

<p style="text-align: center;">Technische Richtlinie der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten in der Bundesrepublik Deutschland</p>	<p style="text-align: center;">Richtlinie Nr. 8/1.1</p>
<p style="text-align: center;">Bearbeiter dieses Heftes: Fernsehbetriebsleiter-Konferenz Herausgeber: Institut für Rundfunktechnik</p>	<p style="text-align: center;">1. Auflage</p>
	<p style="text-align: center;">61 Seiten</p>
	<p style="text-align: center;">Datum: Sept. 2011</p>
<p style="text-align: center;">Beschreibung und Messung fernsehtechnischer Systeme (Fortführung von Pflichtenheft Nr. 8/1.1: Richtlinien für die Messung der Pflichtenheftsbedingungen an Videogeräten)</p> <p style="text-align: center;">Kapitel 5: Messtechnik für Multiformat-Systeme</p>	

Schutzrechte - Hinweis:

Es kann nicht gewährleistet werden, dass alle in dieser Richtlinie enthaltenen Forderungen, Vorschriften, Richtlinien, Spezifikationen und Normen frei von Schutzrechten Dritter sind.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Zitierfreiheit des Urheberrechtsgesetzes ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung des IRT nicht zulässig.

Inhaltsverzeichnis

5.1	Einleitung	4
5.2	Grundlagen	4
5.3	Normen	5
5.3.1	EBU-Dokumente	5
5.3.1.1	EBU Technical Statement D62-1998	5
5.3.1.2	EBU Technical Recommendation R112-2004	5
5.3.1.3	EBU Technical Recommendation R115-2005	5
5.3.1.4	EBU Tech 3299	5
5.3.2	SMPTE-Dokumente	6
5.3.2.1	ANSI/SMPTE 274M	6
5.3.2.2	ANSI/SMPTE 296M-2001	6
5.3.2.3	ANSI/SMPTE 292M-1998	6
5.3.2.4	ANSI/SMPTE 421M	7
5.3.2.5	ANSI/SMPTE 424M-2006 3 Gb/s Signal/Data Serial Interface	7
5.3.2.6	ANSI/SMPTE 425M-2006 3 Gb/s Signal/Source Image Format Mapping	7
5.3.2.7	ANSI/SMPTE 435M-2007	7
5.3.2.8	ANSI/SMPTE 348M-2005	7
5.3.2.9	Formatübersicht	8
5.3.3	ITU-Dokumente	9
5.3.3.1	Recommendation ITU-R BT.709 Part 2	9
5.3.3.2	Recommendation ITU-R BT.1120 Part 2	9
5.4	Systembeschreibung	10
5.4.1	Signalstrukturen	10
5.4.1.1	Aufbau eines analogen HDTV-Signals	10
5.4.1.2	Aufbau eines digitalen HDTV-Signals	11
5.4.1.3	Ancillary-Daten	14
5.4.1.3.1	Audio	17
5.4.1.3.2	Weitere Zusatzdaten	18
5.4.2	Synchronisation / Referenzsignale	19
5.4.3	Physikalische Schnittstellen	19
5.4.3.1	Analog-Komponenten-Schnittstelle	19
5.4.3.2	1,5 Gb/s Schnittstelle	19
5.4.3.3	Dual-Link	19
5.4.3.4	3 Gb/s Schnittstelle	20
5.4.3.4.1	3 Gb/s Schnittstelle Level A	20
5.4.3.4.1	3 Gb/s Schnittstelle Level B	21
5.4.3.5	10 Gb/s Schnittstelle	23
5.4.3.6	Übertragungskapazität der verschiedenen HD-SDI-Schnittstellen	25
5.4.3.7	Kabellängen	25
5.4.3.8	Optische Übertragungstrecken	26
5.4.3.9	DVI-I / DVI-D (Digital Visual Interface)	28
5.4.3.10	HDMI (High Definition Multimedia Interface)	30
5.4.3.11	HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection)	32
5.4.4	Kompressionsformate und deren Anwendungen	33
5.4.4.1	HDCAM	33
5.4.4.2	HDCAM – SR	33
5.4.4.3	HDV	33
5.4.4.4	XDCAM HD	34
5.4.4.5	MPEG 2	35
5.4.4.6	MPEG 4 / AVC / H.264	36
5.4.4.7	VC-1 / WINDOWS MEDIA 9	38
5.4.4.8	VC-3	39
5.4.4.9	JPEG2000	39

Handbuch der Fernsehsystemtechnik

Fernsehsystemtechnik	
Ausgabe	Dezember 2008
Inhalt	Blatt

5.4.4.10	ProRes 422	41
5.4.4.11	DNxHD	41
5.4.4.12	DVCPRO HD	41
5.4.4.13	Übersicht der HD-Bandformate	42
5.4.5	Fileformate	42
5.4.5.1	Advanced Authoring Format (AAF)	42
5.4.5.2	Material eXchange Format (MXF)	43
5.5	<i>Produktionstechnik</i>	44
5.5.1	Taktgeber	44
5.5.2	Kameratechnik	44
5.5.2.1	Sensortypen und Signalverarbeitung	44
5.5.2.2	Signal-Eingänge und -Ausgänge	45
5.5.2.3	Aufzeichnungsformate und -medien bei HD-Camcordern	46
5.5.2.4	HD-Objektive	46
5.5.3	Filmabtaster	47
5.5.4	Grafik- und nichtlineare Schnittsysteme	47
5.5.5	Monitoring (Displays)	48
5.5.5.1	Multiview-Technik	49
5.5.6	Formatwandlungen	49
5.5.7	Servertechnik	50
5.5.8	Vernetzte Produktionstechnik	51
5.6	<i>Aufzeichnungstechnik</i>	52
5.6.1	Magnetaufzeichnung auf Band	52
5.6.2	Bandlose Aufzeichnungstechnik	52
5.6.3	Archivierung	52
5.7	<i>Contributions-/Distributionstechnik</i>	53
5.8	<i>Messtechnik</i>	54
5.8.1	Videomessungen	54
5.8.1.1	Messungen in der physikalischen Ebene	54
5.8.1.2	Messungen in der logischen Ebene	61
5.8.1.3	Messungen in der analogen Ebene	65
5.8.1.4	Bildqualitätsanalyse	65
5.8.2	Audiomessungen	65
5.8.3	A/V-Delay-Messungen (Bild/Tonversatz)	66
5.8.4	Kameramesstechnik	66
5.9	<i>Literaturhinweise / Quellenangaben</i>	67
5.10	<i>Glossar</i>	68

5.1 Einleitung

Schon bei der Definition der Fernsehnormen (Ende der 1940er Jahre) musste man sich bei der Festlegung der Zeilenzahl, Bildwechselfrequenz und Videobandbreite aufgrund des technisch Machbaren einschränken. Im Laufe der Zeit entwickelten sich weltweit Formate auf der Basis unterschiedlicher Bildwechselfrequenzen von 50Hz (mit 625 Zeilen) bzw, 60Hz (525 Zeilen) bei einem einheitlichen Bildseitenverhältnis von 4:3. Heute werden diese Formate als SDTV (Standard Definition Television) bezeichnet.

Die fortschreitende technologische Entwicklung hat es ermöglicht, höher auflösende Bilder wirtschaftlich zu generieren, zu übertragen und darzustellen. Mittlerweile gibt es, basierend auf der SDTV-Technik, eine Anzahl von hoch auflösenden sog. HDTV Systemen. (High Definition Television) die ausschließlich mit einem Bildseitenverhältnis von 16:9 arbeiten.

Zukünftig müssen die neuen hoch auflösenden Formate parallel zu den Standardformaten in der gleichen Produktionsumgebung verarbeitet werden können. Im Folgenden werden die daraus entstehenden Anforderungen an die System- und Messtechnik in einer Multi-format-Produktionsumgebung behandelt.

5.2 Grundlagen

Die Vielzahl der hoch auflösenden Formate geben den Rundfunkanstalten die Möglichkeit, flexibel und mit hoher technischer Qualität zu produzieren, haben aber den Nachteil, dass die Produktionsanlagen immer komplexer werden. Die wichtigsten Unterschiede bei den Formaten liegen in der Zeilenzahl (z. B. 576, 720, 1080), dem Abtastverfahren (interlaced oder progressiv) und der Übertragungsrate (270Mbit/s bis 2,97 Gbit/s). In 5.3 sind die Normen für hoch auflösende Formate beschrieben.

Von der EBU wurde folgende Schreibweise für die Bezeichnung der Formate festgelegt. Zuerst wird die vertikale Auflösung (aktive Zeilenzahl) genannt. Es folgt das Abtastformat (i oder p) und nach einem Schrägstrich die „frame rate“ (Vollbildfrequenz, nicht die Halbbildfrequenz).

Beispiele:

720p/50 - 750/720 Zeilen, progressiv, 50 Bilder pro Sekunde

1080i/25 - 1125/1080 Zeilen, interlaced, 25 Bilder pro Sekunde (50 Halbbilder)

Konsequenter Weise müsste dies für das Standard Format wie folgt heißen:

576i/25 - 625/576 Zeilen, interlaced, 25 Bilder pro Sekunde (50 Halbbilder)

Die Betriebsart „segmented frames (sf)“ ist eine Sonderform der Abtastung bei Vollbildfrequenzen von 23,98 bis 30 Hz. Dabei werden die ungeraden und die geraden Zeilen eines progressiv abgetasteten Vollbildes (Filmabtaster, CCD-Kamera) als jeweils ein Halbbild ausgelesen. Die beiden Halbbilder stammen damit von ein und derselben Bewegungsphase. Diese Betriebsart ist notwendig, um progressiv abgetastete Bilder auf herkömmlichen Magnetaufzeichnungssystemen speichern zu können.

Die Bezeichnung lautet gemäß EBU: z. B. 1080sf/25

Bei Produktionen mit hoch auflösenden Bild-Formaten zeigte sich, dass auch eine entsprechend exzellente Tonwiedergabe erwartet wird. Für die Aufzeichnung und Verteilung wird in den meisten Fällen die Codiertechnik Dolby E eingesetzt. Das Signal wird als „embedded Audio“ in einem AES/EBU-Kanal übertragen, der transparent sein muss. Für die Ausstrahlung wird das Dolby E Signal in das AC3 Format gewandelt.

5.3 Normen

5.3.1 EBU-Dokumente

5.3.1.1 EBU Technical Statement D62-1998

Choice of an HDTV production standard for Europe

In dieser Stellungnahme der EBU werden für die Produktion HDTV-Standards empfohlen, die auf einer Halbbildfrequenz von 50 Hz basieren und 1080 aktive Zeilen verwenden. Die EBU nahm zu diesem Zeitpunkt an, dass sich ein Bildformat von 1920 x 1080 (Square Pixel) weltweit durchsetzen wird.

5.3.1.2 EBU Technical Recommendation R112-2004

EBU statement on HDTV standards

Hierin empfiehlt die EBU progressiv basierende Formate als Ausstrahlungsstandard für HDTV. Obwohl technische Argumente für eine progressive Abtastung sprechen, werden Programme auch mit interlaced Abtastung gesendet (z. B. 1080i), da Konsumergeräte beide Formate verarbeiten können.

5.3.1.3 EBU Technical Recommendation R115-2005

FUTURE HIGH DEFINITION TELEVISION SYSTEMS:

The need to develop television production equipment for a progressively scanned image format of 1920 horizontal by 1080 vertical resolution at 50 and 60 Hz frame rates

In diesem Dokument stellt die EBU fest, dass auf Grund der fortschreitenden Entwicklung der Displaytechnik bereits in der Produktion ein möglichst hoher progressiver HDTV-Standard angestrebt werden soll. Das anzustrebende Produktionsformat 1080p/50 - 60 hat den Vorteil einer ausreichenden Qualitätsreserve für die Konvertierung in alle weltweit verwendeten Broadcast-Formate.

5.3.1.4 EBU Tech 3299

High Definition (HD) Image Formats for Television Production (Dez. 2004)

Das Dokument Tech 3299 definiert die grundlegenden Bildformate und digitalen Abtastraster für hoch auflösende Fernsehproduktions-Technik in einer 50 Hz-Umgebung.

Aus einer Vielzahl von Formaten wählte die EBU aus Kompatibilitäts-Gründen die in der folgenden Tabelle zusammengefassten Formate aus.

EBU System	Nomenklatur	Gesamte Bildpunkte pro Zeile	Aktive Bildpunkte pro Zeile	Gesamte Zeilen pro Bild	Aktive Zeilen pro Bild	Vollbild-Wechsel-frequenz [Hz]	Abtast-frequenz [MHz]	Entsprechende SMPTE-Norm und System
S 1	720p/50	1980	1280	750	720	50	74,25	SMPTE 296 System 3
S 2	1080i/25	2640	1920	1125	1080	25	74,25	SMPTE 274 System 6
S 3	1080p/25	2640	1920	1125	1080	25	74,25	SMPTE 274 System 9
S 4	1080p/50	2640	1920	1125	1080	50	148,50	SMPTE 274 System 3

Tabelle 1: Festlegung der EBU von bevorzugten High Definition (HD) Bildformaten für die Fernsehproduktion

Für die bevorzugten Formate und Abtastraster werden in der EBU Tech 3299 noch weitere System-Parameter beschrieben.

5.3.2 SMPTE-Dokumente

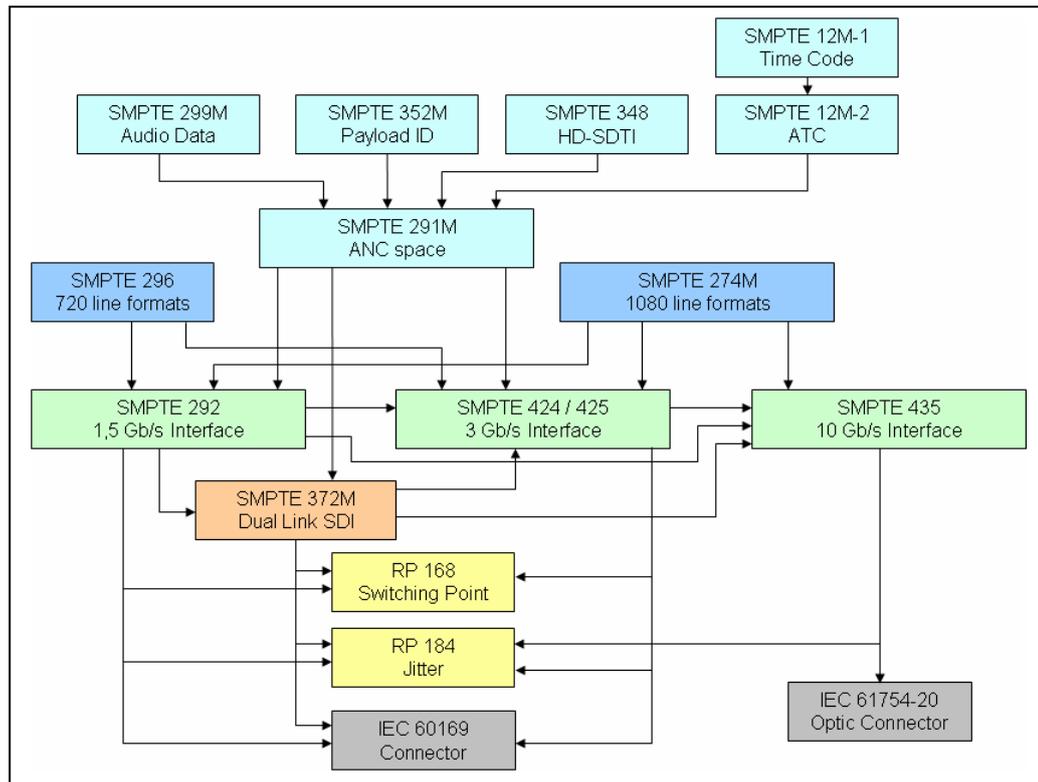


Bild 5.3.2.1: Übergeordnete Struktur der SMPTE-Normen

5.3.2.1 ANSI/SMPTE 274M

1920 x 1080 Image Sample Structure, Digital Representation and Digital Timing Reference Sequences for Multiple Picture Rates

Der Standard definiert die Formatfamilie mit 1920 Pixel und 1080 Zeilen bei interlaced und progressiver Abtastung und einem Seitenverhältnis von 16:9.

5.3.2.2 ANSI/SMPTE 296M-2001

1280 x 720 Progressive Image Sample Structure — Analog and Digital Representation and Analog Interface

Der Standard definiert die Formatfamilie mit 1280 Pixel und 720 Zeilen bei progressiver Abtastung und einem Seitenverhältnis von 16:9.

5.3.2.3 ANSI/SMPTE 292M-1998

Bit-Serial Digital Interface for High-Definition Television Systems

Der Standard definiert die elektrische und optische serielle Schnittstelle für hoch auflösende Komponentensignale mit einer Datenrate von 1,485 Gbit/s

5.3.2.4 ANSI/SMPTE 421M

Standard for Television: VC-1 Compressed Video Bitstream Format and Decoding Process

Eine Software Implementation von VC-1 läuft unter dem Namen Windows Media 9.

5.3.2.5 ANSI/SMPTE 424M-2006

3 Gb/s Signal/Data Serial Interface

Der Standard definiert die elektrische serielle Schnittstelle für hoch auflösende Komponentensignale mit einer Datenrate von 2,97 Gbit/s

5.3.2.6 ANSI/SMPTE 425M-2006

3 Gb/s Signal/Source Image Format Mapping

Dieser Standard spezifiziert das „Mappen“ von Bildquellenformaten, Audio-, Ancillary-Daten und HD-SDI-Signalen zu zwei virtuellen seriellen digitalen Datenströmen und deren Multiplex zu einem seriellen digitalen Datenstrom mit 3 Gb/s.

5.3.2.7 ANSI/SMPTE 435M-2007

10 Gb/s Signal/Data Serial Interface –

Part 1: Basic Stream Distribution

Part 2: 10.692 Gb/s Stream - Basic Stream Data Mapping

Part 3: 10.692 Gb/s Stream - Optical Fiber Interface

Im Standard SMPTE 435 wird in drei Teilen eine serielle digitale Schnittstelle mit einer Datenrate von 10,692 Gb/s beschrieben.

5.3.2.8 ANSI/SMPTE 348M-2005

High Data-Rate Serial Data Transport Interface (HD-SDTI)

Dieser Standard beschreibt den notwendigen Mechanismus, um die Übertragung von paketierten Daten über eine HD-SDI-Schnittstelle zu ermöglichen. Die HD-SDTI-Daten-Pakete und Synchronisationssignale stellen eine Daten-Transport-Schnittstelle bereit, die kompatibel zur HD-SDI-Schnittstelle gemäß der SMPTE 292M ist. Das HD-SDTI-Protokoll ist kompatibel zum SD-SDTI-Protokoll das in der SMPTE 305M beschrieben ist.

5.3.2.9 Formatübersicht

Horizontal [Pixel]	Vertikal [Pixel]	Framerate [Hz]	Standard	Colorimetrie
1280	720p	23,98	SMPTE 296M	ITU R.BT 709-2
1280	720p	24	SMPTE 296M	ITU R.BT 709-2
1280	720p	25	SMPTE 296M	ITU R.BT 709-2
1280	720p	29,97	SMPTE 296M	ITU R.BT 709-2
1280	720p	30	SMPTE 296M	ITU R.BT 709-2
1280	720p	50	SMPTE 296M	ITU R.BT 709-2
1280	720p	59,94	SMPTE 296M	ITU R.BT 709-2
1280	720p	60	SMPTE 296M	ITU R.BT 709-2
1920	1035i	29,97	SMPTE 240M SMPTE 260M	SMPTE 240M-1999 (CIE 1931)
1920	1035i	30	SMPTE 240M SMPTE 260M	SMPTE 240M-1999 (CIE 1931)
1920	1080i (1250)	25	SMPTE 295M	
1920	1080p (1250)	50	SMPTE 295M	
1920	1080p	23,98	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080p	24	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080p	25	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080p	29,97	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080p	30	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080p	50	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080p	59,94	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080p	60	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080i	25	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080i	29,97	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080i	30	SMPTE 274M	ITU R.BT 709
1920	1080sF	23,98	SMPTE 274M	
1920	1080sF	24	SMPTE 274M	
1920	1080sF	25	SMPTE 274M	
1920	1080sF	29,97	SMPTE 274M	
1920	1080sF	30	SMPTE 274M	

Tabelle 2: High Definition Bildformate der SMPTE

5.3.3 ITU-Dokumente

5.3.3.1 Recommendation ITU-R BT.709 Part 2

Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange

Die ITU-R BT.709 Part 2 beschreibt die Videoparameter für Systeme mit 1080 aktiven Zeilen und quadratischer Pixelgeometrie. Es werden Bildwiederholraten von 24Hz, 25Hz, 30Hz, 50Hz und 60 Hz (einschließlich der um den Faktor 1/1,001 abweichenden) im Abtastverfahren interlaced, progressive oder segmented frame, spezifiziert. Die ITU-R BT.709 ist das HD-Äquivalent zur ITU-R BT.601 in der SD-Technik.

5.3.3.2 Recommendation ITU-R BT.1120 Part 2

Digital interfaces for HDTV studio signals, Part 2: Interfaces for HDTV signals conforming to Recommendation ITU-R BT.709, Part 2

Die ITU-R BT.1120 Part 2 beschreibt die parallele und serielle Schnittstelle für Signale gemäß ITU-R BT.709 Part 2. Für die serielle digitale Schnittstelle werden Datenraten von 1,485Gbit/s und 2,97 Gbit/s angegeben. Die ITU-R BT.1120 ist das HD-Äquivalent zur ITU-R BT.656 in der SD-Technik.

5.4 Systembeschreibung

5.4.1 Signalstrukturen

5.4.1.1 Aufbau eines analogen HDTV-Signals

In der professionellen Produktionstechnik haben analoge HDTV-Komponentensignale, die im Standard SMPTE 240M definiert sind, praktisch keine Bedeutung mehr. Das dort enthaltene Tri-Level-Synchronisationsignal wird jedoch häufig in digitalen HDTV-Umgebungen als Referenzsignal genutzt. In den folgenden Bildern ist die horizontale und vertikale Austastlücke eines analogen HDTV-Signals für die EBU-Systeme S1 bis S4 dargestellt.

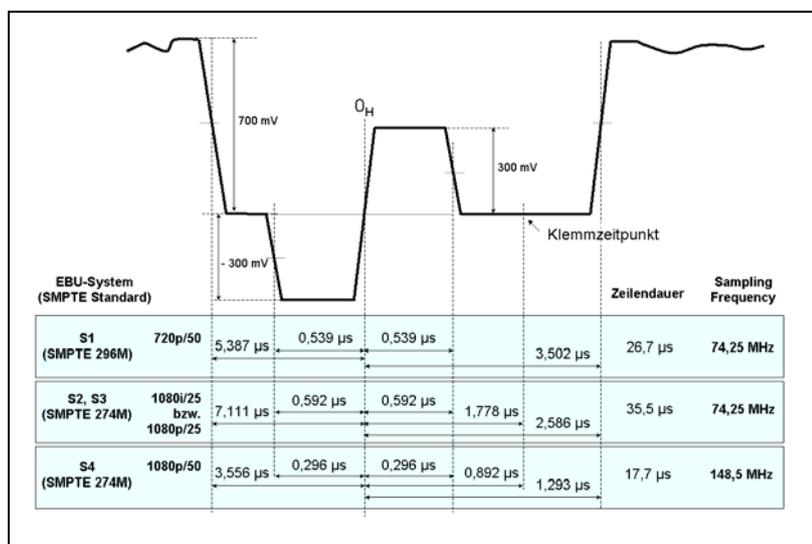


Bild 5.4.1.1.1: Horizontale Austastlücke des Tri-Level-Sync-Signals der EBU-Systeme S1 bis S4

„0_H“ ist die horizontale Zeitreferenzmarke und liegt auf der steigenden Flanke in der Mitte des Tri-Level-Syncs. Die im Bild dargestellte Signalform gilt für E'_R, E'_G, E'_B, und E'_Y-Signale, der Signalpegel für E'_{CB}, und E'_{CR} liegt zwischen -350 mV und +350 mV.

