 mA
maximale Kabellänge	3m		nicht spezifiziert, ca. 3m
			

# USB 1.1, 2.0 - Leitungen

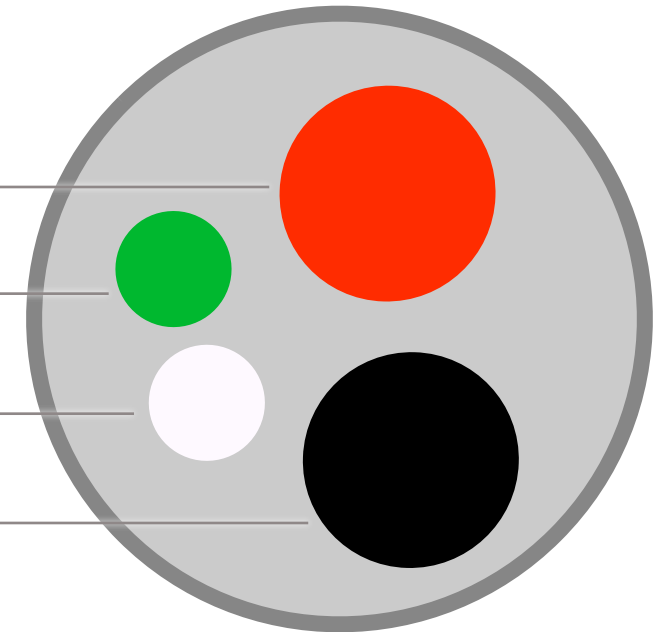
Sehr einfache Belegung:

Pin 1: Busspannung (5 Volt)

Pin 2: D+ (Daten)

Pin 3: D- (Daten)

Pin 4: Erde



Differenzielle Signalleitungen:

Spannung zwischen D+ und D- (max. 4V)

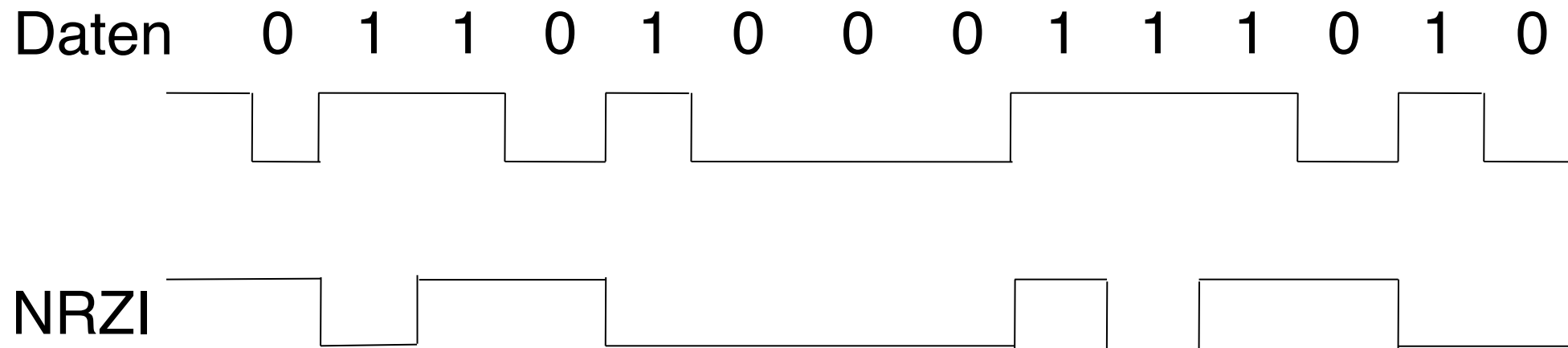
Logische Eins:  $U(D+ \text{ zu } D-) > 200 \text{ mV}$

Logische Null:  $U(D- \text{ zu } D+) > 200 \text{ mV}$

Takt im Signal durch NRZI-Codierung  
(*Non-return-to-zero-inverted*)



# NRZI-Codierung



Non-return-to-zero inverted

Bei jeder Eins Polaritätswechsel generiert

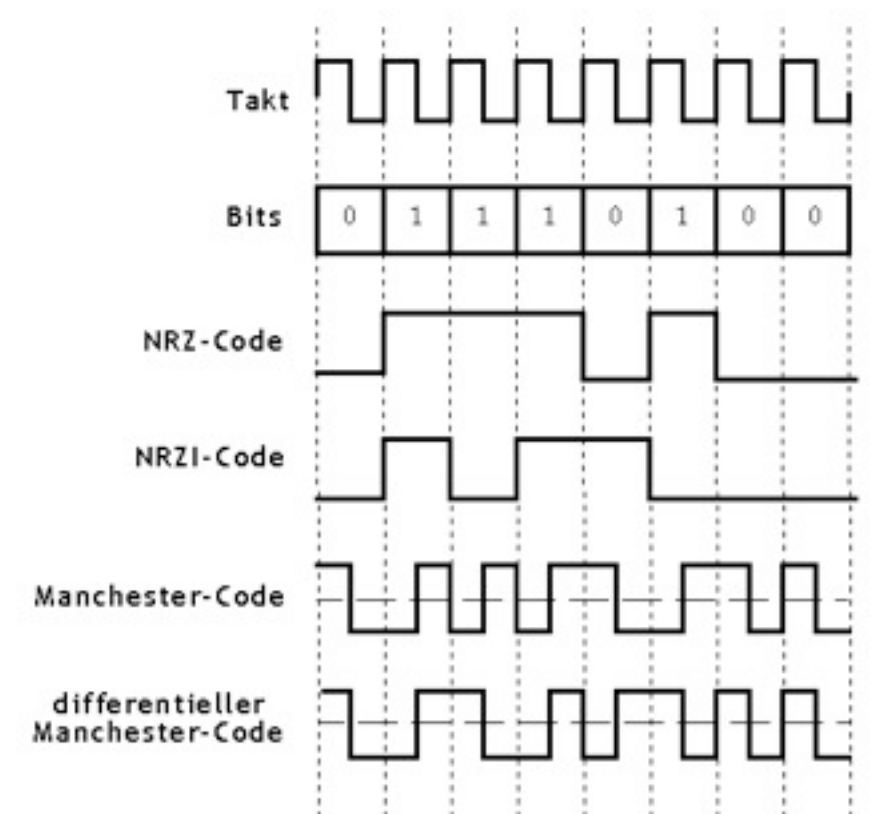
Bei Null bleibt Polarität unverändert

Differentielle Codierung

Nach sechs aufeinanderfolgenden Nullen  
zusätzliche Eins eingefügt (*bit stuffing*)

Zweck: bessere Ausnutzung der Bandbreite

Bei USB komplett in Hardware realisiert



# USB 1.1, 2.0 - Stecker

USB-A-Stecker/-Buchse für Host  
USB-B-Stecker/Buchse für Gerät  
kleinere Bauformen für mobile Geräte:

mini-A (selten)

mini-B (große Formenvielfalt)

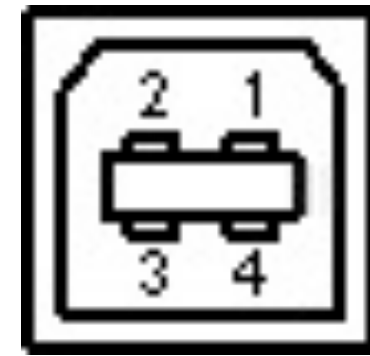
micro-A/B (flacher,  
ersetzen offiziell mini-A/B)

USB On-The-Go (OTG)

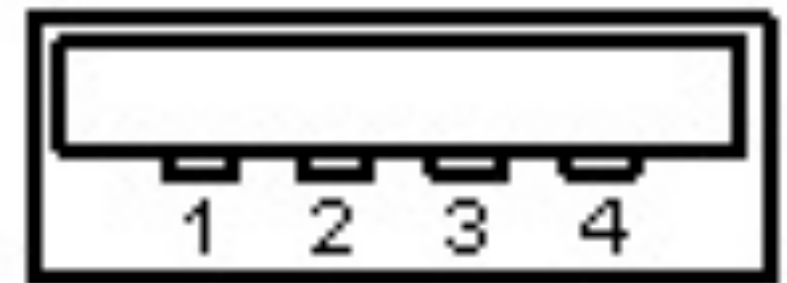
mini-AB / micro-AB

Host- und Device-Anschluss  
in einer 5-Pin-Buchse

Pin 5 im Stecker geerdet  
=> Host-Betrieb



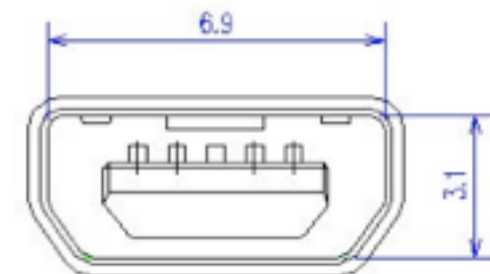
Type B USB connector  
Downstream (Gerät)



Type A USB connector  
Upstream (Host, Hub)



