

SDI versus IP

Vorteile der Verwendung von IP - Technologie
gegenüber den bisherigen SDI - Infrastrukturen im
Broadcastbereich

Diplomarbeit

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades
Dipl.-Ing. für technisch-wissenschaftliche Berufe

am Masterstudiengang Digitale Medientechnologien an der
Fachhochschule St. Pölten, **Masterklasse Postproduktion**

von:

Stefan Eder, BSc

dm1510262507

Betreuer/in und Erstbegutachter/in: FH-Prof. Dipl.-Ing. Lars Oertel

Zweitbegutachter/in: Dipl.-Ing. (FH) Mario Zeller

St. Pölten, 16.08.2017

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

- ich dieses Thema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter bzw. der Begutachterin beurteilten Arbeit überein.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift

Kurzfassung

Die nachstehende Arbeit befasst sich mit der Möglichkeit eine bestehende SDI-basierte Produktionsumgebung durch eine auf IP-Technik-basierende Umgebung abzulösen.

Ziel dieser Arbeit ist, herauszufinden, welche Vorteile diese, für den Broadcastbereich relativ neue, Technik gegenüber der bestehenden SDI-Technologie bietet. Ausgangspunkt dieser Arbeit bietet die Hypothese, dass es bei der Verwendung von IP-Technologie deutlich mehr Vorteile als Nachteile gibt und so ein Umstieg von SDI auf IP sinnvoll ist. Um die aufgestellte Hypothese zu verifizieren bzw. gegebenenfalls zu falsifizieren, werden beide Technologien hinsichtlich deren Geschichte, deren Funktionsweise und den jeweilig bestehenden bzw. zukünftigen Standards untersucht. Ferner werden die Vor- und Nachteile von SDI und IP erläutert. Diese werden anhand von Literaturrecherchen bzw. anhand der Experteninterviews ausgearbeitet. Des Weiteren dienen die Meinungen der Experten dazu, einen Trend in der Branche zu erkennen, welche der beiden Technologien favorisiert wird.

Im Laufe dieser Arbeit hat sich herausgestellt, dass beide Technologien ihre Berechtigung besitzen, im Broadcastbereich verwendet zu werden. Dementsprechend gibt es auf beiden Seiten Vor- bzw. Nachteile. Ebenso konnte festgestellt werden, dass die befragten Experten der Meinung sind, dass die IP-Technik in Zukunft, die bisher verwendete Technik ablösen wird.

Abstract

This Thesis is about the possibility of replacing an existing SDI-based production environment with an IP technology-based environment.

The aim of this thesis is to detect which advantages are given by an ip-based production environment instead of an SDI-based environment. The origin was the hypothesis that there are significantly more advantages than disadvantages when IP technology is used instead of SDI-technology. To verify or as appropriate to falsify the hypothesis, both technologies will be explained regarding to their history, their functionalities and their existing, respectively their future standards. Furthermore, the advantages and disadvantages of SDI and IP are explained. These are elaborated on the basis of literature research and the interviews, which were made with experts. In addition, the experts' opinions are used to identify a trend in the industry, which of both technologies is preferred.

In the course of this thesis was written, it has been shown that both technologies have the eligibility to be used in the broadcast industry. Accordingly, there are advantages and disadvantages on both sides. It turned out that the experts have the opinion that IP technology will replace the previously used technology.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung	II
Kurzfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Kontext	1
1.2 Forschungsfragen	1
1.3 Hypothese	2
1.4 Forschungsziel	2
1.5 Beschreibung der Vorgehensweise	2
1.6 Allgemeine Anmerkung	3
2 SDI - basierte Übertragungstechnologie	4
2.1 Geschichtliche Entwicklung	4
2.2 Typische SDI-Produktionsumgebung	6
2.3 Technische Beschreibung und Standards	17
2.3.1 Grundlagen Digitaltechnik	17
2.3.2 Digitale Videosignale und deren SDI-Standards	18
3 IP – basierte Übertragungstechnologie	42
3.1 Grundlagen der Netzwerktechnik	42
3.1.1 Allgemeines	42
3.1.2 Netzhardware	43
3.1.3 Protokollhierarchien der Netzwerksoftware	47
3.1.4 Dienstarten	50
3.1.5 Unterscheidung von Diensten und Protokollen	51
3.1.6 OSI Referenzmodell	53
3.1.7 TCP/IP Referenzmodell	58
3.1.8 Netzwerktopologien	62
3.1.9 Typische Netzwerkgeräte und häufig verwendete Kabel	63
3.2 IP Produktionsumgebung im Broadcastbereich	81
3.2.1 Änderungen gegenüber einer SDI-Produktionsumgebung	81
3.2.2 Mögliche Architekturen	83

3.2.3	Anforderungen an eine IP-Produktionsumgebung	85
3.3	Technische Beschreibung und Standards	87
3.3.1	SMPTE Standards	87
3.3.2	Audio/Video Bridging (AVB) bzw. Time Sensitive Networking (TSN)	96
3.3.3	Vergleich der verschiedenen Standards	102
4	Empirie	104
4.1	Forschungsmethode	104
4.1.1	Expertenauswahl	104
4.1.2	Fragebogendesign	106
4.2	Antworten der Experten	106
4.2.1	DI Peter Steyskal - ORF	106
4.2.2	Andreas Lattmann - TPC Switzerland AG	109
4.2.3	Jens Gnad - Logic Media Solutions GmbH	110
4.2.4	Matthias Barth - ProSiebenSat.1 Produktion GmbH	113
4.2.5	Wolfgang Kaiser - WDR	115
4.3	Ergebnisse	117
4.3.1	Beantwortung der Forschungsfragen	117
4.3.2	Hypothesenprüfung	119
5	Fazit und Ausblick	120
	Literaturverzeichnis	122
	Abbildungsverzeichnis	128
	Anhang	132
A.	Experteninterview DI Peter Steyskal	132
B.	Experteninterview Andreas Lattmann	136
C.	Transkription des Experteninterviews Jens Gnad	138
D.	Experteninterview Matthias Barth	143
E.	Transkription des Telefoninterviews Wolfgang Kaiser	148

1 Einleitung

1.1 Kontext

Der Broadcastbereich ist eine Branche, die sich ständig im Umbruch befindet. Neue Techniken ermöglichen es, immer mehr Content mit weniger bzw. mit gleichem Zeit- und Geldaufwand zu generieren.

Interessant wird es, wenn eine speziell für den Broadcastbereich ausgelegte Technik durch herkömmliche Komponenten ersetzt werden könnte. Die derzeitige Diskussion betrifft das Serial Digital Interface (SDI). Dieses soll durch gängige Netzwerktechnologie, im ersten Schritt teilweise und im zweiten Schritt komplett ersetzt werden. Immer mehr Hersteller, speziell Sony, forcieren diesen Trend seit einiger Zeit (Sony, 2016).

Diese Thematik wirft jedoch einige Fragen auf. Die nachstehende Masterthesis befasst sich mit einigen dieser Fragestellungen und gibt eine Bestandsaufnahme des momentanen Status. Ferner sollen alle Vor- und Nachteile der beiden Technologien ausgearbeitet werden, um diese im Anschluss vergleichbar zu machen. Anhand dieser Ergebnisse soll ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklung in diesem Themenbereich gegeben werden.

1.2 Forschungsfragen

Folgende Forschungsfragen ergeben sich im Vorfeld der Arbeit:

1. Welche Vorteile bringt die Implementierung der IP-Technologie im Vergleich zur bisher verwendeten Technologie?
2. Welche Nachteile bringt die Implementierung der IP-Technologie im Vergleich zur bisher verwendeten Technologie?
3. Welche Änderungen ergeben sich im alltäglichen Betrieb bei der Verwendung bzw. Implementierung der IP-Technologie im Gegensatz zur bisherig verwendeten Technik?

4. Wäre die Umstellung von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen, wenn die IP-Technik bereits implementiert ist?

1.3 Hypothese

Die folgende Hypothese wurde aufgestellt:

1. Wenn die vorhandene SDI-Infrastruktur innerhalb einer Live-Produktions-Broadcastumgebung durch IP-Technik ersetzt wird, dann ergeben sich deutliche Vorteile in vielen Bereichen (Kosten, Formatunabhängigkeit, Umstieg auf UHD etc.) im Gegensatz zur Verwendung der bis dato eingesetzten Technologie.

1.4 Forschungsziel

Das Ziel dieser Masterthesis ist die Beantwortung aller Forschungsfragen bzw. Verifizierung oder gegebenenfalls Falsifizierung der ausgearbeiteten Hypothese. Ferner soll ein objektiver Vergleich der beiden Technologien erfolgen, um so festhalten zu können, ob der Umstieg auf IP-Technik sinnvoll ist.

Weiters wird anhand von durchgeführten Experteninterviews versucht, einen gewissen Trend in der Broadcastindustrie aufzeigen zu können, welche der beiden Technologien favorisiert wird.

1.5 Beschreibung der Vorgehensweise

Generell ist diese Arbeit in insgesamt vier Teile gegliedert. Diese werden anschließend beschrieben.

Das erste inhaltliche Kapitel thematisiert eine SDI-basierte Übertragungstechnologie und ist wiederum in drei Teile unterteilt. Im ersten Teil wird auf die geschichtliche Entwicklung des Serial Digital Interfaces eingegangen. Eine Darstellung einer typischen SDI-Produktionsumgebung wird im nächsten Unterkapitel erläutert. Der letzte Teil dieses Kapitels besteht aus einer technischen Beschreibung dieses seriellen Interfaces. Zusätzlich werden alle gängigen SDI-Standards angeführt und beschrieben.

Das darauffolgende Kapitel gibt einen Einblick in die IP-basierende Übertragungstechnologie. Zuerst werden allgemeine Grundlagen der

Netzwerktechnik behandelt, da diese die Basis einer IP-basierten Produktionsumgebung bilden. Unter anderem werden hier Referenzmodelle, Protokollhierarchien, Topologien sowie typische Hardware im Netzwerkbereich erläutert. Als nächstes werden Themen, wie entstehende Änderungen im Vergleich zu einer SDI-Produktionsumgebung, die möglichen Architekturen sowie generelle Anforderungen an eine IP-Produktionsumgebung beschrieben. Anschließend erfolgt, wie auch im vorigen Kapitel, eine technische Beschreibung sowie ein Einblick in schon bestehende bzw. zukünftige Standards.

Im dritten inhaltlichen Kapitel folgt die Empirie. Einerseits wird hier die verwendete Forschungsmethode beschrieben, andererseits folgt eine Erläuterung der Expertenauswahl sowie des Fragebogendesigns. Im nächsten Teil werden die Antworten der Experten zusammengefasst und wiedergegeben. Anschließend erfolgt die Auswertung der Ergebnisse, die die Beantwortung der Forschungsfragen und die Hypothesenprüfung zum Inhalt hat.

Das letzte Kapitel behandelt das abschließende Fazit sowie einen Ausblick in die zukünftige Entwicklung dieser Thematik.

1.6 Allgemeine Anmerkung

Zur besseren Lesbarkeit des Textes wird auf geschlechtsspezifische Formulierungen und Bezeichnungen verzichtet. Dadurch soll allerdings kein Geschlecht diskriminiert werden. Soweit im Folgenden personenbezogene Bezeichnungen nur in männlicher Form angeführt sind, beziehen sich diese stets auf Frauen und Männer in gleicher Weise.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

2.1 Geschichtliche Entwicklung

Als vor 70 Jahren die ersten Fernsehstationen gegründet wurden, übertrug man, die damals noch analogen Videosignale, über Koaxialkabel mit 75 Ohm Wellenimpedanz. Mit der Standardisierung des Serial Digital Interface (SDI) mit dem SMPTE-Standard 259 M behielt man weiterhin die 75 Ohm Koaxialkabel-Infrastruktur bei. Die bewährten BNC-Steckverbinder wurden ebenfalls beibehalten. Durch die Verwendung dieses Kabels ergeben sich viele Vorteile: Es unterstützt hohe Frequenzen, weist eine physikalische Robustheit auf und bewährt sich durch eine einfache Verbindungstechnik (Hudson & Seth-Smith, 2006). Auch als im Jahre 1998 das HD-SDI von der Society of Motion Picture & Television Engineers (SMPTE) mit deren Standard SMPTE 292M verabschiedet wurde, wurden die existierenden Kabel beibehalten (Hudson, 2013; Hudson & Seth-Smith, 2006). Generell gibt es aber auch die Möglichkeit der optischen Übertragung unter Verwendung von Lichtwellenleiter (SMPTE, 2017).

Das Serial Digital Interface wurde ein allgegenwärtiger Schnittstellenstandard in der professionellen Rundfunkindustrie. Hudson und Seth-Smith weisen darauf hin, dass der Erfolg dieser digitalen Schnittstellen auf spezifische Merkmale zurückzuführen ist. Diese sind die Fähigkeit, unkomprimierte Signale mit geringer Latenz zu übertragen, eine kostengünstige Umsetzung, Robustheit und Zuverlässigkeit, eine nahtlose Interoperabilität und die Wiederverwendung von bestehender Infrastruktur (Hudson & Seth-Smith, 2006).

Besonderes den zuletzt erwähnten Punkt heben die beiden Autoren im SMPTE Motion Imaging Journal hervor:

The last point has been one of the critical success factors for SDI and is characterized by the ability of the interface to evolve over time, while retaining the use of the installed base of cabling, patch panels, and BNC connectors. This characteristic is very important, as much of the cabling in a facility is routed through walls and conduits, making it prohibitively

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

expensive to change. An ideal higher capacity transport interface should embody all of the characteristics identified above, building on the evolutionary success of SD and HD SDI (Hudson & Seth-Smith, 2006, S. 473).

In der Fachzeitschrift FKT, stellte Grant Petty folgendes fest: „Mit der Weiterentwicklung der Videotechnik haben sich die Auflösungen und die Bildwechselfrequenz erhöht, und es werden mehr Produktionen in voller Bandbreite im Farbraum 4:4:4 RGB erstellt“ (Petty, 2009, S. 336).

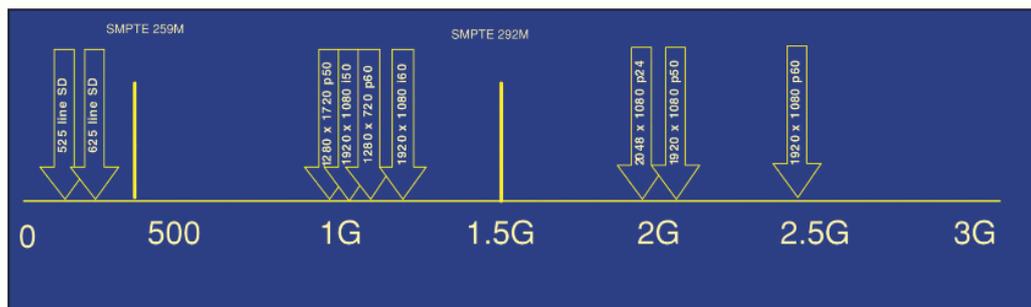


Abbildung 1: Erforderliche Bitrate zur Übertragung verschiedener Videoformate (Hudson & Seth-Smith, 2006)

Daraus resultierend, wurde eine Weiterentwicklung des Serial Digital Interfaces vorangetrieben. Im Jahr 2002 wurde ein weiterer SDI-Standard, mit dem Namen SMPTE 372M, verabschiedet. Hierbei handelte es sich um einen Dual Link SDI-Modul mit je 1,5 Gbit/s (Petty, 2009). Insgesamt stand mit dem SMPTE 372M – Standard demnach eine Bandbreite von 2,97 Gbit/s zur Verfügung (Hudson & Seth-Smith, 2006).

Mehrere Angaben weisen darauf hin, dass diese Lösung jedoch nur zögerlich angenommen wurde. Die folgenden Aussagen geben Aufschluss über mögliche Gründe:

Petty schreibt:

Eine Lösung war die Verwendung von Dual-Link-HD-SDI (SMPTE 372M), wobei zwei HD-SDI-Anschlüsse miteinander verbunden wurden, um eine Bearbeitung mit 4:4:4 RGB zu ermöglichen. Das ist jedoch umständlich und verdoppelt die Kosten der Verkabelung und der Videoverteilung über Kreuzschienen (Petty, 2009, S. 336).

Ferner schreiben Hudson und Seth-Smith: „Indeed, SMPTE 372M provides a standardized method for the carriage of such higher capacity signals over a dual-link interface, providing an aggregate bandwidth of 2.97 Gbits/sec. However,

such dual-link interfaces are very expensive and awkward to implement“ (Hudson & Seth-Smith, 2006, S. 473).

Die beiden Aussagen lassen die Schlussfolgerung zu, dass die Industrie sich nach anderen Lösungen umsehen musste, um eine Bandbreite von den damals benötigten 3 Gbit/s zu erreichen.

Im Jahr 2006 wurde das sogenannte 3G-SDI von der SMPTE standardisiert (SMPTE 424M). Hierbei handelt es sich um ein Single-Link-Interface mit einer Bandbreite von den geforderten 3 Gbit/s (Hudson, 2013).

Im Jahr 2015 spezifizierte die SMPTE zwei neue Standards unter der Bezeichnung SMPTE 2081 und SMPTE 2082, für 6G- bzw. 12G-SDI (SMPTE, 2015a, 2015b). Zurzeit arbeitet eine Task Force, mit der Bezeichnung 32NF-70 WG, an einer Standardisierung eines 24 Gbit/s Serial Digital Interfaces (24G-SDI) (Olson, 2016a).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es bereits einige technische Weiterentwicklungen des Serial Digital Interface-Standards gegeben hat.

Nähere Beschreibungen zu den jeweiligen Standards befinden sich im Kapitel 2.3.

2.2 Typische SDI-Produktionsumgebung

Im folgendem Kapitel soll eine typische SDI-Produktionsumgebung im professionellen Videobereich beschrieben werden.

Die Basis einer jeden Broadcast-Studioproduktion bilden die Kameras. In der heutigen Zeit werden meist Kameras mit CCD-Bildsensoren eingesetzt. Jede Kamera im Verbundsystem wird mittels des sogenannten Triax-Kabels mit einer Versorgungsspannung versorgt. Generell dient das Triax dazu, eine Verbindung zwischen Kamerakopf und der Camera Control Unit (CCU) herzustellen. Mögliche Signale zum Kamerakopf wären, neben der schon erwähnten Versorgungsspannung, auch das Intercomsignal, das Retoursignal für Sucher sowie ein mögliches Telepromptersignal (Schmidt, 2013).

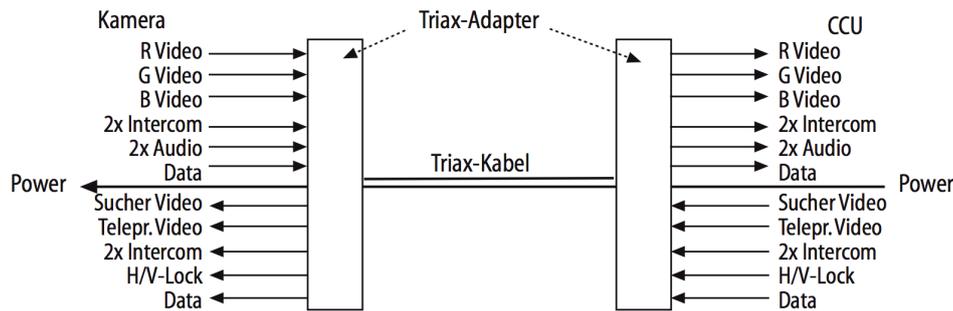


Abbildung 2: Signalarten Triax (Schmidt, 2013)

Der Vorgänger des Triax war das sogenannte Multicore-Kabel. Diese Art von Kabel hatte mehrere Adern, da die Signalführung einzeln erfolgte. Ein Nachteil von Multicore-Kabeln sind unter anderem Faktoren, wie zu hohe Kosten sowie deren Größe. Schmidt weist darauf hin, dass man mit dem schon beschriebenen Triax-Kabel eine Entfernung von ca. 2000m überbrücken kann. Das Triax besteht aus einer einzelnen Leitung, welche doppelt abgeschirmt ist (Schmidt, 2013).

Zur Signalübertragung wird ein Zweiweg-Multiplex-Verfahren genutzt, das von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich sein kann. Beispielsweise werden Intercomsignal, Versorgungsspannung und Returnwege, also Signale in Richtung Kamera, in einem ganz bestimmten Frequenzbereich übertragen. Die Signale in Richtung CCU fallen in einen anderen Frequenzbereich (Schmidt, 2013). Tozer merkt ergänzend an, dass Triax-Kabel weniger Kosten verursachen und einfacher zu reparieren sind (Tozer, 2004).

Jedes Verbund-Kamera-System besteht aus dem Kamerakopf mit Stufenlinse und einem Viewfinder. All diese Bestandteile sind via Kamerakabel mit der schon angesprochenen Camera Control Unit verbunden. Das Operational Control Panel (OCP) und gegebenenfalls auch ein Master Control Panel sind ebenfalls mit der CCU verbunden. Die nachstehende Abbildung zeigt eine typische Anordnung der Komponenten einer Verbundkamera (Tozer, 2004).

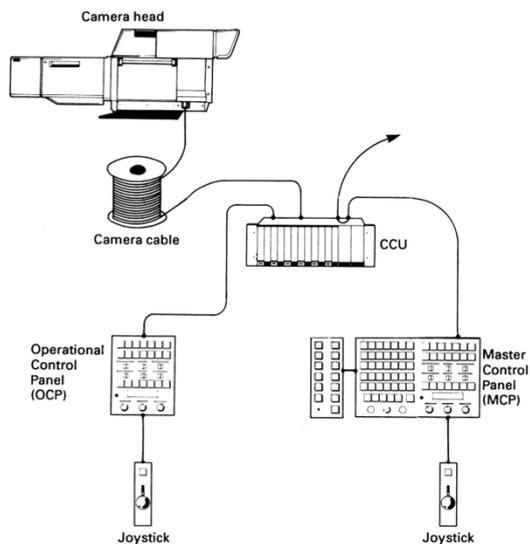


Abbildung 3: Kamerazug inkl. CCU und Bildtechnik (Tozer, 2004)

Abbildung 4 wiederum zeigt ein komplettes Verbundkamarasystem. Eindeutig zu erkennen ist, dass jede Kamera in diesem Verbund eine eigene Camera Control Unit bzw. ein eigenes Operational Control Panel benötigt. Schmidt weist in seinem Buch darauf hin, dass die zuvor erwähnte OCP auch RCP (Remote Control Panel) genannt wird (Schmidt, 2013).

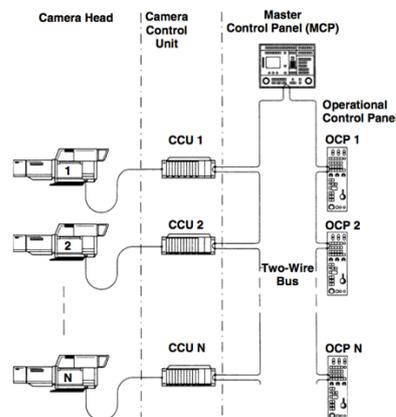


Abbildung 4: Verbundkamarasystem (Tozer, 2004)

Alle bildwichtigen Einstellungen können mit Hilfe des Master Control Panels, des Operational Control Panels bzw. des Remote Control Panels getätigt werden. Darunter fallen unter anderem die Blendenregelung, die Einstellung des Schwarzwertes sowie die Farbmischung. Vor jeder Produktion werden in der Bildtechnik die Verbundkamaras untereinander abgeglichen. Bei diesem, auch „Matching“ genannten, Vorgang wird der Weißabgleich bzw. die farbliche

Anpassung der verschiedenen Kameras durchgeführt (Schmidt, 2013). Dies lässt den Schluss zu, dass durch diesen Vorgang, bei der Umschaltung zwischen zwei oder mehreren Kameras, ein bildtechnisch ähnliches Bild erreicht werden kann. Die zuvor beschriebenen Parameter, wie Blendenregelung etc. werden permanent unter jeder Produktion geregelt (Schmidt, 2013).

Eine zentrale Komponente in jedem professionellen Regieraum bildet die sogenannte Videokreuzschiene (Schmidt, 2013). Schmidt erläutert deren Zweck folgendermaßen: „Sie dienen allgemein der flexiblen Verteilung mehrerer Signalquellen an mehrere Videogeräte, wobei die Auswahl auf Tastendruck vorgenommen wird“ (Schmidt, 2013, S. 627).

Bürgel beschreibt die Funktionsweise ähnlich:

Mit Kreuzschienen lassen sich verschiedene Signalquellen zu verschiedenen Verbrauchern/Geräten durchschalten. Die Ein- und Ausgänge einer Kreuzschiene bilden eine Matrix. Jedem Kreuzungspunkt ist ein elektronischer Schalter zugeordnet. Die Signalzuordnung (Routing) geschieht per Tastendruck auf Bedienteilen für die Kreuzschienen. Dabei ist jeder Signalquelle eine Taste zugeordnet. Verfügt eine Kreuzschiene zum Beispiel über vier Eingänge und einen Ausgang, wird sie als 4x1-Kreuzschiene bezeichnet (Bürgel, 2012, S. 2).

Im einfachsten Sinn stellen Kreuzschienen also eine gewisse Anzahl an Ein- bzw. Ausgängen zur Verfügung. In dem Buch „Broadcast Engineer’s Reference Book“ von Tozer findet sich folgende Abbildung:

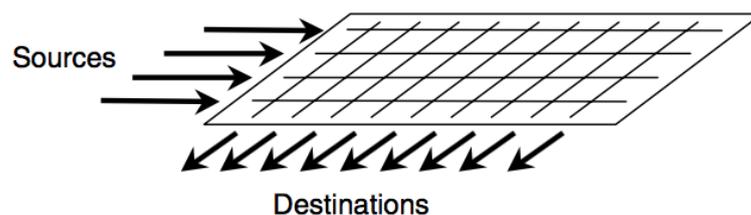


Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung einer Matrix von Kreuzschienen (Tozer, 2004)

Hierbei sind deutlich die Eingänge sowie die Ausgänge zu erkennen. Mit dieser Abbildung verdeutlicht sich nochmals die Funktionsweise einer Kreuzschiene, deren Basis eine solche Matrix bilden kann. Mit Hilfe dieser Matrix ist es demnach möglich, eine beliebige Quelle auf ein beliebiges Ziel zu routen. Während früher analoge Kreuzschienen zum Einsatz kamen, werden heute

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

digitale Videokreuzschienen, abgekürzt auch DVKS genannt, eingesetzt (Bürgel, 2012; Tozer, 2004). Schmidt äußert sich bezüglich Gemeinsamkeiten von analogen und digitalen Kreuzschienen folgendermaßen: „Wie analoge Kreuzschienen bewirken auch digitale Typen eine Umschaltung zwischen digitalen Composite- oder Komponentensignalen, orientiert am Timing Reference Signal in der V-Austastlücke“ (Schmidt, 2013, S. 628).

Die nachstehende Abbildung zeigt die Rückseite einer DVKS vom Typ Evertz Xenon XE4 / 64x64. Eindeutig erkennbar sind hier die SDI Ein- bzw. Ausgänge (Bürgel, 2012).

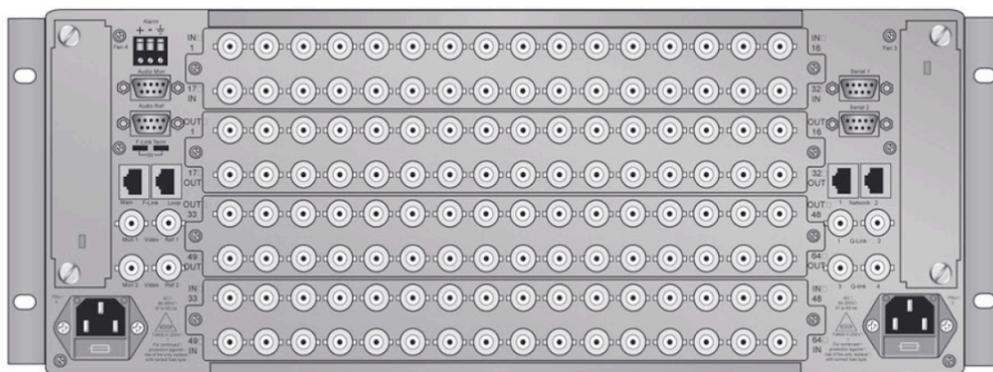


Abbildung 6: Rückseite einer DVKS (Bürgel, 2012)

Insgesamt hat diese digitale Videokreuzschiene insgesamt 64 Eingänge sowie 64 Ausgänge (Bürgel, 2012). Bürgel äußert sich zu dem zuvor angesprochenen Timing Reference Signal folgendermaßen: „Zusätzlich hat die Kreuzschiene einen Reference Input, an dem sowohl ein Bi-Level- als auch ein Tri-Level-Synchronsignal zugeführt werden kann. Dadurch wird gewährleistet, dass die Durchschaltung von Signalen an den Koppelpunkten während der vertikalen Austastlücke statt findet“ (Bürgel, 2012, S. 3).

Ein Steuerungssystem für digitale Videokreuzschienen, welches weite Verbreitung findet, bildet der sogenannte Virtual Studio Manager, kurz VSM (Bürgel, 2012). Ursprünglich wurde dies von der Firma LSB Broadcast Technologies GmbH entwickelt bzw. hergestellt. Zu Beginn des Jahres 2016 wurde das Unternehmen jedoch in die Firma LAW0 integriert („L-S-B wird zu Lawo,“ n.d.). Für die einfache Handhabung einer DVKS wird ein Hardware-Panel verwendet. Die untenstehende Abbildung zeigt ein solches Panel (Bürgel, 2012).



Abbildung 7: Hardware-Panel einer DVKS (Tozer, 2004)

Ein weiterer essentieller Bestandteil einer Produktionsumgebung ist der Bildmischer. „Bildmischer dienen zur Umschaltung und Mischung von Videosignalen“ (Schmidt, 2013, S. 624). So beschreibt Schmidt die zentrale Funktion eines Bildmischers. Um eine fehlerlose Umschaltung der Quellen zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die angeschlossenen Quellen synchron zueinander sind. Um eine solche Synchronität zu erreichen, wird auf einen Studiotakt zurückgegriffen (Röder, 2009). Eine Umschaltung zwischen zwei Quellen, kann als Hartschnitt (Cut), als Überblendung oder mittels eines Wipes erfolgen (Schmidt, 2013). Die nachstehende Abbildung zeigt eine Darstellung von Quellen, die über einen Takt synchronisiert sind.

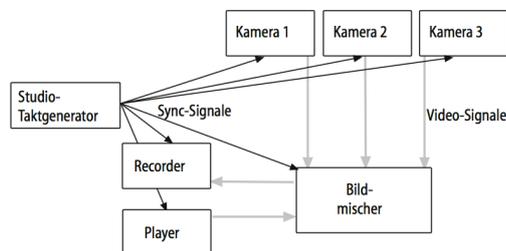


Abbildung 8: Darstellung von synchronisierten Quellen unter Einbindung eines Studiotaktgenerators (Schmidt, 2013)

Mischersysteme bestehen meist aus einem Bedienelement und einer davon getrennten Elektronikeinheit (Schmidt, 2013). Zu diesem Thema merke Schmidt an: „Die Elektronikeinheit mit den Ein- und Ausgängen kann zusammen mit der Elektronik der Bildquellen (Camera Control Unit) oder den Videorecordern in einem Maschinenraum untergebracht werden(...)“ (Schmidt, 2013, S. 638). Dies hat den Vorteil, dass keine langen Leitungen zur Verbindung der Komponenten benötigt werden. Abbildung 9 zeigt einen Bildmischer des Typs MVS 8000 der Firma Sony (Schmidt, 2013).

