

Bachelorarbeit

SDI over IP

Der Wechsel von SDI zu Ethernet in der Fernsehstudioteknik

Vorgelegt von Lars Kracht

Matrikelnummer: 28600

Bearbeitungszeitraum: 01.12.2016 – 28.02.2017

Hochschule der Medien

Nobelstraße 10

70569 Stuttgart

Studiengang Audiovisuelle Medien

Wintersemester 2016/17

Erstprüfer: Prof. Oliver Curdt

Zweitprüfer: Prof. Roland Kiefer

Eidesstaatliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Lars Kracht, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel: „SDI over IP – Der Wechsel von SDI zu Ethernet in der Fernsehstudioteknik“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Lars Kracht

Hamburg, den 23. Februar 2017

Kurzfassung

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Möglichkeit die Signalverteilung in einem professionellen Fernsehstudio in Zukunft über ein IP-Netzwerk zu realisieren. Dabei wird geprüft, ob ein IP-Netzwerk den Anforderungen an Qualität und Sicherheit im Fernsehstudio dem SDI Standard gleichkommt. Insbesondere werden die Standards SMPTE 2022 von dem Society of Motion Picture and Television Engineers Verband und Audio Video Bridging (AVB) von der Audio/Video Bridging Taskgroup vorgestellt und verglichen. Ziel der Arbeit ist, das Potential für einen Wechsel von SDI zu IP aufzuzeigen und zu bewerten.

Abstract

This Bachelor thesis deals with the possibility of realizing the signal distribution in a professional TV studio via an IP network in the future. In doing so, it is examined whether an IP network is equal to the requirements of quality and security of the SDI standard in the TV studio. In particular it will present and compare the two standards SMPTE 2022 by the Society of Motion Picture and Television Engineers Association and Audio Video Bridging (AVB) by the Audio/Video Bridging Taskgroup. The aim of this work is to show the potential of a change from SDI to IP.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstaatliche Erklärung	I
Kurzfassung	II
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Zielsetzung.....	2
2 Grundlagen Fernsehstudioteknik	3
2.1 Anforderungen Fernsehstudioteknik	4
2.2 Komponenten im Fernsehstudio	4
2.3 Signalverteilung im Fernsehstudio.....	5
2.4 Datenrate und Formate	6
2.5 Serial Digital Interface (SDI)	7
2.5.1 Kreuzschiene SDI	9
2.6 Synchronisation	11
2.7 Probleme und Grenzen der Studioteknik	12
3 Grundlagen Netzwerktechnik	12
3.1 OSI/ISO Schichtenmodell	13
3.2 Ethernet nach IEEE 802.3	18
3.2.1 Ethernet Frame	19
3.3 Protokolle	20
3.3.1 Internet Protocol (IP).....	20
3.3.2 User Datagram Protocol (UDP)	22
3.3.3 Real Time Transport Protocol (RTP)	23
3.4 Komponenten.....	25
3.4.1 Switch	25
3.4.1.1 Virtuelle LANs.....	26
3.4.1.2 Switchingverfahren	26
3.4.2 Router	27
3.4.3 Übertragungsmedium	29

3.4.3.1	Twisted-Pair-Kabel	29
3.4.3.2	Glasfaserkabel.....	30
3.5	Unicast, Broadcast, Multicast.....	31
4	Wechsel von SDI zu IP.....	33
4.1	SMPTE 2022.....	34
4.1.1	High-Bitrate Media Transport Protocol	36
4.1.2	Synchronisation	37
4.1.3	Switching.....	38
4.1.4	Forward Error Correction (FEC).....	39
4.1.5	Software Defined Networking (SDN)	40
4.2	Audio/Video Bridging (AVB).....	40
4.2.1	Synchronisation (gPTP).....	42
4.2.2	Stream Reservation Protocol (SRP).....	43
4.2.3	Latenzen und Traffic Shaping.....	43
4.2.4	Audio Video Transport Protokoll (AVTP)	44
4.2.5	Geräteerkennung.....	44
5	Vergleich SMPTE 2022 und AVB	45
5.1	Vorteile.....	46
5.2	Nachteile	48
6	Integration in ein Fernsehstudio.....	50
6.1	Probleme bei der Integration.....	50
6.2	Chancen bei der Integration.....	51
7	Remote Production	52
8	Fazit.....	53
	Literaturverzeichnis	IX

Abkürzungsverzeichnis

ACMP	AVDECC Connection Management Protocol
ADP	AVDECC Discovery Protocol
AECP	AVDECC Enumeration and Control Protocol
AES	Audio Engineering Society
AVB	Audio Video Bridging
AVDECC	Audio Video Discovery, Enumeration, Connection management and Control
AVTP	Audio Video Transport Protocol
BNC	Bayonet Neill Concelman
CCU	Camera Control Unit
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
EBU	European Broadcast Union
EGP/BGP	Exterior Gateway Protocol / Border Gateway Protocol
FEC	Forward Error Correction
FTP	File Transfer Protocol
GenLock	Generator locking device
GPS	Global Positioning System
gPTP	Generalized Precision Time Protocol
HANC	Horizontal Ancillary Data
HBRMT	High Bit Rate Media Transport
HD	High Definition
HFR	Higher Frame Rate
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol Version 4
ISO/IEC	Internationale Organisation für Normung
IT	Informationstechnik
ITU	Internationale Fernmeldeunion
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control
MPEG	Moving Picture Experts Group
OSI	Open Systems Interconnections Model
OSPF	Open Shortest Path First

PTP	Precision Time Protocol
QoS	Quality of Service
RFC	Request for Comments
RGB	Rot Grün Blau Farbraum
RIP	Routing Information Protocol
RTCP	RealTime Control Protocol
RTP	RealTime Protocol
S/FTP	Screened Folied Twisted Pair
SD	Standard Definition
SDI	Serial Digital Interface
SDN	Software Defined Networking
SMPTE	Society of Motion Picture & Television Engineers
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SRP	Server Routing Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TLS	Tri-Level-Synchronisation
TP	Twisted Pair
TTL	Time to live
Ü-Wagen	Übertragungswagen
UDP	User Datagram Protocol
UHD	Ultra-High Definition
UTP	Unshielded Twisted Pair
VANC	Vertical Ancillary Data
VLAN	Virtual Local Area Network
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 HD-Definition der EBU	7
Abbildung 2-2 SDI Frame	9
Abbildung 2-3 Mögliche Zustände in der Kreuzschiene	10
Abbildung 2-4 Studiotaktverteilung mit Zentraltakt	11
Abbildung 3-1 OSI/ISO Schichtenmodell	14
Abbildung 3-2 Übertragung eines Pakets über mehrere Knoten	17
Abbildung 3-3 Aufbau eines Ethernet Frames	20
Abbildung 3-4 Aufbau eines IPv4 Header	22
Abbildung 3-5 Aufbau UDP Header	23
Abbildung 3-6 Verschachtelung von RTP in UDP	24
Abbildung 3-7 Aufbau RTP Header	24
Abbildung 3-8 Unterschiedliche Übertragungsvarianten von Glasfaser	31
Abbildung 4-1 Grenzen der AVB Cloud	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Eigenschaften des HD-Signals nach ITU-R BT.709.....	6
Tabelle 2-2 SDI Schnittstellen mit ihren Spezifikationen.....	8
Tabelle 3-1 Gängige Ethernet Standards.....	19
Tabelle 3-2 Genormte Twisted-Pair-Kabeltypen.....	30
Tabelle 4-1 Unterschiede SDI zu IP.....	33
Tabelle 4-2 SDI Streams mit verschiedenen Ethernet Geschwindigkeiten.....	34
Tabelle 4-3 Verschachtelung von SDI.....	35
Tabelle 5-1 Vergleich SMPTE 2022 und AVB.....	46

1 Einleitung

Das Fernsehen und somit auch die Fernsehstudioteknik haben in den letzten Jahrzehnten einen gewaltigen Wechsel erlebt. Der Zuschauer lässt sich nicht mehr vorschreiben, wann und wo er eine Sendung sieht, sondern entscheidet selbstständig, wie und wo er Zugriff auf das Medium hat. Fernsehsender produzieren schon lange nicht mehr nur klassische Fernsehsendungen. Es werden von Internetcontent über Push Nachrichten bis zu Livesendungen verschiedenste Arten produziert und ausgestrahlt. Alles mit dem Ziel, den Content an den Zuschauer zu bringen und das unabhängig von der Form.¹ Diese Art von Produktion stellt die Fernsehanstalten vor neue Herausforderungen. Es muss schneller, besser und genauer produziert werden. Durch die große Anzahl von Distributionskanälen ist ein Fernsehsender verpflichtet viele verschiedene Formate auszustrahlen. Hierbei geht die Bandbreite von SD Videos bis zu hochwertigen UHD Produktionen. Die dabei aufkommenden Datenmengen sind heutzutage nicht mehr zu unterschätzen. Alleine bei der Europameisterschaft 2016 in Frankreich wurden 47 HD-Kameras und erstmals 14 UHD Kameras pro Spiel eingesetzt. Dem Zuschauer war die Möglichkeit gegeben, online den Feed von einer bestimmten Kamera selber zu wählen.²

Die lineare Produktion, in der das Bild aufgenommen wird, anschließend bearbeitet und dann erst gesendet wird, ist längst Vergangenheit. In der professionellen Fernsehproduktion wird ein Signal an mehreren Orten gleichzeitig benötigt und das nahezu latenzfrei. Dabei muss es machbar sein, ein Video oder auch Audio Signal überall in der Produktionsstätte abzugreifen und auch wieder einzuspeisen. An die Fernsehanstalten wird ein großes Maß an Flexibilität und Spontanität gestellt. Hier kommen die klassische Kreuzschiene und auch das Serial Digital Interface schnell an ihre Grenzen.

In der IT ist es bereits möglich riesige Datenmengen formatunabhängig zu versenden. Es gibt etliche IT Standards, welche schnell auf die Bedürfnisse der Fernsehanstalten angepasst werden können. Mit der Verwendung von Netzwerktechnik in den Medien schließt man sich einem milliardenschweren Markt an, welcher täglich technische Weiterentwicklungen mit sich bringt. Durch die

¹ LAWO, 2015: S.2

² <https://euro2016-host-broadcast-operations-manual.uefapublications.com/#!/book/173>
[Stand: 05.01.2017]

Implementierung von standardisierter IT Technik können Formate wie 4K oder 8K ohne große Umbauten realisiert werden. In den Studios kann sich so auf die Produktion konzentriert werden, ohne über die Distribution der Signale nachdenken zu müssen.

1.1 Problemstellung

Das Internet wurde nicht für die Anwendung von Echtzeitmedien entwickelt. Es spielt keine Rolle, ob eine E-Mail oder Webseite in Echtzeit geladen wird oder nicht. In den meisten Fällen merkt der Anwender nicht einmal, dass Pakete wiederholt angefordert werden. Das Internet funktioniert nach dem best effort Prinzip. Hierbei garantiert die Vermittlungsstelle eingehende Anfragen schnellstmöglich mit der zur Verfügung stehenden Bandbreite zu bearbeiten. Die Übermittlungsstelle garantiert keine verlustfreie Übertragung. Da bei Echtzeitmedien, wie zum Beispiel dem Fernsehen, die störungsfreie und kontinuierliche Übertragung ausschlaggebend ist, bedarf es an dieser Stelle noch gewissen Anpassungen der IT Technik.

Wie bereits erläutert, ist das Internet paketbasiert und nicht framebasiert. Dies bringt weitere Probleme mit sich. So ist das Switchen zwischen zwei Videosignalen nicht mehr einfach möglich und auch die Codierung von den einzelnen Signalen muss der Fragmentierung des Internets angepasst werden.

Ein solcher Wechsel kann bis zu zehn Jahre dauern, weshalb es wichtig ist die laufenden Produktionen nicht zu stören. Mitarbeitern, die bereits in ihrem Beruf als Tonmeister, Bildmischer etc. eingebunden sind, wird schon jetzt ein hohes Maß an Kompetenz abverlangt. Darum ist es wichtig, diese Berufe nicht noch mit zusätzlichen IT Wissen zu belasten. Es darf sich für Produktionsabteilung nichts ändern, sondern nur für die Distribution der einzelnen Signale.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es, einen Überblick über die Entwicklung von der IP Technik in der Broadcastbranche zu geben. Es soll dargestellt werden, welche Chancen, aber auch welche Herausforderungen der Wechsel mit sich bringt. Untersucht wird, inwiefern sich IT Netzwerke mit dem jetzigen Stand der Technik für die professionelle Fernsehstudioteknik eignen. Zudem wird geprüft, wie sich die IT

Technik weiterentwickeln muss, um sie in den Fernsehanstalten zu etablieren. Außerdem werden Standards beschrieben und auf ihre Probleme untersucht.

Diese Arbeit soll als eine Art Guide für Anwender dienen, die sich mit der Broadcastbranche beschäftigen, jedoch kein IT Hintergrundwissen haben. Sie soll die Verbindung zwischen IT und Medien schaffen.

2 Grundlagen Fernsehstudiotchnik

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Anforderungen an ein professionelles Fernsehstudio gestellt werden, um geeigneten Content für den Zuschauer zu produzieren. Es werden die einzelnen Komponenten des Studios erläutert und im Hinblick auf den Einsatz im Netzwerk untersucht. Um eine funktionierende Netzwerkstruktur zu entwickeln, muss die klassische Signalführung eines digitalen Fernsehstudios nachvollzogen und verstanden werden. Außerdem ist es wichtig zu wissen, welche Datenraten und Formate bei einer Produktion benötigt werden, um am Ende ein ausreichend dimensioniertes Netzwerk zu entwickeln.

Um den Wechsel von SDI zu IP zu beschreiben, muss zunächst verstanden werden, was SDI ist und warum es in der professionellen Videotechnik so verbreitet ist. Dieses Kapitel wird sich unter anderem mit der Zusammensetzung eines SDI Signals und der Entstehung von SDI beschäftigen. Darüber hinaus wird die Funktionsweise einer Kreuzschiene erklärt, da diese später durch Switche zu ersetzen ist. Hierbei wird auf die Arbeitsweise beim Umschalten zwischen verschiedenen Quellen eingegangen und die Grenzen von SDI werden erläutert.

Wie bereits erwähnt besteht ein Netzwerk in einem Fernsehstudio aus mehreren Komponenten. Wichtig für die Zusammenarbeit dieser Komponenten ist die Synchronisation. Bei der Fernsehstudiotchnik gibt es hierfür Synchronisationstechniken, die sich über Jahre bewährt haben. In dem kommenden Kapitel wird dieses Verfahren ebenfalls vorgestellt, da im Laufe der Arbeit die Synchronisation in Netzwerken eine wichtige Rolle spielen wird.

Zur Vereinfachung werden in diesem Kapitel die genannten Themen ausschließlich mit digitalen Signalen erklärt, da die analoge Technik weitestgehend ersetzt wurde. Außerdem findet die Übertragung in einem Netzwerk ebenfalls digital statt.

2.1 Anforderungen Fernsehstudiotchnik

Um ein stets gutes Produkt für den Zuschauer zu liefern, müssen bei der Produktion bestimmte Anforderungen eingehalten werden. Diese Anforderungen sind wichtig für den Workflow der gesamten Produktion. Bei einer mangelhaften Umsetzung der Anforderungen werden die verschiedenen Abteilungen der Fernsehproduktion gestört und es kommt zu Komplikationen im Betriebsablauf. Es ist wichtig, dass sich zum Beispiel ein Toningenieur auf die Mischung einer Sendung konzentrieren kann und nicht auf die Synchronität achten muss.

Für einen reibungslosen Ablauf ist eine permanente Übertragung in Echtzeit und ohne Fehler stets zu gewährleisten. Nur so kann das Bild oder auch der Ton vernünftig bearbeitet werden. Hierbei ist fast keine Latenz zulässig, da diese die Livebearbeitung massiv beeinträchtigen würde. Die Signale müssen für alle Abteilungen im Studio synchron verfügbar sein. Gleichzeitig müssen sie bearbeitet und wieder in die Bearbeitungskette eingespeist werden können. Dabei dürfen verschiedene Formate nicht zu Problemen führen. Außerdem muss es möglich sein, weitere Quellen wie zum Beispiel Effekte oder Banner in das Signal einzuspeisen. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wird heutzutage nicht mehr linear produziert. Somit ist es wichtig, dass alle Abteilungen gleichzeitig an dem Signal arbeiten können ohne sich gegenseitig zu stören. Das heißt, die Tonregie kann parallel zu der Bildregie arbeiten, um am Ende das Signal synchron zusammenzuführen.

2.2 Komponenten im Fernsehstudio

In diesem Unterkapitel werden die wichtigen Komponenten eines Fernsehstudios beschrieben. Es würde den Rahmen der Arbeit sprengen, die einzelnen Komponenten im Detail zu erläutern. Das Unterkapitel soll lediglich eine Übersicht geben, welche Komponenten bei einer Produktion beteiligt sind und somit später auch in ein Netzwerk mit eingebunden werden müssen.