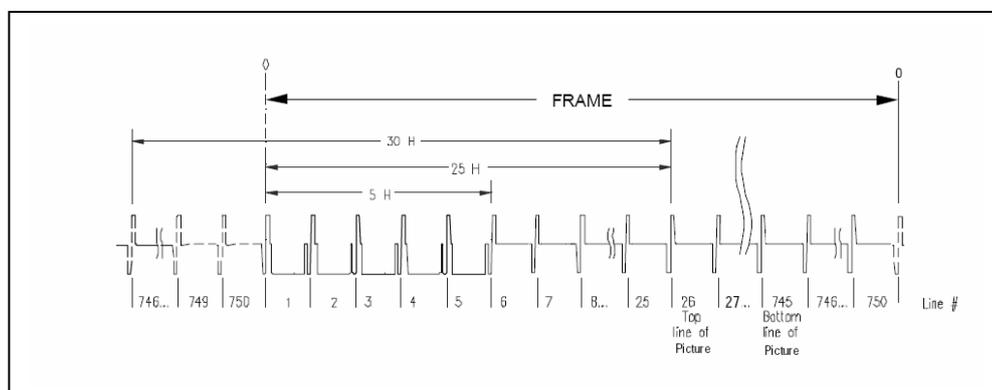


Bild 5.4.1.1.2: Vertikale Austastlücke für das EBU-System S1

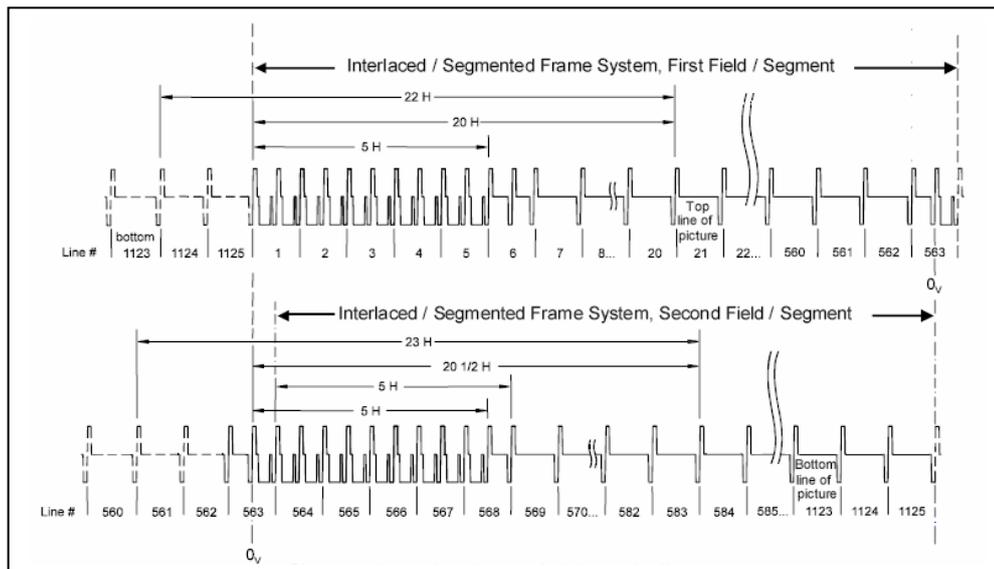


Bild 5.4.1.1.3: Vertikale Austastlücke für das EBU-System S2

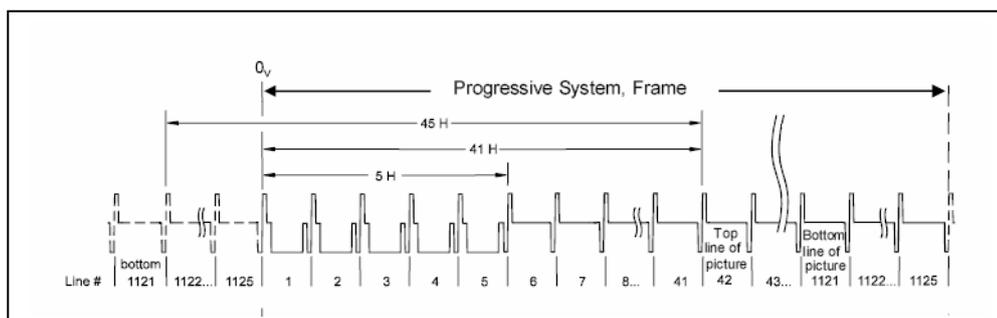


Bild 5.4.1.1.4: Vertikale Austastlücke für die EBU-Systeme S3 und S4

Die Pegel des analogen HDTV-Bildsignals sind identisch mit denen des SDTV-Bildsignals. Die Frame-Dauer für 25 Hz Systeme (S2, S3) beträgt 40 ms bei 50 Hz Systemen (S1, S4) 20 ms.

5.4.1.2 Aufbau eines digitalen HDTV-Signals

Die Codierung eines HD-Bildsignals kann wie bei SD-Signalen entweder als R' , G' , B' - oder Y' , C'_B , C'_R -Komponenten erfolgen. Vor einer Digitalisierung muss eine angepasste Vorfilterung erfolgen. Die Bandbreiten betragen 30 MHz für die Signalkomponenten R' , G' , B' und Y' für die EBU Systeme S1 bis S3, bzw. 60 MHz für das System S4. Die Komponentensignale C'_B und C'_R haben die halbe Bandbreite des jeweiligen Y' -Signals.

Die EBU Systeme 1 bis 4 basieren auf dem in der ITU-R BT 709 (Part 2) beschriebenen „Square-Pixel“-Format.

Abweichend von den im SD-System bekannten Koeffizienten erfolgt die Umrechnung der RGB-Abtastwerte in Y' , C'_R , C'_B -Komponenten gemäß der Empfehlung EBU-TECH 3299 nach den Formeln

$$\begin{aligned}
 Y' &= 0,2126R' + 0,7152G' + 0,0722B' \\
 C'_R &= 1,2700(R' - Y') \\
 C'_B &= 1,0778(B' - Y')
 \end{aligned}$$

Die zulässigen Maximalpegel, sowie die Nummerierung der Samples für die EBU-Systeme 1 bis 4 sind im Bild 5.4.1.2.1 dargestellt und entsprechen den Werten wie sie auch für SDTV bekannt sind.

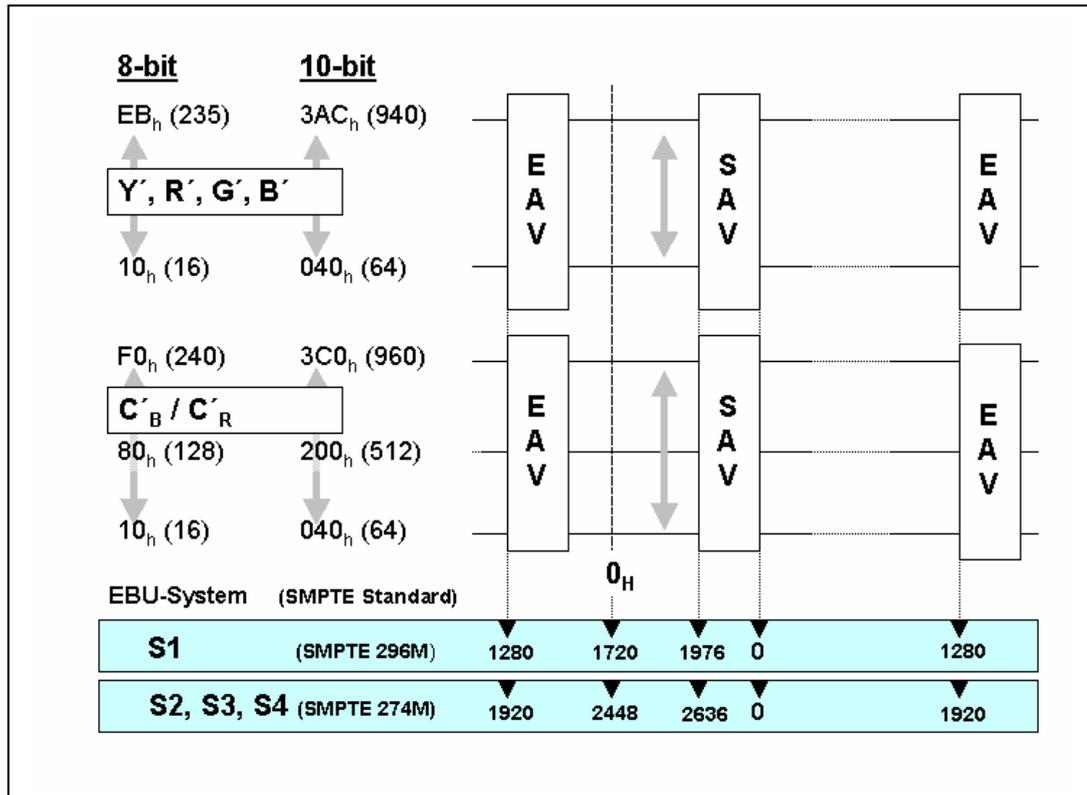


Bild 5.4.1.2.1: Maximalpegel und Nummerierung der Samples für die EBU-Systeme 1 bis 4

Wie im SDTV werden auch im HDTV in der digitalen Ebene die Synchronsignale durch die Timing Reference Sequence (TRS) repräsentiert. Im Gegensatz zu SD-Systemen werden in hoch auflösenden Signalen sowohl die Komponentensignale R', G', B', bzw. das Luminanzsignal Y' als auch das Chrominanzsignal C'_B/ C'_R mit Timing Reference Sequences versehen.

Die Timing Reference Sequence besteht bei allen digitalen Videosignalen aus vier, nur für diese Zwecke reservierten Codewörtern. Die Referenz für die Zeilensynchronisation wird dabei durch die Sequenz „3FF_h - 000_h - 000_h“ eingeleitet. Diesen drei Synchronworten folgt das so genannte „XYZ“-Wort.

Bit number	9 (MSB)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (LSB)	
Word	Value										
0	3FF _h (1023)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	F	V	H	P3	P2	P1	P0	0	0	

Tabelle 3: Aufbau der Timing Reference Sequence für alle digitalen Videosysteme

Das XYZ-Wort beinhaltet drei Flags (F, V, H) für die Signalisierungen bestimmter Bildbereiche:

Das „F-Flag“ kennzeichnet in Interlaced-Systemen die Halbbilder. F= 0 für das erste Halbbild, F= 1 für das zweite Halbbild. In progressiven Systemen ist dieses Bit konstant auf „0“.

Das „V-Flag“ markiert mit V=1 den vertikalen Austastbereich und mit V=0 den aktiven Bildbereich.

Das „H-Flag“ markiert mit H=1 den Beginn des horizontalen Austastbereichs (EAV) und mit H=0 den Beginn des aktiven Bildbereichs der Zeile (SAV).

Die Signalisierungsbits (F, V, H) werden im XYZ-Wort durch vier Prüfbits P0 bis P3 geschützt.

Laut Standard ist das höchstwertige Bit 9 (MSB) konstant auf „1“; die beiden niederwertigsten Bits 0 und 1 sind immer auf „0“ gesetzt.

Zur Übertragung von HD-Signalen wird im Gegensatz zu SD-Signalen fast ausschließlich die serielle Übertragung genutzt. Die HD-SDI-Schnittstelle ist in der SMPTE 292M und in der ITU-R BT.1120 standardisiert. Dort wird sowohl der Multiplex der Videodaten als auch der Timing Reference Sequenz spezifiziert.

Anders als bei SD-SDI wird in den HD-SDI-Signalen die Timing Reference Sequence EAV mit der Zeilennummer und der CRC-Prüfsumme der vorangegangenen Zeile ergänzt.

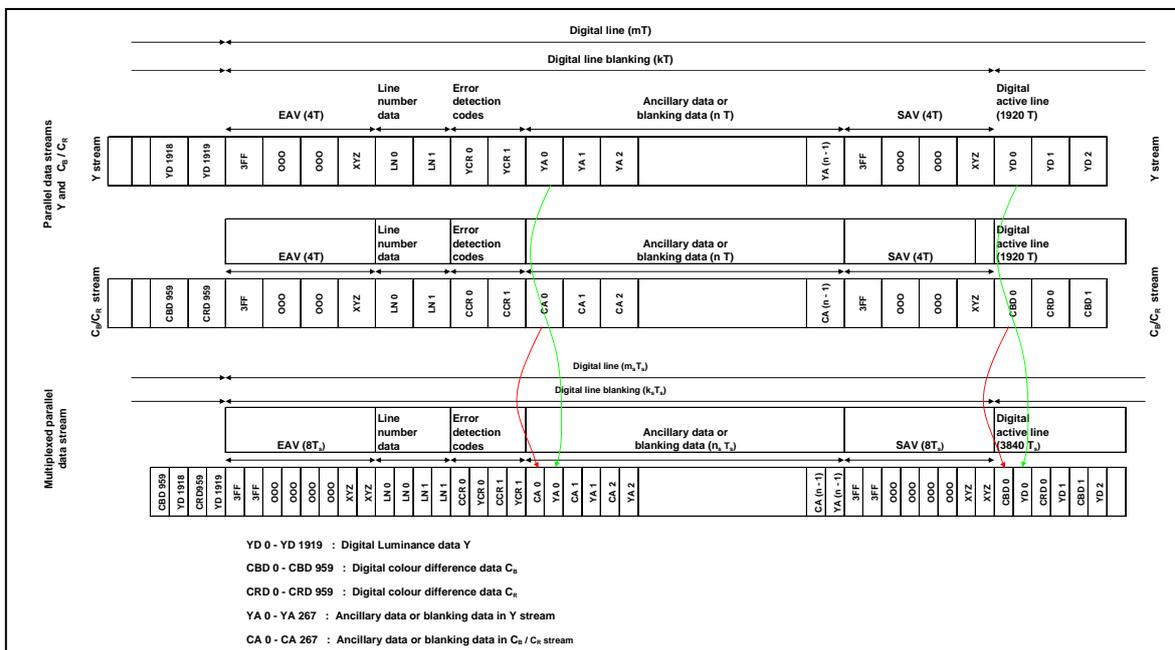


Bild 5.4.1.2.2: Multiplex aus den parallelen C_B / C_R - und Y-Datenströmen

Aus Bild 5.4.1.2.2 ist ersichtlich, dass auch in der horizontalen Austastlücke die Sample-reihenfolge C_B , Y, C_R , Y, wie im aktiven Bildbereich fortgeführt wird.

5.4.1.3 Ancillary-Daten

Die Ancillary-Daten (Zusatzdaten) werden bei HD-SDI-Signalen wie in der SD-Technik in den vertikalen und horizontalen Austastlücken als VANC-Daten (Vertical Ancillary Data) und HANC-Daten (Horizontal Ancillary Data) übertragen. HANC-Daten können in jeder Zeile, auch in der vertikalen Austastlücke, eines Videosignals (siehe Bild XX) übertragen werden. In der vertikalen Austastlücke wird zusätzlich der Bereich zwischen SAV und EAV für Ancillary Daten (VANC-Daten) genutzt.

Ancillary Daten werden nach SMPTE 291M mit dem Ancillary Data Flag (ADF) 000h 3FFh 3FFh eingeleitet. Danach folgt ein beschreibendes Datenwort, die Data ID (DID).

Aus Kompatibilitätsgründen bestehen die Daten des Ancillary-Headers aus 8 Datenbits, einem Parity-Bit und dem invertierten Parity-Bit.

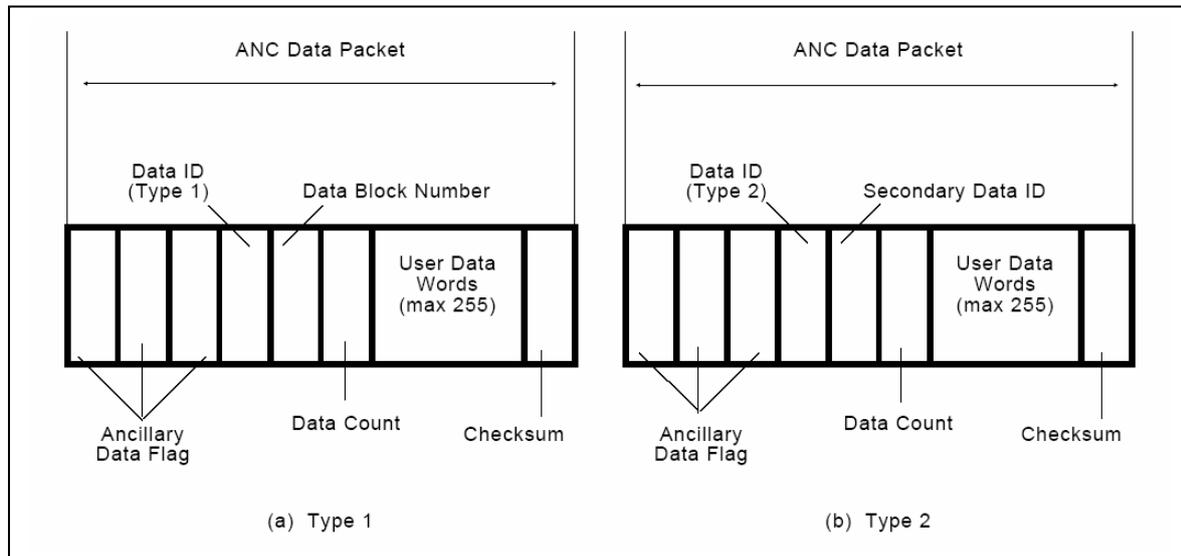


Bild 5.4.1.3.1: Aufbau des Ancillary Datenrahmens

Ancillary Datenpakete werden in zwei Typen eingeteilt (Bild 5.4.1.3.1):

Ancillary Daten vom Typ 1 (DID 80 bis FF) werden nur durch die DID beschrieben, gefolgt von der DBN (Data Block Number) und dem DC (Data Counter). Die DBN besteht aus 8 Bit und wird mit jedem Datenwort gleicher DID zyklisch von „1“ bis „255“ inkrementiert. Der DC definiert die Anzahl der nachfolgenden Nutzdatenworte (User Data Words). Wegen der Wortbreite des DC von 8 Bit ist die Anzahl der Nutzdatenworte auf 255 beschränkt.

Bei den Ancillary Daten vom Typ 2 (DID 00 bis 7F) wird statt dem DBN eine Secondary Data ID (SDID) vergeben, um die Anzahl der Varianten zu erhöhen.

DID		SDID		Funktion	Ancillary Data Type	HANC / VANC	SMPTE-Standard
8-Bit	10-Bit	8-Bit	10-Bit				
00	200			undefiniertes Format	Typ 2	V + H	291M
41	241	01	101	Videoformat-Information	Typ 2	H	352M
44	244	04	104	Metadaten KLV-codiert	Typ 2	V	RP 214
44	244	14	214	Metadaten KLV-codiert	Typ 2	H	RP 214
60	260	60	260	Ancillary time code	Typ 2	V	RP 188
61	161	01	101	EIA-708-B (Closed Captioning)	Typ 2	V	334M
61	161	02	102	EIA-608 data (Closed Captioning)	Typ 2	V	334M
62	162	01	101	Program description (DTV)	Typ 2	V	334M
62	162	02	102	Data broadcast (DTV)	Typ 2	V	334M
62	162	03	203	VBI data	Typ 2	V	334M
64	164	64	164	Timecode (LTC)	Typ 2	H	RP 196
64	164	7F	17F	Timecode (VITC)	Typ 2	V	RP 196
80	180	-	-	Marked packets for deletion	Typ 1	V + H	291M
84	284	-	-	Data end marker packet	Typ 1	V + H	291M
88	288	-	-	Data start marker packet	Typ 1	V + H	291M
E0	1E0	-	-	HDTV, control, Group 4	Typ 1	H	291M/299M
E1	2E1	-	-	HDTV, control, Group 3	Typ 1	H	291M/299M
E2	2E2	-	-	HDTV, control, Group 2	Typ 1	H	291M/299M
E3	1E3	-	-	HDTV, control, Group 1	Typ 1	H	291M/299M
E4	2E4	-	-	HDTV, audio, Group 4	Typ 1	H	291M/299M
E5	1E5	-	-	HDTV, audio, Group 3	Typ 1	H	291M/299M
E6	1E6	-	-	HDTV, audio, Group 2	Typ 1	H	291M/299M
E7	2E7	-	-	HDTV, audio, Group 1	Typ 1	H	291M/299M
EC	1EC	-	-	AES control packet, Group 4	Typ 1	H	272M/291M
ED	2ED	-	-	AES control packet, Group 3	Typ 1	H	272M/291M
EE	2EE	-	-	AES control packet, Group 2	Typ 1	H	272M/291M
EF	1EF	-	-	AES control packet, Group 1	Typ 1	H	272M/291M
F0	2F0	-	-	Metadata packets	Typ 1	H	272M/291M
F4	1F4	-	-	Error detection (EDH)	Typ 1	H	272M/291M
F5	2F5	-	-	Time code	Typ 1	H	272M/291M
F8	1F8	-	-	AES extended packet, Group 4	Typ 1	H	272M/291M
F9	2F9	-	-	AES audio data, Group 4	Typ 1	H	272M/291M
FA	2FA	-	-	AES extended packet, Group 3	Typ 1	H	272M/291M
FB	1FB	-	-	AES audio data, Group 3	Typ 1	H	272M/291M
FC	2FC	-	-	AES extended packet, Group 2	Typ 1	H	272M/291M
FD	1FD	-	-	AES audio data, Group 2	Typ 1	H	272M/291M
FE	1FE	-	-	AES extended packet, Group 1	Typ 1	H	272M/291M
FF	2FF	-	-	AES audio data, Group 1	Typ 1	H	272M/291M

Tabelle 4: Standardisierte DIDs und SDIDs.

5.4.1.3.1 Audio

Das digitale Audiosignal wird ausschließlich im HANC-Bereich des HD-SDI-Signals übertragen. Die Audiodaten werden dafür in Pakete aufgeteilt und in den HANC-Bereich eingefügt („embedded“). Im Gegensatz zu SD-SDI-Signalen werden bei HD-SDI-Signalen die Audiodaten im HANC-Bereich nur im Raster der Chrominanz-Komponenten übertragen (siehe Bild xx). Die Zeile nach der Schaltzeile (SMPTE RP 168) darf keine Ancillary Daten (Audiodaten) enthalten.

Informationen wie die Abtastrate, Audioframe-Nummer, aktive Kanäle, Dekodier-Informationen oder ein A/V-Delay werden in einem Audio-Kontroll-Paket zusammengefasst. In HD-SDI-Signalen wird dieses Paket einmal pro Halbbild/Vollbild im HANC-Bereich der Luminanz-Komponente in der zweiten Zeile nach der Schaltzeile (SMPTE RP 168) übertragen.

Bei HD-SDI-Signalen können laut SMPTE 299M 16 Audiokanäle (vier Gruppen mit je vier Kanälen) als AES/EBU-Signale mit 24 bit Wortbreite und einer Abtastrate von 48 kHz übertragen werden. Die vier Gruppen und die Audio-Kontroll-Pakete werden mit den DIDs entsprechend Tabelle 4 gekennzeichnet.

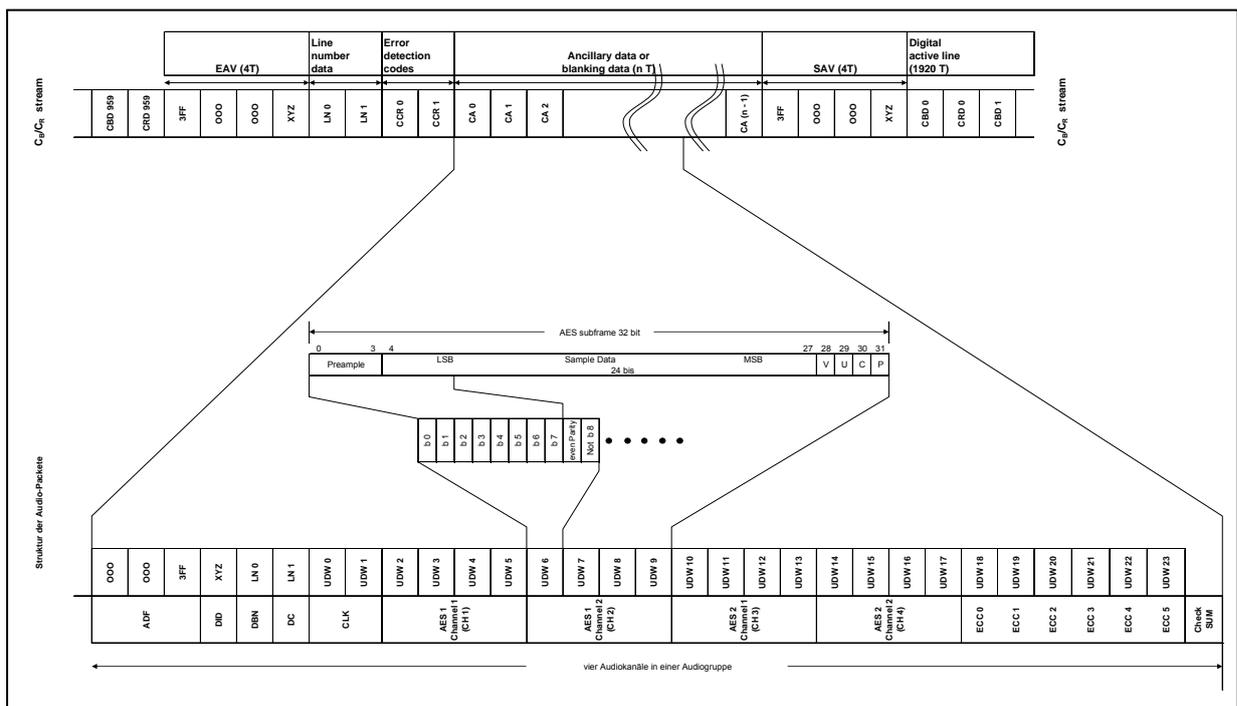


Bild 5.4.1.3.1.1: Multiplex des Audio-Daten-Stroms im parallelen C_B/C_R -Datenstrom

Wegen der verbesserten Bildqualität hoch auflösender Bildformate entstand die Forderung, die „Telepräsenz“ durch eine verbesserte Audioqualität mittels Mehrkanaltechnik zu erhöhen.