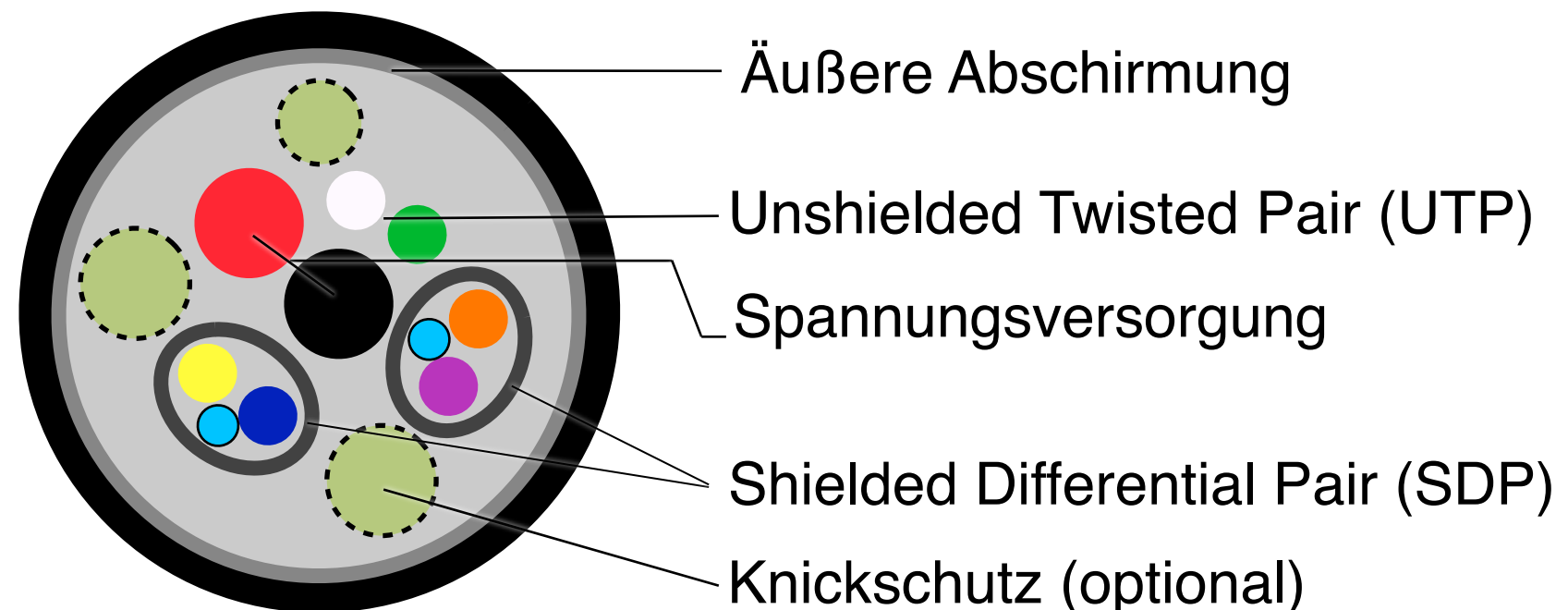
micro-A, micro-B  
USB connectors



mini-AB  
connector

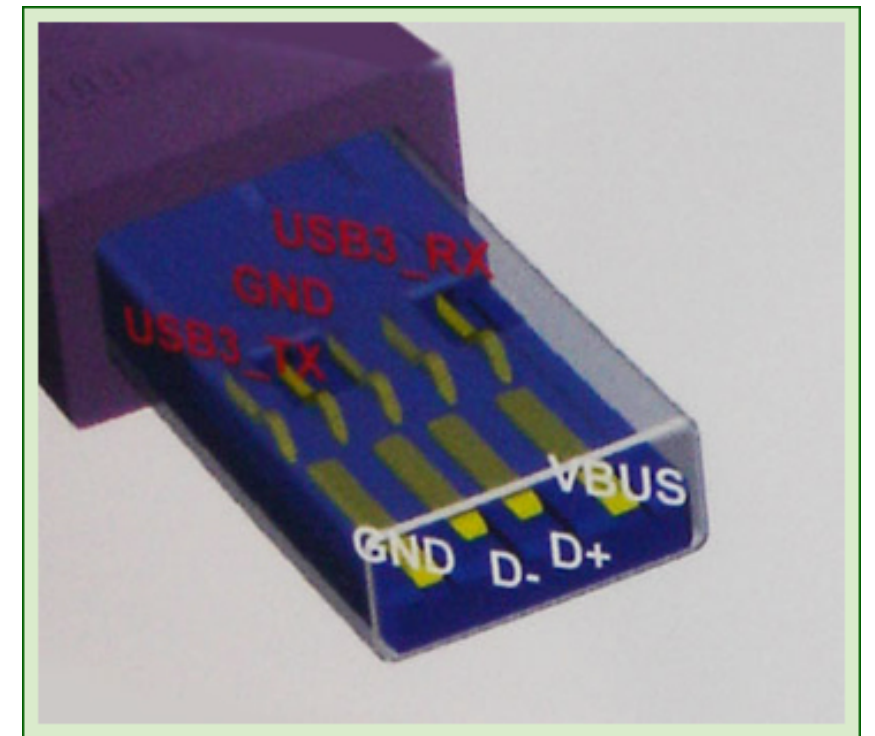
# USB 3.0 - elektrisch

- Abwärtskompatibel zu USB 2.0
- Zusätzlich zwei geschirmte Leitungspaare (Rx/Tx) für SuperSpeed
- Äußere Abschirmung vorgeschrieben
- SuperSpeed verwendet 8b/10b-Encoding anstelle von NRZI

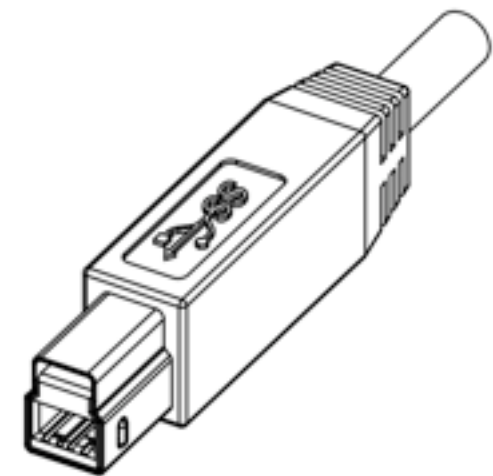


# USB 3.0 - Stecker

- USB-A-Stecker / Buchse abwärtskompatibel
- 5 Kontakte hinten zwischen den existierenden Kontakten für SuperSpeed
- USB-B-Stecker hat SuperSpeed-Kontakte aus Platzgründen in aufgesetzter Kontaktreihe
- nicht abwärtskompatibel



Type A USB 3.0 connector  
Upstream (Host, Hub)



Type B USB 3.0 connector  
Downstream (Device)



# Wireless USB



Drahtlose USB-Variante

Seit 2004 in Entwicklung

Version 1.0 stabil seit Februar 2007

Bandbreite: 480 Mb/s (3m), 110 Mb/s (10m)

basiert auf "Ultra-WideBand"-Technologie von WiMedia

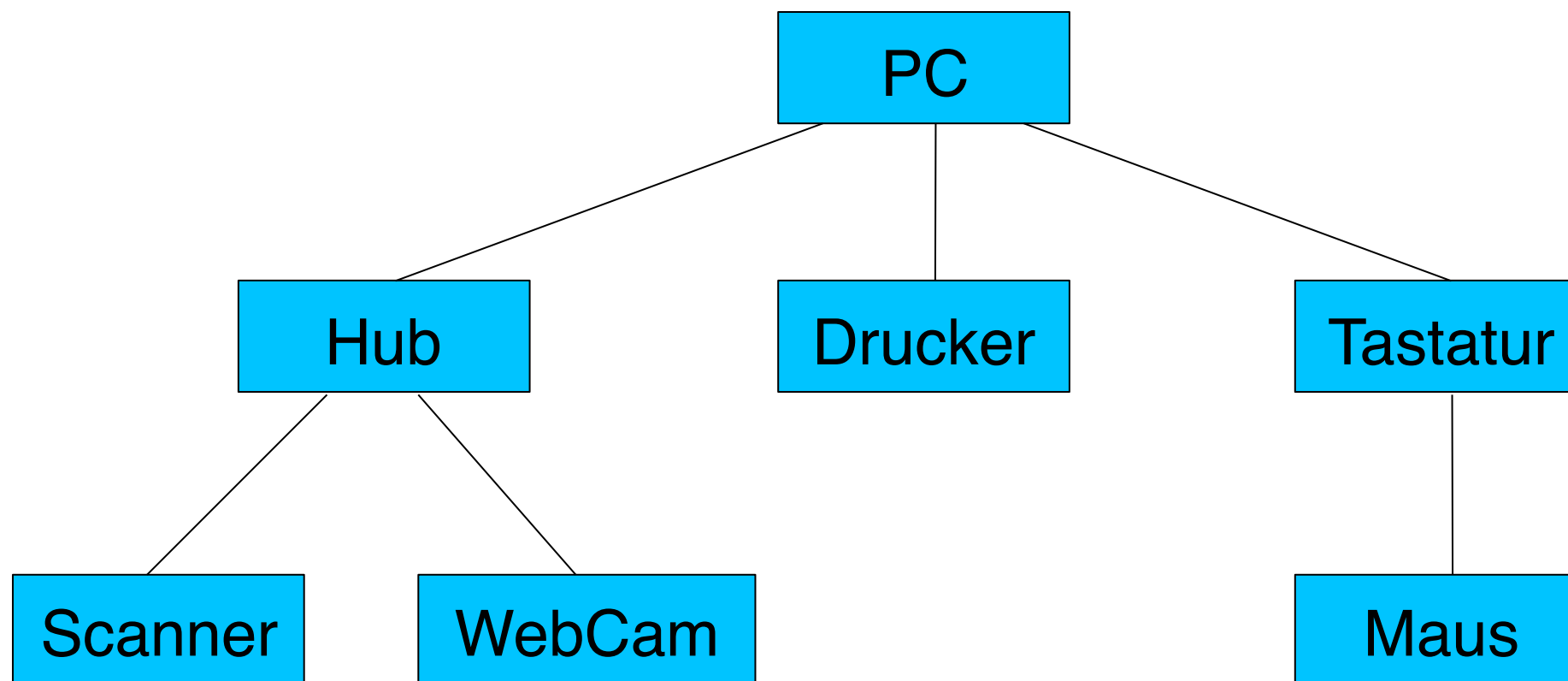
Funkfrequenz: 3,1 - 10,6 GHz

Host Wire Adapter (HWA) und Device Wire Adapter (DWA) als  
Schnittstellen zwischen USB-2.0 Host bzw. Device und WUSB

