

Richtlinien

8/17

HDMI-Schnittstellen im Produktionsumfeld

Stand:
Sommer 2018

Technische Richtlinie HDMI



© Herausgeber:  IRT

Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland
Ständiges ARD-Büro
Bertramstraße 8
60320 Frankfurt/Main

Telefon (069) 59 06 07
Telefax (069) 155 20 75

E-Mail: ard-buero@ard.de

Zweites Deutsches Fernsehen
ZDF-Straße 1
55100 Mainz-Lerchenberg

Telefon (06131) 70 0
Telefax (06131) 70 12 157

E-Mail: info@zdf.de

Österreichischer Rundfunk
Würzburggasse 30

A - 1136 Wien

Telefon +43 1 87878 0
Telefax +43 1 87878 12738

E-Mail: online@orf.at

technology and production center switzerland ag
Fernsehstrasse 1-4

CH – 8052 Zürich

Telefon +41 44 305 40 00
Telefax +41 44 305 40 10

E-Mail: info@tpcag.ch

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.

Herausgegeben im Auftrag der oben genannten Rundfunkanstalten vom:

Institut für Rundfunktechnik GmbH
Entwicklungsplanung/Öffentlichkeitsarbeit
Floriansmühlstraße 60
80939 München

Telefon (089) 323 99 204
Telefax (089) 323 99 205
E-Mail: presse@irt.de

Homepage: www.irt.de

Das hier vorliegende Dokument wurde im Auftrag der AG Fernsehbetriebsleiter (AG FSBL) von der Arbeitsgruppe „Technische-Produktions-Richtlinien-Fernsehen“ (AG TPRF) erarbeitet. Es gibt den durch die AG FK-Prod im Sommer 2018 verabschiedeten Stand der Arbeiten wieder.

Ad-hoc Arbeitsgruppe des AKS (früher: ASF)

Herr	Bludau	Thomas	MDR
Herr	Crämer	Gunther	ARD-ZDF-Medienakademie
Frau	Driesnack	Dagmar	IRT
Herr	Gierlinger	Friedrich	IRT (Vorsitz)
Herr	Reitz	Jochen	RBT
Frau	Schmidt	Birgit	IRT
Herr	Schröder	Jan	ZDF

Technischen Richtlinien, Normen und Standards, auf die in diesen Richtlinien verwiesen wird, sind bei den am Ende des Dokumentes aufgeführten Bezugsquellen erhältlich.

Inhalt

1. Einleitung - Überblick	6
2. Anwendungsbereich.....	6
3. Allgemeine Bedingungen.....	7
3.1 EINSCHALTVERHALTEN	7
3.2 TEMPERATURABHÄNGIGKEIT	7
3.3 NETZSPANNUNGSABHÄNGIGKEIT	7
3.4 ELEKTRISCHE SCHUTZMAßNAHMEN	7
3.5 EMV	7
3.6 CE-KONFORMITÄT	7
3.7 DOKUMENTATION.....	8
4. Glossar	8
4.1 BEGRIFFSDEFINITIONEN.....	9
5. Grundlagen.....	10
5.1 EIGENSCHAFTEN DER VERSCHIEDENEN HDMI-VERSIONEN	10
5.2 STECKERTYPEN.....	13
5.3 KABELTYPEN.....	14
5.4 ÜBERBRÜCKBARE DISTANZEN.....	16
6. Beschreibung der HDMI-Schnittstelle	16
6.1 TMDS	17
6.1.1 <i>TMDS-Clock</i>	17
6.1.1 <i>TMDS-Daten</i>	21
6.2 EDID	23
6.2.1 <i>EDID-Problematik</i>	24
6.2.2 <i>EDID-Emulation</i>	24
6.3 HDCP.....	25
6.3.1 <i>Die drei Phasen des HDCP 1.x Protokolls</i>	26
6.3.2 <i>Maximale Größe eines HDCP-Systems (Repeater Levels)</i>	27
6.3.3 <i>HDCP – Rechtliches</i>	28
6.4 HPD – HOT PLUG DETECT.....	28

6.5	SDI \leftrightarrow HDMI WANDLUNG	29
7.	Messtechnik – Spezifikationen für HDMI	30
7.1	GRENZWERTE PHYSIKALISCHER PARAMETER	31
7.1.1	<i>Eigenschaften der Quelle (source)</i>	32
7.1.2	<i>Eigenschaften der Senke (sink)</i>	33
7.1.3	<i>Eigenschaften der Kabel</i>	35
7.1.4	<i>Spannungsversorgung</i>	36
7.1.5	<i>Hot Plug Signal</i>	36
7.2	MESSERGEBNISSE	37
7.3	MESSUNGEN AUF DER DATENEBENE	37
8.	Mindestanforderung an HDMI-Schnittstellen im Studio	38
9.	Normen und Standards	39
9.1	HDMI	39
9.2	EBU	39
9.3	ITU	39
9.4	SMPTE	40
9.5	CONSUMER TECHNOLOGY ASSOCIATION.....	40
	Anhang: Videoformate – Kabeltypen	42
	Anhang: Berechnungen.....	44
	Anhang: Beispiele von Messaufbauten	48
	MESSAUFBAU MIT OSZILLOSKOPEN.....	48
	MESSAUFBAU MIT HDMI-MESSSYSTEMEN.....	49
	MESSAUFBAU FÜR LOGISCHE HDMI-MESSUNGEN	49
	Bezugsquellen	50

1. Einleitung - Überblick

Das High Definition Multimedia Interface (HDMI™) ist eine Schnittstelle zur Übertragung von Audio- und Videodaten zwischen (Consumer-) Geräten in der Unterhaltungselektronik.

HDMI ist keine professionelle Schnittstelle, der Einsatzbereich liegt hauptsächlich in der Ansteuerung von Consumer-A/V-Geräten. Über diese Schnittstelle können Audio-, Video-, und Steuerungsdaten sowie Statusinformationen zwischen Geräten übertragen werden.

Gemäß HDMI Spezifikationen sollen HDMI-Quellen über einen passiven Adapter mit Senken gemäß DVI-D 1.0 kompatibel sein. In dieser Richtlinie wird auf die DVI-Schnittstelle nicht weiter eingegangen.

Neben HDMI gibt es noch eine Reihe von ähnlichen Multimediaschnittstellen wie MHL, Display Port, Thunderbolt, usw. auf die hier aber ebenfalls nicht weiter eingegangen wird.

Wegen der bidirektionalen Kommunikation während des Handshakes zwischen zwei HDMI-Anschlüssen, der die Übertragungsparameter der Quelle und Senke aushandelt, kann nicht sichergestellt werden, dass das eigentlich gewünschte Produktionsformat übertragen wird. Zusätzlich ist die überbrückbare Distanz zwischen zwei Koppelpunkten nur auf kurze, für Heimanwendungen benötigte Strecken ausgelegt. Auch der optional genutzte Kopierschutz (HDCP) stellt in vielen Fällen eine Fehlerquelle dar. Aus diesen Gründen sollte der Einsatz von HDMI im Broadcast-Umfeld gut überlegt sein.

Das nachfolgende Dokument beschreibt die Eigenschaften der HDMI-Schnittstelle und die in der professionellen Broadcastumgebung damit verbunden Einschränkungen.

2. Anwendungsbereich

Obwohl HDMI eine Consumer-Schnittstelle ist, hält diese Schnittstelle zunehmend Einzug in die professionelle Broadcastumgebung.

HDMI wird dabei hauptsächlich am Anfang (z.B. Einspielen von Content aus der Consumer- in die professionelle Broadcastumgebung) bzw. am Ende (z.B. Darstellung von Inhalten auf Consumer-Displays) der professionellen Produktionskette eingesetzt. HDMI und SDI-Welt sind grundsätzlich unterschiedliche Systeme mit unterschiedlichen Signalparametern und Signaltoleranzen. Daher kann es bei der Wandlung zwischen HDMI und SDI zu Problemen kommen.

Ein genereller Einsatz innerhalb der professionellen Produktionskette ist derzeit nicht empfehlenswert!

3. Allgemeine Bedingungen

Die in diesen Richtlinien enthaltenen Messwerte werden, soweit nicht anders festgelegt, gem. Handbuch der Fernsehsystemtechnik gemessen.

3.1 Einschaltverhalten

- a) Die HDMI-Schnittstelle muss sich innerhalb einer Einlaufzeit von maximal 1 Minute nach dem Einschalten im normalen Betriebszustand befinden.
- b) Eine betriebsbereite HDMI-Schnittstelle muss nach einer Netz- oder Signalunterbrechung nach 20 s wieder stabil betriebsbereit sein.

3.2 Temperaturabhängigkeit

Der Temperaturbereich und die relative Luftfeuchtigkeit, in denen die Geräte betrieben werden, müssen der Gerätespezifikation entsprechen.

In einem Umgebungstemperaturbereich von + 5 °C bis + 45 °C müssen die Grenzwerte dieser Richtlinie eingehalten werden, sofern nicht andere zu berücksichtigende Richtlinien (z.B. Kamerarichtlinie) einen größeren Temperaturbereich fordern (Weiteres, siehe Pflichtenheft 3/1—8/2).

3.3 Netzspannungsabhängigkeit

Bei Netzspannungsänderungen von + 5% / - 10% des Nennwertes müssen die in dieser Richtlinie geforderten Grenzwerte einhalten. Bei Netzspannungsschößen von $\pm 10\%$ des Nennwertes muss die einwandfreie Funktion gewährleistet sein.

3.4 Elektrische Schutzmaßnahmen

Die elektrischen Schutzmaßnahmen sind nach VBG4 § 5 zu prüfen, dabei sind Grenzwerte und Vorgaben der VDE-Richtlinie 0805 einzuhalten.

3.5 EMV

Die Grenzwerte nach der Norm DIN EN 55103 "EMV-Produktfamilienorm für Audio-, Video- und audiovisuelle Einrichtungen sowie für Studio-Lichtsteuereinrichtungen für professionellen Einsatz", Teil 1 und 2, sind einzuhalten:

- DIN EN 55 103-1: Grenzwerte und Verfahren für die Störaussendung DIN EN 55 103-2: Anforderungen an die Störfestigkeit
- Das Einhalten der EMV-Grenzwerte ist erst dann gegeben, wenn im gesamten Bereich der EMV-Prüfung die übertragungstechnischen Parameter dieser Richtlinie erfüllt werden.

3.6 CE-Konformität

Die Geräte müssen CE-konform sein, mit dem CE-Zeichen versehen sein und mit einer CE-Konformitätserklärung ausgeliefert werden.

3.7 Dokumentation

Datenblatt und Bedienungsanleitung sind mitzuliefern.

4. Glossar

AACS	Advanced Access Content System
ARC	Audio return channel
AV	Audio / Video
CE	Consumer electronics
CEC	Consumer electronics control
CPRM	Content Protection for Recordable Media
CSS	Content Scramble System
CTL	Control
CTS	Cyclic Time Stamp
CVT	Coordinated Video Timings (timing mode)
DDC	Display Data Channel
DTS	Digital Theatre Sound
DVD	Digital Versatile Disc
DVI	Digital Visual Interface
EDID	Extended Display Identification Data
E-DDC	Enhanced Display Data Channel
FRL	Fixed Rate Link
Gbps	Gigabits per second
Gcsc	Giga Characters per Second per Channel
GTF	General Timing Formula
HD	High Definition
HDTV	High Definition Television
HDCP	High Bandwidth Digital Content Protection
HDMI	High Definition Multimedia Interface
HEAC	HDMI Ethernet and Audio Return Channel
HEC	HDMI Ethernet Channel
HPD	Hot Plug Detection
HSYNC	Horizontal Synchronisation
IEC	International Electrotechnical Commission
LFSR	Linear Feedback Shift Register
L-PCM	Linear Pulse Code Modulation
MPEG	Moving Picture Experts Group
Mcsc	Mega Characters per Second per Channel
PCM	Pulse Code Modulation

RGB	Red (R), Green (G), Blue (B)
SACD	Super Audio Compact Disc
SCL	Serial Clock
SD	Standard Definition (Television)
SDA	Serial Data
SDTV	Standard Definition Television
S/PDIF	Sony/Philips Digital Interface
TERC4	TMDS Error Reduction Coding 4Bit
TMDS	Transition Minimized Differential Signalling
UHDTV	Ultra High-Definition Television
VESA	Video Electronics Standards Association
VESA DSC	VESA Display Stream Compression
VSYNC	Vertical Synchronization
YCbCr	Luma (Y), Chroma (Cb, Cr) Components

4.1 Begriffsdefinitionen

„Limited Range“ bzw. „Full Range“ gemäß HDMI-Spezifikation:

Colour Component	Component Bit Depth	For Full Range		For Limited Range		
		Black Level	Nominal Peak (White Level)	Black Level	Nominal Peak (White Level)	Valid Range
R / G / B	8	0	255	16	235	1 to 254
R / G / B	10	0	1023	64	940	4 to 1019
R / G / B	12	0	4095	256	3760	16 to 4079
R / G / B	16	0	65535	4096	60160	256 to 65279

Colour Component	Component Bit Depth	For Full Range		For Limited Range		
		Black Level	Nominal Peak (White Level)	Black Level	Nominal Peak (White Level)	Valid Range
Y	8	0	255	16	235	1 to 254
C _B / C _R		128	0 and 255	128	16 and 240	
Y	10	0	1023	64	940	4 to 1019
C _B / C _R		512	10 and 1023	512	64 and 960	
Y	12	0	4095	256	3760	16 to 4079
C _B / C _R		2048	0 and 4095	2048	256 and 3840	
Y	16	0	65535	4096	60160	256 to 65279
C _B / C _R		32768	0 and 65535	32768	4096 and 61140	

Tabelle 1: Definition der „Full Range“ und „Limited Range“ Aussteuerungsbereiche

5. Grundlagen

Das High Definition Multimedia Interface wurde 2003 von den „HDMI-Gründern“ Sony, Hitachi, Technicolor (Thomson/RCA), Philips, Matsushita (Panasonic), Toshiba und Silicon Image entwickelt. Der Standard wurde abwärtskompatibel zu DVI-D spezifiziert.

Die HDMI-Schnittstelle wurde im Dezember 2002 mit der Version HDMI 1.0 als Ersatz für die analoge SCART-Schnittstelle in den Markt für den Heimnutzer eingeführt und wurde in mehreren Zwischenschritten bis zur derzeitigen Version 2.1 erweitert (2017). Die Daten zu den Versionen findet man im Kapitel 5.1. Alle HDMI-Versionen sind vollständig rückwärtskompatibel zu allen früheren Versionen sofern sich die Quelle mit einer höheren Version auf die Version der Senke einstellen kann.

Die HDMI-Spezifikationen sind offiziell nur nach einer Mitgliedschaft im HDMI-Konsortium als sogenannter „Adopter“ erhältlich. Die in diesem Dokument genannten Werte stammen aus der frei verfügbaren HDMI-Spezifikation 1.3 und von verschiedenen Angaben aus dem Internet, sowie aus offiziell veröffentlichten Dokumenten von Herstellern und wurden von HDMI-Messgeräteherstellern verifiziert.