Um die Medieninhalte generieren zu können, wird eine Kamera benötigt. Die Kamera produziert das Bildmaterial und gibt in der Regel ein unkomprimiertes RGB Signal aus. Dieses durchläuft anschließend die Camera Control Unit (CCU). Hier wird das Signal von dem Bildtechniker überwacht. Aus dem RGB Signal wird

ein Komponentensignal erstellt.³ Die genaue Zusammensetzung von dem Komponentensignal wird im Unterkapitel 2.4 beschrieben. Es wird der Weißabgleich vorgenommen und die Farbkorrektur vom Bildtechniker durchgeführt. Anschließend geht das Signal über SDI Verbindungen in die Bildregie. Hier liegen alle Kamerasignale an. Es können Effekte und Schriften auf das Bild editiert werden und auch externe Einspielungen in das Bild geschnitten werden. In der Bildregie entscheidet der Regisseur, welches Bild auf Sendung geht. Dafür schneidet der Bildmischer die verschiedenen Signale für das Sendebild zusammen. Auf dem Weg gibt es dabei etliche Monitore und Personen, die das Signal sehen müssen. Das Bild wird in vielen Fällen auch wieder zurück ins Studio geleitet, damit ein Kontrollmonitor für die Moderatoren aufgestellt werden kann.⁴

2.3 Signalverteilung im Fernsehstudio

Die Signalverteilung zwischen den Geräten zur Bildaufnahme, Bearbeitung und Wiedergabe erfolgt in Form von unkomprimierten digitalen Signalen. Die Signale müssen unkomprimiert versendet werden, da ansonsten die gewünschte Qualität in der Weiterverarbeitung nicht erreicht wird. Ausnahme sind reine Kontrollmonitore an denen das Signal nur gesichtet und nicht bearbeitet wird. Hier ist es durchaus möglich auch bereits komprimierte Signale zu verwenden. Die Signale werden in eine feste Größe geteilt und in gleichmäßigen Abständen nacheinander übertragen. Zu Latenzen kommt es bei dieser Übertragungsform im Normalfall nicht. Bei so einer Verteilung wird für jedes Signal (Video, Audio, Synchronisation usw.) ein eigenes Netzwerk aus Leitungen und Kreuzschienen aufgebaut. Es wird immer nur ein Signal in eine Richtung über ein Kabel versendet. Bei vielen Signalen ergibt sich somit eine aufwendige, aber leicht nachvollziehbare Verkabelung.

Üblicherweise werden die Videosignale getrennt von den Audiosignalen transportiert. Die Audiosignale werden über eine AES/EBU Schnittstelle übertragen. Hierbei handelt es sich um eine digitale Übertragung mit zwei unabhängigen Audiokanälen. Das Routing erfolgt über eine Audiokreuzschiene, wahlweise als Steckfeld oder Controllpanel. Eine Verbindung zwischen zwei Teilnehmern stellt immer eine Punkt-zu-Punkt Verbindung da.

³ SCHMIDT, 2013: S.421

⁴ SCHMIDT, 2013: S.768

Um die Kommunikation innerhalb der Produktion zu gewährleisten, wird neben dem Sendeton zusätzlich eine Intercom installiert. Durch die Intercom können alle Teilnehmer untereinander kommunizieren. Die Qualität dieses Audiosignals ist nicht so wichtig, da es der reinen Kommunikation dient.⁵

Die Verteilung der Videosignale wird in dem digitalen Fernsehstudio über die SDI Schnittstelle realisiert. Auf die Einzelheiten dieser Schnittstelle wird im Unterkapitel 2.5 genauer eingegangen.

2.4 Datenrate und Formate

Wie bereits in Unterkapitel 2.2 erwähnt, wird als Signal in der Fernsehstudioteknik ein Komponentensignal verwendet, welches sich aus einem Luminanzsignal⁶ und zwei Chrominanzsignalen⁷ zusammen setzt. Das Bildseitenverhältnis ist auf 16/9 mit quadratischen Pixeln festgelegt. Die Spezifikationen von einem HD-Signal sind in der Empfehlung ITU-R BT.709 festgelegt, welche in Tabelle 2-1 dargestellt sind. In der Spezifikation ITU-R BT 601 werden die SD Formate beschrieben, welche hier aber nicht weiter beleuchtet werden, da in den meisten Fällen in HD produziert wird.⁸

Bildseitenverhältnis	16:9		
Komponentenform	4:2:2		
Zeilen/Bild	1125		
Aktive Bildpunkte/Zeile	1920		
Aktive Zeilen/Bild	1080		
Abtastrate	74,25 MHz		
Bildfrequenzen	30p/30psF/60i	25p/25psF/50i	24p/24psF
Bildpunkte/Zeile	2200	2640	2750

Tabelle 2-1 Eigenschaften des HD-Signals nach ITU-R BT.709⁹

In Fernsehproduktionen hat man sich auf eine Abtastung von 4:2:2 geeinigt. Das heißt, dass die Chrominanzkomponente mit der Hälfte von der

⁵ SCHMIDT, 2013: S.146

⁶ Signal für Helligkeit

⁷ Signal für Farbigkeit

⁸ SCHMIDT, 2013: S.148

⁹ SCHMIDT, 2013: S.149

Luminanzkomponente abgetastet wird. Die European Broadcast Union (EBU) hat vier weitere HD-Formate für das Fernsehen festgelegt.¹⁰

System	Bezeichnung/ Abkürzung	Framerate (Hz)	aktive Pixel pro Zeile	Abtastrate (MHz)	Gesamt- zeilenzahl	Bitrate (netto) (4:2:2, 10 bit)
S1	1280 x 720/p/50 720p/50	50	1280	74,25	750	921,6 Mbit/s
S2	1920 x 1080/i/25 1080i/25	25 50 (Field)	1920	74,25	1125	1036,8 Mbit/s
S3	1920 x 1080/p/25 1080p/25	25	1920	74,25	1125	1036,8 Mbit/s
S4	1920 x 1080/p/50 1080p/50	50	1920	148,50	1125	2073,6 Mbit/s

Abbildung 2-1 HD-Definition der EBU¹¹

S1 gilt dabei hauptsächlich zur Distribution an die Zuschauer. S2 und S3 sind die bevorzugten Produktionsformate.

Für die Zukunft sind die UHD Formate 4K und 8K geplant. Sie haben 3840x2160 beziehungsweise 7680x4320 Bildpunkte. Als Erweiterung werden die Formate mit einer Higher Frame Rate (HFR) und einem 22.2 Audio ausgestattet. Dies sorgt für eine hohe Datenrate, welche kaum noch über herkömmliche Kabel übertragen werden kann.¹²

2.5 Serial Digital Interface (SDI)

Als Schnittstelle für die Übertragung des Videosignals wurde nach ITU-R BT.656 das Serial Digital Interface standardisiert. Hierbei werden Wortlängen von 8–10Bit mit einer maximalen Datenrate von 270Mbit/s übertragen. Als Stecker und Verbindungskabel wird ein Standard Koaxialkabel mit BNC Stecker und einem 75Ohm Widerstand verwendet. Dies wurde eingeführt, um die Umstellung von analog auf digital möglichst ohne große Umbaumaßnahmen durchführen zu können. Bereits vor SDI wurden die Signale mit Koaxialkabeln übertragen. Mit SDI können Kabelwege von bis zu 250 Metern überwunden werden, wobei keine Fehlererkennung vorgesehen ist. SDI kann auch über ein Optisches Kabel übertragen werden, wodurch längere Strecken möglich sind.¹³

¹⁰ SCHMIDT, 2013: S.151

¹¹ SCHMIDT, 2013: S.151

¹² SCHMIDT, 2013: S.152

¹³ SCHMIDT, 2013: S.154

Die Daten werden bei SDI seriell, also nacheinander übertragen. Dabei wird das Bild Zeile für Zeile gesendet. Da das Bild von oben nach unten ausgelesen wird, kann es durch die serielle Übertragung zu keinen Fehlern in der Zusammensetzungsreihenfolge kommen.

Mit der Entwicklung von HD wurde SDI in der Datenrate erweitert. HD-SDI wurde in SMPTE 259M mit einer Datenrate von 1,465Gbit/s eingeführt. Darüber hinaus gibt es noch SMPTE 372M, den Dual Link Standard mit einer Datenrate von 2*1,485Gbit/s und SMPTE 424M als 3G Standard mit einer Datenrate von 2,97Gbit/s. Es gibt bereits weitere Standards für 6G-SDI oder auch 12G-SDI für die Übertragung von 4K Material, jedoch sind hier nur sehr kurze Kabelstrecken möglich. Generell lässt sich sagen, dass die Fehlerquote abhängig von der Kabellänge ist, da es auf langen Strecken zu Datenstaus kommen kann. Die nachfolgende Tabelle 2-2 zeigt die gängigen SDI Formate mit ihren Spezifikationen.¹⁴

Schnittstelle	Stecker	Audiokanäle	Datenrate	Videosignal	Leitungslänge
SDI SMPTE 259M	BNC	4 x 4 embedded	270Mbit/s	576i, 4:2:2	250m
HD-SDI SMPTE 292M	BNC	4 x 4 embedded	1,485 Gbit/s	720p, 1080i 4:2:2	70 - 80m
Dual Link HD-SDI SMPTE 372M	2 x BNC	8 x 4 embedded	2,970 Gbit/s	720p, 1080i, 1080p, 2K 4:4:4, 4:2:2	70 - 80m
3G HD-SDI SMPTE 424M	BNC	4 x 4 embedded	2,970 Gbit/s	720p, 1080i, 1080p, 2K 4:4:4, 4:2:2	35 - 40m

Tabelle 2-2 SDI Schnittstellen mit ihren Spezifikationen¹⁵

Zusätzlich werden bei einem SDI Signal noch weitere Daten übertragen. Es wird pro Bild eine Vertical Ancillary Data (VANC) und pro Zeile eine Horizontal Ancillary Date (HANC) übertragen. In diesen ANCs können Steuerdaten, Timecode, Audiospuren und andere Daten übertragen werden. Das VANC und HANC stammen aus der Analogtechnik. Hier war es nötig einen großen Horizontalsynchronimpuls und eine große Austastlücke zu senden, um die Synchronität sicher zu stellen. Wenn der Ton im Ancillary Bereich übertragen wird,

¹⁴ SCHMIDT, 2013: S.155

¹⁵ DICKREITER, 2014: S.983

redet man von Embedded Audio. Das hat den Vorteil, dass Audio und Video über ein Kabel laufen und somit synchron beim Empfänger ankommen. In der Produktion selber wird dies jedoch nicht realisiert, da die Signale zu unterschiedlichen Geräten führen. Bei der Übertragung über weite Strecken, wie zum Beispiel in ein anderes Studio, kommt diese Technik schon eher zum Einsatz. Die nachfolgende Abbildung 2-2 zeigt den Aufbau eines SDI Frames.¹⁶

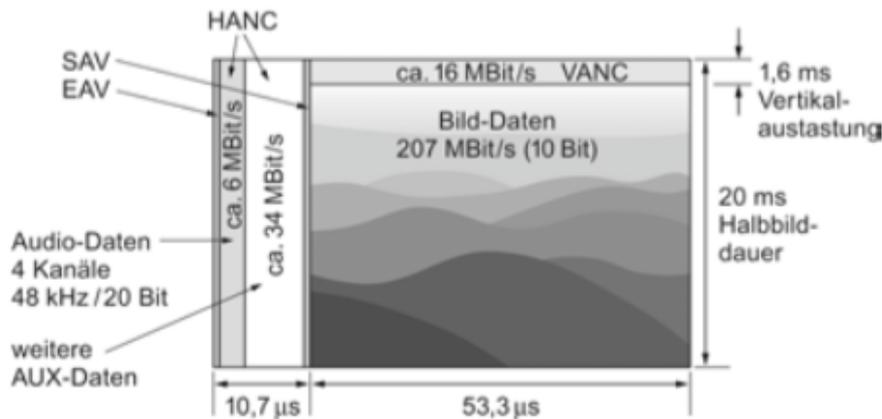


Abbildung 2-2 SDI Frame¹⁷

2.5.1 Kreuzschiene SDI

Die Signale werden alle an einen zentralen Punkt, der Kreuzschiene, im Fernsehstudio geleitet. Von dort aus können die Signale geroutet und verteilt werden. Das Routing geschieht in der Regel über eine Controllsoftware mit einem dazugehörigen Panel. So müssen keine Kabel umgesteckt werden, um ein Signal zu routen. Die Kreuzschiene ist das Herzstück der Fernsehstudioteknik. Diese Geräte wurden speziell für den Broadcastbereich entwickelt und sind extrem teuer. Je nach Größe und Routingkapazitäten werden hierfür mehrere Tausend Euro ausgegeben. Sie müssen sehr verlässlich arbeiten und dürfen unter keinen Umständen ausfallen.

Eine Kreuzschiene bildet eine Matrix aus Ein- und Ausgangskanälen. In Abhängigkeit der Kanäle (256x256, 512x512 usw.), wird die Größe der Kreuzschiene benannt. Durch Umschalten kann ein Eingangssignal (Signalquelle) auf einen Ausgang oder mehrere Ausgänge (Signalsenken) geroutet werden. Es

¹⁶ LAABS, 2012: S.1

¹⁷ DICKREITER, 2014: S.985

ist jedoch nicht zulässig, mehrere Signalquellen auf eine Signalsenke zu routen. Die Abbildung 2-3 verdeutlicht die möglichen Verschaltungszustände.¹⁸

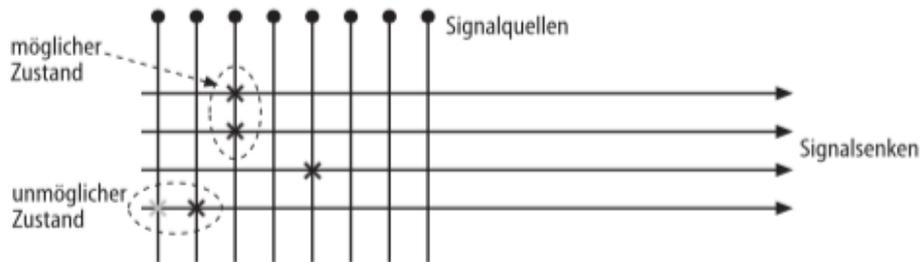


Abbildung 2-3 Mögliche Zustände in der Kreuzschiene¹⁹

Ohne weitere Elektronik würde es beim Umschalten zwischen zwei Signalen zu Bildfehlern kommen. Beim Betätigen des Schalters mitten im Halbbild kommt es so zu Synchronisationsstörungen, was zu Bildaussetzern führt. Um dies zu vermeiden, sorgt eine Elektronik dafür, dass das Schalten nur in der vertikalen Austastlücke möglich ist. Beim Betätigen des Schalters mitten im Halbbild wird der Umschaltvorgang vorbereitet. Hinter dem Schalter befindet sich ein UND Gatter, welches schließlich in Verbindung mit dem nächsten V-Synchronimpuls schaltet.²⁰ Kreuzschienen sind nicht zukunftsorientiert und bringen gewisse Probleme mit sich. Jedes Signal muss einzeln zu der Kreuzschiene geführt werden und auch wieder weg. Dadurch sind sehr große Steckfelder notwendig, die jede Menge Platz verbrauchen. Ein sehr großer Nachteil von Kreuzschienen ist die Formatabhängigkeit. Wenn eine Fernsehanstalt eine Kreuzschiene mit SDI Schnittstellen gemäß SMPTE 259M besitzt, muss diese für die Übertragung von HD-Signalen komplett ausgetauscht werden. So muss bei jedem neuen Format wie zum Beispiel 4K oder auch 8K eine neue Kreuzschiene angeschafft werden. Da die Signale alle einzeln übertragen werden, wird eine Kreuzschiene auch nicht sehr ökonomisch betrieben. Besitzt ein Fernsehstudio nun zum Beispiel eine Kreuzschiene mit ausschließlich 3G-SDI Schnittstellen nach SMPTE 424M, will aber ein SD Signal mit einer geringeren Datenrate übertragen, muss hierfür auch eine komplette 3G Schnittstelle verbraucht werden. Eine Kreuzschiene ist nicht

¹⁸ SCHMIDT, 2013: S.727

¹⁹ SCHMIDT, 2013: S.727

²⁰ SCHMIDT, 2013: S.728

sehr flexibel nutzbar und muss bei jeder Veränderung komplett neu konfiguriert oder gar angeschafft werden.²¹

2.6 Synchronisation

Wie bereits angedeutet ist die Synchronisation in einem professionellen Fernsehstudio sehr wichtig. Das Synchronisieren ist erst bei dem Einsatz von mehreren Signalen in der Bearbeitung entscheidend. Sind diese verschiedenen Signale nicht zueinander synchronisiert, ist ein Umschalten zwischen verschiedenen Quellen ohne Bildfehler unmöglich. Außerdem kann der Ton zu dem Bild asynchron verlaufen, was bei dem Zuschauer zu erheblicher Verwirrung führt.

Bei der Bildbearbeitung muss bei allen Geräten das erste Pixel eines Bildes exakt gleichzeitig angezeigt werden. Um die Synchronisation im Studio zu gewährleisten wird meistens ein Taktgenerator eingesetzt, der den Studiotakt über ein Koaxialkabel für alle Geräte vorgibt. Der Taktgenerator generiert einen Generator Lock (GenLock), welcher mit Punkt-zu-Punkt Verbindungen verteilt wird. Diese Technik stammt aus dem analogen Studio, wird aber heute noch genauso verwendet.

Die HD Signale werden mit einem Tri-Level-Sync (TLS) synchronisiert. Das Ganze funktioniert nach dem Master-Slave System. Es gibt eine Masterclock, in diesem Fall der Taktgenerator und verschiedene Slaves, die den Takt empfangen. Hierbei ist es wichtig, dass nur ein Master im System vorhanden ist. Die nachfolgende Abbildung 2-4 veranschaulicht die Verteilung des Studiotaktes.²²

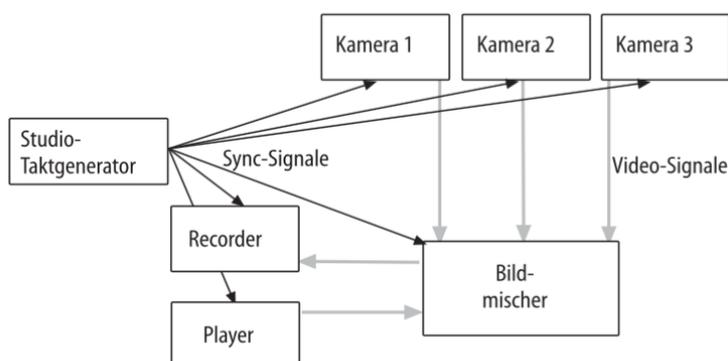


Abbildung 2-4 Studiotaktverteilung mit Zentraltakt²³

²¹ SCHMIDT, 2013: S.627

²² SCHMIDT, 2013: S.725

²³ SCHMIDT, 2013: S.724

2.7 Probleme und Grenzen der Studiotechnik

Die Studios sind heute in der Lage problemlos fehlerfreien Content für die Zuschauer zu produzieren, jedoch wird die SDI Technik durch die schnelle Entwicklung von immer neuen Auflösungen und Formaten bald an ihre Grenzen kommen. Die folgenden vier prägnanten Punkte zeigen die Probleme und Grenzen der heutigen Fernsehstudiotechnik:

1. Die Bearbeitung und Aufzeichnung der Signale geschieht auf sehr speziellen Geräten. Diese Geräte wurden meistens nur für eine Aufgabe konzipiert. Das macht sie sehr teuer. Da der Broadcastmarkt nur einen kleinen Teil der Wirtschaft ausmacht, wird hier nur wenig Geld investiert.
2. Die Signale (Video, Audio, Synchron, Steuerdaten) werden getrennt im Studio verteilt, eine Verkabelung ist somit sehr aufwendig. Jedes neue Signal benötigt ein neues Kabel und mit der Veränderung eines Formates muss die gesamte Studioverkabelung neu konzipiert werden. Die Signale werden Punkt-zu-Punkt an jeden Teilnehmer im Studio verteilt und können somit nicht zwischendrin abgegriffen werden.
3. Das Routing innerhalb des Studios ist mit Hilfe von Kreuzschienen sehr aufwendig und teuer. Kreuzschienen verbrauchen viel Platz und leisten dafür relativ wenig. Für jedes Signal wird eine Schnittstelle benötigt, es ist keine Form von Signalbündelung möglich. Außerdem ist die Anbindung von Signalen aus anderen Standorten nur schwer zu realisieren.
4. Herkömmliche SDI Verkabelung ist in Bezug auf die Datenrate begrenzt. Mit sehr hohen Datenraten sind nur noch sehr kurze Leitungswege möglich. Theoretisch kann auch Glasfaser verwendet, jedoch ändert sich hier nichts an dem Routing oder der Signalverteilung. Es bleibt eine Punkt-zu-Punkt Verbindung.