Geplant: Version 1.1 mit 1 Gb/s

# USB: Topologien

- *Hubs* werden an einen USB-Port angeschlossen und bieten selbst mehrere USB-Schnittstellen an: Baum-Topologie  
Auch Geräte können als Hubs dienen (z.B. Tastatur)



# USB: Endpoint/Transfer-Typen

## Control Transfers

z.B. zur Aushandlung von Geschwindigkeit und Geräteart (*enumeration*)  
bidirektional

## Interrupt Transfers

Unidirektional  
Eigentlich Polling und kein Hardware-Interrupt, aber garantierte Latenzzeit  
Wiederholversuch bei Fehlern

## Isochronous Transfers

Stetiger und regelmäßiger Datenstrom, z.B. Audio und Video Streaming  
Unidirektional  
Begrenzte Latenzzeit, garantierte Bandbreite  
Keine Wiederholversuche bei Fehlern

## Bulk Transfers

Grosse, unregelmäßig auftretende Datenmengen (*burst*)  
Unidirektional  
Keine Garantien bezüglich Bandbreite oder Latenz  
Nur bei Full- und High-Speed

# USB: Deskriptoren

Jedes USB-Gerät enthält eine Reihe von Deskriptoren, die durch die Treiber-Software ausgelesen und interpretiert werden:

Device Descriptor

Geräteklasse, Hersteller, Anzahl möglicher Konfigurationen

Configuration Descriptors

Verschiedene Alternativkonfigurationen (Interfaces)

Interface Descriptors

Je Interface: Anzahl der Endpunkte, spezifische Attribute

Endpoint Descriptors

Je Endpunkt: Transfertyp, Richtung, Bandbreite, Abfragefrequenz, ...

String Descriptors

Textanzeigen

Class-Specific Descriptors

je nach Geräteklasse

# USB: Geräteklassen

USB definiert Standardschnittstellen für die wichtigsten Geräteklassen

Erlaubt damit die Verwendung standardisierter Treiber

Audio Class

Communications Device Class

Content Security

Human Interface Device Class

Image Device Class

Mass Storage Device Class

Display Device Class (Monitor-Konfiguration)

Physical Interface Class (z.B. Force Feedback)

Power Device Class

Printing Device Class

Video Device Class (MJPEG, MPEG1/2/4, VC1, DV, H.264)

...

# USB: Geräteklasse "Mass Storage Device"

Zur Steuerung der Zugriffe wird der bewährte "SCSI-2"-  
Befehlssatz verwendet

SCSI = Small Computer Systems Interface

ANSI-Standard X3.131

ursprünglich ein eigener physikalischer Schnittstellen-Standard

Beispiel für eine Geräteklasse mit vielen Unterklassen:

General Mass Storage Subclass (Wechselmedien)

Floppy Disk, Magneto-Optical, Zip, ...

CD-ROM Subclass

Tape Subclass

Solid State Subclass



# FireWire



## Serielle Hochgeschwindigkeits-Schnittstelle

Implementierung von IEEE-Standard 1394 (1987), aktuell 1394b (1999)

"Daisy-Chain"-Topologie (bis zu 16 Geräte hintereinander schaltbar)

Realisiert als Apple NuBus90, nicht weiterverfolgt

1994: *1394 Trade Organisation* (Computer- und Audio-/Video-Technikfirmen)

Lange Zeit in Apple-Geräten und in fast allen digitalen Videokameras  
(Sony-Name für FireWire: *i.Link*)

Inzwischen weitgehend von USB verdrängt

## Datenübertragungsraten:

100, 200 MBit/s (unüblich)

400 MBit/s (weit verbreitet)

Vergleich: USB 2.0 High-Speed 480 MBit/s, Fast Ethernet 100 MBit/s

800 MBit/s (aktueller Stand der Technik), eigener Stecker ("beta")

Standardisiert aber noch nicht in Produktreife:

1,6 GBit/s und 3,2 GBit/s

Seit 2004 definiert: „Wireless FireWire“ (Wireless Personal Area Network)

Siehe auch: <http://www.1394ta.org>



Schnittstellen-Standard für alle Arten von Peripheriegeräten

Displays *und* Massenspeicher

Entwickelt von Intel (*Light Peak*), erstmals vermarktet von Apple 2011

Integriert die Technologien "PCI Express" und "DisplayPort"

Physikalisch:

Stecker wie die Mini-Version von DisplayPort

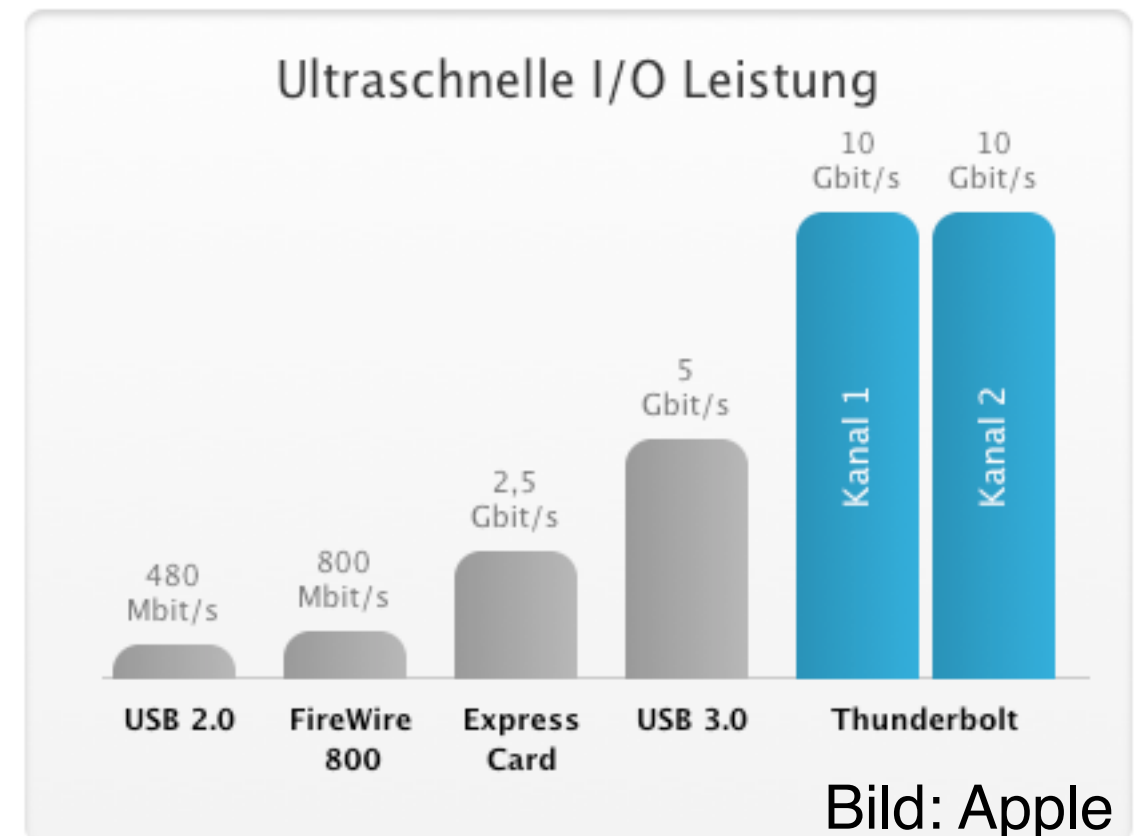
Hintereinanderschalten von bis zu 6 Geräten (*daisy chain*) möglich

Starke eingebaute Stromversorgung für Peripheriegeräte


Übertragungstechnisch:

Zwei Kanäle (später mehr)

Je 10 Gbit/s bidirektional pro Kanal (= PCI Express x4)



# 3. Film- und Videotechnik und digitale Videobearbeitung

- 3.1 TV- und Videotechnik analog und digital
- 3.2 Produktion und Gestaltung von Videomaterial
- 3.3 Digitaler Videoschnitt und Nachbearbeitung
- 3.4 Speicherung und Übertragung von Videodaten
- 3.5 Klassische Filmtechnik und digitales Kino 

## Literatur:

Ulrich Schmidt: Digitale Film- und Videotechnik, 3. Auflage, Hanser 2010  
Johannes Webers: Handbuch der Film- und Videotechnik, 8. Auflage,  
Franzis-Verlag 2007

# Der erste Kuss im Film...

Öffentliche Aufführungen  
aufgenommener Bewegtbilder  
ab April 1894 in New York

„Edison Parlor“

„What the butler saw“ Machines

Extrem kurze Filmsequenzen, bereits  
kommerziell genutzt



Mutoscope ad 1899  
(Wikipedia)

# Öffentliche Filmprojektion (Kino) in Berlin



Brüder Skladanowsky, November 1895

Erstes Kino in Deutschland

Bioskop: Doppelprojektor mit  
Überblendeffekt

Problematisch durch Trennen des Materials  
in zwei Bildströme

Brüder Lumière erst im Dezember des  
gleichen Jahres...

... aber mit besseren  
techn. Lösungen!

“cinematograph”





# Geschichte der Filmtechnik

Entwicklung der Fototechnik (ab 1826: Daguerrotypie)

Zunehmend lichtstarke Objektive

Zunehmend empfindlicheres Aufnahmematerial

1888: Erste flexible Schichtträger (Rollfilm, „Film“)

Thomas Alva Edison, 1891: Kinematograph/Kinematoskop

Film mit ca. 15 Bilder pro Sekunde durch Perforation transportiert

Noch keine Projektion

Gebrüder Lumière, Dezember 1895: Cinematograph

Kamera und Projektor in einem Gerät

Filmstreifen mit Greifer transportiert, steht kurz still,

Lichtweg während Transport abgedunkelt

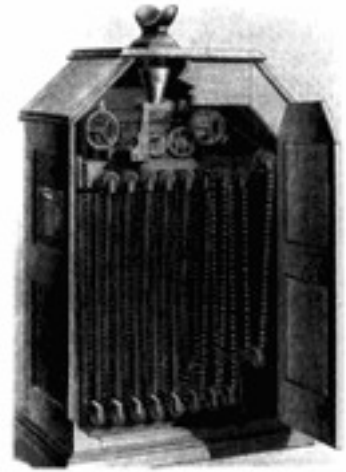
→ Technische Basis des Kinofilms bis heute!