5.1 Eigenschaften der verschiedenen HDMI-Versionen

Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Eigenschaften und Neuerungen der verschiedenen HDMI-Versionen. Es werden jeweils nur die Neuerungen gegenüber der Vorgängerversion aufgeführt:

HDMI-Version	Veröffentlichung	Max. Taktfrequenz ¹	Max. Videoformate	Tonformate	Farbformate	Stecker-typen
1.0	12/2002	165 MHz	1080p/60	8 PCM, Dolby Digital, DTS, MPEG	24 bit RGB, 36 bit YCbCr	Typ A
1.1	05/2004			DVD-Audio	sRGB, ITU-R BT.601 und ITU-R BT.709	Typ A, Typ B
1.2	08/2005			SACD		
1.2 a	12/2005					
1.3	06/2006	340 MHz	2160p/25/30 (UHD-1) 2160p/24 (4K) 1080p/24 (3D, frame packing) ²	Dolby Digital Plus, TrueHD, dts-HD	Deep Color RGB und YCbCr (30, 36 und 48 bit), xvYCC-Farbraum (61966-2-4)	Typ A, Typ C (Mini-HDMI)
1.3 a/b/b1/c	11/2006 03/2007 11/2007 08/2008					
1.4	05/2009				sYCC601, Adobe RGB, AdobeYCC601	Typ A, Typ C (Mini-HDMI), Typ D (Micro-HDMI)
1.4 a	03/2010	2160p/25/30 (UHD-1) 2160p/24 (4K)				

¹ Angaben zur Datenrate siehe Kapitel 6.1.1 TMDs Clock

² 3D Optionen der HDMI-Versionen ab Version 1.4 werden derzeit im Studiobetrieb nicht verwendet.

			1080p/24 (3D, frame packing, top-and-bottom) 1080i/25/30 (3D, side by side)			
1.4 b	10/2011		2160p/25/30 (UHD-1) 2160p/24 (4K) 1080p/60 (120Hz total) (3D, frame packing)			
2.0	09/2013	600 MHz	2160p/50/60 @4:2:2 1080p/60 (3D, top-and-bottom)	8 Kanäle PCM bei max. 196 kHz bis Max. 32 Kanäle PCM bei 48 kHz	ITU-R BT.2020	
2.0a	04/2015				Static Metadata for High Dynamic Range (CEA-861.3) SMPTE ST 2084 (HDR10)	
2.0b	12/2016				Static Metadata for High Dynamic Range (CTA-861-G) ITU-R BT.2100 (HLG)	
2.1	11/2017	8b/10b TMDS-Kodierung → 3 Lanes → 600 MHz 16b/18b FRL ³ -Kodierung → 4 Lanes → 1200 MHz (4. Lane als „Videolane“, Clock embedded)	2160p/50/60/100/120 @4:4:4 bis 12bit 4320p/50/60 @4:4:4 bis 12bit 4320p/100/120 @4:2:2 bis 10bit & Display Stream Compression (DSC) 10K 50/60/100/120 nur mit Display Stream Compression (DSC)	eARC (enhanced Audio return channel) Beinhaltet objektbasiertes Audio und bis zu 32 PCM-Kanäle	High Dynamic Range Dynamic Metadata for HDR Variable Refresh Rate Quick Media Switching	

³ FRL – Fixed Rate Lane, 2 Konfigurationen möglich: 3 Lane – 4. Lane ist unbenutzt, 4 Lanes – 4. Lane fungiert als „Videolane“, 16b/18b wird verwendet

Kompatibilitätsmatrix zu den HDMI-Versionen:

HDMI Version	1.0	1.1	1.2 1.2a	1.3 1.3a 1.3b 1.3b1 1.3c	1.4 1.4a 1.4b	2.0 2.0a 2.0b	2.1
8-Kanal-LPCM, 192 kHz, 24-bit Audiofähigkeit	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Blu-ray Disc und HD DVD Video und Audio in voller Auflösung	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Consumer Electronics Control (CEC)	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
DVD-Audio-Unterstützung	NEIN	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Super Audio CD-Unterstützung (DSD)	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA	JA
CEC Eigenschaften komplett spezifiziert	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA	JA
Deep Color (> 24-bit-Farbtiefe)	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
x.v.Color (IEC 61966-2-4 xvYCC)	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
Auto Lip-S	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
Dolby TrueHD und DTS-HD Master Audio	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
3D über HDMI (dual-stream 1080p @ 24Hz)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
HDMI Ethernet Kanal	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
Audio return channel (ARC)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
4K Auflösung @ 30 Hz	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
1920 x 1080p @ 100/120 Hz	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
3D 1920 x 1080p @ 50/60 Hz	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
3D HFR Unterstützung (1920 x 1080p @ 100/120 Hz)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
4K @ 50/60 Hz (2160p)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
erweiterter Farbraum IEC 61966-2-4	NEIN	NEI	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
YCbCr 4:2:0	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
32 Kanal Audio Unterstützung	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
1536 kHz Audio Unterstützung	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
21:9 Bildseitenverhältnis	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
4 Audio-Streams	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
2 Video-Ströme (Dual View)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
Static Metadata for HDR	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
Dynamtic Metadata for HDR	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA
Enhanced Audio Return (eARC)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA
Variable Refresh Rate (VRR)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA
Quick Media Switching (QMS)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA
Quick Frame Transport (QFT)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA
Audio Low Latency Mode (ALLM)	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA
VESA DSC 1.2a	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA
Farbraum							
SD: ITU-R Rec. BT.601 (YCbCr)	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
HD: ITU-R Rec. 709-5 (sRGB)	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
xvYCC	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	JA
sYCC601	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
Adobe YCC601	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
Adobe RGB	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
ITU-R BT.2020	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
erweiterter Farbraum IEC 61966-2-4	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA
Farbcodierung							
RGB 4:4:4	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
YCbCr 4:4:4	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
YCbCr 4:2:2	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
YCbCr 4:2:0 (4K signals only)	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA	

5.2 Steckertypen

Im Broadcast-Umfeld sind die HDMI-Typen A (Full Size), C (Mini-HDMI) und D (Micro-HDMI) in Verwendung (Single Link, 19 pol.). Der Stecker Typ B (29 pol.) ist für Dual Link-Verbindungen definiert, der Type E (19 pol., Automotive) ist für die Automobilindustrie entwickelt worden.

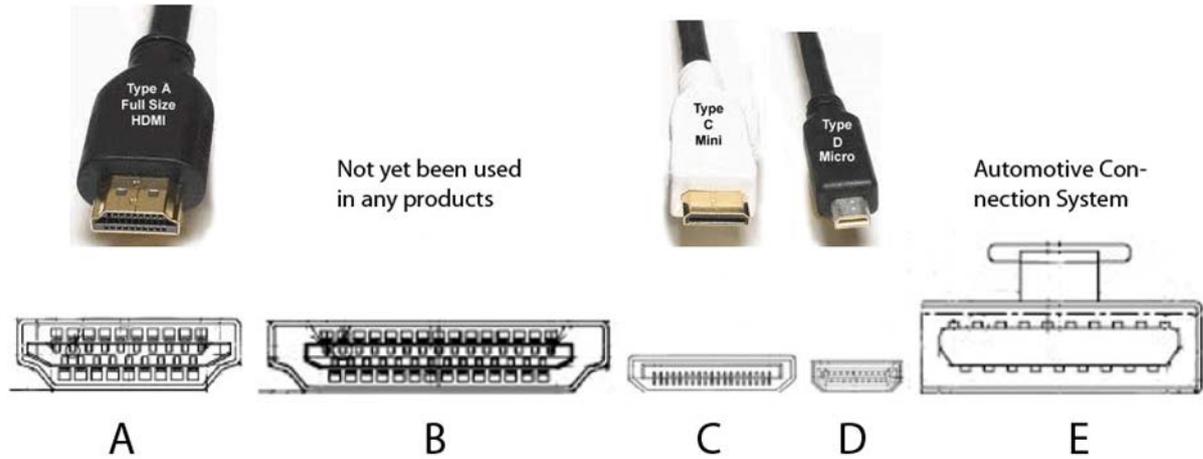


Abbildung 1: HDMI-Steckervarianten

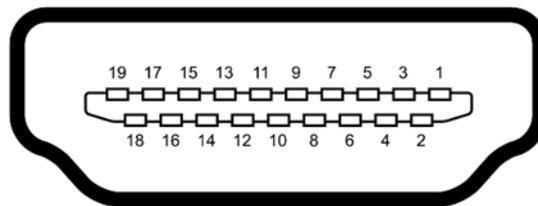


Abbildung 2: Kontaktbelegung beim 19-poligen Stecker

Steckertyp			Signal	Steckertyp			Signal
A & E	C	D		A & E	C	D	
Pin 1	Pin 2	Pin 3	TMDS Data2+	Pin 11	Pin 10	Pin 13	TMDS Clock Schirm
Pin 2	Pin 1	Pin 4	TMDS Data2 Schirm	Pin 12	Pin 12	Pin 14	TMDS Clock-
Pin 3	Pin 3	Pin 5	TMDS Data2-	Pin 13	Pin 14	Pin 15	CEC
Pin 4	Pin 5	Pin 6	TMDS Data1+	Pin 14	Pin 17	Pin 2	Utility-Line: reserviert (HDMI 1.0-1.3), HEAC Data+ (HDMI 1.4)
Pin 5	Pin 4	Pin 7	TMDS Data1 Schirm	Pin 15	Pin 15	Pin 17	SCL (I ² C serieller Takt für DDC)
Pin 6	Pin 6	Pin 8	TMDS Data1-	Pin 16	Pin 16	Pin 18	SDA (I ² C serielle Datenleitung für DDC)
Pin 7	Pin 8	Pin 9	TMDS Data0+	Pin 17	Pin 13	Pin 16	DDC / CEC - Masse HEAC-Schirm
Pin 8	Pin 7	Pin 10	TMDS Data0 Schirm	Pin 18	Pin 18	Pin 19	+5 V Versorgungsspannung (max. 55 mA)
Pin 9	Pin 9	Pin 11	TMDS Data0-	Pin 19	Pin 19	Pin 1	Hot-Plug-Erkennung (alle Versionen), HEAC Data- (HDMI 1.4)
Pin 10	Pin 11	Pin 12	TMDS Clock+				

5.3 Kabeltypen

HDMI-Kabel werden in drei Kategorien eingeteilt:

„Marketingname“	Bezeichnung gemäß HDMI-Spezifikation	Logo	Max. TMDS-Taktfrequenz
Standard	Category 1	Gelb	74,25 Mcsc
High Speed	Category 2	Blau	340 Mcsc
Premium High Speed	nicht spezifiziert	Gold + QR	600 Mcsc
Ultra High Speed	Category 3	unbekannt	1,8 Gcsc

Darüber hinaus kann das Kabel mit oder ohne Ethernet-Verbindung ausgeführt sein. Mit den unterschiedlichen Stecker- und Kabeltypen ergeben sich folgende Varianten:



Standard HDMI Kabel

Das Standard HDMI Kabel wurde für Heimanwendungen entwickelt, um 1080i- oder 720p-Video zuverlässig zu übertragen.



Standard HDMI Kabel mit Ethernet

Dieser Kabeltyp hat die gleichen Grundeigenschaften wie das Standard HDMI Kabel, erweitert um einen zusätzlichen Ethernet-Kanal HEAC (HDMI Ethernet Audio Return Channel). Die HDMI Ethernet Kanal Funktion ist erst ab der HDMI-Version 1.4 verfügbar.



Standard Automotive HDMI Kabel

Dieses Kabel ist sowohl bezüglich Kabelcharakteristik als auch des Steckertyps (Typ E) speziell für die raue Umgebung im Automobil ausgelegt.



High Speed HDMI Kabel

Das High Speed HDMI Kabel mit besseren hochfrequenztechnischen Eigenschaften wurde entwickelt, um besser Auflösungen von 1080p und höher übertragen zu können.



High Speed HDMI Kabel with Ethernet

Dieser Kabeltyp hat die gleichen Grundeigenschaften wie das High Speed HDMI Kabel, erweitert um einen zusätzlichen Ethernet-Kanal HEAC (HDMI Ethernet Audio Return Channel). Die HDMI Ethernet Funktion ist erst ab der HDMI-Version 1.4 verfügbar.



Premium High Speed HDMI Kabel (mit/ohne Ethernet)

Dieser Kabeltyp entspricht dem High Speed HDMI-Kabel wurde aber zusätzlich mit 18 Gb/s zertifiziert.



Ultra High Speed HDMI Kabel

Das Ultra High Speed HDMI Kabel hat noch besseren hochfrequenztechnischen Eigenschaften, um Datenraten bis 48Gbit/s übertragen zu können. Es ist abwärtskompatibel zu früheren Kabeltypen und verwendet die existierenden Steckertypen A, C und D

HDMI-Kabel sind als einfache Kabel, als Kabel mit passiven Bauteilen oder als Kabel mit integrierten Repeatern bzw. Equalizern erhältlich.

Zusätzlich kann ein HDMI-Signal bis zur Version 1.4b auch über den Steckertyp USB-C übertragen werden. Diese Verfahren ist vom HDMI-Licensing unter „HDMI Alt Mode for USB Type-C Connector Specification“ beschrieben. Im Anhang: Videoformate – Kabeltypen sind beispielhaft die verschiedenen Videoformate und die entsprechenden Kabeltypen aufgeführt.

5.4 Überbrückbare Distanzen

HDMI spezifiziert nur die Eigenschaften der Kabel nicht aber Kabellängen. Praktische Erfahrungen mit Datenraten bis zu 3,4 Gbit/s pro Kanal bzw. einer Pixelclock-Frequenz von 340 MHz, haben gezeigt, dass *passive* Kabel bis zu 10 m Länge nutzbar sind (siehe HDMI.org, FAQ). Am Markt sind auch *aktive* Kabel erhältlich, die mit Zwischenverstärkern im Kabel ausgerüstet sind und die möglicherweise *nicht* visuell von den passiven Kabeln unterschieden werden können. Daneben gibt es auch andere Lösungen (z.B. optische, drahtlose oder drahtgebundene Netzwerke), die wesentlich größere Distanzen ermöglichen.