Speziell für die Verteilung von Mehrkanal-Tonsignalen innerhalb von Produktionsbetrieben wurde das Dolby E Codierverfahren entwickelt. Es ermöglicht die Übertragung und Speicherung von bis zu 8 Audiokanälen in einem digitalen AES/EBU-Rahmen.

Ein (mit Dolbysynchroniser) synchron im HD-SDI-Signal eingebettetes Dolby-E-kodiertes Audiosignal kann im „Frameraster“ hart geschnitten werden. Bei der Verteilung ist auf eine bittransparente Übertragung der Dolby-E-Daten zu achten. Digitales Signalprozessing, wie

z.B. in Embeddern und Video-Synchronisern mit Sample-Rate-Konvertern, kann den Dolby-E Datenstrom unterbrechen, was zu massiven Tonstörungen führen kann. Um dies zu vermeiden, sind alle Komponenten auf Dolby E-Kompatibilität zu überprüfen.

Für die Ausstrahlung von Mehrkanalton wird das Kodierverfahren AC-3 verwendet, das im Standard ATSC A/52 beschrieben ist. AC-3 ist auch unter der Markenbezeichnung Dolby Digital (DD) bekannt. Aufgrund der im Fernsehgrundfunkbereich verwendeten Audiokanäle (3 Front-, 2 Surround-Kanäle und ein niederfrequenter Effektkanal) wird Dolby Digital auch als Dolby 5.1 bezeichnet.

Eine Weiterentwicklung der Mehrkanal-Audiotechnik ist „Enhanced AC-3“ (Dolby Digital Plus, DD+). Diese Erweiterung des bestehenden Dolby Digital-Formats erhöht die Datenrate und Kanalanzahl. (weitere Informationen siehe www.dolby.de)

5.4.1.3.2 Weitere Zusatzdaten

Timecode wird im Ancillary Datenbereich als Typ-2 Daten gemäß SMPTE RP188 übertragen. Seine DID = 60h, seine SDID = 60h. Der entsprechende DC ist dabei 10h.

Ein LTC (Longitudinal Time Code) wird als Typ-1 Daten mit einer DID = F5 übertragen.

Der Standard SMPTE 334M definiert allgemein die Übertragung beliebiger Daten-Services im VANC. Die Übertragung von **Videotext**-Daten im HD-SDI-Signal könnte nach SMPTE 334M erfolgen, wird zurzeit aber wegen fehlenden „Mapping“ Regeln nicht praktiziert. In Tabelle 4 sind definierte DIDs aufgelistet, z.B. Closed Captioning (Videotext-Untertitel).

Allgemein werden **Metadaten** gemäß SMPTE 291M in das HD-SDI-Signals inseriert, Metadaten die nach KLV codiert sind (SMPTE 336M), werden nach RP214 in das HD-SDI-Signals eingefügt.

Informationen zum **Videoformat** werden in der SMPTE 352M (Video Payload Identification for Digital Interfaces) definiert. Hiermit können Zusatzinformationen wie z.B. das Scanformat, die Bildwechselfrequenz und das Bildseitenverhältnis übertragen werden. Diese Informationen werden mit der DID 41h und der SDID 01h codiert und in folgenden Zeilen eines Halbbildes/Vollbildes in den HANC übertragen:

- 576i/25 in den Zeilen 9 /322
- 720p/50 in der Zeile 10
- 1080i/25 in den Zeilen 10/572
- 1080p/25 in der Zeile 10
- 1080p/50 in der Zeile 10

Unter anderem findet man im Byte 2 des Payload-Identifiers die Unterscheidung der Scanformate interlaced (i), progressiv (p), progressively scanned segmented frame (psf).

5.4.2 Synchronisation / Referenzsignale

Das gebräuchliche Zeitreferenzsignal in SDTV-Produktionsanlagen ist das analoge Blackburstsinal. Es setzt sich aus vertikalen und horizontalen Synchronimpulsen, sowie dem Burstsinal zur Synchronisation des Farbhilfsträgers und der PAL-Phase zusammen. Für HDTV-Produktionsanlagen können gerätespezifisch folgende Genlock-Signale genutzt werden:

- Analoges Blackburstsinal (PAL)
- HD-SDI-Sinal (siehe Kapitel 5.4.1)
- Tri-Level-Sync Sinal

Das analoge Blackburstsinal hat den Vorteil der hohen Verfügbarkeit und der Kompatibilität mit SDTV-Systemen.

Das HD-SDI-Sinal hat den Vorteil der höheren Taktrate und damit der höheren Stabilität. Wird das HD-SDI-Sinal als Referenzsinal verwendet ist keine zusätzliche analoge Sinalverteilung notwendig.

Der analoge Tri-Level-Sync wurde speziell für die Synchronisation von analogen HDTV-Produktionsanlagen entwickelt und wird weiterhin auch in den digitalen Systemen verwendet. Der Nulldurchgang des Tri-Level-Signals kann präziser detektiert werden, womit sich die Jitterneigung bei der Sync-Separation verringert.

Die EBU-SMPTE Joint Task Force on Synchronization & Timing entwickelt zur Zeit ein neues System zur Synchronisation. Eine eingehende Beschreibung dieses Systems, das in zukünftigen Studios eingesetzt werden soll, war bei Redaktionsschluss noch nicht verfügbar.

5.4.3 Physikalische Schnittstellen

5.4.3.1 Analog-Komponenten-Schnittstelle

In der professionellen Produktionstechnik haben analoge HDTV-Komponentensignale, die im Standard SMPTE 240M definiert sind, praktisch keine Bedeutung mehr. Gelegentlich werden sie noch zum Anschluss von Settop-Boxen an Displays oder Projektoren genutzt.

5.4.3.2 1,5 Gb/s Schnittstelle

Die HD-SDI-Schnittstelle mit einer Übertragungsrate von 1,485 Gb/s ist in der SMPTE 292M und in der ITU-R BT.1120 standardisiert.

Unter anderen verwenden auch die von der EBU empfohlenen digitalen HDTV-Formate dieses Interface. Die seriell-digitale Übertragung der Signale (Video, Audio und Daten) mit Datenraten von 1,485 Gbit/s. erfolgt über Koaxial-Kabel (75 Ohm) oder Glasfaser.

Gemäß SMPTE 292M sollen HD-SDI-Eingänge eine Entzerrungsfähigkeit von 20 dB bei der halben Taktfrequenz (742 MHz) aufweisen. Mit den Standard Kabeltypen (z. B. Belden 8281 oder Draka 0,6/2,8) können diese Signale über ca. 90 Meter übertragen werden. Die tatsächlich erreichbare Kabellänge hängt von der Leistungsfähigkeit der nachfolgenden Entzerrverstärker ab.

5.4.3.3 Dual-Link

Werden höhere Datenraten als die 1,485 Gb/s benötigt, wie beim EBU-HDTV-System 3, werden zwei Übertragungswege im sog. „Dual-Link“ genutzt.

Der Dual-Link besteht aus zwei identischen 1,485 Gb/s –Kanälen (Link A und Link B), die je nach Applikation wie folgt belegt werden:

Im EBU-HDTV- System 2 (1080i/25) und im System 3 (1080p/25) beim Rasterformat 4:4:4 (G, B, R) werden die Abtastwerte des Grün-Auszuges immer im Link A und die korrespondierenden Abtastwerte für den Blau- und Rot-Auszug alternierend im „Link A“ und „Link B“ übertragen (siehe auch SMPTE 372 Kap. 4.2 und Tabelle 5).

Die im Link B verbleibende Übertragungskapazität wird als Auxiliary-Kanal (A) bezeichnet. Das Auxiliary-Signal kann hierbei ein Key-Signal (beim Rasterformat 4:4:4:4), ein beliebiges 8 bit Datensignal oder auch die LSB's einer 12 bit –Übertragung enthalten. Wird der Auxiliary-Kanal nicht genutzt, muss dieser mit dem Festwert 64_{dec} (Schwarzwert) belegt werden.

Sample Number	0	1	2	3	4	5
Link A	G'	G'	G'	G'	G'	G'
	B'	B'	B'	B'	B'	B'
Link B	R'	R'	R'	R'	R'	R'
	A	A	A	A	A	A

Tabelle 5: Belegung der beiden „Dual-Link“ Kanäle für EBU-HDTV-System 2 und 3

Im EBU-HDTV-System 4 (1080p/50) im Rasterformat 4:2:2 werden die Zeilen des Quellen-Bildes alternierend im Link A und Link B übertragen (siehe auch SMPTE 372 Kap. 4.1). Das HDTV-System 4 (1080p/50) im Rasterformat 4:4:4 lässt sich mit „Dual-Link Verbindungen“ nicht übertragen.

Die Übertragung der Datenrate für das EBU-HDTV-System 4 (1080p/50, 4:2:2) über nur einen Kanal ist in den Standards SMPTE 424M und 425M spezifiziert.

5.4.3.4 3 Gb/s Schnittstelle

Die 3 Gb/s-Schnittstelle mit einer Übertragungsrate von 2,97 Gb/s ist in der SMPTE 424M und SMPTE 425M spezifiziert. Dabei sind in der SMPTE 424M vorrangig die physikalischen Spezifikationen und in der SMPTE 425M die „Mappingstruktur“ festgelegt. Wie aus Bild 5.3.1 zu erkennen ist, werden der 3 Gb/s Schnittstelle die HD-SDI-Signale über verschiedene Pfade zugeführt. Aus diesem Grund unterscheidet sich die Struktur der gemultiplexten Daten des 3 Gb/s-Signals je nach dem welches Signalprozessing vor dem Serialiser durchgeführt wurde. Das 3 Gb/s –Signal weist dabei immer die gleichen physikalischen Eigenschaften auf, in der logischen Ebene treten jedoch Inkompatibilitäten auf. In der Praxis bedeutet dies, dass 3Gb/s-fähige Geräte ohne Signalprozessing, wie z.B. Verteiler und Kreuzschienen, alle 3Gb/s-Signalarten unterstützen. Geräte, die jedoch Signalprozessing durchführen, wie z.B. Mischer, NLEs, Keyer müssen kompatibel zum jeweils gewählten Level und der Multiplexstruktur (Mapping) sein.

In der SMPTE 425M werden derzeit zwei unterschiedliche „Level“ definiert. Innerhalb des Levels B werden nochmals zwei unterschiedliche Multiplexformate unterschieden:

- Level A – Direct image format mapping
- Level B-DL – SMPTE 372 Dual Link mapping
- Level B-DS – 2 x SMPTE 292 (HD-SDI) dual-stream mapping

5.4.3.4.1 3 Gb/s Schnittstelle Level A

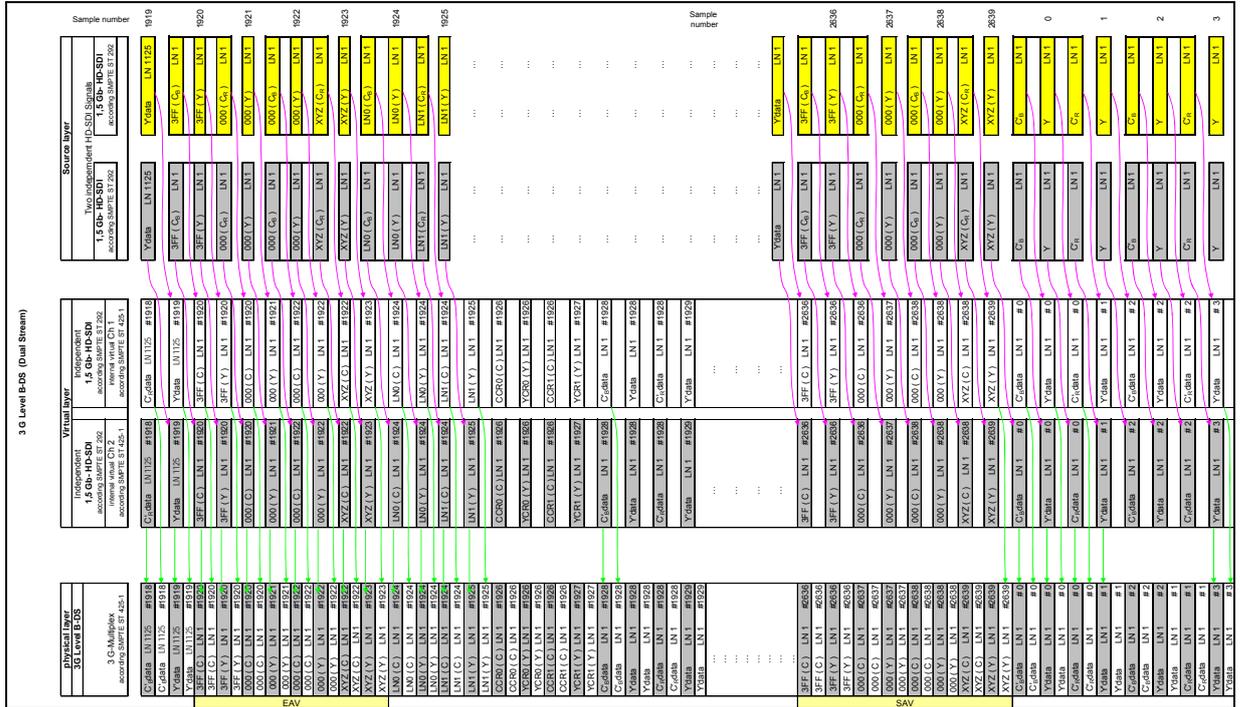
Handbuch der Fernsehsystemtechnik

Fernsehsystemtechnik

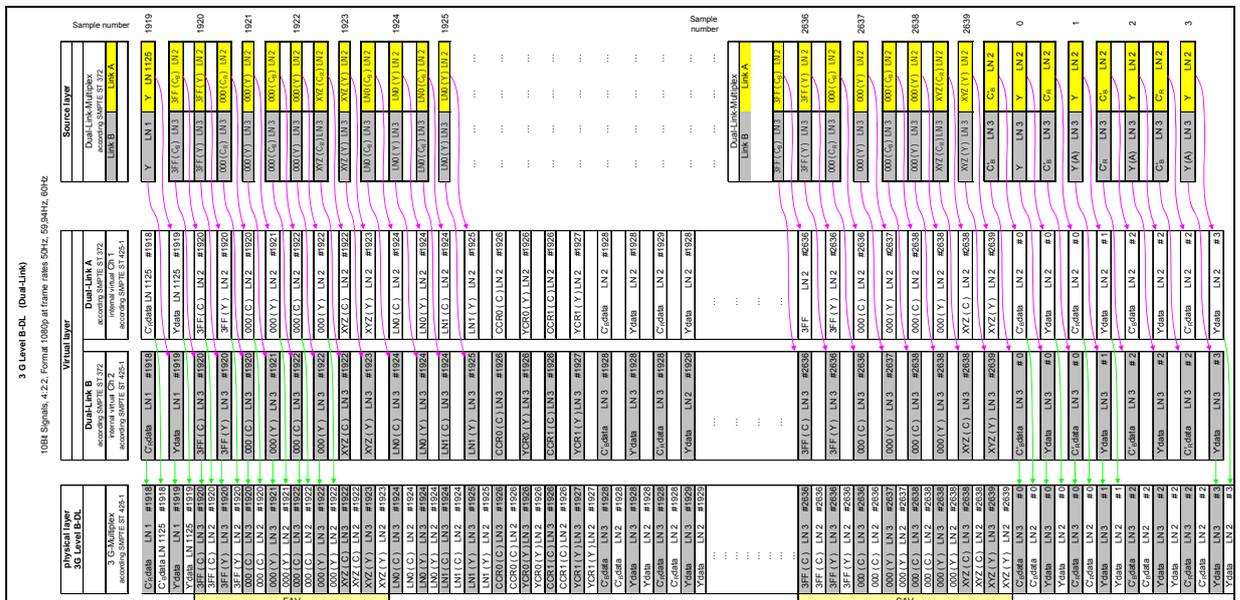
Ausgabe September 2011

5.4

Blatt 13



Bei Signalen des Level B-DL werden die Signale einer Dual-Linkverbindung in das 2,97 Gbit Signal gemultiplext. Die Signale sind stets miteinander Bild- und Pixelsynchron.



Map- ping Struktur	SMPTE Standard	Bild Format	Abtastraster	Framerate
1	274M	1920x1080	4:2:2 (Y'C _B C _R)/10-bit	60, 60/1.001 und 50 Frames progressiv
2	296M	1280 x 720	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B' +A)/10-bit	60, 60/1.001 und 50 Frames progressiv 30, 30/1.001, 25, 24 und 24/1.001 Frames progressiv
			4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	
	274M	1920x1080	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B' +A)/10-bit	60, 60/1.001 und 50 Frames interlaced 30, 30/1.001, 25, 24 und 24/1.001 Frames progressiv
			4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	
3	274M	1920x1080	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	60, 60/1.001 und 50 Frames interlaced 30, 30/1.001, 25, 24 und 24/1.001 Frames progressiv
			4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	
4	274M	1920x1080	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit	60, 60/1.001 und 50 Frames interlaced 30, 30/1.001, 25, 24 und 24/1.001 Frames progressiv

Tabelle 6: Bildquellenformate aus SMPTE 425M

Die Übertragung der 3 Gb/s-Signale kann sowohl über Coaxial- als auch über Glasfaser-Kabel erfolgen. Spezifikationen sind unter 5.8.1.1 zu finden. (siehe auch SMPTE 424M bzw. SMPTE 297M).

Wichtig ist darauf zu achten, dass 3 Gb/s-Signale der Level A, Level B-DS und Level B-DL in der Datenebene zueinander **inkompatibel** sind. Nicht alle Empfänger können die unterschiedlichen Level verarbeiten.

5.4.3.5 10 Gb/s Schnittstelle

Im Standard SMPTE 435 wird eine serielle digitale Schnittstelle mit einer Datenrate von 10,692 Gb/s beschrieben.

Teil 1 definiert den Basis-Datenstrom.

Teil 2 beschreibt die Mapping-Struktur des Basisdatenstroms der 10 Gb/s seriell digitalen Schnittstelle.

Teil 3 beschreibt die optische Schnittstelle für den seriellen digitalen Datenstrom bei Datenraten von 10,692 Gb/s.

In diesem Standard werden unter Verwendung unterschiedlicher Mapping- und Multiplexverfahren Datenströme zusammengefasst. Dabei werden die 1,5 Gb/s -, 3 Gb/s-HD-SDI-Schnittstellen, unterschiedliche Bildquellenformate sowie D-Cinema-Formate unterstützt.

Handbuch der Fernsehsystemtechnik

Fernsehsystemtechnik

Ausgabe September 2011

5.4

Blatt 12

Derzeit sind im Rundfunkbereich keine Anwendungen dieses Standards bekannt.

5.4.3.6 Übertragungskapazität der verschiedenen HD-SDI-Schnittstellen

EBU-HD-Systeme	SMPTE		292M	372M 292M	424M	435M
	Datenraten in Gb/s		1,485	2 x 1,485	2,97	10,69 2
	Bild-Datenrate	Gesamt-Datenrate				
S1 720p/50, 4:2:2 4:4:4	0,9216	1,4850	X			
	1,3824	2,2275		X	X	
S2 1080i/25, 4:2:2 4:4:4	1,0368	1,4850	X			
	1,5552	2,2275		X	X	
S3 1080p/25, 4:2:2 4:4:4	1,0368	1,4850	X			
	1,5552	2,2275		X	X	
S4 1080p/50, 4:2:2 4:4:4	2,0736	2,9700		X	X	
	3,1104	4,4550				X

Tabelle 7: Erforderliche Schnittstellen für die EBU-HD-Systeme

In der Tabelle 7 werden die physikalischen Schnittstellenanforderungen für die verschiedenen EBU-HD-Systeme und die dazugehörigen SMPTE-Standards zusammengefasst. Als zusätzliche Information wurden die Video-Netto-Datenraten und die Gesamtdatenraten für die verschiedenen HD-Systeme gegenübergestellt.

5.4.3.7 Kabellängen

Für HD gibt es speziell entwickelte Kabel und Steckerverbindungen, aber es können bestehende SD-SDI Kabel (mit SDI-BNC 75 Ω) auch in der HD-SDI-Umgebung weiter genutzt werden. Allerdings gibt es, bedingt durch die höhere Abtastrate (im EBU-System S1-S3: 1,485 Gb/s; S4: 2,97 Gb/s) eine größere Signaldämpfung.

Die erreichbare Kabellänge hängt zusätzlich von den Eigenschaften der Eingangsschaltung ab. Elektrische HD-SDI-Steckverbindungen sind konsequent in 75 Ω-Technik auszuführen. In der folgenden Tabelle 8 sind die möglichen Kabellängen bei SD- und HD-SDI an Hand einiger Kabeltypen dargestellt.

Kabeltypen	Referenz- Kabellängen bei 270 Mb/s	max. Kabellängen nach Herstellerangaben bei 1,5 Gb/s	Praktisch erreichte Kabellängen ¹
0,6 / 2,6	218	45	80 m
0,6 / 2,8	230	60	80 m
0,8 / 3,7	305	80	120 m
1,0 / 4,6 oder 1,0 / 4,8	365	100	120 m
1,6 / 7,2 oder 1,6 / 7,3	530	145	200 – 240 m

Tabelle 8: Kabellängen in Abhängigkeit vom Kabeltyp

Kabel vom Typ RG 59 (0,7/3,6), Standardkabel für analoge Videosignale, sind aufgrund ihrer geringen Schirmdämpfung (Cu-Geflecht ohne Folienschirm) für HD-SDI nicht geeignet. Die Kabel vom Typ 0,6/2,8 (mit Folien- und Geflechschirm) ermöglichen maximale Übertragungstrecken von ca. 80 Meter.

¹ RBT-Bericht: Übertragungseigenschaften an HDTV – Kabeln; Fe #05094-AKO vom 01.12.2005

Hinweis: Da die Datensignale der HD Formate 720p/50 und 1080i/25 identisch sind (1,485 Gb/s), gibt es für die maximal erreichbaren Kabellängen keine Unterschiede.

5.4.3.8 Optische Übertragungsstrecken

Die optischen Übertragungsstrecken für HD Signale sind in den folgenden Normen standardisiert:

- Schnittstellen mit 270 Mb/s, 1,485 Gb/s und 2,97 Gb/s in der SMPTE 297M
- Schnittstellen mit 10 Gb/s in der SMPTE 435M-3

Die Messtechnik für optische Übertragungssysteme unterscheidet nicht zwischen SD- und HD-Signalen und wurde bereits im Kapitel 3 beschrieben.

Bei der Signalübertragung über **Lichtwellenleiter** (LWL) können wesentlich größere Übertragungreichweiten als mit herkömmlichen Kupferkabeln erreicht werden. So können derzeit, in Abhängigkeit von den verwendeten Signalwandlern und dem verwendeten LWL Kabel, Übertragungreichweiten bis ca. 80 km erreicht werden. Dabei kommen überwiegend Singlemode Fasern zum Einsatz.