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

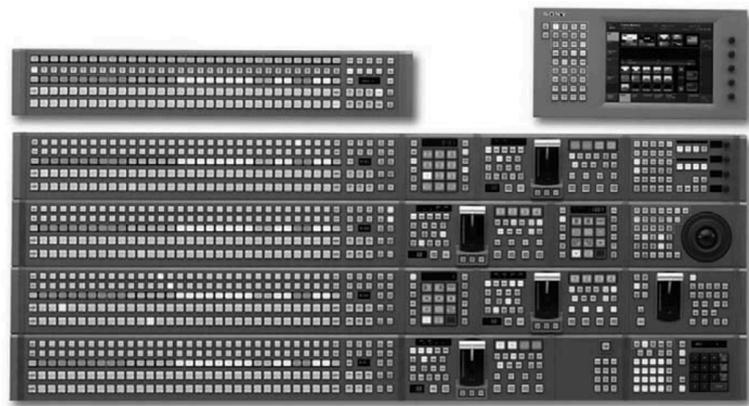


Abbildung 9: Sony Bildmischer MVS 8000 (Schmidt, 2013)

Schmidt merkt zum Aufbau eines Mixers folgendes an:

Die manchmal komplex erscheinenden Benutzeroberflächen der Videomischer reduzieren sich bezüglich der Grundelemente auf die im Wesentlichen gleich ausgestatteten Mischebenen mit den Mix/Effekt-Stufen und den zugeordneten Kreuzschienen, eine Einheit zur Anwahl der den Effekten zugeordneten Attribute (z. B. Wipe-Muster, Stanzfarbe, Keytype Softedge etc.) und eine weitere Key-Stufe vor dem Signalausgang, die speziell dem Einstanzen von Logos und Schriften dient (Schmidt, 2013, S. 639).

Um den typischen Aufbau eines Bildmischer nochmals zu verdeutlichen, sind untenstehend zwei Abbildungen angeführt. Die erste Abbildung zeigt eine exemplarische Darstellung des schon erwähnten Mixers mit den Beschriftungen der verschiedenen Mischerebenen etc.

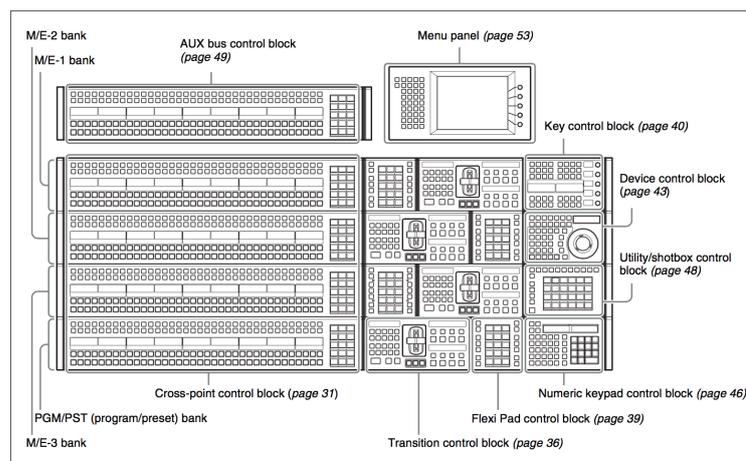


Abbildung 10: Sony MVS 8000 (Sony, 2014)

Wie aus der obenstehenden Abbildung ersichtlich wird, besteht dieser Mischer aus einer program/preset bank und drei weiteren Mischerebenen. Ganz oben befindet sich der sogenannte AUX bus control block (Sony, 2014).

Die zweite Abbildung zeigt wiederum den vereinfachten Aufbau eines Mixers.

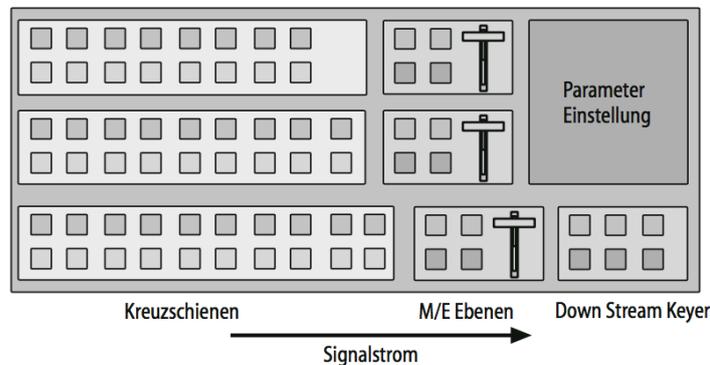


Abbildung 11: vereinfachter Aufbau eines Bildmischers (Schmidt, 2013)

Die unterste Ebene, also die PGM/PST bank, besteht aus dem „Programm Bus“ und dem „Preset Selection Bus“ und wird laut Tozer folgendermaßen beschrieben (Tozer, 2004).

The 'Program Bus' (usually the upper bus selection buttons) is always live to air. The Preset selection Bus is where the video sources are selected prior to going to 'live on air'. Above the main video source selection buttons, the top row of buttons are usually the key source selection buttons. Above each bus name, source displays indicate the source associated to each button (Tozer, 2004, S. 535).

Demnach befinden sich über den Beschriftungen der Quellen weitere Reihen von Knöpfen. Diese weisen dem jeweilig ausgewählten Key eine Quelle zu. Wie schon erwähnt, dient ein sogenannter Key oftmals dazu, dem PGM ein Sendungslogo bzw. eine Bauchbinde hinzuzufügen (Schmidt, 2013). Jeder Key „(...)consists of a hole cutter or key signal and a key fill“ (Tozer, 2004, S. 541). Ferner merkt Tozer an, dass moderne Mischer pro Mischerebene über bis zu vier Keys verfügen (Tozer, 2004).

Die Sinnhaftigkeit von mehreren Mischerebenen liegt, laut Ebner, darin, dass so gewisse Einschränkungen vermieden werden können. Bei diesen zusätzlichen Ebenen handelt es sich im Prinzip um mehrere Bildmischer in einem (Ebner, 2013). Diese Tatsache lässt den Schluss zu, dass vor allem bei komplexeren Sendungen, in denen beispielsweise im Studioset integrierte Monitore beschalten werden sollen, ein Mischer mit mehreren Ebenen benötigt wird. Die Ausgänge

einer Mischerebene, z. B. der M/E 1, können auch auf die Eingänge der PGM/PST-Ebene gelegt werden (Ebner, 2013). Schlussfolgernd kann angenommen werden, dass auf einer Mischerebene so ein Splitscreen, anhand von zweier Keys gebaut werden könnte. Beiden Keys könnten unterschiedliche Kamerasignale zugewiesen werden. Der so entstehende Splitscreen auf der Mischerebene, könnte wiederum mit der PGM/PST-Ebene verlinkt werden, um diesen so „On-Air“ schalten zu können.

Über den insgesamt vier Mischerebenen liegt der sogenannte „AUX bus control block“ (Sony, 2014). Diese Ebene lässt die Möglichkeit zu, ein Signal via Aux-Ausgang beispielsweise zu einem externen Effektgerät zu führen, um es anschließend wieder in den Bildmischer zurückzuführen (Schmidt, 2013).

Da sich diese Arbeit nicht hauptsächlich mit dem Bildmischer beschäftigt, können somit nicht alle Funktionen eines solchen Gerätes beschrieben werden. Zwei weitere Eigenschaften bzw. Funktionen sollen trotz allem in diesem Kapitel noch kurz behandelt werden. Diese wären einerseits die Beschreibung von Snapshots und andererseits die von Macros. Ein Snapshot dient zur Speicherung bzw. zur Wiederherstellung eines Zustandes am Bildmischer (Schmidt, 2013). Im Manual eines Sony Bildmischer wird ein Snapshot folgendermaßen beschrieben:

The term “snapshot” refers to a function whereby the various settings required to apply a particular effect to an image are saved in a register as a set of data, for recall as required, to recover the original state (Sony, 2014, S. 26).

Macros hingegen, dienen zur Abspeicherung von mehreren Zuständen. Diese Zustände können in einer Timeline gespeichert werden (Blackmagicdesign, 2016; Schmidt, 2013). In der Bedienungsanleitung des SONY-Bildmischer MVS-8000X werden Macros somit folgendermaßen beschrieben:

The macro function allows you to store a sequence of signal selections and other operations on the control panel as data in memory (macro register), and then recall the data, when required, to automatically execute the same sequence of operations (Sony, 2014, S. 26).

In der Installations- und Bedienungsanleitung des ATEM-Bildmischer der Firma Blackmagicdesign wird sich ähnlich geäußert:

Ein Makro ist eine einfache Methode zur Automatisierung einer Abfolge von Mischervorgängen. Die in Form von Makros einprogrammierten Sequenzen lassen sich per Tastendruck bzw. Mausklick wiederholen. So können Sie

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

eine Sequenz von Übergängen zwischen mehreren Videoquellen aufzeichnen, wie z. B. Key-Effekte(...) (Blackmagicdesign, 2016, S. 683).

Im Gegensatz zu früher, kommen heutzutage keine Magnetbandaufzeichnungssysteme (MAZ) zum Einsatz. Diese Aufgabe übernehmen meistens Videosever. Ein großer Vorteil von der Verwendung dieser Server ist, dass die zeitaufwändige Arbeit mit Magnetbändern vermieden werden kann (Röder, 2009). Als Beispiel eines solchen Serversystems kann „sQ 1000 Series“ der Firma Snell Advanced Media (SAM) dienen. Dieses Serversystem unterstützt eine Vielzahl an Formaten und Standards. Je nach Ausführung, verfügt dieses System über bis zu 12 3G-SDI bzw. 4 12G-SDI Ports. Softwareseitig werden insgesamt vier Optionen angeboten. Zwei Wichtige wären unter anderem „sQ Record“ und „sQ Play“. Die erstgenannte Softwareoption ist in der Lage einen SDI-Feed abzugreifen und diesen aufzuzeichnen. Mit „sQ Play“ können Playlisten erstellt werden, mit dem beispielsweise Beiträge in einer News-Sendung abgespielt werden können (SAM, n.d.).

Die letzte zu beschreibende Komponente in einer SDI-Produktionsumgebung stellen die Schriftgeneratoren dar. Röder definiert diese wie folgt:

Schriftgeneratoren ermöglichen die Integration von computergenerierten Schriften und Zeichen in TV-Bilder. Mithilfe einer geeigneten Software werden verschiedene Schriftzüge und Hintergründe an einem PC erstellt. Eine integrierte Videokarte generiert daraus ein Video- und ein Keysignal, auf deren Basis ein Bildmischer das Einfügen in ein Videobild übernimmt (Röder, 2009, S. 10).

Die schon erwähnten Sendungslogos bzw. Grafiken können über solche Systeme erzeugt werden. Ein bekannter Hersteller solcher Tools ist Vizrt Ltd. Insgesamt kommen drei Produkte der Firma Vizrt Ltd. zum Einsatz. Diese sind: „Viz Engine“, „Viz Trio“ und „Viz Artist“. „Viz Trio“ ist die Anwendung, mit der die Grafiken „On-air“ gebracht werden bzw. editiert werden können. Basis von „Viz Trio“ bildet die sogenannte „Viz Engine“ (vizrt, 2016). Diese wird im User's Guide von Viz Trio folgendermaßen beschrieben: „The Viz Engine is the output service (renderer) for Viz Trio, and is a separate installer. A Viz Engine is required in order for Viz Trio to preview graphics“ (vizrt, 2016, S. 21). Diese Aussage untermauert die, zuvor getroffene Vermutung.

„Viz Artist“ ist sozusagen die Anwendung in der die On-Air-Grafiken gebaut bzw. programmiert werden (vizrt, 2016). Um das Zusammenspiel zwischen „Viz Artist“ und „Viz Trio“ verstehen zu können, dient folgende Aussage:

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Creating scene elements basically consist of two main activities; creating the graphics and adding different Control plug-ins. Control plug-ins are the binding links between Viz Artist and Viz Trio that allow properties to be exposed to the Viz Trio operator (vizrt, 2016, S. 234).

Mit Hilfe dieser Control-Plug-Ins wird es also erst möglich, die On-Air-Grafiken in „Viz Trio“ zu editieren bzw. brauchbar für die jeweilige Sendung zu machen.

Als Abschluss dieses Kapitels dient die folgende Abbildung, in welcher aus technischer Sicht eine komplette Produktionsumgebung zu sehen ist.

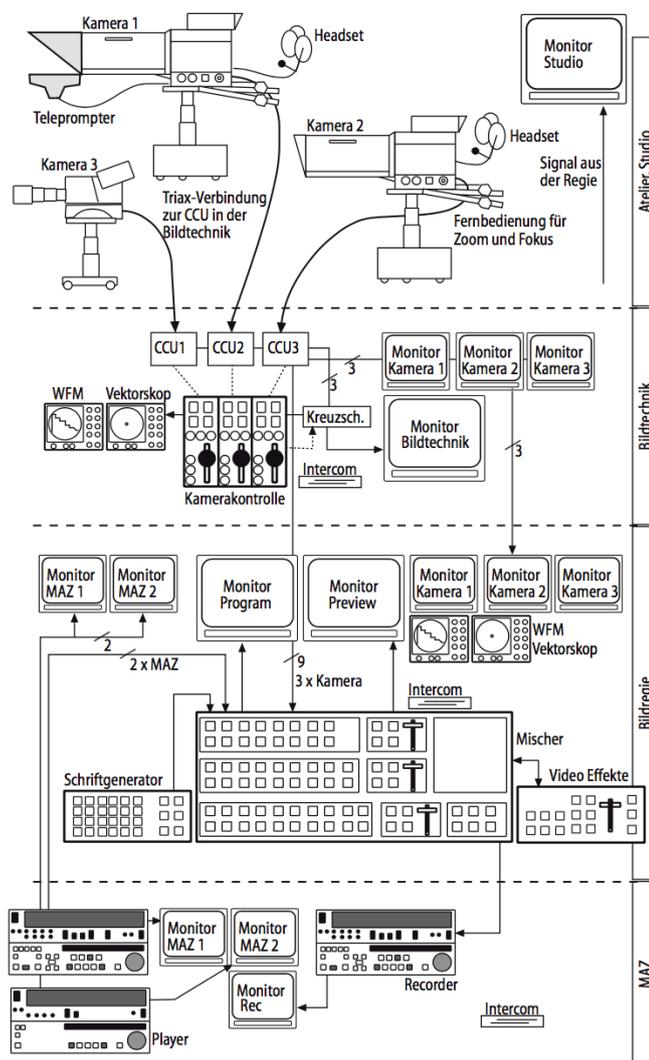


Abbildung 12: Darstellung einer Produktionsumgebung (Schmidt, 2013)

2.3 Technische Beschreibung und Standards

Dieses Kapitel widmet sich den verschiedenen SDI-Standards bzw. deren technische Umsetzung. Zur Einleitung in dieses Kapitel werden zunächst digitale Videosignale betrachtet.

2.3.1 Grundlagen Digitaltechnik

Bei der Digitaltechnik wird das Binärsystem verwendet. Dieses System besitzt die Basiszahl Zwei (Schmidt, 2013). Schmidt sagt dazu folgendes:

Die Digitaltechnik nutzt das Dualzahlensystem, eine Zahlenstelle (Binary Digit, Bit) kann nur zwei Werte annehmen (anstatt 10 im Dezimalsystem). Die beiden Werte werden üblicherweise als „0“ und „1“ bezeichnet und elektronisch durch Schaltzustände „ein“ (z.B. 5V, high, H) und „aus“ (z.B. 0V, low, L) repräsentiert (Schmidt, 2013, S. 119).

Um ein digitales Videosignal zu erhalten, muss ein bestehendes analoges Signal umgewandelt werden. Die zeit- und wertkontinuierlichen Werte des analogen Signales werden bei der Digitalisierung in diskrete Daten überführt. Diese Digitalisierung erfolgt in mehreren Schritten. Zuerst erfolgt die sogenannte Abtastung. Hierbei werden dem Signal in gewissen zeitlichen Abständen Samples entnommen (Schmidt, 2013). „Nach dieser Zeitdiskretisierung liegt dann ein Puls-Amplitudenmoduliertes (PAM) Signal vor(...)dessen Werte noch analoger Art sind“ (Schmidt, 2013, S. 120). Je mehr Samples entnommen werden (Abtastfrequenz), desto besser kann sich dem ursprünglichen Signal angenähert werden (Schmidt, 2013).

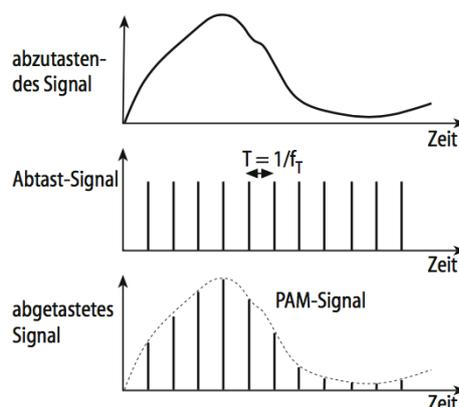


Abbildung 13: abzutastendes Signal, Abtast-Signal und abgetastetes Signal (Schmidt, 2013)

Die obenstehende Abbildung zeigt das analoge, abzutastende Signal, die Abtastung und das, nach der erfolgten Abtastung, entstehende PAM-Signal.

Bezüglich der Abtastfrequenz gilt anzumerken, dass diese größer dem Zweifachen, der am höchsten vorkommenden Signalfrequenz sein muss (Schmidt, 2013). Dieses sogenannte Abtasttheorem sollte eingehalten werden „(...)um das Signal störungsfrei aus dem PAM-Signal rekonstruieren zu können“ (Schmidt, 2013, S. 121).

Der nächste Schritt zur kompletten Diskretisierung des vorliegenden Signals wird als Quantisierung beschrieben. Im Gegensatz zu dem vorher genannten Abtasttheorem, gibt es bei der Amplitudenquantisierung keine Regel, um eine störungsfreie Rekonstruktion zu gewährleisten. Die Signalqualität richtet sich nach der Anzahl an verwendeten Quantisierungsstufen. Über den sogenannten Signal-Rauschabstand werden Fehler, die bei der Quantisierung auftreten, bestimmt. Dieser sollte im Videobereich größer als 45 dB sein (Schmidt, 2013). Schmidt erwähnt, dass für die Quantisierung eines Videosignales 8 Bit ausreichen. 8 Bit entsprechen demnach 256 Quantisierungsstufen (Schmidt, 2013). Die nachstehende Abbildung zeigt das abgetastete Signal mit den verwendeten Quantisierungsstufen.

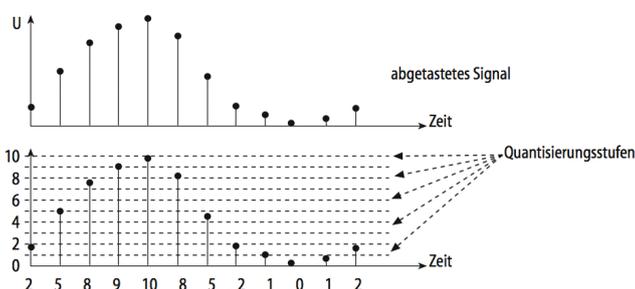


Abbildung 14: abgetastetes Signal mit Quantisierungsstufen (Schmidt, 2013)

2.3.2 Digitale Videosignale und deren SDI-Standards

In diesem Unterkapitel werden digitale Videosignale in SD sowie HD behandelt, sowie deren genormten SDI-Standards.

Wie auch bei den analogen Videosignalen, ist bei den Digitalen meistens das Digital Component Signal die vorherrschende Signalart (Schmidt, 2013). Aufgrund dieser Feststellung soll im Folgenden nur dieses Signal näher erläutert werden. Bei dieser Signalart erfolgt eine Aufteilung in drei Bestandteile. Die erste Komponente bildet die Helligkeit. Die zwei weiteren setzen sich aus den Farbdifferenzen zusammen. Bei analogen Komponentensignalen war eine

dreifache Leitungsführung zwingend (Schmidt, 2013). Diese wurde bei der digitalen Version dieses Signales jedoch hinfällig, „(...)da die drei Signalteile einfach per Multiplex zusammengefasst werden können“ (Schmidt, 2013, S. 135). Die Standardisierung wurde mit dem Standard ITU-R BT.601 finalisiert. Ein elementarer Bestandteil dieses Standards war die Abtastrate (Schmidt, 2013). Schmidt beschreibt dies folgendermaßen in seinem Buch: „Um zu erreichen, dass die Bildpunkte in jeder Zeile dieselbe Position haben (orthogonale Abtaststruktur) muss die Abtastrate ein Vielfaches der Zeilenfrequenz betragen“ (Schmidt, 2013, S. 135). Der Anspruch dabei war, dieses angesprochene Abtastraster für beide international gebräuchlichen Zeilensysteme (625 Zeilen mit 50 Hz und 525 Zeilen mit 59,94 Hz), unter Verwendung von nur einer Abtastrate, realisieren zu können. Als das kleinste gemeinsame Vielfache, ausgehend von der Zeilenfrequenz, wurde 2,25 MHz festgelegt (Schmidt, 2013). Schmidt beschreibt die weiteren Überlegungen bei der Wahl der Abtastrate folgendermaßen:

Ausgehend von einem SD-Analogsignal von 5 MHz Bandbreite würde das fünffache dieses Wertes, also 11,25 MHz, als Abtastrate genügen. Um den Filteraufwand zur Rückgewinnung des Basisbandes nicht zu groß zu machen, und um auch Bandbreiten über 5,5 MHz zu ermöglichen, wurde mit dem Standard ITU-R BT.601 international das sechsfache von 2,25 MHz, also eine Abtastrate von 13,5 MHz, für das Luminanzsignal festgelegt(...) (Schmidt, 2013, S. 135-136).

Da zur Übertragung von beiden Farbdifferenzsignalen weniger Bandbreite benötigt wird, wurde die Abtastrate dementsprechend verringert. Diese beträgt 6,75 MHz (Schmidt, 2013). Dies ist, neben anderen wichtigen Informationen, auch aus der untenstehenden Grafik ersichtlich.

System	525/59,94	625/50
Komponenten	Y / C _R / C _B	Y / C _R / C _B
Abtaststruktur	orthogonal, C _R , C _B zusammen mit den ungeraden Y-Werten	
Abtastfrequenz	13,5 / 6,75 / 6,75 MHz	
Abtastwerte/Zeile	858 / 429 / 429	864 / 432 / 432
Wertanzahl der digitalen aktiven Zeile	720 / 360 / 360	
Wertanzahl der analogen aktiven Zeile	714 / 355 / 355	702 / 350 / 350
Anzahl aktiver Zeilen pro Bild	486	576
Anzahl Bits pro Sample	8 / 10 Bit	
Nutzbare Stufenanzahl bei 8 Bit	220 / 225 / 225	
Nutzbare Stufenanzahl bei 10 Bit	877 / 897 / 897	

Abbildung 15: Spezifikationen in ITU-R BT.601 (Schmidt, 2013)

Aufgrund der beschriebenen Halbierung der Abtastraten für die Chrominanzanteile, ist für diese Standardisierung auch die Bezeichnung 4:2:2 allgemein gebräuchlich. Vollständigkeitshalber soll in der nächsten Abbildung ein

Überblick über die verschiedenen Abtaststrukturen geschaffen werden (Schmidt, 2013).

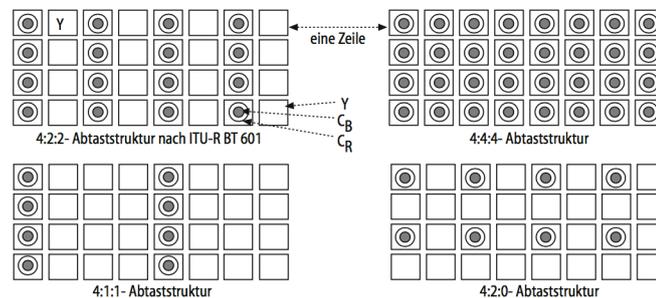


Abbildung 16: gebräuchliche Abtaststrukturen (Schmidt, 2013)

Bezüglich Zeitreferenz und Synchronsignale des Standardsignals meint Schmidt: „Nach ITU-R BT.601 wird das vollständige Komponentensignal einschließlich der Austastlücken abgetastet, allerdings wird der Synchronimpuls nicht in die Quantisierung einbezogen, da sonst der Rauschabstand unnötig verschlechtert würde“ (Schmidt, 2013, S. 140). Dieser angesprochene Synchronimpuls gibt Aufschluss über das Ende der entsprechenden Zeile und kann mit einem Bit übertragen werden. Jedoch wird ein weiteres Bit notwendig um zwischen horizontaler sowie vertikaler Sync-Information zu differenzieren. Die beiden angesprochenen Bits werden als sogenanntes TRS übermittelt. TRS steht für Timing Reference Signal (Schmidt, 2013). Ferner beinhalten die im Zeitreferenzsignal enthaltenen Bits, einen Fehlerschutz bzw. sind diese „(...)von besonders gut erkennbaren Bitkombinationen(...)umrandet (Schmidt, 2013, S. 140). Das beschriebene Signal erscheint jeweils am Anfang bzw. am Ende der aktiven Zeile und befindet sich in der horizontalen Austastlücke (Schmidt, 2013). Abschließend meint Schmidt: „Diese Zeitreferenzen werden als SAV und EAV, Start und End of Active Video, bezeichnet. Die Zeitreferenz stellt den Bezug zum analogen H-Sync und damit für die Signalmischung und -umschaltung her“ (Schmidt, 2013, S. 140).

Das Serial Digital Interface ermöglicht generell eine digitale Datenübertragung von Digital Composite- bzw. Digital Component-Signalen über Koaxialleitungen und Lichtwellenleiter. Um das parallel vorliegende digitale Signal in ein serielles Signal zu überführen, muss dies, aus technischer Sicht, in ein Schieberegister eingelesen werden. Dies geschieht mit einer Rate von 27 MHz (Schmidt, 2013). Schmidt erläutert weiter: „Die Ausgabe aus dem Register erfolgt mit der 10-fachen Taktrate, das LSB kommt dabei zuerst. Auf diese Weise entsteht das seriell digitale Komponentensignal (DSK oder DSC), welches das Standardsignal

bei der digitalen Produktion ist“ (Schmidt, 2013, S. 143). LSB steht in diesem Zusammenhang für Least Significant Bit (Schmidt, 2013).

Für die angesprochene Videonorm wurden zwei SDI-Standards unter den Bezeichnungen SMPTE 259M und SMPTE 344M eingeführt (Poynton, 2003). Der Standard SMPTE 259M beschreibt ein 10-Bit Single Link Serial Digital Interface mit unterstützten Datenraten von 143, 270 und 360 Mbit/s (Jones, Osenkowsky, & Layer, 2007). Schmidt merkt dazu an, dass „(...)bei der Übertragung von 8-Bit-Signalen(...)zwei Nullen angehängt und der Datenstrom auf 10 Bit erweitert“ (Schmidt, 2013, S. 143) werden. Poynton ergänzt dazu, dass Datenraten von 143 Mbit/s für Composite $4f_{sc}$ NTSC Video vorgesehen sind, für Composite $4f_{sc}$ PAL Video hingegen 177 Mbit/s (Poynton, 2003). $4f_{sc}$ steht laut Schmidt für die 4-fache Farbhilfsträgerfrequenz. Für PAL beträgt diese 17,73 MHz, für NTSC 14,32 MHz (Schmidt, 2013). Datenraten von 270 Mbit/s kommen für 4:2:2 Komponentensignale gemäß ITU-R BT.601 zum Einsatz, Datenraten von 360 Mbit/s hingegen für „(...)Rec. 601 4:2:2 component video sampled at 18 MHz to achieve 16:9 aspect ratio(...)“ (Poynton, 2003, S. 130)

Schmidt erwähnt, dass wegen der verwendeten NRZI-Codierung eine Mindestbandbreite von 135 MHz notwendig ist (Schmidt, 2013). Hoffmann beschreibt die NRZI-Codierung folgendermaßen:

Die Abkürzung NRZI steht für Non-Return-to-Zero Inverted und bedeutet, dass den Bits 0 und 1, anders als bei der NRZ-Codierung, keine festen Signalpegel mehr zugeordnet sind. Stattdessen wird eines der Bits durch einen Signalwechsel und das andere durch das Halten des aktuellen Signalpegels beschrieben (Hoffmann, 2014, S. 553).

Der zweite SD-SDI Standard nennt sich SMPTE 344M und ist für 480i/29,97, 4:4:4:4 bzw. für 483p59,94, 4:2:0 Komponentenvideo bestimmt. Die Datenrate beträgt 540 Mbit/s (Poynton, 2003). Schmidt spricht von einer elementaren Wichtigkeit der verwendeten Codierung für das Schnittstellenformat. Es sollte eine Codierung angewandt werden, die es dem Signal ermöglicht, gleichspannungsfrei sowie selbsttaktend zu werden. Wie schon erwähnt, spricht Schmidt davon, dass die sogenannte NRZI-Codierung zur Anwendung kommt. Genauer gesagt, kommt bei der SDI-Kanalcodierung ein sogenannter verwürfelter Non-Return-to-Zero-Code zum Einsatz. Dieser wird von Schmidt auch Scrambled-Non-Return-to-Zero bzw. SNRZI, genannt (Schmidt, 2013). Schmidt merkt dazu folgendes an:

Ein NRZI-Code wird in modifizierter Form bei der wichtigsten digitalen Signalform der Videotechnik, beim seriell-digitalen Videosignal verwendet.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Die Schnittstelle für dieses Signal ist so definiert, dass die Taktrate aus dem Datenstrom selbst rekonstruiert werden kann. Weder NRZ noch NRZI sind aber selbsttaktend, denn im Spektrum sind niederfrequente Anteile stark vertreten. NRZI wird daher durch Verwürfelung (Scrambling) zu SNRZI verändert (Schmidt, 2013, S. 131).

Zur Veranschaulichung der Kanalcodierung bei dem Serial Digital Interface dient die folgende Abbildung.