6. Beschreibung der HDMI-Schnittstelle

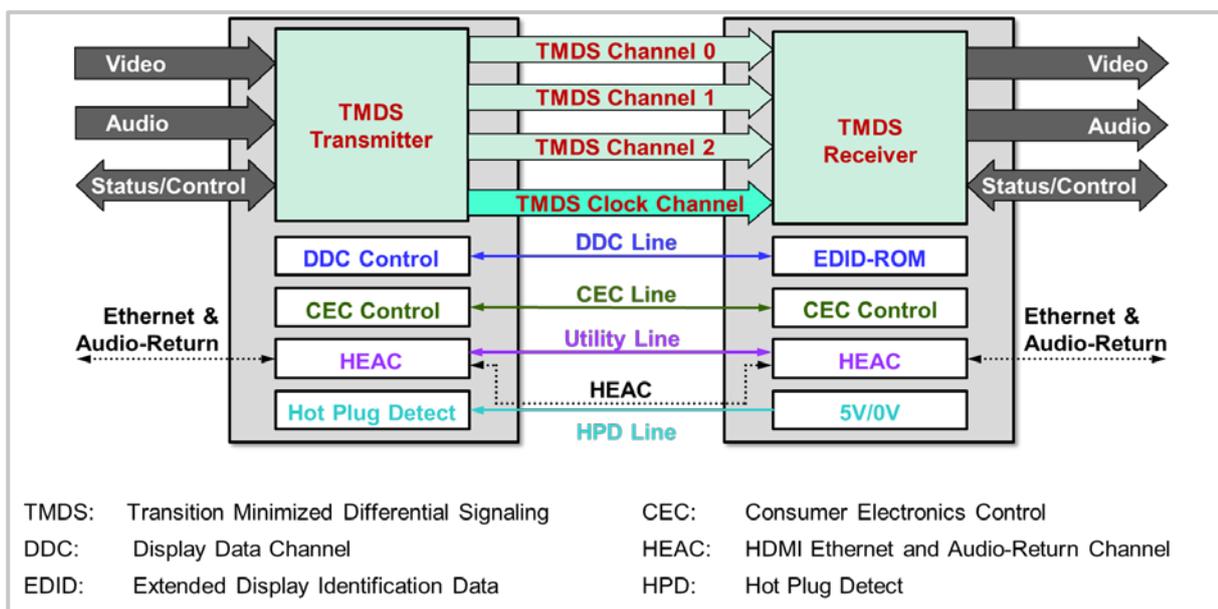


Abbildung 3: HDMI-Blockschaltbild bis HDMI Version 2.0

HDMI beinhaltet vier separate Kommunikationsebenen: TMDs, DDC, CEC und HEAC.

TMDs wird genutzt, um Audio- und Videodaten sowie Zusatzdaten inklusive Auxiliary Video Information- und Audio-InfoFrames, die den aktiven Audio- und Videostrom beschreiben, zu übertragen.

Der DDC-Kanal wird von einer HDMI-Quelle benutzt, um die Leistungsfähigkeit und die Eigenschaften einer Senke durch Auslesen der Enhanced-Extended Display Identification Data (E-EDID) Datenstruktur zu bestimmen.

Von HDMI-Quellen wird erwartet, dass sie die E-EDID der Senke ausliest und nur die Audio- und Videoformate übermittelt, die von der Senke unterstützt werden. Zusätzlich wird von HDMI-Senken erwartet, dass sie InfoFrames detektieren, um die empfangenen Audio- und Videodaten geeignet zu verarbeiten.

Der CEC-Kanal wird optional für übergeordnete Benutzerfunktionen wie automatische Setups oder Aufgaben, die typischerweise mit einer Nutzung der Infrarot-Fernbedienung zu tun haben, genutzt.

Die Kommunikationsebene HEAC wird optional als bidirektionaler Hochgeschwindigkeits-Datenkanal, basierend auf 100Base-TX genutzt und beinhaltet einen Audio-Rück-Kanal (Audio-Return-Channel).

6.1 TMDS

TMDS (Transition **M**inimized **D**ifferential **S**ignaling) ist eine von Silicon Image Inc. entwickelte Technologie, die als maßgebliche Grundlage sowohl für den DVI- als auch für den HDMI-Standard dient. Die TMDS-Codierung wurde für serielle Datenübertragung über (kurze) Kupfer-Kabel entwickelt. Dabei ist das Verfahren auf eine stabile Takt- und Datenrückgewinnung (High-Skew-Tolerance) mit hoher Toleranz gegenüber elektromagnetischen Interferenzen (EMI) optimiert. Die Signalübertragung erfolgt auf vier Twisted-Pair Kabeln, symmetrisch (differenziell), DC-gekoppelt und mit max. 3,3 Volt DC-Offset. TMDS nutzt eine 8b/10b Kodierung, um die Pegelübergänge (Transitions) zu reduzieren und den Gleichspannungsanteil zu reduzieren.

Die Übertragung der Video- und Audiodaten findet auf drei TMDS-Kanälen statt, auf denen auch die höchsten Datenraten im HDMI-Übertragungssystem auftreten. Daher bestimmen diese drei Kanäle die Leistungsfähigkeit der HDMI Strecke. Auf dem vierten TMDS-Kanal, dem „TMDS Clock Channel“, wird der Takt übertragen, der bis HDMI 2.0 einem Zehntel und ab HDMI 2.0 einem vierzigstel der Bitrate eines der anderen drei TMDS-Kanäle beträgt (siehe Tabelle 2). Ab der HDMI-Version 2.1 wird eine FRL-Übertragung neu eingeführt. Zusätzlich kann der bisher als Clock genutzte TMDS-Kanal als vierter Kanal (4. Lane) als „Videokanal“ genutzt werden. Dazu wird eine 16b/18b-Leitungskodierung angewandt. Die TMDS-Clock wird embedded übertragen.

6.1.1 TMDS-Clock

Bei HDMI wird der Takt über eine separate Twisted-Pair-Leitung (TMDS Clock-Channel) übertragen. Für jeweils 10 Bit eines TMDS-Datenwortes (character) auf den drei TMDS-Kanälen wird ein Taktimpuls ausgegeben. Die maximale Taktfrequenz ist von der HDMI-Version abhängig. Die tatsächliche Taktfrequenz hängt dagegen von dem zu übertragenden Bildformat ab. Es werden nur die jeweiligen Neuerungen in der Tabelle aufgeführt.

HDMI-Version	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	2.0/a/b	2.1
max. TMDS-Taktrate (TMDS character rate ⁴)	165 Mcsc	165 Mcsc	165 Mcsc	340 Mcsc	340 Mcsc	600 Mcsc	1,8 Gcsc
max. TMDS-Takfrequenz (TMDS clock frequency ⁵)	165 MHz	165 MHz	165 MHz	340 MHz	340 MHz	150 MHz ⁶	FRL-Mode (=embedded Clock)
max. Bitrate/TMDS-Kanal ⁷	1,65 Gbit/s	1,65 Gbit/s	1,65 Gbit/s	3,40 Gbit/s	3,4 Gbit/s	6 Gbit/s	12 Gbit/s ⁸
max. Bitrate/TMDS-Link ⁹	4,95Gbit/s (165 Mcsc x 10bit x 3)	4,95Gbit/s (165 Mcsc x 10bit x 3)	4,95Gbit/s (165 Mcsc x 10bit x 3)	10,2Gbit/s (340 Mcsc x 10bit x 3)	10,2Gbit/s (340 Mcsc x 10bit x 3)	18,0Gbit/s (600 Mcsc x 10bit x 3)	48,0Gbit/s (600 Mcsc x 10bit x 4)

Tabelle 2: Maximale Takt- und Bitraten bei den unterschiedlichen HDMI-Versionen ¹⁰

In den nun folgenden Tabellen sind beispielhaft die für die europäischen Rundfunkanstalten aktuell genutzten oder zukünftig in Betracht kommenden Videoformate aufgelistet.

⁴ Taktrate, bei der 10-bit TMDS-character pro Datenkanal eines TMDS-Links übertragen werden. Diese Rate wird in Mega-characters/second/channel (Mcsc) ausgedrückt. (≈ MHz)

⁵ Taktrate des Clock-Kanals auf dem HDMI-Kabel. Für eine TMDS Character Rate ≤ 340 Mcsc entspricht sie der TMDS Character Rate (1* TMDS Character Rate). Für eine TMDS-Character Rate > 340 Mcsc ist die TMDS Clock Frequency 0,25 * TMDS Characer Rat

⁶ Taktrate des Clock-Kanals auf dem HDMI-Kabel. Für eine TMDS Character Rate ≤ 340 Mcsc entspricht sie der TMDS Character Rate (1* TMDS Character Rate). Für eine TMDS-Character Rate > 340 Mcsc ist die TMDS Clock Frequency 0,25 * TMDS Characer Rate

⁷ Es ist die Gesamtdatenrate, nicht die Nutzdatenrate angegeben. Die Nutzdatenrate ist bei HDMI wegen des verwendeten 8b/10b-Leitungscode um exakt 25% geringer

⁸ FRL-Mode, 16b/18b-Leitungscode auf 4 Kanälen

⁹ Bei 3 Kanälen (TMDS-Link) und mit dem 8b/10b-Leitungscode

¹⁰ Ein Stecker vom Typ A, C oder D hat 3 TMDS-Kanäle, ein Stecker vom Typ B hat 6 TMDS-Kanäle, wird aber derzeit in keinem Produkt eingesetzt. In der Tabelle werden daher jeweils nur drei Kanäle berücksichtigt.

	576i/25	1080i/25	1080p/25	720p/50	1080p/50
Pixel-Taktfrequenz (Pixel clock rate)	27 MHz	74,25 MHz	74,25 MHz	74,25 MHz	148,50 MHz
Bildformat (4:2:2)	Achtung! Im 4:2:2-Modus überträgt HDMI immer 12 Bit (der Rest wird ggf. mit Nullen gefüllt)!				
Bitrate für den TMDS-Link	0,405 Gbit/s	2,2275 Gbit/s	2,2275 Gbit/s	2,2275 Gbit/s	4,455 Gbit/s
TMDS-Taktfrequenz (TMDS character rate) TMDS character rate = 1 * pixel clock rate	27 MHz	74,25 MHz	74,25 MHz	74,25 MHz	148,50 MHz
Bildformat (4:4:4) (10 Bit Quantisierung)	Deep Color Mode				
Bitrate für den TMDS-Link	0,51 Gbit/s	2,78 Gbit/s	2,78 Gbit/s	2,78 Gbit/s	5,57 Gbit/s
TMDS-Taktfrequenz (TMDS character rate) Bei 10 Bit ist TMDS character rate = 1,25 * pixel clock rate ¹¹	33,75 MHz	92,81 MHz	92,81 MHz	92,81 MHz	185,63 MHz

Tabelle 3. Bitraten und Taktfrequenzen bei verschiedenen Bildformaten bis 1080p/50

Welche Taktfrequenz im jeweiligen Fall anliegt kann dem *AVI Info Frame* des HDMI-Signals entnommen werden:

¹¹ Für RGB 4:4:4 und für YCBCR 4:4:4:

24 bit mode: TMDS clock = 1.0 x pixel clock (1:1)

30 bit mode: TMDS clock = 1.25 x pixel clock (5:4)

36 bit mode: TMDS clock = 1.5 x pixel clock (3:2)

48 bit mode: TMDS clock = 2.0 x pixel clock (2:1)

	2160p/25	2160p/50 (ab v2.0)	2160p/100 (ab v2.1)
Pixel-Taktfrequenz (Pixel clock rate)	297 MHz	594 MHz	1188 MHz
Bildformat (4:2:2)	Achtung! Im 4:2:2-Modus überträgt HDMI immer 12 Bit (der Rest wird ggf. mit Nullen gefüllt)!		
Bitrate für den TMDS-Link	8,91 Gbit/s	17,82 Gbit/s	
TMDS-Taktfrequenz (TMDS character rate) TMDS character rate = 1 * pixel clock rate	297 MHz	594 MHz	1188 MHz
Bildformat (4:4:4) (10 Bit Quantisierung)	Deep Color Mode		
Bitrate für den TMDS-Link			
TMDS-Taktfrequenz (TMDS character rate) Bei 10 Bit ist TMDS character rate = 1,25 * pixel clock rate ¹²	371,25 MHz	742,5 MHz	1485 MHz

Tabelle 4 Bitraten und Taktfrequenzen bei verschiedenen Bildformaten bis 2160p/100

¹² Für RGB 4:4:4 und für YCBCR 4:4:4:

24 bit mode: TMDS clock = 1.0 x pixel clock (1:1)

30 bit mode: TMDS clock = 1.25 x pixel clock (5:4)

36 bit mode: TMDS clock = 1.5 x pixel clock (3:2)

48 bit mode: TMDS clock = 2.0 x pixel clock (2:1)

6.1.1 TMDS-Daten

Die Datenrate der TMDS-Kanäle resultiert aus der gewählten Video-Auflösung (aktives Video & Austastlücken), der Bildwiederholrate, der Quantisierung (Farbtiefe) und der Kanalcodierung (8b/10b).

$$\begin{aligned} \text{Datenrate der drei TMDS Kanäle} \\ &= \text{Pixel} * \text{Zeilen} * \text{Bildwiederholrate} * \text{Farbtiefe} \\ &* \text{Faktor Farbunterabtastung} * \text{Faktor Leitungscodierung} \end{aligned}$$

mit:

- *Pixel => Luminanz-Abtastwerte der gesamten Zeile (Aktive Pixel + Austastlücke (HANC))*¹³
- *Zeilen => Zeilen pro Frame (Aktive Zeile + Austastlücke (VANC))*¹⁴
- *Bildwiederholrate => Anzahl der Vollbilder pro Sekunde (Vollbildfrequenz)*
- *Farbtiefe => Quantisierungsstufen für die drei Farbkanäle (bei HDMI spezifiziert: 24bit, 30bit, 36bit oder 48bit)*¹⁵
- *Faktor Farbunterabtastung => Für 4:4:4 ist der Faktor = 1, bei 4:2:2 ist der Faktor = 2/3, bei 4:2:0 ist der Faktor 1/2*
- *Faktor Leitungscodierung => 10/8 (wegen des 8b/10b-Leitungscodes)*

Signale im Format YC_BC_R 4:2:2 werden in den TMDS-Kanälen immer mit 12bit übertragen. Bis einschließlich HDMI-Standard 1.3 waren nur Farbtiefen von 8bit zulässig.

Die im Rundfunkbereich verwendete Farbunterabtastung (4:2:2) mit einer Quantisierung von 10bit/Sample ist erst ab HDMI-Standard 1.4 zulässig. Werden weniger als 12bit/Sample genutzt, müssen die niedrigwertigsten Bits mit „0“ aufgefüllt werden.

Beispiel für die Berechnung der Datenrate der TMDS-Kanäle für das Format 1080i/25 mit einer Quantisierung von 10bit/Sample und 4:2:2 Farbunterabtastung gilt die unten aufgeführte Formel.

$$(1920 + 720) * (1080 + 45) * 25\text{Hz} * 36\text{bit} * \frac{2}{3} * \frac{10}{8} = 2,2275 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

Diese Datenrate wird auf die drei TMDS-Kanäle für Video und Audio aufgeteilt. Damit ergibt sich für dieses Beispiel eine Datenrate von ca. 0,7425 Gbit/s pro TMDS-Kanal.

Weitere Formate werden in 10. Anhang - Berechnungen beschrieben.

Die Sample-Taktrate kann aus der Datenrate berechnet werden. Hierzu muss die Datenrate pro Kanal durch die Anzahl der Bits, die pro Pixel übertragen werden, geteilt werden. Bei einer Quantisierung

¹³ Die Länge der Austastlücke hängt von der Auflösung und der Abtastrate des Videos ab und kann CEA-861 entnommen werden.

¹⁴ Die Länge der Austastlücke hängt von der Auflösung und der Abtastrate des Videos ab und kann CEA-861 entnommen werden.