1897: Kommerzielle Filmproduktion (Gebrüder Pathé)

1902: Erste Filmtricks (Doppelbelichtung)

1907: Erster Animationsfilm

1909: Standardisierung des 35mm-Filmformats





# Stummfilm mit Musik

Ein Stummfilm-Pianist bei der Arbeit (1913)



1913

Gerhard Gruber  
2007  
[www.filmmusik.at](http://www.filmmusik.at)



# Geschichte des Tonfilms

Film war zunächst Stummfilm - aber meist von Ton begleitet!

Z.B. Live-Musikbegleitung oder -Kommentator

Emil Berliner, 1887: Nadeltonverfahren (Grammophon)

Erster Tonfilm mit Nadeltontechnik 1927: „The Jazz Singer“

→ Synchronisationsprobleme schwer zu beherrschen

„Lichtton“: Tonsignal durch Schwärzung einer Tonspur auf dem Film

Fa. Triergon, 1922:

Patentiertes Lichttonsystem (an die USA verkauft)

Ab ca. 1930: Dominanz des Tonfilms

... Und starke Dominanz von „Hollywood“ und der englischen Sprache

Mehrkanalton

Erstmals in Disneys „Fantasia“ (1940)

Dolby-Stereo 1975

Dolby-Digital 1992



# Geschichte des Farbfilms (1)

Film war zunächst Schwarz/Weiss  
Teilweise handkolorierte Filme



Pathé Color, 1905



The Last Days of Pompeji, 1926



# Geschichte des Farbfilms (2)

Zweifarb-Technik (Orange, Blaugrün):

1915 noch separate Streifen,  
ab 1922 auf einem Streifen kombiniert  
(„Cinecolor“)

Dreifarb-Technik („Technicolor“ ab 1935):

Drei Filme unter Färbung übereinander gedruckt  
Anfangs extrem teuer

„Chromogene Entwicklung“  
(Entstehung von Farbstoffen)

Basiserfindung von Fischer, 1912

Kodachrome-Verfahren (1935, USA)

Agfacolor-Verfahren (1936, Deutschland), einfacher

Nach dem zweiten Weltkrieg Patente  
freigegeben und in „Eastman-Color“ sowie  
Fuji-Film verwendet



Becky Sharp, 1935

# Filmformate

## Filmbreiten:

Breitester verwendeter Film 70 mm

Nur noch für Spezialkinos (IMAX etc.)

Aufnahmefilm dazu 65 mm

Halbierung: Standardformat 35 mm

Kleinere Filmbreiten, konzipiert für den  
Amateurbereich:

16 mm: kostengünstig, verbreitet als  
Schulungstechnik und für Billigproduktionen  
(„Blow-Up“-Kopie auf 35 mm möglich)

8 mm: hohe Verbreitung in den 70er und 80er  
Jahren als Amateurformat

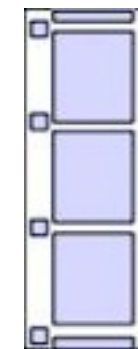
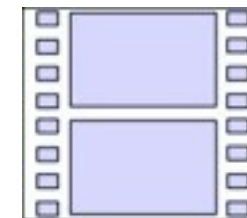
## Perforation:

Beidseitig, 4 Löcher pro Bild bei 35 mm

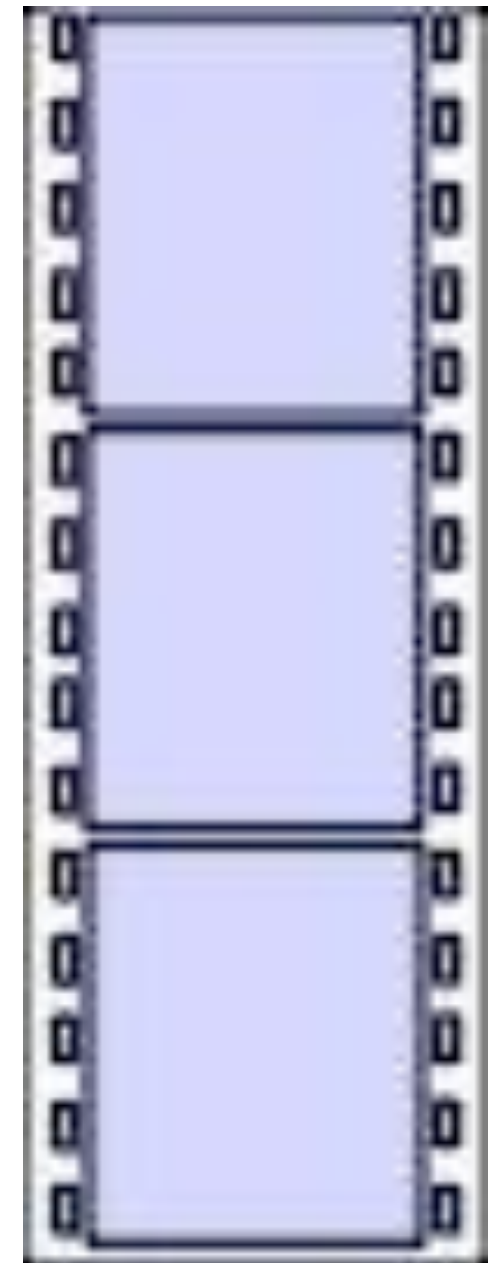
Einseitige Perforation bei kleinen Filmbreiten

70 mm

35 mm



16 mm



# Bildfeldgrößen

Nutzbarer Platz zwischen Perforation bei 35 mm-Film:  
25,4 mm

Stummfilmzeit: 24 x 18 mm  
(vgl. Kleinbildformat 24 x 36 mm)

Tonfilm (Platz für Tonspur): 22 x 16 mm

Bildfeldabstand 19 mm (damit 16 Bilder je *foot*)

Bildseitenverhältnis 1,37:1 (*Academy-Format*)

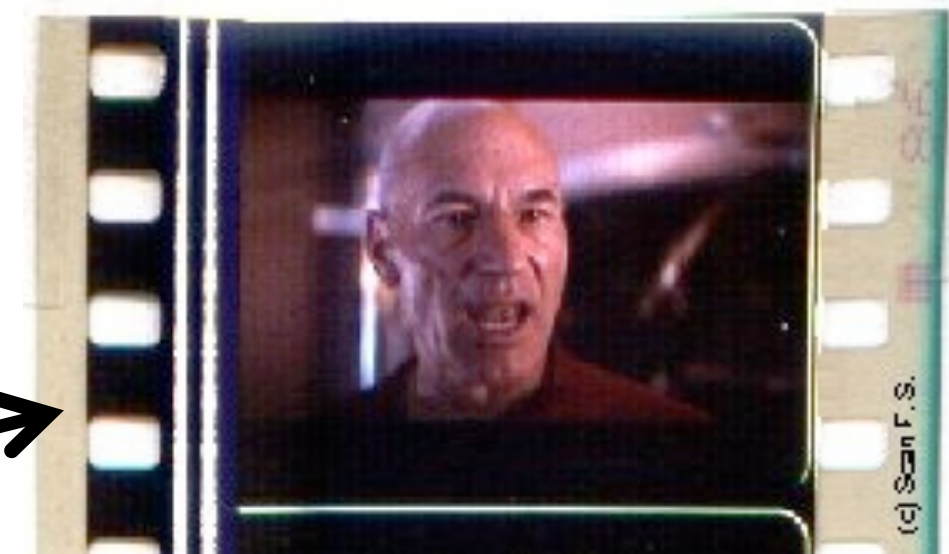
Vollbildformat (*full frame*, „Super 35“): 24,9 x 18,7 mm

Bildseitenverhältnis 1,33:1 bzw. 4:3 (Standard-TV)

Breitbildformate:

„Cinemascope“ (und ähnliche Verfahren):  
horizontale Stauchung des Bildes,  
Bildseitenverhältnis 2,35:1

Moderne Breitbildverfahren ohne Stauchung:  
in vertikaler Richtung kleiner (Maskierung),  
Bildseitenverhältnis:  
1,66:1 (Europa),  
1,85:1 (USA, „Spielberg-Format“)





# Vergleich verschiedener Bildformate



1,33:1 = 4:3 = Std-TV = Full Frame

1,375:1 = Academy

1,5:1 = 3:2 = Kleinbild

1,66:1 = Breitbild Euro

1,78:1 = 16:9 = Breit-TV

1,85:1 = Breitbild US

2,35:1 = Cinemascope

# Bildfeldanpassung

Prinzipielle Optionen, wenn Ausgabegerät nicht dem Film-Bildfeld entspricht (z.B. bei DVD-Wiedergabe über TV-/Computermonitor):

## Option 1: **Letterbox**

Bild zeigt schwarze Streifen oben und unten

Relativ gut akzeptiert trotz oft starker Verkleinerung der Bildfläche

## Option 2: **Pan and Scan**

Bildwiedergabe ohne Randstreifen

Wichtigster Ausschnitt wird gezeigt

Wegen Informationsverlust nur schwer an Benutzer vermittelbar

## Option 3: **Original**

Nicht immer möglich

Wenn das Aufnahme-Originalformat noch zur Verfügung steht, kann es für das Wiedergabegerät besser geeignet sein