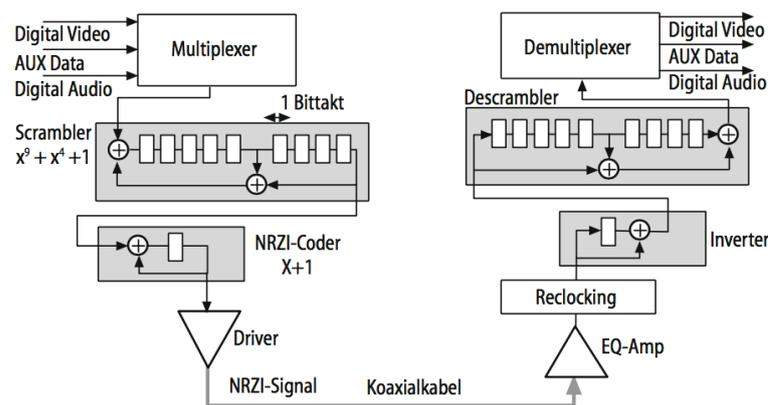


Abbildung 17: Kanalcodierung - Serial Digital Interface (Schmidt, 2013)

Der Datenstrom, im Folgenden x genannt, wird unter der Verwendung eines Schieberegisters codiert. Der nächste Schritt besteht darin, dass ein sogenanntes verwürfeltes NRZ-Signal erschaffen wird. Dies geschieht mit der, auch in der Grafik abgebildeten, Codiervorschrift ($x^9 + x^4 + 1$). Im NRZI-Coder wird mit $x + 1$ eine Polaritätsfreiheit geschaffen. Als Folge davon, wird keine eigene Taktleitung benötigt, da die entstehenden Frequenzen nicht allzu groß werden. Aus dem übertragenen Datenstrom wird ein Takt induziert (Schmidt, 2013).

Zu Zeiten von analogen Videonormen war es unerlässlich große Horizontalsynchronimpulse bzw. Austastlücken zu gewährleisten, da sonst eine Synchronisation nicht vollständig erreicht werden konnte (Schmidt, 2013). Schmidt verweist darauf, dass „in der 625-Zeilennorm(...)die Horizontalaustastlücke nach ITU-R BT.601 für das Luminanzsignal 864-720 = 144 Datenworte“ enthält (Schmidt, S. 144). Dies kann aus Abbildung 18 entnommen werden.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Parameters	525-line, 60/1.001, field/s systems	625-line, 50 field/s systems
1) Coded signals: Y, C_R, C_B	These signals are obtained from gamma pre-corrected signals, namely: $E'_Y, E'_R - E'_Y, E'_B - E'_Y$ (see § 2.5)	
2) Number of samples per total line: – luminance signal (Y) – each colour-difference signal (C_R, C_B)	858 429	864 432
3) Sampling structure	Orthogonal, line, field and frame repetitive. C_R and C_B samples co-sited with odd (1st, 3rd, 5th, etc.) Y samples in each line	
4) Sampling frequency: – luminance signal – each colour-difference signal	13.5 MHz 6.75 MHz The tolerance for the sampling frequencies should coincide with the tolerance for the line frequency of the relevant colour television standard	
5) Form of coding	Uniformly quantized PCM, 8 or 10 bits per sample, for the luminance signal and each colour-difference signal	
6) Number of samples per digital active line: – luminance signal – each colour-difference signal	720 360	
7) Analogue-to-digital horizontal timing relationship: – from end of digital active line to O_H	16 luminance clock periods	12 luminance clock periods

Abbildung 18: Auszug aus ITU-R BT.601 (ITU, 2011)

Diese 144 Datenworte ergeben sich für das Luminanzsignal aus den 864 „samples per total line“ und den 720 „samples per digital active line“. Umgerechnet auf die Farbdifferenzsignale, ergeben sich für jedes der Signale zusätzlich noch 72 Datenworte. Für das gesamte Signal ergibt das insgesamt 288 Datenworte (ITU, 2011; Schmidt, 2013). Die Austastlücke, die zwecks einfacher A/D-Wandlung ebenfalls abgetastet wird, enthält die sogenannte Ancillary Data (ANC). Diese Datenart ist wiederum nichts anderes, als die schon beschriebenen Datenworte und wird zum Transport von Auxiliary Data, also Zusatzdaten, genutzt (Schmidt, 2013).

Wie in Abbildung 17 ersichtlich wird, bildet ein Multiplexer die allererste Hardwarekomponente des Serial Digital Interfaces. Dieser hat die Aufgabe in der Austastlücke, Auxiliary-Daten in den Datenstrom einzugliedern. Danach erfolgt die Parallel/Seriell Wandlung, die, wie schon erwähnt, in Schieberegistern stattfindet und anschließend die SNRZI-Codierung. Die Bestandteile im Empfänger bestehen aus einem Entzerrer, einer Reclockingeinheit, einem Decodierer und aus einem Umformer, der das Signal in ein NRZ-Signal umformt. Ganz am Ende befindet sich ein Demultiplexer (Schmidt, 2013). Schmidt beschreibt die Aufgaben des Entzerrers und der Reclockingstufe

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

folgendermaßen: „Auf der Empfangsseite ist zunächst ein Entzerrer vorgesehen, der die frequenzabhängige Leitungsdämpfung ausgleicht. Es folgen eine Reclocking-Stufe zur Stabilisierung der Datenrate(...)“ (Schmidt, 2013, S. 146).

Vollständigkeitshalber soll in dieser Arbeit auch die Möglichkeit erwähnt werden, im ANC-Bereich des SDI-Datenstromes, digitale Audiodaten übertragen zu können. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Eintastung des Audiodatenstromes in den Videodatenstrom zur passenden Zeit erfolgt. Diese Möglichkeit hat für den Broadcastbetrieb in Studios eher weniger Bedeutung, da die Übertragung von Audio auf eigenen Kanälen erfolgt (Schmidt, 2013).

Generell gestaltet sich die Kontrolle von digitalen Videobildern schwieriger, als die von analogen Signalen. Die SDI-Signalkontrolle lässt sich über die sogenannte Bit Error Rate, auf deutsch Bitfehlerrate bzw. abgekürzt BER genannt, und durch Error Detection and Handling (EDH) realisieren (Schmidt, 2013; Tozer, 2004). Allgemein beschreibt Schmidt Digitalsignale, hinsichtlich Störungen, als relativ sicher (Schmidt, 2013). Bezüglich EDH schreibt Tozer: „(...)the Error Detection and Handling (EDH) concept is based on making Cyclic Redundancy Code (CRC) calculations for each field of video at the serialiser(...)“ (Tozer, 2004, S. 917). Error Detection and Handling basiert demnach auf CRC-Kalkulationen.

Schmidt beschreibt in seinem Buch das Verhältnis von der Bit Error Rate zur Kabellänge (Schmidt, 2013).

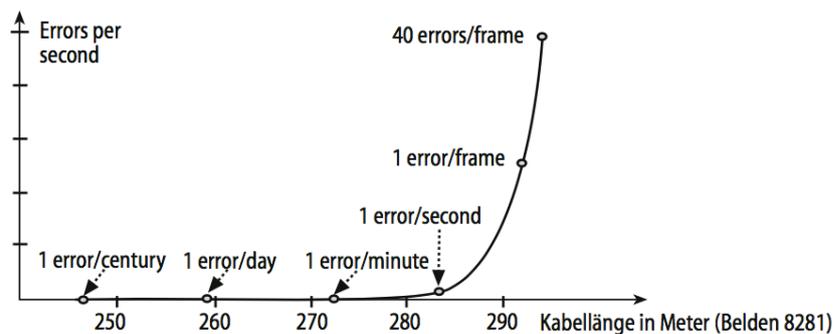


Abbildung 19: BER im Verhältnis zur Kabellänge (Schmidt, 2013)

Deutlich zu erkennen ist, dass es bei diesem Kabel, nach einer gewissen Leitungslänge, einen starken Anstieg des BER gibt. Bei dem verglichenen Kabel handelt es sich um ein Koaxialkabel des Types 8281 der Firma Belden (Belden, 2017).

Nach den digitalen SD-Signalen werden im Anschluss die digitalen High Definition Signalformen, sowie die dazugehörigen SDI-Standards beschrieben.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Einleitend zu dem Thema HD, ein Zitat von Ulrich Schmidt aus seinem Buch „Professionelle Videotechnik“:

Die digitalen HD-Signalformen sind in enger Anlehnung an die SD-Signalparameter definiert worden und basieren von den Grundkonzepten auf den analogen HD-Signalen. So gilt, dass als Farbsignalgrundform meist das Komponentenformat verwendet wird und weiterhin, dass das Bildseitenverhältnis 16/9 beträgt(...)(Schmidt, 2013, S. 148).

High Definition wurde mit der Empfehlung ITU-R BT.709 spezifiziert (Schmidt, 2013). Die nachstehende Abbildung zeigt gewisse Spezifikationen aus diesem Dokument.

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

Abbildung 20: Spezifikationen nach ITU-R BT.709 (Schmidt, 2013)

Ein weiterer Unterschied zu Standard Definition betrifft die Bildpunkte. Bei HD-Signalen werden quadratische Bildpunkte, auch square pixels genannt, verwendet. Ergänzend dazu, wird ebenfalls ein leicht veränderter Farbraum angewandt. Anzumerken gilt, dass es zwei HD-Formate gibt. Das Erste verwendet 1920 x 1080 Bildpunkte, das zweite Format nur 1280 x 720. Wie aus Abbildung 20 ersichtlich ist, wurde eine Abtastrate von 74,25 MHz gewählt. Dies hat, laut Schmidt, Gültigkeit für beide HD-Formate (siehe Abbildung 21). Genau wie bei Standard-Definition, wird mit einer Abtaststruktur von 4:2:2 gearbeitet. Dies bedeutet, dass die beiden Farbdifferenzsignale mit der Hälfte der Abtastrate des Luminanzsignals abgetastet werden. Diese Abtastfrequenz beträgt demnach 37,125 MHz (Schmidt, 2013). Abbildung 21 zeigt die HD-Definitionen der European Broadcasting Union, kurz EBU genannt.

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 21: HD-Definitionen der European Broadcasting Union(Schmidt, 2013)

Schmidt spricht von einer Empfehlung der EBU, des als S1 gekennzeichneten Systems, mit 720p50 (Schmidt, 2013).

Wie auch bei SD-Signalen, sind für HD-Signale eigene Schnittstellen definiert. Die Spezifikationen sind in den Dokumenten ITU-BT R.1120 sowie SMPTE 292M festgehalten. Zum größten Teil ähneln diese denen des SD-SDI. Das Serial Digital Interface für HD-Signale wird HD-SDI genannt (Schmidt, 2013).

Als wichtige Merkmale zur Unterscheidung dienen, unter anderem die höhere Bitrate und die Ergänzung um die sogenannte Line Number (LN) bzw. den CRC-Fehlerschutz. Darüber hinaus, kommt eine etwas geänderte Multiplexbildung zum Einsatz (Schmidt, 2013). Bezüglich des Timing Reference Signales für High-Definition-Signale meint Schmidt, dass dieses „(...)in weitgehender Übereinstimmung mit dem digitalen SD-Komponentensignal definiert worden(...)“ sei (Schmidt, 2013, S. 153). Im Gegensatz zum SAV-Signal, das sich weitgehend wie bei Standard-Definition-Signalen verhält, gibt es bei dem EAV-Signal Änderungen. Das „End-of-Active-Video“-Signal wird um zwei Datenworte erweitert. Diese enthalten die schon erwähnte Zeilennummerierung (Line Number) und den CRC-Fehlerschutz (Schmidt, 2013). Den zuvor angesprochenen Änderungen bei der Multiplexbildung beschreibt Schmidt wie folgt:

Außerdem ist bei 1080i definiert, dass zwei Datenströme zu bilden sind, die im ersten die Y-Datenworte und im zweiten Strom die Datenworte von CR und CB im Multiplex enthalten. Die TRS-Signale mit dem EAV-Zusatz werden beiden Datenströmen zugefügt, so dass nach einem nachfolgenden Multiplexing der beiden Datenströme die TRS-Daten doppelt erscheinen(...)(Schmidt, 2013, S. 153).

Im Vergleich zu SD-SDI wurde die Bitrate um den Faktor 5,5 erhöht und bietet demnach eine Datenrate von 1,485 Gbit/s und wurde für $Y'CbCr$ Signale mit einem Subsampling von 4:2:2 standardisiert (Poynton, 2003). Unterstützte Videoformate sind, laut Hudson, 1080i sowie 720p (Hudson, 2013). Abschließend fügt Schmidt hinzu: „Die Spannungswerte und die SNRZI-Codierung des Datenstroms werden von SDI übernommen“ (Schmidt, 2013, S. 154).

Schmidt gibt folgende Beispiele, die eine höhere Datenrate, als die von HD-SDI zur Verfügung gestellte, benötigen: „Beispiele sind Produktionen mit voller Farbauflösung RGB (4:4:4) bzw. auch zusätzlichem Alphakanal für Stanzmasken RGBA (4:4:4:4) oder Anwendungen, die eine Quantisierung der Daten erfordern, die 10 bit übersteigen“ (Schmidt, 2013, S. 155). Darüber hinaus gibt es Fälle, in

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

denen, laut Schmidt, mit 1080p50 bzw. 1080p60 gearbeitet wird. Um diesen Anforderungen zu genügen, wurde das sogenannte Dual-Link-HD-SDI mit dem Standard SMPTE 372M standardisiert (Hudson, 2013; Schmidt, 2013). Dieses bietet eine Datenrate von 2 x 1,485 Gbit/s. Demnach steht eine Gesamtdatenrate von 2,97 Gbit/s zur Verfügung. In diesem Standard wird eine parallele Übertragung auf zwei HD-SDI-Leitungen spezifiziert (Schmidt, 2013). Diese Tatsache impliziert, dass eine Aufteilung des Datenstroms auf zwei Kanäle erfolgen muss. Diese beiden Kanäle werden oft als Link A und B bezeichnet (Schmidt, 2013). Schmidt äußert sich zu der angesprochenen Aufteilung folgendermaßen:

Die Verteilung der Daten auf die beiden Ströme,(...)wird so vorgenommen, dass allein aus Link A noch weitgehend ein gewöhnliches HD-Signal gewonnen werden kann. Im Falle, dass ein 1080p/50-Signal, also ein progressiv abgetastetes Signal mit 2,97 Gbit/s vorliegt, wird es zeilenweise abwechselnd auf die beiden Datenströme verteilt(...)(Schmidt, 2013, S. 155).

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Verteilung der Daten.

1080p/50	Abtastwertnummern 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	10-Bit-RGBA	Abtastwertnummern 0 1 2 3 4 5
Link A	Y C _R C _B	Link A	G B R
Link B	Y C _R C _B	Link B	A B R
12-Bit-RGB	Abtastwertnummern 0 1 2 3 4 5	10-Bit-YC _R C _B A	Abtastwertnummern 0 1 2 3 4 5
Link A	G ₂₋₁₁ B ₂₋₁₁ R ₂₋₁₁	Link A	Y C _B C _R
Link B	RGB ₀₋₁ B ₂₋₁₁ R ₂₋₁₁	Link B	A C _B C _R

Abbildung 22: Verteilung der Daten bei Dual-Link HD-SDI (Schmidt, 2013)

Im Falle eines vorliegenden 10 Bit-RGBA-Signales ist ersichtlich, dass auf Link A alle G-Werte, sowie die geraden B- bzw. R-Signalanteile übertragen werden. Auf Link B hingegen, befinden sich alle A-Werte sowie die ungeraden B- und R-Werte (Schmidt, 2013). Für die letzten beiden Fälle, die aus der Grafik hervorgehen, meint Schmidt:

Im Falle, dass ein RGB-Signal mit 12 Bit vorliegt, werden in Link A die 10 most significant Bits der G- und der geradzahligen R- und B-Abtastwerte untergebracht. Link B trägt die 10 most significant Bits der ungeradzahligen R- und B-Abtastwerte und die least significant Bits von RGB. Die

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Festlegungen für die letzten beiden Fälle gelten auch dann, wenn statt RGB ein Komponentensignal Y, CR, CB mit voller Auflösung (4:4:4) vorliegt (Schmidt, 2013, S. 155 - 156).

Etwas später, im Jahr 2006, wurde das 3G-SDI mit dem Standard SMPTE 424M spezifiziert. 3G-SDI bietet eine Datenrate von 2,97 Gbit/s. Der Unterschied zu dem vorher erwähnten Dual-Link-HD-SDI besteht darin, dass die Übertragung auf nur einem Kanal erfolgt (Hudson, 2013). In einem Technical Report der EBU mit dem Titel „Advice on the use of 3 Gbit/s HD-SDI interfaces“ heißt es: „The 3G-SDI interface is required primarily to deliver 1080p/50 (or 59.94) over a single link. Recently it has also been used by some organisations to transport twin 1.5G-SDI signals for Stereoscopic 3DTV“ (EBU, 2011, S. 5). Das Haupteinsatzgebiet liegt demnach in der Übertragung von 1080p/50 bzw. 1080p/59,95 Videoformaten. Schmidt äußert sich in seinem Buch auf ähnliche Weise (Schmidt, 2013).

Die Society of Motion Picture & Television Engineers hat drei verschiedene Mapping-Schemen für das Transportieren von unkomprimierten Videodaten durch das 3G-SDI beschrieben (EBU, 2011). Diese sind als Level A, Level B Dual Link, sowie Level B Dual Stream im SMPTE-Standard ST 425 definiert (Hudson, 2013).

Level A spezifiziert das direkte Mapping eines unkomprimierten Videodatenstromes, inklusive von Embedded Audio und den schon beschriebenen Ancillary Data, in eine serielle digitale Schnittstelle mit einer nominalen Bitrate von 3Gbit/s. Insgesamt werden bei Level A-Mapping vier verschiedene Mapping-Strukturen bereitgestellt. Unterstützt wird eine Abtastung von 4:2:2 bzw. 4:4:4 mit 10 bzw. 12 Bit Auflösung mit bis zu 60 Frames (progressive) bzw. Bildgrößen von 1280x720, 1920x1080, sowie 2048x1080 (EBU, 2011). Die nachstehende Abbildung zeigt alle Bildformate, die von dem Level A Mapping unterstützt werden.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Mapping Structure	Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/Pixel Depth	Frame/Field Rates	Transport
1	SMPTE ST 274	1920 x 1080	4:2:2 (Y'C _b C _r)/10-bit	60, 60/1.001 and 50 Frames Progressive	Progressive
	SMPTE ST 2048-2	2048 x 1080	4:2:2 (Y'C _b C _r)/10-bit	60, 60/1.001, 50, 48 and 48/1.001 Frames Progressive	Progressive
2	SMPTE ST 296	1280 x 720	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit 4:4:4 (Y'C _b C _r), 4:4:4:4 (Y'C _b C _r +A)/10-bit	60, 60/1.001 and 50 Frames Progressive	Progressive
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
	SMPTE ST 274	1920 x 1080	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit 4:4:4 (Y'C _b C _r), 4:4:4:4 (Y'C _b C _r +A)/10-bit	60, 60/1.001 and 50 Fields Interlaced	Interlaced
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 PsF	PsF
	SMPTE ST 2048-2	2048 x 1080* 6	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit 4:4:4 (Y'C _b C _r), 4:4:4:4 (Y'C _b C _r +A)/10-bit	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 PsF				PsF	
3	SMPTE ST 274	1920 x 1080	4:4:4 (R'G'B')/12-bit 4:4:4 (Y'C _b C _r)/12-bit	60, 60/1.001 and 50 Fields Interlaced	Interlaced
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
	SMPTE ST 2048-2	2048 x 1080	4:4:4 (R'G'B')/12-bit 4:4:4 (Y'C _b C _r)/12-bit	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames PsF	PsF
SMPTE ST 428-9	2048 x 1080	4:4:4 (X'Y'Z)/12-bit	24 Frames Progressive	Progressive	
				24 Frames PsF	PsF
				25 and 30Frames Progressive	Progressive
SMPTE ST 428-19	2048 x 1080	4:4:4 (X'Y'Z)/12-bit		25 and 30Frames PsF	PsF
4	SMPTE ST 274	1920 x 1080	4:2:2 (Y'C _b C _r)/12-bit	60, 60/1.001 and 50 Fields Interlaced	Interlaced
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames PsF	PsF
	SMPTE ST 2048-2	2048 x 1080	4:2:2 (Y'C _b C _r)/12-bit 4:2:2:4 (Y'C _b C _r +A)/12-bit	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames PsF				PsF	

Abbildung 23: unterstützte Bildformate Level A Mapping (EBU, 2011)

Der 3G-SDI-Standard beschreibt ein 20 Bit virtuelles Interface, das zwei Datenströme umfasst. Je nach der verwendeten Mappingstruktur umfassen beide Datenströme unterschiedliche Komponenten. Beide Datenströme werden unter Verwendung des Multiplexverfahrens auf einer Leitung übertragen (EBU, 2011).

Level B-DL beschreibt das sogenannte Dual-Link-Mapping eines Videostromes inklusive Zusatzdaten. Wie auch bei Level A, kann bei Level B-DL auf vier Mappingstrukturen zurückgegriffen werden. Ebenfalls unterstützt wird eine Abtastung von 4:2:2 bzw. 4:4:4 mit 10 bzw. 12 Bit Auflösung mit bis zu 60

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Frames (progressive). Einzig bei den Bildauflösungen gibt es, im Gegensatz zu dem vorher beschriebenen Level A, Unterschiede. Bei Level B-DL werden ausnahmslos die Formate 1920x1080 bzw. 2048x1080 unterstützt (EBU, 2011). Zur Untermauerung dieser Aussage dient die nachfolgende Abbildung.

Mapping Structure	Ref. SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/Pixel Depth	Frame/Field Rates	Transport
§5.1	SMPTE ST 274	1920 x 1080	4:2:2 (Y'CBC'R)/10-bit	60, 60/1.001 and 50 Frames Progressive	Interlaced
	SMPTE ST 2048-2	2048 x 1080	4:2:2 (Y'CBC'R)/10-bit	60, 60/1.001, 50, 48 and 48/1.001 Progressive	Interlaced
§5.2, §5.4	SMPTE ST 274	1920 x 1080	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit	60, 60/1.001 and 50 Fields Interlaced	Interlaced
			4:4:4 (Y'CBC'R), 4:4:4:4 (Y'CBC'R+A)/10-bit	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
	SMPTE ST 2048-2	2048 x 1080	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B'+A) /10-bit	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Progressive	Progressive
			4:4:4 (Y'CBC'R), 4:4:4:4 (Y'CBC'R+A) /10-bit	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 PsF	PsF
§5.3, §5.4	SMPTE ST 274	1920 x 1080	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	60, 60/1.001 and 50 Fields Interlaced	Interlaced
			4:4:4 (Y'CBC'R)/12-bit	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
	SMPTE ST 2048-2	2048 x 1080* 6	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Progressive	Progressive
			4:4:4 (Y'CBC'R)/12-bit	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 PsF	PsF
	SMPTE ST 428-9	2048 x 1080	4:4:4 (X'YZ)/12-bit	24 Frames Progressive	Progressive
				24 Frames PsF	PsF
SMPTE ST 428-19	2048 x 1080	4:4:4 (X'YZ)/12-bit	25 and 30Frames Progressive	Progressive	
			25 and 30Frames PsF	PsF	
§5.5	SMPTE ST 274	1920 x 1080	4:2:2 (Y'CBC'R)/12-bit	60, 60/1.001 and 50 Fields Interlaced	Interlaced
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames PsF	PsF
	SMPTE ST 2048-2	2048 x 1080* 6	4:2:2 (Y'CBC'R)/12-bit, 4:2:2:4 (Y'CBC'R)/12-bit + A	30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Progressive	Progressive
				30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 PsF	PsF

Abbildung 24: Bildformate Level B-DL(EBU, 2011)

Auch in diesem Fall werden zwei Datenströme verwendet. Diese werden auch Link A bzw. Link B genannt. Das Level B-Dual-Link Interface basiert auf der HD-SDI Datenstruktur und umfasst die gleiche Mappingstruktur wie der Dual-Link-Standard SMPTE ST 372 M (EBU, 2011).

Level B-DS spezifiziert das Dual-Stream-Mapping von zwei synchronisierten Videostreamen mit Zusatzdaten. Mit dem Level B-DS können jegliche Formate übertragen werden, welche auch mit dem HD-SDI übertragen werden können (EBU, 2011). Eine Übersicht dazu bietet Abbildung 25.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Mapping Structure	Image Format	Signal Format Sampling Structure/Pixel Depth	Frame/Field Rates	Transport
SMPTE ST 274	1920 x 1080	4:2:2 (Y'CBC'R)/10-bit	60, 60/1.001 and 50 Fields Interlaced	Interlaced
			30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive
			30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 PsF	PsF
SMPTE ST 2048-2	2048 x 1080	4:2:2 (Y'C'BC'R)/10-bit	60, 60/1.001 and 50 Fields Interlaced	Interlaced
			30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Progressive	Progressive
			30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 PsF	PsF
SMPTE ST 296	1280 x 720	4:2:2 (Y'CBC'R)/10-bit	60, 60/1.001, 50, 30, 30/1.001, 25, 24 and 24/1.001 Frames Progressive	Progressive

Abbildung 25: Bildformate Level B-DS (EBU, 2011)

Voraussetzung für eine solche Übertragung ist eine gleiche vertikale Linienstruktur, sowie dieselbe Framerate (EBU, 2011).

Bevor die nächsten SDI-Standards betrachtet werden sollen, wird im Folgenden ein kurzer Überblick über UHD-Formate gegeben.

Nach Empfehlung der ITU mit dem Namen ITU-R BT.2020 werden UHD-Signale wie folgt definiert. Grundsätzlich sind zwei Auflösungen spezifiziert (ITU, 2015). Dies kann auch der nachstehenden Abbildung entnommen werden.

Parameter	Values	
Picture aspect ratio	16:9	
Pixel count Horizontal × vertical	7 680 × 4 320	3 840 × 2 160
Sampling lattice	Orthogonal	
Pixel aspect ratio	1:1 (square pixels)	
Pixel addressing	Pixel ordering in each row is from left to right, and rows are ordered from top to bottom.	

Abbildung 26: verschiedene Parameter für UHD (ITU, 2015)

Erlaubte Auflösungen sind demnach 7680x4320 sowie 3840x2160. Es werden zudem auch quadratische Pixel verwendet. Als Aspect Ratio wird, wie auch schon bei High Definition, 16:9 genutzt (ITU, 2015).

Die nächste Abbildung zeigt die spezifizierten Bildfrequenzen. Bilder werden ausschließlich im progressive-Modus erzeugt.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Parameter	Values
Frame frequency (Hz)	120, 120/1.001, 100, 60, 60/1.001, 50, 30, 30/1.001, 25, 24, 24/1.001
Scan mode	Progressive

Abbildung 27: spezifizierte Bildfrequenzen UHD (ITU, 2015)

Als erlaubte Signalformate dienen Y'C_BC_R- bzw. R'G'B'-Signale, mit einer Abtastrate von 4:4:4, 4:2:2 und 4:2:0 (ITU, 2015).

Der Standard SMPTE ST 2081 setzt sich aus einer Reihe von Dokumenten zusammen und definiert unter anderem das Mapping von verschiedenen Videoformaten über ein Single-Link-, Dual-Link- sowie Quad-Link-Seriell- Digitales Interface. Diese sogenannte 6G-SDI verfügt über eine Bitrate von 6 Gbit/s (SMPTE, 2016a).

ST 2081-1 definiert eine serielle Datenstruktur, das elektrische Signal sowie die koaxiale Kabelschnittstelle für den Transport von Signalen mit einer Gesamtdatenrate von 5,940 Gbit/s. Ferner definiert diese Norm auch die elektrischen und physikalischen Eigenschaften von Koaxialkabeln und den verwendeten Steckverbindern (SMPTE, 2016a).

Der Standard SMPTE ST 2081-10 definiert das Datenmapping von 2160 bzw. 1080 Zeilen Bildformaten, inklusive Zusatzdaten für das Single-Link 6G-SDI (SMPTE, 2016a). Eine Übersicht der unterstützten Abtaststrukturen, Frameraten und Bildformaten bietet die nächste Grafik.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

UHDTV1 and 4K Digital Cinematography Production			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/Pixel Depth	Frame Rate
ST 2036-1	3840 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/10-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R)/10-bit	24/1.001, 24, 25, 30/1.001 and 30 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/10-bit	24/1.001, 24, 25, 30/1.001 and 30 Progressive
HDTV and 2K Digital Cinematography Production			
ST 274	1920 × 1080	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-2	2048 × 1080	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 274	1920 × 1080	4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 2048-2	2048 × 1080	4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 274	1920 × 1080	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 2048-2	2048 × 1080	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 274	1920 × 1080	4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 2048-2	2048 × 1080	4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 274	1920 × 1080	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit	50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 2048-2	2048 × 1080	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 2048-2	2048 × 1080	4:2:2:4 (Y'C _B C _R +A)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 frames progressive

Abbildung 28: Bildformate, Samplingrate & Framerate SL 6G-SDI (SMPTE, 2016a)

Alle Spezifikationen des Dual-Link 6G-SDI sind in dem Standard SMPTE ST 2081-11 definiert. Diese bietet eine Übertragung von 2160 Zeilen Bildformaten inklusive Ancillary Data (SMPTE, 2016a). Anhand der nächsten Abbildung ist deutlich zu erkennen, dass ein 3840x2160 Bildformat, mit einer Abtastung von 4:2:2 und 50p bereits eine Übertragung via Dual-Link 6G-SDI erfordert.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

UHDTV1 and 4K Digital Cinematography Production			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Frame Rate Hz
ST 2036-1	3840 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R '), 4:2:0 (Y'C _B C _R ')/10-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:2:2 (Y'C _B C _R ')/10-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (R'G'B')	24/1.001, 24, 25, 30/1.001 and 30 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:4:4 (R'G'B ^{*1} '), 4:4:4:4 (R'G'B ^{*1} +A)/10-bit	
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R ')/10-bit	
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:4:4 (Y'C _B C _R '), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:4:4 (R'G'B ^{*1})/12-bit	
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R ')/12-bit	
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:4:4 (Y'C _B C _R ')/12-bit	
ST 2036-1	3840 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R ')/12-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R ')/12-bit	
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:2:2 (Y'C _B C _R ')/12-bit	
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:2:2:4 (Y'C _B C _R +A)/12-bit	

Abbildung 29: Bildformate, Samplingrate & Framerate Dual-Link 6G-SDI (SMPTE, 2016a)

Der nächste Standard dieser Familie trägt den Namen SMPTE ST 2081-12 und definiert das Mapping von Videodaten bzw. deren Zusatzdaten über Quad-Link 6G-SDI für 4320 bzw. 2160 Zeilen (SMPTE, 2016a). Eine Übersicht der unterstützten Formate, inklusive Abtastung und Framerate bietet die untenstehende Grafik.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

UHDTV2 Production			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Frame Rate Hz
ST 2036-1	7680 × 4320	4:2:2 (Y'C _B C _R), 4:2:0 (Y'C _B C _R)/10-bit	24/1.001, 24, 25, 30/1.001 and 30 Progressive
UHDTV1 and 4K Digital Cinematography Production			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Frame Rate Hz
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:4:4 (R'G'B' ^{*1}), 4:4:4:4 (R'G'B' ^{*1} +A)/10-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:4:4 (R'G'B' ^{*1})/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R)/12-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ^{*2}	4:2:2:4 (Y'C _B C _R +A)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
UHDTV1 and 4K Digital Cinematography Production AFR			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Additional Frame Rates (AFR) Hz
ST 2036-1	3840 x 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/10-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R)/10-bit	120 progressive
			120/1.001 progressive
			100 progressive
ST 2048-1	4096 x 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/10-bit	120 progressive
			120/1.001 progressive
			100 progressive
			96 progressive
			96/1.001 progressive

Abbildung 30: Bildformate, Samplingrate & Framerate Quad-Link 6G-SDI (SMPTE, 2016)

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Der nächste zu erwähnende SDI-Standard betrifft die Übertragung von Videodaten über Single-Link-, Dual-Link- sowie Quad-Link-SDI mit einer Datenrate von 12 Gbit/s und wurde unter dem Standard SMPTE ST 2082 spezifiziert. Wie auch bei dem vorher beschriebenen SDI-Standard, besteht dieser aus einer ganzen Reihe an Dokumenten. Der Standard SMPTE ST 2082-1 definiert die Datenstruktur, die elektrischen Signale, die Charakteristiken der verwendeten Kabel usw. (SMPTE, 2016b).