¹⁵ Achtung! Im 4:2:2- Modus überträgt HDMI immer 12bit (der Rest wird ggf. mit Nullen gefüllt)

von 10bit/Sample sind das 15 zu übertragende Bits pro Sample ($= 12 * \frac{10}{8}$). Das Ergebnis dieses Beispiels ist somit eine Sample-Taktrate von 49,5 MHz.^{16 17}

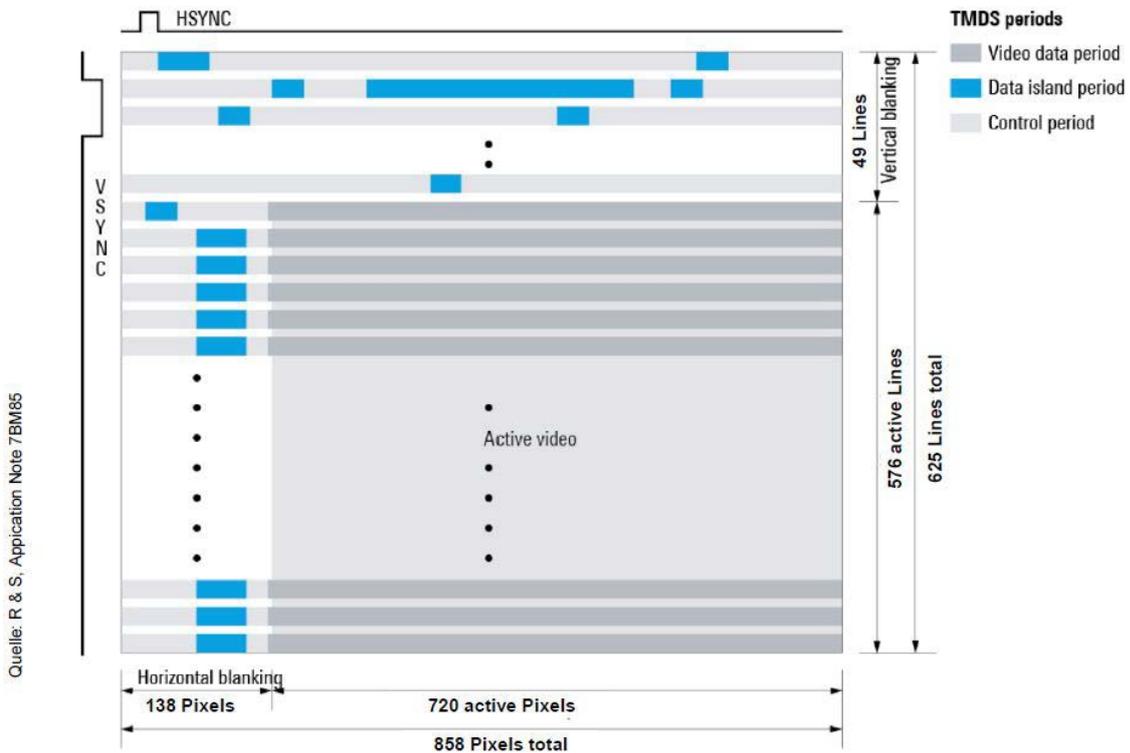


Abbildung 4: TMD5-Frame Struktur im Format 720 x 576 (Quelle: Rohde & Schwarz)

¹⁶ Quelle: Rohde & Schwarz Application Note 7BM85 „Compliance Testing, Functional Testing and Debugging of HDMI Interfaces“

¹⁷ SMPTE ST 292-1:2012 „1.5 Gb/s Signal/Data Serial Interface“, Annex E “Source Signal Formats”

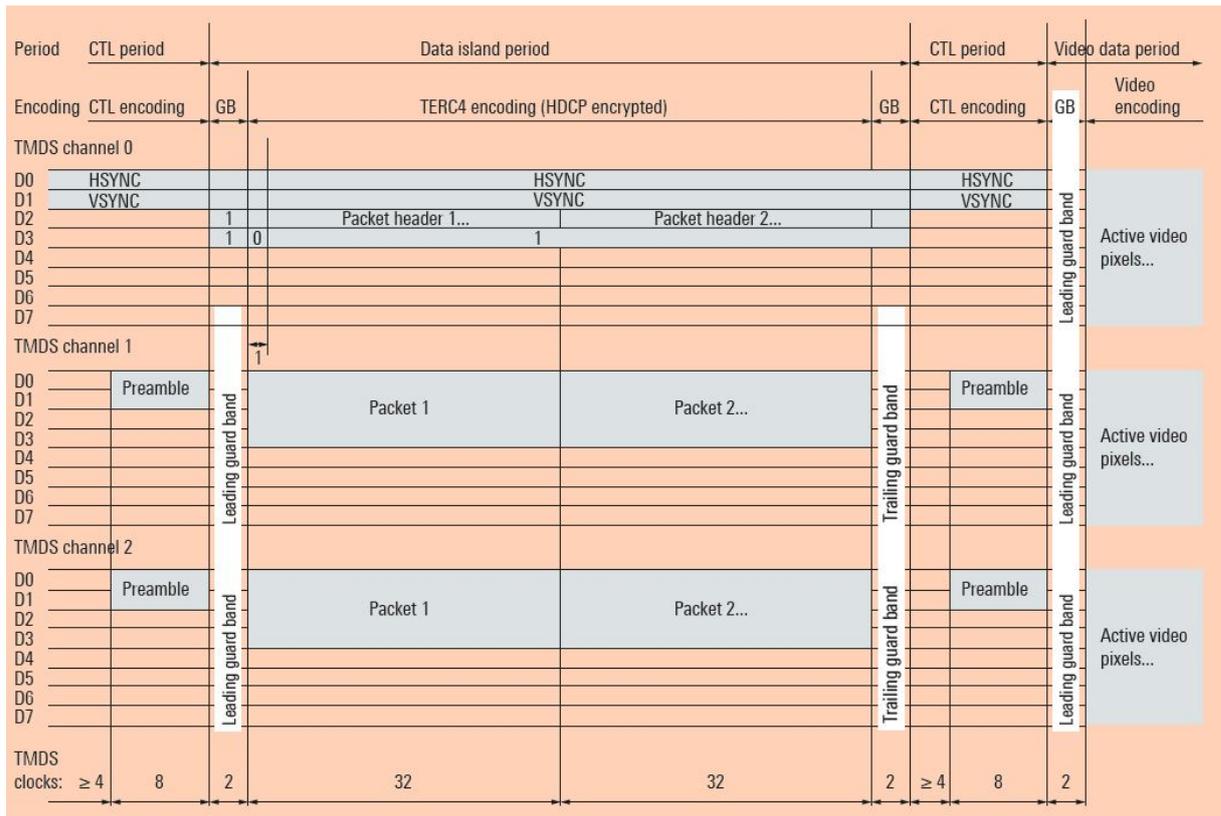


Abbildung 5: Data Islands (Quelle: Rohde & Schwarz)

In der „Data Island Period“ werden auf den TDMS-Kanälen zusätzlich Auxiliary-Daten einschließlich der AVI-Infoframes (**A**uxiliary-**V**ideo-**I**nformation) und Audio-Infoframes übertragen. (siehe EIA/CEA-861-B und im HDMI-Standard) Mit den Infoframes werden die Parameter des aktuell übertragenen Videos und Audios von der Quelle an die Senke übermittelt.

6.2 EDID

Diese Art der seriellen Datenübertragung wurde schon 1994 als Standard von der Video Electronics Standards Association (VESA) zur Unterstützung der „Plug- & Play- Funktion“ verabschiedet, um die Grafik-Adapter mit den individuellen Display-Parametern (**E**xtended **D**isplay **I**dentification **D**ata) automatisch zu konfigurieren. Mit Einsatz von DVI und der damit verbundenen ständig wachsenden Anzahl an digitalen Display-Auflösungen und Display-Parametern, wurde 1999 das Protokoll auf den Enhanced-DDC / -EDID erweitert.

Es werden unter anderem folgende Informationen übermittelt:

- Herstellername, inkl. Seriennummer, Produkt Modell, etc.
- Colorimetrie-Daten
- Timing Mode (GTF / CVT)
- Aspect Ratio
- Scaling- und Mapping-Funktion
- Range Limits (z.B. Spatiale Auflösung, Bildwechselfrequenz)

6.2.1 EDID-Problematik

Das Aushandeln der Betriebsparameter der HDMI-Schnittstelle wird nach dem Verbinden des Kabels bzw. beim Einschalten mit Hilfe des EDID durchgeführt. Bei einer Punkt-zu-Punktverbindung (Quelle – Senke) ist dies unproblematisch.

Wird aber HDMI in einer Verteilstruktur eingesetzt, kann dies zu instabilen Zuständen führen. Bei Bestimmung der Betriebsparameter werden in der Verteilstruktur diese abgefragt was bei gleichartigen Senken zu keinem Problem führt. Sind Senken mit verschiedenen Parametern angeschlossen, stellt sich die Quelle von allen Senken unterstützten Parameter ein. Kommt in der Verteilstruktur eine Senke neue dazu oder wird entfernt, werden die Betriebsparameter erneut in der gesamten Verteilstruktur neu ausgehandelt. Dadurch kann es während des Betriebes zu Unterbrechungen oder Signalstörungen bis hin zum Totalausfall für die gesamte Verteilstruktur kommen. Aus diesem Grund sollte darauf geachtet werden, dass bevorzugt nur Punkt zu Punkt Verbindungen eingesetzt werden. Für Geräte in der Broadcastumgebung sollte der HDMI-Ausgang manuell auf einen vorgegebenen festen Betriebszustand (z. B. Produktionsformat) konfiguriert werden.

6.2.2 EDID-Emulation

Für den Fall, dass die Quelle nur eine Senke mit einem definierten Parametersatz sehen soll, kann mit einem manuell konfigurierbaren EDID-Emulator ein definierter dauerhafter Betriebszustand erzeugt werden. Speist man unterschiedliche Senken über Verteiler oder Kreuzschienen kann es zu Konflikten zwischen den verschiedenen EDIDs kommen. Über den Senken vorgeschaltete EDID-Emulatoren kann der Quelle trotzdem ein einheitlicher EDID simuliert werden. Folgende Möglichkeiten bestehen um einen EDID-Emulator zu konfigurieren:

- Man kann einfach den EDID eines bereits vom Hersteller vorgegebenen Parametersatzes verwenden
- Man kann den EDID eines Displays lesen und im Emulator speichern
- Man kann einen EDID editieren und im Emulator ablegen

Video und Audio werden unverändert durch die EDID-Emulatoren durchgereicht.

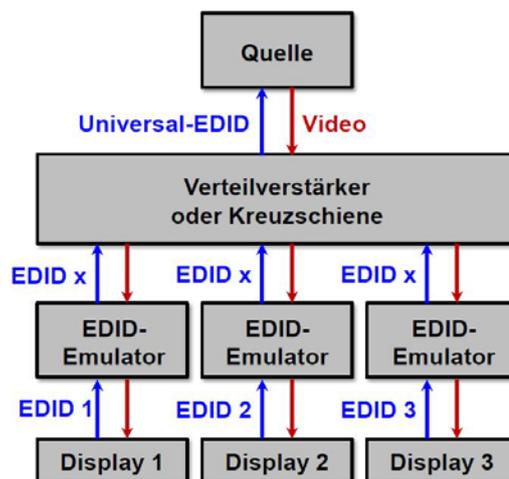


Abbildung 6: EDID-Emulation

6.3 HDCP

HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection System) ist ein Verschlüsselungssystem für die Übertragung von Audio- und Video-Daten über die Schnittstellen DVI, HDMI und Displayport. HDCP ist eigenständig spezifiziert und kann unter www.digital-cp.com eingesehen werden.

HDCP soll die unerlaubte Übertragung und Vervielfältigung von audio-visuellen Inhalten verhindern.

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.

Ein HDCP-System besteht aus den folgenden Elementen:

- einem Sender (TX – Transmitter)
- keinem oder mehreren Repeatern (Aufholverstärker, Verteiler, Kreuzschienen, ...)
- einem oder mehreren Empfängern (RX – Receiver)

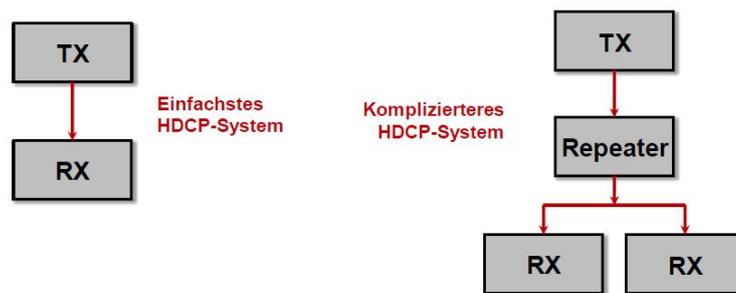


Abbildung 7: HDCP-Systeme

6.3.1 Die drei Phasen des HDCP 1.x Protokolls

1. Authentifizierung (Austausch von Schlüsseln)
2. Verschlüsselung des Contents und Weitergabe des Contents zu Repeatern bzw. Receivern
3. "Renewability" (Überprüfung auf Devices, denen die Lizenz entzogen wurde und denen dementsprechend kein Content mehr vom Transmitter zugespielt wird)

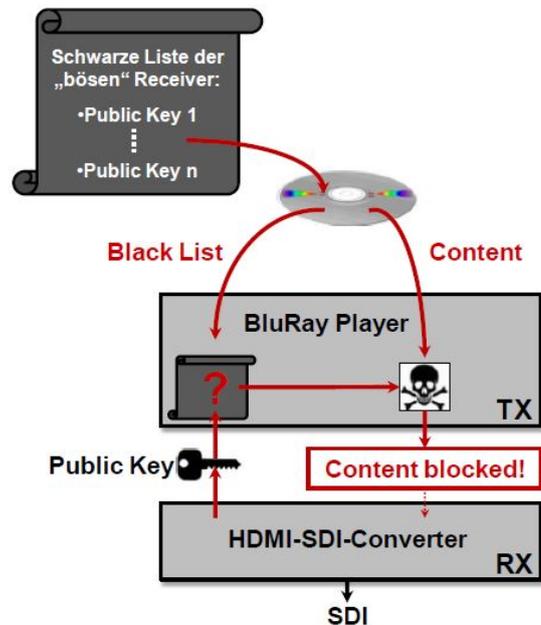


Abbildung 8: "Renewability"

Phase 1 Authentifizierung:

1. Tx und Rx tauschen die Public Keys A_{ksv} und B_{ksv} aus
2. Der Tx sendet dem Rx einen Wert A_n
3. Tx berechnet intern aus seinem Private Key und dem Public Key B_{ksv} des Rx einen geheimen Schlüssel km
4. Rx berechnet intern aus seinem Private Key und dem Public Key A_{ksv} des Tx einen geheimen Schlüssel km'
5. Bei gültigen Schlüsseln ist wg. der Verschlüsselungsmathematik: $km = km'$
6. Tx berechnet intern aus km und A_n einen Wert R_o
7. Rx berechnet intern aus km' und A_n einen Wert R_o'
8. Da bei gültigen Schlüsseln $km = km'$ ist bei gleichem A_n auch $R_o = R_o'$
9. Der Rx schickt dem Tx den Wert R_o'
10. Der Tx vergleicht seinen R_o mit dem R_o' vom Rx
11. Wenn $R_o = R_o'$ ist auch $km = km'$ (s.o.), d.h. der Rx ist authentifiziert
12. Somit kann Tx die zu übertragenden Daten mit km verschlüsseln und Rx mit km' entschlüsseln

Es findet kein Austausch von geheimen oder Private Keys statt! Alle nicht geheimen Daten des Verschlüsselungsprozesses können mit einem HDMI-Analyzer sichtbar gemacht werden.