3 Grundlagen Netzwerktechnik

Die Grundlage für eine Netzwerktechnologie im Fernsehstudio bildet die standardisierte Netzwerktechnik aus der IT. Das folgende Kapitel wird sich daher mit den Grundlagen der Netzwerktechnik befassen, sowie der Umsetzung der Netzwerktechnik im Studio. Da das Internet bereits einen weitverbreiteten Standard für die weltweite Kommunikation gesetzt hat, müssen die vorhandenen

Protokolle und Komponenten nur noch richtig verwendet werden, um ein Netzwerk für eine Studioumgebung zu realisieren.

Die stetige Entwicklung und Vernetzung von vielen Komponenten treibt die Entwicklung voran und fordert immer neue Technologien. Diese Technologien können sehr gut in die Broadcastbranche adaptiert werden. So ist es möglich, eine Kommunikation auf der lokalen Ebene (LAN) wie auch auf der weltweiten Ebene (WAN) zu realisieren. Mit den heutigen technischen Möglichkeiten sind dem Datenaustausch fast keine Grenzen mehr gesetzt.

Gerade bei der Vernetzung von Wide Area Networks sind große Datenraten mit hoher Ausfallsicherheit gefragt. Hier müssen Hochleistungsrouter für den flüssigen Datenverkehr sorgen. Dabei ist es wichtig, auf geringe Kosten und einfaches Management der Netze zu achten. Da diese Faktoren aber bereits von der IT Technik betreut und realisiert werden, muss die Broadcastbranche sich nur noch den bereits bestehenden Technologien anschließen. Sie kann die kompletten Vorteile sowie bereits bestehende Netzwerke für die Produktion von Echtzeitmedien nutzen.

Um in einem Netzwerk Daten zu übertragen werden bestimmte Komponenten und Protokolle benötigt. Hierfür gibt es bereits standardisierte und anerkannte Verfahren. Diese können ebenso auf das Versenden von sensiblen Echtzeitmedien, wie zum Beispiel Videomaterial, angewendet werden. Obwohl das Internet nach dem best effort Prinzip funktioniert, ist es möglich Echtzeitmedien ohne Verluste in einem Netzwerk zu versenden. Dabei sorgt die sogenannte Quality of Service für die zeitige Verarbeitung von priorisierten Daten. Die in den folgenden Unterkapiteln erklärten Techniken beziehen sich ausschließlich für die Verwendung von Netzwerken in der Broadcastbranche.

3.1 OSI/ISO Schichtenmodell

Das OSI/ISO Schichtenmodell stellt die Grundlage der Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern da. Das Modell dient als Leitfaden für Hersteller von Netzwerkkomponenten zur Implementierung von Standards. Das Schichtenmodell besteht aus sieben unterschiedlichen Schichten, wobei die unteren vier Schichten die Netzfunktion und die oberen drei die Anwendungsfunktion einer Kommunikation darstellen. Dem Anwender selber bleiben die Schichten verborgen. Beim Durchlaufen der verschiedenen Schichten werden die

Datenpakete mehrmals aufgeteilt und wieder verpackt. Dies ist erforderlich, da bestimmte Schichten nur mit vorgegebenen Datenmengen arbeiten können. Dieser Vorgang wird als Fragmentierung bezeichnet. Dabei stellt eine Schicht der jeweils oberen Schicht Funktionen zur Verfügung und kann ebenso von der unteren Schicht Funktionen in Anspruch nehmen. Schichten auf der gleichen Ebene kommunizieren mit festgelegten Protokollen untereinander. Mit Hilfe dieser Protokolle wird der Kommunikationsablauf geregelt. Dabei sind unterschiedliche Protokolle für verschiedene Anwendungen entworfen worden. Bei einer Kommunikation erfolgt der Ablauf immer nach demselben Muster. Der Sender geht die Schichten von oben (Schicht 7) nach unten (Schicht 1) durch und der Empfänger genau andersherum. In Abbildung 3-1 sind die einzelnen Schichten dargestellt.²⁴

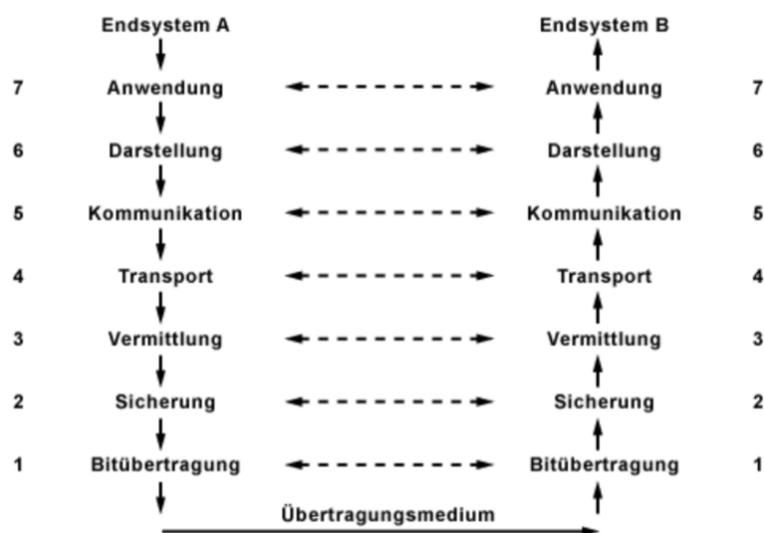


Abbildung 3-1 OSI/ISO Schichtenmodell²⁵

Schicht 1 – Bitübertragungsschicht: Die Bitübertragungsschicht stellt die physikalische Ebene des Schichtenmodells dar. Hier werden die elektrischen und mechanischen Parameter festgelegt. Dabei sind Kabeltypen, Kabellängen und Anschlüsse definiert. Gleichzeitig wird festgelegt, ob eine Übertragung nur in eine Richtung (Simplex), in zwei Richtungen, aber nur eine zurzeit (Half-Duplex) oder in beide Richtungen gleichzeitig (Full-Duplex) stattfinden kann. Es ist wichtig bei der Übertragung den Beginn und das Ende einer Übertragung zu markieren. Die Norm

²⁴ RIGGERT, 2012: S.26

²⁵ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0301201.htm> [Stand: 05.01.2017]

IEEE 802.3 beinhaltet alle Regulierungen über das Ethernet in der Bitübertragungsschicht.²⁶

Schicht 2 – Sicherungsschicht: In dieser Schicht werden die Bitströme sinnvoll gruppiert, um eine zuverlässige Übertragung zu gewährleisten. Es entstehen in Abhängigkeit von dem eingesetzten Netzwerk verschieden große Frames. Die zusammengefassten Bitströme erhalten eine Prüfsumme und Folgennummer. Mithilfe dieser Prüfsumme kann eine Fehlerkorrektur einfach integriert werden und nacheinander empfangene Frames wieder in die richtige Reihenfolge gebracht werden. Die darüber liegende Vermittlungsschicht (Schicht 3) kann so Pakete neu anfordern. Außerdem ist die Sicherungsschicht für die physikalische Adressierung zuständig. Hier werden Geräte mit ihrer MAC Adresse im Netzwerk adressiert. Dieses Verfahren funktioniert nur im LAN und geht nicht über interne Netzwerke hinaus.²⁷

Schicht 3 – Vermittlungsschicht: In der Vermittlungsschicht erfolgt die logische Adressierung der einzelnen Komponenten im Netzwerk. Anhand dieser Adressierung wird ein Weg für das Paket von Quelle zum Ziel durch das Netzwerk festgelegt. Hierbei wird darauf geachtet, dass ein bestmöglicher Pfad nach bestimmten Kriterien, wie zum Beispiel hohe Sicherheit oder Datendurchsatz, gewählt wird. Es entsteht ein logisches Netzwerk, welches anders als das physikalische Netzwerk, keine Details über die Kabelarten oder -längen kennt. So ist es möglich, Pakete logisch im Netzwerk zu routen.²⁸

Schicht 4 – Transportschicht: Die Transportschicht stellt die Verbindung zwischen den transportorientierten und den anwendungsorientierten Schichten her. Hier wird ein Transportservice zur Verfügung gestellt, der primär für den Verbindungsauf und -abbau sorgt. Somit wird sichergestellt, dass die richtigen Bits übertragen werden. Dabei ist es wichtig die Reihenfolge beizubehalten und keine Sequenzen doppelt zu senden. Eine Flusskontrolle sorgt dafür, dass die Datenströme nicht überlaufen. Außerdem wird hier festgelegt, ob das Paket mit verbindungsorientierten oder verbindungslosen Protokollen abgefertigt wird.

²⁶ RIGGERT, 2012: S.29

²⁷ RIGGERT, 2012: S.30

²⁸ RIGGERT, 2012: S.30

Letztere sind für die Verarbeitung von Echtzeitmedien wie Audio und Video von Bedeutung.²⁹

Schicht 5 – Kommunikationsschicht: Hier wird die Synchronisation und der korrekte Dialogablauf der Datenströme zwischen den Teilnehmern geregelt. So können stabile Sitzungen gewährleistet und Zusammenbrüche vermieden werden.³⁰

Schicht 6 – Darstellungsschicht: Diese Schicht ist zuständig für die korrekte Darstellung der Daten. Des Weiteren werden hier die Daten komprimiert, um die Netzlast zu verringern. Um zu gewährleisten, dass die Daten sicher im Netz übertragen werden, wird hier zusätzlich eine Verschlüsselung vorgenommen. So ist es für Unberechtigte nicht möglich fremde Daten mitzulesen.³¹

Schicht 7 – Anwendungsschicht: Die Anwendungsschicht stellt die Kommunikation mit der Software her. Es wird geprüft, ob eine Verbindung hergestellt werden kann und ob die angeforderten Daten verfügbar sind. Die Anwendung selber wird nicht in dem Schichtenmodell berücksichtigt, sondern nur Protokolle zur Kommunikation wie zum Beispiel FTP oder SMTP werden zu Verfügung gestellt.

Bei der Übermittlung in WANs werden die Pakete nicht entpackt und ausgelesen. Es werden nur die ersten drei Schichten des Modells benutzt. Einen Router interessiert nur wohin ein Paket geschickt werden soll und woher es kommt. Es würde zu riesigen Latenzen kommen, wenn jeder Knotenpunkt ein Paket komplett auslesen müsste. Generell werden die Schichten 4-7 nur bei dem Sender oder dem Empfänger durchlaufen. Die folgende Abbildung 3-2 soll die Übermittlung von einem Paket über mehrere Router veranschaulichen.³²

²⁹ RIGGERT, 2012: S.31

³⁰ RIGGERT, 2012: S.31

³¹ RIGGERT, 2012: S.31

³² RIGGERT, 2012: S.32

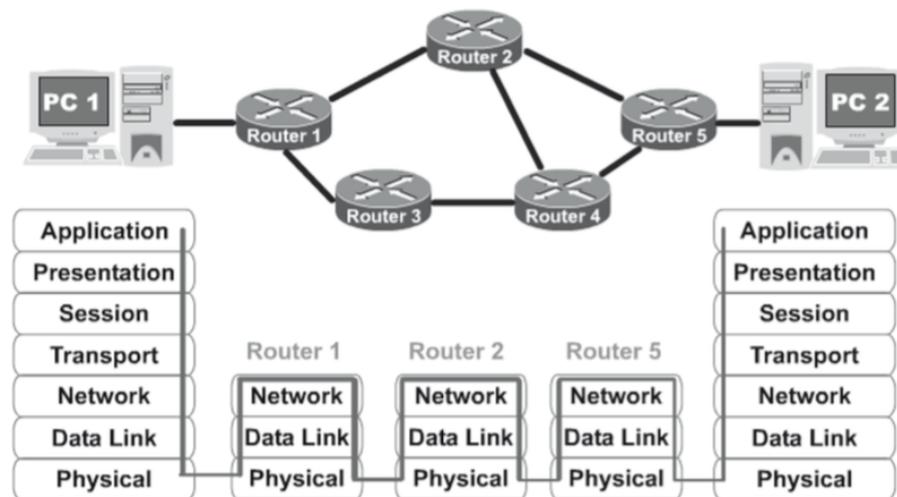


Abbildung 3-2 Übertragung eines Pakets über mehrere Knoten³³

Wie bereits erwähnt, existiert ein Unterschied zwischen verbindungsorientierten und verbindungslosen Protokollen. Bei verbindungsorientierten Protokollen wird eine Verbindung mit dem jeweiligen Kommunikationspartner eingerichtet. Bevor der Datenaustausch beginnen kann, wird eine Zustimmung von dem Kommunikationspartner verlangt. Ohne Zustimmung kommt es zu keiner Kommunikation. Anders bei verbindungslosen Protokollen. Hier wird keine Zustimmung benötigt und die Quelle kann einfach senden. Es gibt keinerlei Kontrolle darüber, ob die Pakete bei ihrem Ziel ankommen oder auf dem Weg verloren gehen. Somit fallen auch Dienste wie eine Paketwiederholung bei Verlusten oder eine Paketregulierung bei Überlastungen weg. Generell ist der Sender im ungewissen ob der Empfänger die Nachricht erhält oder lesen kann. Andererseits weiß der Empfänger ebenfalls nicht, ob er überhaupt eine Nachricht von dem Sender übermittelt bekommt. Somit ist das Versenden von Paketen mit verbindungslosen Protokollen mit sehr geringen Latenzen möglich. Aus diesem Grund eignen sich verbindungslose Protokolle besser für das Versenden von Echtzeitmedien. Außerdem würde bei einer Videoübertragung das erneute Anfordern von verlorengegangenen Paketen zu erheblichen Bildfehlern führen, da das Bild längst nicht mehr aktuell ist.³⁴

³³ OBERMANN, 2013: S.21

³⁴ RIGGERT, 2012: S.32

3.2 Ethernet nach IEEE 802.3

Ethernet wurde Anfang der siebziger Jahre entwickelt und bildet seit den Neunzigern die Grundlage für die Kommunikation im LAN. Es befindet sich auf der physikalischen Schicht und der Sicherungsschicht des OSI/ISO Schichten Modells. Im Laufe der Entwicklung veränderten sich die Geschwindigkeiten des Ethernets, jedoch blieb der Ethernet Rahmen in der Länge unverändert, was zum Erfolg der Technik geführt hat. Mit der einheitlichen Rahmengröße war eine Implementierung von Ethernet in neuere Technologien problemlos möglich.³⁵

Ethernet ist ursprünglich nicht für die Übertragung von Echtzeitmedien entwickelt worden, da alle angeschlossenen Teilnehmer im Netzwerk jederzeit Kapazitäten beanspruchen können. So ist es durchaus möglich, dass Daten verzögert oder auch gar nicht bei dem Empfänger ankommen. Es wird mit Hilfe des Zugriffsverfahrens CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) überprüft, ob ein Kanal für die Übertragung frei ist. Dabei hört ein Teilnehmer in (Carrier Sense) das Netz, ob dieses belegt ist (Collision Detection). Bei einer Kollision wartet der Teilnehmer eine bestimmte Zeit und sendet die Pakete erneut. Dies würde bei der Übertragung von Video bzw. Audio Daten zu einer hohen Systemauslastung führen. Eine mögliche Lösung stellt die Verwendung von höheren Datenraten dar. Bei dem Gigabit Ethernet oder auch 10 Gigabit Ethernet werden Switches eingesetzt, die solche Kollisionen verhindern. Es wird im Vollduplex Modus von Endgerät zu Endgerät gleichzeitig gesendet und empfangen. Somit kommt es auf dem Weg zu keinen Kollisionen und es müssen keine Pakete erneut gesendet werden. Aus Kompatibilitätsgründen wird heute trotzdem noch das CSMA/CD Verfahren in die Geräte implementiert.³⁶ In der folgenden Tabelle 3-1 sind die gängigen Varianten von Ethernet dargestellt. Zu sehen ist, dass die Übertragungsraten stetig ansteigen. Jedoch ist ab einer bestimmten Rate die Übertragung über Kupfer nicht mehr möglich und auch nicht sinnvoll. Auf Grund von Übersprechen müssten die Kabel hierfür einen relativ großen Durchmesser aufweisen. Stattdessen werden die Daten über Glasfaser übertragen.³⁷

³⁵ RIGGERT, 2012: S.65

³⁶ SCHMIDT, 2013: S.745

³⁷ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1406261.htm> [Stand: 04.01.2017]