SMPTE ST 2082-10 beschreibt die Übertragung von 2160 Zeilen Formaten und deren Ancillary Data über ein Single-Link 12G-Serial Digital Interface (SMPTE, 2016b). Um, wie bei dem vorhergehend beschriebenen Standard, einen Überblick zu schaffen, dient Abbildung 31.

UHDTV1 and 4K Digital Cinematography Production			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Frame Rate
ST 2036-1	3840 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/10-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R)/10-bit	50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 2048-1	4096 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/10-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 frames progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (R'G'B')/10-bit	24/1.001, 24, 25, 30/1.001 and 30 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit	
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R)	
ST 2048-1	4096 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	
ST 2048-1	4096 × 2160	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	
ST 2048-1	4096 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	
ST 2036-1	3840 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit	
ST 2048-1	4096 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit	
ST 2048-1	4096 × 2160	4:2:2:4 (Y'C _B C _R +A)/12-bit	

Abbildung 31: Bildformate, Samplingrate & Framerate SL 12G-SDI (SMPTE, 2016b)

Der Standard ST 2082-11 definiert mehrere Mapping-Modi für das Übertragen von 4320 Zeilen- und 2160-zeiligen Bildformaten bzw. den zugehörigen Hilfsdaten über ein Dual-Link 12G-SDI (SMPTE, 2016b).

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Der erste Modus beschreibt die Übertragung eines 4320 Zeilen $Y'C'_B C'_R$ 4:2:2 und 4:2:0 10-Bit Bildformates inklusive Hilfsdaten. Der zweite Modus, der zur Verfügung steht, definiert für die Übertragung folgendes Bildformat: 2160 Zeilen $R'G'B'$, $Y'C'_B C'_R$ 4:4:4(:4) 10-Bit und 4:4:4 12 Bit, mit Ancillary Data. Modus 3 definiert 2160 Zeilen $Y'C'_B C'_R$ 4:2:2 und 4:2:0 mit 10 Bit, sowie einer Additional Frame Rate als Bildformat (SMPTE, 2016b). Vollständigkeitshalber wird hier auch die Abbildung mit allen unterstützten Bildformaten angeführt.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

UHDTV2 Production			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Frame Rate Hz
ST 2036-1	7680 × 4320	4:2:2 (Y'C _B C _R), 4:2:0 (Y'C _B C _R)/10-bit	24/1.001, 24, 25, 30/1.001 and 30 Progressive
UHDTV1 and 4K Digital Cinematography Production			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Frame Rate Hz
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (R'G'B'), 4:4:4:4 (R'G'B' +A)/10-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ²	4:4:4 (R'G'B' ¹), 4:4:4:4 (R'G'B' ¹ +A)/10-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ²	4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ²	4:4:4 (R'G'B' ¹)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ²	4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	3840 × 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R)/12-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ²	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2048-1	4096 × 2160 ²	4:2:2:4 (Y'C _B C _R +A)/12-bit	48/1.001, 48, 50, 60/1.001 and 60 Progressive
UHDTV1 and 4K Digital Cinematography Production AFR			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Additional Frame Rates (AFR) Hz
ST 2036-1	3840 x 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/10-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R)/10-bit	120 progressive
			120/1.001 progressive
			100 progressive
ST 2048-1	4096 x 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/10-bit	120 progressive
			120/1.001 progressive
			100 progressive
			96 progressive
			96/1.001 progressive

Abbildung 32: Bildformate, Samplingrate & Framerate Dual-Link 12G-SDI (SMPTE, 2016b)

SMPTE ST 2082-12 beschreibt die Übertragung von 4320- bzw. 2160-zeiligen Bildformaten, inklusive der Hilfsdaten über ein Quad-Link 12G-SDI. In diesem Standard finden sich zwei Mappingmodi. Der erste Modus enthält das Mapping für ein 4320-zeiliges Y'C_BC_R'- bzw. R'G'B' Signal mit einer unterstützten Abtastung von 4:4:4, 4:2:2 bzw. 4:2:0 und einer Auflösung von 10 bzw. 12 Bit. Der zweite und zugleich letzte Modus beschreibt das Mapping von 2160-zeiligen Y'C_BC_R'- bzw. R'G'B' Signalen mit einer Auflösung von 10 bzw. 12 Bit und einer Abtastung von entweder 4:4:4, 4:4:4:4, 4:2:2, 4:2:0 oder auch 4:2:2:4, plus Additional Frame Rate (AFR) (SMPTE, 2016b). Näheres zu den unterstützten Formaten enthält die folgende Abbildung.

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

UHDTV2 Production			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Frame Rate Hz
ST 2036-1	7680 x 4320	4:2:2 (Y'C _B C _R), 4:2:0 (Y'C _B C _R)/10-bit	50, 60/1.001 and 60 Progressive
ST 2036-1	7680 x 4320	4:4:4 (R'G'B')/10-bit	24/1.001, 24, 25, 30/1.001 and 30 Progressive
ST 2036-1	7680 x 4320	4:4:4 (Y'C _B C _R)/10-bit	
ST 2036-1	7680 x 4320	4:4:4 (R'G'B')/12-bit	
ST 2036-1	7680 x 4320	4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	
ST 2036-1	7680 x 4320	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R)/12-bit	
UHDTV1 and 4K Digital Cinematography Production AFR			
Reference SMPTE Standard	Image Format	Signal Format Sampling Structure/pixel Depth	Frame Rate Hz
ST 2036-1	3840 x 2160	4:4:4 (R'G'B')/10-bit 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit 4:4:4 (Y'C _B C _R)/10-bit 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	120 frames progressive
			120/1.001 frames progressive
			100 frames progressive
ST 2048-1	4096 x 2160 ^{*2}	4:4:4 (R'G'B'+*), 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10-bit, 4:4:4 (Y'C _B C _R), 4:4:4:4 (Y'C _B C _R +A)/10-bit	120 frames progressive
			120/1.001 frames progressive
			100 frames progressive
			96 frames progressive
			96/1.001 frames progressive
ST 2036-1	3840 x 2160	4:4:4 (R'G'B')/12-bit, 4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	120 frames progressive
			120/1.001 frames progressive
			100 frames progressive
ST 2048-1	4096 x 2160 ^{*2}	4:4:4 (R'G'B'+*)/12-bit, 4:4:4 (Y'C _B C _R)/12-bit	120 frames progressive
			120/1.001 frames progressive
			100 frames progressive
			96 frames progressive
			96/1.001 frames progressive
ST 2036-1	3840 x 2160	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R)/12-bit	120 frames progressive
			120/1.001 frames progressive
			100 frames progressive
ST 2048-1	4096 x 2160 ^{*2}	4:2:2 (Y'C _B C _R)/12-bit 4:2:0 (Y'C _B C _R)/12-bit 4:2:2:4 (Y'C _B C _R +A)/12-bit	120 frames progressive
			120/1.001 frames progressive
			100 frames progressive
			96 frames progressive
			96/1.001 frames progressive

Abbildung 33: Bildformate, Samplingrate & Framerate Quad-Link 12G-SDI (SMPTE, 2016b)

2 SDI - basierte Übertragungstechnologie

Wie schon im Kapitel 2.1 beschrieben, arbeitet eine working group mit dem Namen 32NF-70 an dem Standard SMPTE 2083. Dieser soll die Übertragung von Videodaten mittels einem 24 Gbit/s Serial Digital Interface möglich machen (Olson, 2016a).

Wie schon eingangs erwähnt, besteht die Möglichkeit der optischen Übertragung (Petty, 2009). Der SMPTE-Standard ST 297-1:2015 definiert die Übertragung über Lichtwellenleiter für die SDI-Standards ST 259 M, ST 344 M, ST 292 M, ST 424M, ST 2081 und ST 2082 (SMPTE, 2017).

Die Kabel, die in diesem Kapitel angesprochen wurden, werden im Kapitel 3.1.10 ebenfalls noch näher erläutert.

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

3.1 Grundlagen der Netzwerktechnik

3.1.1 Allgemeines

Ein Netzwerk stellt eine Verbindung von Computersystemen dar. Diese Verbindung kann physikalischer sowie logischer Natur sein. Computer innerhalb eines Netzwerkes können verschiedene Ressourcen zusammen nutzen. Solche Ressourcen stellen beispielsweise die Nutzung von Speicherplatz, Rechenleistung, aber auch jegliche Art von Peripheriegeräten dar (Schnabel, 2016).

Jedem Netzwerk liegt eine spezielle Übertragungstechnik zugrunde. Je nach Art treten dabei verschiedene Einschränkungen, die etwa die Reichweite betreffen können, auf. Schnabel beschreibt dies als verschiedene Netzwerk-Dimensionen (Schnabel, 2016). Die nachstehende Auflistung soll einen Überblick über die verschiedenen Arten von Netzwerken geben:

1. PAN – Personal Area Network (Schnabel, 2016)
2. LAN – Local Area Network (Schnabel, 2016)
3. MAN – Metropolitan Area Network (Schnabel, 2016)
4. WAN – Wide Area Network (Schnabel, 2016)

Auf die eben angeführten Arten von Netzwerken wird im nächsten Kapitel noch genauer eingegangen. Jedes einzelne der oben angeführten Ausprägungen eines Netzwerkes unterscheidet sich demnach von den anderen Arten. Oft ist eine genaue Trennung zwischen den verschiedenen Arten nicht möglich oder sinnvoll, da ein User eines Local Area Networks ebenso ein Teil eines Wide Area Networks sein kann (Schnabel, 2016).

3.1.2 Netzhardware

Netzhardware kann anhand von zwei Kategorien unterschieden werden. Das erste Merkmal ist die Übertragungstechnik (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Vertiefend kann festgestellt werden, dass es hier wiederum zwei Arten von Übertragungstechniken gibt: Broadcastverbindungen sowie Point-to-Point-Verbindungen, auch Punkt-zu-Punkt-Verbindungen genannt (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Letztere beschreiben die beiden Autoren, des Buches „Computernetzwerke“, Tanenbaum und Wetherall folgendermaßen:

Punkt-zu-Punkt-Verbindungen vernetzen einzelne Paare von Rechnern miteinander. Um in einem Netzwerk, das aus Punkt-zu-Punkt-Verbindungen aufgebaut ist, von der Quelle ans Ziel zu gelangen, muss eine kurze Nachricht (in bestimmten Zusammenhängen Paket genannt) eventuell zuvor einen oder mehrere dazwischenliegende Rechner kontaktieren. Meist sind mehrere Routen mit unterschiedlicher Länge möglich, sodass bei Punkt-zu-Punkt-Netzwerken die Ermittlung einer guten Route entscheidend ist (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 39).

Diese Art der Übertragung wird durch das Bestehen von nur einem Sender und einem Empfänger charakterisiert und wird Unicasting genannt (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Die zweite, bereits erwähnte, Art von Übertragungstechniken werden Broadcastverbindungen genannt. Ein Broadcastnetz besteht aus einem Kommunikationskanal. Dieser kann von allen Rechnern, die zu diesem Netzwerk gehören, genutzt werden. Wird eine Nachricht von einem Sender gesendet, können alle anderen Geräte im Netzwerk das Paket empfangen. Jede Nachricht (Paket) enthält ein sogenanntes Adressfeld. Dieses Feld dient zur eindeutigen Identifizierung des Empfängers. Jeder Computer, der das Paket empfängt, überprüft anhand des Feldes, ob es für ihn gedacht ist. Ist dies zutreffend, wird es weiterverarbeitet. Ist dies jedoch nicht der Fall, ignoriert der betreffende Rechner einfach das Paket (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Ein typisches Beispiel für eine Broadcast-Verbindung ist ein drahtloses Netzwerk, „(...)bei der die Kommunikation über einen Abdeckungsbereich läuft, welcher von dem drahtlosen Kanal und der übertragenen Maschine abhängt“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 40).

Wird in einem Broadcastnetz ein Paket an alle Teilnehmer des Netzwerkes gesendet, wird die Betriebsart ganz allgemein Broadcasting genannt. Bei dieser Art der Übertragung wird in dem schon erwähnten Adressfeld ein Code zugefügt, der signalisiert, dass die Nachricht für alle Rechner im Netz gedacht ist. Eine

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

andere mögliche Betriebsart wird als Multicasting bezeichnet. Multicasting beschreibt das Senden von Paketen an nur einen Teil der im Netzwerk befindlichen Computer (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Die zweite Unterscheidungskategorie von Netzwerken ist die Ausdehnung. Je nach Ausdehnung werden verschiedene Techniken angewandt (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Die folgende Grafik gibt eine Übersicht über die verschiedenen Arten von Netzwerken, welche nach deren Ausdehnung klassifiziert ist:

Entfernung der Prozessoren	Prozessoren im gleichen ...	Beispiel
1 m	Quadratmeter	PAN
10 m	Raum	} LAN
100 m	Gebäude	
1 km	Campus	
10 km	Stadt	MAN
100 km	Land	} WAN
1000 km	Kontinent	
10.000 km	Planet	Internet

Abbildung 34: Klassifizierung von Netzwerken nach Ausdehnung (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Die kleinste Art von Netzwerken sind demnach sogenannte Personal Area Networks (PAN). Dies würde beispielsweise einen Computer darstellen, der mit seinen Peripheriegeräten verbunden ist. Wie aus der obenstehenden Grafik ersichtlich ist, verfügt diese Art von Netzwerken über eine sehr geringe Reichweite (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Die nächstgrößere „Einheit“ verfügt über eine Reichweite von 10 Meter bis hin zu 1 Kilometer und werden Local Area Networks (LAN) genannt. LANs sind private und lokale Netzwerke, die oft in Privathäusern bzw. Firmen zu finden sind. Gerade heutzutage erfreuen sich Drahtlose LANs großer Beliebtheit. Ein besonderer Vorteil bei der drahtlosen Betriebsart ist, dass weniger Kabel verlegt werden müssen als bei der verkabelten Variante. Jeder Rechner kommuniziert mit einem Zugangspunkt. Bei einem solchen Zugangspunkt handelt es sich um ein Gerät, das auch Access Point (AP) genannt wird. Besteht der Fall, dass zwei Computer nahe genug beieinanderstehen, können diese jedoch auch mittels

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

einer Peer-to-Peer Anordnung kommunizieren. Für die erwähnte kabellose Variante eines Local Area Networks wurde von dem Institute of Electrical and Electronics Engineers, kurz IEEE, ein Standard unter der Bezeichnung IEEE 802.11 verabschiedet (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Die Geschwindigkeiten liegen laut den beiden Autoren Tanenbaum und Wetherall „ (...)irgendwo zwischen 11 und Hunderten von Mbit/s“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 43).

Abbildung 35 zeigt zwei Varianten eines LANs. Auf der linken Seite eine drahtlose Variante und eine verkabelte Ausführung auf der rechten Seite.

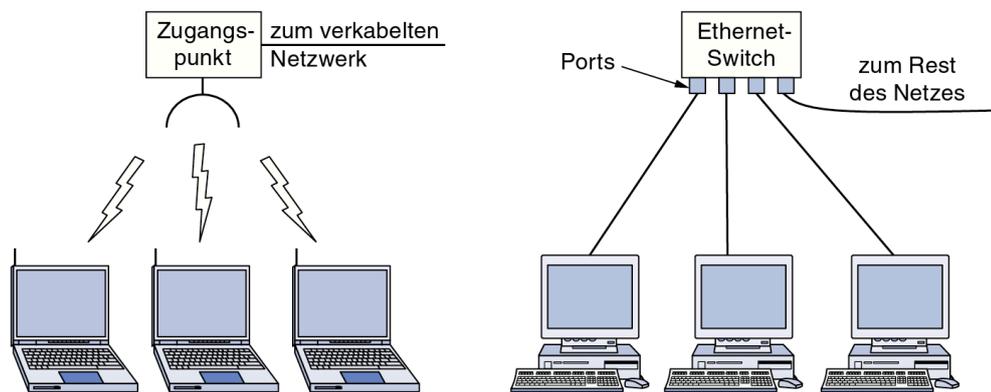


Abbildung 35: kabelloses und verkabeltes LAN (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Hinsichtlich der verwendeten Übertragungstechnik von verkabelten LANs, gibt es zwei Möglichkeiten. In der ersten Art der Übertragung werden Kupferkabel eingesetzt, die zweite Art hingegen verwendet Glasfaserkabel. Ferner wird in dem Buch „Computernetzwerke“ auf die nach oben hin beschränkte Größe dieses Netzwerktypus hingewiesen (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Bezüglich der Geschwindigkeit, der Latenz und Fehlerquote meinen Tanenbaum und Wetherall folgendes:

Typischerweise arbeiten LANs mit Geschwindigkeiten zwischen 100 Mbit/s und 1 Gbit/s, haben eine geringe Übertragungsverzögerung (Mikro- oder Nanosekunden) und machen sehr wenige Fehler. Neuere LANs können mit bis zu 10 Gbit/s arbeiten. Verglichen mit Funknetzen übertreffen verkabelte LANs diese in allen Dimensionen der Performance (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 43).

Die Topologie eines solchen verkabelten LANs entspricht einer Point-to-Point-Verbindung. Die IEEE standardisierte das sogenannte Ethernet unter dem Namen IEEE 802.3. Jeder Rechner in dem verkabelten Netzwerk handelt nach diesem Ethernet-Protokoll und verbindet sich mit Hilfe einer Punkt-zu-Punkt-

Verbindung mit einem Switch. Dieser Schalter hat einige Ports, mit denen sich jeder Computer verbinden kann. Ein Switch sorgt dafür, dass gesendete Nachrichten (Pakete) zwischen dem, im Netzwerk befindlichen, Rechner weitergeleitet werden. Dies geschieht anhand der schon angesprochenen Adressen. Um eine größere Reichweite zu erlangen, gibt es die Möglichkeit Switches über deren Ports zu kombinieren. Das zuvor angesprochene Protokoll hat die Aufgabe auszumachen, welche Wege die verschickten Pakete am besten nehmen müssen, um ihr Ziel, also den Rechner, zu erreichen. Umgekehrt ist es ebenfalls möglich ein großes physisches Local Area Network in kleinere Netzwerke zu unterteilen. Ist dies der Fall, spricht man von einem sogenannten Virtual LAN (VLAN) (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Beide Arten von Broadcast-Netzen, also verkabelte wie auch kabellose, können in statische und dynamische Netze unterteilt werden (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Bei einer statischen Kanalzuweisung wird „(...)die Zeit in periodisch wiederkehrende, diskrete Intervalle eingeteilt und ein Round-Robin-Algorithmus verwendet, der jeder Maschine eine Übertragung immer nur innerhalb ihrer Zeitscheibe erlaubt“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 44). Nachteil der statischen Netze ist eindeutig, dass Kapazitäten verschwendet werden. Auch wenn ein Rechner nichts zu übertragen hat, bekommt er trotzdem eine gewisse Zeitspanne zugeordnet. Bei einer dynamischen Zuweisung hingegen, werden Kanäle nach Bedarf zugeteilt. Diese Zuteilung von Ressourcen kann zentral oder auch dezentral erfolgen. Entscheidet eine einzelne Einheit darüber wer übertragen darf, spricht man von der zentralen Methode. Entscheidet jede Maschine selbst, ob gesendet werden darf, wird dies als dezentrale Zuweisungsmethode bezeichnet (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Eine weitere Art von Netzwerken ist das Metropolitan Area Network, kurz MAN oder auch Stadtnetz bezeichnet. Wie der Name schon vermuten lässt, handelt es sich hier um Netzwerke, die über größere Gebiete reichen, wie etwa einer Stadt (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Ein Fernnetz bzw. ein Wide Area Network (WAN) deckt meist einen sehr großen geografischen Bereich, wie etwa einen Kontinent, ab (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Als Beispiel nennen die beiden Autoren des Buches „Netzwerktechniken“ folgendes: „Das WAN in Abbildung 1.10 ist ein Netzwerk, das Büros in Perth, Melbourne und Brisbane verbindet. Jeder dieser Büros besitzt Computer, auf denen Benutzerprogramme (Anwendungen) ausgeführt werden“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 47). Die im Zitat angesprochenen Computer werden auch Hosts genannt. Das restliche Netz, das die Verbindung zu den Hosts herstellt, wird als communication subnet, Kommunikationssubnetz oder Subnetz betitelt.

Die Aufgabe eines solchen communication subnet besteht darin, Pakete von Host zu Host zu übermitteln. Das Subnet besteht zumeist aus zwei verschiedenen Bestandteilen: den Vermittlungselementen und den Übertragungsleitungen. Letztere, auch transmission line genannt, können Kupferdrähte, Funkverbindungen oder auch Glasfasern sein, die Pakete zwischen den Hosts übertragen. Vermittlungselemente, oder auch switching elements, sind Geräte, die eine Verbindung zwischen den zuvor beschriebenen Übertragungsleitungen herstellen und für die Vermittlung der Pakete bzw. Daten sorgen (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

3.1.3 Protokollhierarchien der Netzwerksoftware

Die Anfangspriorität bei Rechnernetzen lag auf dem Entwurf der Hardware. Im Laufe der Zeit wurde die Netzsoftware immer wichtiger und ist mittlerweile äußerst hoch strukturiert. Die nachfolgenden Absätze widmen sich den Protokollhierarchien (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

„Um ihre Komplexität zu verringern, sind die meisten Netze als mehrere übereinanderliegende Schichten oder Ebenen aufgebaut. Anzahl, Bezeichnung, Inhalt und Funktion der einzelnen Schichten unterscheiden sich je nach Netz“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 53). Die Aufgabe dieser Schichten besteht darin, den übergeordneten Schichten festgelegte Dienste bereit zu stellen und gleichzeitig diese Schichten von Details, die die Implementierung der Dienste betreffen, abzudecken (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Anzumerken gilt, dass es für jede Art der Kommunikationen der Schichten untereinander bzw. mit Schichten eines anderen Rechners, eigene Protokolle gibt (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Schnabel definiert in seinem Buch Protokolle folgendermaßen:

In der Netzwerktechnik bestimmen Protokoll *[sic]* den Ablauf der Kommunikation zwischen den Systemen. Netzwerk-Protokolle sind eine Sammlung von Regeln, die den Ablauf einer Kommunikation zwischen zwei oder mehr Systemen festlegen. Ein Netzwerk-Protokoll definiert, wie die Kommunikation aufgebaut wird, wie und über was sich die Systeme austauschen und wie die Kommunikation wieder beendet wird. Während einer Kommunikation werden also nicht nur Informationen oder Daten ausgetauscht, sondern zusätzlich Protokoll-Informationen, die beim Empfänger verarbeitet werden (Schnabel, 2016, S. 14). Dies deckt sich mit der Aussage, die Tanenbaum und Wetherall treffen: „Im Grunde ist ein Protokoll eine Vereinbarung zwischen kommunizierenden Parteien über

den Ablauf der Kommunikation“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 53). Diese beiden Aussagen bzw. Definitionen lassen auf die Wichtigkeit von Protokollen schließen.

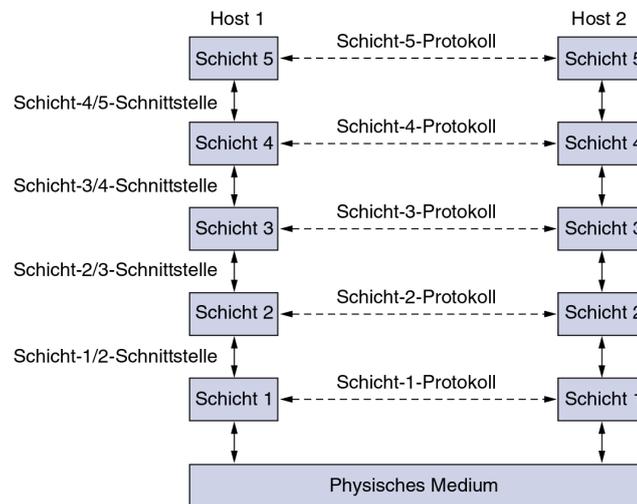


Abbildung 36: Schichtmodell mit Schnittstellen und Protokollen (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Die obere Grafik zeigt ein Netzwerk mit insgesamt fünf Schichten. Eindeutig sichtbar sind die Schnittstellen, die sich zwischen den Schichten befinden bzw. das physikalische Medium, das die unterste Ebene bildet.

Will die Schicht 5 des ersten Hosts mit der fünften Schicht des zweiten Hosts kommunizieren, gibt die 5. Schicht (von Host 1) Daten und Steuerinformationen an die vierte Schicht weiter. Diese wiederum leitet die gleichen Informationen an ihre untergeordnete Schicht weiter. Dies geschieht so lange, bis das physikalische Medium erreicht wird. Dieses Medium garantiert die Kommunikation. Liegen die zu übertragenden Daten bei der ersten Schicht an, gibt diese die Daten der je übergeordneten Schicht weiter bis der Datenstrom bei der fünften Schicht angekommen ist. Die kommunizierenden Schichten, in diesem Fall die je fünfte Schicht von Host 1 und Host 2, werden Peers genannt (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Die schon angesprochene Schnittstelle bzw. Interface zwischen den Schichten „definiert, welche Basisoperationen und –dienste die untere Schicht der oberen Schicht anbietet“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 54). Die Summe aller Schichten und der verwendeten Protokolle wird als Netzwerkarchitektur bezeichnet (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

Ein ausführlicheres Beispiel einer Kommunikation zwischen den entsprechenden Schichten zweier Hosts, soll anhand der nachstehenden Abbildung erläutert werden.

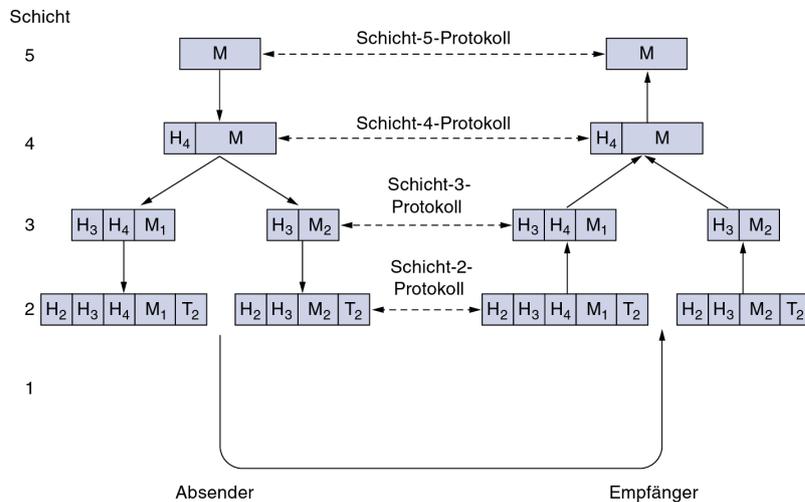


Abbildung 37: Informationsfluss zwischen Sender und Empfänger (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Ein Prozess, der in der fünften Schicht implementiert ist, erzeugt eine Nachricht (M). Die Nachricht wird an die darunterliegende vierte Schicht übertragen. Diese Schicht fügt der Nachricht M einen sogenannten Header hinzu. Dieser hat die Aufgabe, mit den enthaltenen Steuerungsinformationen, die Nachricht eindeutig zu identifizieren. Header und Nachricht werden an die dritte Schicht weitergegeben (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Tanenbaum und Wetherall weisen darauf hin, dass dem „(...)Schicht-3-Protokoll fast immer eine Größenbeschränkung auferlegt“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 57) ist. Deswegen zerlegt diese Schicht die eintreffenden Informationen in kleinere Pakete. Jedes dieser erzeugten Nachrichten wird wiederum ein Schicht-3-Header hinzugefügt. In der oben angeführten Abbildung werden zwei Pakete erzeugt ($H_3H_4M_1 = \text{Paket1}$, $H_3M_2 = \text{Paket2}$). Die beiden Nachrichten werden nun an die zweite Schicht gesendet. Diese Schicht weist jedem Paket wieder einen Header und einen Trailer zu. Anschließend transportiert Schicht 2 die Nachrichten an die erste Schicht (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

„Im empfangenen Rechner wird die Nachricht Schicht für Schicht nach oben transportiert, wobei die Header einer nach dem anderen wieder entfernt werden. Kein Header von Schichten unterhalb von n wird an die Schicht n übergeben“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 57).

Die Übertragung von der untersten zur obersten Schicht funktioniert demnach genau umgekehrt.

3.1.4 Dienstarten

Anzumerken gilt, dass laut Tanenbaum & Wetherall, jeder Layer seinem höhergestellten Layer zwei Arten von Diensten bietet. Dies wären zum Ersten verbindungsorientierte und zum Zweiten verbindungslose Dienste (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Connection-oriented services bzw. verbindungsorientierte Dienste funktionieren in ihrer Modellierung wie ein Telefonsystem (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Zuerst wird eine Verbindung aufgebaut. Anschließend werden die Daten übertragen. Ist dies geschehen, wird die zuvor hergestellte Verbindung wieder beendet (Schnabel, 2016). Der vermeintlich wichtigste Aspekt wird von den Autoren des Buches „Computernetzwerke“ folgendermaßen beschrieben:

Der wesentliche Aspekt einer Verbindung ist, dass sie wie ein Rohr funktioniert: Der Sender schiebt Objekte (Bits) an einem Ende hinein und der Empfänger entnimmt sie am anderen Ende in der gleichen Reihenfolge. In den meisten Fällen bleibt die Reihenfolge erhalten, sodass die Bits in der Reihenfolge eintreffen, in der sie gesendet wurden. (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 60)

Dies impliziert, dass eine solche Art von Diensten, also verbindungsorientierte, sehr strukturiert funktionieren.

Während der verbindungsorientierten Kommunikation eine logische Verbindung zugrunde liegt, ist dies bei verbindungslosen Diensten nicht der Fall (Schnabel, 2016). Jedes Datenpaket beinhaltet die Zieladresse und wird durch das System zum Empfänger gesendet. Wichtig zu erwähnen ist, dass dies unabhängig von etwaigen folgenden Nachrichten geschieht. Jedes Paket passiert zwangsweise einen Knoten. Die Weiterleitung von einem Knoten zum nächsten kann in zwei verschiedenen Varianten erfolgen. Die erste Art wird als Store-and-forward-Schaltung bezeichnet. Wie der Name schon vermuten lässt, muss bei dieser Methode der Knoten die Nachricht zuerst komplett erhalten haben, um sie anschließend zum folgenden Knotenpunkt weiterleiten zu können. Die zweite Variante wird Cut-through-Schaltung genannt. Bei dieser Art der Weiterleitung muss das Paket nicht erst vollständig beim Knoten eingetroffen sein, sondern wird gleich weitergesendet, noch bevor der erste Knotenpunkt die Nachricht zur Gänze erhalten hat (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Diese und andere Weiterleitungsmethoden werden im Kapitel 3.1.9 genauer erläutert.