Z.B. Originalaufnahme Academy-Format, nachträglich beschnitten zu Breitbild

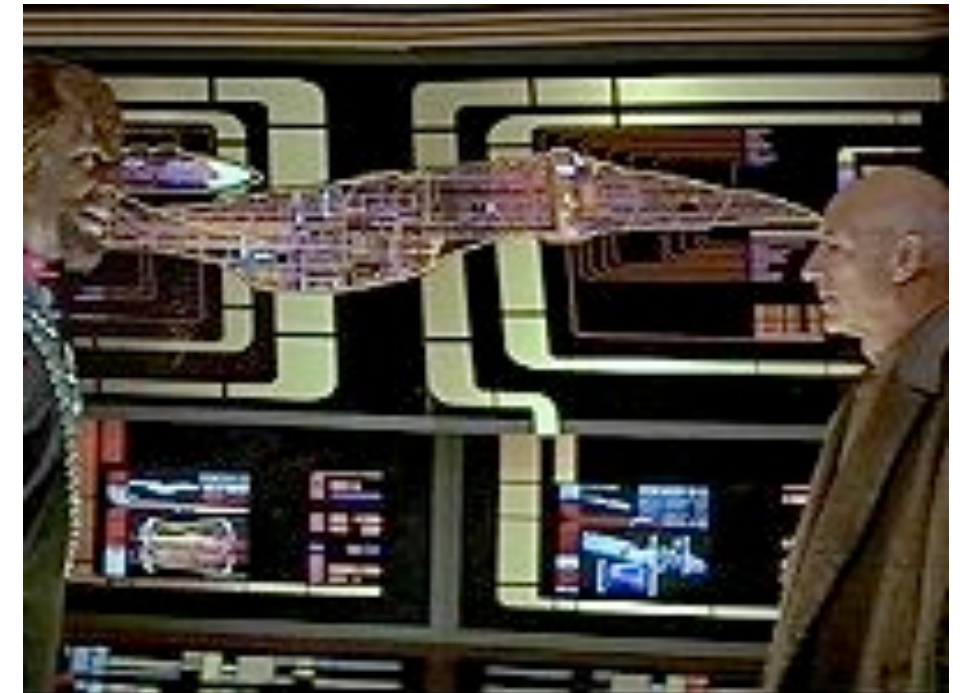
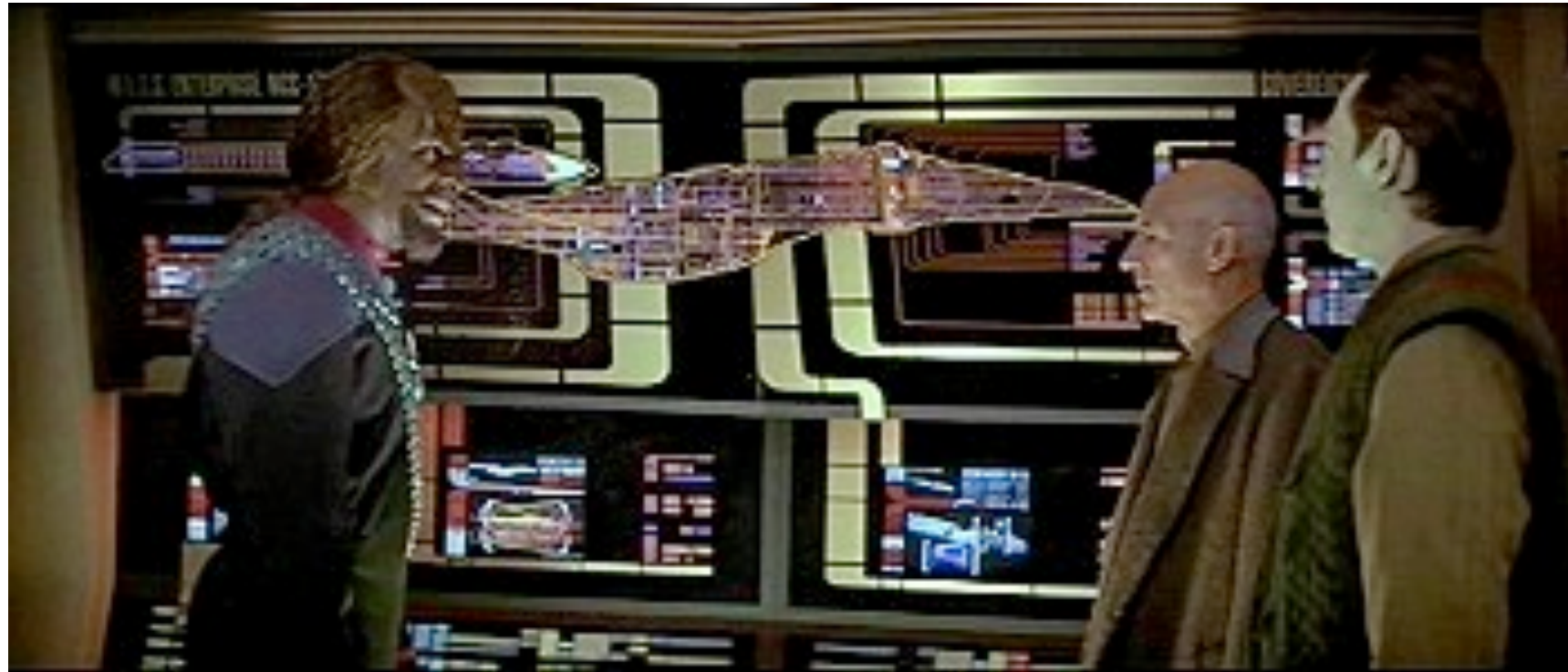
Dann z.B. bei der TV-Wiedergabe *mehr* Bildinformation als im Kino

# Letterbox vs. Pan&Scan





# Cinemascope am 4:3-TV-Gerät



# Von der Foto- zur Filmkamera

Viele Komponenten sind identisch:

Grundlegendes Aufnahmeprinzip

Fokussierung

Manuell oder „Autofocus“

Objektiv

Insbesondere Brennweiteinstellung  
(Zoom)

Blende

Zusammenhang zur Schärfentiefe

Lichtempfindlichkeit, Farbtemperatur etc.



Entscheidende Unterschiede:

Filmtransport ist bei Filmkamera kontinuierlich

Verschluss funktioniert bei Filmkamera anders

Umlauf-Verschluss, oft irreführenderweise „Umlaufblende“ genannt

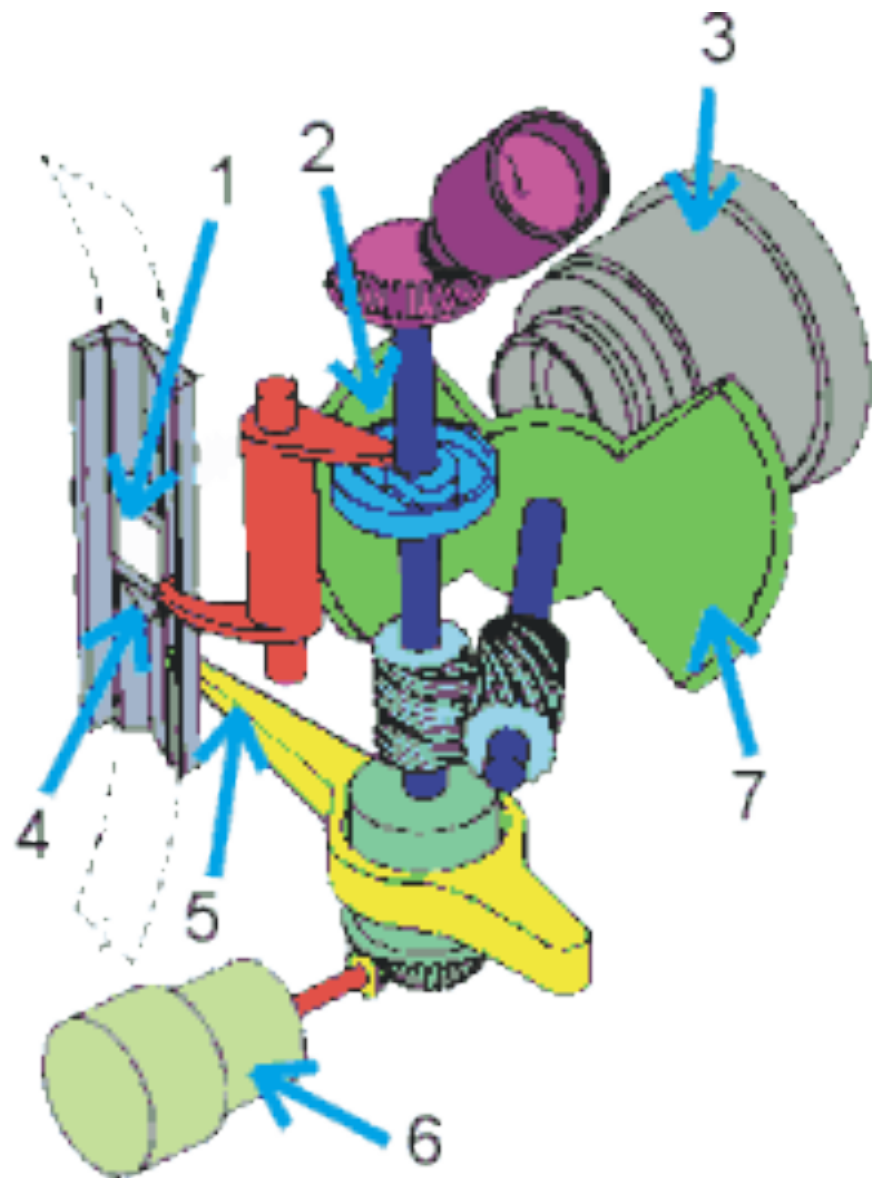


# Filmkamera: Filmtransport

Filmtransport durch Greifer-Schaltwerk (*Movement*):

Mit gleichmässigem Tempo und genau definierten Stillstandszeiten

Toleranz: 1/2000 der Bildhöhe, d.h. bei 16 mm Format 0,0037 mm



Beispiel:  
ARRI ST-16 Schaltwerk

- 1 Bildfenster
- 2 Schneckengang für Sperrgreifer
- 3 Objektiv
- 4 Sperrgreifer
- 5 Transportgreifer
- 6 Antriebsmotor
- 7 Spiegelumlaufblende