Bei Verwendung von Repeatern findet die Authentifizierung für jeden Streckenabschnitt separat statt. Von den Repeatern zu den Rx wird der Content auf jeder Strecke mit eigenen Schlüsseln separat verschlüsselt übertragen. Im Repeater wird eine Liste mit der Topologie des Systems und eine Liste mit den Public Keys Bksv hinterlegt. Damit kann der Tx die Grenzwerte bzgl. Anzahl der Devices und Repeater-Levels überprüfen, sowie die Public Keys Bksv mit der Black List vergleichen kann.

- Direkt nach der Authentifizierung des Rx beginnt der Tx mit der Übertragung des verschlüsselten Contents
- Der Tx verwendet km zum Verschlüsseln und der Rx km' zum Entschlüsseln
- Die Schlüssel km und km' werden in der V-Lücke des Videos zyklisch getauscht
- Aufgrund der Synchronisation in der V-Lücke müssen Rx und Tx synchronisiert bleiben, damit sich der RX beim Entschlüsseln nicht „verschluckt“, d.h. Unterbrechungen im Signal oder Videoformatwechsel führen zur erneuten Initialisierung des HDCP-Prozesses.
- Repeater entschlüsseln den vom Tx kommenden Content und verschlüsseln ihn erneut für die Weitergabe zu dem/den nachfolgenden Rx

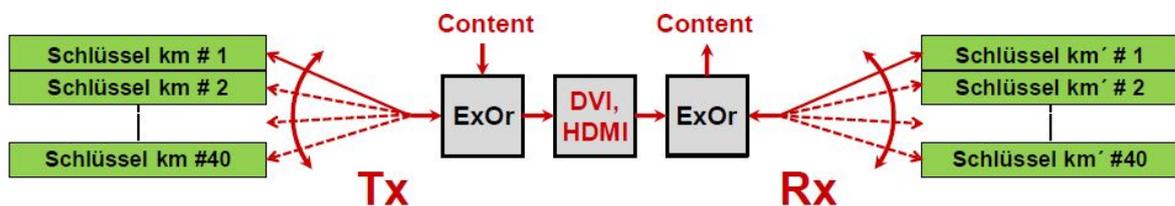


Abbildung 9: HDCP-Verschlüsselung

6.3.2 Maximale Größe eines HDCP-Systems (Repeater Levels)

Bei HDCP 1.x lässt maximal 128 Devices (TX, RX oder Repeater) und 7 Repeater-Levels zu.

Ab HDCP 2: wurde die Anzahl der Devices auf maximal 32 sowie die Anzahl der Repeater-Levels auf maximal 4 reduziert.

Wird die Anzahl der Repeater-Level oder Devices überschritten, findet keine Entschlüsselung des Contents statt.

6.3.3 HDCP – Rechtliches

Medium	Nutzung
DVD oder BluRay mit Kopierschutz	Eine eigene Kopie ist nicht zulässig: technische Schutzmaßnahmen dürfen nicht umgangen werden (§ 95a UrhG)
Videos aus Online-Videotheken mit DRM-Schutz	Eine eigene Kopie ist nicht zulässig: technische Schutzmaßnahmen dürfen nicht umgangen werden (§ 95a UrhG)
Aufgenommene TV-Sendungen mit eigenen Videorecorder	Zulässig für Privatpersonen zum privaten Gebrauch (§ 53 UrhG)
Aufgenommene TV-Sendungen mit Online-Videorecorder	Rechtlich nicht abschließend geklärt. Privatkopie derzeit meist zulässig. Kann jedoch z.B. durch AGBs vom Anbieter eingeschränkt werden
Material an den man die Rechte selbst besitzt, das mit einem Kopierschutz versehen ist oder aber über HDMI-Quellen zwangsweise mit Kopierschutz versehen wird.	Grauzone, derzeit nicht durch Gesetzgebung geregelt.

Durch HDCP wird der Rechteinhaber multimedialer Inhalte ggf. daran gehindert, Medieninhalte zu nutzen, für die ihm das Urheber- oder jedenfalls ein Nutzungsrecht zustehen.

Siehe auch:

- § 95a UrhG
- § 53 UrhG

6.4 HPD – Hot Plug Detect

Bei HDMI wird über die Leitung HPD (Hot Plug Detect) von der Senke zur Quelle mit 5V DC signalisiert, dass eine Senke (Verbraucher) angesteckt wurde.

Bei HDMI 1.4 und höher wird ein logisches „CDC_HPD“ zusätzlich zu den 5V DC gesendet. Dieses wird in den Signalweg „CP&EDID_HPD“ (Content Protection & Hot Plug Detect) gemappt.



Abbildung 10: HPD-Signalisierung

6.5 SDI↔HDMI Wandlung

Die Wandlung zwischen SDI und HDMI bzw. zwischen HDMI und SDI, also die Einbindung von HDMI-Geräten in eine (HD-) SDI-Infrastruktur ist problematisch.

So kann es z.B. beim Umschalten von SD/HD-SDI-Quellen in Kreuzschienen nach der Wandlung nach HDMI zu längeren Störungen kommen, bis sich die HDMI-Strecke auf den neuen Parametersatz eingestellt hat.

Da zwischen der HDMI-Schnittstelle und der SDI-Schnittstelle nicht bittransparent gewandelt wird, bzw. werden kann, können in Abhängigkeit vom Wandlertyp, -einstellung und Signalfflussrichtung z.B. folgende Fehler/Probleme auftreten:

	SDI -> HDMI-Wandler	HDMI -> SDI-Wandler
Quantisierung: von 10 Bit auf 8 Bit reduziert	durch Truncation, ggf. mit Dithering oder dynamischem Runden!	tritt nicht auf
Quantisierung: von 8 Bit auf 10 Bit erweitert	tritt nicht auf	immer (systembedingt!) Ergänzung der beiden LSBs
Full-/Limited- Range Konvertierung	Videopegel-Fehler aufgrund fehlerhafter Limited- auf Full – Range Signalisierung	Videopegel-Fehler aufgrund fehlerhafter Limited- auf Full – Range Auswertung
Clipping bei 100% oder 0%	häufig	möglich
Farbraumänderung: YCrCb → RGB	häufig (YCrCb → RGB mit Clipping)	häufig (RGB → YCrCb ohne Clipping)
YCrCb-Timing-Fehler	möglich	möglich
Audio	Audiogruppen gehen verloren, werden zugesetzt, Reihenfolge	Audiogruppen gehen verloren, werden zugesetzt, Reihenfolge
Verschlüsselung(HDCP)	unproblematisch	rechtlich nicht zulässig

Tabelle 5: Wandlungsproblematik

SDI nach HDMI Wandler müssen die Signale immer im Format „Limited-Range“ (siehe Tabelle 1) ausgeben. Die Signalisierung muss dem ausgegebenen Format entsprechen.

Da die Mehrkanal-Audioanlage von SDI und HDMI (TPRF und CEA 861-D) nicht identisch ist muss bei der PCM Audioübertragung durch den Nutzer die exakte Zuordnung der Audiokanäle festgelegt werden.

Datenkomprimierte -Audiosignale (z.B. DTS, AC3) müssen bittransparent übertragen werden.

Datenkomprimierte Audiosignale können nach einer HDMI/SDI-Wandlung nicht mehr fehlerfrei mit dem Studiotakt synchronisiert werden und sollten deshalb vermieden werden.

Alle von beiden Schnittstellen unterstützten technischen Metadaten (z.B. des AVI-InfoFrame, Dynamic Range und Mastering InfoFrame) müssen funktionstransparent übergeben werden.

Weitere in der Austastlücke des SDI-Signals eventuell vorhandenen Zusatzdaten (z. B. Timecode oder Videotext/Untertitel), werden über die HDMI-Schnittstelle nicht übertragen.

7. Messtechnik – Spezifikationen für HDMI

Messungen der HDMI-Schnittstelle können in die Physikalischen-, Daten-, und Video-/Audioebene unterteilt werden.

Aufgrund der Eigenschaften der TMDS Signale ist das Messen der physikalischen Parameter sehr aufwändig. Im Gegensatz zum SDI Signal beziehen sich die TMDS Signale nicht auf Masse sondern sind differenziell.

Das eigentliche Signal liegt zwischen den Leitern eines Adernpaares an. Diese Messungen erfordern somit einen erheblichen finanziellen und zeitlichen Aufwand. Außerdem lässt sich auf Grund von HDCP nicht jede Quelle auch wirklich messen. (siehe auch Anhang – Beispiele von Messaufbauten).

Die Messungen müssen mit einem durch HDMI zertifizierten Messsystem durchgeführt werden. Die in den folgenden Kapiteln aufgeführten Messwerte müssen mit solchen Messsystemen ermittelt werden und haben in diesem Dokument informativen Charakter.

Zertifizierungen von HDMI-Schnittstellen dürfen nur von durch HDMI autorisierten Stellen durchgeführt werden.

(siehe http://www.hdmi.org/manufacturer/authorized_test_centers.aspx)

Werden physikalische Parameter gemessen, können anhand des Augendiagramms folgende Parameter bestimmt werden:

- Augenöffnung / Pegel
- Jitter
- Steig-/Fallzeiten
- Überschwinger
- Intra-Pair / Inter-Pair Skew (zeitliche Differenz zwischen den Datenkanälen)

Für Messungen in der Datenebene sind verschiedene Datenanalytoren und Datengeneratoren verfügbar, welche die folgenden Parameter analysieren und protokollieren:

- EDID Analyse und Simulation
- Infoframe Analyse
- HDCP
- HEAC
- CEC
- HPD
- Bitfehlermessung
- Ethernet Channel

In der Video- und Audioebene kann das verschlüsselte bzw. unverschlüsselte Datensignal decodiert und folgende Analysen durchgeführt werden:

- Waveform, Vectorscope
- 3D Analyse
- Bildqualität
- Audiosignalanalyse (PCM, Dolby, DTS...)
- Audio Return Channel (ab HDMI V.1.4)

Im täglichen Betrieb ist die Analyse auf der Daten- und Video-/Audioebene meist ausreichend.

7.1 Grenzwerte physikalischer Parameter

Im Gegensatz zur Messung von SDI/HDSDI-Schnittstelle wo nur ein Übertragungskanal zu bewerten ist, müssen bei der HDMI-Schnittstelle mehrere Übertragungskanäle bewertet werden. Die relevanten Übertragungskanäle sind die vier TMDS-Kanäle (Clock + 3 x Nutzdaten).

Die niederdatenratigen Datenkanäle (CEC, HEC, DDC) sind aufgrund der relativ kurzen Kabellängen unkritisch und nur auf fehlerfreie Übertragung zu prüfen.

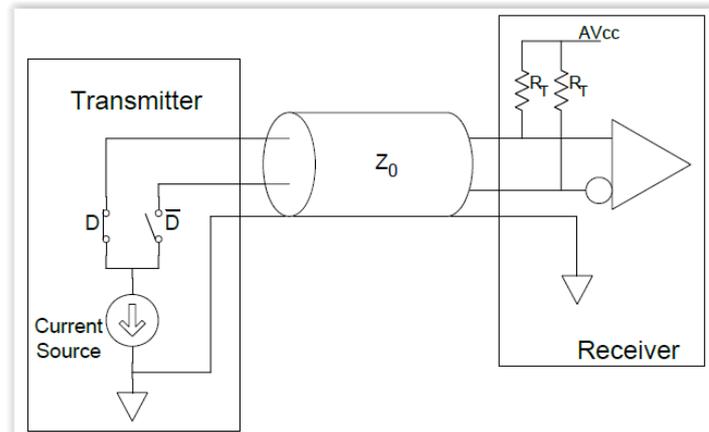


Abbildung 11: Aufbau einer TMDS-Strecke

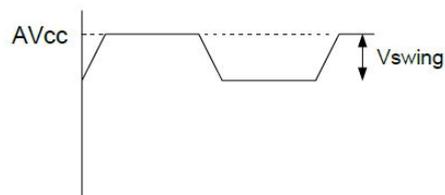


Abbildung 12: Single-ended Differential Signal

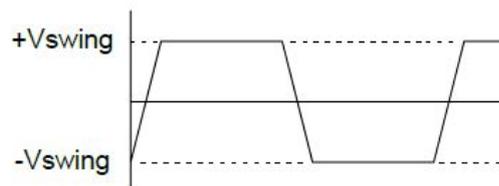
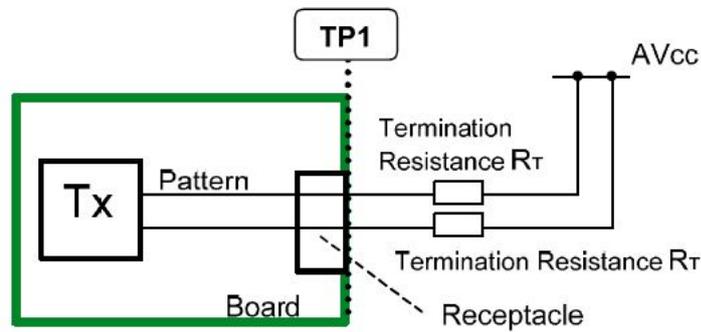


Abbildung 13: Differential Signal

Der HDMI-Standard unterscheidet zwischen HDMI-Quellen (source) und HDMI-Senken (sink). Ein HDMI-Gerät kann einen oder mehrere Eingänge und/oder einen oder mehrere Ausgänge haben. Jeder Eingang muss den Regeln für die HDMI-Senke und jeder Ausgang alle Regeln einer HDMI-Quelle folgen.

7.1.1 Eigenschaften der Quelle (source)

Die Werte aus der Tabelle gelten für eine mit einem Standardempfänger abgeschlossene Quelle, gemessen an der Steckverbindung TP1 (Testing Point 1).