	Dienst	Beispiel
verbindungsorientiert	Zuverlässiger Nachrichtenstrom	Folge von Seiten
	Zuverlässiger Bytestrom	Download eines Films
	Unzuverlässige Verbindung	Voice-over-IP
verbindungslos	Unzuverlässiges Datagramm	Junk-E-Mail
	Bestätigtes Datagramm	Textnachrichten
	Anforderung/Antwort	Datenbankabfrage

Abbildung 38: Dienstarten (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

In der obenstehenden Grafik sind alle Arten von verbindungsorientierten und verbindungslosen Diensten nochmals angeführt. Im Rahmen dieser Arbeit soll nicht auf alle eingegangen werden.

Eine Unterscheidung, die jedoch noch erwähnt werden sollte, ist, dass es bei den sogenannten zuverlässigen verbindungsorientierten Diensten zwei Varianten gibt. Die erste Art wird zuverlässiger Nachrichtenstrom genannt. Hier werden Nachrichtensequenzen übertragen, bei denen sogenannte Nachrichtengrenzen gewahrt bleiben. Werden zwei getrennte Nachrichten übertragen, dann kommen diese auch in dieser Form an (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Zur besseren Verständlichkeit noch eine abschließende Erläuterung von Tanenbaum und Wetherall: „Wenn zwei 1024-Byte-Nachrichten gesendet werden, dann kommen sie als zwei getrennte 1024-Byte-Nachrichten und nicht als eine 2048-Byte-Nachricht an“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 61).

Bei der zweiten Variante, dem zuverlässigen Bytestrom, werden hingegen keine Nachrichtengrenzen gewahrt (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Das bedeutet: „Kommen 2048 Byte beim Empfänger an, dann kann nicht festgestellt werden, ob sie als eine 2048-Byte-Nachricht, zwei 1024-Byte-Nachrichten oder 2048 1-Byte-Nachrichten gesendet wurden“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 61). Ferner wird von den beiden schon zitierten Autoren darauf hingewiesen, dass je nach Art der zu übertragenden Daten jeweils eine andere Methode Anwendung findet. Dies ist ebenfalls aus der oberen Abbildung ersichtlich, in der neben den Arten auch Beispiele für jeden Dienst angeführt sind (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

3.1.5 Unterscheidung von Diensten und Protokollen

Wichtig zu erwähnen ist, dass es sich bei Diensten und Protokollen um zwei verschiedene Dinge handelt. Diese können anhand ihrer zugrundeliegenden Konzepten unterschieden werden. Ein Dienst besteht aus einer bestimmten

Anzahl an Basisoperationen. Diese Operationen werden von einer Schicht, der dieser wiederum übergeordneten Schicht, zur Verfügungen gestellt. Dies bedeutet, dass beispielsweise die erste Schicht der zweiten Schicht ihre Basisoperationen bereitstellt. Basisoperationen sind Operationen, die einem Dienst anweisen verschiedene Aktionen durchzuführen. In der untenstehenden Grafik sind einige gängige Basisoperationen angeführt (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Basisoperation	Bedeutung
LISTEN	Blockiert, während auf eingehende Verbindung gewartet wird
CONNECT	Aufbau einer Verbindung zu einem wartenden Peer
ACCEPT	Ankommende Verbindung von einem Peer akzeptieren
RECEIVE	Blockiert, während auf eingehende Nachricht gewartet wird
SEND	Nachricht an einen Peer senden
DISCONNECT	Verbindung beenden

Abbildung 39: Basisoperationen von verbindungsorientierten Diensten (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Anzumerken gilt, dass sich die verfügbaren Basisoperationen je nach Dienst unterscheiden. So sind die Operationen für verbindungslose Dienste andere, als die für verbindungsorientierte (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Im Gegensatz zu einem Dienst, ist ein Protokoll eine Anzahl von Richtlinien bzw. Regeln (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Diese Richtlinien betreffen „(...)das Format und die Bedeutung der von den Peer-Einheiten innerhalb einer Schicht ausgetauschten Pakete oder Nachrichten(...)“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 65). Mit Hilfe dieser Protokolle ist es möglich, dass die angesprochenen Peer-Einheiten ihre festgelegten Dienste ausüben können. Protokolle können jederzeit geändert werden. Wichtig zu erwähnen ist jedoch, dass dies nur solange möglich ist, solange dadurch keine Änderungen an den bereitgestellten Diensten vorgenommen werden (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

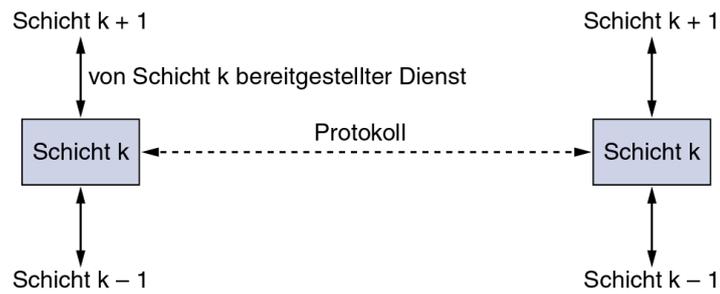


Abbildung 40: Dienst- und Protokollbeziehung (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Die oben angeführte Abbildung zeigt eine übersichtliche Darstellung, die die Beziehung zwischen Dienst und Protokoll nochmals veranschaulichen soll.

3.1.6 OSI Referenzmodell

„Das OSI-7-Schichtenmodell ist ein Referenzmodell für herstellerunabhängige Kommunikationssysteme bzw. eine Design-Grundlage für Kommunikationsprotokolle und Computernetze“ (Schnabel, 2016, S. 54). Dieses Schichtmodell basiert auf dem sogenannten DoD-Modell. Im Gegensatz zu dem OSI-7-Modell, besteht dieses aus nur vier Schichten (Schnabel, 2016).

Die Abkürzung OSI steht für Open System Interconnection (Offenes System für Kommunikationsverbindungen) und wurde von der International Organization for Standardization (ISO) entwickelt. Es dient als eine Art Grundlagenmodell für Netzwerkarchitektur bzw. für die Bildung eines offenen Kommunikationsprotokolls (Röder, 2009; Schnabel, 2016). Wie von der Bezeichnung bzw. aus der nächsten Abbildung abgeleitet werden kann, besteht das OSI-Referenzmodell aus insgesamt sieben Schichten. Diese sind die Bitübertragungsschicht, die Sicherungsschicht, die Vermittlungsschicht, die Transportschicht, die Sitzungsschicht, die Darstellungsschicht und die Anwendungsschicht (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

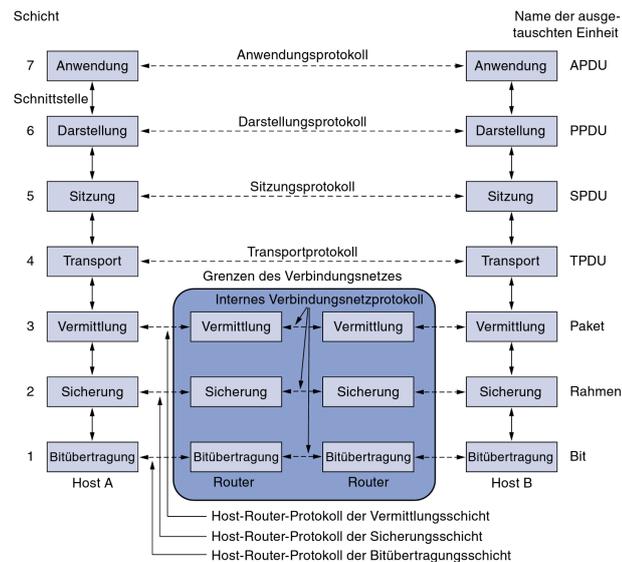


Abbildung 41: Schichten im OSI-Referenzmodell (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Wie aus der vorigen Aufzählung bzw. aus der Grafik ersichtlich ist, handelt es sich bei der ersten Schicht um die sogenannte Bitübertragungsschicht, auch Physical Layer genannt. Diese Schicht bestimmt laut Tanenbaum und Wetherall „(...)die Übertragung von reinen Bits über einen Kommunikationskanal“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 68). Paul Jenik spricht in seinem Buch davon, dass auf diesem Layer „(...)die Spezifikationen für das Übertragungsmedium(...)“ (Jenik, n.d., S. 26) definiert werden. Die angesprochenen Kommunikationskanäle können beispielsweise aus Lichtwellenleitern oder auch aus Koaxialkabel bestehen (Jenik, n.d.). Schnabel äußert abschließend zu dieser Schicht, dass die verwendeten Kabel zur Übertragung keineswegs Bestandteile der Bitübertragungsschicht sind (Schnabel, 2016). Ferner spricht er davon, dass der Physical Layer „(...)die elektrische, mechanische und funktionale Schnittstelle zum Übertragungsmedium.“ (Schnabel, 2016, S. 57) spezifiziert.

Die nächst höhere Schicht wird wahlweise als Sicherungsschicht oder als Data Link Layer bezeichnet. Die Aufgabe dieser Schicht besteht darin, zwischen dem verwendeten Kommunikationskanal, beispielsweise ein Koaxialkabel, und dem empfangenden Gerät eine verlässliche und intakte Verbindung herzustellen (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Die beiden Autoren des Buches „Computernetzwerke“ definieren die oben beschriebenen Aufgaben folgendermaßen: „Die Hauptaufgabe der Sicherungsschicht (data link layer) besteht darin, eine reine Übertragungseinrichtung in eine Leitung zu verwandeln, die frei von unerkannten Übertragungsfehlern erscheint“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 68). Dieser angesprochene Fehlererkennungsmechanismus

verbirgt die sogenannten realen Fehler. Als Folge werden diese Fehler von der nächsten Schicht, der Vermittlungsschicht, gar nicht bemerkt (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Wie dies genau funktioniert bzw. wie die weitere Vorgehensweise abläuft, soll folgende Aussage erklären:

Dies wiederum geschieht dadurch, dass der Sender die Eingangsdaten in Datenrahmen (data frame) aufteilt (typisch sind einige Hundert oder ein paar Tausend Byte) und diese Rahmen sequenziell überträgt. Ist der Dienst zuverlässig, bestätigt der Empfänger den korrekten Empfang, indem er einen Bestätigungsrahmen (acknowledgement frame) zurücksendet (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 68).

Ferner gibt es eine Lösung, die den Datenempfänger davor schützen soll, von einer Unmenge an Daten überflutet zu werden. Dies könnte passieren, wenn der Sender die Daten schneller überträgt, als der Empfänger diese empfangen kann. Tanenbaum und Wetherall verweisen auf eine Regel, die genau dieses Problem mindert bzw. verhindert. Mit der Anwendung dieser Regelung, ist der Sender immer im Bilde, zu welchem Zeitpunkt das Empfangsgerät eine größere Menge an Daten aufnehmen kann (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Vollständigkeitshalber muss angeführt werden, dass die Sicherungsschicht in zwei, wenn man so will, Sublayer aufgeteilt wurde. Diese beiden Teilschichten nennt man Media Access Control (MAC) und Logical Link Control (Riggert, 2014). Der erste Sublayer kümmert sich, laut Riggert, um die „(...)Steuerung des Zugriffs auf das Übertragungsmedium. Dazu lassen sich zwei Methoden unterscheiden: kontrolliert, d.h. jede Station nutzt ein ihr zugeteiltes Zeitintervall zur Übertragung, wettkampfbasiert, d.h. die sendewilligen Stationen konkurrieren um die Übertragungsmöglichkeit“ (Riggert, 2014, S. 33). Die zweite Teilschicht, LLC, kümmert sich um die „(...)Verwaltung der logischen Verbindung, Fehleranalyse und Flusskontrolle“ (Riggert, 2014, S. 33).

Die dritte Schicht ist die sogenannte Vermittlungsschicht (Network Layer). Das Hauptaugenmerk liegt in diesem Layer auf dem Routing bzw. der sogenannten Datenflusskontrolle (Schnabel, 2016). Schnabel gibt folgende Definition:

Die Vermittlungsschicht steuert die zeitliche und logische getrennte Kommunikation zwischen den Endgeräten, unabhängig vom Übertragungsmedium und der Topologie. Auf dieser Schicht erfolgt erstmals die logische Adressierung der Endgeräte. Die Adressierung ist eng mit dem Routing (Wegfindung vom Sender zum Empfänger) verbunden (Schnabel, 2016, S. 57-58).

Diese Aussage deckt sich grundsätzlich mit denen von Tanenbaum und Wetherall. Die beiden Autoren führen weiter aus, dass die genommenen Wege der Datenpakete mit Hilfe von Tabellen realisiert werden. Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Routingtabellen. Zum einem gibt es statische Tabellen. Wie der Name vermuten lässt, werden statische Routingtabellen selten aktualisiert. Im Gegensatz dazu, stehen Tabellen, die keineswegs statisch sind, sondern einer automatisierten Aktualisierung unterliegen. Diese haben den Vorteil, dass sie, wenn nötig, ausgefallene Knoten umgehen können (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Grundsätzlich kann vor jedem Beginn der Datenübertragung definiert werden, über welche Wege die Kommunikation ablaufen soll. Des Weiteren ist es aber auch möglich, dass für jedes Paket eine neue Route festgelegt wird. Dies hat den Vorteil einer bestmöglichen Ausnutzung der Kapazität des Netzes. Für die Behandlung einer möglichen Überlastung des Netzes ist der Network Layer im Zusammenspiel mit höheren Layern zuständig. Eine weitere Aufgabe dieser Schicht besteht darin, die bestmögliche Qualität, des von ihr angebotenen Dienstes, zu garantieren (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Im folgendem Zitat weisen Tanenbaum und Wetherall auf Probleme hin, die ebenfalls vom Network Layer gelöst werden müssen:

Ferner können viele Probleme entstehen, wenn ein Paket auf seiner Reise zum Bestimmungsort mehrere Netze durchquert. Es könnte z.B. sein, dass die Adressierung beim zweiten Netz anders ist als beim ersten. Das zweite Netz könnte das Paket überhaupt ablehnen, weil es zu groß ist. Die Protokolle können verschieden sein und anderes mehr. Alle Probleme dieser Art müssen auf der Vermittlungsschicht gelöst werden, damit heterogene Netze miteinander verbunden werden können (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 69).

Diese Aussage lässt auf die Wichtigkeit bzw. auf die Vielzahl von Aufgaben dieser Schicht schließen.

Die vierte Schicht wird wahlweise als Transportschicht oder auch als Transport Layer bezeichnet (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Mangels einer besseren Definition wird nachstehend die von Schnabel angeführt. „Die Transportschicht ist das Bindeglied zwischen den transportorientierten und anwendungsorientierten Schichten. Hier werden Datenpakete einer Anwendung zugeordnet“ (Schnabel, 2016, S. 58). Tanenbaum und Wetherall sprechen davon, dass der Transport Layer die wichtige Tätigkeit ausführt, „(...)Daten von der darüberliegenden Schicht zu übernehmen, diese gegebenenfalls in kleinere Einheiten zu zerlegen, sie an die Vermittlungsschicht zu übergeben und

sicherzustellen, dass alle Teile richtig am anderen Ende ankommen“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 69).

Bei der Bewältigung der beschriebenen Aufgaben müssen jederzeit zwei Punkte gewährleistet sein. Erstens muss die Aufgabe effektiv gelöst werden. Zweitens muss dies in einer Art geschehen, in der gewährleistet ist, dass die oberen Schichten von einer allfälligen Hardwareänderung geschützt bzw. nicht betroffen sind. Ferner wird auch die Art des Dienstes von der vierten Schicht gewählt. Dieser gewählte Dienst wird wiederum dem nächsthöheren Layer zur Nutzung angeboten. Meistens handelt es sich um eine fehlerfreie Point-to-Point-Verbindung. Fehlerfrei heißt in diesem Zusammenhang nichts anderes, als dass die Fehlerquote so gering wie möglich gehalten wird. Bei dieser Art der Übertragung werden die Datenpakete nacheinander gesendet (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Tanenbaum und Wetherall sprechen davon, dass der Transport Layer eine „(...)echte Ende-zu-Ende-Schicht(...)“ ist (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 70). Dies bedeutet, dass die Transportschicht die Datenpakete die gesamte Route vom Sender zum Empfänger befördert (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Die nächsthöhere Schicht wird Session Layer oder auch Sitzungsschicht genannt. Anhand dieses Layers werden Sitzungen unter, an verschiedenen Computer befindlichen, Usern aufgebaut. Die aufgebauten Sitzungen ermöglichen die Nutzung von mehreren Diensten. Einige sollen nachfolgend angeführt werden. Ein möglicher Dienst, die Dialogsteuerung bzw. Dialog Control, hat den Zweck zu beobachten, welcher Client augenblicklich Datenpakete senden darf. Das Token-Management bzw. die Token-Verwaltung ist ein weiterer zur Verfügung gestellter Dienst. Dieser verhindert, dass beide Benutzer eine Handlung zum selben Zeitpunkt ausführen. Einer der wohl wichtigsten Dienste ist die Synchronisation. Hierbei werden fixe Punkte definiert, bei denen das Senden von Daten, im Falle einer frühzeitigen unfreiwilligen Beendigung, erneut starten kann (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Bei der Darstellungsschicht (Presentation Layer) handelt es sich um die sechste Schicht in diesem Referenzmodell und beschäftigt sich mit der Syntax bzw. der Semantik der zu sendenden Datenpakete (Schnabel, 2016; Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Damit Computer mit intern unterschiedlichen Datendarstellungen kommunizieren können, müssen die ausgetauschten Datenstrukturen auf abstrakte Weise definiert werden, zusammen mit einer Standardcodierung, die „in der Leitung“ verwendet wird. Die Darstellungsschicht verwaltet diese

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

abstrakten Datenstrukturen und ermöglicht die Definition und den Austausch von Datenstrukturen auf höheren Ebenen(...) (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 70).

Diese Aussage lässt darauf schließen, dass der Presentation Layer dafür Sorge trägt, dass die gesendeten Daten auf Seiten des Empfängers verstanden werden können. Dies geht auch aus der Aussage von Schnabel hervor, der sagt: „Die Darstellungsschicht wandelt die Daten in verschiedene Codecs und Formate. Hier werden die Daten zu oder von der Anwendungsschicht in ein geeignetes Format umgewandelt“ (Schnabel, 2016, S. 58).

Bei der letzten bzw. der obersten Schicht handelt es sich um die Anwendungsschicht, auch Application Layer genannt. Dieser Layer stellt eine große Anzahl an Protokollen zur Verfügung (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Ferner wird von dieser Schicht die Verknüpfung zu den untergeordneten Layern erzeugt (Schnabel, 2016).

3.1.7 TCP/IP Referenzmodell

Im Gegensatz zu dem OSI-Referenzmodell, das im letzten Unterkapitel erklärt wurde, besteht das TCP/IP-Referenzmodell nicht aus sieben Layer, sondern aus nur vier Schichten. Eines der wichtigsten Ziele in der Konzeptionsphase dieses Modells war es, eine einwandfreie Verbindung von mehreren Netzen zu ermöglichen. Es wurde nach den beiden wesentlichsten Protokollen, die im Referenzmodell vorkommen, benannt (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Ein weiteres wichtiges Ziel war es, „(...)das Netz bei einem Hardwareausfall von Subnetzen überlebensfähig zu halten(...)“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 71). Dies bedeutet, dass im Falle eines Ausfalls von Geräten zwischen Sender und Empfänger, die bestehende Verbindung bestehen bleiben sollte (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

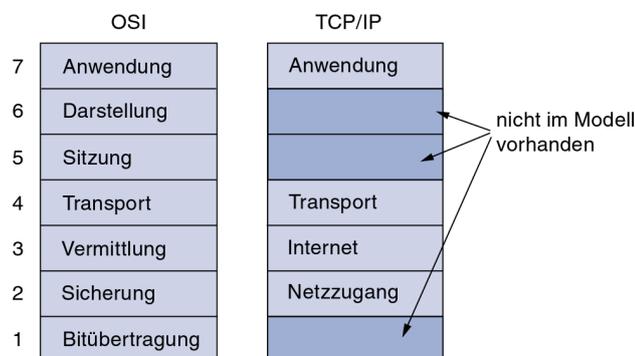


Abbildung 42: Gegenüberstellung der enthaltenen Schichten von beiden Referenzmodellen (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Die obere Abbildung zeigt das OSI-Referenzmodell neben dem TCP/IP-Referenzmodell. Gut ersichtlich ist, dass die erste, fünfte und die sechste Schicht in diesem Modell nicht vorhanden sind. Nachstehend wird auf die vier Schichten dieses Modells eingegangen.

Die unterste Schicht wird als Netzzugangsschicht bzw. Link Layer bezeichnet (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Dieser Layer „(...)beschreibt, was die Verbindungen wie serielle Leitungen und klassisches Ethernet tun müssen, um die Anforderungen dieser verbindungslosen Internetschicht zu erfüllen“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 71). Ferner wird in dem Buch „Computernetzwerke“ davon gesprochen, dass es sich bei der Netzzugangsschicht nicht um dieselbe Art Schicht, wie etwa beim OSI-Schichtmodell, handelt (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Dieser Layer ist „(...)eher eine Schnittstelle zwischen Hosts und Übertragungsleitungen“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 71). Neben der schon angesprochenen Anzahl an enthaltenen Layern, ist diese Tatsache eine zweite Unterscheidung zu dem vorherig beschriebenen Referenzmodell.

Die zweite Schicht im TCP/IP-Referenzmodell wird Internetschicht bzw. Internet Layer genannt (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Aus der schon beschriebenen Abbildung kann hergeleitet werden, dass sich diese Schicht auf derselben Höhe, wie die Vermittlungsschicht im OSI-Modell befindet und somit ähnliche Aufgaben hat. Tanenbaum und Wetherall bestätigen dies mit der folgenden Aussage:

Anhand von Abbildung 1.21 können Sie sehen, dass die Internetschicht grob der OSI-Vermittlungsschicht entspricht. Ihre Aufgabe ist es, den Hosts zu ermöglichen, Pakete in jedes beliebige Netz einzuspeisen und unabhängig an das (potentiell in einem anderen Netz befindliche) Ziel zu befördern (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 71).

Ferner wird darauf hingewiesen, dass die Reihenfolge der empfangenen Pakete nicht unbedingt der Sendereihenfolge entsprechen muss. Sollte die genaue Reihenfolge der gesendeten Datenpakete nachträglich erforderlich werden, kann diese von den nachfolgenden Schichten wieder rekonstruiert werden. In diesem Layer ist ein Protokoll spezifiziert, das Internet Protocol (IP) genannt wird. Dem Internet Protocol wiederum, steht ein weiteres Protokoll zur Verfügung. Bei diesem handelt es sich um das sogenannte Internet Control Message Protocol, auch als ICMP bezeichnet. Hauptaufgabe der Internetschicht besteht darin, die korrekte Zustellung der IP-Pakete zu gewährleisten (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Bei der Transportschicht (Transport Layer) handelt es sich um die dritte Schicht in diesem Referenzmodell (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Generell könnte wieder vermutet werden, dass dieser Layer die gleichen Aufgaben wie dessen Pendant im OSI-Referenzmodell hat, da diese ebenfalls auf der gleichen Ebene liegen. Diese Vermutung wird anhand der folgenden Aussage bestätigt: „Wie die OSI-Transportschicht soll sie Peer-Einheiten auf den Quell- und Ziel-Hosts die Kommunikation ermöglichen“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 72). Die Schicht enthält zudem zwei End-to-End-Protokolle; das Transmission Control Protocol (TCP) und das User Datagram Protocol (UDP) (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Bei dem TCP handelt es sich um eine sogenannte verbindungsorientierte Protokollart. Diese ist dazu ausgerichtet Datenverluste zu unterbinden (Schnabel, 2016). Tanenbaum und Wetherall sprechen deshalb von einem sogenannten zuverlässigen Protokoll. Das Transmission Control Protocol unterteilt den ankommenden Datenstrom in einzelne Pakete und gibt diese an den nächsten Layer weiter. Am Ende werden die einzelnen Datenpakete wieder zu einem kompletten Datenstrom zusammengefügt (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Dies ist dadurch möglich, da die entstehenden Datenpakete bei der Segmentierung einen Header hinzugefügt bekommen. In diesem Header befinden sich verschiedenste Informationen (Kontroll- und Steuerinformationen) Ferner wird diesen Paketen auch eine fortlaufende Nummer hinzugefügt. Ein TCP-Paket besteht aus einem Header- und einem Datenbereich. Die im Header enthaltenen Daten sorgen für eine sichere Verbindung. Ein solcher Header setzt sich aus mindestens fünf Blöcken zu je 32-Bit zusammen (Schnabel, 2016). Die untenstehende Grafik soll den Aufbau bzw. die Bestandteile eines TCP-Headers veranschaulichen.

Quell-Port		Ziel-Port	
Sequenz-Nummer			
Acknowledgement-Nummer			
D. O.	Res.	Flags	Window-Größe
Check-Summe		Urgent-Pointer	
Optionen/Füllbits			
Daten....			

Abbildung 43: Bestandteile eines TCP-Headers (Schnabel, 2016)

Schnabel spricht ferner von einer ganzen Reihe an Funktionen bzw. Aufgaben dieses Protokolls. Dazu gehören die eben angesprochene Segmentierung und das Verbindungsmanagement, die Fehlerbehandlung, die Flusststeuerung sowie die Anwendungsunterstützung (Schnabel, 2016).

Das Empfangsgerät schickt dem Sendegerät für jedes empfangene Paket eine Art Empfangsbestätigung. Bleibt diese aus, wird das Datenpaket erneut gesendet. Ferner ist jedes TCP-Package bzw. TCP-Messages mit einer laufenden Nummer versehen, um den beiden beteiligten Geräten zu ermöglichen, die ursprüngliche Reihenfolge der Pakete wiederherzustellen (Schnabel, 2016).

Mit Hilfe der Flusssteuerung gelingt es die gewählten Übertragungskanäle dynamisch auszunutzen. So kann einem möglichen Engpass entgegengewirkt werden. Dies ist notwendig, da bei einer paketerorientierten Übersendung von Daten, die über keinerlei temporäre Zuordnung verfügt, keine Annahme bezüglich der Bandbreite getroffen werden kann. Ergänzend kommt die Tatsache dazu, dass die von den Paketen genommenen Übertragungskanäle für das angesprochene Protokoll nicht verfolgbar sind (Schnabel, 2016).

Im Gegensatz zu dem Transmission Control Protocol ist das User Datagram Protocol ein verbindungsloser Protokolltyp, der zudem nicht als zuverlässig, sondern als unsicher definiert ist. Generell hat dieses Protokoll die gleichen Aufgaben wie das TCP, jedoch fehlen so gut wie alle Arten von Kontrollfunktionen (Schnabel, 2016). Vorteil dabei ist laut Schnabel, dass es „schlanker daher kommt und einfacher zu verarbeiten ist“ (Schnabel, 2016, S. 426). Zwei Kontrollfunktionen, die bei dem User Datagram Protocol fehlen, sind unter anderem das Fehlen einer Empfangsbestätigung und eine Sequenzierung der Pakete. Daraus folgt, dass es unter Verwendung von UDP nicht möglich ist, die ursprüngliche Sendereihenfolge beim Empfänger wiederherzustellen (Schnabel, 2016). Tanenbaum und Wetherall äußern sich auf ähnliche Art und Weise wie Schnabel zuvor: „Dieses Protokoll wird vorwiegend für einmalige Anfragen und Anwendungen in Client-Server-Umgebungen verwendet, in denen die Schnelligkeit der Zustellung wichtiger ist als ihre Genauigkeit (...)“ (Tanenbaum & Wetherall, 2012, S. 72-73). Diese beiden Aussagen implizieren, dass je nach Anforderung der Übertragung eines der beiden Protokolle verwendet wird. Die Tatsache, dass in der Transportschicht zwei unterschiedliche Arten von Protokollen implementiert sind, kann als großer Vorteil gewertet werden.

Die letzte Schicht im TCP-IP-Modell ist der Application Layer bzw. die Anwendungsschicht und umfasst viele verschiedene Protokolle, wie etwa das File Transfer Protocol (FTP), das Simple Mail Transfer Protocol (SMTP), das Domain Name System (DNS) und das Hypertext Transfer Protocol (HTTP) (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

3.1.8 Netzwerktopologien

Die Einteilung von Netzwerken kann anhand von zwei Arten von Anordnungen getroffen werden. Die erste Art betrifft die physikalische Anordnung, die zweite die logische Anordnung (Schnabel, 2016). Während bei der zweiten Gliederung spezifiziert wird „(...)wo sich welches Gerät in einem Netzwerk befindet“ (Schnabel, 2016, S. 62), wird bei einer physikalischen Einteilung „das Netzwerk auf einzelne Ports und Kabelverbindungen (...)“ (Schnabel, 2016, S. 62) heruntergebrochen.

Eine passende Definition von Netzwerktopologie äußert Schnabel in seinem Buch: „Unter einer Netzwerk-Topologie versteht man die physikalische Anordnung von Netzwerk-Stationen, die über ein Übertragungsmedium miteinander verbunden sind. Die Netzwerk-Topologie bestimmt die einzusetzende Hardware, sowie die Zugriffsmethoden auf das Übertragungsmedium“ (Schnabel, 2016, S. 62).

Die erste Topologie, die erläutert wird, ist die sogenannte Bus-Topologie, auch Chain- oder Kettentopologie genannt. Diese besteht aus einer Aneinanderreihung von mehreren Netzwerkstationen. Daraus folgt, dass alle Komponenten die Bestandteile einer Kettentopologie sind sowie auf die übertragenen Datenpakete zugreifen können. Am Anfang bzw. am Ende der verwendeten Leitung befindet sich je ein Abschlusswiderstand. Dies hat den Grund, eventuell auftretende Leitungsstörungen zu vermeiden. Anzumerken gilt, dass es bei dieser Art von Topologie keinen übergeordneten Netzwerkbestandteil gibt, der Regeln vorgibt. Dies wird durch ein sogenanntes Zugriffsverfahren erledigt. Dieses gibt ein gewisses Reglement vor, an das sich alle Netzwerkstationen dieser Topologie halten. Ein Problem tritt dann auf, wenn zwei Netzwerkstationen zur selben Zeit Daten übertragen wollen. Als Folge kommt es zu einer Signalüberlagerung. Dies wiederum führt zu einem elektrischen Störsignal auf der Leitung, wodurch die Übersendung der Datenpakete abgebrochen wird. Nach einer vorgegebenen Zeitspanne wird das ganze Prozedere nochmals durchgeführt. Dies geschieht so lange, bis eine erfolgreiche Übertragung stattgefunden hat (Schnabel, 2016).

Die nächste Topologie, die erwähnt werden sollte, ist die sogenannte Ring-Topologie. Die Netzwerkkomponenten sind, wie der Name bereits vermuten lässt, in einem Kreis angeordnet. De facto gibt es keinen typischen Anfang bzw. kein Ende, wie bei der vorhergehend beschriebenen Topologie. Die Topologie besteht aus mehreren Netzwerkkomponenten und mehreren Netzwerkkabeln. Diese Kabel verbinden die einzelnen Stationen miteinander. Die Zugriffsteuerung übernimmt ein Protokoll (Schnabel, 2016).

Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Topologien, gibt es bei der Stern-Topologie eine zentrale Netzwerkkomponente. Diese ist mit allen anderen Netzwerkstationen verbunden. Die Aufgaben der zentralen Komponente übernimmt im Normalfall ein Switch bzw. ein Hub. Diese besteht darin, die Daten zu verteilen. Als zentrale Stelle übernimmt der Switch (oder auch Hub) Daten und sendet diese anschließend weiter. Diese Art von Netzwerk ist nur funktionsfähig, so lange diese zentrale Komponente aufgrund einer möglichen zu hohen Belastung, nicht ausfällt (Schnabel, 2016).

Anzumerken gilt, dass es vorkommen kann, dass verschiedene Topologien miteinander kombiniert werden. Als Beispiel kann eine sogenannte Stern-Bus-Topologie angeführt werden. Eine solche Kombination aus mehreren Topologien besteht aus zwei bis mehreren Sterntopologien. Jedes dieser sternförmig angeordneten Netzwerke besitzt einen Switch bzw. Hub als zentrale Netzwerkkomponente. Diese sind wiederum Bestandteile des Busnetzes. Ein anderes Beispiel für eine Kombination von Netzwerken stellt die Baum-Topologie dar (Schnabel, 2016). Schnabels Definition für eine solche Topologie ist anschließend angeführt. „Meist bildet ein übergeordnetes Netzwerk-Element, entweder ein Koppel-Element oder eine anderen *[sic]* Topologie, die Wurzel. Von dort bildet sich ein Stamm mit vielen Verästelungen und Verzweigungen“ (Schnabel, 2016, S. 66).

Die letzte, in dieser Arbeit beschriebene, Topologie stellt die sogenannte Maschen- oder Mesh-Topologie dar. Hierbei handelt es sich um eine dezentrale Netzwerkarchitektur (Schnabel, 2016). Festzustellen gilt, dass diese Topologie „(...) keinen verbindlichen Strukturen unterliegen muss und in dem alle Netzwerkknoten irgendwie miteinander verbunden sind“ (Schnabel, 2016, S. 66). Diese Aussage lässt den Schluss zu, dass es der Fall sein kann, dass entweder alle Netzwerkkomponenten miteinander in Verbindung stehen oder auch nur ein paar davon. Eines der bekanntesten Beispiele für eine solche Topologie ist das World Wide Web. Vorteil einer solchen Architektur ist, dass bei einem gegebenen Verlust einer Verbindung eine andere Route zum Ziel gewählt werden kann. Diese Art von Netzwerken zeichnet eine hohe Betriebsfähigkeit aus (Schnabel, 2016).

3.1.9 Typische Netzwerkgeräte und häufig verwendete Kabel

Das erste zu erwähnende Netzwerkgerät ist eine Art von Kopplungselement, auch Hub genannt. Dieser stellt eine Verbindung zu mehreren Hosts in einer Netzwerkarchitektur her (Schnabel, 2016). Schnabel erklärt in seinem Buch: „In einem Ethernet-Netzwerk, das auf der Stern-Topologie basiert dient ein Hub als

Verteiler für Datenpakete“ (Schnabel, 2016, S. 119). Dies lässt den Schluss zu, dass ein Hub lediglich Daten empfängt und diese an andere Netzknoten weitergibt. Wichtig zu erwähnen ist, dass dieser die empfangenen Pakete immer an alle Hosts weitergibt. Das bedeutet, dass er keine Unterscheidung treffen kann, für wen die Daten bestimmt sind. Der offensichtliche Nachteil dabei ist, dass demnach immer alle Ports besetzt werden, auch wenn die versendeten Daten nur für einen Host bestimmt sind. Als Folge, können die anderen Hosts keine Daten übertragen. Ergänzend ist zu erwähnen, dass die angesprochenen Kopplungselemente auf dem ersten Layer des OSI-Referenzmodells operieren (Schnabel, 2016).

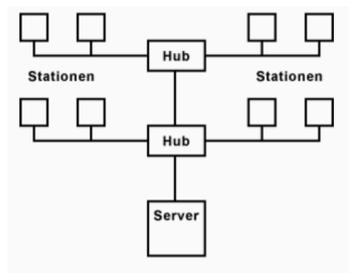


Abbildung 44: Beispielnetzwerk, das Hubs verwendet (Schnabel, 2016)

Wie in der oben angeführten Abbildung zu sehen ist, werden zwei Hubs genutzt. Dies kann unter Umständen nötig werden, falls einer der verwendeten Kopplungselemente über nicht genug Anschlüsse für alle Stationen verfügt (Schnabel, 2016). Sollte dies der Fall sein, werden die beiden Hubs „(...)über einen Uplink-Port eines der beiden Hubs oder mit einem Crossover-Kabel (Sende- und Empfangsleitungen sind gekreuzt) verbunden“ (Schnabel, 2016, S. 120). Erwähnenswert ist auch, dass sich alle Hosts, die mit einem Hub verbunden sind, die Gesamtbandbreite des Netzwerkes gemeinsam nutzen. Die schon erwähnten Nachteile, die bei der Verwendung eines Hubs auftreten, lassen sich nur bedingt durch ihre kostengünstige Herstellung aufwiegen. Deshalb wird häufiger auf sogenannte Switches zurückgegriffen (Schnabel, 2016).

Wie der Hub, stellt auch ein sogenannter Switch eine Verbindung zwischen Hosts im Netzwerk her (Schnabel, 2016). Riggert erwähnt in seinem Buch: „(...)Switches bilden heute den Kern von Netzwerkinfrastrukturen und lösen die lange vorherrschenden HUBs und Bridges ab“ (Riggert, 2014, S. 188). Es liegt die Vermutung nahe, dass die im oberen Absatz beschriebenen Nachteile von Hubs, mit dem Wechsel auf Switches zu tun haben könnten. Grundsätzlich ist die Funktionsweise von Switches und Hubs relativ ähnlich. Ein Switch kann, wie ein Hub, Daten an alle Netzgeräte weitergeben. Diese Art der Datenweitergabe wird,

wie schon öfters erwähnt wurde, auch Broadcasting genannt. Ferner ist es dem Switch auch möglich, Pakete gezielt an bestimmte Netzstationen weiterzuleiten. Diese Funktion kann allerdings nur ausgeführt werden, wenn der Empfänger-Port der Station bekannt ist (Schnabel, 2016). Ist dies nicht der Fall „(...)broadcastet der Switch die Datenpakete an alle Ports. Wenn die Antwortpakete von den Empfängern zurückkommen, dann merkt sich der Switch die MAC-Adressen der Datenpakete und den dazugehörigen Port und sendet die Datenpakete dann nur noch dorthin“ (Schnabel, 2016, S. 121).

Wie schon erwähnt, handelt es sich bei der sogenannten MAC-Schicht (Media-Access Control) um eine Teilschicht der Sicherungsschicht. Dieser Layer wurde mit dem Standard IEEE 802.1 standardisiert (Schnabel, 2016). Bei einer MAC-Adresse handelt es sich um die „(...)physikalische Adresse für Netzwerk-Schnittstellen(...)“ (Schnabel, 2016, S. 153). Die Länge einer MAC-Adresse beläuft sich auf 48 Bit (Schnabel, 2016).

Im Gegensatz zu der Verwendung von Hubs, bei dem die gesamte Bandbreite unter allen verwendeten Stationen aufgeteilt wird, kann mit der Verwendung eines Switches, „(...)die volle Bandbreite der Ende-zu-Ende-Netzwerk-Verbindung(...)“ (Schnabel, 2016, S. 121) von beispielsweise zweier verbundener Hosts ausgeschöpft werden (Schnabel, 2016).

Ein Switch operiert, laut Schnabel, auf der zweiten Schicht des OSI-Modells, der Sicherungsschicht (Schnabel, 2016). Ähnlich äußert sich auch Riggert, der sagt: „Switches leiten Pakete auf der Schicht 2 unter Verwendung von Quell- und Ziel-MAC-Adresse weiter. Um diese Aufgabe zu erfüllen, bauen sie in einem Selbstlernprozess Tabellen auf, die die Zieladresse mit dem entsprechenden Port verbinden“ (Riggert, 2014, S. 188). Des Weiteren erwähnt er, dass Switches auf sogenannte ASICs zurückgreifen (Riggert, 2014). ASIC steht für Application-Specific Integrated Circuits, auf Deutsch auch anwendungsspezifische integrierte Schaltungen genannt (Lewis, 2009).

Mit der Verwendung der ASICs können viele nützliche Funktionen bereitgestellt werden. Eine Funktion betrifft die Datensicherheit. Werden Informationen zwischen zwei Hosts geteilt, können diese nicht von anderen Geräten im Netz eingesehen werden (Riggert, 2014). Einen nächsten Vorteil, der mit der Verwendung von anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen entsteht, beschreibt Riggert wie folgt:

Switches optimieren den Datendurchsatz, da sie Pakete zwischen ihren Ports simultan übertragen können. Dadurch kann die Leistung des Gesamtnetzes beträchtlich erhöht werden. In einem LAN, in dem alle

Knoten direkt mit einem Switchport verbunden sind, steigt der Durchsatz durch bidirektionale Verbindungen. Da jeder Rechner getrennt mit einem Port assoziiert ist, bildet er eine eigene Kollisionsdomäne und ein eigenes Segment (Riggert, 2014, S. 188).

Die Arbeitsweise eines Switches entspricht im Wesentlichen drei Schritten. Der erste Schritt besteht darin, dass diese Art von Kopplungselement prüft, ob das Datenpaket zugestellt werden kann. Dies wird durch die Zieladresse überprüft (Riggert, 2014). Ein weiterer Bestandteil dieses Schrittes besteht darin, dass „(...)unvollständige oder unzulässige Pakete gefiltert werden können. Switches leisten damit eine rudimentäre Fehlerbegrenzungsmöglichkeit“ (Riggert, 2014, S. 190). Im zweiten Schritt wird ein elementarer Prüfmechanismus ausgeführt. Bei diesem wird festgestellt, ob die Paketquelladresse bereits in der Adresstabelle angeführt ist. Sollte diese Analyse negativ ausfallen, wird der sogenannte Adresslernprozess gestartet. Als letzten Schritt wird die Prüfung der Paketzieladresse ausgeführt (Riggert, 2014).

Der im letzten Schritt enthaltene sogenannte Adresslernprozess bzw. die weitere Vorgehensweise wird von Riggert im Detail beschrieben:

Erhält ein Switch ein Paket für das erste Mal für eine noch unbekannte Zieladresse, verfügt er über keinen entsprechenden Eintrag in der Adresstabelle. Um eine Entscheidung darüber zu treffen, ob für das Paket ein korrekter Pfad existiert, sendet der Switch dieses Paket an alle Ports mit Ausnahme desjenigen, auf dem er es empfangen hat. Dieser Prozess wird als Flooding bezeichnet. Neben den unbekanntem Unicast-Paketen „flutet“ ein Switch auch Broadcast- und Multicast-Sendungen (Riggert, 2014, S. 190).

Der gerade beschriebene Prozess wird auch als Learn-and-Stay-Verfahren bezeichnet (Riggert, 2014).

Grundsätzlich können Switches nach der Art der verwendeten Verfahrensweisen unterschieden werden. Die angewandten Verfahren lassen sich in drei Kategorien aufteilen. Diese wären die Weiterleitungsmethode, die Portgeschwindigkeit und die Zwischenspeicherung von Datenpaketen. Weiterleitungsmethoden werden auch Switchingverfahren genannt, welche sich folgendermaßen einteilen lassen (Riggert, 2014):

Die erste Weiterleitungsmethode, die beschrieben werden soll, nennt man „Cut-Throug“ bzw. „Fast-Forward“. Bei dieser Methode beginnt die Bearbeitung des Paketes durch den Switch, gleich nach Erkennung der MAC-Adresse. Dies

bedeutet, dass der Switch den Anfang des Datenpaketes schon weiterleitet, während das Ende des Paketes noch erfasst wird. Als Folge dieses Prozesses tritt nur eine sehr geringe Latenz auf. Diese wiederum steht in keiner Beziehung zur Länge des zu verarbeitenden Paketes. Da eine Zwischenspeicherung bei diesem Verfahren de facto nicht vorhanden ist, wird eine relativ hohe Vermittlungsgeschwindigkeit erreicht. Dieser Vorteil birgt jedoch zugleich auch Nachteile. Es findet beispielsweise keine Prüfung der Steuerfelder statt. Diese sind der MAC-Adresse nachgereiht. Dadurch kann es passieren, dass Datenpakete die Fehler enthalten den Weg ins Netzwerk finden. Ferner kann das beschriebene Verfahren nur zwischen Ports eingesetzt werden, die mit derselben Geschwindigkeit operieren (Riggert, 2014).

Eine weitere Weiterleitungsmethode nennt sich „Store-and-Forward“. Im Gegensatz zur ersten Methode werden die Pakete hier vollständig eingelesen, bevor diese übertragen werden. Dies führt zu einer Abhängigkeit der Latenzzeit von der Datenpaketlänge (Riggert, 2014). Riggert führt dazu folgendes Beispiel an: „Weil jedes gepufferte Byte eine Verzögerung von 8 μ s bewirkt, benötigt ein 64-Byte-Paket 51,2 μ s im Switch und 1518 Byte eines Ethernet-Paketes bereits 1200 μ s (...“ (Riggert, 2014, S. 192). Gleichzeitig erwähnt er jedoch, dass dies nicht zu einer Fehleinschätzung führen sollte, da das Hauptaugenmerk auf den Durchsatz der Daten liegen sollte (Riggert, 2014). Diese Aussage seinerseits erklärt er auf folgende Art und Weise: „Durch das Einlesen des Gesamtpaketes wird eine Anpassung der Transferraten an unterschiedlich schnellen Ports über Puffer möglich. Schnellere Ports müssen auf das vollständige Paket eines langsamen Ports warten und umgekehrt“ (Riggert, 2014, S. 192). Diese beiden Aussagen implizieren, dass es sich bei dieser Funktionsweise der Weiterleitungsmethode um keinen Nachteil handelt. Allerdings äußert sich Schnabel in seinem Buch in einer Art, in der vermutet werden könnte, dass es sich dabei doch um einen Nachteil handeln könnte. Er sagt: „Die Speicherung und Prüfung der Datenpakete verursacht eine Verzögerung, abhängig von der Größe des Datenpaketes“ (Schnabel, 2016, S. 123). Beide Autoren führen jedoch einen eindeutigen Vorteil dieser Methode an. Da im Gegensatz zur vorigen Weiterleitungsmethode das vollständige Datenpaket zwischengespeichert wird, kann dieses ohne Probleme auf Fehler überprüft werden. So kann die Übertragung von fehlerhaften Paketen verhindert werden (Riggert, 2014; Schnabel, 2016).

Schnabel erwähnt weiter, dass bei Switches oft beide Methoden Anwendung finden. Bei dieser Kombination wird in erster Linie das erste beschriebene Verfahren verwendet. Ist es der Fall, dass vermehrt Fehler auftreten, wird auf die zweite Methode gewechselt (Schnabel, 2016). Diese Kombination wird, laut

Riggert, auch als „Fragment Free“ bzw. „Modified Cut-Through“ bezeichnet (Riggert, 2014). Zur Funktionsweise äußert er sich folgendermaßen:

Switches, die beide bisher vorgestellten Modi unterstützen, kennen eine dritte Form des Switching als Kompromiss zwischen Cut-Through- und Store-and-Forward-Technik. Bei langen Intervallen fehlerfreier Frames schaltet er Switch vom Store-and-Forward in den Cut-Through-Modus um, den er erst wieder bei Erreichen eines vordefinierten Fehlerschwellwertes verlässt. Beim Fragment Free-Konzept als besonderer Realisierung des Cut-Through prüft der Switch die ersten 64-Byte eines Rahmens vor einer Weiterleitung, um sicher zu sein, keine Paketfragmente als Ergebnis einer Kollision erhalten zu haben (Riggert, 2014, S. 193)

Beide Autoren äußern sich jedoch etwas unterschiedlich in Bezug auf die Funktionsweise der Kombination dieser beiden Weiterleitungsmethoden. Während Schnabel sagt, dass die „Cut-Throug-Methode“ in erster Linie verwendet wird und dann auf die „Store-and-Forwad-Methode“ umgeschaltet wird, beschreibt Riggert die besagte Reihenfolge genau umgekehrt (Riggert, 2014; Schnabel, 2016).

Ein weiteres Merkmal anhand dessen Switches unterschieden werden können, betrifft die Portgeschwindigkeit. Operieren zwei Ports mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, spricht man von asymmetrischen Switching. Arbeiten beide Ports mit gleicher Geschwindigkeit, wird von symmetrischem Switching gesprochen (Riggert, 2014).

Das letzte Unterscheidungsmerkmal betrifft die Zwischenspeicherung von Datenpaketen. Wie in den Weiterleitungsmethoden beschrieben, gibt es verschiedene Funktionsweisen des Switchings (Riggert, 2014).

Die Vermittlungstätigkeit eines Switches kann auf drei verschiedene Weisen durchgeführt werden. Die erste Art wird „Shared Memory Switching“ genannt. Bei diesem Switching wird davon ausgegangen, dass die Arbeitsweise eines Rechners und eines Switches nahezu ident ist. Über die sogenannten Eingangsschnittstellen werden Daten empfangen. Der Datenstrom wird bearbeitet und anschließend an die Ausgangs-Ports weitertransferiert (Riggert, 2014). Riggert merkt dazu an:

Der Prozessor extrahiert dazu die Zieladresse, sucht den entsprechenden Ausgangsport und kopiert das Paket in den gemeinsamen Shared-Memory-Puffer. Als Folge ergibt sich eine Geschwindigkeitsabschätzung aus der Überlegung, dass wenn N Pakete/s simultan in den und aus dem Speicher

ein- und ausgelesen werden können, die Vermittlungsrate $N/2$ Pakete/s nicht übersteigen kann (Riggert, 2014, S. 196).

Bei der nächsten Vermittlungstätigkeit handelt es sich um das „Bus-Switching“. Bei diesem Verfahren wird ein Datenpaket vom Eingangsport zum Ausgangsport nicht mit Hilfe des Prozessors, sondern über einen Bus übergeben. Anzumerken gilt, dass über diesen Bus immer nur ein Datenpaket übertragen werden kann. Das bedeutet, solange der Bus mit der Übertragung eines Paketes beschäftigt ist, müssen noch zu übertragende Datenpakete warten (Riggert, 2014).

Das letzte zu erwähnende Prinzip nennt sich „Matrix-Switching“. Dieses Verfahren setzt bei dem vorher beschriebenen an, um die erwähnte Beschränkung der verwendeten Busleitung zu umgehen. Im Gegensatz zu dem bereits angeführten „Bus-Switching“ werden der Sende- und Empfangsport mittels einer Matrix von Verbindungen verbunden (Riggert, 2014). Riggert äußert sich zu der Vorgehensweise folgendermaßen:

Ein Paket, das an einem Eingangsport eintrifft, wird auf den horizontalen Bus übertragen bis es sich mit dem vertikalen Bus schneidet, der zum gewünschten Ausgangsport führt. Ist diese Leitung durch die Übertragung eines anderen Paketes blockiert, muss das Paket in die Warteschlange des Eingangsports gestellt werden (Riggert, 2014, S. 196).

Diese Aussage über die Funktionsweise lässt darauf schließen, dass der Datendurchsatz eines Switches, der das letztbeschriebene Verfahren verwendet, höher sein muss, als bei dem „Matrix-Switching“-Verfahren.

Im Gegensatz zu einem Switch arbeitet ein Router nicht auf der 2. Schicht, sondern auf Layer 3 des OSI-Referenzmodells. Mit der Verwendung eines solchen Routers ist es möglich, eine Verbindung von mehreren Netzwerken herzustellen (Schnabel, 2016). Riggert nennt in seinem Buch folgende Kurzbeschreibung von einem Router: „Router verknüpfen zwei Netzwerke über die Vermittlungsschicht 3 des OSI-Referenzmodells also auf der Grundlage von IP-Adressen. Die Weiterleitung der Pakete beruht dabei auf Einträgen in der Routingtabelle“ (Riggert, 2014, S. 208). Mit der von Riggert angesprochenen Routingtabelle wird definiert, welche Route ein Paket vom Sender zum Empfänger verwendet (Riggert, 2014). Schnabel äußert sich dazu folgenderweise: „Es handelt sich dabei um ein dynamisches Verfahren, das Ausfälle und Engpässe ohne den Eingriff eines Administrators berücksichtigen kann“ (Schnabel, 2016, S. 128). Dies lässt darauf schließen, dass den gesendeten Datenpaketen, im Falle eines Ausfalles von einem oder mehrerer

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

Netzknoten, immer eine oder sogar mehrere alternative Routen zum Ziel zur Verfügung stehen.

Der Aufgabenbereich eines Routers kann grundsätzlich in 4 Teile gegliedert werden. Der erste Teil besteht aus der Erkundung von vakanten Wegen, die ein Datenpaket zum Ziel verwenden kann. Der nächste Teil beinhaltet eine Art Bewertung der verfügbaren Wege. Diese Reihung wird anhand von diversen Eigenschaften erstellt (Schnabel, 2016). Der nächste Schritt ist das „Herstellen einer physikalischen Verbindung zu anderen Netzwerken“ (Schnabel, 2016, S. 128). Die sogenannte Fragmentierung ist der letzte Teilbereich (Schnabel, 2016). Unter Fragmentierung, versteht man in diesem Zusammenhang das „Anpassen der Datenpakete an die Übertragungstechnik“ (Schnabel, 2016, S. 128).

Neben dieser Eigenschaft bzw. neben den schon beschriebenen, nennt Riggert weitere Eigenschaften, die ein Router innehat. Durch die schon angesprochene Verbindung von mehreren Netzwerken, die ein Router ermöglicht, kommt es zu einer Ausdehnung des Netzes. Diese Ausdehnung wirkt sich in erster Linie auf die Anzahl der Stationen aus. Eine weitere wichtige Eigenschaft eines Routers ist, dass die Verwendung von mehreren Protokollstapel gestattet ist (Riggert, 2014). Die letzte Funktion, die hier genannt werden soll, wird von Riggert folgendermaßen beschrieben: „Router steuern den Netzzugang. Da sie die Protokolle der Schicht 3 interpretieren, können sie Filter bzw. Zugriffslisten zum Schutz vor unberechtigtem Zugriff konfigurieren“ (Riggert, 2014, S. 209). Beispielsweise wäre es möglich den Zugriff auf das Netz, hinsichtlich einer bestimmten Zeitspanne, zu beschränken (Riggert, 2014).

Abschließend sollen, anhand der nachstehenden Tabelle, die bestehenden Unterschiede zwischen einem Switch und einem Router erläutert werden.

Merkmal	Switch	Router
Wegewahl	anhand der physikalischen MAC-Adresse	anhand der logischen Netzwerkadresse
Protokolltransparenz bezüglich Schicht 3	ja	Router gehören einer bestimmten Protokollfamilie an oder sind multiprotokollfähig
Adressierung	direkte Adressierung der Zielstation auf der Basis eines eindeutigen herstellerabhängigen Adressbestandes	indirekte Adressierung auf der Basis eines hierarchischen globalen Schemas
Adresstabellen	Adresstabellen nach dem Learn-and-stay-Verfahren	Routingtafel mit Subnetzadressen und Zuordnung zwischen logischer Netzwerk- und physikalischer MAC-Adresse
Broadcastunterdrückung	nein	ja
Überlast-Feedback	nein	ja
redundante Wege	nein	Router kennen die Netztopologie und wählen den optimalen Weg gemäß einer Metrik

Abbildung 45: Unterschiede zwischen Switch und Router (Riggert, 2014)

Ersichtlich wird, dass die Unterschiede mehrere Merkmale betreffen. Während Switches ihre Routen anhand der MAC-Adresse wählen, verwenden Router logische Netzwerkadressen. Ein weiterer wichtiger Unterschied betrifft die Unterdrückung von Broadcasting. Wie in den vorigen Absätzen erläutert wurde, verwenden Switches auch Broadcast-Übertragungen. Diese Art der Übertragung wird bei Routern nie eingesetzt (Riggert, 2014).

Nach der Erläuterung eines Switches und Routers, wird nun eine Kombination von beiden Geräten untersucht. Diese Kombination wird „Layer-3-Switch“ genannt. Dieses Gerät unterstützt das allgemeine Switching, wie auch das Routing (Schnabel, 2016). Aufgrund dieser Tatsache kann angenommen werden, dass die Wahl der Routen durch MAC-Adressen auch auf Basis der Netzwerkadresse getroffen werden kann. Schnabel bestätigt dies durch folgende Aussage: „In der Praxis sieht das so aus, dass die Entscheidung zur Weiterleitung von Datenpaketen anhand der MAC-Adressen oder der IP-Adressen erfolgen kann“ (Schnabel, 2016, S. 130). Durch diese Kombination aus einem Router und einem Switch arbeiten diese mit geringerer Latenzzeit bzw. besitzen einen größeren Durchsatz an Daten als herkömmliche Router. Dieser Geschwindigkeitsvorteil wird dadurch erreicht, dass die Vermittlungstätigkeit des jeweils ersten Paketes, die eines Routers entspricht. Im Allgemeinen ist der Weg anschließend bekannt und die nachfolgenden Pakete werden wie bei einem Switch behandelt. Ferner sind Layer-3-Switches, hinsichtlich des Gerätepreises, günstiger (Schnabel, 2016).

In den nächsten Abschnitten sollen typische Kabel beschrieben werden, die im Netzwerkbereich eingesetzt werden. Die erste Art von Netzkabel stellen sogenannte Twisted-Pair-Kabel dar (Riggert, 2014). Diese bestehen aus „Kupferkabel mit einem oder mehreren verdrehten Leitungspaaren“ (Riggert, 2014, S. 58). Riggert beschreibt den Grund für diese Art von Aufbau folgendermaßen:

Fast alle Dienste benötigen zur Signalübertragung zwei Paare, d.h. vier Adern: ein Paar für das Senden, das andere für den Datenempfang. Um eine Störung der Signale auf den Leitungspaaren zu verhindern, sind die Adern symmetrisch gegeneinander verdreht. Dadurch neutralisieren sich die elektromagnetischen Felder, die von stromleitenden Adern ausgehen, weitgehend (Riggert, 2014, S. 58).

Schnabel äußert sich ähnlich zum Aufbau eines Twisted-Pair-Kabels. Ferner weist er darauf hin, dass zusätzlich eine Folie aus Aluminium bzw. ein Drahtgeflecht die Aderpaare umgeben kann. Dies hat den Zweck, niederfrequente Felder abzuschirmen (Schnabel, 2016). Dazu meint er: „Eine

Kombination aus Geflecht- und Folienschirm hat sich als sehr effektiv erwiesen, um innere und äußere elektromagnetische Einflüsse zu verringern“ (Schnabel, 2016, S. 82). Eine weitere Ausbaustufe, die Abschirmung betreffend, nennt der Autor in seinem Buch „Netzwerktechnik-Fibel“: „Um statische Aufladungen durch die Reibung zwischen Metallfolie, Drahtgeflecht und den Adernpaaren zu vermeiden, befindet sich dazwischen eine antistatische Kunststoffolie, die aber keine abschirmende Funktion oder Wirkung hat“ (Schnabel, 2016, S. 82).

Die verschiedensten Arten der Abschirmung der TP-Kabel haben verschiedene Bezeichnungen. Die folgenden Absätze sollen eine Übersicht schaffen.

Die einfachste Art eines TP-Kabels bildet das sogenannte Unscreened/Unshielded Twisted-Pair-Kabel, kurz auch U/UTP genannt (Schnabel, 2016). Nachstehend eine Abbildung eines solchen Kabels.

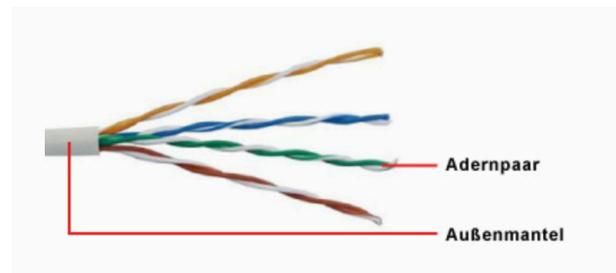


Abbildung 46: Unscreened/Unshielded TP-Kabel (Schnabel, 2016)

Wie der Name schon vermuten lässt, sind die enthaltenen Adernpaare ungeschirmt. Der Vorteil daran ist, dass so ein relativ dünnes Kabel realisiert werden kann (Schnabel, 2016).

Die nächste Stufe der Abschirmung wird Screened/Unshielded Twisted-Pair-Kabel (S/UTP) genannt. Im Gegensatz zu dem vorher beschriebenen Kabel, sind die Adernpaare mit einem Schirm aus Aluminiumfolie, einem Geflecht aus Kupfer oder auch aus beiden Materialien umgeben. Wahlweise kann auch von F/UTP (Schirm bestehend aus Folie) oder SF/UTP (Schirm bestehend aus Folie und Kupfergeflecht) gesprochen werden. Schnabel weist darauf hin, dass die Güte von Screened/Unshielded Twisted-Pair-Kabel bedeutend höher ist, als bei einem U/UTP-Kabel (Schnabel, 2016).

Sind die gekreuzten Paare mit Hilfe einer Folie abgeschirmt, wird von sogenannten Unscreened/Foiled Twisted-Pair-Kabel, oder auch U/FTP, gesprochen (Schnabel, 2016).



Abbildung 47: Unscreened/Foiled TP-Kabel (Schnabel, 2016)

Bei dieser Art kann hinsichtlich der Anzahl der Paare innerhalb eines Schirmes unterschieden werden. Es gibt Bauarten, bei denen auch zwei Aderpaare miteinander abgeschirmt sind. Grundsätzlich sind diese Kabel etwas dicker und besitzen dadurch einen etwas höheren Biegeradius (Schnabel, 2016).

Die nächste Ausbaustufe unterscheidet sich zu der zuvor beschriebenen Abschirmung dahingehend, dass zusätzlich zu den einzeln geschirmten Aderpaaren, das Gesamtbündel mit einem Kupferdrahtgeflecht umgeben ist und wird Screened/Foiled Twisted-Pair-Kabel, oder kurz S/FTP, genannt. (Schnabel, 2016).

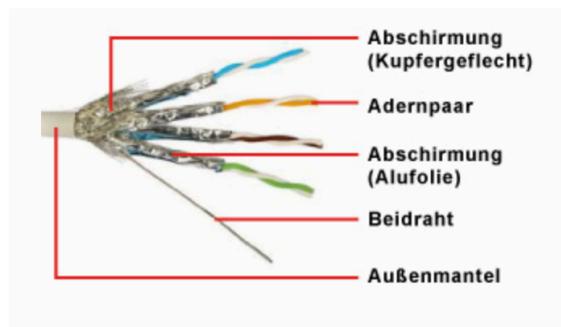


Abbildung 48: Screened/Foiled TP-Kabel (Schnabel, 2016)

Wird statt dem Kupferdrahtgeflecht eine Folie als Gesamtschirmung verwendet, nennt man diese Kabel F/FTP-Kabel (Foiled/Foiled Twisted-Pair-Kabel). Wenn die Gesamtschirmung aus Folie und Drahtgeflecht besteht, spricht man von sogenannten Screened Foiled/Foiled Twisted-Pair-Kabel (SF/FTP) (Schnabel, 2016).