Neben der großen Übertragungreichweite ergeben sich weitere Vorteile:

- Potentialtrennung
- Platz sparende Verkabelung
- keine Probleme durch Überspannungen, Ausgleichsströme und eventuelle Blitzeinschläge im Außeneinsatz
- [EMV](#)- Problematik entfällt
- Nutzung der bestehenden LWL Infrastruktur ist möglich

Die verschiedenen Spezifikationen der SMPTE (292M, 297M und 424M) für optische SD/HD-Schnittstellen sind in der überarbeiteten SMPTE 297M-2006 zusammengefasst worden.

Wichtige Parameter aus diesem Standard sind hier tabellarisch aufgeführt.

	Langstrecken-Verbindungen	Mittelstrecken-Verbindungen	Kurzstrecken-Verbindungen	
Glasfasertyp	Singlemode (9.0/125µm)	Singlemode (9.0/125µm)	Singlemode (9.0/125µm)	Multimode ¹⁾ (50.0/125µm, 62,5/125µm)
Lichtquellen Typ ^{6) 7)}	Laser	Laser	Laser	Laser, LED ^{2) 3)}
Optische Wellenlänge	1310 nm ± 40nm	1310 nm ± 40nm	1310 nm ± 40nm	1310 nm ± 40nm
	1550 nm ± 40nm	1550 nm ± 40nm	1550 nm ± 40nm	850 nm ± 40nm
Maximale Halbwertsbreite der Spektrallinien (FWHW)	<=1 nm	<=4 nm	<=10 nm	<=30 nm
Maximale optische Leistung ⁴⁾	+10 dBm	0 dBm	-3 dBm	
Minimale optische Leistung ⁴⁾	0 dBm	-3 dBm	-12 dBm	
Minimales Extinction ratio ⁵⁾	5:1 (vorzugsweise 10:1)			
Steig- und Fallzeit für die SMPTE 259M	wie für das elektrische Signal in der SMPTE 259M spezifiziert < 1,5 ns (20% bis 80%)			
Steig- und Fallzeit für die SMPTE 344M	wie für das elektrische Signal in der SMPTE 344M spezifiziert < 0,8 ns (20% bis 80%)			
Steig- und Fallzeit für die SMPTE 292M	wie für das elektrische Signal in der SMPTE 292M spezifiziert < 270 ps (20% bis 80%)			
Steig- und Fallzeit für die SMPTE 424M	wie für das elektrische Signal in der SMPTE 424M spezifiziert < 135 ps (20% bis 80%)			
Max. systemeigener (optischer) Jitter	wie spezifiziert in der SMPTE 259M, SMPTE 344M, SMPTE 292M oder SMPTE 424M für das entsprechende elektrische Signal			
Maximal reflektierte Leistung	-14 dB			
Logische Zuordnung	Logisch "1" maximale Intensität / Logisch "0" minimale Intensität			
<p>Hinweise:</p> <p>¹⁾ siehe ITU-T G.651 und ANSI/EIA/TIA-492AAAA-A für optische Multimodefaser.</p> <p>²⁾ LEDs können bei höheren Bitraten, wie sie in SMPTE 259M, SMPTE 344M, SMPTE 292M oder SMPTE 344M spezifiziert sind, Probleme bereiten.</p> <p>³⁾ Sender die nur für Multimode-Übertragung eingesetzt werden können, sollten entsprechend gekennzeichnet sein.</p> <p>⁴⁾ Leistung wird als Mittelwert angegeben</p> <p>⁵⁾ Bezeichnet das Verhältnis zwischen der maximalen und minimalen Leistung des Senders.</p> <p>⁶⁾ Die verwendeten Laser sind Class 1 Laser und in der IEC 60825-1 (2001-08) spezifiziert.</p> <p>⁷⁾ Das unten abgebildete Laser Warnsymbol muss deutlich sichtbar am Gerät angebracht sein.</p> 				

Tabelle 9: Auszug aus der Spezifikation der optischen Schnittstelle

5.4.3.9 DVI-I / DVI-D (Digital Visual Interface)



Ursprünglich ist die digitale DVI Schnittstelle als Ablösung der analogen VGA Schnittstelle zwischen Grafikkarte und Computermonitoren entwickelt worden. Die Schnittstelle wurde von der Digital Display Working Group, einem Konsortium namhafter Hersteller von Consumer-Geräten, spezifiziert und kann unter www.DDWG.org eingesehen werden.

Inzwischen findet der DVI Standard nicht nur Anwendung bei PC Monitoren, sondern wird auch zur Übertragung von HDTV Signalen bei Displays, DVD Playern und Projektoren genutzt. Mit Hilfe von HD-SDI / DVI Wandlern werden Computermonitore mit entsprechender Auflösung und geringer Reaktionszeit als kostengünstige Alternative zu HD-Monitoren eingesetzt. Das Audiosignal wird von der DVI-Schnittstelle nicht bedient.

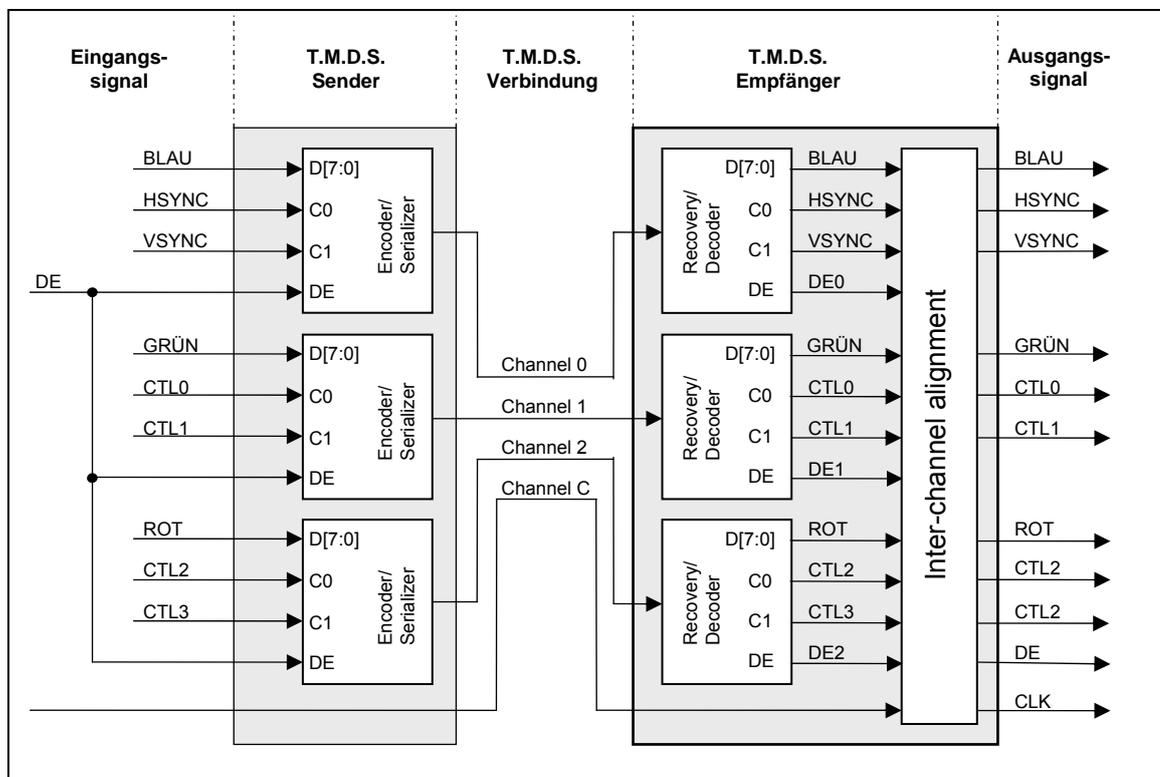
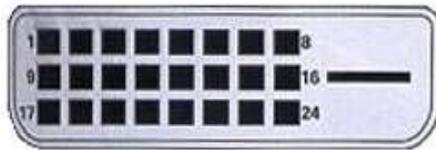


Bild 5.4.3.9.1: Blockschaubild einer DVI-Schnittstelle

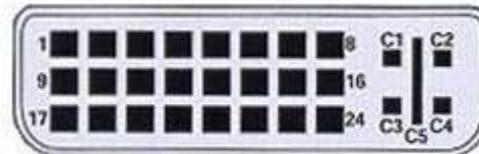
Die DVI Schnittstelle kann zur Übertragung von analogen und digitalen Signalen genutzt werden, wenn die Stecker komplett bestückt sind.

Aus Kostengründen gibt es aber verschiedene Steckervarianten:

- DVI-A (analoge Signale)
- DVI-D (digitale Signale)
- DVI-I (analoge und digitale Signale)



DVI-D Buchse



DVI-I Buchse

Kontaktbelegung einer DVI-Buchse:

01 = TMDS-Daten 2-
02 = TMDS-Daten 2+
03 = Abschirmung TMDS-Daten 2,4
04 = TMDS-Daten 4-
05 = TMDS-Daten 4+
06 = DDC Takt
07 = DDC Daten
08 = Analog: V-Sync
09 = TMDS-Daten 1-
10 = TMDS-Daten 1+
11 = Abschirmung TMDS-Daten 1, 3
12 = TMDS-Daten 3-
13 = TMDS-Daten 3+
14 = +5 Volt
15 = Masse für +5 Volt
16 = Hotplug-Detect

17 = TMDS-Daten 0-
18 = TMDS-Daten 0+
19 = Abschirmung TMDS-Daten 0,5
20 = TMDS-Daten 5-
21 = TMDS-Daten 5+
22 = Abschirmung TMDS-Takt
23 = TMDS-Takt +
24 = TMDS-Takt -

C1 = Analog: Rot
C2 = Analog: Grün
C3 = Analog: Blau
C4 = Analog: H-Sync
C5 = Analog: Masse

TMDS = Transition Minimized Differential Signaling
DDC = Display Data Channel

Tabelle 10: DVI Steckerbelegung

Die maximale Datenrate liegt bei 4,9 Gb/s mit einer dreikanaligen (RGB; TMDS 0, 1, 2) Verbindung. Dies reicht für eine Bildschirmauflösung von 1920 x 1080 mit 60 Hz und damit für die Darstellung eines 1080p/50 Fernsehsignals aus.

Darüber hinaus kann eine sechskanalige „Dual Link“ Verbindung (TMDS 0 - 5), -nicht zu verwechseln mit HD-SDI Dual Link-, eine noch höhere Auflösungen und eine maximale Datenrate bis zu 9,9 Gb/s ermöglichen.

Die erreichbare Kabellänge für DVI-Verbindungen ist sehr abhängig von der Qualität des Kabels und den angeschlossenen Geräten. Die DVI-Schnittstelle besitzt keine Fehlerkorrektur, kann aber HDCP- geschützt sein (siehe auch Kapitel 5.4.3.11).

Anmerkung: Einige Hardwarehersteller geben die nach dem Standard geforderten +5 V am PIN 14 nicht aus. Damit, so die Hersteller, soll zwischen Konsumer- und Profi-Geräten unterschieden werden. Um die Funktionalität zu gewährleisten, kann diese Spannung unter anderem über ein externes Netzteil und Adapter zugeführt werden.

5.4.3.10 HDMI (High Definition Multimedia Interface)



Das „High Definition Multimedia Interface“ ist als Nachfolger des DVI-Standards im Multimediabereich zu betrachten. Die Schnittstelle wurde von einem Konsortium namhafter Hersteller von Konsumergeräten

spezifiziert und kann unter www.hdmi.org eingesehen werden.

Im Gegensatz zu DVI ist die HDMI-Schnittstelle in der Regel mit einem Kopierschutz (z.B. HDCP; siehe Kapitel 5.4.3.11) versehen.

Über HDMI können digitale Audio- und Videosignale, Gerätesteuierungs- und Kopierschutzdaten übertragen werden.

Die HDMI-Schnittstelle ist für mehrere Varianten mit unterschiedlichen Steckertypen spezifiziert. In der nachfolgenden Tabelle sind die HDMI-Spezifikationen und Steckertypen dargestellt.

Spezifikation	HDMI 1.0	HDMI 1.1	HDMI 1.2	HDMI 1.2a	HDMI 1.3
Einführung	Dezember 2002	Mai 2004	August 2005	Dezember 2005	Juni 2006
Max. Bandbreite Stecker Typ A	4,95 Gb/s 165 MHz	4,95 Gb/s 165 MHz	4,95 Gb/s 165 MHz	4,95 Gb/s 165 MHz	10,2 Gb/s 340 MHz
Max. Bandbreite Stecker Typ B		10 Gb/s 165 MHz	10 Gb/s 165 MHz	10 Gb/s 165 MHz	10 Gb/s 165 MHz
Max. Bandbreite Stecker Typ C					10,2 Gb/s 340 MHz
Max. Bildformat	1080p/60				1440p/120
Tonformate	8 PCM, Dolby Digital, DTS, MPEG	8 PCM, Dolby Digital, DTS, MPEG, DVD-Audio	8 PCM, Dolby Digital, DTS, MPEG, DVD-Audio, SACD	8 PCM, Dolby Digital, DTS, MPEG, DVD-Audio, SACD	8 PCM, Dolby Digital, DTS, MPEG, DVD-Audio, SACD, Dolby Digital Plus, True HD, DTS HD
Farbraum	24 Bit RGB 36 Bit YUV	24 Bit RGB 36 Bit YUV	24 Bit RGB 36 Bit YUV	24 Bit RGB 36 Bit YUV	24 Bit RGB 36 Bit YUV Deep Color 30, 36 und 48 Bit RGB/YUV, xvYCC-Farbraum (IEC 61966-2-4)
Sonstiges				CEC-Unterstützung, Prüfung auf Kabellängen	CEC-Unterstützung, Prüfung auf Kabellängen, Lip Sync

Tabelle 11: HDMI-Spezifikationen.

Die EBU-Systeme S1 bis S4 können bereits mit der Stecker-Variante vom Typ A übertragen werden.

Die Übertragung der Audio-, Video- und Auxiliary-Daten erfolgt beim Stecker-Typ A über 3 TMDS-Verbindungen, Der Pixelclock wird separat übertragen.

In Abhängigkeit des Formates können bis zu 8 Audiokanälen mit bis zu 24 Bit Wortbreite und 192 kHz Abtastfrequenz, sowie Video-Pixel-Rate mit bis zu 165 MHz übertragen werden.

Die HDMI-Schnittstelle besitzt keine Fehlerkorrektur, ist aber meist HDCP- geschützt.

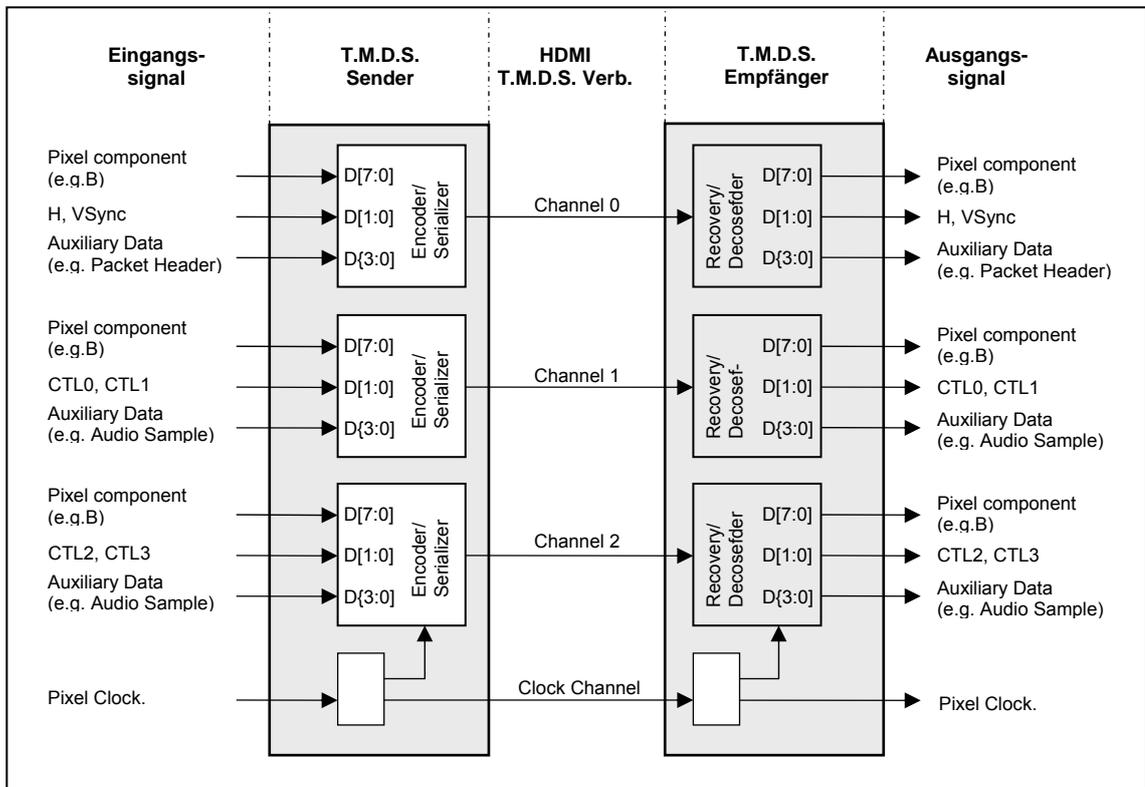


Bild 5.4.3.10.1: Blockschaltbild einer HDMI-Schnittstelle

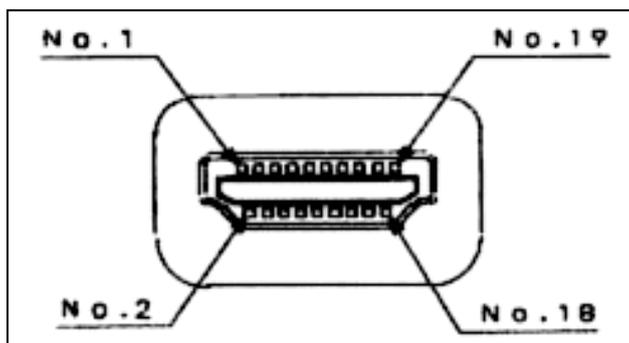
DVI-D-Quellsignale ohne Kopierschutz können mittels DVI-HDMI-Adapter über die HDMI-Schnittstelle übertragen werden. DVI-D-Quellsignale mit Kopierschutz können nur über die HDMI-Schnittstelle übertragen werden, wenn diese den Kopierschutz unterstützt und die Übertragung zulässt.

In Analogie dazu können auch HDMI-Quellsignale mit einem entsprechenden Adapter über die DVI-D-Schnittstelle übertragen werden. Zu beachten ist, dass die DVI-D-Schnittstelle keine Audio- und Steuersignale unterstützt.

Kontaktbelegung einer HDMI-Buchse Typ A:

Pin1: TMDS Data2+
 Pin2: TMDS Data2 Shield
 Pin3: TMDS Data2-
 Pin4: TMDS Data1+
 Pin5: TMDS Data1 Shield
 Pin6: TMDS Data1-
 Pin7: TMDS Data0+
 Pin8: TMDS Data0 Shield
 Pin9: TMDS Data0-
 Pin10: TMDS Clock+
 Pin11: TMDS Clock Shield
 Pin12: TMDS Clock-
 Pin13: CEC
 Pin14: Reserved
 Pin15: SCL

Pin16: SDA
 Pin17: DDC/CEC Masse
 Pin18: +5 Volt Versorgungsspannung
 Pin19: Hot plug Detect



TMDS = Transition Minimized Differential Signaling
CEC = Consumer Electronics Control
SCL = Serial Clock
SDA = Serial Data
DDC = Display Data Channel

Tabelle 12: HDMI Steckerbelegung

HDMI lässt für Steuerzwecke bidirektionalen Datentransfer zu und unterstützt Protokolle wie CEC (Consumer Electronics Control) und AV link für integrierte Fernbedienungen.

Die erreichbare Kabellänge für HDMI-Verbindungen ist sehr abhängig von der Qualität des Kabels und den angeschlossenen Geräten.

Mit der HDMI-Spezifikation 1.3 wurden zwei Kabelkategorien eingeführt. Laut Spezifikation müssen Kabel der Kategorie 1 einen maximalen TMDS Takt von 74,25 MHz, Kabel der Kategorie 2 einen maximalen TMDS Takt von 340 MHz unterstützen. Die nutzbaren Längen dieser Kabel hängt vom AWG-Wert (kleiner AWG-Wert dickes Kabel) des Kabels ab. Für Kabellängen über 10 m werden Repeater empfohlen.

Kabel der Kategorie 1 reichen hinsichtlich der Taktrate für die EBU-Systeme S1 bis S3 aus. Für das EBU-System S4 wird ein Kabel der Kategorie 2 benötigt. Mit einem Kabel der Kategorie 1 und einem AWG-Wert von 28 kann beispielsweise eine Strecke von 5m überbrückt werden.

5.4.3.11 HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection)

HDCP ist ein Verschlüsselungssystem für die Übertragung von Audio- und Video-Daten über die Schnittstellen DVI und HDMI. HDCP ist eigenständig spezifiziert und kann unter www.digital-cp.com eingesehen werden.

Mit HDCP soll das unerlaubte Kopieren von Video- und Audiomaterial verhindert werden. Zur Wiedergabe von HDCP-geschützten Inhalten müssen alle verwendeten Komponenten HDCP unterstützen. Geschützte Inhalte enthalten entsprechende Informationen, die das abspielende Gerät (Quelle) veranlassen, eine Anfrage nach einer HDCP-geschützten Verbindung zum Ziel-Gerät (Senke) auszulösen. Wird diese Verbindungsanfrage z. B. durch ein Display positiv bestätigt, werden die Audio- und Videodaten verschlüsselt übertragen. Die Ver-/Entschlüsselung erfolgt durch einen von der Quelle und der Senke festgelegten Schlüssel, der laufend geändert und überprüft wird. Sind im Signalpfad Komponenten enthalten, die HDCP nicht unterstützen, kann die Wiedergabe eingeschränkt (z. B. in geringer Auflösung) oder ganz verweigert werden.

5.4.4 Kompressionsformate und deren Anwendungen

5.4.4.1 HDCAM

HDCAM ist ein für 1/2"-Band entwickeltes Aufzeichnungsformat für HD-Signale und ist unter der Bezeichnung D11 in der SMPTE 367M und 368M normiert. Das Abtastschema des HD-Signals wird auf 3:1:1 reduziert, d.h. die 1920 Abtastwerte für Luminanz werden auf 1440 Abtastwerte pro Zeile reduziert. Die Anzahl der Abtastwerte für Chrominanz reduziert sich von 960 auf 480. Die interne Quantisierung beträgt 8 Bit.

Die nachfolgende Datenreduktion (JPEG-basierend) reduziert den Datenstrom zusätzlich um den Faktor ca. 4,4:1, so dass sich eine formatabhängige Videonettodatenrate von 112 – 142 Mb/s ergibt.

Ausgehend von einem Eingangsformat von 1920 x 1080 bei 4:2:2/10 Bit ergibt sich ein Reduktionsfaktor von ca. 7:1.

Es werden folgende Abtastformate verarbeitet: 1080p/24, 1080p/25, 1080p/30, 1080i/25 und 1080i/30

5.4.4.2 HDCAM – SR

HDCAM-SR wird als Aufzeichnungsformat für Produktionen mit höherem Qualitätsanspruch eingesetzt (z. B. Kino) und ist als D16 in der SMPTE 409M festgelegt.

Das HD-Signal kann im Verhältnis 4:2:2 oder auch als R, G, B im Verhältnis 4:4:4 mit einer internen Quantisierung von 10 Bit verarbeitet werden. Die Datenreduktion erfolgt im MPEG-4 Studio Profile (Intraframe, Reduktionsfaktor 2,3 : 1), welche bei dem Abtastschema 4:2:2 und 1080i/25 eine Videonettodatenrate von 440 Mb/s ergibt (bzw. 880 Mb/s; 4:2:2; 1080p/50).

Es werden folgende Abtastformate verarbeitet: 1080p/24 bis 30, 1080i/25 bis 30, 1080p/50 und 60, 720p/50 und 60 mit jeweils 12 Audiokanälen zu 24 Bit/48 kHz.

Die hohe Datenrate im 4:4:4-Modus (S1 bis S3) erfordert für das Ein- und Ausgangssignal eine Dual-Link-Verbindung bzw. eine 3 Gb/s -Schnittstelle. (siehe Tabelle 7).