Item	Value
Rise/Fall time Data (20%-80%)	$\geq 42,5$ ps
Rise/Fall time Clock (20%-80%)	≥ 75 ps
Intra-Pair Skew, Max	$0.15 T_{bit}^{18}$
Inter-Pair Skew, Max	$0.20 T_{character}^{19}$
Clock Duty Cycle	40% bis 60%
Allowable Total Clock Jitter	$0.3 T_{bit}$
Allowable Total Data Jitter	$0.6 T_{bit}$
Single Ended High Level Voltage Range: Data Channels 0,1,2	$AV_{cc} - 400$ mV to $AV_{cc} + 10$ mV
Single Ended Low Level Voltage Range: Data Channels 0,1,2	$AV_{cc} - 1000$ mV to $AV_{cc} - 400$ mV
Single Ended High Level Voltage Range: Clock Channel	$AV_{cc} - 400$ mV to $AV_{cc} + 10$ mV
Single Ended Low Level Voltage Range: Clock Channel	$AV_{cc} - 1000$ mV to $AV_{cc} - 200$ mV
Single Ended Swing Voltage: Data Channels 0,1,2	$400\text{mV} \leq V_{swing} \leq 600\text{mV}$
Single Ended Swing Voltage: Clock Channel	$200\text{mV} \leq V_{swing} \leq 600\text{mV}$
Maximum Undershoot	25%
Maximum Overshoot	15%

¹⁸ T_{bit} = Time duration of a single bit carried across the TMDS channel

¹⁹ $T_{character} = 10 \cdot T_{bit}$

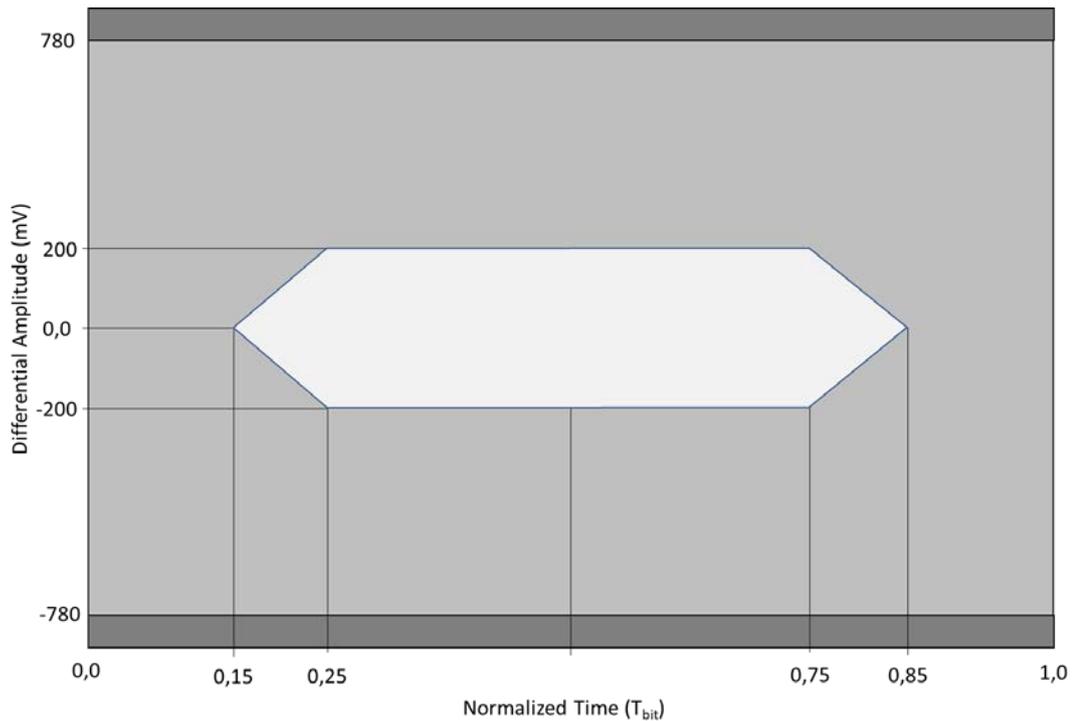


Abbildung 14: Augendiagramm beispielhaft für HDMI 1.4 Quelle (gemessen am TP1)

$$V_{\text{high}} (\text{max}) = V_{\text{swing}} (\text{max}) + 15\% * (2 * V_{\text{swing}} (\text{max})) = 600 + 180 = 780 \text{ mV}$$

$$V_{\text{high}} (\text{min}) = V_{\text{swing}} (\text{min}) - 25\% * (2 * V_{\text{swing}} (\text{min})) = 400 - 200 = 200 \text{ mV}$$

$$V_{\text{low}} (\text{max}) = -V_{\text{swing}} (\text{max}) - 15\% * (2 * V_{\text{swing}} (\text{max})) = -600 - 180 = -780 \text{ mV}$$

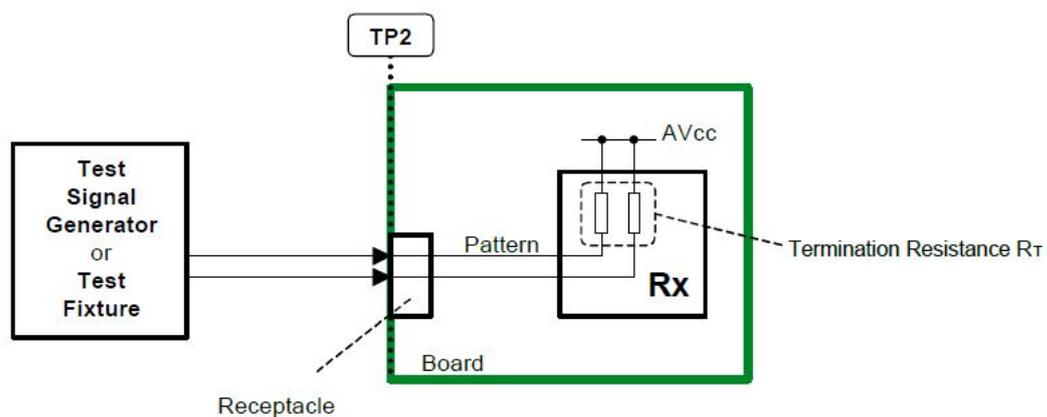
$$V_{\text{low}} (\text{min}) = -V_{\text{swing}} (\text{min}) + 25\% * (2 * V_{\text{swing}} (\text{min})) = -400 + 200 = -200 \text{ mV}$$

$$\text{Minimum opening at Source} = V_{\text{high}} (\text{min}) - V_{\text{low}} (\text{min}) = 400 \text{ mV}$$

(Spannungswerte für die Abbildung 14)

7.1.2 Eigenschaften der Senke (sink)

Die Werte aus der Tabelle gelten für eine mit einem HDMI zertifizierten Testgenerator erzeugten HDMI-Signal, gemessen an der Steckverbindung TP2.



Item	Value
Input Common Mode Voltage, V_{icm}^{20}	$V_{icm1} \quad (AV_{cc} - 700 \text{ mV}) \leq V_{icm1} \leq (AV_{cc} - 37,5 \text{ mV})$ $V_{icm2} \quad (AV_{cc} - 10 \text{ mV}) \leq V_{icm2} \leq (AV_{cc} + 10 \text{ mV})$
Minimum differential sensitivity (peak-to-peak)	150 mV
Maximum differential input (peak-to-peak)	1560 mV
Max Allowable Intra-Pair Skew at Sink Connector	$0.15 T_{bit} + 112\text{ps}$
Max Allowable Inter-Pair Skew at Sink Connector	$0.2 T_{character} + 1.78 \text{ ns}$
TMDS Clock Jitter	$0.30 T_{bit}$ (bezogen auf Ideal Clock)
TDR Rise Time at TP2 (10%-90%)	$\leq 200 \text{ ps}$
Through Connection Impedance ²¹	$100 \Omega \pm 15\%$ ²²
Sink Termination Impedance	90 Ω bis 110 Ω

Werden diese physikalischen Parameter eingehalten dürfen Fehlerraten (TMDS character error rate) von maximal 10^{-9} auftreten.

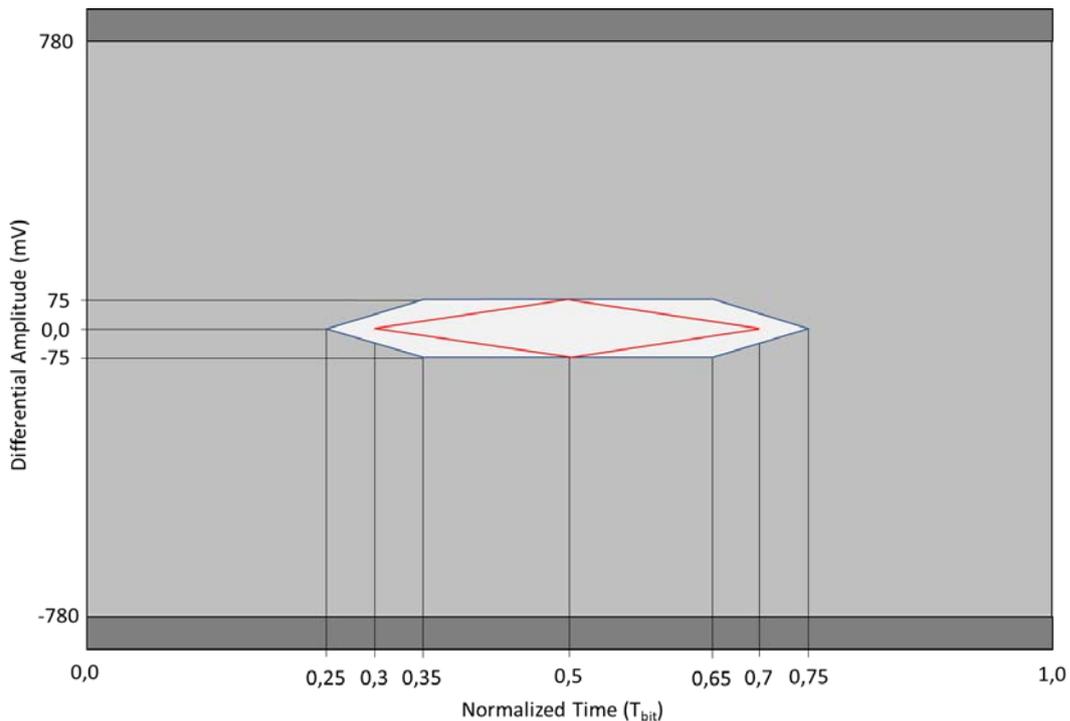


Abbildung 15: Augendiagramm Senke (blau: HDMI v1.4, rot: HDMI v2.0)

²⁰ icm1 wenn zwischen Quelle und Senke eine durchgehende DC-Kopplung gewährleistet ist
 icm 2 wenn zwischen Quelle und Senke im Sonderfall keine durchgehende DC-Kopplung gewährleistet

²¹ Impedance from TP2 to Sink Termination

²² A single excursion is permitted out to a max/min of $100 \Omega \pm 25\%$ and of duration less than 250 ps.

7.1.3 Eigenschaften der Kabel

Kabel unterscheiden sich in mehrere von der Taktfrequenz abhängige Kategorien (siehe Kapitel 5.3).

Nach der Kabelstrecke muss das Signal entweder das zuvor angegebene Augendiagramm oder die folgenden Parameter einhalten:

Parameter	Kategorie 1 (bis 74,25 MHz) „Standard“	Kategorie 2 (bis 340 MHz) „High Speed“	Kategorie 3 „Ultra High Speed“	
			f (GHz)	ACR (dB)
Maximum Cable Assembly Intra-Pair Skew	151ps	112ps	30ps	
Maximum Cable Assembly Inter-Pair Skew	2.42ns	1.78ns	500ps	
Far-end Crosstalk	< -20dB	< -20dB	0 ≤ f < 1	-30
			1 ≤ f < 4	-20
			4 ≤ f < 7	-10
			7 ≤ f < 12	-5
			Differential Impedance	100 Ω ±15%

Ab dem HDMI-Standard 2.0 ist der volle Funktionsumfang nur mit Kabeln der Kategorie 2 gewährleistet. Zusätzlich dürfen die elektromagnetischen Emissionen beschrieben in der EN55022 (CISPR 22) im Frequenzbereich zwischen 30 MHz bis 6 GHz nicht überschritten werden. Kategorie 3 Kabel (bis 12 Gbit/s) müssen die Spezifikation aus HDMI 2.1 erfüllen. Zusätzlich muss der Funktionsumfang von Kategorie 1 und 2 Kabeln erfüllt sein.

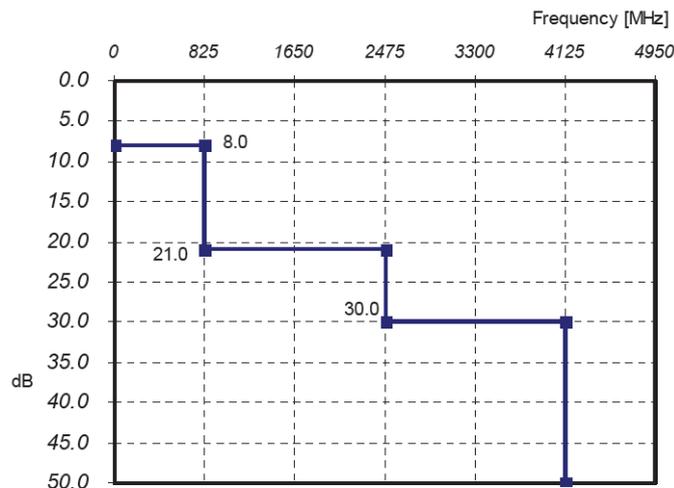


Abbildung 16: Max. Dämpfung für Kabelstrecken (incl. Stecker und eventueller Equalizer) der Kategorie 1

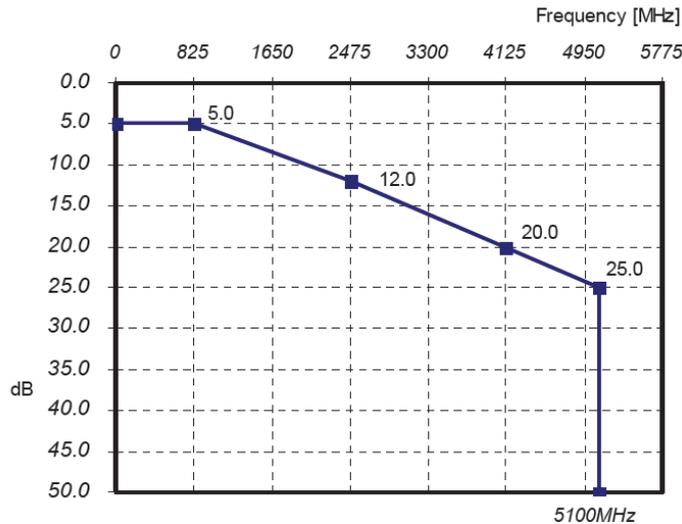


Abbildung 17: Max. Dämpfung für Kabelstrecken (incl. Stecker und eventueller Equalizer) der Kategorie 2

Für den HDMI-Standard 2.1 ist der volle Funktionsumfang nur mit Kabeln der Kategorie 3 gewährleistet.

7.1.4 Spannungsversorgung

- Der 5V Ausgang einer HDMI Quelle sollte minimal 4,8V und maximal 5,3V aufweisen.
- HDMI Quellen sollten mindesten eine Stromversorgung von 55 mA über die 5V Verbindung gewährleisten.
- HDMI Senken sollten auf der 5V Leitung eine maximale Stromaufnahme vom 50 mA besitzen.