Ethernettyp	Übertragungsrate	Kabeltyp	Leitungslänge
10BASE-T	10Mbit/s	Twisted-Pair (min. Cat3)	max. 100m
100BASE-T	100Mbit/s	Twisted-Pair (min. Cat5)	max. 100m
100BASE-FX	100Mbit/s	Multimode-Glasfaser	max. 400m
1000BASE-T	1000Mbit/s	Twisted-Pair (min. Cat5e)	max. 100m
1000BASE-SX	1000Mbit/s	Multimode-Glasfaser	max. 550m
1000BASE-LX	1000Mbit/s	Multi- und Monomode Glasfaser	max. 5000m
10GBASE-SR	10Gbit/s	Multimode- Glasfaser	max. 300m
10GBASE-LR	10Gbit/s	Monomode- Glasfaser	max. 10000m
10GBASE-T	10Gbit/s	Twisted-Pair (min. Cat6)	max. 100m
40GBASE-SR	40Gbit/s	Multimode- Glasfaser	max. 100m
40GBASE-LR	40Gbit/s	Monomode- Glasfaser	max. 10000m
100GBASE-SR	100Gbit/s	Multimode- Glasfaser	max. 100m
100GBASE-ER	100Gbit/s	Monomode- Glasfaser	max. 40000m

Tabelle 3-1 Gängige Ethernet Standards

Durch die rasante Entwicklung und dem großen Marktanteil von Ethernet ist es heutzutage möglich mit 10G oder 40G die Signalverteilung von Echtzeitmedien kostengünstig zu realisieren. Mit der Loslösung von bestimmten Datenformaten unterscheiden sich Videodaten kaum noch von anderen Daten und können somit durch das gleiche Netz versendet werden.³⁸

3.2.1 Ethernet Frame

Die Zustellung der Pakete erfolgt mittels der MAC Adressen. Eine MAC Adresse ist eine einmalig auftretende Adresse der Netzwerkkarte, welche dem Netzwerk bekannt sein oder gegebenenfalls erfragt werden muss. Das Ethernet ist ein paketvermitteltes Netz. Die Daten werden in gleichgroße Pakete geteilt und versendet. Die Inhalte sind für die Übertragung unwichtig. Jedes Ethernet Frame beginnt mit einer Präambel. Diese ist 7 Byte lang und dient zur Synchronisation zwischen Empfänger und Sender. Danach folgt die Quell- und Zieladresse des Frames. Sie beinhaltet die MAC Adressen von den jeweiligen Kommunikationsteilnehmern. Die danach folgenden 2 Byte dienen zur Typenbezeichnung. Mit dieser Bezeichnung wird der Frame an die 3. Schicht des OSI/ISO Modells weitergegeben. In ihr ist das verwendete Protokoll beschrieben. Danach folgen bis zu maximal 1500 Byte reine Nutzdaten. Diese werden bei der Übertragung nicht ausgelesen. Das Frame endet mit einer 4 Byte langen Prüfsumme, welche zur Fehlerüberprüfung und -korrektur dient. In der

³⁸ SCHMIDT, 2013: S.746

nachfolgenden Abbildung 3-3 ist der klassische Aufbau eines Ethernet Frames der Version 2 dargestellt.³⁹

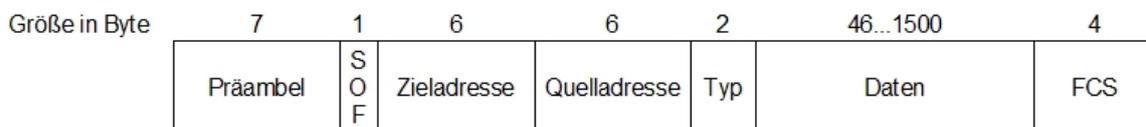


Abbildung 3-3 Aufbau eines Ethernet Frames⁴⁰

3.3 Protokolle

Für die Kommunikation in einem Netzwerk sind verschiedene Protokolle notwendig. Jedes Protokoll erfüllt einen anderen Zweck und hat andere Spezifikationen. Es gibt zahlreiche Protokolle, die alle eine wichtige Rolle für den Austausch von Daten spielen. In den kommenden Unterkapiteln werden jedoch nur die Protokolle IP, UDP und RTP behandelt. Die drei sind ausschlaggebend für den Transport von Echtzeitmedien in einem Netzwerk. Bei den genannten Protokollen handelt es sich immer um verbindungslose Protokolle, da bei der Verwendung von verbindungsorientierten Protokollen zu große Latenzen entstehen würden. Durch den ständigen Verbindungsauf und -abbau und den Überlastmechanismen können verbindungsorientierte Protokolle den Anforderungen für die Übertragung von Echtzeitmedien nicht standhalten.

3.3.1 Internet Protocol (IP)

Die Adressierung muss auf der Vermittlungsschicht stattfinden, um eine Kommunikation zwischen Geräten an verschiedenen Standorten herzustellen. Die Layer 2 Adressierung auf Grund von MAC Adressen würde hier nicht ausreichen, da jeder Switch auf der Welt jedes Endgerät mit seiner MAC Adresse kennen müsste. Dies wäre routingtechnisch nicht zu lösen. Auf der Vermittlungsschicht werden Host und Knoten mittels IP Adressen adressiert. Mit Hilfe der Adressen wird ein Pfad für die Datenpakete durch das Netz gewählt.⁴¹

³⁹ RIGGERT, 2012: S.69

⁴⁰ TANNENBAUM, 2012: S.331

⁴¹ OBERMANN, 2013: S.123

Der Transport findet hierbei verbindungslos und ungesichert statt. Das heißt, es können Pakete fehlerhaft, doppelt oder gar nicht übertragen werden. Die Pakete werden einzeln behandelt und nach dem best effort Prinzip zugestellt.

Ein IP Paket besteht vereinfacht aus einem Header und einem Datenstrom, in dem der Ethernet Frame eingebettet ist. Anders als ein Ethernet Frame hat IP keine feste Größe, jedoch eine Mindestgröße von 576 Byte. Es ist keine Obergrenze für die IP Pakete angegeben, da IP fähig ist, Pakete zu fragmentieren und später wieder zusammenzufügen. Die Fragmente besitzen alle den gleichen Header, wodurch der Empfänger das Paket wieder zusammensetzen kann. Bei Verlust eines Fragmentes wird das ganze Paket als Totalverlust gemeldet und erneut gesendet. Dies führt zu einem hohen Datenaufkommen.⁴²

Die Adressierung findet auf zwei Ebenen statt. Einmal können innerhalb eines LANs frei IP Adressen und Subnetze vergeben werden. Diese Adressierung ist für die Außenwelt unsichtbar und dient nur für das eigene Routing. Generell ist eine IP Adresse in einem Netzanteil und einen Hostanteil aufgeteilt. Der Netzanteil beschreibt das komplette Netz, in dem sich ein Gerät befindet und der Hostanteil das entsprechende Endgerät. Hierbei kann mit drei Klassen gearbeitet werden. Die Klassen besitzen unterschiedlich große Bereiche für entweder den Netzanteil oder den Hostanteil. So kann ein Netzwerk nach Bedarf genau der Größe angepasst werden.

Innerhalb eines Netzes können Subnetze gebildet werden. Mit ihnen kann die Broadcastdomäne oder auch das Erreichen von bestimmten Teilnehmern eingeschränkt werden.⁴³ Die privaten IP Adressen sind im RFC 1918⁴⁴ festgelegt. Außerdem gibt es öffentliche, im Internet weltweit verfügbare IP Adressen. Diese werden von der IANA⁴⁵ verwaltet und festgelegt. Somit besitzt ein Heimnetzwerk meist nur eine öffentlich von der IANA vergebene Adresse und mehrere private Adressen im LAN. Für die Umwandlung von einer privaten zu einer öffentlichen Adresse sorgt der Router oder ein Gateway.⁴⁶

Die nachfolgenden

⁴² RIGGERT, 2012: S.114

⁴³ RIGGERT, 2012: S.132

⁴⁴ Request for Comments sind eine Reihe von technischen Dokumenten zum Internet

⁴⁵ Internet Assigned Number Authority

⁴⁶ OBERMANN, 2013: S.134

Abbildung 3-4 verdeutlicht den Aufbau eines IPv4 Headers. Der Header ist 32 Bit lang und enthält wichtige Information für die Behandlung des Pakets im weiteren Verlauf.

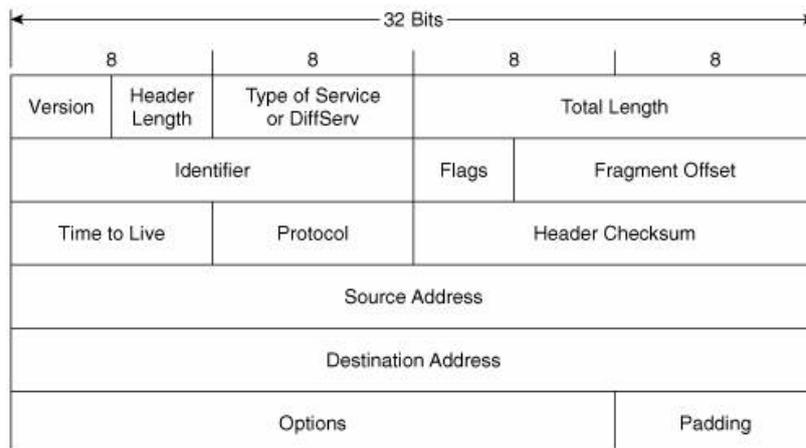


Abbildung 3-4 Aufbau eines IPv4 Header⁴⁷

Die wichtigsten Bestandteile des IPv4 Header sind:

- Version: Version des IP Protokolls
- Type of Service: Priorisierung von Paketen
- Total Length: Gibt die Länge des Datenpakets an
- Fragment Offset: Logische Nummerierung der Fragmentblöcke
- Time to Live: Zeit, nach dem das Paket bei Nichtzustellung gelöscht wird
- Protocol: Gibt an, welches Protocol in der nächsten Schicht (Layer 4) verwendet wird
- Source und Destination Adress: Hier stehen die IP Adressen der Kommunikationspartner

Da das Internet eigentlich keine Priorisierung von Daten vorsieht, ist das Feld Type of Service sehr wichtig für das Versenden von Echtzeitmedien. Hier können bestimmte Pakete priorisiert und somit schneller bearbeitet werden.

3.3.2 User Datagramm Protocol (UDP)

Das UDP ist ein Protokoll auf der 4. Schicht des OSI/ISO Schichtenmodells. Es vermittelt zwischen Anwendungen auf verschiedenen Netzwerkknoten. Da kein Verbindungsaufbau nötig ist, ist UDP in der Lage schnell zu senden und zu

⁴⁷ TANNENBAUM, 2012: S.503

empfangen. Es wird jedoch nicht garantiert, dass Pakete ankommen oder vollständig sind. UDP verlangt keine Empfangsbestätigung und sendet auch keine Pakete bei eventuellen Verlusten erneut. Der Empfänger muss mit diesen Herausforderungen klarkommen. Nur so entsteht eine aktive Verbindung. Durch diese Merkmale kann UDP etwa die dreifache Übermittlungsgeschwindigkeit wie das Transmission Control Protocol (TCP)⁴⁸ erreichen. Aus dem Grund eignet sich UDP sehr gut für das Versenden von Echtzeitmedien. UDP sorgt für eine verbindungslose Datenübertragung, dessen Performance stark von der Konfiguration des Netzes abhängt. Der Header ist dementsprechend kurz und setzt sich nur aus Ziel- und Quellport, Länge und der Checksumme zusammen. Die Checksumme prüft das Segment auf Grund des im IP verwendeten Algorithmus. Die Länge gibt die gesamte Länge des UDP Segments an.⁴⁹ In der folgenden Abbildung 3-5 ist ein UDP Header zu sehen.



Abbildung 3-5 Aufbau UDP Header⁵⁰

3.3.3 Real Time Transport Protocol (RTP)

Das RTP ist eine Weiterentwicklung vom UDP. Es ist ebenfalls ein Transportprotokoll, welches in der 4. Schicht des OSI/ISO Schichtenmodells für Verbindungen zwischen den Teilnehmern sorgt. RTP wird hauptsächlich in Verbindung mit UDP für die Übertragung von Audio- und Videodaten in Echtzeit verwendet.

Genau wie UDP garantiert RTP keine Zustellung der Pakete, jedoch hat es zwei wesentliche Vorteile. Einerseits werden die Pakete durchgehend nummeriert, wodurch der Empfänger verlorengegangene Pakete erkennt und andererseits

⁴⁸ Übertragungsprotokoll für das Austauschen von Daten

⁴⁹ RIGGERT, 2012: S.159

⁵⁰ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0812281.htm> [Stand: 05.01.2017]

werden alle Pakete mit einem Zeitstempel versehen. Somit können mehrere Datenströme synchronisiert werden. Mit dieser Funktion ist es möglich, mehrere RTP Ströme durch das Multiplexverfahren in einen UDP Strom zu verpacken. Mit Hilfe der Sequenznummer und dem Zeitstempel kann der Empfänger die Daten ordnungsgemäß wiedergeben.⁵¹ In der folgenden Abbildung 3-6 ist dargestellt, wie ein RTP Datenstrom in einen UDP Rahmen integriert wird.

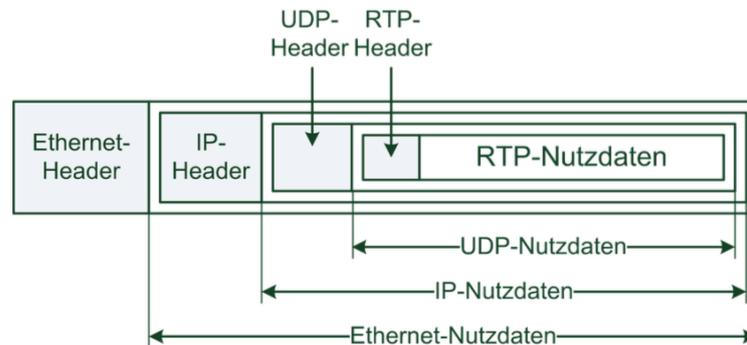


Abbildung 3-6 Verschachtelung von RTP in UDP⁵²

In dem RTP Header werden der Codec, die Sequenznummer, der Zeitstempel und Informationen über die Synchronisation angegeben. Es wird stets darauf geachtet, den Header kurz zu halten und unnötige Daten wegzulassen. Die Sequenznummer wird bei einer neuen Übertragung zufällig gewählt und dann fortlaufend durchnummeriert.

In der nachstehenden Abbildung 3-7 ist der Aufbau eines RTP Headers gezeigt.

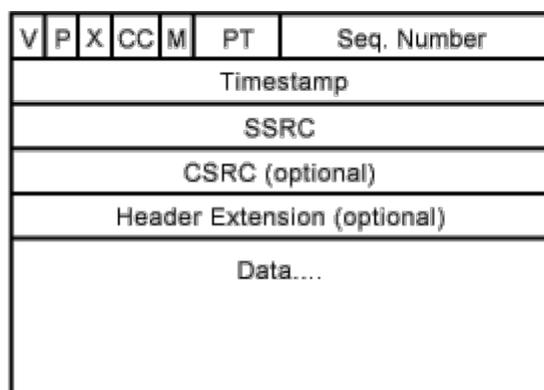


Abbildung 3-7 Aufbau RTP Header⁵³

⁵¹ RÖDER, 2009: S 41

⁵² TANNENBAUM, 2012: S.622

⁵³ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1106071.htm> [Stand: 05.01.2017]

Die Datenübertragung von RTP Strömen wird von dem Real Time Transport Control Protocol überwacht. RTCP ist mit RTP verwandt und sorgt für den Austausch von Information über die Netzwerkstruktur und von Datenpaketen zwischen Sender und Empfänger. Die Daten sind in dem UDP Strom verkapselt und kennzeichnen Anfang bzw. Ende eines Pakets.⁵⁴

3.4 Komponenten

Bei den Komponenten wird zwischen aktiven und passiven Komponenten unterschieden. Die passiven Bauteile besitzen keine eigene Logik und gehören zur festen Netzwerkstruktur. Zu ihnen zählt zum Beispiel die Netzwerkdose an der Wand. Die aktiven Komponenten haben eine eigene Elektronik und sind in der Lage Pakete zu lesen und nach ihren Anforderungen weiterzuleiten.

3.4.1 Switch

Der Switch übernimmt bei der Implementierung von Netzwerken in der Fernsehstudioteknik die Verwaltung und Verteilung der Signale. Somit müssen diese Komponenten nicht nur großzügig dimensioniert werden, sondern auch äußerst betriebssicher funktionieren. Der Switch löst den veralteten Hub und den Repeater ab.

Anhand der MAC Adresse des Senders und Empfängers leitet der Switch Pakete auf dem OSI-Layer 2 weiter und erstellt selbstständig Tabellen über die Portnummern der angeschlossenen Geräte. So ist es möglich, Pakete zielsicher zuzustellen ohne dabei einen großen Datenverkehr im Netzwerk zu produzieren. Switches grenzen die Kollisionsdomäne innerhalb eines Netzwerkes ein.

Der Switch und das an einem Port angeschlossene Gerät bilden ein eigenes Segment im Netzwerk. Ein Switch erkennt automatisch Unicast, Multicast oder Broadcast Pakete und kann somit den Datenverkehr den Bedürfnissen nach dimensionieren. Für einen Switch ist immer nur der jeweilig angeschlossene Knoten bekannt und nicht das gesamte Netzwerk. Somit sind die Daten sicherer und können nicht von überall abgegriffen werden.⁵⁵

Neben den OSI-Layer 2 Switchen gibt es noch OSI-Layer 3 Switches, welche die Funktion von Switch und Router vereinen. Sie verwalten Pakete auf MAC-

⁵⁴ <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt> [Stand: 05.01.2017]

⁵⁵ RIGGERT, 2012: S.187

Adressen und IP-Adressen Ebene.⁵⁶ OSI-Layer 3 Switche sind konfigurierbar und somit in der Lage Echtzeitmedien besser zu behandeln.

OSI-Layer 3 Switche, auch managed Switch genannt, haben eine eigene IP-Adresse, über die sie im Netzwerk erreichbar sind. Der Datenverkehr wird bei Multimediateams nicht mehr von Routern, sondern fast ausschließlich von OSI-Layer 3 Switchen verwaltet. Durch die große Anzahl an Ports haben sie einen höheren Datendurchsatz und sind flexibler einsetzbar. Außerdem sind Mechanismen zur Überwachung von Streams in OSI-Layer 3 Switchen integriert. Dadurch können Daten klassifiziert und bei Bedarf priorisiert im Netz behandelt werden.