5.4.4.3 HDV

HDV wurde im Jahre 2003 als Consumer-Format eingeführt und ist eine gemeinsame Entwicklung der Firmen Sony und JVC.

Das HDV-Format ist als Nachfolger des DV- bzw. DVCAM-Formates zu betrachten. Als Speichermedium kommt die Mini-DV- und die DV-Kassette zur Anwendung. Alternativ zu den Bandlaufwerken werden auch Festplatten, DVDs oder Speicherkarten als Speichermedien eingesetzt. Man unterscheidet zwischen HDV 1 (720p) und HDV 2 (1080i/p). In folgender Tabelle sind die Parameter für HDV 1 und HDV 2 aufgelistet.

	HDV 720p	HDV 1080i/p
	HDV 1	HDV 2
Speichermedium	Mini-DV oder DV-Kassette (1/4 Zoll Bänder); HDD; DVD; Speicherkarte	
mögliche Videoformate	720p/25, 720p/30, 720p/50, 720p/60, 720p/24	1080i/25, 1080i/30, 1080p/25, 1080p/30, 1080p/24
Pixel	1280 x 720	1440 x 1080 (intern)
Pixelformat	quadratisch	rechteckig (intern)
Pixelanzahl pro Vollbild	921.600 Pixel	1.555.200 Pixel
Seitenverhältnis	16:9	
Video-Kompression	MPEG 2 Video (Profil & Level: MP@H-14)	
Abtastfrequenz Luminanz	74,25 MHz	55,6875 MHz
Abtastformat	4:2:0	
Quantisierung	8 Bit	
Video-Bitrate nach Kompression	19,3 MBit/s	25 MBit/s
Audio-Kompression	MPEG 1 Audio (Layer II)	
Audio-Abtastfrequenz	48 kHz	
Quantisierung	16 Bit	
Audio-Bitrate nach Kompression	384 kBit/s	
Audiokanäle	2	
Datenstrom	Transport Stream	Packetized Elementary Stream
Datenstrom Interface	IEEE 1394 (MPEG 2 TS)	

Tabelle 13: Vergleich der HDV Formate

Die erreichte Video-Bitrate nach der Kompression ist bei HDV2 mit 25 Mbit/s identisch mit der Datenrate bei DV oder DVCAM. Dies heißt, dass die Bandlaufzeiten bei gleicher Spurbreite identisch sind mit DV Bändern. Um die größere Datenmenge von HDV gegenüber DV auf die 25 Mbit/s zu komprimieren, wird MPEG-2 mit einer Long GOP Struktur als Komprimierungsstandard verwendet. HDV1 nutzt eine GOP-Länge von 6 Bildern, HDV2 arbeitet dagegen mit einer GOP-Länge von 12 Bildern (50 Hz Systeme).

Bei der bandbasierenden Aufzeichnung vergrößert sich allerdings die Gefahr der Bildstörungen durch Dropouts. Wenn z.B. durch eine Videokopfverschmutzung die Header-Information im I-Frame nicht richtig ausgelesen wird, kann eine Sequenz von bis zu 12 Bildern unbrauchbar werden.

5.4.4.4 XDCAM HD

XDCAM HD ist ein von der Firma Sony entwickeltes MPEG-2 basierendes Produktionsformat. Das Aufzeichnungsmedium ist wie beim XDCAM-Format (siehe Kapitel 4.4.8.1) eine wiederbeschreibbare optical Disc (Professional Disc).

XDCAM HD verwendet das Kompressionsverfahren MPEG-2 MP@HL bzw. MPEG-2 422P@HL für die Variante XDCAM-HD 422.

HD-Videosignale werden bei XDCAM HD als MPEG-2 Long-GOP Datenströme im Abtastraster 4:2:0 kodiert und im Format 1080i/25 aufgezeichnet. Die Videodatenrate ist in drei Stufen

skalierbar: 18, 25 oder 35 Mb/s. Bei 18 und 35 Mb/s wird mit variabler, bei 25 Mb/s mit konstanter Datenrate gearbeitet.

- Bei der Einstellung 18 Mb/s (LP-Modus) können mindestens 113 Minuten auf der Scheibe aufgezeichnet werden (bei 4 Tonkanälen).
- Bei der mittleren Qualitätsstufe 25 Mb/s (SP-Modus) können exakt 87 Minuten aufgezeichnet werden.
- In der höchsten Qualitätsstufe von 35 Mb/s (HQ-Modus) passen mindestens 66 Minuten auf die Scheibe.

Die Variante XDCAM-HD 422 zeichnet im Abtastraster 4:2:2 mit einer Datenrate von 50 Mb/s auf.

Die GOP-Länge beträgt 12 Frames bei 50 Hz-Systemen bzw. 15 Frames bei 60 Hz-Systemen und ist unabhängig von der Betriebsart LP, SP oder HQ. Die GOP-Struktur hat folgenden Aufbau:

IBBPBBPBBPBB IBB...

Parallel zur Hi-Res-Aufzeichnung wird eine Low-Res-Kopie (MPEG-4-File mit einer Videodatenrate von 1,5 Mb/s und Audio im A-Law Verfahren) auf die Scheibe geschrieben.

Eine Mischung verschiedener HD-Qualitätsstufen auf einer Scheibe ist möglich, eine Mischung zwischen SD und HD nicht.

Mit der XDCAM-Produktlinie aufgezeichnete Disks in MPEG-IMX und DVCAM können mit den XDCAM-HD-Geräten wiedergegeben werden.

5.4.4.5 MPEG 2

Zunächst wurde MPEG-2 als Kompressionsstandard für SDI-Signale eingeführt (Siehe Kapitel 4.3.3.2...)

Profile / Level	Auflösung	Max. Vollbildfrequenz (Hz)	Abtastschema	Bitrate (Mbit/s)	Anwendungsbeispiel
SP@LL	176 × 144	15	4:2:0	0.096	Mobil TV
SP@ML	352 × 288 320 × 240	15 24	4:2:0	0.384	PDA's
MP@LL	352 × 288	30	4:2:0	4	Set-top box (STB)
MP@ML	720 × 480 720 × 576	30 25	4:2:0	15 (DVD: 9.8)	DVD, SD-DVB
MP@H-14	1440 × 1080 1280 × 720	30 30	4:2:0	60 (HDV: 25)	HDV
MP@HL	1920 × 1080 1280 × 720	30 60	4:2:0	80	ATSC 1080i, 720p60, HD-DVB (HDTV)
422@LL			4:2:2		
422P@ML	720 × 480 720 × 576	30 25	4:2:2	50	Sony IMX mit I-frame only,
422P@H-14	1440 × 1080 1280 × 720	30 60	4:2:2	80	MPEG-2-basierende HD Produkte von Sony und Panasonic
422P@HL	1920 × 1080	30	4:2:2	300	MPEG-2-basierende HD Produkte von Panasonic

Tabelle 14: MPEG 2 Kompressionsformate und deren Anwendungen

Anmerkung:

Die EBU-Systeme basieren auf dem Part 2 des ITU-R BT.709 Standards mit quadratischer Pixelgeometrie und 1920 x 1080 Bildpunkten. Im Part 1 des ITU-R BT.709 Standard ist noch das alte konventionelle HDTV-System mit 1250 Gesamtzeilen, 50Hz und interlaced beschrieben mit 1920 x 1152 aktiven rechteckigen Bildpunkten.

Für HD-Formate findet nur eine Untergruppe aus der Tabelle 14 Anwendung.

Profil @ Level	Auflösung (px)	Sampling	Bitrate (Mbit/s)
MP@H-14	1440 × 1080	4:2:0	60 (HDV: 25)
	1280 × 720		
MP@HL	1920 × 1080	4:2:0	80
	1280 × 720		
422P@H-14	1440 × 1080	4:2:2	80
	1280 × 720		
422P@HL	1920 × 1080	4:2:2	300
	1280 × 720		

Tabelle 15: Untergruppe der MPEG Profile und Level für HD-Formate

5.4.4.6 MPEG 4 / AVC / H.264

Aus dem Standard MPEG-4 Part 2 entstand durch eine gemeinsame Weiterentwicklung der ITU und der ISO/IEC MPEG der Standard MPEG-4 Part 10 der auch unter dem Namen AVC/H.264 bekannt ist. In der ITU findet man den Standard unter ITU-T H.264. Später erweiterte das DVB Konsortium den ETSI Standard TS 101154 um den Part AVC/H.264. AVC/H.264 wird wegen seiner effektiven Komprimierung vorrangig für HDTV eingesetzt.

Folgende Profile sind im Standard definiert:

Baseline Profile(BP)	4:2:0 / 8 bit / I,B slices	für Punkt zu Punkt Übertragung mit niedriger Verzögerung;
eXtended Profile(XP)	4:2:0 / 8 bit / I,P,B slices	für mobile Anwendungen und e-streaming
Main Profile (MP)	4:2:0 / 8 bit / I,P,B slices	für SDTV
High profile(HiP)	4:2:0 / 8 bit / I,P,B slices	Für HDTV und Blue Ray
High 10 profile(Hi10P)	4:2:0 / 10 bit I,P,B slices	Für HDTV
High 4:2:2 profile(Hi422P)	4:2:2 / 10 bit I,P,B slices	Für HDTV
Studioprofile	4:2:2 / 12 bit 4:4:4 / 12 bit	Für HDTV und Digital Cinema
High 4:4:4 profile(Hi444P)	4:4:4 / 12 bit I,P,B slices	Nicht mehr im Standard

Tabelle 16: Profile des MPEG-4 Standards

Die wesentlichen Unterschiede von AVC/H.264 gegenüber MPEG-2 sind:

- Effektivere „Motion Compensation“ durch variable Blockgrößen in Form und Größe, sowie einer genaueren Bewegungsvektovorhersage ($\frac{1}{4}$ Pixel statt $\frac{1}{2}$ Pixel und Nutzung von vier statt zwei Frames)
- Spatial redundancy reduction AVC/H.264 benutzt eine ganzzahlige Transformation (anstatt DCT). Dies vermeidet Rundungsfehler.
- Nutzung 52 Quantisierungs Levels anstatt 31 bei MPEG-2.
- Komplexeres und damit effektiveres Entropic Encoding als bei MPEG-2.
- Durch „De-blocking filter“ wird die Sichtbarkeit der Blockstruktur verringert.

AVC intra ist eine Variante des AVC/H.264 Standards für die Aufzeichnung auf P2 Speicherkarten. Hierbei wird nur eine Intra-Frame Compression verwendet.

Derzeit wird AVC intra mit den EBU Systemen S1 und S2 in 2 verschiedenen Varianten eingesetzt.

- AVC Intra 100
(MPEG-4 AVC/H.264 @ High 4:2:2 Profile)
100 Mb/s ,
Abtastung 4:2:2
Quantisierung: 10bit
- AVC Intra 50
(MPEG-4 AVC/H.264 @. High10)
50 Mb/s ,
Abtastung 4:2:0
Quantisierung: 10bit
Down-Sampling von Y 1920 auf 1440, bzw. von 1280 auf 960 Pixel

Hinweis:

Bei der Weiterverarbeitung von AVC intra kodierten Daten von P2 Karten auf PC-Systemen ist auf eine ausreichende Leistungsfähigkeit zu achten

5.4.4.7 VC-1 / WINDOWS MEDIA 9

VC-1 wurde im Standard SMPTE 421M „Standard for Television: VC-1 Compressed Video Bitstream Format and Decoding Process“ genormt. Eine Software Implementation von VC-1 läuft unter dem Namen Windows Media 9.

Ein Ziel der VC-1-Entwicklung und Standardisierung war die Komprimierung von interlaced Signalen ohne Umweg über die Konvertierung in ein progressives Format (Advanced Modus).

Es gibt drei Abstufungen in der VC-1 Empfehlung:

- Simple
Internet Streaming mit niedriger Datenrate für mobile Anwendungen.
- Main
Internet Anwendung mit hoher Datenrate (z.B. Streaming, Film-Übertragung über IP oder TV/VoD über IP).
- Advanced
Professionelle Fernsehanwendungen wie z.B. HD-DVD für PC Nutzung und HDTV. Es ist das einzige VC-1-Profil, das interlaced Video unterstützt und ohne Umcodierung in einen MPEG-2 Transport- oder Programm Strom eingebettet werden kann.

Die nachfolgende Tabelle zeigt detailliert die Datenraten und Auflösungen der verschiedenen Profile und Qualitätsstufen.

Profile	Level	Maximale Datenrate	Auflösung und Vollbild-Wiederholrate
Simple	Low	96 kb/s	176 x 144 / 15 Hz (QCIF)
	Medium	384 kb/s	240 x 176 / 30 Hz 352 x 288 / 15 Hz (QCIF)
Main	Low	2 Mb/s	320 x 240 / 24 Hz (QVGA)
	Medium	10 Mb/s	720 x 480 / 30 Hz (480p) 720 x 576 / 25 Hz (576p)
	High	20 Mb/s	1920 x 1080 / 30 Hz (1080p)
Advanced	L0	2 Mb/s	352 x 288 / 30 Hz (CIF)
	L1	10 Mb/s	720 x 480 / 30 Hz (NTSC - SD) 720 x 576 / 25 Hz (PAL - SD)
	L2	20 Mb/s	720 x 480 / 60 Hz (480p) 1280 x 720 / 30Hz (720p)
	L3	45 Mb/s	1920 x 1080 / 24 Hz (1080p) 1920 x 1080 / 30 Hz (1080i) 1280 x 720 / 60Hz (720p)
	L4	135 Mb/s	1920 x 1080 / 60 Hz (1080p) 2048 x 1536 / 24 Hz

Tabelle 17: Profile und Level des VC 1 Standards

Nachfolgend werden die wesentlichen Unterschiede und Gemeinsamkeiten von MPEG 2, AVC/H264 und VC1 tabellarisch zusammengefasst.

	MPEG-2	AVC/H264	VC1
Profile	Simple Main High 4:2:2	Baseline Main Extended FRExt	Simple Main Advanced
Eingangssignale	Interlaced Progressive	Interlaced Progressive	Interlaced Progressive
Abtastung	4:2:0, 4:2:2	4:2:0, 4:2:2, 4:4:4	4:2:0
Algorithmus Typ	Hybrid spatial & temporal redundant	Hybrid spatial & temporal redundant	Hybrid spatial & temporal redundant
Kodierungsstruktur	Hierarchisch Profiles@Levels	Hierarchisch Profiles@Levels	Hierarchisch Profiles@Levels
Bildtypen	I,P,B	I,P,B,SP,SI	I,P,B,BI
Macroblockstruktur	16 x 16 Y 8 x 8 C _B 8 x 8 C _R	16 x 16 Y 8 x 8 C _B 8 x 8 C _R	16 x 16 Y 8 x 8 C _B 8 x 8 C _R
Genauigkeit der Bewegungsschätzung	Bis zu ½ Pixel	Bis zu 1/4 Pixel	Bis zu 1/4 Pixel
Loopfilter zur Reduzierung des Blockings	Nicht Implementiert	Implementiert	Implementiert
Transformations Typ	Float (DCT)	Integer	Integer
Entropie Kodierung	VLC	CAVLC CABAC	VLC

Tabelle 18: Vergleich zwischen MPEG-2, AVC/H264 und VC1

5.4.4.8 VC-3

VC-3 ist ein in der SMPTE 2019-1 standardisiertes Kompressions-Format mit Datenraten zwischen 35 und 440 Mb/s und einer Intra-frame Kompression. Es unterstützt die 1920x1080 und 1280x720-HD-Videoformate mit 4:2:2 Abtastung und einer Quantisierung von 8 oder 10 bit.

Mögliche Datenraten für die EBU-Systeme S1 bis S3 betragen 120 Mb/s oder 180 Mb/s, bzw. 240 Mb/s oder 365 Mb/s für das System S4 .

5.4.4.9 JPEG2000

Bei hohen Kompressionsraten stößt das herkömmliche JPEG-Format schnell an seine Grenzen. Der Nachfolgestandard JPEG 2000 zeichnet sich aus durch Vermeidung der Block-Artefakte, besseren Kodiereffizienz, Skalierbarkeit und weitere Vorteile.

Als Grundlage für das neue JPEG-2000-Format wurde eine Technologie gesucht, die das Bild nicht in kleine Blöcke aufteilt, sondern in seiner Gesamtheit beschreibt. Die Wavelet-Transformationen bietet diesen Vorteil.

Durch die Anwendung der Wavelet-Kompression (siehe auch Kapitel 4 unter 4.3.6) erscheinen die Bilder bei zu hohen Kompressionsraten lediglich schwammig oder verwischt.

Ein besonderes Merkmal von JPEG 2000 ist die Möglichkeit, eine Vielzahl von Auflösungen von Mobil-TV bis HDTV aus einem einzigen JPEG 2000 Daten-Strom extrahieren zu können.

Parameter wie Bildgröße oder Qualität müssen nicht beim Enkodieren definiert sein, sondern können beim Dekodieren ausgewählt werden.

JPEG und JPEG 2000 sind miteinander nicht kompatibel.

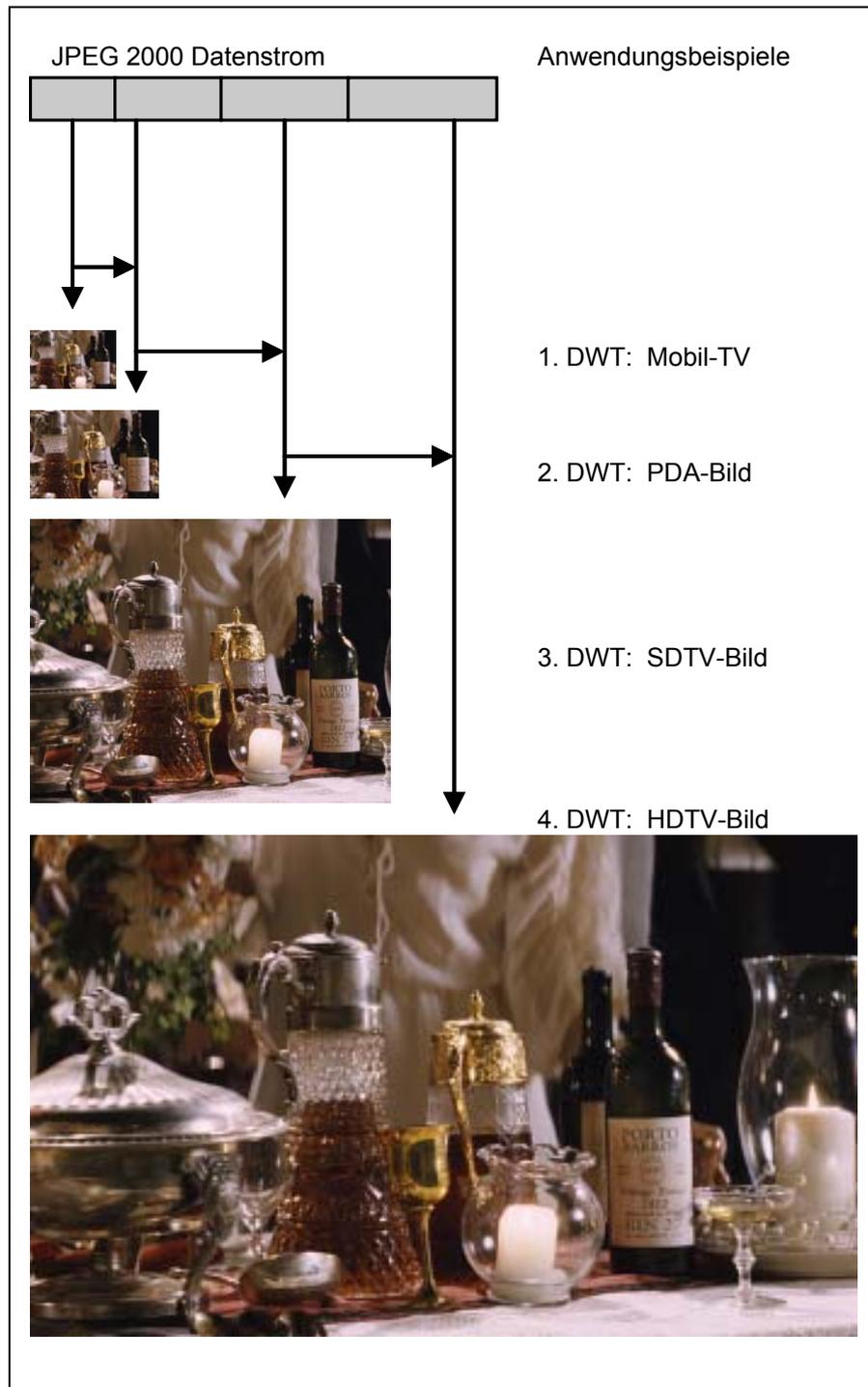


Bild 5.4.4.9.1: Skalierbarkeit der Bildqualität durch Diskrete Wavelet Transformation (DWT)

Vorteile von JPEG 2000

- kurze Kodier- und Dekodierzeit im Vergleich zum MPEG (bei long GOP)
- niedriger Speicherbedarf bei Kompression und Dekompression
- Variable Kodierqualität von verlustbehaftet bis verlustlos
- Ein standardisierter Kompressions- und Dekompressionsmodus (in JPEG sind 44 definiert)
- direkte Unterstützung von Wasserzeichen und Sicherheitsmerkmalen sowie Metadaten

5.4.4.10 ProRes 422

ProRes 422 ist ein proprietäres Kompressionsformat der Firma Apple mit zwei Qualitätsstufen. Während ProRes 422 mit einer Datenrate von 145 Mb/s arbeitet, nutzt ProRes 422 HQ eine Datenrate von 220 Mb/s. Beide Varianten verwenden ausschließlich eine Wortbreite von 10 bit und I-Frames only.

5.4.4.11 DNxHD

Der DNxHD-Codec wurde von der Firma Avid speziell für nonlineares Editing und Multi-Generation-Compositing entwickelt. Er bietet die Wahl zwischen 8- oder 10-Bit-Sampling und drei benutzerwählbaren Bitraten für HD.

Bitrate Mb/s	Quantisierung	Komprimierung
1185	10 bit	1:1
220	10 bit	6:1
220	8 bit	4:1
145	8 bit	7:1
176	8 bit	1:1 (SD)

Tabelle 19: Datenraten des DNxHD-Codec

Bei der Avid DNxHD-Kodierung bleibt das gesamte Raster des aktiven Videos erhalten.

Um die ursprüngliche Bildqualität über mehrere Generationen in der Postproduktion beizubehalten, können 8-Bit-HD-Medien als 10-Bit DNxHD-Medien kodiert werden. Die erhöhte Bittiefe bietet die Möglichkeit, Farbkorrekturen und Kontrasteinstellungen ohne Clipping durchzuführen.

Der DNxHD-Codec erfüllt den VC-3 Standard (SMPTE 2019-1) und kann damit MXF als File-Austauschformat nutzen.

5.4.4.12 DVCPRO HD

DVCPRO HD ist eine Weiterentwicklung von DVCPRO und in der SMPTE 370M und SMPTE 371M normiert.

Die Datenrate des DVCPRO HD kodierten Signals beträgt 100 Mb/s was bei einer Abtastung von 4:2:2 einen Gesamt-Reduktionsfaktor von 1:6,7 ergibt.

Das Abtastschema des HD-Signals wird auf 3:1,5:1,5 reduziert, d.h. bei den EBU-Systemen S2 und S3 werden die 1920 Abtastwerte für Luminanz auf 1440 Abtastwerte pro Zeile reduziert. Die Anzahl der Abtastwerte für Chrominanz reduziert sich von 960 auf 720 je Chrominanzkomponente. Für das EBU-System S1 werden die 1280 Abtastwerte für Lu-

minanz auf 960 Abtastwerte pro Zeile reduziert. Die Anzahl der Abtastwerte für Chrominanz reduziert sich von 640 auf 480 je Chrominanzkomponente.

Außerdem sind in diesem Standard 8 Audiokanäle nach AES-3 mit 48 kHz und je 16 bit spezifiziert.

Als Aufzeichnungsmedien dienen vorzugsweise die herkömmlichen DVCPRO Kassetten oder alternativ (bandlos) P2 Karten.

5.4.4.13 Übersicht der HD-Bandformate

In der nachfolgenden Tabelle sind die gebräuchlichsten HD-Bandformate mit ihren Eckwerten aufgelistet.