7.1.5 Hot Plug Signal

Von der Senke muss eine Hot-Plug-Spannung von 2,4 V bis 5,3 V für „High“ und 0 V bis 0,4 V für „Low“ mit einem Innenwiderstand von 1 kΩ geliefert werden. Die Quelle muss eine Hot-Plug-Spannung von 2,0 V bis 5,3 V als „High“ (verbunden) und 0 V bis 0,8 V als „Low“ (nicht verbunden) erkennen.

Senke (sink)	
High voltage level	Min. 2,4 V / Max. 5,3 V
Low voltage level	Min. 0 V / Max. 0,4 V
Output resistance	1000 Ω ±20%

Quelle (source)	
High voltage level	Min. 2,0 V / Max. 5,3 V
Low voltage level	Min. 0 V / Max. 0,8 V

7.2 Messergebnisse

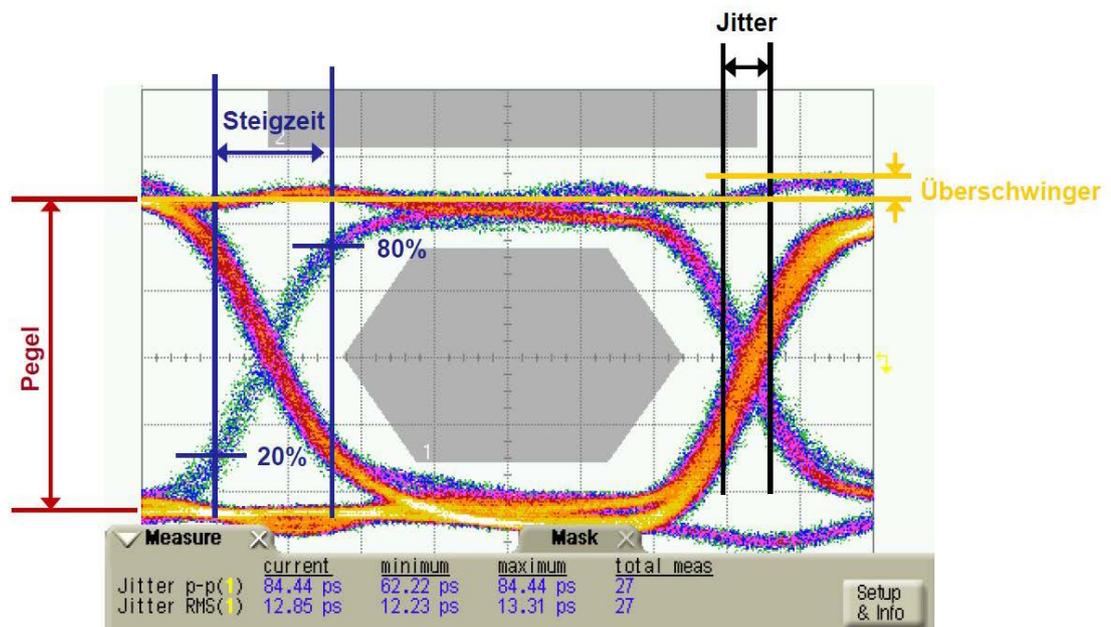


Abbildung 18. Augendiagramm bei HDMI-Messung (Quelle: ARD-ZDF-medienakademie-Schulungsunterlagen)

Messung	Problem und mögliche Ursache
Pegelfehler	Pegelfehler können durch zu lange bzw. Kabel mit zu schlechten Eigenschaften verursacht werden. Vorsicht ist bei Kabel-Repeatern beim Einsatz zu nahe an der Quelle geboten (Überentzerrung führt zu erhöhter Bitfehlerrate.).
Steigzeit	Zulange Steigzeiten können durch minderwertige bzw. zu lange Kabelverbindungen verursacht werden.
Jitter	Entsteht z.B. durch frequenzabhängige Laufzeitvariation (Dispersion) oder durch Unzulänglichkeiten der Quelle
Überschwinger	Unzureichende Verbindungsqualität zwischen Stecker und Buchse, zu geringer Rückflußdämpfung

7.3 Messungen auf der Datenebene

Die Messung auf der logischen Ebene wird durch Analyse der Datenströme durchgeführt. Dabei werden z.B. definierte Bitmuster gesendet bzw. empfangen, deren CRC im Analysator überprüft werden. Durch Variation der Bitrate bzw. des Videoformates kann die maximal mögliche Datenrate ohne Bitfehler bei gegebener Kabellänge und damit die Qualität des Kabels ermittelt werden.

Eine HDMI-Quelle lässt sich durch Stimulation mit logischen Information (z.B. Hot Plug, EDID usw.) und Auswertung der Reaktion der Quelle (z.B. Formatwechsel) beurteilen.

Zur Überprüfung von HDMI-Senken werden diese mit einem normgerechten HDMI-Signal beaufschlagt und durch Beobachtung der Bild und Tonwiedergabe auf Funktionalität überprüft.

8. Mindestanforderung an HDMI-Schnittstellen im Studio

An Geräten mit HDMI-Schnittstellen sind folgende Mindestanforderungen zu stellen:

- die Signalisierung von Video- und Audiocharakteristika (z.B. Transferfunktion, Farbraum, Matrizierung, Audiokanalbelegung, etc.) muss den tatsächlich übertragenen Formaten entsprechen
- die HDMI-Schnittstelle muss in der Lage sein, Signale die im Rundfunkbereich typischen und in der EBU Tech 3299 festgelegten HD-Formate sowie das in der ITU R BT.601 beschriebene 25Hz SD-Format zu übertragen
- für UHD-Anwendungen müssen Signale gemäß ITU R BT.2100 unterstützt werden
- in der Studioumgebung sind Videoformate der oben genannten Standards zu verwenden
- die HDMI-Senke soll eines der Videoformate der oben genannten Standards als bevorzugtes Format im EDID signalisieren
- die im HDMI-Signal übertragenen Kennungen müssen dem übertragenen Bildformat entsprechen
- die Übertragung der Videopegel muss mit mindestens 10 Bit / Sample erfolgen (Hinweis: erst ab der HDMI Version 1.3 kann die Quantisierung mit 10 Bit gewährleistet werden)
- der gesamte Videopegelbereich der oben genannten Videostandards muss ohne Skalierung und Begrenzung übertragen werden
- die Qualität der HDMI-Schnittstelle hat beim Einsatz in der Studioumgebung zu gewährleisten, dass die Bildeingangssignale bittransparent zum Ausgang übertragen werden
- nicht kopiergeschütztes Material (z.B. aus der Kamera) muss ohne Kopierschutz (HDCP) übertragen werden
- die Signalisierung der Tonspurbelegung (CEA 861) muss der tatsächlichen Belegung der Tonspuren mit Programm übereinstimmen
- der Ton muss bei Verwendung in Studioumgebung gemäß dem AES3 Standard mit einer Abtastfrequenz von 48 kHz übertragen werden
- die Übertragung des Audiosignals soll pro Kanal mit mindestens 20 Bit / Sample erfolgen, um die Übertragung von Dolby-E-Signalen mit 8 Tonkanälen zu gewährleisten.
- es darf kein zusätzlicher Bild-zu-Ton-Versatz entstehen

Es ist zu berücksichtigen, dass folgende Informationen über HDMI nicht übertragen werden können:

- Videotext
- Untertitel
- Timecode
- und die meisten ANC-Daten aus dem SDI-Signal außer Audio

Die Qualität der HDMI-Quellen und -Wandlern hat beim Einsatz in der Studioumgebung zu gewährleisten, dass die Jitterspezifikation des jeweiligen SMPTE- bzw. AES-Standards erfüllt werden kann.

9. Normen und Standards

9.1 HDMI

- HDMI Specification Ver.1.0 Dec. 2002
- HDMI Specification Ver.1.1 May 2004
- HDMI Specification Ver.1.2 Aug 2005
- HDMI Specification Ver.1.2a Dec. 2005
- HDMI Specification Ver.1.3 Jun.2006
- HDMI Specification Ver.1.3a Nov 2006
- HDMI Specification Ver.1.3b Mar 2007
- HDMI Specification Ver.1.3b1 Nov 2007
- HDMI Specification Ver.1.3c Aug 2008
- HDMI Specification Ver.1.4 May 2009
- HDMI Specification Ver.1.4a Mar 2010
- HDMI Specification Ver.1.4b Oct 2011
- HDMI Specification Ver.2.0 Sep 2013
- HDMI Specification Ver.2.0a Apr 2015
- HDMI Specification Ver.2.0b Mar 2016
- HDMI Specification Ver.2.1 Nov 2017

9.2 EBU

- [EBU Tech 3299](#): High Definition Image Formats for Television Production

9.3 ITU

- [ITU-R BT.601](#): Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios
- [ITU-R BT.656](#): Interface for digital component video signals in 525-line and 625-line television systems operating at the 4:2:2 level of Recommendation ITU-R BT.601
- [ITU-R BT.709](#): Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange
- [ITU-R BT.1120](#): Digital interfaces for HDTV studio signals
- [ITU-R BT.2077](#): Real-time serial digital interfaces for UHD TV signals
- [ITU-R BT.2100](#): Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange

9.4 SMPTE

- SMPTE ST 292-1:2012 „1.5 Gb/s Signal/Data Serial Interface“
- SMPTE ST 425-Family „3 Gb/s Signal/Data Serial Interface“
- SMPTE ST 2081-Family „6 Gb/s Signal/Data Serial Interface“
- SMPTE ST 2082-Family „12 Gb/s Signal/Data Serial Interface“

9.5 Consumer Technology Association

- CTA 861-G „A DTV Profile For Uncompressed High Speed Digital Interfaces“

Absichtliche Leerseite

Anhang: Videoformate – Kabeltypen

Auflösung	Bildwiederholrate	Chroma	Farbtiefe	Leitungscode	Effektive Datenrate	ab HDMI Version	DSC	Kabeltyp
SD 576	50i	4:2:0	8	8b/10b	0,81 Gbps	1.0	X	Standard
HD 1280x720	50-60p	4:2:0	8	8b/10b	2,23 Gbps	1.0	X	
FHD 1920x1080	50-60i	4:2:0	8	8b/10b	2,23 Gbps	2.0	X	
		4:2:2	8	8b/10b	2,23 Gbps	1.0	X	
FHD 1920x1080	24-30p	4:2:0	8	8b/10b	2,23 Gbps	2.0	X	
		4:2:2	8	8b/10b	2,23 Gbps	1.0	X	
FHD 1920x1080	50-60p	4:2:0/4:2:2	8, 10, 12	8b/10b	4,455 Gbps	1.0	X	High Speed
		4:2:2	8, 10, 12	8b/10b	4,455 Gbps	2.0	X	
		4:4:4/RGB	8, 10, 12	8b/10b	4,455 Gbps	1.0	X	
UHD 3840x2160	24-30p	4:2:0	8, 10, 12	8b/10b	8,91 Gbps	2.0	X	
		4:2:2	8, 10, 12	8b/10b	8,91 Gbps	1.3	X	
		4:4:4/RGB	8	8b/10b	8,91 Gbps	1.3	X	
		4:4:4/RGB	10	8b/10b	11,14 Gbps	2.0	X	
		4:4:4/RGB	12	8b/10b	13,37 Gbps	2.0	X	
UHD 3840x2160	48-60p	4:2:0	8	8b/10b	8,91 Gbps	2.0	X	Premium
		4:2:0	10	8b/10b	11,14 Gbps	2.0	X	
		4:2:0	12	8b/10b	13,37 Gbps	2.0	X	
		4:2:0/4:2:2	8, 10, 12	8b/10b	17,82 Gbps	2.0	X	
		4:4:4/RGB	8	8b/10b	17,82 Gbps	2.0	X	
		4:4:4/RGB	10	16b/18b	20,05 Gbps	2.1	X	Ultra
4:4:4/RGB	12	16b/18b	24,06 Gbps	2.1	X			
UHD 3840x2160	100-120p	4:2:0/4:2:2	8, 10, 12	16b/18b	32,08 Gbps	2.1	X	Ultra
		4:4:4/RGB	8	16b/18b	32,08 Gbps	2.1	X	
		4:4:4/RGB	10	16b/18b	40,1 Gbps	2.1	X	
		4:4:4/RGB	12	16b/18b	48,11 Gbps	2.1	X	
5K 5120x2880	24-30p	4:2:0/4:2:2	8, 10, 12	8b/10b	11,88 Gbps	2.0	X	Premium
		4:4:4/RGB	8	8b/10b	11,88 Gbps	2.0	X	
		4:4:4/RGB	10	8b/10b	14,85 Gbps	2.0	X	
		4:4:4/RGB	12	8b/10b	17,82 Gbps	2.0	X	
5K 5120x2880	48-60p	4:2:0/4:2:2	8, 10, 12	16b/18b	20,05 Gbps	2.1	X	Ultra
		4:4:4/RGB	8	16b/18b	20,05 Gbps	2.1	X	
		4:4:4/RGB	10	16b/18b	25,06 Gbps	2.1	X	
		4:4:4/RGB	12	16b/18b	30,07 Gbps	2.1	X	
5K 5120x2880	100-120p	4:2:0/4:2:2	8, 10, 12	16b/18b	40,1 Gbps	2.1	X	
		4:4:4/RGB	8	16b/18b	40,1 Gbps	2.1	X	
		4:4:4/RGB	10	16b/18b	50,12 Gbps	2.1	Ja	
		4:4:4/RGB	12	16b/18b	60,14 Gbps	2.1	Ja	

Auflösung	Bildwiederholrate	Chroma	Farbtiefe	Leitungscode	Effektive Datenrate	ab HDMI Version	DSC	Kabeltyp
8K 7680x4320	24-30p	4:2:0/4:2:2	10, 12	16b/18b	32,08 Gbps	2.1	X	Ultra
		4:4:4/RGB	10	16b/18b	40,1 Gbps	2.1	X	
		4:4:4/RGB	12	16b/18b	48,11 Gbps	2.1	Ja	
8K 7680x4320	48-60p	4:2:0	10	16b/18b	40,1 Gbps *	2.1	X	
		4:2:0	12	16b/18b	48,11 Gbps *	2.1	X	
		4:2:0/4:2:2	10, 12	16b/18b	64,15 Gbps	2.1	Ja	
		4:4:4/RGB	10	16b/18b	80,19 Gbps	2.1	Ja	
		4:4:4/RGB	12	16b/18b	96,23 Gbps	2.1	Ja	
8K	100-120p	4:2:0/4:2:2	10, 12	16b/18b	128,3 Gbps	2.1	Ja	
10K 10328x7760	24-30p	4:2:0/4:2:2	10, 12	16b/18b	40,1 Gbps	2.1	X	
		4:4:4/RGB	10	16b/18b	50,12 Gbps	2.1	Ja	
		4:4:4/RGB	12	16b/18b	60,14 Gbps	2.1	Ja	
10K 10328x7760	48-60p	4:2:0/4:2:2	10, 12	16b/18b	80,19 Gbps	2.1	Ja	
		4:4:4/RGB	10	16b/18b	100,24 Gbps	2.1	Ja	
		4:4:4/RGB	12	16b/18b	120,29 Gbps	2.1	Ja	
10K 10328x7760	100-120p	4:2:0	10	16b/18b	100,24Gbps *	2.1	Ja	
		4:2:0	12	16b/18b	120,29 Gbps *	2.1	Ja	

Quelle (bearbeitet): https://www.hdmi.org/download/hdmi_2_1/FormatDataRatetable.jpg

Anhang: Berechnungen

Im Folgenden sind Rechenbeispiele mit den für die europäischen Rundfunkanstalten aktuell genutzten oder zukünftig in Betracht kommenden Videoformate aufgeführt.