3.4.1.1 Virtuelle LANs

VLANs sind im Switch virtuell erstellte Bereiche, die untereinander nur bei bestimmter Konfiguration miteinander kommunizieren können. So ist es möglich in einem Netzwerk verschiedene Bereiche abzutrennen und relevante Daten wie Video oder Audio zu bevorzugen. Mit VLANs können bereits installierte Netzwerkstrukturen ohne Probleme für Echtzeitmedien verwendet werden. Dabei wird der normale Datenverkehr vom QoS-Sensitiven Verkehr getrennt.

Ab einer bestimmten Größe kommt es in Netzwerken immer wieder zu Engpässen, da die Daten viele Knotenpunkte passieren müssen. Mit der Hilfe von VLANs kann somit der Datendurchsatz und die Sicherheit im Netzwerk verbessert werden. Der Vorteil von VLANs ist die Ortsunabhängigkeit. Es ist möglich ein VLAN über mehrere Switches hinweg und somit über das gesamte Netzwerk aufzubauen.⁵⁷

3.4.1.2 Switchingverfahren

Switches sind aufgrund ihres einfachen Aufbaus gut in Hardware realisierbar. Sie entscheiden schnell und ohne Verzögerung den Weg von einem Paket. Dies ist möglich, da nur die MAC Adresse und nicht die Daten eines Pakets ausgelesen werden. Eine Zwischenspeicherung ist nur notwendig, wenn der Ausgangsport belegt ist. Dabei gibt es drei unterschiedliche Verfahren wie ein Switch arbeitet. Diese Verfahren, Cut-Through, Store-and-Forward und Fragment Free, beziehen sich auf die Weiterleitmethoden der Switch.

⁵⁶ RIGGERT, 2012: S.192

⁵⁷ RIGGERT, 2012: S.202

Beim *Cut-Through (Fast Forward)* Verfahren liest der Switch die Ziel-MAC-Adresse aus und beginnt anschließend sofort mit der Zustellung. Das Ende wird weiterhin ausgelesen, wobei der Anfang schon übermittelt wird. Dies ermöglicht sehr schnelles Switchen ohne große Latenzen. Somit können große Pakete oder zeitkritische Medien schnell verarbeitet werden. Allerdings beinhaltet das Cut-Through Verfahren keine Fehlererkennung und sendet somit auch beschädigte Pakete weiter an das entsprechende Ziel. Es wird komplett auf eine Zwischenspeicherung verzichtet, weshalb dieses Verfahren auch nur mit Ports der gleichen Geschwindigkeit funktioniert. Ein Datenstrom von einem 1000Mbit/s Port kann nicht an einem 100Mbit/s Port übertragen werden.⁵⁸

Bei Verwendung des *Store-and-Forward* Verfahrens werden die Pakete komplett von dem Switch empfangen und zwischengespeichert. Danach wird das Ethernet Frame analysiert und auf Fehler überprüft. Dabei wird die Prüfsumme mit der am Ende des Frames angegebenen Prüfsumme verglichen. Stimmen diese beiden nicht überein, wird das Paket verworfen. Das Verfahren bringt einerseits sehr große Latenzen mit sich, ermöglicht andererseits aber Pakete an Ports mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten zuzustellen. Vorteil von diesem Verfahren ist das Herausfiltern von fehlerhaften Frames, jedoch sind die Latenzen für die Anwendung von Echtzeitmedien zu groß.⁵⁹

Das Fragment Free Verfahren ist ein Kompromiss aus den beiden oben genannten Verfahren. Es werden zunächst die ersten 64 Byte eines Frames überprüft. Bei langen Intervallen von fehlerfreien Frames schaltet der Switch dann automatisch von Store-and-Forward auf Cut Through. Erst nach einem vordefinierten Fehlerschwellwert schaltet der Switch wieder zurück und überprüft erneut die ersten 64 Byte.⁶⁰

3.4.2 Router

Router verbinden verschiedene Netzwerke miteinander und vermitteln Pakete auf Basis ihrer IP Adresse. Sie arbeiten auf dem OSI-Layer 3 und führen Routingtabellen für die Zustellung von Paketen. Für die Weiterleitung eines Pakets muss ein Router die Zieladresse kennen. Es besteht keine Garantie, dass ein

⁵⁸ RIGGERT, 2012: S.191

⁵⁹ RIGGERT, 2012: S.191

⁶⁰ RIGGERT, 2012: S.192

Router das komplette Netzwerk kennt. Somit ist er auf die Routingtabelle und die darin eingetragenen Nebenrouten angewiesen.

Mit Hilfe der Routingtabelle können verschiedene Subnetze miteinander verbunden werden. Der Router weiß, welche Netze angeschlossen sind und welcher der nächste Router ist. Außerdem wird in den Tabellen der bestmögliche Weg für ein Paket durch das Netzwerk gespeichert. Hierbei kommen dynamische Routingverfahren mit komplexen Routingprotokollen zur Anwendung. Für kleinere Netzwerke ist es auch möglich ein statisches Routing zu realisieren. Hier fallen die Routingprotokolle weg und der Pfad ist fest in dem Router gespeichert. Nachdem eine passende Route gewählt wurde, beginnt die Übertragung von den Daten.⁶¹

Der Router prüft das Paket auf Fehler, die fehlerfreien Pakete werden weitergeleitet und der TTL-Wert um eins verringert. Wenn der Wert bei null angekommen ist, wird das Paket verworfen. Im Normalfall sollte das Paket bereits am Ziel sein bevor der TTL-Wert null erreicht.

Wie bereits erwähnt gibt es zwei Arten Pakete zu routen. Bei dem dynamischen Routing sorgen verschiedene Routingprotokolle wie RIP, OSPF oder EGP/BGP für den Austausch von Informationen über die verschiedenen Teilnetze oder Router in einem Netzwerk. So lernt jeder Router die aktiven Komponenten in einem Netzwerk kennen und erstellt anhand der Informationen eine Routingtabelle. Mit verschiedenen Algorithmen findet der Router anschließend den besten Pfad für das Paket. Die meist verwendeten Algorithmen hierfür sind der Link Status-Algorithmus und der Distance Vector-Algorithmus.

Bei dem *Link Status-Algorithmus* werden die Routinginformationen über Multicast ausgetauscht. Der Router kennt das komplette Netzwerk und verwaltet Tabellen über alle Knotenpunkte. Anhand von bestimmten Kriterien wie Bandbreite, Netzauslastung und Anzahl der Hops⁶² wird der perfekte Pfad vom Sender zum Empfänger ermittelt.

Der *Distance Vector-Algorithmus* sieht nur die Speicherung von den benachbarten Routern vor. So weiß ein Router nur von dem nächsten Netz. Der Pfad für ein Paket wird in jedem Netzknoten neu berechnet. Die beste Route wird auch hier anhand von bestimmten Kriterien ausgewählt und gespeichert.

Pakete können auch statisch in einem Netzwerk geroutet werden. Beim statischen routen werden die einzelnen Knotenpunkte manuell in die Router eingetragen. So

⁶¹ RIGGERT, 2012: S.208

⁶² Als Hop wird jedes aktive Netzelement bezeichnet

ist immer ein fester Weg vorgegeben. Dies bietet große Sicherheit und eine schnellstmögliche Übertragung. Diese Methode ist für komplexe Netze kaum realisierbar, da die Routingtabellen manuell von einem Administrator eingegeben werden müssen.⁶³

Router bieten die Möglichkeit Pakete über den lokalen Bereich hinweg zu senden. Sie können die Verbindung zum WAN schaffen. Dies ist für die Distribution von Medien nicht unwichtig. Allerdings verursachen Router durch die komplexe Behandlung von Paketen große Latenzen. Es sollten daher, wenn möglich, besser OSI-Layer 3 Switches verwendet werden sollten.

3.4.3 Übertragungsmedium

Die Art des Übertragungsmedium bestimmt die Performance im Netzwerk. Je nach Bedarf werden verschiedene Kabeltypen mit unterschiedlichen Spezifikationen eingesetzt. Ausschlaggebend für die Wahl eines Kabels sind Belastbarkeit, Widerstand, Dämpfungsgrade und Störeinflüsse. Als Standards haben sich das Twisted-Pair-Kabel aus Kupfer und das Glasfaserkabel etabliert. Dabei gibt es, wie in der Tabelle 3-1 bereits angedeutet, verschiedene Versionen von den jeweiligen Kabeln.

Die Verwendung von WLAN für Echtzeitmedien ist eher ungeeignet, da es hier zu großen Latenzen und Unterbrechungen kommen kann. WLAN Netze bieten noch keine ausreichenden Standards für eine störungsfreie Übertragung von zeitkritischen Inhalten. Aus dem Grund wird in dieser Arbeit nicht weiter auf WLAN Netze eingegangen.

3.4.3.1 Twisted-Pair-Kabel

Twisted-Pair-Kabel sind Kupferkabel mit verseilten Leitungspaaren. Aufgrund der günstigen Anschaffung und den guten technischen Eigenschaften ist das Twisted-Pair-Kabel im LAN Bereich weit verbreitet. Die Verseilung der Adernpaare sorgt für eine gute Abschirmung gegen elektromagnetische Wellen von außen und gegen das Übersprechen der einzelnen Leitern.

Da die Datenübertragung sehr sensibel auf Störungen reagiert, ist zu empfehlen, grundsätzlich geschirmte Kabel zu verwenden. Der Außenschirm ist normalerweise aus Folie oder Drahtgeflecht und die Adernpaare sind je nach Form einzeln ebenfalls mit Folie abgeschirmt. Die Schirmung wird in Abkürzungen

⁶³ TANNENBAUM, 2012: S.428

auf dem Kabel angegeben. Grundsätzlich wird zwischen UTP, FTP und S/FTP unterschieden, wobei der erste Buchstabe den gesamten Schirm angibt und der zweite den Schirm von der Adernpaaren. TP steht jedes Mal für Twisted Pair. Nachteil des Twisted-Pair-Kabel ist die begrenzte Kabellänge auf Grund der Dämpfung und des Innenwiderstandes.⁶⁴

Twisted-Pair-Kabel sind nach ihrer Leistungsfähigkeit genormt. Für die Kabel Cat5, Cat5e, Cat6, Cat7 steht die Norm in der ISO/IEC 11801. Kabel mit einer höheren Zahl können generell einen höheren Datendurchsatz gewährleisten. Das meist verbaute Kabel ist das Cat5e, welches für Fast-Ethernet entwickelt wurde. In der nachfolgenden Tabelle 3-2 ist eine Übersicht von den oben genannten Kabeln dargestellt.

Kabeltyp	ISO/IEC 11801	Max. Frequenz	Anwendung
UTP, S/FTP	Cat. 5	100 MHz	100Base-TX
UTP, S/FTP	Cat. 5e	100 MHz	1GBase-T
UTP, S/FTP	Cat. 6	250 MHz	1GBase-T
S/FTP	Cat. 6 _A	500 MHz	10GBase-T
S/FTP	Cat. 7	600 MHz	10GBase-T (bis 100M)
S/FTP	Cat. 7 _A	1000 MHz	10GBase-T, 40GBase-T und 100GBase-T (eingeschränkt)

Tabelle 3-2 Genormte Twisted-Pair-Kabeltypen⁶⁵

3.4.3.2 Glasfaserkabel

In strukturierten Netzwerken ist die Verwendung von Glasfaserkabeln nicht mehr wegzudenken. Es wird in den meisten Fällen von Lasern erzeugtes monochromatisches⁶⁶ Licht für die Datenübertragung verwendet. Durch die Nutzung von Licht sind Glasfaserkabel unanfällig für elektromagnetische Wellen und können somit nahezu ohne Abschirmung über mehrere Kilometer problemlos Daten übertragen. Je nach Typ sind Strecken von bis zu 120km mit Übertragungsraten von 100Gbit/s möglich. Das macht das Glasfaserkabel zu einem sehr leistungsfähigen Übertragungsmedium. Gerade bei der Übertragung von Echtzeitmedien und der Vernetzung von Netzwerkknoten ist Glasfaser zwingend erforderlich.

⁶⁴ RIGGERT, 2012: S.55

⁶⁵ RIGGERT, 2012: S.60

⁶⁶ Licht einer Wellenlänge

Es gibt drei verschiedene Arten von Fasern. Die Leistung von einem Kabel wird mit Hilfe des Bandbreiten-Längen-Produkts angegeben. Die Monomodefasern weisen den geringsten Dämpfungsgrad auf. Sie haben ein Bandbreiten-Längen-Produkt von 100GHz*km und sind somit für den WAN Bereich gedacht. Die Multimodefasern haben ein Bandbreiten-Längen-Produkt von 1GHz*km und können somit nur eine geringere Datenmenge über kurze Strecken senden. Das Licht wird bei Multimodefasern im Zick-Zack gebrochen. Die dritte Form ist ein Kompromiss aus den zuvor genannten Fasern. Bei der Multimode-Gradienten Faser breitet sich das Licht sinusförmig im Mantel aus. Die nachfolgende Abbildung 3-8 zeigt die drei Fasern im Vergleich zueinander. Nachteil von Glasfaserkabel ist die hohe Empfindlichkeit, wodurch sie schnell brechen können und es zu Signalausfällen kommen kann.⁶⁷

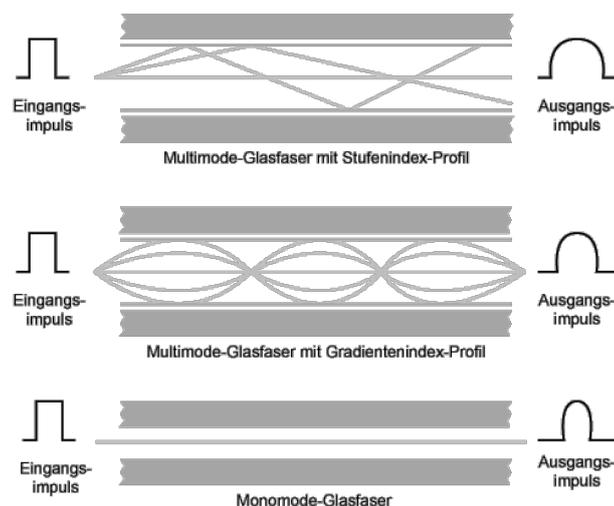


Abbildung 3-8 Unterschiedliche Übertragungsvarianten von Glasfaser⁶⁸

3.5 Unicast, Broadcast, Multicast

Unicast, Broadcast und Multicast stellen die verschiedenen Übertragungsmethoden in Netzwerken dar. Bei Unicast wird eine Punkt-zu-Punkt Verbindung zwischen zwei Teilnehmern aufgebaut. Hierbei ist der Sender und das Ziel klar vorgegeben. Unicast greift bei der Übertragung auf Protokolle wie TCP und UDP zu.

⁶⁷ RIGGERT, 2012: S.49-51

⁶⁸ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0301282.htm> [Stand: 07.01.2017]

Bei Broadcastnachrichten sendet ein Teilnehmer an alle Teilnehmer im Netzwerk. Damit können zum Beispiel Adressen von verschiedenen Teilnehmern erfragt werden. Broadcastnachrichten können jedoch ein Netzwerk schnell überlasten, da in kürzester Zeit viel Datendurchsatz entsteht. Die Broadcast Adresse ist immer die letzte IP Adresse in einem Subnetz. Broadcastbereiche können durch Switches und Broadcastdomäne eingeschränkt werden.⁶⁹

Bei Multicastnachrichten sendet einer an mehrere bestimmte Empfänger in einem Netzwerk. Diese Methode wird bei der Distribution von Echtzeitmedien angewendet. Um das Netzwerk nicht zu überlasten werden die Datenströme nur einfach an alle Teilnehmer gesendet und in den Knotenpunkten dupliziert. Somit bleibt unabhängig von der Anzahl der Empfänger die Bandbreite des Senders konstant. Das komplette Netzwerk wird dadurch geringer belastet.

Multicasting ist sehr komplex und erfordert eine gute Konfiguration von allen Teilnehmern im Netzwerk. Aus dem Grunde sind Multicastnachrichten außerhalb von LANs eher schwer zu realisieren. Alle Komponenten müssen das Weiterleiten von Multicast zulassen. Das Problem ist, dass Multicastnachrichten keinen Empfänger haben und somit nicht geroutet werden können. Wenn ein Sender einen Datenstrom sendet, wird dieser vom Router erhalten. Danach können mehrere Empfänger den Datenstrom beitreten. Hierbei müssen die Empfänger jedoch selber beitreten und werden nicht automatisch zugefügt.⁷⁰

⁶⁹ RIGGERT, 2012: S.23

⁷⁰ TANNENBAUM, 2012: S.441

4 Wechsel von SDI zu IP

Zwischen den beiden Übertragungstechnologien SDI und IP bestehen wesentliche Unterschiede. Somit ist ein einfacher Wechsel von bestimmten Komponenten nicht ohne weiteres möglich. Die beiden Formate verfolgen unterschiedliche Ansätze zur Übertragung von Daten, welche in der nachfolgenden Tabelle 4-1 aufgelistet sind.