Name	HDCAM	HDCAM-SR	D-5 HD	DVCPRO HD	HDV 1	HDV 2
Codec	D11 I-Frame only	MPEG 4 Studioprofile I-Frame only	D-5	DVCPRO HD	MPEG 2 long GOP	MPEG 2
EBU-System	S2, S3	S1, S2, S3, S4	S2,S3	S1,S2	S1	S2, S3
Internes Abtast- raster	3:1:1	4:2:2 4:4:4	4:2:2	3:1,5:1,5	4:2:0	4:2:0
interne Auflösung	1440x1080	1920x1080 1280x720	1920x1080	1440x1080 960x720	1280x720	1440x1080
Quantisierung	8 bit	10 bit	8 / 10 bit	8 bit	8 bit	8 bit
Gesamt- datenrate	max. 142 Mb/s	440 Mb/s, 880 Mb/s	232 Mb/s	100 Mb/s	19 Mb/s	25 Mb/s
Tonkanäle	4	12	8	8	2	2
Audio Wortbreite	20 bit	24 bit	24 bit	16 bit	16 bit	16 bit
Audio sampl.freq	48 kHz	48 kHz	48 kHz	48 kHz	48 kHz	48 kHz

Tabelle 20: HD-Bandformate

5.4.5 Fileformate

5.4.5.1 Advanced Authoring Format (AAF)

Das Advanced Authoring Format (AAF) ist ein Dateiformat zur Übertragung, Speicherung und Bearbeitung von Video, Audio sowie Metadaten.

AAF ist kein Standard, sondern wird vom Wirtschaftsverband der Advanced Media Workflow Association (AMWA) offiziell vertreten. Diese Organisation stellt ein Toolkit (Software Development Kit, kurz SDK) zur Programmierung zur Verfügung, in dem auch bestimmte Codecs zur Verwendung definiert werden. Welche HD-Codecs in den Geräten zur Anwendung kommen ist abhängig von Firmeninteressen.

Die Entwicklung beruht auf Open Media Framework (OMF), wurde aber so erweitert, dass AAF ein komplettes Projekt beinhalten kann. Es besteht sowohl aus audiovisuellen Daten, als auch aus der Schnittliste mit Blenden, Effekten, Keys, Farbkorrektur usw. als Metadaten.

In einer Bearbeitungskette von spezialisierten Programmen wie nichtlinearem Schnittsystem, Animationsprogrammen, Tonbearbeitung usw. bleiben die Video- oder Audio-Basisdaten unverändert. Bei der Bearbeitung werden z.B. neue Videodaten eingefügt und die Beschreibung der Änderung in den Metadaten hinterlegt.

Beinhaltet ein AAF das komplette Projekt, wird es als „embedded Stream“ bezeichnet.

Es ist auch möglich, im AAF nur eine Verknüpfung zu hinterlegen, wo sich die entsprechenden audiovisuellen Dateien befinden. Diese Methode wird als referenziertes AAF bezeichnet.

Im Hinblick auf HDTV sind folgende Codecs im AAF als embedded Stream Projekt möglich:

- VC3 (DnX HD) mit verschiedenen Bitraten
- DVCPRO HD
- AVC-Intra 50Mb/s und 100 Mb/s

Codecs mit Long GOP-Struktur werden nur als Verknüpfung im referenzierten AAF verwaltet:

- HDV1 / HDV2
- VC-1
- AVC/H.264
- XDCAM HD bis XDCAM HD 4:2:2 50

AAF ist nicht geeignet für die Streaming- Anwendung. Auf Grundlage des AAF wurde das Material eXchange Format (MXF) als Medienaustauschformat entworfen und durch die SMPTE standardisiert.

(www.aafassociation.org)

5.4.5.2 Material eXchange Format (MXF)

Für die IT- basierende Fernsehproduktion wird ein Austauschformat benötigt, das, vergleichbar mit SDI oder HD-SDI für die herkömmliche Produktionsweise, eine vom Hersteller unabhängige einheitliche Schnittstelle darstellt. Das seit 2003 standardisierte Material eXchange Format (MXF) hat sich in bandlosen Produktions- und Archivstrukturen als zentrales Format für Streaming und File-Austausch von audiovisuellem Material und Metadaten etabliert. Die Datenstruktur des MXF basiert auf dem Advanced Authoring Format (AAF). Ziel ist es, durch MXF eine Interoperabilität der verschiedenen Hard- und Softwarekomponenten zu erreichen.

In den SMPTE-Standards SMPTE 377M und SMPTE 379M sind die Grundlagen des MXF-Standards festgelegt. Diese Spezifikationen wurden um Vorschriften ergänzt, die beschreiben, wie die verschiedenen HD- Videoformate in den MXF-Datenstrom eingefügt werden können.

- SMPTE 381M: Mapping MPEG Streams into the MXF Generic Container (Long-GOP, XDCAM HD)
- SMPTE 383M: Mapping DV-DIF Data into the MXF Generic Container (DVCPRO HD)
- SMPTE 387M: Mapping Type D-11 Essence Data to the MXF Generic Container (HDCAM)
- SMPTE 422M: Mapping JPEG 2000 Codestreams into the MXF Generic Container
- SMPTE 2019-4: Mapping VC-3 Coding Units into the MXF Generic Container (DNxHD)
- RP2008: Mapping AVC Streams MXF Generic Container (AVC/H.264)

5.5 Produktionstechnik

5.5.1 Taktgeber

Taktgeber in einer Multiformat-Produktionsumgebung sind in vielen technischen Einzelheiten identisch mit Geräten in vergleichbarer SD-Umgebung.

In einem Produktionsstudio dient der Taktgeber zur Synchronisation und Timing der Einzelgeräte. Dieser Taktgeber selbst wird je nach Anforderung wahlweise durch Blackburst, PAL-Farbträger, 1 MHz, 5 MHz, 10 MHz, SDI, HDSDI gem. EBU 3299 oder Trilevel-Sync synchronisiert oder kann auch ohne externe Referenz frei laufen.

Je nach Geräteausstattung werden folgende Ausgangssignale gleichzeitig zur Verfügung gestellt:

- Blackburst
- Trilevel-Sync
- FBAS-Testsignal
- AES/EBU-Wordclock
- SDI-Testsignale
- HDSDI-Testsignale gem. EBU 3299

Die zeitliche Lage der Ausgangssignale ist unabhängig voneinander einstellbar. Das ermöglicht die individuelle Anpassung von Geräten an unterschiedliche Zeitebenen im Studio.

Eine hohe Genauigkeit und Stabilität erreicht man, wenn der Taktgeber mit einer externen Zeitreferenz z.B. DCF77 oder GPS synchronisiert wird. Spezielle DCF77- und GPS-Empfänger geben zu diesem Zweck ein hochgenaues Referenzsignal mit 1, 5 oder 10 MHz ab.

Bei der Übertragung von embedded Dolby-E-Signalen kann ein Driften der Taktversorgungen z. B. zwischen Ü-Wagen und Studio beim Einsatz von Frame-Synchronisern zu massiven Tonstörungen führen. Dies kann durch eine gemeinsame Referenz (z.B. GPS) vermieden werden.

5.5.2 Kameratechnik

HD-Kameras und HD-Camcorder sind in vielen technischen Einzelheiten identisch mit vergleichbaren SD-Kameras bzw. SD-Camcordern.

Im Folgenden sollen im Wesentlichen nur die Unterschiede betrachtet werden in Bezug auf technische Parameter, spezielle Features und praktischen Umgang.

Im Einzelnen sind das:

- Sensortypen und Signalverarbeitung
- Signal-Eingänge und –Ausgänge (Signalinterfaces)
- Aufzeichnungsformate und –medien bei HD-Camcordern
- HD-Objektive

5.5.2.1 Sensortypen und Signalverarbeitung

In professionellen HD-Kameras werden überwiegend 2/3“ Bildsensoren verwendet. Wie auch bei SD-Kameras gibt es verschiedene Sensortypen:

- CCD-Sensoren

- IT-Sensoren (Interline Transfer)
- FIT-Sensoren (Frame Interline Transfer)
- FT-Sensoren (Frame Transfer)
- CMOS-Sensoren

Die Bildsensoren der HD-Kameras haben überwiegend 1920 Pixel/Zeile oder 1280 Pixel/Zeile bei Zeilenauflösungen von 1080 oder 720 Zeilen. Weitere Abtastformate sind möglich durch Umschaltung auf dem Sensor oder in der nachfolgenden Signalverarbeitung. Die Zeilen des Bildes können im „interlaced“ oder „progressive“ Modus ausgelesen werden.

Neben der im Broadcastbereich üblichen 3-Chip-Technik werden auch Kameras in 1-Chip-Technik mit speziellem optischen Farbfilter (z. B. Bayer Mosaic Filter) angeboten.

Ein kritischer Parameter bei HD-Sensoren ist das Rauschen. Zum einen liegt die elektrische Bandbreite von HD-Systemen bei 30 MHz (5,5 MHz bei SD) was auch den Rauschanteil erhöht. Zum anderen ist die Empfindlichkeit der HD-Sensoren wegen der kleineren photoempfindlichen Pixelfläche derzeit noch geringer als bei SD-Sensoren. Durch die deshalb notwendige höhere Verstärkung wird auch das Rauschen mit angehoben.

Heutige HD-Kameras erreichen einen Störabstand (SNR) von ca. 54 dB, die Werte für SD-Kameras sind um bis zu 10 dB höher.

Ein weiteres Merkmal von neueren HD-Kameras ist die Signalverarbeitung mit 14 Bit A/D-Wandlern (SD 10 bis 12 Bit). Die nachfolgende interne Signal-Verarbeitung erfolgt mit 22 Bit oder mehr.

Bei SD-Kameras ist es üblich, den Bildschärfeeindruck durch eine Kantenanhebung (Detail) zu verbessern. Zu hohe Detail-Einstellung bei der HD-Kamera kann bei einer späteren Down-Konvertierung zu unerwünschten Artefakten (z. B. Überschwingen) führen. Um dies zu minimieren, sollte bei der Aufnahme nur geringes Detail am HD-Kamerakopf zugesetzt werden.

5.5.2.2 Signal-Eingänge und -Ausgänge

Kamerasysteme können als „Stand alone“-Kamera, Camcorder oder als Kamerakopf mit abgesetzter Basisstation ausgeführt sein. Systeme mit abgesetzter Basisstation werden aus Kompatibilitätsgründen zwischen Kamerakopf und Basisstation mit herkömmlichen Triax-Kabeln verbunden. Es ist zu beachten, dass die damit nutzbaren Kabellängen wesentlich geringer sind als bei SD-Kamerasystemen. Alternativ können Glasfaserverbindungen eingesetzt werden.

Das Kamerasystem liefert ausgangsseitig HD-SDI und/oder SDI-Signale (entweder durch Down Konverter² oder durch native SD-Ausgänge aus dem Sensorchip.). Wird die Kamera im Modus 1080p/50 betrieben, ist derzeit ein Dual-HD-SDI Interface notwendig, um die hohe Datenrate zu transportieren (siehe Kapitel 5.4.3.3).

Neben den bisher genannten Broadcast-Schnittstellen existieren an einigen Geräten Datenschnittstellen wie IEEE-1394 (I-Link, Firewire), USB2.0 oder GigabitEthernet, um direkt in netzwerkbasierter Systeme oder auf Datenträger zu überspielen.

² Manche der eingebauten Down-Konverter haben nur "Monitoring-Qualität". Für ein SD-Signal, das zur Weiterverarbeitung gedacht ist, sollte ein externer hochwertiger Down-Konverter bevorzugt werden (siehe auch Kapitel 5.5.6).

Zunehmend wird ein HDMI-Ausgang auch an professionellen Kameras für die direkte Wiedergabe des HD-Signals auf einem Flachbildschirm angeboten.

5.5.2.3 Aufzeichnungsformate und -medien bei HD-Camcordern

Bei HD-Camcordern kommen verschiedene Aufzeichnungs- und Datenkompressionsverfahren (siehe Kapitel 5.4.5) zur Anwendung:

- HDCAM
- HDCAM-SR
- DVCPRO-HD
- XDCAM-HD
- JPEG2000 (HD)
- HDV (im Consumer-Bereich)
- H.264/AVC (im Consumer-Bereich)

Folgende Aufzeichnungsmedien kommen zum Einsatz:

- Magnetband (1/4" und 1/2")
- Optical Disk (XDCAM)
- P2-Karte
- Harddisc-Drive
- CompactFlashcard
- DVD (im Consumer-Bereich)
- Blu-Ray (im Consumer-Bereich)
- HD DVD (im Consumer-Bereich)

Die Wahl des Aufzeichnungsmediums beeinflusst wesentlich den weiteren Workflow wie z.B. die weitere Verarbeitung in linearen / nichtlinearen Schnittplätzen oder die Einspielung (Ingest) in einen zentralen Server oder ein anderes Speichermedium.

5.5.2.4 HD-Objektive

Objektive sind ein wichtiges Qualität bestimmendes Element im gesamten Aufnahmesystem einer Kamera. Mit dem Übergang von SD zu HD sind die Anforderungen, die an Objektive gestellt werden, größer geworden. Da die HD-Auflösung ca. 2,5 Mal so hoch ist wie von SD, mussten auch die Optiken drastisch verbessert werden, z.B. in Bezug auf die Auflösung, chromatische Aberration (Farbsäume) und Verzeichnung.

- Die Auflösung wird durch die Modulationsübertragungsfunktion (MTF = Modulation Transfer Function) beschrieben. Die MTF gibt die Abbildungsleistung des Objektivs in Prozent an. Die Messwerte werden an verschiedenen Positionen des Objektivs mittels Linienmuster bestimmt.
- Chromatische Aberration entsteht dadurch, dass der Brechungswinkel einer Linse von der jeweiligen Wellenlänge abhängt und die Strahlen sich nicht in einer gemeinsamen Abbildungsebene treffen.
- Geometrische Verzeichnungen sind insbesondere kissen- oder tonnenförmige Verzerrungen eines Objekts

Messungen an Objektiven müssen auf speziell dafür vorgesehenen Messeinrichtungen durchgeführt werden und sind damit sehr aufwändig.

Da Unschärfe bei großformatiger HD-Darstellung eher auffällt, muss besonders auf die Fokussierung von HD-Objektiven geachtet werden. Deshalb ist auch ein exakter Abgleich des Aufmaßes notwendig. Eine „On Air“-Nachfokussierung stört besonders bei großer Brennweite erheblich stärker als bei SD-Kameras. Aus diesem Grunde sind Fokussierhilfen (Autofokus-Systeme) für HD-Kameras wichtiger als bei SD-Kameras.

5.5.3 Filmabtaster

In der Vergangenheit waren Filmabtaster ein Werkzeug, um Filmmaterial für das Medium Fernsehen nutzbar zu machen. Im Rahmen der Digitalisierung des Kinos geht die Qualitätsentwicklung weit über die Ansprüche der HD-Fernsehproduktion hinaus.

Filmabtaster mit einem Auflösungsvermögen von 4K (4096 x 3112 Bildpunkte) bzw. 6K (6144 x 4096 Bildpunkte) sind realisiert. Sie dienen der Filmdatenspeicherung in speziellen Film-Fileformaten. Die Abtastung erfolgt hier aufgrund sehr hoher Datenraten nicht mehr in Realzeit, sondern mit geringeren Geschwindigkeiten.

Für Realzeit-HDTV-Abtastung ist ein 2K Filmabtaster (2048 x 1556 Bildpunkte) ausreichend.

Die Abtastung erfolgt unabhängig vom Ausgabeformat immer mit der maximalen Auflösung. Erst im weiteren Signalprozess wird das Ausgabeformat erzeugt.

Filmkameras können 25 Bilder/sec. liefern, die progressiv abgetastet direkt im EBU System 3 ausgegeben werden. Ein mit 24 Bilder/sec. produzierter Kinofilm wird im Filmabtaster, wie auch schon bei SD, mit 25 Bilder/sec. abgespielt.

Zur Erzeugung des EBU-Systems 2 werden die Vollbilder im Filmabtaster in gerad- und ungeradzahlige Zeilen zerlegt und im Halbbild-Schema ausgegeben. Da die Halbbilder keine unterschiedliche Bewegungsphase beinhalten können, ist das Ergebnis gleichzusetzen mit der Betriebsart „segmented frames“ (1080sf/25).

Die Abtastung nach dem EBU-System 1 (720p/50) ist zwar möglich, hier mangelt es aber an Filmmaterial mit die 50 Vollbilder/sec. Bei Nutzung dieses Modus werden die vorhandenen 25 Vollbilder im Filmabtaster doppelt verarbeitet.

5.5.4 Grafik- und nichtlineare Schnittsysteme

Bei der nichtlinearen Videobearbeitung (NLE) unterscheidet man zwischen reinen Softwarelösungen, die auf leistungsfähigen Hardware-Plattformen lauffähig sind und den kombinierten Lösungen, für die spezielle Software, aber auch eine proprietäre Hardware nötig sind. Damit neben SD auch HD Video verarbeitet werden kann, müssen entsprechende Schnittstellen und Speicherkapazitäten vorhanden sein.

Die Hersteller verwenden neben der Möglichkeit der unkomprimierten Verarbeitung unterschiedliche Verfahren zur Reduzierung der Datenraten. Folgende Kompressionsverfahren werden u.a. eingesetzt: MPEG 2, MPEG 4, H.264, JPEG 2000.

Benutzer können die Bittiefen und Datenraten wählen, die dem Rohmaterial am besten entsprechen. Dazu kann aus verschiedenen Aufzeichnungsformaten wie z.B. AVC, JPEG 2000, HDCAM, DVCPRO HD, XDCAM HD, DNxHD ausgewählt werden.

Bei der Wahl des Aufzeichnungs- und Bearbeitungsformats ist darauf zu achten, dass unnötige und mehrfache Codier- und Decodierprozesse vermieden werden, da sonst bei mehreren Generationen zusätzliche und vermeidbare Artefakte entstehen können. Diese

Qualitätseinbußen sind messtechnisch schwer zu beurteilen, hier sind subjektive Qualitätsvergleiche notwendig (siehe 5.8.1.4).

Die interne Speicherung der Daten erfolgt zum Teil in proprietären Formaten. Zur Anwendung kommen u.a. auch folgende Fileformate: MXF, DPX, TIF, BMP, TGA, YUV, AVI.

Einige NLE-Systeme bieten die Möglichkeit über eine physikalische HD-SDI-Schnittstelle HD-SDTI-Signale (SMPTE 348M) mit einer Nutzdatenrate von 1,0 Gb/s zu übertragen. Der Vorteil dieser Übertragungsart ist die schneller als Echtzeitübertragung unter Nutzung der SD/HD-SDI-Infrastruktur.

Außer den üblichen digitalen Video-/Audioschnittstellen werden zum Import und Export von Video/Audio Files die Gigabit-Ethernet Schnittstelle und die i.LINK- Schnittstelle (FireWire/IEEE 1394) eingesetzt.

Einige Prozeduren von NLE-Systemen erfordern Renderingprozesse bei denen die Bilddaten verändert und neu berechnet werden. Dies kann unter Umständen zu Qualitätseinbußen und illegalen Signalen führen.

5.5.5 Monitoring (Displays)

Bild-Monitore im Bereich der Fernsehproduktion, d.h. Monitore zum Beurteilen der Bildqualität sind Messgeräte und müssen deshalb sehr engen Anforderungen genügen. Generell gelten für HD die gleichen allgemeinen Festlegungen für die technische Bildbeurteilung wie für SD. Je nach Anwendung sind Bildmonitore einzusetzen, die als Klasse 1, Klasse 2 oder Klasse 3 spezifiziert sind.

Die Beurteilung von HD-Produktionen soll auf einem Klasse 1 CRT oder Flachbildschirm größer 20" erfolgen. Zusätzlich wird für die Beurteilung des Schärfeeindrucks und von eventuell vorhandenen Bewegungsartefakten ein Display mit einer Größe von mindestens 42" dringend empfohlen.

Die Einstellung bzw. der Abgleich dieser Bild-Monitore hat so zu erfolgen, dass die in der EBU Tech 3320 bzw. EBU Tech 3213 spezifizierten Werte eingehalten werden (siehe auch „Richtlinie für die einheitliche Fernseh bildwiedergabe 8R7“).

Monitore / Displays haben unterschiedliche Bildbearbeitungszeiten. Diese sind sowohl hersteller- und typabhängig als auch abhängig von unterschiedlichen Displaytechniken und Abtastformaten. Um die Bild/Ton Synchronität beurteilen zu können, sind die Signallaufzeiten durch geeignete Maßnahmen anzupassen.

Consumer-Displays werden meist mit „HDTV-Labels“ versehen die dem Käufer einen Hinweis darauf geben, in welcher Auflösung ihr Gerät in der Lage ist, HDTV-Signale darzustellen. Genauere Beschreibungen und Spezifikation der Labels sind unter der Internetadresse www.tv-plattform.de einzusehen.

Die dort zu findenden Spezifikationen stellen Mindestanforderungen dar, um das entsprechende „HDTV-Label“ tragen zu dürfen. Da diese Anforderungen für die Consumerwelt ausgelegt sind, können diese Bild-Monitore nur bedingt zur Bildbeurteilung verwendet werden.

5.5.5.1 Multiview-Technik

Multiviewer ermöglichen die Darstellung von mehreren Videosignalen auf einem oder mehreren Monitoren. Sie werden häufig in Kontroll-Monitorwänden eingesetzt, bei denen an Stelle der bisher eingesetzten Röhrenmonitore Rückprojektionswände, große LCD- oder Plasma-Displays verwendet werden. Mittels der Multiview-Technik können nahezu beliebig viele Videosignale in beliebigen Bildseitenverhältnissen und Größen einschließlich der dazugehörigen Audio-Aussteuerungsanzeige, „under monitor display“ (UMD) und Rotlicht dargestellt werden.

Multiviewer werden als Einzelgeräte oder als integrierte Boards in Kreuzschienen angeboten und können Eingangssignale in SD- oder HD-Video verarbeiten. Die Ausgangsschnittstelle der Multiviewer ist je nach Hersteller und Typ eine HD-SDI- und/oder DVI/HDMI-Schnittstelle, die Signale im EBU-Format S1 bis S4 liefern kann. Die interne Signalverarbeitung beinhaltet meistens zusätzlich Prozesse wie Framesynchronizer und Deembedder.

Auch beim Einsatz von Multiviewern müssen zur Beurteilung der Bild/Ton Synchronität die Signallaufzeiten durch geeignete Maßnahmen angepasst werden.

5.5.6 Formatwandlungen

Bei Formatwandlern unterscheidet man je nach Funktion:

- Up- oder Down-Converter
- Bildformatkonvertern (Aspect Ratio Converter)
- Standard-Converter (Normwandler)
- Framerate-Converter
- Cross-Converter

Ein Up-Converter wandelt von SD zu HD, ein Down-Converter von HD zu SD. Diese Geräte konvertieren nur innerhalb einer Bildwechselfrequenzebene (innerhalb 25/50Hz oder 30/60Hz).

Bildformatkonverter wandeln Bilder eines Bildseitenverhältnisses in Bilder eines anderen Bildseitenverhältnisses (z.B. Letterbox-/Pillarbox-Darstellung)

Standard-Converter sind Wandler, welche die Bildwechselfrequenz und Zeilenzahlen von SD-Videosignalen in Signale mit anderer Bildwechselfrequenz und Zeilenzahl umsetzen (625i25 \leftrightarrow 525i30).

Framerate-Converter sind Wandler, welche die Bildwechselfrequenz von Videosignalen in Signale mit anderer Bildwechselfrequenz umsetzen (1080i25 \leftrightarrow 1080i30).

Ein Cross Converter wandelt HDTV-Bilder eines Formates in Bilder eines anderen HDTV-Formates um (1080i25 \leftrightarrow 720p50).

Die neuen Entwicklungen machen es schwierig, die Geräte einem der o.g. Begriffe zuzuordnen. Die meisten Geräte verfügen über mehrere dieser genannten Funktionen. Fast alle Geräte verfügen zusätzlich über eine Synchroniser-Funktion, verarbeiten embedded Audio und haben einen SDTV-Ausgang.

Ausführlichere Spezifikationen von Wandlern sind in der Richtlinie 8/15 zu finden.

Messtechnisch sind auftretende Störungen nur sehr schwer oder gar nicht zu erfassen. Aussagekräftiger sind Bildbeurteilungen, die auf einem entsprechend geeigneten Monitor erfolgen sollten.