<http://www.filmtechnik-online.de>

# Bildwechselfrequenz

Vorteil klassischer Filmkamas:

Bildwechselfrequenz im Prinzip stufenlos einstellbar

Wichtigste Bildwechselfrequenzen:

24 Hz, 25 Hz, 29,97 Hz und 30 Hz

Standardwert für Filmaufnahmen: 24 Hz (d.h. Bilder/s)

Belichtungszeitberechnung:

( $b$  = Bildwechselfrequenz,  $\alpha$  = Hellsektor) 
$$t = \frac{1}{b} \times \frac{\alpha}{360}$$

Bei  $b = 24$  Hz,  $\alpha = 180^\circ$ : 1/48 s

Gründe für die Verringerung des Hellsektors:

- Kürzere Belichtungszeit pro Bild vermeidet Bewegungsunschärfe bei schnell bewegten Objekten
- Anpassung an mit 50 Hz oder 60 Hz (Netzfrequenz) schwingende Lichtquellen zur Vermeidung von Interferenzen („Schwebungen“ = Flackern)

# Spiegelreflex-Filmkamas

Bildbetrachtung aus der gleichen Perspektive wie der Film während der Aufnahme

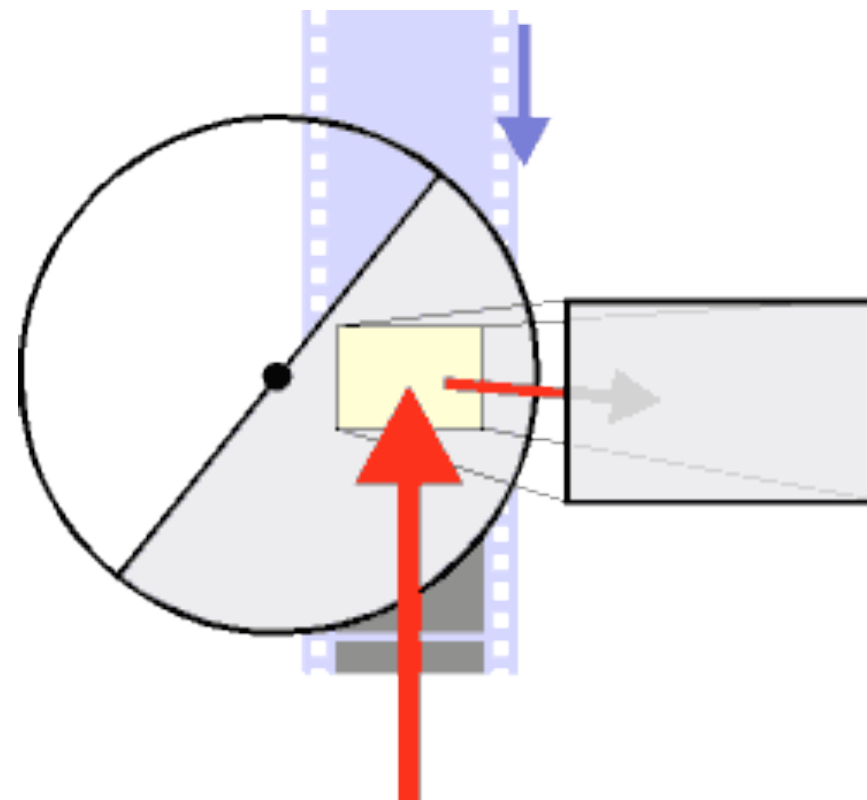
Idee:

Umlaufblende verspiegelt:

reflektiert Licht während der Verdunklungsphase auf die Sucher-Mattscheibe

Permanentes Sucherbild wegen 24 B/s Wiederholffrequenz

keine Verdunklung während der Aufnahme wie bei der Fotokamera



# Filmprojektion

24 Bilder/Sekunde:

genügen, um Bewegungssillusion zu erreichen

Dennoch nimmt der menschliche Betrachter „Grossflächenflimmern“ wahr

48 Bilder/Sekunde:

Bewegungssillusion *und* kaum mehr wahrnehmbares Flimmern

Technischer „Trick“:

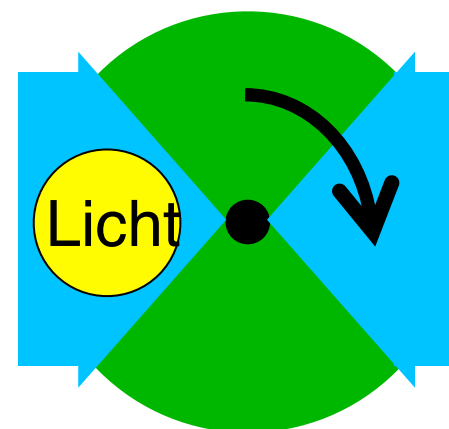
Jedes Bild wird *zweimal* gezeigt

Bildwechselfrequenz 24 Hz, aber Hell-/Dunkel-Frequenz 48 Hz

Einfache technische Realisierung durch

Umlaufblende mit zwei gegenüberliegenden Hellsektoren  
(symmetrische Teilung), oder

Umlaufblende mit doppelter Geschwindigkeit im Vergleich zur Aufnahme



# Filmton

## Ton bei der Filmaufnahme

Wird normalerweise getrennt verarbeitet  
(„gemischt“ und „geschnitten“)

Deshalb separate Aufnahme von Bild und Ton sinnvoll

Meist separate magnetische Tonaufzeichnung („SEPMAG“)

Synchronisationssignale nötig (siehe unten)

## Ton bei der Filmwiedergabe

Strikte Synchronisation unabdingbar

Leichte Kopierbarkeit wichtig

Deshalb meist gemeinsames Medium für Bild und Ton

Entweder Magnetspur auf dem Film („COMMAG“)

Oder optisch codierte Tonspur auf dem Film („COMOPT“)

# Synchronisation Bild-Ton: Die Klappe



## Klappe (*slate*):

klassisches Synchronisationshilfsmittel

Trotz elektronischer Synchronisationshilfsmittel immer noch stets verwendet

Liefert Synchronisationssignal und Zusatzinformation zur jeweiligen Aufnahme (*Take*):

Z.B. Produktionsname, Szenennummer, Takenummer

## Idee der Synchronisation durch Klappe:

Schlagen der Klappe im Bild deutlich zu erkennen *und* in der Tonspur deutlich zu hören

## Schlussklappe:

Wird eingesetzt, wenn Startklappe nicht möglich

Ansage und kopfstehende Klappe



# Timecode

Binärer Code zur Zuordnung aller Bestandteile (z.B. Bild, Ton) zum Ablauf einer Szene

Schon während der Produktion aufgezeichnet

Häufiger Standard-Code: SMPTE

80 Bit/Vollbild

"Bi-Phase Mark"-Codierung:

0 = Ein Wechsel On/Off, 1 = Zwei Wechsel On/Off (pro Zeiteinheit)

Ähnlich zu Ton, auf Tonspur untergebracht

Fest zugewiesen (Binärcodierung):

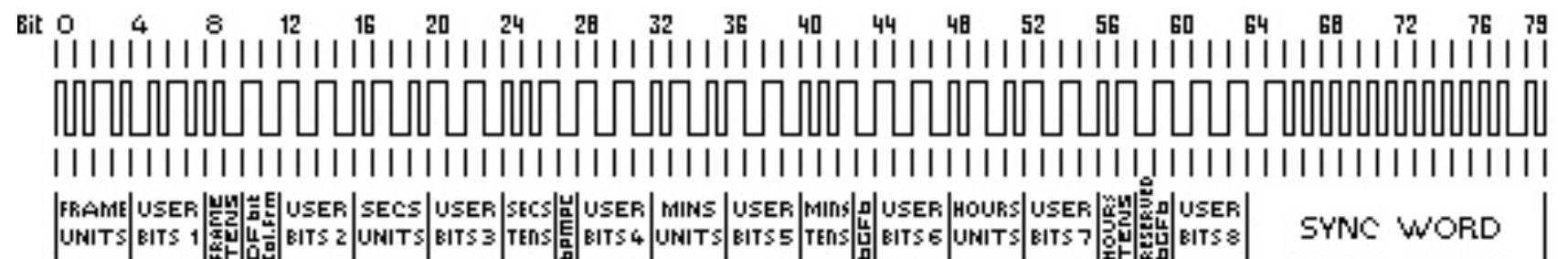
Bildnummer (bis 24), Sekundenzähler (bis 60), Minutenzähler (bis 60),  
Stundenzähler (bis 39)

Zusätzlich:

Benutzer-Bits (z.B. Szenennummer, Datum/Uhrzeit)

Unbelegte Bits

Synchronisationswort (15 Bit)



# Magnetton

Spezielle Anforderungen des Films an magnetische Tonaufzeichnung:

Viele parallele Kanäle: bereits in den 50er Jahren 4-Kanalton!