TP-Kabel unterliegen einer Norm, in der sie in verschiedenen Kategorien bzw. Klassen eingeteilt sind. Grundsätzlich gibt es drei verschiedene Standardisierungen. Die erste Art dieser Standards wird EIA/TIA 568A und EIA/TIA 568B genannt (Schnabel, 2016). Schnabel äußert sich dazu folgendermaßen: „EIA/TIA sind zwei US-Standardisierungsorganisationen Electronic Industries Alliance (EIA) und Telecommunications Industry Association (TIA), die zum Beispiel für die oft zitierten Aderbelegung der RJ45-Stecker und

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

Kabel-Kategorien für Twisted-Pair-Kabel verantwortlich sind“ (Schnabel, 2016, S. 83). In diesem US-Standard, gibt es insgesamt sechs Kategorien, wobei die Kategorien eins bis vier heutzutage vernachlässigt werden können, da diese nicht mehr zur Anwendung kommen. Parallel zu den US-Standards gibt es den sogenannten ISO/IEC 11801-Standard. Dieser setzt ab der fünften Kategorie an. Neben diesen beiden Standards wiederum, gibt es noch eine europäische Norm namens EN 50173. Diese teilt Twisted-Pair-Kabel in Klassen ein (Schnabel, 2016).

EIA/TIA 568	ISO/IEC 11801	EN 50173	Anwendung
Cat. 1	-	-	Telefon und Modem
-	-	Class A	Telefon und Modem
Cat. 2	-	Class B	alte Terminal-Systeme, ISDN
Cat. 3	-	Class C	10Base-T, 100Base-T4, ISDN, analoges Telefon
Cat. 4	-	-	16 MBit Token Ring
	IBM Typ 1/9	-	4 und 16 MBit Token Ring
Cat. 5	Cat. 5	Class D	100Base-TX, SONET, SOH
Cat. 5e	Cat. 5e	Class D	1GBase-T
Cat. 6	Cat. 6	Class E	1GBase-T, 155-MBit-ATM, 622- MBit-ATM
Cat. 6A	Cat. 6A	Class EA	10GBase-T
-	Cat. 7	Class F	10GBase-T (bis 100 Meter)
-	Cat. 7A	Class FA	10GBase-T
-	Cat. 8	Class G	40GBase-T und 100GBase-T

Abbildung 49: Übersicht der verschiedenen Klassifizierungen (Schnabel, 2016)

Die obenstehende Abbildung soll die verschiedenen Klassifizierungen verdeutlichen. Da die Tabelle für sich spricht, soll im Folgenden nicht weiter auf diese Unterscheidungen eingegangen werden.

Laut Schnabel wurde das sogenannte Koaxialkabel für eine lange Zeitspanne in der Netzwerktechnik verwendet. Diese wurden von den schon beschriebenen Twisted-Pair-Kabel ersetzt. Da in der Broadcasttechnik nach wie vor Koaxialkabel Verwendung finden, soll diese Art von Kabel dennoch beschrieben werden (Schnabel, 2016).

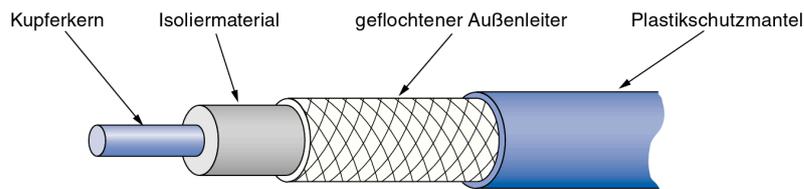


Abbildung 50: Aufbau Koaxialkabel (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Wie aus der oberen Abbildung ersichtlich ist, besteht ein Koaxialkabel aus einem Innenleiter und einem Außenleiter. Den Innenleiter bildet ein Kupferkern. Um diesen Kupferdraht befindet sich das Isoliermaterial, das den Zweck erfüllt, Innen- bzw. Außenleiter voneinander zu trennen. Der geflochtene Außenleiter wird wiederum von einem Mantel aus Plastik geschützt (Tanenbaum & Wetherall, 2012). Wird Spannung angelegt, bildet sich zwischen den beiden Leitern ein elektrisches Feld. (Schnabel, 2016) Durch die Beschaffenheit des Kabels weist das Koaxial eine gute Mischung aus Bandbreite und einer Unempfindlichkeit an Rauschen auf (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

Bei dieser Art von Kabel handelt es sich um eine unsymmetrische Kabelart. Werden digitale Signale über dieses Kabel übertragen, kommt es zur Erzeugung eines Potentialunterschiedes zwischen beiden Leitern (Schnabel, 2016). Schnabel beschreibt weiter: „Damit die elektrische Feldverteilung wirksam wird, muss der Außenleiter (Abschirmung, Abschirmmantel) an Erde gelegt werden. Hierdurch sind beide Leiter gegenüber der Erde spannungsmäßig ungleich. Deshalb sind Koaxialkabel unsymmetrische Leitungen (Paralleldrahtleitungen sind erdsymmetrisch)“ (Schnabel, 2016, S. 103).

Wie schon in einem der vorherigen Kapitel erwähnt, haben Koaxialkabel typischerweise eine Impedanz von 50 bzw. 75 Ohm (Schnabel, 2016).

Die nächste häufig verwendete Art von Kabel, die es zu beschreiben gilt, sind die sogenannten Glasfaserkabel bzw. Lichtwellenleiter, abgekürzt auch LWL genannt. Mit einem LWL ist es möglich, Daten mit Hilfe von Lichtsignalen zu übermitteln (Schnabel, 2016). Schnabel beschreibt den Vorgang vereinfacht folgendermaßen: „Während elektrische Signale in Kupferleitungen als Elektronen von einem zum anderen Ende wandern, übernehmen in Lichtwellenleitern (LWL) die Photonen (Lichtteilchen) diese Aufgabe“ (Schnabel, 2016, S. 105).

Optische Signale können so große Strecken zurücklegen, ohne einen Verstärker zu benötigen. Trotz der beträchtlichen Entfernung ist es möglich eine große Bandbreite von circa 60 THz aufrecht zu erhalten (Schnabel, 2016).

Einen wichtigen Punkt, bezüglich der Begrifflichkeit von Lichtwellenleiter beschreibt Schnabel wie folgt:

Die Glasfaser ist ein Lichtwellenleiter (LWL), dessen Fasern aus dem Grundstoff Glas bestehen. Er wird häufig mit dem Begriff Lichtwellenleiter verwechselt. Lichtwellenleiter ist der Oberbegriff für alle Licht-leitenden Leitungen, worunter auch die Glasfaser fällt. Lichtwellenleiter gibt es als Glas-, Quarz- oder Kunststofffaser (Schnabel, 2016, S. 105).

Wie schon erwähnt, wird bei der Übertragung von Daten durch Lichtwellenleiter, Licht mit einer genau festgelegten Wellenlänge verwendet. Der Wellenlängenbereich, der für diese Art der Übertragung genutzt wird, liegt bei 800–1550 nm. Grund dafür ist, dass hier drei Wellenlängenbereiche liegen, bei denen die Dämpfung ein Minimum beträgt (Riggert, 2014). Riggert nennt diese Bereiche Fenster und definiert: „Diese sog. Fenster liegen bei 850 nm, 1310 nm und 1550 nm. Eine Ausnahme bilden lediglich die Plastik-LWL-Technik, deren geringste Dämpfung bei 650 nm zu finden ist“ (Riggert, 2014, S. 47). Letztere liegen also im Bereich der Sichtbarkeit von menschlichen Augen, der im Bereich von 400 – 720 nm liegt (Riggert, 2014).

Im den folgenden Absätzen werden hauptsächlich LWL mit Glasfasertechnik beschrieben.

Für eine erfolgreiche Verbindung braucht es eine Sende- bzw. Empfangsleitung. Im Faserkern eines Lichtwellenleiters ist es möglich, dass sich Licht ungebrochen weiterverbreiten kann (Riggert, 2014).

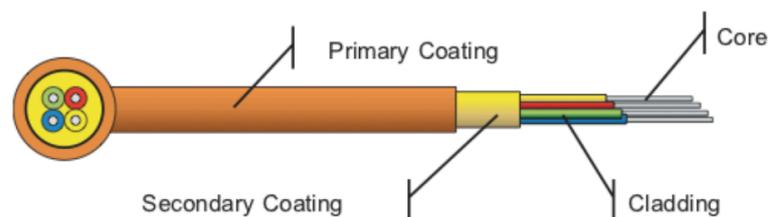


Abbildung 51: Aufbau einer Glasfaser (Riggert, 2014)

In der obenstehenden Abbildung ist der Aufbau einer Glasfaser zu sehen. Diese besteht aus mehreren Bestandteilen. Zum ersten, der weiter oben schon erwähnte Kern, der Durchmesser von 8 μm , 50 μm oder 62,5 μm aufweisen kann. Dieser wiederum ist umringt vom sogenannten Cladding oder auch optischer Mantel genannt. Der Mantel, bestehend aus Quarzglas, sorgt dafür, dass das Licht gebeugt wird. Dies hat zu Folge, dass dieses auf den Core begrenzt bleibt. Typischer Durchmesser eines Claddings beträgt 125 μm . Die

nächste Schicht kann eine substrate Ebene bilden. Diese ist jedoch optional und kommt demnach nicht bei allen Glasfasern vor. Die beiden abschließenden Bestandteile bilden das sogenannte Secondary- bzw. das Primary Coating (Riggert, 2014). Die untenstehende Abbildung zeigt verschiedene Lichtwellenleiter.

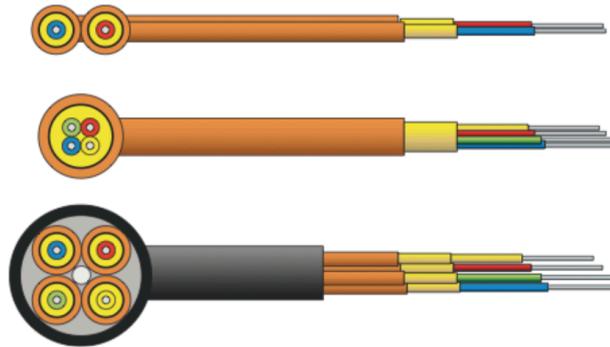


Abbildung 52: verschiedene Lichtwellenleiter (Riggert, 2014)

In einer Glasfaser wird das Licht an der Grenzfläche von Core und Cladding reflektiert. Es ist notwendig, dass die Brechzahl (Brechungsindex) des im Core geführten Lichts größer ist, als der Mantel. Anzumerken gilt, dass der sogenannte Einkopplungswinkel einen größtmöglichen Öffnungswinkel nicht übersteigen sollte (Riggert, 2014). Der Einkopplungswinkel wird definiert als „(...) Winkel zwischen Ausbreitungsrichtung des einfallenden Lichtes zur optischen Achse(...)“ des LWL (Riggert, 2014, S. 48). Ferner meint Riggert: „Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes verringert sich in Abhängigkeit vom Brechungsindex. Dieser gibt den Faktor an, um den sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes in einem Medium im Vergleich zum freien Raum reduziert“ (Riggert, 2014, S. 48).

Die folgende Abbildung zeigt verschiedene Arten von Plastikfasern mit deren Kerndurchmesser. Riggert merkt an, dass diese in der Herstellung günstiger sind, die Dämpfung der betreffenden Fasern, im Vergleich zu Glasfaser, jedoch höher sei (Riggert, 2014).

Kürzel	Faserart	Kerndurchmesser
POF	Reine Plastikfaser	980 - 1000 μm
PCS	Glas mit Weichplastik	200 μm
PCF	Glasfaser mit Plastik	verschieden
HCS	Glas mit Hartplastik	50 - 1000 μm

Abbildung 53: Arten von Plastikfasern (Riggert, 2014)

Die Datenübertragungsrate für Glasfaser kann gesteigert werden, indem Licht mit mehreren Wellenlängen versendet wird (Riggert, 2014). Dies liegt der Tatsache zu Grunde, dass „(...)sich Licht mit unterschiedlicher Wellenlänge nicht gegenseitig beeinflusst(...)“ (Riggert, 2014, S. 49). Hier kommt das sogenannte DWDM-Verfahren zum Einsatz (Riggert, 2014). Der Autor des Buches „Rechnernetze“ beschreibt dieses Verfahren folgendermaßen:

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) teilt eine einzelne Faser damit in viele „virtuelle“ Verbindungen, von denen jede eine unterschiedliche Wellenlänge darstellt. Da jede Wellenlänge eine bestimmte Datenmenge transportiert, lässt sich der Datendurchsatz der bereits bestehenden Glasfaserinfrastruktur um das n-fache steigern, wobei n der Anzahl der verwendeten Farben entspricht (Riggert, 2014, S. 49).

Nach dieser Aussage wäre es so, dass wenn insgesamt 10 Farben verwendet werden, der Durchsatz um das 10-fache gesteigert werden könnte. DWDM-Systeme verwenden meist einen Abstand zwischen den einzelnen Wellenlängen von 1,6 bzw. 0,8 nm (Riggert, 2014).

Um zwei Faserenden miteinander zu verbinden, wird die sogenannte Spleißtechnik verwendet. Vollständigkeitshalber wird erwähnt, dass es bei dieser Technik zwei verschiedene Methoden gibt; das Heiß- bzw. das Kaltspleißen. Notwendigerweise müssen die beiden Enden der Faser passgenau aneinanderstoßen, um eine Dämpfung zu garantieren, die nicht unnötig hoch ist. Sind diese Parameter erfüllt, kann das verlustarme Passieren des Lichts garantiert werden. Sogenannte Optoelektrische Wandler sorgen dafür, dass ein bestehendes elektrisches Signal in Lichtimpulse umgewandelt wird. Um eine bessere eingekoppelte Leistung zu garantieren, kann wahlweise eine Optik zwischengeschaltet werden. Durch diese kann eine erheblich bessere Bündelung realisiert werden (Riggert, 2014).

Die Dämpfung eines Signals, kurz D genannt, wird in dB angegeben und kann folgendermaßen berechnet werden:

$$D = 10 \log (P_1/P_2)$$

Wie aus der Formel ersichtlich ist, handelt es sich bei der Dämpfung um ein logarithmisches Verhältnis. P_1 steht für die angegebene Eingangsleistung, P_2 wiederum für die Ausgangsleistung. Die Dämpfung wird von zwei Gegebenheiten beeinflusst. Zum Ersten von der Absorption und zum Zweiten von der Streuung (Riggert, 2014). Riggert und Schnabel sprechen in ihren Büchern von je drei möglichen Glasfaserprofilen. Diese wären Monomodefasern, Multimode-

Stufenfasern und Multimode-Gradientenfasern (Riggert, 2014; Schnabel, 2016). Im folgenden Absatz werden diese drei Profile beschrieben.

Erstere werden statt Monomodefaser auch Singlemodedefaser genannt und besitzen laut Schnabel einen Durchmesser von 125 μm . Charakterisiert wird eine Singlemodedefaser dadurch, dass die gesendeten Lichtimpulse bzw. Lichtwellen gerade durch das Kabel gelangen (Schnabel, 2016). Riggert äußert sich ähnlich, indem er sagt: „Bei einem Kerndurchmesser von 9 μm kann sich Licht, das eine Wellenlänge von 1,3 μm besitzt, nur noch annähernd gradlinig ausbreiten“ (Riggert, 2014, S. 53). Die Dämpfung bei Monomodefasern ist kleiner als 0,5 dB/km (Riggert, 2014). Singlemodedefaser benötigen jedoch teure Laser. Dadurch erhöhen sich die Equipmentkosten (Schnabel, 2016).

Bei dem nächsten Glasfaserprofil, das beschrieben werden soll, handelt es sich um sogenannte Multimode-Stufenfasern. Diese haben, gesamt gesehen, laut Schnabel, einen Durchmesser im Bereich von 200 bis 500 μm (Schnabel, 2016). Riggert hingegen spricht von einem Manteldurchmesser von 125 μm (Riggert, 2014). Charakterisiert werden diese dadurch, dass gleichzeitig mehrere Lichtwellen gesendet werden (Schnabel, 2016). Riggert gibt diese Definition an: „Der Glasfaserkern besitzt einen konstanten, aber höheren Brechungsindex als der Mantel, so dass es an der Grenzfläche zu einer Totalreflexion des Lichtes kommt, die diesem Typ ihren charakteristischen „Zick-Zack-Lauf“ des Lichtes verleiht“ (Riggert, 2014, S. 53). Schnabel hingegen spricht von einer harten Reflektion. Als Folge verschlechtert sich das Ausgangssignal (Schnabel, 2016). Bei Multimode-Stufenfasern tritt der sogenannte Modendispersionseffekt auf (Riggert, 2014). Riggert erklärt diesen Effekt bzw. nennt mögliche Folgen:

„Aufgrund der unterschiedlichen Wege, die die verschiedenen Wellenlängen des Lichtes durch die Faser nehmen, benötigen die einzelnen Moden eine unterschiedliche Zeitspanne, um die Glasfaserstrecke zu durchqueren. Die einzelnen Moden erreichen folglich das Faserende zu unterschiedlichen Zeiten, so dass der Outputimpuls wesentlich länger zur Erkennung eines Signals sein muss, als der Inputimpuls“ (Riggert, 2014, S. 53).

Eine weitere Folge, die dieser Effekt verursacht, betrifft die maximal mögliche Bandbreite. Durch die Beschränkung der Menge an Lichtimpulsen/Zeiteinheit wird eine Höchstgrenze für die mögliche Bandbreite gebildet (Riggert, 2014).

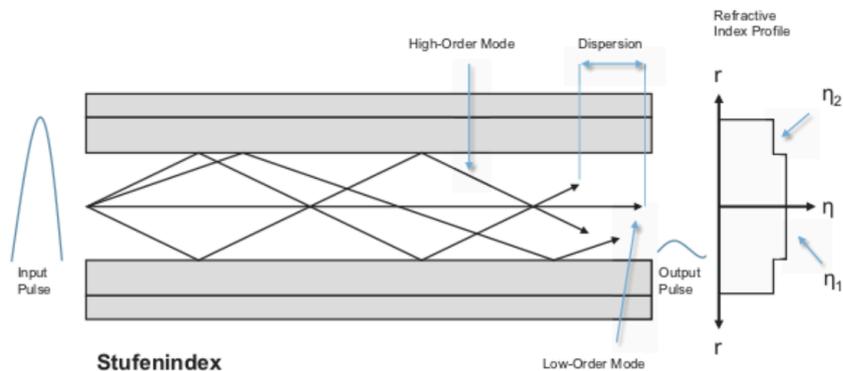


Abbildung 54: Multimode-Stufenfaser (Riggert, 2014)

Mit Hilfe der obenstehenden Abbildung kann veranschaulicht werden, wie die Lichtwellen in der Multimode-Stufenfaser reflektiert werden. Deutlich zu erkennen, sind auch die dadurch auftretenden verschiedenen Wege bzw. die vorhandene Dispersion.

Die letzte Art von Lichtwellenleiter wird Multimode-Gradientenfaser genannt (Riggert, 2014). Wie der Name vermuten lässt, werden auch hier mehrere Lichtwellen auf einmal gesendet. Im Gegensatz zu der vorher beschriebenen Art werden die Lichtwellen nicht hart, sondern weich reflektiert (Schnabel, 2016). Der Brechungsindex verläuft „(...)von der Kernmitte zur Grenzfläche parabelförmig(...)“ (Riggert, 2014, S. 54). Als Folge davon breiten sich die Lichtstrahlen sinusförmig aus. Je niedriger der Brechungsindex in einem Bereich ist, desto schneller breiten sich Moden aus (Riggert, 2014). Abschließend sagt Riggert: „Die Laufzeit der unterschiedlichen Moden durch den Faserkern konvergiert folglich, so dass die zeitliche Ausdehnung von Input- und Outputimpuls nahezu übereinstimmt“ (Riggert, 2014, S. 54). Die Folge davon ist, dass die Modendispersion, im Gegensatz zur Multimode-Stufenfaser, eher gering ausfällt (Riggert, 2014).

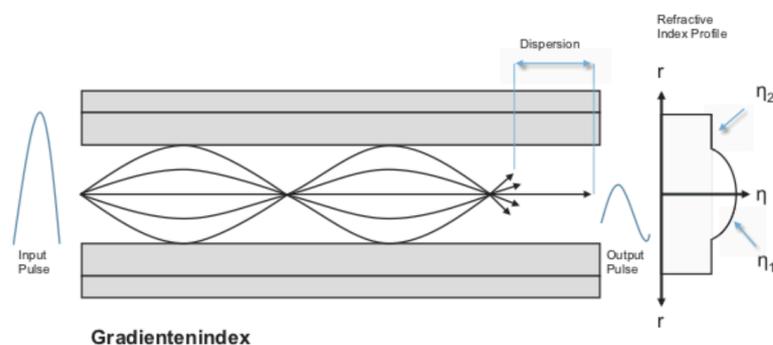


Abbildung 55: Multimode-Gradientenfaser (Riggert, 2014)

Aus der nächsten Abbildung werden die Unterschiede zwischen den drei verschiedenen beschriebenen Fasern, hinsichtlich der Reichweite und der Dämpfung, aufgezeigt.

	Multimode-Stufenfaser	Multimode-Gradientenfaser	Monomodefaser
Reichweite	1 – 2 km	2 – 4 km	> 20 km
Dämpfung	5 dB/km bei 850 nm 3 dB/km bei 1300 nm	2,7 dB/km bei 850 nm 0,8 dB/km bei 1300 nm	1 dB/km bei 850 nm 0,5 dB/km bei 1300 nm

Abbildung 56: Unterschiede zwischen Multimode-Stufenfaser, Multimode-Gradientenfaser und Monomodefaser (Riggert, 2014)

3.2 IP Produktionsumgebung im Broadcastbereich

SDI-Infrastruktur ist seit vielen Jahren ein grundlegender Bestandteil für Video- und Audiokommunikation in Broadcaststudios. Mittlerweile hat sich die Bandbreite von IP-Netzwerken weiter erhöht. Nicht zuletzt wurde dies durch sinkende Herstellungskosten realisiert. Durch die Nutzung dieser Infrastruktur im Broadcastbereich, könnte eine IP-Live Produktionsumgebung entstehen (Kojima, Stone, Chen, & Gardiner, 2015).

3.2.1 Änderungen gegenüber einer SDI-Produktionsumgebung

Besonders im Hinblick auf eine eventuelle zukunftsnahe Umstellung des Produktionsstandards hin zu Ultra High Definition, das neben einer höheren Auflösung auch höhere Bildraten bietet, würde auch eine höhere Übertragungsbandbreite notwendig werden. Der Umstieg von SDI- auf IP-Technologie könnte bezüglich Kosten und Variabilität, Vorteile mit sich bringen. Obwohl, wie im vorigen Kapitel beschrieben wurde, das Serial Digital Interface stetig weiterentwickelt wird, verweist Pfeifer in einem Artikel der FKT auf Nachteile des SDI. Hauptkritikpunkt an SDI ist die zwangsläufige Nutzung vieler Kabel (Pfeifer, 2014). Dieser Nachteil ist die Folge der „(...)unidirektionalen Signalführung und der dezidierten Übertragung von Video und Audio getrennt von Referenz und Steuerung(...)“ (Pfeifer, 2014, S. 500). Die Nutzung vieler Leitungen verursacht wiederum hohe Kosten bzw. fordert einen relativ großen Integrationsaufwand und nimmt viel Platz in Anspruch (Pfeifer, 2014). Zur Veranschaulichung dient die folgende Grafik:

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

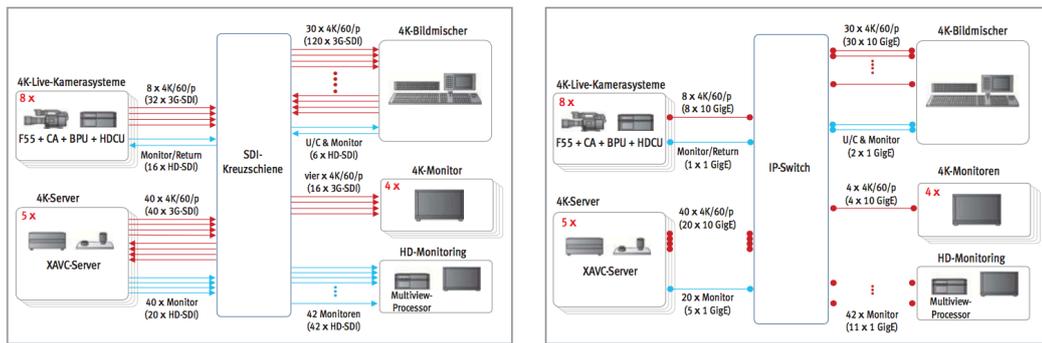


Abbildung 57: SDI- und IP-basierter 4K-Übertragungswagen (Pfeifer, 2014)

Abbildung 57 zeigt einen nahezu identen 4K-Übertragungswagen. Am linken Bild mit herkömmlicher SDI-Verkabelung, am rechten Bild mit IP-Technologie. Für die Übertragung von 8 Kamerasignalen (4K/60p) würden 32 3G-SDI-BNC-Kabel gebraucht werden. Bei der Verwendung von IP-Technologie würde ein Kabel pro Kamera reichen (Pfeifer, 2014).

Im Prinzip würde es bei einem Wechsel von SDI zu IP darauf hinauslaufen, dass SDI-Router, auch Kreuzschienen genannt, durch IP-Switches ersetzt werden. Dies würde eine neue Schnittstelle zu den angeschlossenen Produktionsanlagen verfügbar machen. Diese Netzwerkschnittstelle müsste jedoch in der Lage sein, mit jeglichem angeschlossenen Produktionsequipment kommunizieren zu können, um so eine IP-basierende Live-Produktion möglich zu machen (Kojima et al., 2015).

Die folgenden beiden Grafiken zeigen einen Vergleich zwischen einem SDI-basierenden Live-Produktionssystem und eines, welches auf IP basiert.

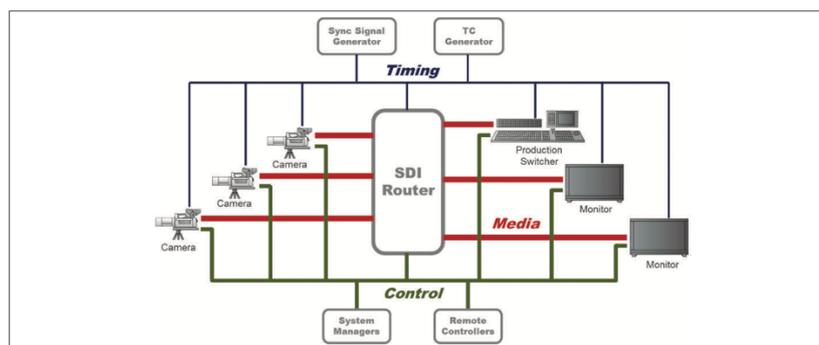


Abbildung 58: Vereinfachte Darstellung einer auf SDI-basierenden Live-Produktionsumgebung (Kojima et al., 2015)

Um die Grafik deutlicher zu machen, wurde auf die Audio-Verbindungen verzichtet. Die roten Linien zeigen die Medienebene, die blauen Linien die

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

Timingebene und die grünen Linien sollen die Kontrollebene verdeutlichen. Jeder einzelne Bestandteil des Produktionsequipments muss mit allen drei Ebenen verbunden sein, um alle notwendigen Funktionen zu erreichen, die für eine Live-Produktion notwendig sind (Kojima et al., 2015).

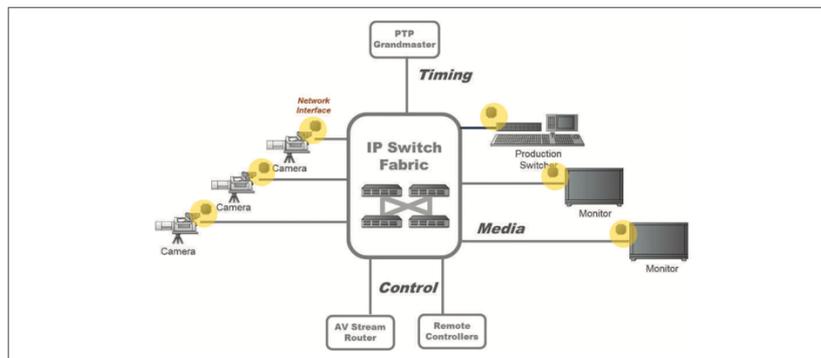


Abbildung 59: Darstellung einer auf IP-basierenden Live-Produktionsumgebung (Kojima et al., 2015)

In dieser Abbildung ist deutlich zu erkennen, dass jegliches Produktionsequipment mit dem IP-Switch verbunden ist. Die Verbindung zur schon angesprochenen Medienebene läuft ebenfalls über den Switch. Für das Timing ist ein PTP Grandmaster zuständig. PTP steht für Precision Time Protocol und sorgt für eine Synchronisation im Netzwerk. Für die Kontrolle (Kontrollebene) sorgt eine Software (Kojima et al., 2015).

Ein grundlegender Unterschied zwischen SDI- und IP-basierenden Produktionssystemen lässt sich anhand dieser beiden Grafiken leicht erkennen. Während bei der ersten genannten, jede Produktionseinheit mit allen drei Ebenen verbunden sein muss, läuft bei IP-Systemen die Kommunikation aller Ebenen (Medienebene, Timingebene, Kontrollebene) über den zentralen Switch (Kojima et al., 2015).

3.2.2 Mögliche Architekturen

Kojima, Stone, Chen und Gardiner geben in ihrem Technical Paper, das im SMPTE Motion Imaging Journal im März 2015 erschienen ist, zwei Beispiele, wie eine IP-Architektur aufgebaut sein kann. Die obenstehende Abbildung zeigt den einfachen Aufbau einer solchen Architektur. Erkennbar ist, dass die drei zuvor angesprochenen Ebenen in zwei Layer verpackt sind. Der obere Layer (Application Layer) enthält die Control Plane, der Untere, hier auch Device Layer genannt, enthält hingegen die Media Plane, sowie die Timing Plane. Im Device Layer befindet sich jegliches Produktionsequipment sowie der PTP Grandmaster.

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

Jegliche Art von Anwendung, egal ob Hardware oder Software, befindet sich im oberen Layer. Zwischen den beiden Layern befinden sich sogenannte Device Level Interfaces. Diese sind für jedes Gerät spezifisch (Kojima et al., 2015).