Stehende Bilder oder Bilder mit wenig Bewegung erfahren nur relativ geringe Veränderungen wie Schärfe- oder Kontrastverlust oder Detailflimmern an horizontalen Kanten. Wesentlich kritischer ist die Konvertierung von Bildsequenzen mit schnellen Bewegungen. Sportsequenzen mit schnell bewegten Objekten und/oder schnellen Kameranews oder schnell vertikal und horizontal laufende Schriften sind besonders schwer zu verarbeiten und zeigen die meisten Bildstörungen. Je nach verwendeten Methoden der Bewegungserkennung und Interpolationsverfahren können bei der gleichen Bildsequenz verschiedene Bildstörungen auftreten:

- Treppenstruktur an schrägen Kanten
- Verschiebung von Pixeln oder Bildanteilen
- Störsignal an Linienmustern
- Doppelkonturen an schnell bewegten Objekten
- Geometrieverzerrung
- Detailflimmern (besonders bei Downkonvertierung)

Grundsätzlich hat jede Konvertierung eine Verschlechterung der Bildqualität zur Folge. Wie stark die Bildstörungen sind und bei welchen Bildanteilen sie auftreten, hängt von der Art der Konvertierung ab. Up- oder Crosskonvertierungen sind dabei kritischer als Downkonvertierungen. Letztere erfordern kein De-interlacing, also keine zeitliche Interpolation und zeigen daher weniger bewegungsabhängige Artefakte.

Messtechnisch ist bei Wandlern insbesondere folgendes zu untersuchen:

- Farbräume
- Y-Matrizierung (ITU-R BT 709-5 Part 2)
- Signallaufzeit
- Frequenzgang (Alias-Unterdrückung)
- Bild/Tonversatz
- Down-Convertierungsfehler in den ersten aktiven Zeilen des Bildes
- Physikalische Messung der Video-/Audioschnittstellen

5.5.7 Servertechnik

Server sind Computer, die Dienste und/oder Speicherkapazität zur Verfügung stellen. Im Videoproduktionsbetrieb kann man die Server nach ihren verschiedenen Funktionen gruppieren, woraus sich unterschiedliche Anforderungen an die Hard- und Software ableiten. Im Gesamtsystem sind bei der Videoproduktion insbesondere die hohe Performance und die Sicherheit im Sendebetrieb zu beachten.

Videoserver

Der Videoserver stellt das Bindeglied zwischen der Videowelt und der Datenwelt dar. Die Audio- und Videodaten werden über den Videoserver in ein Speichersystem übertragen und können damit von verschiedenen Stationen verwaltet, bearbeitet oder gesendet werden. Videoserver haben nicht zwangsläufig einen lokalen Datenspeicher.

Für HD-Produktionen müssen Server die gemäß EBU Tech. Doc 3299 beschriebenen HD-Formate unterstützen.

Ausführlichere Beschreibungen von Servern sind in der Richtlinie 8/16 zu finden.

Messtechnisch ist bei Servern insbesondere folgendes zu untersuchen:

- Verhalten bei Störungen an den physikalischen Schnittstellen
- Frequenzgang (Alias-Unterdrückung)
- Bild/Tonversatz
- Physikalische Messung der Video-/Audioschnittstellen
- Frame-genaues Ein- und Ausspielen

5.5.8 Vernetzte Produktionstechnik

Die vernetzte HD-Produktionstechnik ist mit der vernetzten SD-Produktionstechnik vergleichbar, es wird jedoch eine höhere Datenrate und Speicherkapazität benötigt.

5.6 Aufzeichnungstechnik

5.6.1 Magnetaufzeichnung auf Band

(siehe 5.4.4.13 Übersicht der HD-Bandformate)

5.6.2 Bandlose Aufzeichnungstechnik

Die bandlose Aufzeichnungstechnik für HD-Produktionen ist mit der der SD-Produktionstechnik vergleichbar, es wird jedoch eine höhere Datenrate und Speicherkapazität benötigt.

Mögliche Datenträger sind:

Optische Speicher (Blu-Ray)
Halbleiter Speicher (Solid state)
Festplattenrecorder

5.6.3 Archivierung

Bisher wurden keine Festlegungen bezüglich des Archivierungsformates getroffen. Derzeit wird das verwendete Akquisitionsformat bzw. Produktionsformat als Band oder MXF-File archiviert. Zukünftige Festlegungen bezüglich des Archivierungsformates werden durch die FSBLK/AKO adhoc AG „HD-Einführung“ in der Technischen Produktions Richtlinie Fernsehen für HD (TPRF-HD) veröffentlicht.

5.7 Contributions-/Distributionstechnik

Die Übertragung von HD-Material über Produktions-Netzwerke (Contribution) erfolgt:

- unkomprimiert (1,5 Gb/s bzw. 3 Gb/s)
- komprimiert (z.B. MPEG2, H.264/MPEG-4 AVC oder JPEG-2000)
- als Filetransfer

Unkomprimierte HDTV-Signalübertragungen bieten den Vorteil kurzer Signallaufzeiten und guter Signalqualität für weitere Bearbeitungsschritte.

Für eine bessere Bandbreitennutzung der Übertragungswege werden HDTV-Signale komprimiert. Hierbei eignet sich wegen der kurzen Codierzeiten besonders eine Codierung im JPEG-2000 Format.

Für die Übertragung von kompletten Beiträgen ohne Echtzeit-Anforderung bietet sich der Filetransfer an. Für diese Art der Übertragung müssen keine festen Bandbreiten zur Verfügung gestellt werden. Je nach Grad der Komprimierung (bis zu transparent) und verfügbarer Bandbreite werden die Beiträge langsamer oder schneller als Echtzeit übertragen.

Die Signalqualität am Ende einer Kette von datenreduzierten Contributions-Verfahren hängt sehr stark von den eingesetzten Reduktionsverfahren ab. Qualitätsverschlechterungen durch Recodierungsvorgänge können durch die konsequente Anwendung gleicher Kompressionsverfahren minimiert aber nicht verhindert werden.

Die Distribution von HDTV-Signalen über Satellit und Kabel erfolgt DVB-konform. Die PTKO hat für ARD und ZDF als Ausstrahlungsformat 720p50 festgelegt.

Als Übertragungsverfahren über Satellit kommt DVB-S2 (EN 302 307) zum Einsatz. Gegenüber der herkömmlichen DVB-S-Methode bietet DVB-S2 eine effizientere Übertragung durch verbesserte Verfahren der Kodierung (H.264/MPEG-4 AVC), Modulation und Fehlerkorrektur.

Für die Übertragung über Kabel wird noch DVB-C verwendet, DVB-C2 ist bereits in der Entwicklung.

Eine Ausstrahlung von HDTV über DVB-T im Regelbetrieb ist zurzeit in Deutschland nicht vorgesehen.

Durch den Einsatz eines Kopierschutzes (z.B. HDCP) kann das übertragene Programm-Signal vor unerlaubter digitaler Vervielfältigung geschützt werden.

5.8 Messtechnik

Wie im Abschnitt 5.4.1 beschrieben, sind die Prinzipien der Abtastung, der Multiplexbildung und der Serialisierung eines HDTV-Signals in vielen Bereichen identisch mit SD-Signalen. Die Unterschiede von SD- zu HD-Signalen in der logischen Ebene sind:

- höhere Abtastrate des Bildes (höhere Anzahl von Zeilen und Abtastpunkten pro Zeile)
- Synchronisation durch TRS-Worte auch in den Chrominanz-Komponenten
- Übertragung von Embedded Audio-Daten ausschließlich in den Chrominanz-Komponenten

Bedingt durch die höhere Abtastrate wird in der physikalischen Ebene eine größere Bandbreite erforderlich.

Die Messverfahren der SD-Technik sind auch in der HD-Technik anwendbar. Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden in diesem Kapitel dargestellt. Detaillierte Beschreibungen der Messverfahren und Parameter der SD- Technik sind in Kapitel 1 zu finden.

5.8.1 Videomessungen

Messungen werden in den drei Ebenen eines digitalen Videosignals durchgeführt:

- Physikalische Ebene (Serielle Ebene, „SDI“)
- Daten Ebene
 - Synchronisations-, Kontroll-, und Zusatzdaten
 - Digitale Komponenten Signale und deren analoge Darstellung (Bildinhalt und Audio)

5.8.1.1 Messungen in der physikalischen Ebene

Rückflusdämpfung (Return loss)

Die Rückflusdämpfung ist ein Messparameter für die Impedanzanpassung einer Schnittstelle. Je größer der gemessene Wert, desto besser ist die Impedanz der Schnittstelle an die Infrastruktur angepasst.

	ITU	SMPTE
SD	ITU-R BT.656 > 15 dB [5 MHz ... 270MHz]	SMPTE 259M > 15 dB [5 MHz ... f_c]
HD 1,485 Gb/s	Rec. ITU-R BT.1120-5 > 15 dB [5 MHz ... $f_c/2$] > 10 dB [$f_c/2$... f_c]	SMPTE 292M > 15 dB [5 MHz ... f_c]
HD 2,97 Gb/s		SMPTE 424M > 15 dB [5 MHz ... $f_c/2$] > 10 dB [$f_c/2$... f_c]
HD 10 Gb/s		SMPTE 435M Nur optische Schnittstelle spezifiziert

f_c = Taktfrequenz (Clockfrequency) und entspricht dem Wert der Datenrate des jeweiligen Systems (z. B. 1,485 Gb/s entspricht 1,485 GHz)

Tabelle 21: Spezifikationen der Rückflussdämpfung

Augendiagramm

Die Qualität eines digital-seriellen Datensignals kann mit dem Augendiagramm gemessen werden. Das Augendiagramm gibt Aussagen über die Signalamplitude, DC-Offset, Steig- und Fallzeiten, Überschwinger und einen groben Überblick über die Amplitude des Signaljitters.

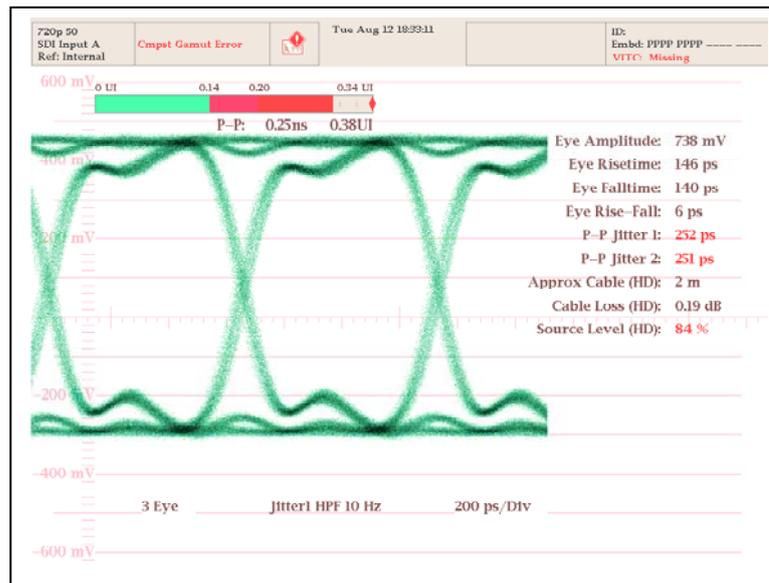


Bild 5.8.1.1.1: Augendiagramm-Darstellung eines digital-seriellen Signals mit Einblendung gemessener Signalparameter

	Parameter	ITU	SMPTE
SD	Norm	ITU-R BT.656	SMPTE 259M
	Amplitude	800 mV ± 10 %	800 mV ± 10 %
	DC Offset	0,0 V ± 0,5 V	0,0 V ± 0,5 V
	Steig-/Fallzeit	750 ps ... 1,5 ns	400 ps ... 1,5 ns
	Δ Steig-/Fallzeit	≤ 500 ps	≤ 500 ps
	Überschwinger	keine Angabe	10 % der Amplitude
HD 1,485 Gb/s	Norm	ITU-R BT.1120-6	SMPTE 292M
	Amplitude	800 mV ± 10 %	800 mV ± 10 %
	DC Offset	0,0 V ± 0,5 V	0,0 V ± 0,5 V
	Steig-/Fallzeit	≤ 270 ps	≤ 270 ps
	Δ Steig-/Fallzeit	≤ 100 ps	≤ 100 ps
	Überschwinger	10 % der Amplitude	10 % der Amplitude
HD 2,97 Gb/s	Norm	ITU-R BT.1120-6	SMPTE 424M
	Amplitude	800 mV ± 10 %	800 mV ± 10 %
	DC Offset	0,0 V ± 0,5 V	0,0 V ± 0,5 V
	Steig-/Fallzeit	≤ 270 ps	≤ 135 ps
	Δ Steig-/Fallzeit	≤ 100 ps	≤ 50 ps
	Überschwinger	10 % der Amplitude	10 % der Amplitude
HD 10 Gb/s	Norm		SMPTE 435-3
	Amplitude		
	DC Offset		zur Zeit
	Steig-/Fallzeit		nur optisch spezifiziert
	Δ Steig-/Fallzeit		
	Überschwinger		

Tabelle 22: Spezifikationen der Schnittstellen

Signaljitter

Nach SMPTE RP 192 gibt es für eine normgerechte Jittermessung vier Möglichkeiten:

- Oszillographenmessung zu einer stabilen externen Zeitreferenz
- Oszillographenmessung zu einer Zeitreferenz, welche aus dem Videosignal extrahiert wurde
- spektrale Darstellung eines aus dem Videosignal extrahierten Jitters
- spektrale Darstellung der Phasen-Differenz des aus dem Videosignal extrahierten Jitters zu einer hoch stabilen Referenz.

Die ITU-R BT.1363 und die SMPTE RP 184 definieren die Arten des Jitters für SD- und HD-Signale. Man unterscheidet folgende Arten von Jitter:

- Absoluter Jitter
Schnelle und langsame Schwankungen bezogen auf eine ideale Zeitreferenz
- Wander, Drift
Nur langsame Schwankungen (< 10Hz) bezogen auf eine ideale Zeitreferenz
- Timing Jitter
Nur schnelle Schwankungen bezogen auf eine ideale Zeitreferenz
- Alignment Jitter, Relativer Jitter
Schwankungen bezogen auf eine aus dem Messsignal erzeugte Referenz

In den Standards werden nur Timing- und Alignment-Jitter spezifiziert. Für den Wander gibt es keine Spezifikation.

	Parameter	ITU	SMPTE
SD	Norm	ITU-R BT.656	SMPTE 259M
	Timing Jitter	< 0,2 U _{Ipp} [> 10 Hz]	< 0,2 U _{Ipp} [> 10 Hz]
	Alignment Jitter	< 0,2 U _{Ipp} [1 kHz-27 MHz]	< 0,2 U _{Ipp} [1 kHz-27 MHz]
HD 1,5 Gb/s	Norm	ITU-R BT.1120-6	SMPTE 292M
	Timing Jitter	< 1 U _{Ipp} [10 Hz-20 kHz]	< 1 U _{Ipp} [10 Hz-20 kHz]
	Alignment Jitter	< 0,2 U _{Ipp} [0,1 - 148,5 MHz]	< 0,2 U _{Ipp} [0,1 - >148,5 MHz]
HD 3 Gb/s	Norm	ITU-R BT.1120-6	SMPTE 424M
	Timing Jitter	< 1 U _{Ipp} [10 Hz-20 kHz]	< 2 U _{Ipp} [10 Hz-20 kHz]
	Alignment Jitter	< 0,2 U _{Ipp} [0,1 - 297 MHz]	< 0,3 U _{Ipp} [0,1 - >297 MHz]
HD 10 Gb/s	Norm		SMPTE 435-3
	Timing Jitter		< 10 U _{Ipp} [20 kHz-4 MHz]
	Alignment Jitter		< 0,15 U _{Ipp} [>4 MHz]

Tabelle 23: Jitter-Spezifikationen

Hinweis: Normgerechte Jitter-Messungen müssen mit einem Farbbalkensignal durchgeführt werden

Messungen an digital-seriellen Eingangsstufen

Die Qualität einer digital-seriellen Eingangsstufe zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- entzerrbare Kabellänge
- Dynamik des Eingangs
- Robustheit der Taktrückgewinnung

Das Entzerrungsvermögen einer digital-serielle Eingangsstufe muss gemäß ITU und SMPTE größer 20 dB bei der halben Taktfrequenz sein. Die dadurch erreichbaren Kabellängen hängen stark von den Dämpfungscharakteristiken der verwendeten Kabeltypen ab.

Die Messungen erfolgen bevorzugt mit realen Kabeln. Für eine gute Abschätzung können so genannte „Cable Clones“ (Kabellängen-Simulatoren) verwendet werden. Diese „Cable Clones“ sind auf die unterschiedlichen Datenraten (Bandbreiten) von HD- und SD-Signalen abgestimmt.

Typische erreichbare Kabellängen sind im Abschnitt 5.4.3.7 aufgelistet.

Die Dynamik eines Eingangs und seine Robustheit bei der Taktrückgewinnung werden mit einem definierten „Stress-Signal“, dem SDI Check Field erfasst. Es ist in der SMPTE RP 178 beschrieben und besteht aus zwei Teilen.

Die obere Bildhälfte erzeugt durch definierte Datenworte lange Nullfolgen auf dem digital-seriellen Datensignal und daraus resultierend zu einer sprunghaften Verschiebung des Gleichspannungsanteils. Dieser führt bei ungenügender Dynamik des Entzerrers zu Bildstörungen.

Die Datenworte der unteren Bildhälfte bieten der PLL-Eingangsstufe nur wenige Referenzflanken für die Taktrückgewinnung. Bei ungenügendem Design der Eingangs-PLL können daraus ebenfalls Bildstörungen resultieren.

Das Verfahren und die Datenworte des Signals sind für SD und HD identisch.

Die oben beschriebenen Bildstörungen können für eine schnelle Diagnose auf einem Monitor beobachtet werden. Eine präzisere Analyse kann über eine CRC-Fehlermessung erfolgen.

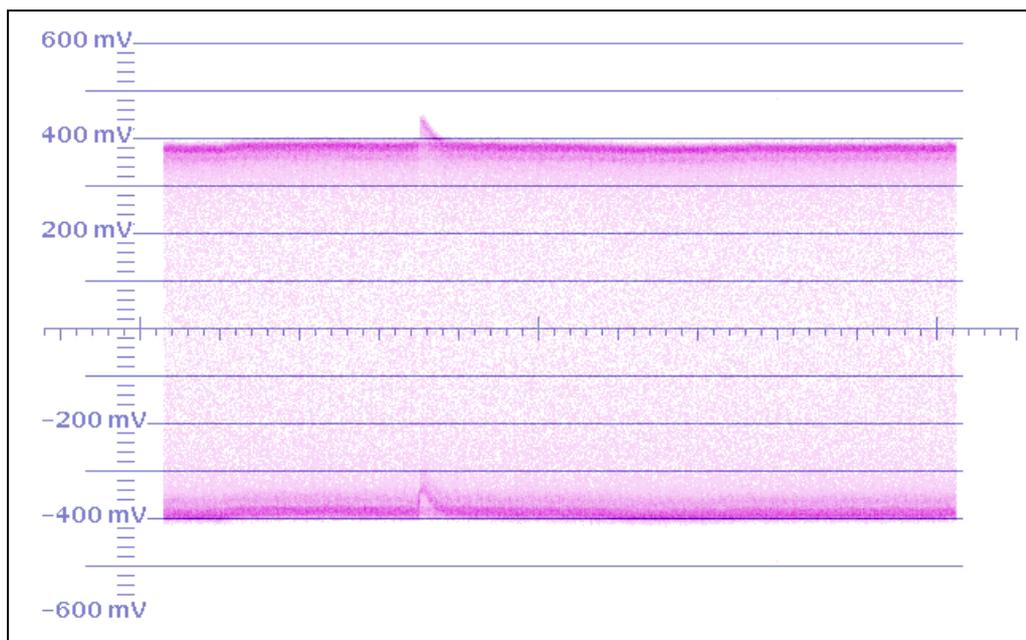


Bild 5.8.1.1.2: Abweichung des Gleichspannungsanteils eines pathologischen HD-SDI-Signals

Handbuch der Fernsehsystemtechnik

Fernsehsystemtechnik	
Ausgabe	Dezember 2008
5.8	Blatt

Gemäß der ITU-R BT.1120 Part 2 und SMPTE 292M darf der Gleichspannungsanteil der Hüllkurve eines pathologischen HD-SDI-Signals max. ± 50 mV vom Mittelwert abweichen.

5.8.1.2 Messungen in der logischen Ebene

Nach dem Descrambling und dem Demultiplexen stehen die Videosignale als Y' , C'_B und C'_R in der logischen Ebene zur Verfügung. In dieser Ebene können die folgenden Messungen durchgeführt werden.

Signallaufzeiten

Laufzeitdifferenzen können zwischen zwei digitalen Videosignalen oder jeweils zu einer externen Referenz (analoger Blackburst oder Tri-Level-Sync) gemessen werden. Mit statischen Testsignalen können nur Laufzeiten zwischen zwei Synchronisationsrahmen (Videoframes) ermittelt werden. Mit periodischen Testsequenzen werden auch Laufzeiten größer als ein Frame gemessen. Ein besonderer Fall ist die Messung der Laufzeiten zwischen Audio- und Videosignalen (A/V-Delay, siehe Abschnitt 5.8.3).

Synchronworte

Fehler in den Datenworten eines digital-seriellen Signals können permanent als auch sporadisch auftreten. „Reserved Code“ Worte sind Datenworte, die für Synchronisationszwecke reserviert sind und deshalb im Bild- bzw. Ancillary Daten nicht auftreten dürfen. Treten diese dort doch auf, spricht man von „Reserved Code Error“ (RCE). TRS-Fehler sind gestörte Synchronworte bzw. fehlerhafte TRS-Sequenzen.

Prüfsummenfehler

CRC-Fehler (Cyclic Redundancy Code) sind Prüfsummenfehler. Hierbei werden entweder Prüfsummen aufeinander folgender Vollbilder statischer Signale verglichen und Veränderungen angezeigt, oder wie bei der EDH – Analyse (Error Detection and Handling, SMPTE RP165), aktuell berechnete Prüfsummen über ein Video-Frame oder seiner Teilbereiche mit mitgelieferten Prüfsummen verglichen und Abweichungen indiziert.

Ermittlung des Levels der 3 Gb/s-Schnittstelle

Bei HD-SDI-Signalen gemäß SMPTE 424M bzw. SMPTE 425M kann in der logischen Ebene überprüft werden ob die Signale dem „Level A“, „Level B-DS“ oder „Level B-DL“ entsprechen. Dies kann auf unterschiedliche Arten erfolgen.

- Durch Auswerten des Bytes 1 des Video Payload Identifier (Zeile 10 nach CRC1):
 - Die Datenwerte 88h und 89h des Bytes 1 entsprechen dem Level A
 - 88h signalisiert 1 x Video mit 720 aktiven Zeilen → Level A
 - 89h signalisiert 1 x Video mit 1080 aktiven Zeilen → Level A
 - Die Datenwerte 8Ah, 8Bh, 8Ch und 8Dh des Bytes 1 entsprechen dem Level B
 - 8Ah signalisiert Dual-Link über die 3 Gb/s → Level B-DL
 - 8Bh signalisiert 2 x Video mit 720 aktiven Zeilen → Level B-DS
 - 8Ch signalisiert 2 x Video mit 1080 aktiven Zeilen → Level B-DS
 - 8Dh signalisiert 2 x Video mit 576 aktiven Zeilen → Level B-DS

Das Bit 6 im Byte 4 des Video Payload Identifier dient zur Unterscheidung der Kanäle A und B des Dual Link Signals:

Level B-DL („0“=Kanal A, „1“=Kanal B),
Level B-DS (beide Kanäle mit Wert „0“)

- Durch Auswerten der Anzahl der TRS-Werte (siehe Bild 5.8.1.2.1 bis Bild 5.8.1.2.3)
Folgen bei den „TRS“-Werten zwei „3FF“ und vier „000“ aufeinander so handelt es sich um die HD-SDI-Signalen gemäß SMPTE 425 Level A (siehe Bild 5.8.1.2.1), folgen bei den „TRS“-Werten vier „3FF“ und acht „000“ aufeinander, so handelt es sich um die

HD-SDI-Signalen gemäß SMPTE 425 Level B (Bild 5.8.1.2.2 und Bild 5.8.1.2.3) . Dies ist jedoch nur dann der Fall wenn die „Dual-Stream“-Daten auch Bildsynchron sind. Sind die Signale nicht Bildsynchron erscheinen jeweils zwischen den 3FF- 3FF- 000- 000- 000- 000- Werten beliebige Datenworte.