Synchronisation mit dem Bild

Klassische Technik in der Filmtombearbeitung: „Perfoband“

Film als Tonträger, der mehrere parallele Tonspuren (aber kein Bild!) enthält

Identisch perforiert wie das Filmmaterial, dadurch leichte Synchronisation  
(mechanisch)

70mm-Magnetton:

Bis zu 6 Tonspuren am Rande des Bilds und der Perforation

# Analoger Lichtton

Elektrisches Audiosignal umgesetzt in  
Schwärzung von Filmmaterial

Analoge oder digitale Codierung möglich

- *Intensitätsschrift:*

Signalintensität analog durch Schwärzung (Graustufen)  
codiert

Heute nicht mehr üblich

- *Transversalschrift:*

Signalintensität analog durch „Zacken“ codiert

Reines Schwarz-/Weiss-Signal

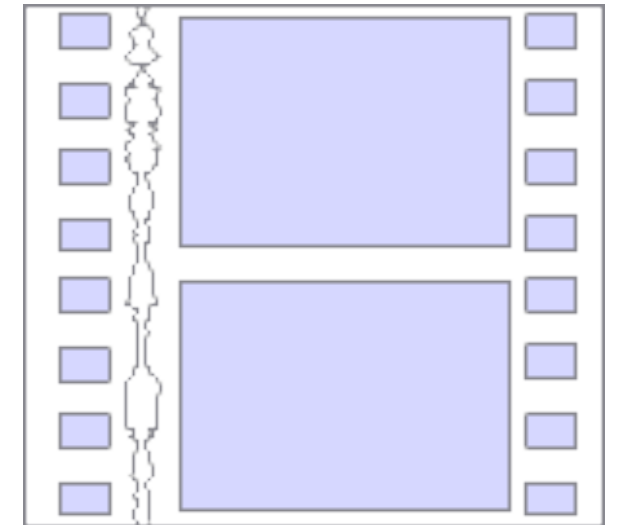
Erzeugung elektromechanisch:

Zackenblende über Spalt

Moderne Weiterentwicklungen:

Laser-Lichttonkamera

Für Stereoton zwei Lichtspuren



# Raumklang: Dolby-Stereo

Kombination eines Rauschunterdrückungsverfahrens (Kompaner) mit Raumklangeffekten

*Zwei* analoge Lichttonspuren

Informationen für zwei weitere Kanäle verschlüsselt im Stereosignal enthalten

Weitere Kanäle:

Surround

(meist von mehreren Lautsprechern hinter dem Zuhörer wiedergegeben)

Center (aus der Leinwandrichtung)

Codierung:

Surround- und Centersignal werden in der Dynamik komprimiert

Beide Signale werden beiden Stereokanälen zugemischt

Centersignal unverändert ( $C = L + R$ )

Surroundsignal mit einer Phasenverschiebung  $+90^\circ$  links,  $-90^\circ$  rechts  
( $S = L - R$ ), auf tiefe/mittlere Frequenzen bandbegrenzt

Bei Monowiedergabe: Surround-Signal verschwindet durch Interferenz

# Digitaler Lichtton: Dolby Digital (SR-D)

Grundanforderung: Kompatibilität mit analoger Abspielung

D.h. auf Filmen grundsätzlich mindestens zwei analoge Lichttonspuren  
zusätzlich zum digitalen Signal

Realisierung:

Genutzte Zusatzfläche: Zwischen den Perforationslöchern

76 x 76 Punkte-Matrix, ergibt 554 kbit/s

Kompression nach AC3-Verfahren (ähnlich MP3)

Damit 6-Kanalton realisierbar

(5.1: Left, Center, Right, Left Surround, Right Surround, Subwoofer)

Weiterentwicklungen:

Dolby-Digital EX:

7-Kanal-Ton (6.1) mit zusätzlichem „Back Surround“-Kanal

Übertragung von Metadaten



# Weitere Digital-Tonverfahren: DTS, SDDS

## Digital Theatre Sound (DTS):

Arbeitet mit vom Film getrenntem Tonträger

Doppel-CD-ROM mit sechs komprimierten Audiokanälen  
(geringer komprimiert als bei Dolby-Digital)

Film enthält nur schmale Steuerspur  
(neben den beiden analogen Lichtton-Spuren)

1993: Jurassic Park



## Sony Dynamic Digital Sound (SDDS):

Lichtton-Codierung auf Spuren an den Filmrändern  
ausserhalb der Perforation

Acht Audiokanäle (7.1):

Left – Half Left – Center – Half Right – Right –  
Left Surround – Right Surround – Subwoofer

1993: Last Action Hero



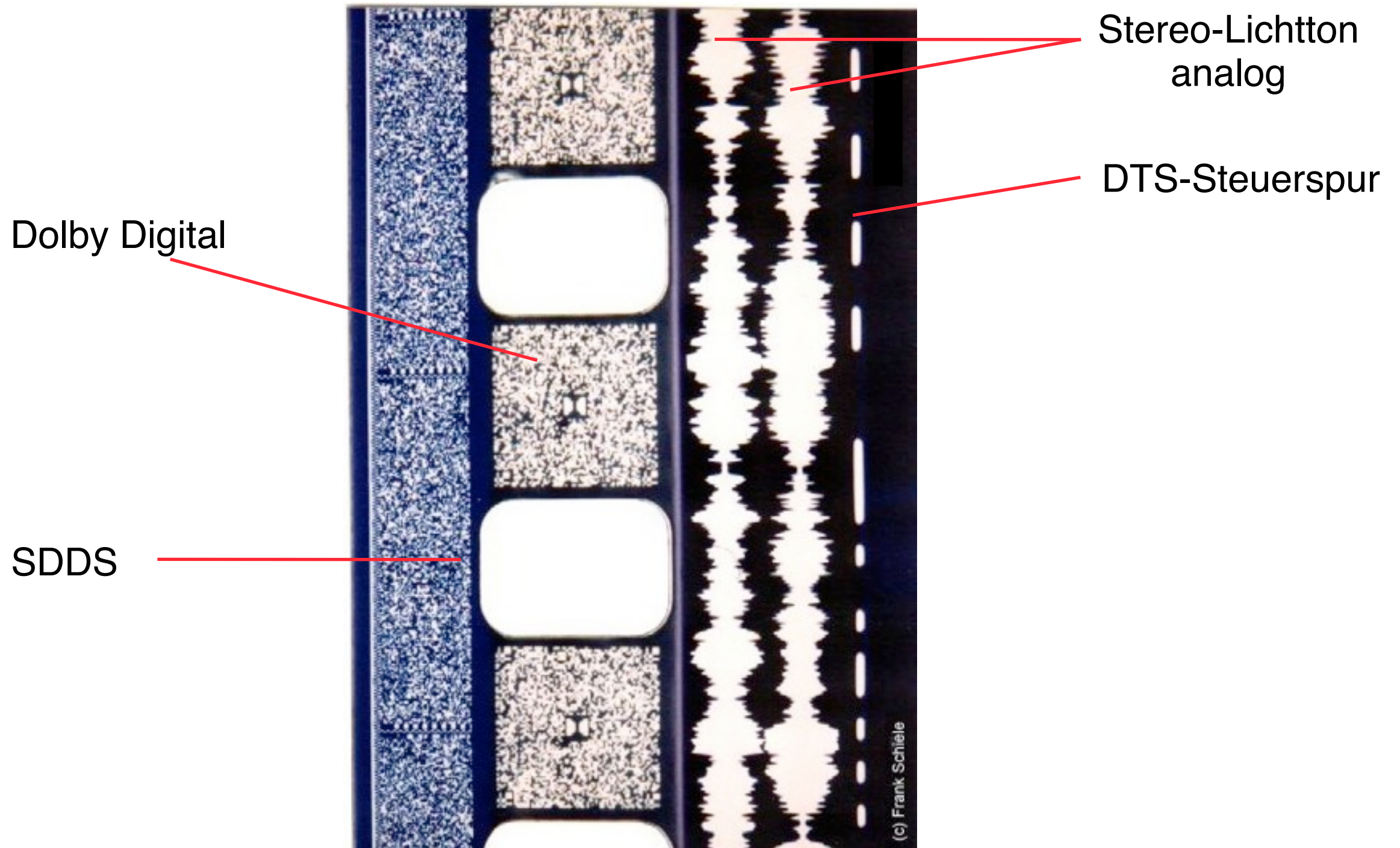
## Und was ist „THX“?

- *Tomlinson Holman Experiments*
- *Kein* Tonaufzeichnungsverfahren, sondern genaue Definition elektroakustischer Parameter für den Vorführraum und andere Einflussgrößen (Lucas Film)
- Heutzutage Firma, Verkauf von Qualitätssiegeln





# Viele Tonspuren auf einem Film



(c) Frank Schiele

# Digitale Kinokameras

Kameras mit digitalem Sensor  
als Ersatz für 35- und 16-mm-Filmkameras

1999: Sony HDCAM ("CineAlta")

Produktionssystem zur digitalen Produktion von Kinofilmen und HDTV

Kamera HDW-700A (1999): 3 Sensoren mit 2,2 Megapixel, 1920x1080

Aktuell: CineAlta F23, Auflösung 1920x1080 unkomprimiert (4:4:4)

2005: Markteintritt von "RED" (hochauflösende Kameras)

Seit 2007 ist die Mehrheit der verkauften Kinokameras digital

Dennoch langsame Marktdurchdringung wegen sehr hoher Preise

2009: Kamera-Oscar an *Slumdog Millionaire*

größtenteils digital gefilmt

2010: *Avatar* erfolgreichster Film  
der Filmgeschichte

rein digital produziert



# HD Cinema: Auflösung

Grundsätzlich alle Formate im "progressive scan" (siehe später)