SDI	IP
Leitungsvermittelt	Paketvermittelt
Statisches Routing	Dynamisches Routing, Paket für Paket
Feste, garantierte Bandbreite	Best Effort Delivery, Priorisierung
Ein Signal pro Kabel	Mehrere Signale pro Kabel
Punkt-zu-Punkt Verbindungen	Verbindungen überall zugänglich
Synchrone Übertragung	Asynchron, kein Timing
Schalten in der Austastlücke	Schalten zwischen Paketen

Tabelle 4-1 Unterschiede SDI zu IP⁷¹

Dieses Kapitel wird sich mit den Problemen bei einem Wechsel von SDI zu IP beschäftigen. Außerdem werden die zwei verschiedenen Lösungsansätze, SMPTE 2022 und AVB auf ihre Funktion und Einsetzbarkeit für SDI over IP untersucht. SMPTE 2022 und AVB versuchen zugängliche Standards für Hersteller zu definieren. Dabei werden ihre Vorteile, Probleme und auch Funktionen beleuchtet. Zudem werden grundlegende Fragen zur Signalverteilung, den Switchingverfahren und der Synchronisation von mehreren Signalen beantwortet. Um die klassische Kreuzschiene durch einen leistungsstarken Switch zu ersetzen, müssen diverse Anpassungen vorgenommen werden. Die Denkweise einer Kreuzschiene muss dafür aufgelöst werden, da nicht mehr ein Signal ein Kabel darstellt, sondern mehrere Signale in einem Kabel verlaufen. Dazu müssen Lösungen gefunden werden, um das Routing weiterhin übersichtlich zu gestalten.⁷²

⁷¹ HOFFMANN, 2015: S. 17

⁷² SCHMIDT, 2013: S.736

Für die Dimensionierung eines Netzwerkes sollte im Voraus bekannt sein, wie viele Videoquellen im Netz verteilt werden müssen. Der Vorteil ist dann, dass ein Nachrüsten in einem Netzwerk oft nur einen weiteren Switch oder ein weiteres Glasfaserkabel benötigt und keine neue Kreuzschiene. Die nachfolgende Tabelle 4-2 soll einen Überblick über die möglichen Videostreams auf unterschiedlichen Datenleitungen geben.

SDI Format	Geschwindigkeit	1Gbit/s	10Gbit/s	100Gbit/s
SD@25i	270Mbit/s	3	33	335
HD@50p	1,485Gbit/s	-	6	60
3G@50p	2,970Gbit/s	-	3	30

Tabelle 4-2 SDI Streams mit verschiedenen Ethernet Geschwindigkeiten⁷³

Es können bis zu drei FullHD Videostreams unkomprimiert über eine 10Gbit/s Datenleitung übertragen werden. Switche arbeiten formatunabhängig und leiten somit Daten anhand von Paketen weiter. Dies ermöglicht verschiedene Formate wie HD, 4K oder 8K über eine Leitung zu übertragen.⁷⁴

4.1 SMPTE 2022

Die Society of Motion Picture & Television Engineers, kurz SMPTE, beschreibt in der SMPTE 2022 Reihe sieben Standards für die Übertragung von Videosignalen über IP. Dabei wird das Übertragen von komprimierten und unkomprimierten Signalen definiert und zusätzlich eine Fehlerkorrektur namens FEC vorgestellt. Jede Veröffentlichung beschreibt eine eigene Funktion, die für das Versenden von Videodaten im Netzwerk verwendet werden kann.⁷⁵

Für diese Arbeit sind folgende Veröffentlichungen von Bedeutung:

- SMPTE 2022-5:2013 „Forward Error Correction for High Bit Rate Media Transport Over IP Networks“ in der die Fehlerkorrektur für Bitraten von 3Gbit/s und mehr beschrieben werden,

⁷³ LAABS, 2012: S.2

⁷⁴ <https://www.film-tv-video.de/business/2015/09/04/ip-die-zukunft-der-broadcast-welt/>
[Stand: 10.01.2017]

⁷⁵ ARTEL, 2014: S.3

- SMPTE 2022-6:2012 “Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)” in der der Transport von unkomprimierten Videodaten in Netzen beschrieben wird,
- SMPTE 2022-7:2013 “Seamless Protection Switching of SMPTE ST 2022 IP Datagrams” in der das simultane Senden von zwei identischen Videostreams über verschiedene Kanäle beschrieben wird, um bei einem Ausfall das störungsfreie Umschalten zwischen den Quellen durchzuführen.

Die Veröffentlichungen SMPTE 2022-1 bis SMPTE 2022-4 beschäftigen sich mit MPEG kodierten Videomaterial, welches in einem Fernsehstudio nicht für die Weiterverarbeitung gebräuchlich ist. Aus dem Grunde wird in den kommenden Unterkapiteln nicht weiter auf die zuletzt genannten Standards eingegangen.⁷⁶

Die Standards basieren auf dem RTP Protokoll. Es wird um eine weitere Schicht ergänzt, welche für ein noch genaueres Timing sorgt. Das Protokoll dieser Schicht ist das High-Bitrate Media Transport Protocol (HBRMT). Bei dem im SMPTE 2022-6 definierten Protokoll werden die Daten von einem SDI Strom als Pakete in das HBRMT verpackt. Dieses wird anschließend in ein RTP Datenstrom verkapselt. Die Kommunikation findet auf der IP Ebene, entweder als Unicast oder Multicast, statt. Mit dieser Möglichkeit wird das komplette SDI Signal mit Video, eingebettetem Ton und vertikaler und horizontaler Ancillary Data als IP Stream verpackt und versendet. Die nachfolgende Tabelle 4-3 zeigt die Verschachtelung der verschiedenen Schichten.

Layer	Abkürzung	Name	Standart	Länge (Bit)
Transportschicht	SDI (payload)	Serial Digital Interface	SMPTE 259M, 22M, 424M	1376
	HBRMT	High Bitrate Media Transport	SMPTE 2022-6	8 - 16
	RTP	Real-Time Transport Protocol	RFC 3550	12
Vermittlungsschicht	UDP	User Datagram Protocol	RFC 768	8
Sicherungsschicht	IP	Internet Protocol (v4/v6)	RFC 791 / 2460	20/40
Bitübertragungsschicht	MAC	Media Acces Controll	IEEE 802.3	42

Tabelle 4-3 Verschachtelung von SDI⁷⁷

⁷⁶ ARTEL, 2014: S.4

⁷⁷ LAABS, 2012: S.2

In den nächsten Unterkapiteln wird das HBRMT Protokoll näher beschrieben. Außerdem werden die Synchronisation, die Fehlerkorrektur und die verschiedenen Switching Verfahren beschrieben. Dazu werden die jeweiligen Probleme und Lösungsansätze herausgearbeitet.

4.1.1 High-Bitrate Media Transport Protocol

Das High-Bitrate Media Transport Protocol ist für die Übertragung und Verpackung des SDI Payloads zuständig. Die Einkapselung des SDI Payload nennt sich Media Datagram. Das Media Datagram setzt sich aus einem RTP Header und den Mediendaten zusammen. Das Payload besteht aus einem eigenen Header und den Rohdaten, in Form von SDI Signalen oder codierten Signalen.

Die maximale Größe für ein Media Datagram ist auf 1500 Byte festgelegt, um das Senden kompletter Pakete in gängigen Netzwerken zu garantieren. Bei einem nativen SDI Signal werden die Luminanz- und Chrominanzwerte des Videos in 1376 Byte große Mediapayload Pakete verpackt. Unter Umständen ist das letzte Bild eines Datagrams kürzer als 1376 Byte. Damit jedes Bild mit einem neuen Paket beginnt, wird das Datagram mit Nullen aufgefüllt (s.g. zero-padding). Mit dieser Methode wird das Schalten zwischen den Quellen leichter realisierbar.⁷⁸

Im RTP Header werden relevante Informationen für die Übertragung gespeichert. Unter anderem wird die Art des Payloads hier vermerkt. Dies ist wichtig, damit der Empfänger weiß, ob es sich um ein HBRMT-Payload, eine FEC oder andere Daten handelt. Wie bereits im Unterkapitel 3.3.3 erwähnt wird dem RTP Header ein Zeitstempel und eine Sequenznummer beigefügt. Sie sorgen für die Wiedergabe beim Empfänger zum richtigen Zeitpunkt und in der richtigen Reihenfolge. Außerdem beinhaltet der Zeitstempel Informationen über den Sampling-Moment des ersten Bytes vom RTP Header. Der Zeitpunkt wird von einem Takt abgeleitet, womit Synchronisation und Latenz berechnet werden können. Des Weiteren wird im RTP Header die Synchronisationsquelle benannt und das letzte Paket eines Videoframes. Mit dieser Information kann sich der Empfänger auf einen eventuellen Schaltvorgang vorbereiten.⁷⁹

⁷⁸ LAABS, 2012: S.2

⁷⁹ SMPTE 2022-6:2012, 2012: S.8

In dem Header des HBRMT Protokolls werden Angaben zu dem eigentlichen Payload gemacht. Hier werden die Taktfrequenz und das Format des eingepackten Videos angegeben.⁸⁰

4.1.2 Synchronisation

In diesem Unterkapitel wird das Verfahren zur Synchronisation genauer beschrieben. Um das Schalten zwischen verschiedenen Videoquellen störungsfrei zu realisieren, müssen die Quellen zueinander synchron laufen. In der ursprünglichen Fernsehstudioteknik wurde dies anhand eines BlackBurst Signals, welches über ein extra Kabel verteilt wurde, verwirklicht. Beim Wechsel von SDI zu IP sollte das Synchronisationssignal über das selbe Netzwerk wie das Videosignal versandt werden. Hierzu wurde der Standard ST 2059-2:2015 – „Profile for Use of IEEE-1588 Precision Time Protocol in Professional Broadcast Applications“ verabschiedet.⁸¹

Der genannte Standard baut auf dem PTP auf und generiert Timestamps und Clocks für verschiedene Videoquellen im Netz. Die Taktverteilung ist im LAN wie auch im WAN möglich. Das System hat einen Master und mehrere Slaves. Alle Teilnehmer müssen im Netz miteinander verbunden sein, um den Mastertakt zu erhalten. Der Mastertakt wird von dem Grandmaster erzeugt und verteilt. Dieser wiederum bezieht seine Zeit über ein GPS Signal. Durch das GPS Signal wird die Synchronität verschiedener Teilnehmer über weite Strecken realisiert.

Der Master versendet einen 80 Bit Langen Wert an die Slaves. Dieser Wert gibt an, wie viel Zeit seit dem 1. Januar 1970 in Sekunden vergangen ist. Diese Zeit ist dann ein absoluter Zeitwert. Zusätzlich wird diese Information mit einem Zeitstempel versehen. Dieser gibt an zu welchem Zeitpunkt der Master die Zeit an den Slave gesendet hat. Nachdem der Slave diesen Wert erhalten hat sendet er einen Timestamp an den Master zurück. Mit den Differenzen zwischen den Timestamps ist der Slave in der Lage die Latenz in dem Netzwerk zu errechnen. So erstellt der Slave seine eigene Zeit in Relation zu dem Master. Mit Hilfe der Timestamps und der errechneten Latenz können Streams von verschiedenen Teilnehmern synchronisiert werden. Es kann genau berechnet werden, wann zum

⁸⁰ SMPTE 2022-6:2012, 2012: S.9

⁸¹ HERMANS, 2015: S.2

Beispiel ein Audiostream und der dazugehörige Videostream bei dem Empfänger abgespielt werden muss.⁸²

4.1.3 Switching

Im Broadcasting ist das störungsfreie Schalten zwischen zwei Signalen zwingend erforderlich. Dieser Vorgang ist für SDI Kreuzschienen kein Problem, da der Wechsel zwischen den Halbbildern vorgenommen wird. So kommt es nie zu einem schwarzen Bild oder gar Bildfehlern.

Ein Switch kennt nur Pakete und sieht keinen Unterschied zwischen Daten und Video. Außerdem werden in einem IP Netzwerk mehrere Signale über eine Leitung gesendet, was das Switchen zwischen den Signalen sehr schwierig gestaltet. Die SMPTE 2022 Standards sehen selber keine Mechanismen zur Signalumschaltung vor. Es liegen jedoch zwei verschiedene Ansätze zum Switching von Videosignalen vor.

Bei dem sogenannten Destination Timed Switching muss der Empfänger vorübergehend zwei Multicast Streams empfangen. Da an dem Schaltzeitpunkt beide Signale an den Empfänger übertragen werden, ist hier auch die doppelte Bandbreite nötig. Diese Methode ist sehr einfach zu implementieren. Es wird eine unterbrechungsfreie Übertragung gewährleistet, da der eine Stream erst aufhört zu senden, nachdem der zweite gestartet ist. Hat sich der Empfänger auf den Schaltvorgang vorbereitet, wird im richtigen Moment geschaltet und der alte Stream wird geschlossen. Der Vorgang funktioniert formatunabhängig und verläuft asynchron. Ein Vorteil ist, dass das Switchen mit jedem herkömmlichen Switch funktioniert. Allerdings verbraucht die Methode bei jedem Schaltvorgang die doppelte Bandbreite der Switch, durch das simultane Senden von zwei Streams, was als großer Nachteil anzusehen ist.⁸³

Bei dem Source Timed Switching wird anhand einer Flow Tabelle der Schaltvorgang vorbereitet. Die beiden Quellen senden einen UDP Multicast Stream an den Switch. Dieser ist im Layer 4 konfiguriert und kann die Streams mit dem OpenFlow⁸⁴ Protokoll verarbeiten. Dabei verwaltet der Switch in Tabellen den Port sowie die Herkunft und die Destination der Streams. Alle Teilnehmer sind über das PTP miteinander synchronisiert. Sobald der Schaltvorgang eingeleitet

⁸² WADGE, 2015: S. 6

⁸³ SONY, 2015: S.10

⁸⁴ Kommunikationsprotokoll welches Zugriff auf Hardware gewährleistet

wird, bereitet der Switch eine neue Flow Tabelle mit einer neuen Herkunft und Destination vor. Die Destination wird über den anstehenden Schaltvorgang informiert und bekommt eine genaue Zeitangabe für den Vorgang mitgeteilt. Genau zu diesem Zeitpunkt wechselt der Stream von der Source A zu Source B, wodurch es zu keiner Unterbrechung im Stream kommt. Der Vorteil dieser Methode ist, dass keine doppelte Bandbreite bei einem Schaltvorgang in Anspruch genommen wird.⁸⁵

4.1.4 Forward Error Correction (FEC)

UDP und RTP sind unsichere Übertragungsprotokolle. Sie bieten keine Fehlerkontrolle oder Fehlerkorrektur an. Bei RTP werden die Pakete zwar mit Nummern versehen, bei einem Verlust kann jedoch nichts rekonstruiert werden. RTP sichert ausschließlich die Zustellung in der richtigen Reihenfolge während FEC für die Fehlerbehebung innerhalb der Pakete sorgt. Die IT sichert zwar eine fehlerfreie Zustellung bei genügend Bandbreite zu, jedoch ist die Bandbreite nicht immer gegeben und somit kann es zu Schwankungen in der Performance kommen. In dem Standard SMPTE 2022-5:2013 wird ein Verfahren zur Fehlerkorrektur beschrieben.

FEC fügt dem Datenstrom weitere Informationen zur Fehlerkorrektur hinzu. Mit diesen Informationen können Fehler erkannt und verlorengegangene Pakete rekonstruiert werden. Nach erfolgreicher Zustellung werden die Informationen bei dem Empfänger verworfen.

FEC ordnet die Pakete in Gruppen und teilt sie in Zeilen und Spalten auf. Am Ende jeder Zeile und Spalte wird ein FEC Paket angefügt. So entsteht eine FEC Matrix, deren Größe die Anzahl der zu korrigierenden Fehler angibt. Je größer die Matrix, desto weiter kann sich ein Fehler durch die Zeile oder Spalte erstrecken. Allerdings kann pro Zeile oder Spalte immer nur ein Fehler korrigiert werden. Bei einem kompletten Ausfall kann daher nur ein Paket wiederhergestellt werden. Aus dem Grunde wird versucht ein gutes Mittelmaß bei der Größe der Matrix zu wählen. Zudem können bei einem HD-SDI Signal maximal 3ms lange Fehler korrigiert werden.

⁸⁵ ARISTA, 2015: S.5

Nachteile von FEC sind eine zusätzliche Datenrate, durch das Anfügen der FEC Pakete und eine Verzögerung beim Empfänger durch das Zusammensetzen der Daten und der Fehlerkorrektur.

Bei Installationen in einem Fernsehstudio kann überlegt werden die Fehlerkorrektur wegzulassen, da hier die Bandbreite meistens gegeben ist und die Netzwerkstruktur sehr gut funktioniert. Somit kann Bandbreite gespart und die Verzögerungen verringert werden. Für die Anwendungen außerhalb des Studios und die Übertragung von langen Strecken ist die Implementierung von FEC empfehlenswert.⁸⁶

4.1.5 Software Defined Networking (SDN)

Für die Steuerung in einem Netzwerk werden in der Standardreihe von SMPTE keine Mechanismen beschrieben. Jedoch gibt es Ansätze die es ermöglichen, das Routing, die Signalverteilung und die Kontrolle nicht mehr physisch im Netzwerk selber zu realisieren, sondern rein softwarebasiert. So kann ein virtuelles Netzwerk erstellt werden und von dort aus auf die Teilnehmer zugegriffen werden. Der Pfad für die IP Pakete wird durch SDN fest im Netzwerk bestimmt, um somit potentielle Fehlerquellen zu umgehen. Broadcaster sind es gewöhnt den exakten Weg des Signals zu kennen, damit eine schnelle Fehlererkennung und Behebung durchgeführt werden kann. Aus dem Grund ist SDN ein sehr interessanter Ansatz, um der üblichen Signalverteilung nahe zu kommen.