Für 576i/25, 12bit, 4:4:4:

$$(720 + 144) * (576 + 49) * 25\text{Hz} * 36\text{bit} * 1 * \frac{10}{8} = 607,5 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 607,5 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}} \div 3 = 202,5 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \frac{202,5 \text{ Mbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} = 13,5 \text{ MHz}$$

$$\Rightarrow \text{HDMI erfordert eine Pixelwiederholung für } 720 \times 576 \text{i} \Rightarrow 13,5 \text{ MHz} * 2 = 27 \text{ MHz}$$

Für 576i/25, 10bit, 4:2:2:

Ab dem HDMI-Standard 1.4 wird für die 4:2:2 Farbunterabtastung nur 12bit Farbtiefe unterstützt („Deep Colour Mode“). Deshalb werden Signale mit 8bit und 10bit Quantisierung auf 12bit aufgefüllt, indem die niedrigwertigsten Bits unterhalb LSB auf „0“ gesetzt werden. Zusätzlich wird der TMDS-Clock aus dem 1,5-fachen Pixelclock errechnet.

$$(720 + 144) * (576 + 49) * 25\text{Hz} * 36\text{bit} * \frac{2}{3} * \frac{10}{8} = 405 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 405 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}} \div 3 = 135 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \frac{135 \text{ Mbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} * 1,5 = 13,5 \text{ MHz}$$

$$\Rightarrow \text{HDMI erfordert eine Pixelwiederholung für } 720 \times 576 \text{i}/25 \Rightarrow 9 \text{ MHz} * 2 = 18 \text{ MHz}$$

Für 1080i/25, 12bit, 4:4:4:

$$(1920 + 720) * (1080 + 45) * 25\text{Hz} * 36\text{bit} * 1 * \frac{10}{8} \approx 3,34 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 3,34 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 1,11 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \frac{1,11 \text{ Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} = 74,25 \text{ MHz}$$

Für 1080i/25, 10bit, 4:2:2:

Ab dem HDMI-Standard 1.4 wird für die 4:2:2 Farbunterabtastung nur 12bit Farbtiefe unterstützt („Deep Colour Mode“). Deshalb werden Signale mit 8bit und 10bit Quantisierung auf 12bit aufgefüllt, indem die niedrigwertigsten Bits unterhalb LSB auf „0“ gesetzt werden. Zusätzlich wird der TMDS-Clock aus dem 1,5-fachen Pixelclock errechnet.

$$(1920 + 720) * (1080 + 45) * 25\text{Hz} * 36\text{bit} * \frac{2}{3} * \frac{10}{8} = 2,2275 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 2,2275 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 0,7425 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \frac{0,7425 \text{ Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} * 1,5 = 74,25 \text{ MHz}$$

Für 1080p/25, 12bit, 4:4:4:

$$(1920 + 720) * (1080 + 45) * 25\text{Hz} * 36\text{bit} * 1 * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}} \approx 3,34 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 3,34 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 1,11 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \frac{1,11 \text{ Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} = 74,25 \text{ MHz}$$

Für 1080p/25, 10bit, 4:2:2:

Ab dem HDMI-Standard 1.4 wird für die 4:2:2 Farbunterabtastung nur 12bit Farbtiefe unterstützt („Deep Colour Mode“). Deshalb werden Signale mit 8bit und 10bit Quantisierung auf 12bit aufgefüllt, indem die niedrigwertigsten Bits unterhalb LSB auf „0“ gesetzt werden. Zusätzlich wird der TMDS-Clock aus dem 1,5-fachen Pixelclock errechnet.

$$(1920 + 720) * (1080 + 45) * 25\text{Hz} * 36\text{bit} * \frac{2}{3} * \frac{10}{8} = 2,2275 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 2,2275 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 0,7425 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \frac{0,7425 \text{ Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} * 1,5 = 74,25 \text{ MHz}$$

Für 720p/50, 12bit, 4:4:4:

$$(1280 + 700) * (720 + 30) * 50\text{Hz} * 36\text{bit} * 1 * \frac{10}{8} \approx 3,34 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 3,34 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 1,11 \text{ Gbit/s}$$

$$\Rightarrow \frac{1,11 \text{ Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} = 74,25 \text{ MHz}$$

Für 720p/50, 10bit, 4:2:2:

Ab dem HDMI-Standard 1.4 wird für die 4:2:2 Farbunterabtastung nur 12bit Farbtiefe unterstützt („Deep Colour Mode“). Deshalb werden Signale mit 8bit und 10bit Quantisierung auf 12bit aufgefüllt, indem die niedrigwertigsten Bits unterhalb LSB auf „0“ gesetzt werden. Zusätzlich wird der TMDS-Clock aus dem 1,5-fachen Pixelclock errechnet.

$$(1280 + 700) * (720 + 30) * 50\text{Hz} * 36\text{bit} * \frac{2}{3} * \frac{10}{8} \approx 2,2275 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 2,2275 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 0,7425 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \frac{0,7425 \frac{\text{Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}}} * 1,5 = 74,25 \text{ MHz}$$

Für 1080/p50, 12bit, 4:4:4 :

$$(1920 + 720) * (1080 + 45) * 50\text{Hz} * 36\text{bit} * 1 * \frac{10}{8} \approx 6,68 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 6,68 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 2,23 \text{ Gbit/s}$$

$$\Rightarrow \frac{2,23 \text{ Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} = 148,50 \text{ MHz}$$

Für 1080/p50, 10bit, 4:2:2:

Ab dem HDMI-Standard 1.4 wird für die 4:2:2 Farbunterabtastung nur 12bit Farbtiefe unterstützt („Deep Colour Mode“). Deshalb werden Signale mit 8bit und 10bit Quantisierung auf 12bit aufgefüllt, indem die niedrigwertigsten Bits unterhalb LSB auf „0“ gesetzt werden. Zusätzlich wird der TMDS-Clock aus dem 1,5-fachen Pixelclock errechnet.

$$(1920 + 720) * (1080 + 45) * 50\text{Hz} * 36\text{bit} * \frac{2}{3} * \frac{10}{8} = 4,455 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 4,455 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 1,485 \text{ Gbit/s}$$

$$\Rightarrow \frac{1,485 \text{ Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} * 1,5 = 148,5 \text{ MHz}$$

Für den HDMI-Standard 2.1 wurde die Struktur der Datenübermittlung geändert und die Daten werden nun paketorientiert übertragen. Daneben wird eine verlustbehaftete Kompression (VESA DSC) bei Datenraten über 48Gbit/s eingesetzt und die Daten werden anstatt über 3 über 4 TDMS-Kanäle übertragen (FRL-Mode). Als vierter TDMS-Kanal wird der Clock-TDMS-Kanal verwendet.

Für 2160/p50, 12bit, 4:4:4:

Bei Gesamtdatenraten über 18 Gbit/s (gilt ab HDMI-Standard 2.1) wird anstatt des 8b/10b Leitungscodes der 16b/18b Leitungscodes verwendet.

$$(3840 + 1440) * (2160 + 90) * 50\text{Hz} * 36\text{bit} * 1 * \frac{18}{16} \approx 24,06 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 24,06 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 8,02 \text{ Gbit/s}$$

$$\Rightarrow \frac{8,02 \text{ Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{18\text{bit}}{16\text{bit}}} = 594,0 \text{ MHz}$$

Für 2160/p50, 10bit, 4:2:2:

Ab dem HDMI-Standard 1.4 wird für die 4:2:2 Farbunterabtastung nur 12bit Farbtiefe unterstützt („Deep Colour Mode“). Deshalb werden Signale mit 8bit und 10bit Quantisierung auf 12bit aufgefüllt, indem die niedrigwertigsten Bits unterhalb LSB auf „0“ gesetzt werden. Zusätzlich wird der TMDS-Clock aus dem 1,5-fachen Pixelclock errechnet

$$(3840 + 1440) * (2160 + 90) * 50\text{Hz} * 36\text{bit} * \frac{2}{3} * \frac{10}{8} = 17,82 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow 17,82 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}} \div 3 = 5,94 \text{ Gbit/s}$$

$$\Rightarrow \frac{5,94 \text{ Gbit/s}}{12\text{bit} * \frac{10\text{bit}}{8\text{bit}}} \times 1,5 = 594,0 \text{ MHz}$$

Anhang: Beispiele von Messaufbauten

Messaufbau mit Oszilloskopen

Randbedingungen:

- Oszilloskop mit ausreichender Bandbreite (GHz-Bereich).
- Differenzieller Tastkopf/Adapter mit ausreichender Bandbreite.
- Bei Messung von Quellen, ein Messadapter zum Aufsplitten der Daten-/ Clockleitungen und einer EDID-Simulation um eine Datenausgabe der Quelle zu gewährleisten.
- Hochgenaue PLL Taktrückgewinnung für Jitter-Messungen.

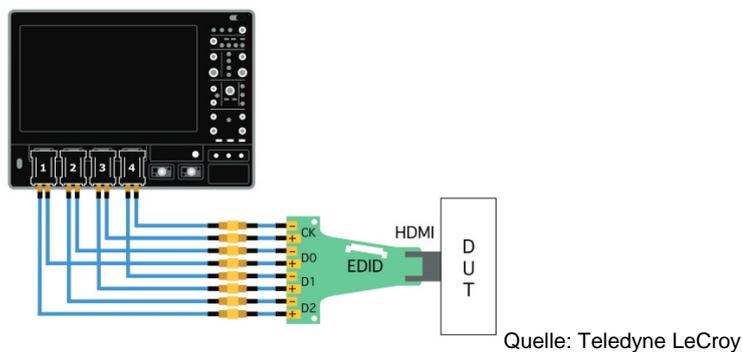


Abbildung 19: Messaufbau mit Oszilloskop, Messadapter und Prüfling



Abbildung 20: Beispiele von Messgeräten für physikalische Parameter von Tektronix und LeCroy.

Messaufbau mit HDMI-Messsystemen

Bei Kauf von Komplettsystemen sind die Randbedingungen bereits im System berücksichtigt.



Abbildung 21: Messsystem mit zugehörigem Messadapter von R&S, hier verwendet zur Messung einer Set-Top-Box.

Messaufbau für logische HDMI-Messungen

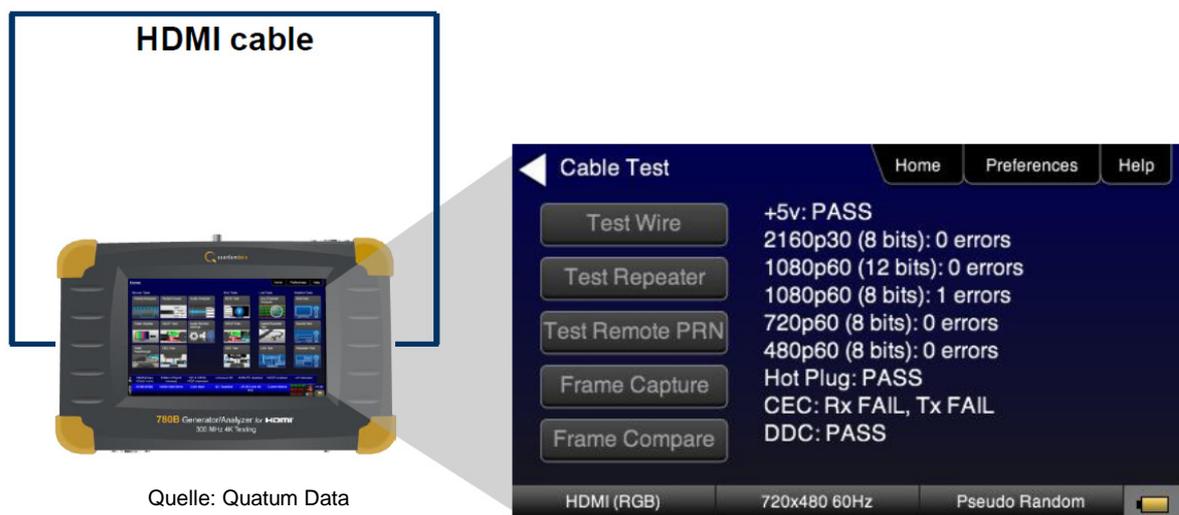


Abbildung 22: Messaufbau mit einem tragbaren Messsystem von Quantum Data zur Kabelmessung auf der logischen Ebene

Bezugsquellen

Technischen Richtlinien:

Institut für Rundfunktechnik GmbH
Floriansmühlstr. 60
80939 München

E-mail: gierlinger@irt.de
Homepage: <http://webdb.irt.de/richtlinien/>
Telefon: +49-89-32399-391
Telefax: +49-89-32399-200

EBU-Dokumente:

European Broadcasting Union
Ancienne Route 17A
1218 Grand-Saconnex/GE
Switzerland / Suisse

E-mail: miles@ebu.ch
Homepage: <http://tech.ebu.ch/publications>
Telefon: +41-22-717-2743
Telefax: +41-22-717-2710

SMPTE-Publikationen:

Society of Motion Picture and Television Engineers
595 West Hartsdale Avenue
White Plains, New York 10607 USA

General E-Mail: smppte@smppte.org
Homepage: <https://www.smppte.org/standards>
Telefon: +1-914-761-1100
Telefax: +1-914-761-3115

ITU-Dokumente:

International Telecommunication Union (ITU)
Publication Sales
Place des Nations
1211 Genève 20
Switzerland / Suisse

E-mail: sales@itu.int
Homepage: <http://www.itu.int/publications>
Telefon: +41-22-730 6141
Telefax: +41-22-730 5194

DIN-Normen/ISO-Standards:

Beuth Verlag GmbH
Burggrafenstr. 6
10787 Berlin

E-mail: info@beuth.de
Homepage: <http://www2.beuth.de>
Telefon: +49-30-2601-2260
Telefax: +49-30-2601-1260

IEC-Publikationen:

VDE Verlag GmbH
Postfach 12 0143
10591 Berlin

E-Mail: vertrieb@vde-verlag.de
Homepage: <http://www.vde-verlag.de>
Telefon: +49-30-348001-220
Telefax: +49-30-3417093

HDMI-Specification:

HDMI Licensing, LLC
1140 East Arques Avenue, Suite 100
Sunnyvale, CA 94085
USA

E-Mail: admin@hdmi.org
Homepage: <http://www.hdmi.org>

----- Hinweis -----

Zugriff auf Richtlinien und Arbeitsgruppenergebnisse von



<http://www.irt.de/richtlinien>



Institut für Rundfunktechnik

Floriansmühlstraße 60

80939 München

www.irt.de

Tel. +49 (0) 89 | 323 99 - 204

Fax +49 (0) 89 | 323 99 - 205

presse@irt.de

Registergericht München Eintrag Abteilung

B Band 65 Nr. 5191