**HD-TV:** 1920 x 1080 px

**2K:** 2048 px horizontal, vertikale Auflösung je nach Format

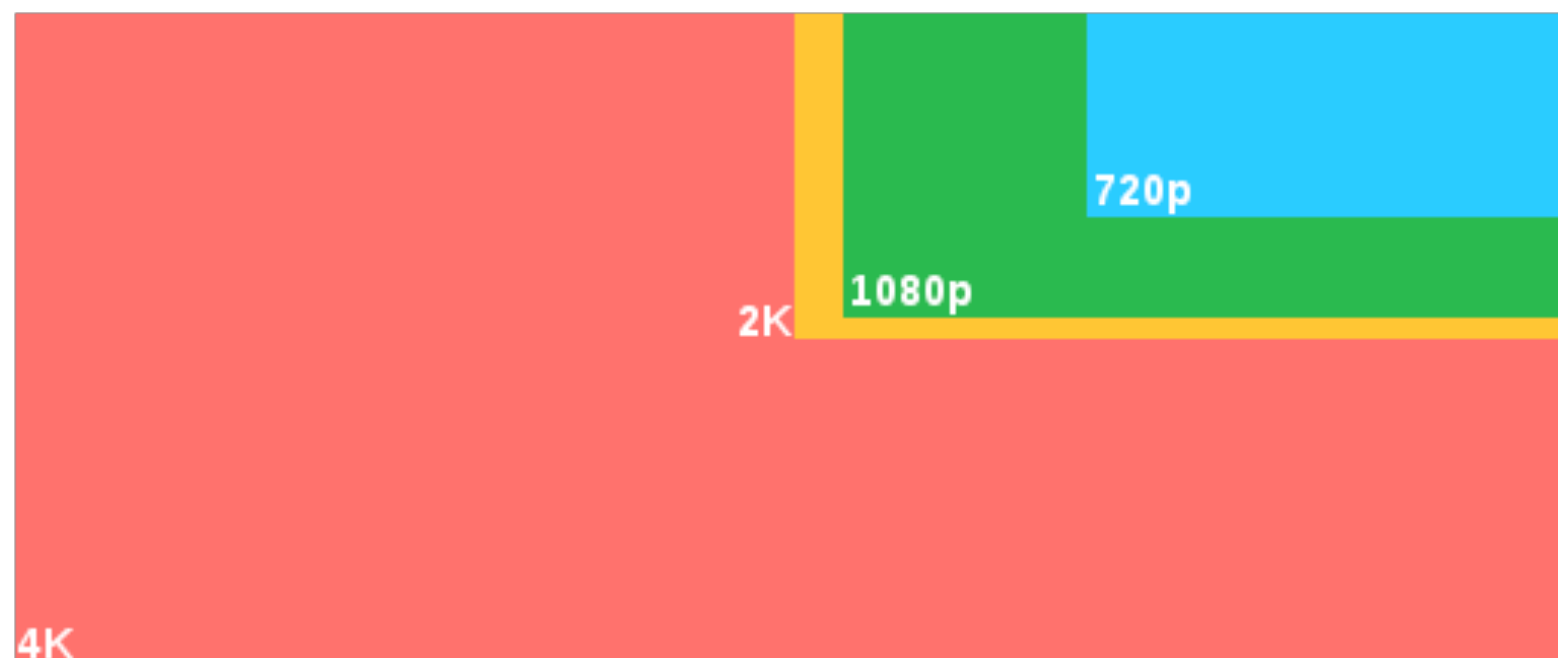
**3K:** 3072 px horizontal, vertikale Auflösung je nach Format

**4K:** 4096 px horizontal, vertikale Auflösung je nach Format

**28K:** 28000 px horizontal, vertikale Auflösung je nach Format

## Common Digital Cinema Formats

relative pixel dimension comparison at 2.39:1 aspect ratio  
(1080p and 720p formats letterboxed)



approximately 1/8 of actual pixel dimensions



# Kamerabeispiele

RED ONE (2007):

4520 x 2540 px (4K+)

60 Bilder/s unkomprimiert

Anschluss für 16mm- und 35mm-Optik



RED EPIC (2010):

28000 x 9334 px (28K)

Extrem modulares System

Ausbaubar zu

3D IMAX Aufnahme

(Basispreis ca. US-\$ 55.000)



ARRI Alexa (2010)

35 mm Sensor, 3392x2200 px (2.88 k)

# Digitales Kino

Literatur: DCI Specification ([www.dcimovies.com](http://www.dcimovies.com), 2008)

- Digitale Filmkameras seit ca. 2000 verfügbar
- Digitale Postproduktion weit verbreitet
  - Teilweise seit den 1980ern („The Abyss“)
  - Komplette digitale Postproduktion seit ~2000  
(+ „Toy Story“, 1995)
  - Komplette digitale Produktion ("Avatar", 2010)

⇒ nächster logischer Schritt: Digitale Distribution und Projektion

- Hindernisse:
  - Henne-Ei-Problem
  - Technik veraltet schnell
  - Sicherheit (Raubkopien, DRM)
  - Zuverlässigkeit
  - Wer zahlt?  
(Kostenvorteile für die einzelnen Verleiher, Ausgaben für Kinos)
  - Wer macht's? (Distributionsinfrastruktur, Abrechnung)



# 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

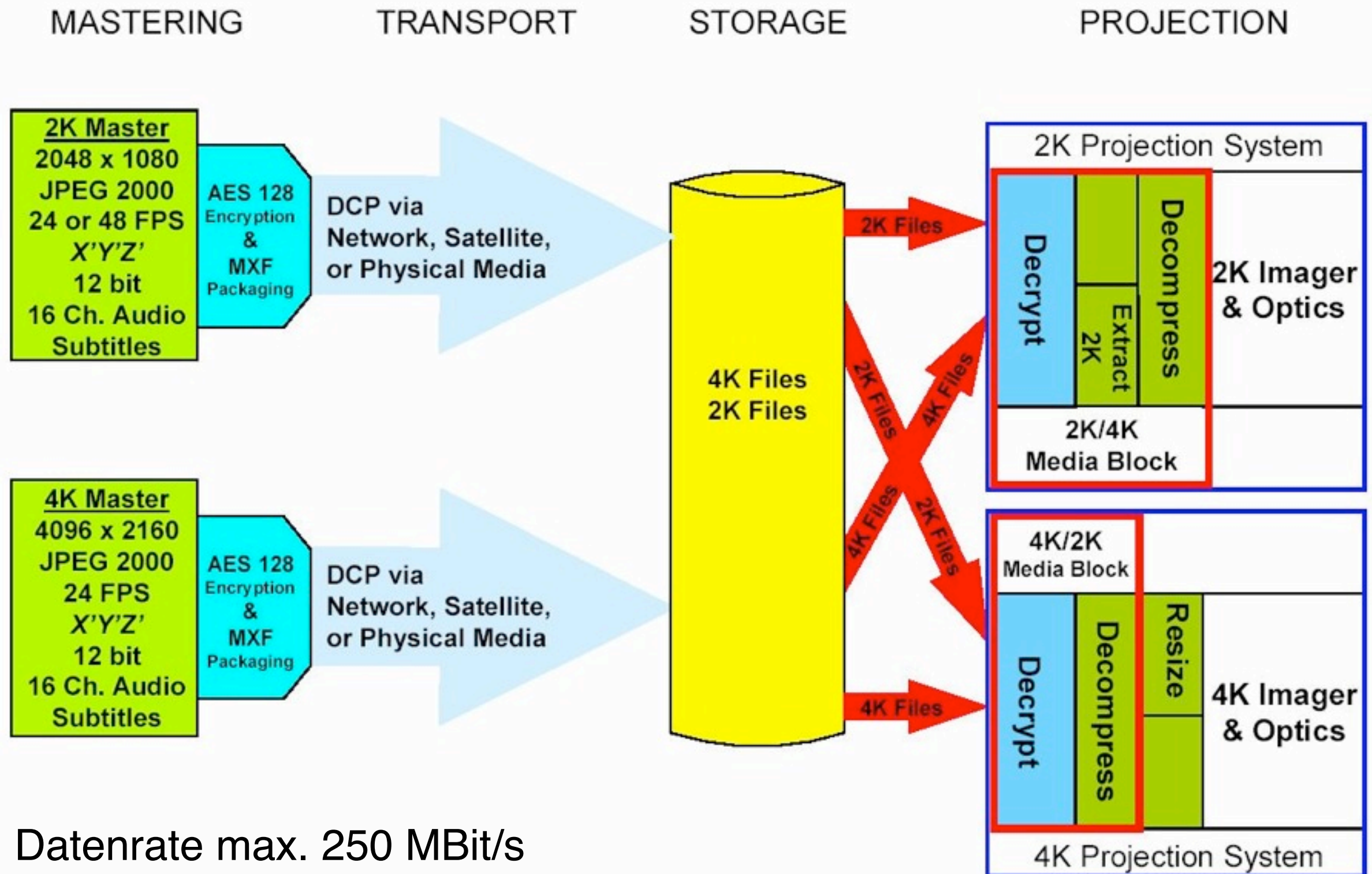
Kopienerstellung

Kopienversand

# DCI-Spezifikation

- Von der Digital Cinema Initiative (DCI) entworfen:  
Disney, Fox, (MGM), Paramount, Sony, Universal, Warner Bros
- Umfassender Standard einer Vertriebs- und Produktionskette für  
Digitales Kino
- Letzte Version: 1.2 (März 2008, Errata März 2009)
- 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)

# Digital Cinema System Workflow



# Digitale Projektionstechnik im Kino

Derzeit (2012) vorwiegend 2K- und vereinzelt 4K-Systeme

Starke Beschleunigung der Umstellung durch 3D-Kino-Boom

UK: 2/3 der Kinos digital (2012)

Prognosen: Ende des analogen Kinos ca. 2015... (IHS)

Projektionstechnologien (siehe Kapitel 5):

Digital Mirroring Device  
(z.B. Texas Instruments DLP)

Silicon Crystal Reflective Display (SXRD)

Beispielsystem:

Sony CineAlta SRX-R220

4096 x 2160 px

18.000 ANSI Lumen Helligkeit

SMPTE-Bildwandleuchtdichte bis zu  
20m Leinwandbreite eingehalten



# 3D-Kino

## Grundprinzip:

Beide Augen des Betrachters erhalten verschiedene Bilder

Aufnahme (bzw. Rendering) mit zwei Kameras im natürlichen Augenabstand

## Geschichte: 3D hat das Kino immer begleitet

Erste 3D-Vorführung (schwarz/weiß) vor Publikum: 27. Sept. 1922

Seit 1952 Farb-3D-Filme (zwei Filmstreifen)

60er und 70er Jahre: Ein-Filmstreifen-Technik (leichtere Synchronisation)

Ab 1985: 3D als Bestandteil von IMAX-Erlebniskinos

Seit 2003: Renaissance von 3D, zunehmend digital

## Techniken zur Kanaltrennung:

Farbbrillen (anaglyphes System)

Polarisationsbrillen (z.B. RealD)

Shutterbrillen (z.B. XpanD, LCD)

Interferenzfilterbrillen  
(z.B. Dolby 3D)



Bilder: Wikipedia