Bei SDN werden über das OpenFlow Protokoll Steuerdaten an Switches und Router gesendet. Ein Netzwerk kann mit Hilfe von SDN in verschiedene Teile, wie zum Beispiel Daten- und Mediennetzwerk geteilt werden. Dies ermöglicht Audio, Video und Steuerdaten über ein Netzwerk zu versenden. Für die Broadcastbranche spielt SDN eine große Rolle. Die Konfiguration der Geräte kann so in der Software, anstatt am Gerät selbst, realisiert werden. Außerdem können dadurch Oberflächen erstellt werden, die den herkömmlichen Broadcastgeräten ähneln. So ist die Umstellung deutlich leichter gemacht.⁸⁷

4.2 Audio/Video Bridging (AVB)

AVB ist ein von der IEEE entwickelter Standard, um die Übertragung von Echtzeitmedien im Internet zu realisieren. Die IEEE hat grundlegende Protokolle

⁸⁶ ARTEL, 2014: S.4-6

⁸⁷ LAWO, 2015: S.7

für die Kommunikation im heutigen Internet standardisiert. Unter anderem Ethernet, welches den Grundstein auf Layer 2 für die Kommunikation zwischen den Teilnehmern bildet. Außerdem hat die IEEE Standards für VLAN und die Synchronisation über das PTP veröffentlicht. AVB baut auf den beiden zuletzt genannten Standards auf und wurde mit dem Ziel entwickelt, das Internet für zeitkritische Medien anzupassen. Unter anderem wurden hierfür Technologien entworfen, die für eine Bandbreitenreservierung, Synchronisation und Konfiguration von Teilnehmern im Netz sorgen. So ist es möglich neben anderen Daten auch zeitkritische Daten wie Video und Audio in einem Netzwerk zu versenden. AVB setzt sich aus vier Standards zusammen, von denen jeder eine eigene Funktion übernimmt.⁸⁸

1. IEEE 802.1AS: Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications (gPTP)
2. IEEE 802.1Qat: Stream Reservation Protocol (SRP)
3. IEEE 802.1Qav: Forwarding and Queuing for Time-Sensitive Streams
4. IEEE 802.1BA: Audio Video Bridging Systems

Ein AVB Netzwerk wiederum setzt sich aus drei Komponenten zusammen, von denen mindestens einer vorhanden sein muss, um eine Kommunikation zu starten. Das Netzwerk besteht aus einem Talker (Quellen), einem Listener (Senken) und Bridges (Knotenpunkte). Die Video- und Audiodaten werden mittels eines Streams zwischen Talker und Listener übertragen. Hier kann ein Talker an einen oder mehrere Listener streamen. Alle AVB-fähigen Geräte bilden eine AVB-Cloud, über die sie miteinander verbunden sind. In der Cloud können verschiedene Geräte über VLANs gruppiert werden. So werden AVB Domains gebildet.⁸⁹

Da AVB auf den Ethernet Standard aufbaut ist der Payload mit 1500 Byte und die Gesamtlänge mit 2000 Byte zu Ethernet identisch. Innerhalb dieser Größen kann die Paketgröße jedoch frei gewählt werden. So kann dem zu übertragenden Medienformat die Größe und somit die daraus resultierende Latenz angepasst werden.⁹⁰

⁸⁸ IEEE 802.1BA, 2011, S.1

⁸⁹ IEEE 802.1BA, 2011, S.7

⁹⁰ IEEE 802.1BA, 2011, S.12

AVB wurde so konzipiert, dass der Endbenutzer nichts von der Übertragung bemerkt. Am Ende der Verbindung wird ein dekodiertes Signal zur Weiterverarbeitung rausgegeben. Für die Übertragung werden die Signale in Pakete geteilt und versendet. Dieser Vorgang muss für den Endbenutzer transparent sein. Es handelt sich um ein kontinuierliches Mediensignal, welches unterbrechungsfrei laufen muss. In den folgenden Unterkapiteln werden die Merkmale und Funktionen der vier AVB Standards beschrieben und untersucht.

4.2.1 Synchronisation (gPTP)

Die Synchronisation von den verschiedenen Endgeräten ist in dem Standard IEEE 802.1AS festgelegt. Hierbei wird das generalized Precision Time Protocol verwendet. Dabei wird eine sehr genaue Synchronisation aller Takte im Netz vorgenommen. Alle Geräte in einem AVB Netzwerk müssen das gPTP unterstützen. Geräte die nicht das gPTP unterstützen, können nicht Teil einer AVB Cloud werden. Es ist auch dringend erforderlich, dass alle Knotenpunkte wie zum Beispiel Switches oder Router gPTP unterstützen, da ansonsten die dort angeschlossenen Geräte nicht in der AVB Cloud erkannt werden. Der Sachverhalt wird Abbildung 4-1 in dargestellt.⁹¹

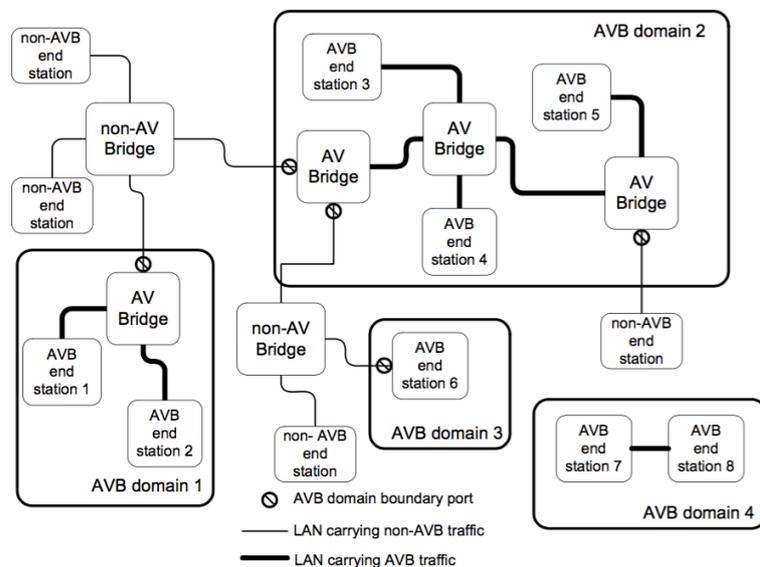


Abbildung 4-1 Grenzen der AVB Cloud⁹²

⁹¹ IEEE 802.1BA, 2011: S.8

⁹² IEEE 802.1BA, 2011: S.8

Innerhalb einer Domain wird eine gPTP Domain mit einem Time Grandmaster und mehreren Time Slaves gebildet. Der Grandmaster versendet regelmäßig seine Zeit an die Teilnehmer in der Domain. Die Switche und Teilnehmer empfangen diese Zeit und passen sie nach ihrer Latenz an. Mit dieser Technik kann ein sehr genauer Takt im Netz verteilt werden, ohne die Nutzung einer gesonderten Leitung. Der Takt wird über dasselbe Netzwerk wie auch die Audio- und Videodaten gesendet.⁹³

4.2.2 Stream Reservation Protocol (SRP)

Das Stream Reservation Protocol sorgt bei der Übertragung von Mediendaten für die entsprechende Bandbreitenreservierung. Wenn ein Talker ein Stream in der AVB Cloud anbietet, ist er für alle sichtbar. Abonniert jetzt ein Listener diesen Stream, stellt SRP sicher, dass der Weg frei ist. Talker und Listener fragen somit die Bandbreite an, bevor der Datenfluss beginnt. Es wird ein Weg gewählt und die benötigte Bandbreite für die Übertragungsdauer reserviert. Durch die Bandbreitenreservierung können neben den Mediendaten auch andere Daten im selben Netzwerk versendet werden. Diese Daten erhalten dann weniger Bandbreite. In der Konfiguration können bestimmte Prioritäten für die Bandbreitenreservierung vergeben werden. So erhält ein Videosignal höhere Prioritäten als ein Audiosignal, da es eine größere Datenrate besitzt.

Außerdem sorgt SRP dafür, dass sich die Teilnehmer in einem Netzwerk entdecken können. SRP stellt sicher, dass Listener und Talker das VLAN identifizieren können. Alle Geräte in einem AVB Netzwerk, die sich entdeckt haben, bilden eine SRP Domäne. Innerhalb dieser Domäne gibt es zwei verschiedene Latenz-Klassen.⁹⁴

4.2.3 Latenzen und Traffic Shaping

Die Latenzen und die Priorisierung von Daten sind in dem Standard IEEE 802.1Qav festgehalten. Es gibt zwei unterschiedliche Latenzgruppen. Die Geräte können entweder Klasse A mit maximal 2ms oder Klasse B mit maximal 50ms Latenz angehören. Die genannten Latenzgrenzen werden durch Traffic Shaping realisiert. Dabei werden die zeitkritischen Daten priorisiert und bevorzugt am Port ausgegeben. Außerdem können Pakete zwischengespeichert werden und mit

⁹³ IEEE 802.1AS, 2011: S.27

⁹⁴ IEEE 802.1BA, 2011: S.12

einem Flow-Control Algorithmus erst nach und nach weitergeleitet werden. Dies verhindert Daten Over-Flows und Daten Staus.

4.2.4 Audio Video Transport Protokoll (AVTP)

AVB kann selbst keine Daten übertragen. Es stellt nur die Funktionen und die Grundlagen bereit, um zeitkritische Daten in Netzwerken zu übertragen. Die Datenübertragung regelt das Audio Video Transport Protokoll. Ein funktionierendes AVB Netz ist Voraussetzung für das AVTP. Das AVTP wurde im IEEE 1722 standardisiert. Die Daten werden bei AVB kodiert und dann übertragen. Es wird nicht das reine SDI Signal übertragen.

Das AVTP hat im Header eine weitere Timing Angabe. Neben dem gPTP zur Synchronisation werden den Paketen eine Presentation Time beigefügt. Diese besagt wann der Stream bei dem Listener abgespielt werden soll. Der Stream setzt sich aus der gPTP Zeit und der vergangenen Latenz bei der Übertragung zusammen. Darüber hinaus gibt es noch die Media Clock. Sie ist abhängig von der Abtastrate des zu übertragenden Audio oder Video. Anhand dieser Clock können bei dem Listener eventuelle Fehler festgestellt werden.

Die Pakete eines Streams werden von dem Talker mit einer ansteigenden Sequenznummer im Header gekennzeichnet. So weiß der Listener wann Pakete verloren gehen und in welcher Reihenfolge sie abgespielt werden müssen.⁹⁵

4.2.5 Geräteerkennung

Die Geräteerkennung und -konfiguration werden in dem Standard IEEE 1722.1 beschrieben. Dieser besagt, dass jedes Gerät in einem AVB Netzwerk ein Audio/Video Discovery Enumeration Connection Management and Configuration (AVDECC) besitzen muss, in dem die Strukturen des Gerätes festgelegt sind. Das AVDECC verwendet drei verschiedene Protokolle um Geräte in einem Netzwerk zu verbinden.

Zu einem das AVDECC Discovery Protocoll (ADP) zur Registrierung der Geräte im Netzwerk, dann das AVDECC Enumeration and Control Protocol (AECp), zum Senden und Empfangen von Objekten und zum Schluss das AVDECC Connection Management Protocol (ACMP) für die Verwaltung von Verbindungsaufbau und

⁹⁵ IEEE 1722, 2016: S.13ff.

-abbau. Nur wenn alle Komponenten des AVDECC vorhanden sind kann eine Verbindung zwischen verschiedenen Geräten hergestellt werden.⁹⁶

5 Vergleich SMPTE 2022 und AVB

In diesem Kapitel werden die beiden Standards SMPTE 2022 und AVB verglichen und auf ihre Funktionalität in einem professionellen Fernsehstudio geprüft. Dabei werden die Funktionen der beiden Standards mit den Anforderungen an die Technik in einem Studio verglichen und bewertet. Es wird ausgewertet, welcher Standard sich für bestimmte Anwendungen besser eignet. Anschließend werden die Vorteile und Nachteile von IP gegenüber SDI benannt.

Die Ansätze von AVB und SMPTE 2022 sind unterschiedlich, jedoch verfolgen beide Standards das gleiche Ziel: Das Internet soll für die Übertragung von Echtzeitmedien angepasst werden. AVB und SMPTE 2022 sehen hierfür unterschiedliche Methoden vor, um Themen wie Priorisierung, Sicherheit, Synchronisation und Routing vorzunehmen. In den folgenden Unterkapiteln werden die Vorteile und Nachteile von SDI over IP allgemein benannt und anschließend für AVB und SMPTE 2022 spezifiziert.

Es kann gesagt werden, dass AVB eine Layer 2 Technik im Schichtenmodell darstellt und SMPTE 2022 eine Layer 3 Technik. Das heißt, AVB wird nicht mit Hilfe von IP Adressen adressiert und verwaltet, sondern mit MAC Adressen. Aus dem Grund ist es schwer AVB in einer WAN Umgebung einzusetzen oder für Remote Productions zu benutzen. AVB ist letztendlich für die Verwendung in geschlossenen Netzwerken gedacht. Dies bringt gewisse Vorteile, aber auch Nachteile mit sich. Außerdem sind für AVB die entsprechenden Geräte notwendig. Es werden besondere Switche benötigt, wobei diese Funktion heute zunehmend in fast allen professionellen Switchen integriert ist.

Da SMPTE 2022 in Layer 3 Standard ist, können alle üblichen Geräte verwendet werden und nicht nur extra für SMPTE 2022 spezifische. Dies liegt hauptsächlich an der Art wie AVB und SMPTE 2022 arbeiten. AVB benutzt ein eigenes Protokoll für die Codierung und Übertragung der Daten. Im Gegensatz dazu setzt SMPTE 2022 auf weitverbreitete Internetstandards. SMPTE 2022 lässt das SDI Signal unberührt und transportiert das Signal mit Protokollen wie UDP und RTP. Da diese

⁹⁶ IEEE 1722, 2013: S.21ff.

Protokolle standardisiert sind, kann jeder Switch sie verarbeiten. Somit ist SMPTE 2022 ein offenerer Standard als AVB.

Der SMPTE 2022 Standard sieht keine Mechanismen für die Synchronisation oder die Bandbreitenreservierung vor. Es werden keine Vorschläge über Quality of Service Parameter gemacht und SMPTE 2022 erkennt keine Videoformate. Bei AVB dagegen ist die Synchronisation und die Bandbreitenreservierung bereits implementiert. Außerdem werden die unterschiedlichen Videoformate vom Übertragungsprotokoll erkannt. SMPTE 2022 ist alleinstehend für die Übertragung von Echtzeitmedien nicht geeignet, kann aber durch SDN erweitert werden um Themen wie Bandbreitenreservierung oder Synchronisation entgegenzuwirken.

Da AVB für geschlossene Netzwerke mit Bandbreitenreservierung kreiert wurde, gibt es keinen Fehlerschutz oder keine Fehlerkorrektur. In einem gut konfigurierten AVB Netzwerk sollte es nicht zu Fehlern kommen. SMPTE 2022 hingegen hat einen Fehlerschutz implementiert. Dieser ist auch dringend erforderlich, wenn weite Strecken im WAN zurückgelegt werden müssen.

Die nachfolgende Tabelle 5-1 zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen AVB und SMPTE 2022.

	SMPTE 2022	AVB
Kompression	MPEG, H.265, J2K, Ohne	Ohne
FEC	Optional	Nicht vorhanden
Netzwerk	WAN, MAN (Layer 3)	LAN (Layer 2)
Synchronisation	Nicht inbegriffen	802.1AS und 1722
Quality of Service	Nicht inbegriffen	802.1Q SRP
Latenz	1 Frame	1 Videozeile

Tabelle 5-1 Vergleich SMPTE 2022 und AVB⁹⁷

5.1 Vorteile

Durch ein Netzwerk können Signale bidirektional versendet und empfangen werden. Es ist möglich Signale über ein Kabel zu bündeln und zu verteilen. Somit fallen hohe Kosten für Kabel und Verkabelungsaufwand weg. Die komplette Studioverkabelung kann dezentral realisiert werden, ohne dabei einen zentralen Punkt wie die Kreuzschiene zu haben. Die Verteilung erfolgt über verschiedene

⁹⁷ SILFVAST, 2013: S.13

Switche, welche baumartig mit einander verbunden werden. Da keine Punkt-zu-Punkt Verbindungen mehr notwendig sind, kann das Signal rein softwarebasiert frei in dem Netzwerk geroutet werden.

Ein Netzwerk arbeitet formatunabhängig. Das heißt, es macht für das Netz keinen Unterschied was für ein Format versendet wird. Dies spiegelt sich nur in der Datenrate wieder. Audio, Video, Synchronisations- und Steuerdaten können über ein Kabel versendet werden. Dies spart weitere Leitungen für die oben genannten Bereiche ein. Des Weiteren ist die Netzwerktechnik sehr zukunftsorientiert. Es hängt alles nur von der verwendeten Bandbreite ab. Heutzutage sind Bandbreiten bis zu 100Gbit/s keine Seltenheit mehr, wodurch 4K, 8K, 3D und viele andere Formate leicht verarbeitet werden können.

Durch das Ersetzen von teuren Kreuzschienen werden zu einem Kosten eingespart und zu anderen kann die Technik kleiner dimensioniert werden. Switche sind deutlich kleiner und leistungstärker im Gegensatz zu Kreuzschienen. So nimmt ein Switch mit 10x 40G Anschlüssen nur 4HU⁹⁸ ein, während eine Kreuzschiene mit der gleichen Leistungsaufnahme einen ganzen Schaltschrank belegt. Gleichzeitig ist die Erstellung eines redundanten Netzwerkes für eine höhere Ausfallsicherheit mit Switchen und Netzwerkkomponenten leichter zu realisieren.

Zusammenfassend die Vorteile in kurzen Stichpunkten für den Überblick:

- Bidirektionales Versenden von Signalen
- Bündelung von mehreren Signalen in einer Leitung
- Dezentrale Verteilung mit Switchen
- Formatunabhängig
- Leicht erweiterbar
- Hohe Ausfallsicherheit durch Redundanz

Da sich SMPTE 2022 und AVB in einigen Merkmalen unterscheiden, werden in den kommenden Absätzen noch einmal die speziellen Vorteile von SMPTE 2022 und AVB dargestellt.

⁹⁸ Höheneinheit

SMPTE 2022

SMPTE 2022 basiert auf einem offenen Standard und benötigt somit keine speziellen Endgeräte. Somit ist SMPTE 2022 quasi überall verwendbar. Des Weiteren kann SMPTE 2022 in WAN Umgebungen eingesetzt werden, was für Remote Production in der Zukunft sehr interessant sein kann.

AVB

Bei AVB funktioniert die Geräteerkennung in einem Netzwerk sehr gut. Voraussetzung dafür ist jedoch die Verwendung von AVB-fähigen Geräten. Ein AVB Netzwerk konfiguriert sich quasi von selbst und der Anwender kann es direkt benutzen. AVB bildet eine eigene Domäne, wodurch die Bandbreitenreservierung innerhalb des Netzwerkes gut umgesetzt wird. Dies führt zu einer sehr sicheren und fehlerfreien Übertragung.

5.2 Nachteile

Im Folgenden werden die durch den Wechsel von SDI zu IP eintretenden Nachteile, sowie die für SMPTE 2022 und AVB spezifischen negativen Merkmale, erläutert.