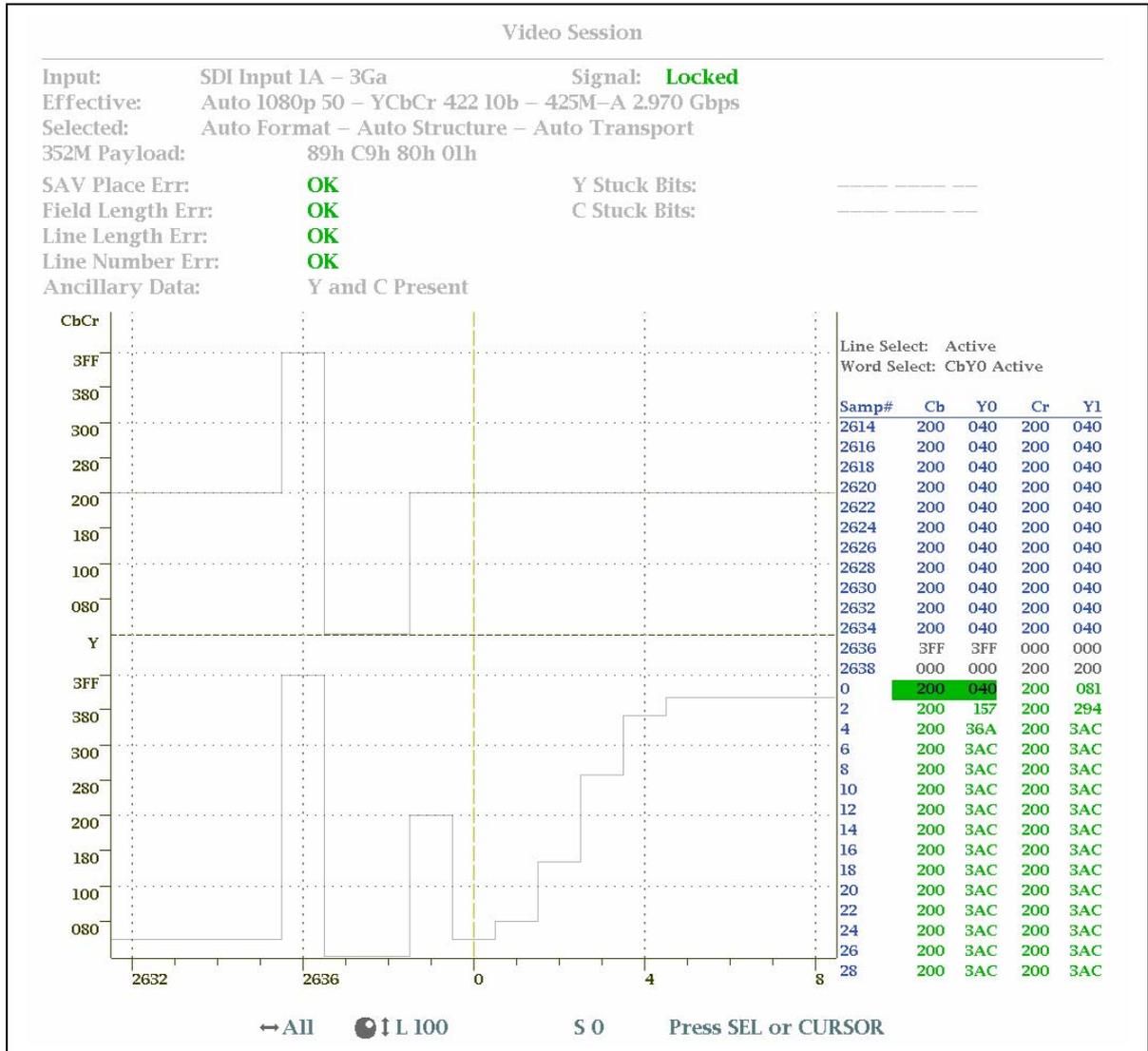


Bild 5.8.1.2.1: SAV und Signalidentifizierung eines 3Gb/s Level A –Signals

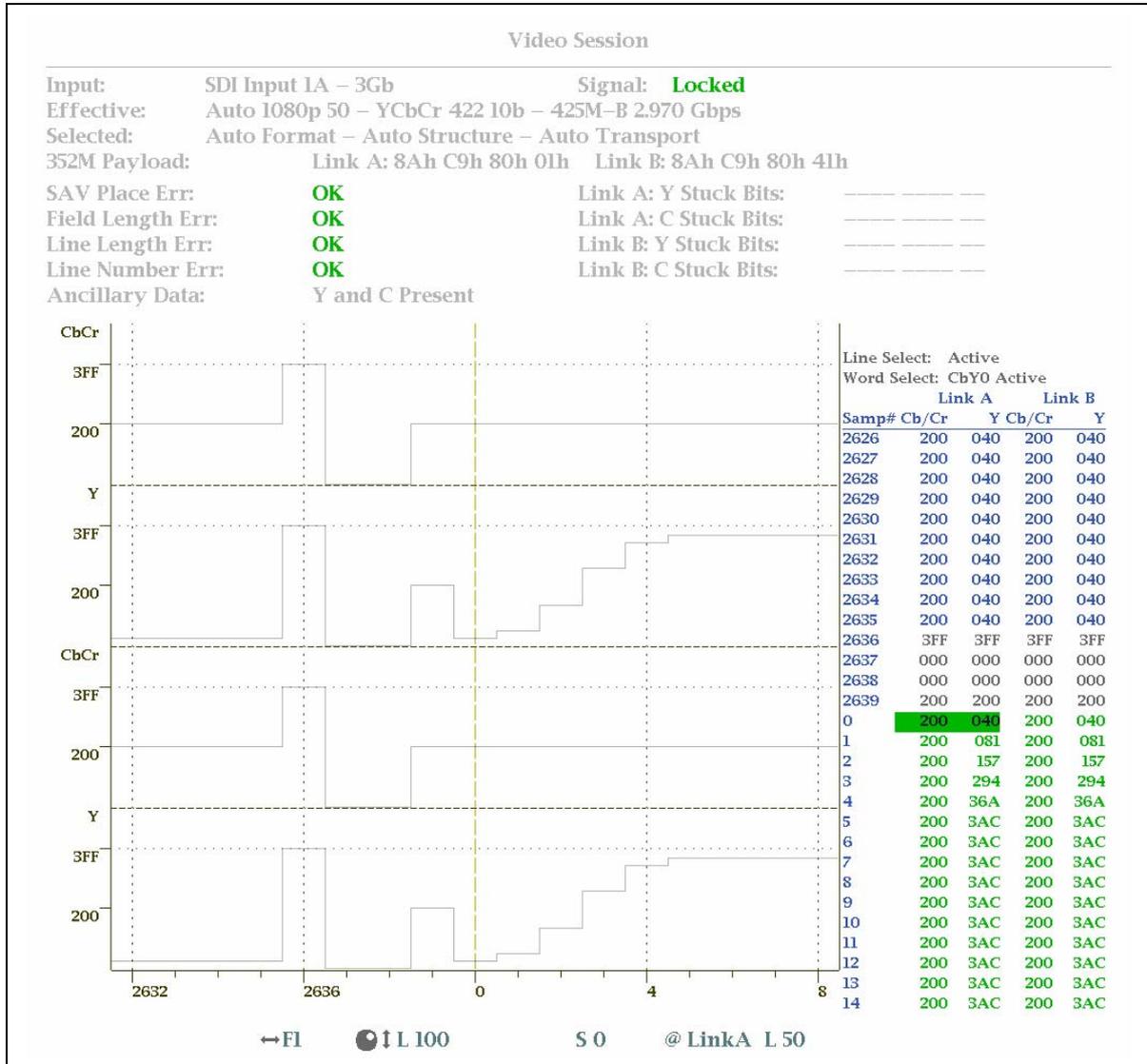


Bild 5.8.1.2.2: SAV und Signalidentifizierung eines 3Gb/s Level B-DS –Signals

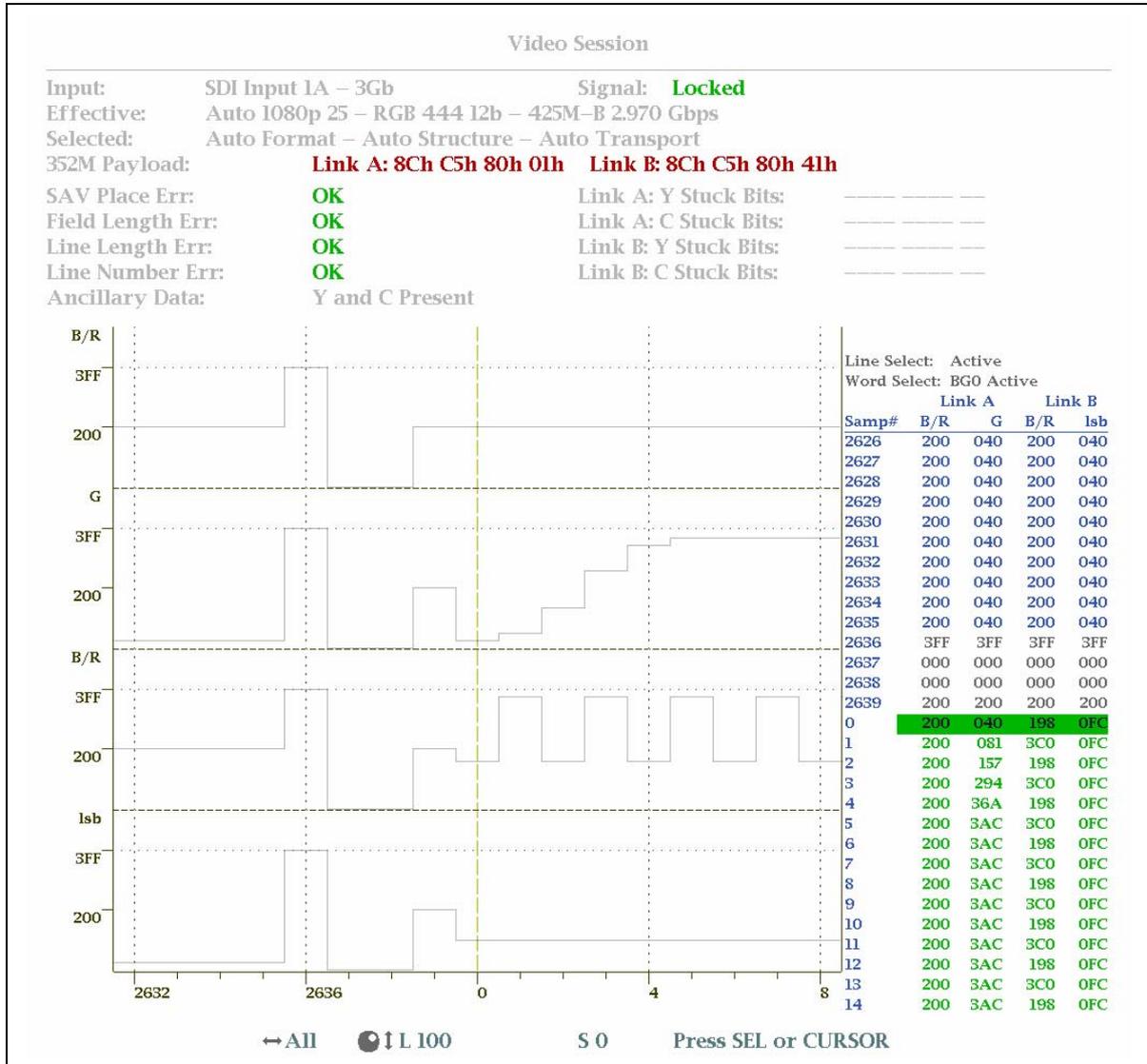


Bild 5.8.1.2.3: SAV und Signalidentifizierung eines 3Gb/s Level B-DL –Signals

Der Payload-Identifier im Bild 5.8.1.2.3 ist korrekt wiedergegeben, Tektronix unterstützt jedoch diesen Mode mit der verwendeten Softwareversion noch nicht deshalb die rote Farbe.

5.8.1.3 Messungen in der analogen Ebene

Die analoge Ebene entspricht der Videosignaldarstellung nach einer imaginären D/A-Wandlung.

In ihr werden Samplewerte überwacht. Die Datenworte für Videosignalpegel werden digital oder als dem Wert entsprechender Analogpegel angezeigt. Sie geben Hinweise auf Über- bzw. Unterschreitungen der maximal zulässigen Signalpegel. Indirekt ist damit auch überprüfbar, ob Flankensteilheiten in den Signalpegeln nach einer bandbegrenzten D/A-Wandlung zu Überschwingern führen können. Einige Messgerätehersteller berücksichtigen in der analogen Darstellung der Datensignale die, aus den maximal zulässigen Signalbandbreiten, entstehenden Überschwinger.

Eine besondere Form der Überwachung der Signalpegel ist die Gamut-Darstellung. Eine rechnerische Matrixierung der Y' , $C'B$, $C'R$ -Komponenten in den R' , G' , B' -Farbraum ermöglicht die Überprüfung der Legalität der dargestellten Signale. Spezielle Darstellungsformen („Arrowhead“, „Diamond“ oder Balkenanzeige) erleichtern die Überprüfung der Gültigkeit der Videosignale.

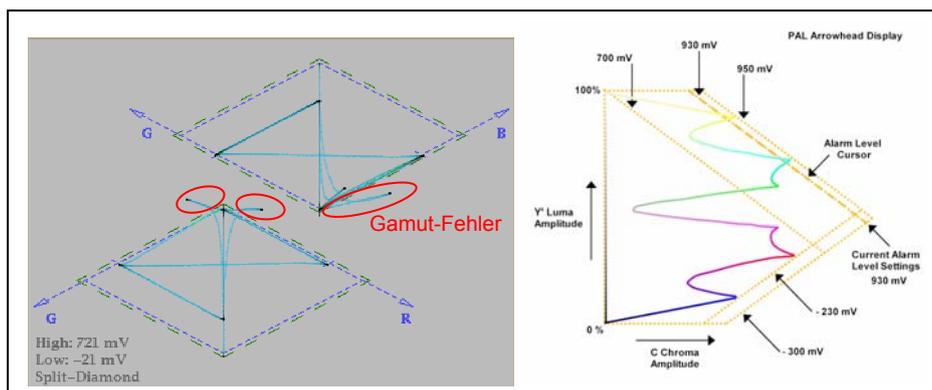


Bild 5.8.1.3.1: Diamond- (links) und Arrowhead- Darstellung

Detaillierte Informationen zu diesem Thema sind im „Handbuch der Fernsehsystemtechnik“, Kapitel 1 „Messtechnik für digitale Videosignale“ und in den „Erläuterungen zu aktuellen Themen der Fernsehsystemtechnik“ Kapitel „Farbraummanagement und illegale Farben“ zu finden.

5.8.1.4 Bildqualitätsanalyse

Es sind eine Reihe von Geräten auf dem Markt, die eine Analyse der Bildqualität ermöglichen. Die verwendeten Verfahren zur Ermittlung der Bildqualität unterscheiden sich erheblich, so dass eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur bedingt möglich ist. Dabei ist zu beachten, dass verschiedene Hersteller unter gleicher Bezeichnung unterschiedliche Verfahren verwenden. Für HDTV werden vergleichbare Verfahren wie für SDTV eingesetzt, die im Kapitel 4.8.1 ausführlich beschrieben sind.

5.8.2 Audiomessungen

Mit den gängigen HDTV-Messgeräten lassen sich auch Embedded-Audio-Signale messen. Eine Statusanzeige gibt Auskunft über alle Header-Informationen, wie z.B. „Dolby Format“, „Channel Mode“, „Sampling Frequency“, Validity-Bit etc.

Eine Aussteuerungsanzeige, idealerweise für mehrere AES-Kanäle konfigurierbar, gibt Informationen über die Belegung und die Aussteuerung der Kanäle. Die Pegelanzeige sollte umschaltbar sein zwischen dBfs, dB und VU.

Ein Konstellationsdiagramm zeigt die korrekte (gleichmäßige) Aussteuerung der Audio-Kanäle an. Es sollte konfigurierbar sein für Stereo- und Mehrkanal-Darstellungen.

Einige Messgeräte bieten die Möglichkeit, Audiosignale mittels Lautheitsmessung zu bewerten.

Für die Integrität des Dolby E-Signals bei einer weiteren Bearbeitung ist es wichtig, die Lage des Dolby E-Rahmens zum Videosignal zu ermitteln und ggf. zu korrigieren (Guard-Band-Alignment).

5.8.3 A/V-Delay-Messungen (Bild/Tonversatz)

Wegen des höheren Detailreichtums und der größeren Bildschirmdiagonale bei HDTV-Wiedergabe tritt ein fehlerhaftes Bild zu Ton Verhältnis störender in Erscheinung als bei SDTV. Aus diesem Grund ist die Ermittlung und ggf. Korrektur des Bild zu Ton Versatzes von besonderer Bedeutung.

Die dafür notwendigen Messverfahren entsprechen denen der SD-Technik und sind in den Richtlinien unter „Erläuterungen zum Bild/Tonversatz“ beschrieben.

5.8.4 Kameramesstechnik

Eine Kameramesstechnik wie sie aus der SD-Technik vom Tektronix VM 700 bekannt ist, steht zurzeit für HD nicht zur Verfügung.

5.9 Literaturhinweise / Quellenangaben

- ARD/ZDF Richtlinie 8/1.1 (Handbuch der Fernsehsystemtechnik), Kapitel 1
Messtechnik für digitale Videosignale
www.irt.de/richtlinien
- ARD/ZDF Richtlinie 8/1.1 (Handbuch der Fernsehsystemtechnik), Kapitel 4
Messtechnik für Produktionssysteme mit Datenkompression
www.irt.de/richtlinien
- ARD/ZDF Richtlinie
Erläuterungen zum Bild/Tonversatz
www.irt.de/richtlinien
- ARD/ZDF Richtlinie
TPRF
www.irt.de/richtlinien
- Tektronix
A Guide to Standard and High-Definition Digital Video Measurements
Surround Sound Monitoring and ANC Data information
www.tek.com
- Mike Waidson, Tektronix
High Definition Television
Powerpoint Präsentation (2008)
www.tek.com
- Europea Broadcasting Union (EBU)
www.ebu.ch
- Society of Motion Picture and Television Engineering
www.smpte.org

5.10 Glossar

A-Law	Digitalisierungsverfahren für Audiosignale mit Dynamikkompression gemäß ITU Empfehlung G.711
Abtastformat:	z.B. 720p50, 1080i25
AC 3:	Adaptive Transform Coder 3
AES/EBU:	Eine von der AES (Audio Engineering Society) und der EBU (European Broadcast Union) gemeinsam eingeführte digitale Audionorm.
Ancillary Daten:	Daten in der horizontalen (HANC) oder vertikalen (VANC) Austastlücke eines digitalen Videosignals.
AWG-Wert:	American Wire Gauge; Kodierung für Drahtdurchmesser.
Bildformat:	Seitenverhältnis des sichtbaren Fernsehbildes, z.B. 4:3 oder 16:9
CABAC:	Context Adaptive Binary Arithmetic Coding; verlustloses Kompressionsverfahren und Bestandteil des MPEG-4/AVC/H.264 Standards
CAVLC:	Context Adaptive Variable Length Coding. Effizientere Variante des VLC.
Chromatische Aberration:	Als Farbsäume erscheinende Fehler bei Objektiven. Sie entstehen dadurch, dass der Brechungswinkel einer Linse von der jeweiligen Wellenlänge abhängt und die Strahlen sich nicht in einer gemeinsamen Abbildungsebene treffen.
CIF	Common Intermediate Format, Videocodierungsformat für Videokonferenzen mit einer Auflösung von 352 x 288 Pixel (H261)
Compression:	Verringerung von Datenmengen ohne oder mit Qualitäts- und Datenverlust.
CRC:	Cyclic Redundancy Check. Ein Verfahren, das senderseitig aus dem Nutzsignal Codeworte (Check Words) erzeugt, die mit dem Nutzsignal übertragen werden. Empfangsseitig wird in gleicher Weise verfahren, und zugehörige Codeworte werden miteinander verglichen. CRC wird u.a. bei EDH (Error Detection and Handling, SMPTE RP 165) verwendet.
Dolby E:	Von der Firma Dolby Laboratories für den professionellen Audiobereich entwickeltes Verfahren zur Verarbeitung von bis zu 8 diskreten Audiokanälen in einem AES Kanal.
EAV:	End of Active Video. Ende der aktiven Videodaten des seriell digitalen Signales.
EBU:	European Broadcast Union
EMV:	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN:	European Norm

- Extinction Ratio: Verhältnis der optischen Leistung eines Lasers zwischen maximaler und minimaler Helligkeit.
- GOP: Group Of Pictures; Anordnung von I-, P- und B-Frames als periodisches Frame Muster in einem MPEG-Signal. Die GOP gibt den Abstand zweier I-Frames an.
- HDCP: High-bandwidth Digital Content Protection
- Interlaced: Zwischenzeilen- oder Zeilensprungverfahren; Vergleiche auch →Progressiv
- ITU: International Telecommunication Union.
- KLV: Key-Length-Value; Bitstrom aus einem Schlüssel (Key/Tabelle), Länge des zu kodierenden Datenfeldes (Length) und den Nutzdaten (Value) die durch den Key definiert sind.(SMPTE 336M)
- Letterbox: Werden 16:9 Bilder ohne Bildinhaltsverlust auf einem 4:3-Monitor geometrisch richtig dargestellt, entstehen am oberen und unteren Bildrand schwarze Streifen und man spricht von Letterbox-Darstellung. Vergleiche auch →Pillarbox
- LTC: Longitudinal Timecode.
- Metadaten: Content beschreibende Daten z.B. UMID, Titel und Timecode bei Videomaterial.
- MTF: Modulation Transfer Function. Gibt die Qualität eines Kamera-Objektivs an.
- Multiplex: Übertragung von mehreren gleichzeitig vorliegenden Daten in serieller (Zeitmultiplex) oder modulierter (Frequenzmultiplex) Form.
- OMF: Open Media Framework, Plattformunabhängiges Dateiformat für den Datenaustausch
- Pathologisches Signal: Signal, mit dem die physikalischen Eigenschaften von seriellen Eingangsstufen getestet werden können. (z.B. SDI Check Field)
- PID: Packet Identifier. Kennzeichnung eines Datenpaketes in einem Multiplex-Transportstrom.
- Pillarbox: Werden 4:3 Bilder ohne Bildinhaltsverlust auf einem 16:9-Monitor geometrisch richtig dargestellt, entstehen am linken und rechten Bildrand schwarze Streifen und man spricht von Pillarbox-Darstellung. Vergleiche auch →Letterbox
- Progressiv: Abtastung in Vollbildern. Vergleiche auch →Interlaced
- QCIF: Quarter Common Intermediate Format mit einem Viertel der Auflösung von CIF. (Windowsmedia 9, VC-1) Vergleiche auch →CIF
- Quantisierung: Umwandlung von kontinuierlichen Größen in diskrete Werte (z.b. Teil der A/D-Wandlung).

Reduktion:	Verringerung von Datenmengen
Sample:	Abtastwert; Der Momentanwert eines analogen Signals bei einer Abtastung.
SAV:	Start of Active Video. Beginn der aktiven Videodaten des seriell digitalen Signals.
sf	Segmented frames: Eine Sonderform der Abtastung von Vollbildern. Dabei werden die ungeraden und die geraden Zeilen eines progressiv abgetasteten Vollbildes (Filmabtaster, CCD-Kamera) als jeweils ein Halbbild ausgelesen. Die beiden Halbbilder stammen damit von ein und derselben Bewegungsphase.
SMPTE:	Society of Motion Picture and Television Engineers
SNMP:	Simple Network Management Protocol
Subsampling:	Unterabtastung, z.B. 4:2:2, 4:1:1
TRS:	Timing Reference Sequence. Die TRS-Worte sind die Synchronisationssignale des seriell digitalen Videosignals
UMID:	Unique Material Identifier. Internationaler Standard der SMPTE für eine Kennzeichnung von Videomaterial unabhängig von dessen Format, Länge, Speicherart oder Speicherplatz.
VBI:	Vertical Blanking Interval, vertikale Austastlücke.
VITC:	Vertical Interval Time Code, Timecode in der vertikalen Austastlücke
VLC:	Variable Length Coding (siehe Kapitel 4.2.2)