Ein großer Nachteil von SDI over IP ist die komplexe Fehlersuche. Durch die Bündelung von mehreren Signalen in einem Kabel kann nur noch schwer nachvollzogen werden, wo welches Signal entlangläuft. So ist es schwierig Fehler zu suchen und zu beheben. Es ist fast unmöglich Fehler messtechnisch in einer Leitung festzustellen. Der Switch entscheidet selber, welches Signal auf welchem Kabel oder Port gesendet wird. Somit ist die Struktur des Netzwerkes nicht mehr transparent. Dies kann zu großen Problemen bei Broadcastern führen, da sie es gewohnt sind ein Kabel für ein Signal zu verwenden. Wenn es zum Beispiel Probleme mit dem Takt gibt, aber das Videosignal erhalten bleibt, hilft es nichts nur ein Kabel auszutauschen. Das Problem kann viel tiefer liegen und mit der Gerätekonfiguration zu tun haben.

Darüber hinaus ist das nötige Fachpersonal meistens nicht verfügbar. Es gibt Fachpersonal für die IT Technik und anderes für die Bild- und Tontechnik. Jedoch ist es momentan noch schwer Mitarbeiter zu finden die sich in beiden Gebieten auskennen. So erfolgen Installation und Wartung von Netzwerken oftmals durch fremde Techniker.

Momentan gibt es nur AVB und SMPTE 2022 als wirkliche Umsetzung für SDI over IP. Diese Formate sind jedoch nur bedingt kompatibel zueinander. So muss sich eine Broadcastanstalt für eines von den beiden Technologien entscheiden. Es kann vorkommen, dass bestimmte Geräte verschiedener Hersteller nicht miteinander kommunizieren können. Deshalb ist es notwendig sich vorher genauestens zu informieren, welches System am besten funktioniert. Dies erfordert auch eine gründliche Planung des Mediennetzwerkes, bevor es installiert wird.

Gleichzeitig ist die Entwicklung von beiden Technologien in der Zukunft noch unsicher. Bisher gibt es noch keine Tendenzen, ob sich AVB oder SMPTE 2022 oder eventuell auch beide durchsetzen werden. Wenn sich nun ein Fernsehstudio für eine Technik entscheidet, die aber in fünf Jahren nicht mehr unterstützt wird, steht ein erneuter Wechsel an. Dieses ist sehr kostspielig und aufwendig.

Bei der Integration von SDI over IP in ein bestehendes Datennetz gibt es bisher noch wenig Schutz gegen Angriffe von außerhalb. Generell sollten Datennetze davor geschützt sein, jedoch ist es dringend erforderlich noch weiteren Schutz bei Netzwerken für Echtzeitmedien zu integrieren.

Zur Übersicht sind in den folgenden Stichpunkten die Nachteile zusammengefasst:

- Komplizierte Fehlersuche
- Sehr schwierig Signale zu messen
- Fehlendes Fachpersonal
- AVB und SMPTE 2022 nur bedingt kompatibel
- Netzwerk erfordert genaue Planung
- Zukunft von Technologien unklar
- Kein Schutz vor Angriffen von draußen

Wie auch bei den Vorteilen unterscheiden sich AVB und SMPTE 2022 in einigen Punkten, weshalb im Anschluss noch einmal die spezifischen Nachteile von den eben genannten Techniken aufgelistet sind.

SMPTE 2022

SMPTE 2022 bietet von sich aus keine Vorgaben für QoS und Synchronisationsparameter. Hierfür müssen weitere Anwendungen wie zum Beispiel SDN implementiert werden. Außerdem wird die Latenz bei SMPTE 2022 durch den Fehlerschutz FEC größer als bei AVB.

AVB

AVB benötigt AVB-fähige Switche und Komponenten um richtig zu funktionieren. Bei nicht AVB-fähigen Switchen wird keine Garantie für die Bandbreitenreservierung oder die richtige Zustellung der Daten übernommen. Außerdem ist es nur sehr bedingt im WAN einsetzbar und somit eigentlich nur für LAN Strukturen innerhalb eines geschlossenen Netzes gedacht.

6 Integration in ein Fernsehstudio

Um eine Integration in ein Fernsehstudio erfolgreich durchzuführen, muss zunächst entschieden werden, welche Signale in das Netzwerk integriert werden und welche nicht. Bei der Planung eines solchen Netzwerkes gibt es mehrere Probleme, für die unterschiedliche Lösungen bearbeitet werden. In diesem Kapitel werden Probleme bei der Planung eines Netzwerkes, sowie deren Lösungen erarbeitet und beschrieben. In der Branche finden sich immer mehr Anhänger für SMPTE 2022, weswegen AVB eher selten im Broadcastingbereich verwendet wird. Dies liegt unter anderem daran, dass es sich nicht außerhalb von einer LAN Struktur routen lässt. Dafür findet AVB eine hohe Akzeptanz in der Automobilbranche und im Heimanwenderbereich. In der Automobilbranche wird mit Hilfe von AVB zum Beispiel die gesamte Mediensteuerung in einem Automobil realisiert.

6.1 Probleme bei der Integration

Ein Grundlegendes Problem bei der Integration ist die Ungewissheit über die verschiedenen Standards. Da AVB und SMPTE 2022 momentan nicht miteinander kommunizieren können, kann auch kein Hybridnetzwerk mit beiden Standards aufgebaut werden. Es muss entschieden werden, welcher Standard verwendet wird und demnach auch in der Zukunft weiter benutzt wird. Aus diesem Grund ist es zurzeit sehr schwer für die Fernsehanstalten sich für einen Standard zu entscheiden.

Da die meisten Geräte noch ein SDI Signal ausgeben, sind teure SDI zu Ethernet Wandler notwendig. Je nach Größe des Studios wird hier eine sehr hohe Anzahl benötigt. Die Vorteile von IP relativieren sich gegenüber den großen Kosten. Der Weg ist hier ganz klar: Eine Implementierung der Standards inklusive Netzwerkkarten in den Endgeräten ist gefordert.

Ein weiteres großes Problem stellt das Personal selber da. Die neue Technik bringt eine Umstellung mit sich, auf die auch das Personal geschult werden muss. Die Ängste vor der Netzwerktechnik müssen genommen werden, da die Technik ansonsten nicht mehr verstanden wird. Dies kann über regelmäßige Seminare oder Schulungen erreicht werden. Hierbei ist wichtig, dass die grundlegende Technik verstanden wird, aber sich am Workflow für den Bildtechniker oder Tontechniker nichts ändert. Die Oberflächen und Bedienmöglichkeiten müssen gleichbleiben.

6.2 Chancen bei der Integration

Im Wechsel von SDI zu IP liegen jedoch auch Chancen und neue Herausforderungen für ein Unternehmen. Es soll verdeutlicht werden, was ein Wechsel wirklich bringt und wohin er gehen sollte.

Zunächst kann gesagt werden, dass durch einen Wechsel von SDI zu IP die Bild- und Tontechniker sich wieder auf ihre wirklichen Aufgaben konzentrieren können. Sie sind verantwortlich für ein gutes Bild und einen guten Ton und sollen dem Zuschauer ein optimales Gesamtergebnis liefern. Diese Techniker waren jedoch in den letzten Jahren immer mehr damit beschäftigt neue Formate für den Transport großer Datenmengen zu entwerfen. Die steigende Anfrage an besserer Auflösungen, mehr Content und variabel gestaltbaren Programm, beschäftigte die Techniker mit der Frage: „Wie bekommt man ein 4K Signal über ein SDI Kabel versendet?“. Somit wurden Verpackungen für immer größere Formate entworfen, anstatt die Formate selbst zu verbessern. Mit der IP Technik kann sich wieder auf die wesentlichen Dinge konzentriert werden. IP ist formatunabhängig und kann so ohne Probleme auch größere Datenraten verarbeiten. Außerdem müssen keine neuen Schnittstellen für neue Formate entworfen werden, da eine einheitliche Schnittstelle, RJ-45 oder Glasfaser, weltweit verwendet wird.

Mit der Verwendung von IP Netzwerken innerhalb eines Studios ist es gleichzeitig möglich Studios unabhängig von ihrem Standort anzubinden. So können kleinere Regionalstudios an die großen Studios angebunden werden. Dadurch kann eine bessere Nutzung aller Räumlichkeiten realisiert werden. Die Produktionen können unabhängig von ihrem Standort durchgeführt werden. Das heißt, ein Studio mit den Kameras könnte in Hannover sein, aber die Regie in Hamburg. Dadurch werden Kosten bei dem Sender durch leerstehende Räume gespart. Darüber

hinaus können Außenübertragungen ferngesteuert werden. Dies kann mit Hilfe von Remote Production realisiert werden. Das Verfahren der Remote Production wird in dem Kapitel 7 näher erklärt.

Der nächste Schritt wäre anstatt nur das SDI Kabel für die Signalverteilung auszutauschen, alle Wege von der Kamera bis zum Monitor über IP zu realisieren. So würde ein Studio die gesamte Verkabelung mit Hilfe von Twisted-Pair Kabeln oder Glasfaserkabeln realisieren. Das sogenannte All over IP Verfahren sieht dabei vor, Netzwerkanschlüsse bereits an den Kameras zu installieren. Dadurch werden viele Kabel und auch Kosten gespart. Außerdem könnte die Kamera einfach auf den nächstliegenden Switch gesteckt werden und in der Software entsprechend geroutet werden. Damit sind kurze Leitungswege und unkomplizierte Verkabelung möglich. Für dieses Verfahren müssen sich allerdings alle Hersteller auf einen Standard einigen, um dann die entsprechende Software direkt im Gerät zu implementieren. Außerdem muss so ein Netzwerk sehr gut konfiguriert werden, da es ansonsten schnell zur Überlastungen oder Datenstaus kommen kann.

7 Remote Production

Die Remote Production ist eine neue Produktionsform für Übertragungen außerhalb der Sendeanstalt. Sie wird möglich gemacht durch die Verwendung von Netzwerken in der Broadcastbranche. Hierbei geht es darum, die Außenübertragung ohne Ü-Wagen zu realisieren. Dies wird heute schon bei vielen Sportveranstaltungen eingesetzt. Bei der Remote Production muss nur ein kleines Technikerteam zu dem Event anreisen um Kameras und Mikrophone aufzubauen. Diese werden dann mit der entsprechenden Hardware direkt an das Netzwerk angeschlossen. Hierfür bieten Firmen wie Lawo, Sony und viele andere bereits zahlreiche Möglichkeiten. Die unkomprimierten Signale werden über Standleitungen direkt zum Hauptstudio gesendet. Hier wird in den festen Regien das Bild überwacht, der Ton gemischt und das Video geschnitten. Der Vorteil ist, dass Personal eingespart werden kann und die Techniker in ihrer gewohnten Umgebung arbeiten können. Ein festes Studio bietet deutlich bessere Möglichkeiten als ein kleines, mobiles im Ü-Wagen. So können hohe Produktionskosten gespart werden und die Übertragung von Regionalen Sportveranstaltungen kann ausgebaut werden. Wenn das Studio bereits eine

Netzwerkstruktur für Audio und Video verwendet, funktioniert die Remote Anbindung fast ohne Probleme.

Das Verfahren der Remote Production wurde bereits mehrfach in den letzten Jahren angewendet. So wurden zum Beispiel bei der EM 2016 in Frankreich die Signale von den Spielen an das International Broadcast Center in Paris über Glasfaserleitungen übertragen. Die Besonderheit war, dass keine Ü-Wagen mehr vor Ort waren, sondern das Bild und der Ton in Paris bearbeitet und an die Sender weitergeleitet wurden. So war es möglich Personalkosten einzusparen. Außerdem konnten die Signale an einem Ort überwacht und verteilt werden. Oft wird hier der SMPTE 2022 Standard verwendet, da er gut im WAN funktioniert.

8 Fazit

In der Bachelorarbeit wurde gezeigt, dass ein Wechsel von SDI zu IP nicht problemlos möglich ist. Die Ansätze von SDI und IP sind sehr verschieden, genauso wie auch die Arbeitsweisen der Kreuzschiene und einem Switch sich stark unterscheiden. Ein einfaches Austauschen von Geräten ist nicht möglich, da hier die benötigten Anschlüsse und Konfigurationen fehlen. Trotz allem kann gesagt werden, dass IP Netzwerke durch die Standardreihe SMPTE 2022 und AVB IP Netzwerke weitestgehend für die Übertragung von zeitkritischen Medien vorbereitet sind.

Dazu muss allerdings erwähnt werden, dass AVB eher für geschlossene Netzwerke gedacht ist und nicht kompatibel mit anderen Geräten ist. Aus dem Grund wird AVB eher im Heimanwenderbereich benutzt und eignet sich nicht unbedingt für ein professionelles Fernsehstudio. SMPTE 2022 beinhaltet viele Techniken die wichtig sind für das Übertragen von Video und Audio over IP. Zum einem können Daten bei SMPTE 2022 auch in Weitverkehrsnetzen geroutet werden und zum anderem erfordert es keine speziellen Geräte für die Implementierung.

Es ist deutlich geworden, dass durch die Nutzung von IP-Netzwerken die Signalverteilung deutlich vereinfacht wird und somit Kosten gespart werden können. Die Netzwerke sind in der Lage Video und Audio sicher und in hoher Qualität zu übertragen. Außerdem ist die Technik sehr zukunftsorientiert, da hohe Datenraten leicht bewältigt werden. So ist es möglich auch Formate wie 4K oder 8K problemlos in einem Fernsehstudio zu verarbeiten. Das Stichwort Remote

Production ist bei der Benutzung von Netzwerken ebenfalls ein großes Thema. Regionale Studios oder auch Außenübertragungen können problemlos von den Hauptregionen der Fernsehanstalten ferngesteuert werden.

Jedoch haben Mediennetzwerke nicht nur Vorteile und das BNC Kabel kann nicht ohne weiteres durch das Twisted-Pair Kabel ausgetauscht werden. Hier lässt sich eindeutig sagen, dass es ein großes Problem mit den Standards gibt. Die SMPTE 2022 Standardreihe wird zwar präferiert, jedoch gibt es ebenso Hersteller die auf AVB setzen. Die beiden Standards sind nicht kompatibel untereinander und somit ist es schwer vorherzusagen, wo es in der Zukunft hingehen wird. Gleichzeitig ist die Vereinfachung der Verkabelung im Studio auch eine Erschwernis für die Fehlerkontrolle und Signalüberwachung.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Netzwerktechnik mit den Standardreihen SMPTE 2022 und AVB bereit ist für die Übertragung von Echtzeitmedien in der Fernsehstudiumgebung. Auf lange Sicht gesehen wird die Netzwerktechnik die klassische SDI Verkabelung ablösen. Ausschlaggebend hierfür sind die großen Kostenersparnisse und Vereinfachungen im System.

Literaturverzeichnis

Arista (2015): Broadcast Transition from SDI to Ethernet

Artel (2014): The Broadcaster's Guide to SMPTE 2022: Applications in Video Contribution and Distribution

Dickreiter, Michael, Dittel, Volker, Hoep, Wolfgang, Wöhr, Martin (2014): Handbuch der Tonstudioteknik Band 1

Hermans, Antoine (2015): Broadcast SMPTE ST 2059, Timing Synchronization through SMPTE ST 2069

Hoffman, Dr. Hans (2015): EBU Technologie and Innovation, Aktuelle Entwicklung in der vernetzten Programmproduktion

IEEE Computer Society (2013): IEEE Standard for Device Discovery, Connection Management, and Control Protocol for IEEE 1722 Based Devices (IEEE Std 1722-2013)

IEEE Computer Society (2016): IEEE Standard for a Transport Protocol for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks (IEEE Std 1722-2016)

IEEE Computer Society (2011): IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Timing and Synchronisation für Time-Sensitive Applications in Bridged Area Networks (IEEE Std 802.1AS)

Laabs, Matthias (2012): SDI over IP – seamless signal switching in SMPTE 2022-6 and a novel multicast routing concept

Lawo, Arista (2015): From SDI Baseband to IP Routing: An Essential & Timely Migration

- Obermann, Kristof, Horneffer, Martin (2013): Datennetztechnologien für Next Generation Networks – Ethernet, IP, MPLS und andere
- Riggert, Wolfgang (2012): Rechnernetze - Grundlagen – Ethernet – Internet
- Röder, Dipl. Ing. Jan (2009): Eine Netzwerkarchitektur zum Einsatz des Materials Exchange Formats für Live-Produktionen im professionellen Fernsehstudio
- Schmidt, Ulrich (2013): Professionelle Videotechnik – Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD; DI, 3D
- Silfvast, Rob (2013): IEEE 1722 Media on AVB Networks – Presentation to the AVnu Alliance Broadcast Advisory Council
- SMPTE (2012): ST 2022-6:2012 - SMPTE Standard - Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)
- Sony (2015): IP Live Production and the business of broadcasting
- Tannenbaum, Andrew S., Wheterall, David J. (2012): Computernetzwerke
- Wadge, Robert (2015): Media Synchronisation in the IP Studio
- EURO 2016 (2016): Euro 2016 HB Operations Manual. Pfad: <https://euro2016-host-broadcast-operations-manual.uefapublications.com/#!/book/173>
[Stand: 05.01.2017]
- Elektronik Kompendium: ISO/OSI-7-Schichtenmodell. Pfad: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/0301201.htm> [Stand: 05.01.2017]
- Elektronik Kompendium: 40- und 100- Gigabit-Ethernet / IEEE 802.3ba. Pfad: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/1406261.htm>
[Stand: 04.01.2017]

Elektronik Kompendium: UDP – User Datagram Protocol.

Pfad: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0812281.htm>

[Stand: 05.01.2017]

Elektronik Kompendium: RTP – Realtime Transport Protocol.

Pfad: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/1106071.htm>

[Stand: 05.01.2017]

Elektronik Kompendium: Lichtwellenleiter (LWL / Glasfaser).

Pfad: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/0301282.htm>

[Stand: 07.01.2017]

Film-TV-Video (2015): IP: Die Zukunft der Broadcastwelt? Pfad: <https://www.film-tv-video.de/business/2015/09/04/ip-die-zukunft-der-broadcast-welt/>

[Stand: 10.01.2017]

Request for Comments (2003): RTP – A Transport Protocol for Realtime

Applications. Pfad: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt> [Stand: 05.01.2017]