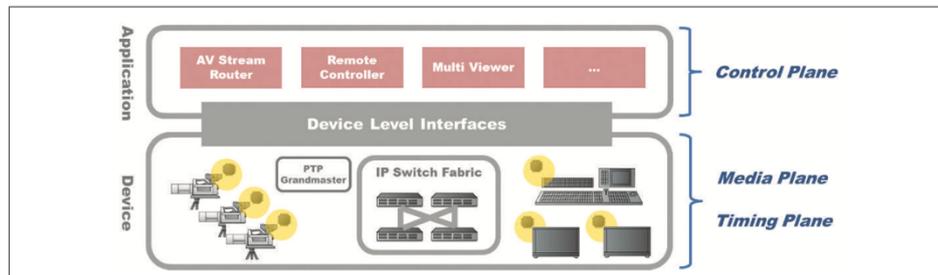


Abbildung 60: Einfacher Aufbau einer IP-Architektur (Kojima et al., 2015)

Nachteil bei dieser Architektur ist, falls ein Gerät, wie etwa ein Ethernet-Switch, gegen ein anderes Fabrikat ausgetauscht werden muss, kann es möglich werden, alle Anwendung zu aktualisieren. Ansonsten könnte es unter Umständen passieren, dass die neuen Device Level Interfaces ihre Operabilität einbüßen könnten (Kojima et al., 2015).

Die nachstehende Grafik zeigt eine verbesserte Art der IP-Architektur, die anstatt auf zwei, auf drei Layern aufgebaut ist. Durch den neu hinzugefügten Service Layer wird es laut den Autoren des Technical Papers „A Practical Approach to IP Live Production“ möglich, Unterschiede zwischen den Device Level Interfaces zu absorbieren (Kojima et al., 2015).

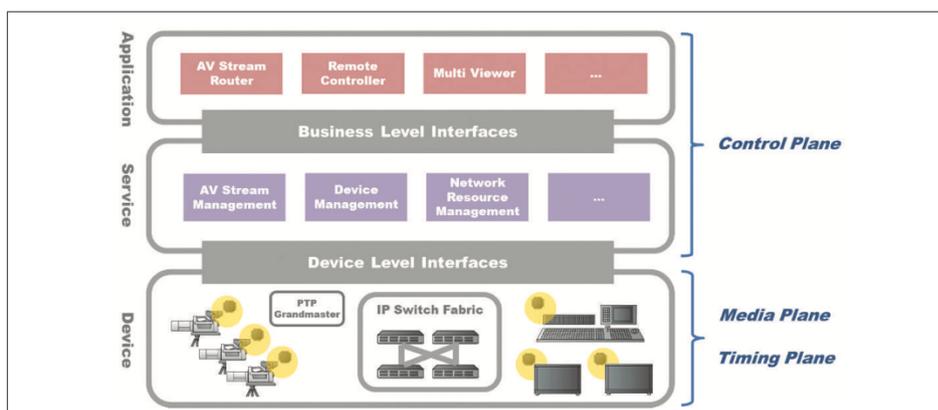


Abbildung 61: verbesserter Aufbau einer IP-Architektur (Kojima et al., 2015)

Der Application Layer ist die oberste Schicht dieses Modells und wird verwendet, um spezielle Anwendungen für das IP-Live-Produktionssystem zu realisieren. Dazu zählt beispielsweise ein AV Stream-Router. Die im Application Layer

enthaltenen Applikationen rufen notwendige Dienste über handelsübliche Schnittstellen auf. Diese müssen in Übereinstimmung mit dem erforderlichen Workflow passieren, der zur Realisierung der benötigten Funktionalitäten benötigt wird (Kojima et al., 2015).

Die darunterliegende Schicht, der Service Layer, kann als eine Abstraktionsschicht angesehen werden. Diese hat die Aufgabe industrieeübliche Schnittstellen (Business Level Interfaces) in sogenannte Device Level Interfaces, die anbieterspezifisch sein können, umzuwandeln bzw. zu konvertieren. Als Folge davon, wird eine hohe Interoperabilität erzeugt, die sich der Application Layer zu Nutze machen kann. Generell sind diese Business Level Interfaces High-Level-Schnittstellen und bieten eine gemeinsame Basis um neue Anwendungen zu integrieren. Im Gegensatz zu dieser Art von Interfaces handelt es sich bei Device Level Interfaces eher um Low-Level-Schnittstellen. Diese befinden sich zwischen dem Service Layer und dem Device Layer und dienen dazu, herstellerepezifische Geräte in das System zu integrieren (Kojima et al., 2015).

Der Device Layer ist die unterste Schicht in dieser Architektur. Dieser besteht in den meisten Fällen aus herstellerepezifischen Produktionsequipment, beispielsweise Kameras und aus Netzwerkgeräten, wie etwa einem Ethernet-Switch (Kojima et al., 2015).

3.2.3 Anforderungen an eine IP-Produktionsumgebung

Generell sollte eine Produktionsumgebung, die auf IP-Technik umgestellt wurde, alle Anforderungen erfüllen, die auch eine SDI-Produktionsumgebung erfüllt. Dazu gehört auch, dass eine IP-Produktionsumgebung über eine feste Bandbreite (Quality of Service, kurz QoS) verfügen muss, um Ausfälle der zu übertragenen Videosignale entgegenzuwirken. Eine weitere Anforderung, die es zu erfüllen gilt, ist die fehlerfreie Umschaltung zwischen den anliegenden Quellen (Pfeifer, 2014). Um ein sauberes Umschalten zu erreichen, ist eine tadellose Netzwerksynchronisierung Voraussetzung (Kojima et al., 2015). Der IP-Datenstrom wird nicht, wie im Fall des Serial Digital Interfaces, seriell übertragen, sondern erfolgt paketbasierend (Laabs, 2012). Hier kommt das schon angesprochene Netzwerkprotokoll Precision Time Protocol zum Einsatz (Kojima et al., 2015). Das PTP ist ein Mechanismus, der die Zeitsynchronisierung mit hoher Genauigkeit eines Netzwerkes bietet (Seth-Smith, 2015).

Ferner sollte bei einer IP-basierenden Produktionsumgebung die Möglichkeit bestehen, die Verkabelung dezentral zu halten sowie eine Verteilung der Signale

auf bidirektionalem Wege mit dem Einsatz von weniger Kabelwerk zu gewährleisten (Pfeifer, 2014). Die Autoren des „A Practical Approach to IP Live Production“ weisen darauf hin, dass für den Aufbau einer solchen Produktionsumgebung auf sogenannte Commercial off-the-shelf-Produkte, kurz COTS, zurückgegriffen werden sollte (Kojima et al., 2015). Diese Produkte bestehen aus Standard Netzwerkkomponenten. Mit dem Einsatz solcher Komponenten ist es möglich, eine längerfristige Einsparung der Kosten zu erreichen. Laut der Meinung von Pfeifer ist dies mit den speziell für die Broadcastbranche entwickelten Produkten nicht möglich. Grund dafür sei die kleinere Marktgröße im Vergleich zur IT-Branche. Die eingesetzten IT-Komponenten sollten nach Möglichkeit auf Layer 3 operieren, da nur so eine Remote-Produktion (siehe nächsten Absatz) zu realisieren sei (Pfeifer, 2014).

Eine weitere Anforderung stellt der Umgang mit mehreren Formaten dar. Ist das Netzwerk in der Lage eine vielfältige Formatfähigkeit zu gewährleisten, wäre die entstehende IP-Produktionsumgebung weitestgehend autonom in Bezug auf den Videostandard, der zur Anwendung kommt. Pfeifer spricht davon, dass eine solche Produktionsumgebung bei einer gegebenen Umstellung auf beispielsweise 4K mehr oder weniger zukunftssicher wäre. Im Hinblick auf Anwendungsgebiete innerhalb von Live-Produktionen ergeben sich neue Möglichkeiten. So könnte etwa eine Remote-Produktion, ohne Einsatz eines vollwertigen Übertragungswagens, realisiert werden (Pfeifer, 2014). Die Firma Sony bietet ein Produkt mit der Bezeichnung NXL-IP55 an. Diese ist eine Live Production Unit, die es erlaubt Kamerasignale über IP zu übertragen. Benötigt werden dazu zwei von diesen Einheiten. Eine als Sender und die andere als Empfänger (Sony, 2012).

Um bei größeren Produktionen nicht an die Grenzen der Kapazität zu stoßen, wäre eine Kompressionsoption vernünftig. Bei einer Produktionsumgebung die auf IP basiert, könnte als Folge die Kanalanzahl gesteigert werden. Dies könnte besonders hinsichtlich eines zukünftigen Wechsels von HD auf UHD interessant werden. Pfeifer meint dazu, dass es dadurch möglich würde, ein progressives 4K-Signal in nur einer 10 Gbit/s Ethernet-Leitung zu übertragen. Einen möglichen Kompressionsalgorithmus stellt die sogenannte Mezzanine-Kompression dar. Vielleicht die wichtigste Anforderung an eine solche Produktionsumgebung betrifft die Latenz. Diese sollte so gering wie möglich sein. Eine Überwachungs- bzw. Steuerungsmöglichkeit der Netzwerkkumgebung stellt ebenfalls eine mögliche Anforderung dar. Als Beispiel von solchen Kontrollmöglichkeiten kann exemplarisch das Abfragen des noch verfügbaren Speicherplatzes genannt werden (Pfeifer, 2014).

Generell sollte die ganze IP-Produktionsumgebung einem internationalen Standard entsprechen. Dies ist besonders im Hinblick auf eine Interoperabilität zwischen den Produkten der jeweiligen Hersteller wichtig. Ferner kann nur so garantiert werden, dass beispielsweise ein neu angeschafftes Gerät, vom System verstanden wird bzw. sofort nach Implementierung funktionsfähig ist (Pfeifer, 2014). Eine Beschreibung zu den verschiedenen Standards findet sich im nächsten Kapitel.

3.3 Technische Beschreibung und Standards

3.3.1 SMPTE Standards

Die erste Reihe an Standards, die in dieser Arbeit beschrieben werden soll, wird als SMPTE 2022 bezeichnet und besteht aus insgesamt sieben Teilen, von denen jeder Teil eine spezielle Funktion beschreibt. Diese Standardfamilie basiert auf der Arbeit des Video Services Forum (VSF) sowie der SMPTE (Society of Motion Picture & Television Engineers) und fokussiert sich auf den Transport von Videodaten über IP im professionellen Broadcastbereich und operiert auf Layer 3 (Artel, 2014; Silfvast, 2013).

SMPTE 2022 wurde erstmals im Jahr 2007 vorgestellt. Damals konzentrierten sich die Entwickler dieses Standards auf den Transport eines MPEG-2 komprimierten Videodatenstromes. Seit damals wurde der Standard jedoch kontinuierlich weiterentwickelt, um beispielsweise auch den Transport von unkomprimierten Video-, Audio- und Kontrolldaten zu ermöglichen (Artel, 2014).

Die folgende Auflistung gibt einen Überblick über die sieben Standards der 2022-Familie:

1. ST 2022-1:2007 “Forward Error Correction for Real-Time Video/Audio Transport Over IP Networks” (Artel, 2014; Simpson, 2013)
2. ST 2022-2:2007 “Unidirectional Transport of Constant Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks” (Artel, 2014; Simpson, 2013)
3. ST 2022-3:2010 “Unidirectional Transport of Variable Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks” (Artel, 2014; Simpson, 2013)
4. ST 2022-4:2011 “Unidirectional Transport of Non-Piecewise Constant Variable Bit Rate MPEG-2 Streams on IP Networks” (Artel, 2014; Simpson, 2013)
5. ST 2022-5:2012 “Forward Error Correction for High Bit Rate Media Transport Over IP Networks” (Artel, 2014; Simpson, 2013)

6. ST 2022-6:2012 “Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)” (Artel, 2014; Simpson, 2013)
7. 2022-7:2013 “Seamless Protection Switching of SMPTE ST 2022 IP Datagrams” (Artel, 2014; Simpson, 2013)

Wie man der obenstehenden Auflistung entnehmen kann, beschäftigen sich die ersten vier Teile der SMPTE 2022-Familie mit einem MPEG-2-codierten Videodatenstrom. Die Teile fünf bis sieben erläutern den Transport von unkomprimierten Videodaten (Seth-Smith, Hudson, & Conrod, 2015).

Der erste Teil der Standardreihe, ST 2022-1:2007 behandelt die Forward Error Correction (FEC) eines IP-Video-Streams (Artel, 2014). Dieser Standard strukturiert die Datenpakete anhand einer Matrix und fügt für jede Spalte sowie für jede Reihe ein sogenanntes FEC-Paket hinzu (Whitcomb, 2014).

Generell deckt die FEC eine breite Palette von Technologien ab, der einer einzigen Idee zugrunde liegt. Einem Datenstrom werden zusätzliche Daten hinzugefügt, um dem Empfänger zu ermöglichen, festzustellen, ob Fehler bei der Datenübertragung aufgetreten sind. Anschließend werden die zusätzlichen Daten beim Ausgang des Empfängers wieder entfernt. Das bedeutet, dass der Stream wieder zu seiner ursprünglichen Form zurückwandelt. Zu erwähnen ist, dass es verschiedene Formen der FEC gibt, die je nach der verwendeten Schaltung und der für diese charakteristisch auftretenden Fehler eingesetzt werden. Generell deckt die Fehlererkennung in IP-Netzwerken nur verlorengegangene bzw. nicht in korrekter Reihenfolge übertragene Pakete ab. Viele IP- und Ethernet-Protokolle verwenden Prüfsummen bzw. CRC-Daten in jedem Paket-Header, der angibt, ob eines der Datenbits, die das Paket bilden, während der Übertragung diesen Wert geändert hat oder nicht. Haben sich ein oder mehrere Bits geändert, wird ein Fehler angenommen und das gesamte Paket wird verworfen. Der SMPTE Standard 2022 verwendet das RTP, das ein Verfahren namens Reordering einsetzt, um Pakete wieder zu ordnen, die nicht der ursprünglichen Reihenfolge entsprechen. Darüber hinaus, wird das Forward Error Correction verwendet, um Pakete zu korrigieren, die bei der Übertragung verloren gegangen sind (Artel, 2014). RTP steht für Realtime Transport Protocol und garantiert das durchgängige Senden von Echtzeitdaten (Schnabel, 2016).

Zum Beispiel würde einem 5-Zeilen-, 20-Spalten-FEC-Schema pro Spalte und Reihe, je ein FEC-Paket hinzugefügt. Daraus ergibt sich, dass insgesamt 5-Reihen-FEC-Pakete sowie 20-Spalten-FEC-Pakete ergänzend zu den, in der Matrix befindlichen, 100 Datenpaketen übertragen werden. Mit diesen zusätzlichen Daten wird es möglich, Burst-Fehler von bis zu 20 Paketen in der

Länge zu korrigieren und sogar Pakete zu ersetzen, die vollständig fehlen. Allerdings gibt es Grenzen, was korrigiert werden kann, da nur ein Fehler pro Zeile oder pro Spalte korrigiert werden kann (Artel, 2014). Die untenstehende Abbildung zeigt eine mögliche FEC-Matrix.

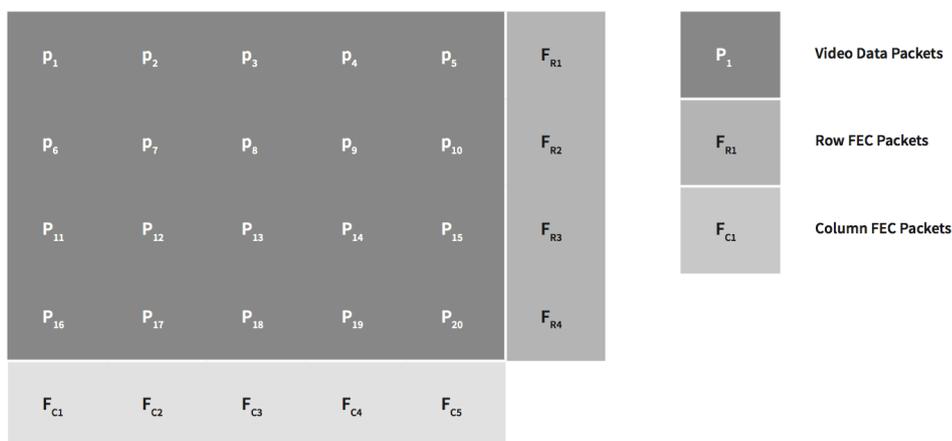


Abbildung 62: mögliche FEC-Matrix (Artel, 2014)

Je größer die FEC-Matrix ist, desto mehr Fehler können erkannt bzw. wiederhergestellt werden. Eine weitere Folge einer größeren Matrix betrifft die Bandbreite. Durch das Hinzufügen von FEC-Paketen steigt die benötigte Bandbreite, die Komplexität für Sender und Empfänger sowie die Latenz (Whitcomb, 2014). Die Größen für Reihe und Zeile sind grundsätzlich limitiert und betragen, bei dem Standard SMPTE ST 222-1:2007, 255 Pakete. Abschließend bleibt anzumerken, dass die Anwendung von FEC optional ist (Artel, 2014).

Der Standard ST 222-2:2007 definiert, wie ein komprimiertes Videosignal mit konstanter Bitrate eines kodierten MPEG-2-Transportstream in IP-Pakete überführt wird. Ferner spezifiziert dieser Standard den Transportlayer (RTP und UDP) sowie das Timing und die Buffer Size (Artel, 2014).

Der dritte Teil der SMPTE Standardreihe, ST 222-3:2010, nennt sich „Unidirectional Transport of Variable Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks“ und definiert IP-Pakete für MPEG-2 Transportströme mit variabler Bitrate, die wiederum eine konstante Bitrate zwischen PCR-Nachrichten aufweisen (Artel, 2014). PCR steht für Program Clock Reference und kommt in MPEG-2-Transportströmen vor. Die PCR dient üblicherweise dazu, unterschiedliche Medientypen in Empfängern zu synchronisieren (Savino & Batista de Lima Filho, 2017).

Der Standard ST 222-4:2011 gleicht im Grunde dem vorherig beschriebenen Standard. Jedoch werden die Beschränkungen der Bitrate zwischen den PCR-

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

Nachrichten dahingehend aufgehoben, dass diese nicht konstant sein müssen (Artel, 2014).

Der fünfte Teil dieser Reihe, als ST 2022-5:2013 “Forward Error Correction for High Bit Rate Media Transport Over IP Networks” bezeichnet, basierend auf dem ersten Teil der Serie und erlaubt eine hohe Zeilen- und Spaltenanzahl für das FEC. Ferner unterstützt er Bitraten bis 3 Gbit/s und höher. Während bei SMPTE 2022-1:2007 die Anzahl der FEC-Pakete auf 255 limitiert sind, steigt bei SMPTE 2022-5:2013 die Anzahl auf 1020 (Artel, 2014).

Im Standard ST 2022-6:2012, mit der Bezeichnung “Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)”, sind die Spezifikationen für einen Transport von sogenannten „High Bit Rate Signals“, die auch unkomprimiertes 1080p Video enthalten, definiert (Artel, 2014). Ferner wird der Vorgang des sogenannten Wrapping von SDI-Nutzdaten bestimmt. Die nachstehende Grafik zeigt das Schichtmodell eines „SDI-in-IP“-Packages, das in der SMPTE 2022 Standardreihe definiert ist (Laabs, 2013).

Layer	Abkürzung	Name	Standard	Länge (Byte)
Application	SDI (payload)	Serial-Digital-Interface	SMPTE 259M, 292M, 424M	1376
	HBRMT	High-Bitrate-Media-Transport	SMPTE 2022-6	8–16 *
	RTP	Real-Time Transport-Protocol	RFC 3550	12 *
Transport Protocol	UDP	User-Datagram-Protocol		
	RFC 768	8		
Internet	IP	Internet-Protocol (v4/v6)	RFC 791/RFC 2460	20/40 *
Link	MAC	„Media Access Control“ (zum Beispiel bei Ethernet)	IEEE 802.3	42

*plus optionale Felder

Abbildung 63: SMPTE 2022-6 Layer-Modell (Laabs, 2013)

Neben dem existierenden Realtime Transport Protocol wurde eine neue Schicht bzw. ein neues Protokoll hinzugefügt. Diese wird als High-Bitrate Media Transport Protocol, oder kurz HBRMT genannt, bezeichnet. Jedes Datenpaket enthält 1376 Byte an Payload (Laabs, 2013). Alle SDI-Nutzdaten, inklusive Zusatzdaten in beiden Austastlücken (horizontal und vertikal), werden in einen Datenstrom verpackt (Wang & Zhang, 2016).

Der letzte Teil der SMPTE 2022-Standardfamilie wird als ST 2022-7:2013 “Seamless Protection Switching of SMPTE ST 2022 IP Datagrams” bezeichnet. Dieser beschreibt das Senden von zwei übereinstimmenden Streams, bestehend aus Datenpaketen, von einer Quelle zu einem Empfänger. Zu erwähnen ist, dass der Sendeweg zwei Pfade enthält zwischen denen der Empfänger automatisch umschalten kann. Solange nicht beide Pfade gleichzeitig ausfallen, kann das Videosignal problemlos rekonstruiert werden (Artel, 2014).

Um ein sauberes Umschalten zwischen zwei Signalen zu erreichen, müssen genaue Richtlinien eingehalten werden. Bei einem seriell übertragenen Signal (via SDI) ist es erforderlich sogenannte Umschaltzeitpunkte einzuhalten. Diese sind im Standard SMPTE RP 168-2009 definiert. Gängige Umschaltbereiche sind für PAL die sechste Zeile, für NTSC die zehnte Zeile und für HD die siebente Zeile (Laabs, 2013). Laabs beschreibt den Umschaltvorgang bei der Verwendung von IP-Technologie folgendermaßen:

Da in IP mit Paketen gearbeitet wird, die grundsätzlich zum Verarbeiten zwischengespeichert werden müssen, ist der Schaltvorgang im Gegensatz zum seriellen SDI einfacher zu realisieren. Die SDI-Zeilen sind länger als ein IP-Paket, damit kann an der Paketgrenze geschaltet und es müssen nur Header verändert werden, keine Payload (Laabs, 2013, S. 336).

Mit Hilfe des sogenannten Marker-Bit, welches sich im RTP-Header befindet, ist es möglich, ausgehend vom Beginn eines Frames, den ungefähren Schaltzeitpunkt zu ermitteln. Um den genauen bzw. korrekten Umschaltzeitpunkt zu ermitteln, ist jedoch das verwendete SDI-Format von Bedeutung. Dieses ist als Video Source Format im HBMRT-Header vermerkt. Anschließend kann das Paket errechnet werden, in das umgeschaltet werden soll. Diese Berechnung kann einmal für alle vorhandenen SDI-Formate durchgeführt werden und wird anschließend in einer sogenannten „lookup table“ im Gerät gespeichert (Laabs, 2013).

Im Jänner 2016 begann die Society of Motion Picture & Television Engineers (SMPTE) mit der Entwicklung einer Standardreihe, die den Transport, die Synchronisation sowie die Beschreibung von einzelnen Datenströmen über IP-Technologie spezifiziert. Diese Standards basieren auf Technical Recommendations mit der Bezeichnung TR-03 und TR-04, des schon erwähnten Video Services Forum. Als definierten Einsatzbereich wurde die Live-Produktion angestrebt (Nevion, 2016).

Bereits im Dezember 2015 wurde die sogenannte „Alliance for IP Media Solutions“, kurz auch AIMS genannt, gegründet. Diese Allianz besteht aus mehreren Broadcast-Equipment-Anbietern, darunter Nevion, Grass Valley, Snell Advanced Media und Lawo und hat das Ziel, die Entwicklung und Standardisierung von offenen Standards, wie auch von der EBU, SMPTE und VSF empfohlen, zu fördern (Nevion, 2016).

Um die Entwicklung von SMPTE 2022-6 zur angestrebten Standardreihe SMPTE 2110 bildlich zu veranschaulichen, dient die nachstehende Abbildung. Im Folgenden wird auf die beiden Empfehlungen des VSF näher eingegangen. Wie

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

aus der Grafik ersichtlich, werden bei Verwendung von SMPTE 2022-6 alle Daten, also Video-, Audio- und Ancillarydaten in einem IP-Stream, via Multiplex, übertragen (Mailhot, 2017).

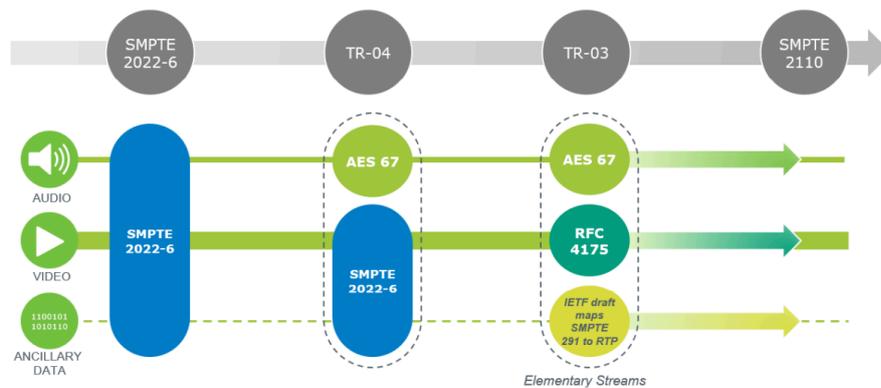


Abbildung 64: Entwicklung von SMPTE 2022-6 zu SMPTE 2110 (Nevion, 2016)

Wie schon erwähnt, ist TR-04 eine technische Empfehlung, die vom Video Services Forum erstellt wurde. Diese Recommendation enthält die „SDI over IP“-Fähigkeit für Video in SMPTE 2022-6, mit der Option eines AES67-basierten Transportes bzw. einer Weiterbearbeitung von diskreten IP-Audio-Streams (AIMS, 2017). Mit anderen Worten, empfiehlt VSF TR-04 das Verwenden von zwei existierenden Standards. SMPTE 2022-6 für Video mit embedded Audio und AES67 für einen separaten IP-Audiostream (AIMS, 2016). AES67-2015 ist ein Standard, der von der Audio Engineering Society (AES) 2013 spezifiziert und 2015 überarbeitet wurde (AES, 2015). Dieser definiert die Interoperabilität von sogenannten „High-Performance“-Audio-Streams über Netzwerke, die auf dem Internet Protocol basieren (VSF, 2015). Der Begriff „High-Performance“ bezieht sich in diesem Fall auf die hohen Anforderungen, die vorausgesetzt werden, also die Verwendung der vollen Bandbreite und das Entstehen von wenig Noise. Dieser hohe Anspruch hat die Folge, dass ein PCM-codierter Datenstrom mit einer Abtastfrequenz von mindestens 44,1 kHz und einer Auflösung von mindestens 16 Bits verwendet wird. Als Folge dieser Anforderungen ergibt sich eine relativ niedrige Latenz von 10 ms im Livebetrieb. Ferner bietet diese Norm eine umfassende Interoperabilität in den Bereichen der Synchronisation, Transport im Netzwerk, Codierung, Streaming sowie Verbindungsmanagement (AES, 2015). Ferner ist VSF TR-04 die Basis von SMPTE ST 2110, genauer gesagt von 2110-50 (AIMS, 2016).

Die VSF-Empfehlung TR-03 stellt ebenfalls eine Basis für SMPTE ST 2120 dar und empfiehlt den Transport von unkomprimierten Datenströmen über IP. Im

Gegensatz zu SMPTE ST 2022-6:2012 und VSF TR-04 werden Video-, Audio- und Metadaten in separate IP-Streams verpackt. Ferner tauscht VSF TR-03 den in TR-04 verwendeten Standard zum Transport von Videodaten, SMPTE 2022-6, durch eine andere Methode aus. Bei der Verwendung des sechsten Teils der SMPTE 2022-Reihe muss der gesamte Videostream zuerst entpackt werden, um anschließend das Audiosignal aus dem SDI-Stream zu extrahieren. Im nächsten Schritt muss der Audiodatenstrom wieder ins SDI eingebettet werden, um das komplette Signal wieder in Datenpakete umwandeln zu können. Wie eingangs erwähnt, wird für den Transport des Videodatenstromes ein anderer Standard als bei TR-04 verwendet (AIMS, 2016). Dieser nennt sich RFC 4175 und wurde von der IETF, auch Internet Engineering Task Force genannt, standardisiert. Genau genommen ist RFC 4175 ein Protokoll, welches die Einkapselung von SDI-Payload in einem IP-Stream regelt, um diesen anschließend übertragen zu können (Olson, 2016b).

Bei VSF TR-03 werden nur die Anzahl der aktiven Pixel in einen IP-Stream verpackt. Dies hat den Vorteil, dass die Menge an Netzwerkverkehr reduziert werden kann, welcher durch die Verwendung von unkomprimierten Videodaten erzeugt wird. Wie bei VSF TR-04, wird auch bei der Technical Recommendation 03, AES 67 als Standard für Audiodaten verwendet. Ergänzend ist zu erwähnen, dass nur die Pakete, die Audiodaten enthalten, vor dem Processing entpackt und anschließend wieder in den IP verpackt werden müssen. Dies ermöglicht eine gewisse Reduzierung an Datenverkehr (AIMS, 2016).

Timing und Synchronisation sind eines der wichtigsten Aspekte bei einer TR-03-IP-Topologie (Barella, 2016). Die VSF TR-03 empfiehlt die Verwendung von beiden Teilen der SMPTE 2059-Standardreihe. Diese wiederum basiert auf dem Standard IEEE 1588 und regelt die Nutzung des Precision Time Protocol (Barella, 2016). Die folgende Auflistung zeigt die beiden Veröffentlichungen der angesprochenen Standardreihe:

1. ST 2059-1: Generation and Alignment of Interface Signals to the SMPTE Epoch (Kojima et al., 2015)
2. ST 2059-2: the SMPTE Profile for Use of IEEE-1588 Precision Time Protocol in Professional Broadcast Applications (Kojima et al., 2015)

SMPTE 2059-1/2 schafft eine Art Genlock für IP, der ähnlich der Tri-Level-Synchronisation von SDI ist (Barella, 2017). Das Precision Time Protocol stellt die Möglichkeit zur Verfügung, Datenpakete mit einem präzisen Zeitstempel zu versehen (Barella, 2016). Deshalb wird bei der Verwendung des PTP bzw. von

SMPTE ST 2059 bei VSF TR-03 keine separate Verteilung einer Black-Burst-Video-Referenz erforderlich (AIMS, 2016).

Die Ancillary Daten werden nach dem IETF Standard „RTP Payload for SMPTE ST 291 Ancillary Data“ übertragen (VSF, 2015). Dieser beschreibt das Real Time Transport Protocol (RTP) Payload-Format der Ancillary Daten, wie es im SMPTE Standard ST 291-1 definiert ist (Edwards, 2017).

Mit SMPTE 2110 wird es möglich sein, jeden Teil eines Signals, also Video-, Audio- und Ancillarydaten, in einen separaten Stream zu verpacken. Mailhot nennt insgesamt sieben Teile, die diese Standardreihe enthalten wird (Mailhot, 2017). Die nachfolgende Auflistung ermöglicht einen Überblick:

1. ST 2110-10 „System Timing“ (Mailhot, 2017)
2. ST 2110-20 „Uncompressed Video“ (Mailhot, 2017)
3. ST 2110-21 „Traffic Shaping Uncompressed Video (Mailhot, 2017)
4. ST 2110-30 „PCM Audio“ (Mailhot, 2017)
5. ST 2110-31 „AES3 Transparent Transport“ (Mailhot, 2017)
6. ST 2110-40 „Ancillary Data“ (Mailhot, 2017)
7. ST 2110-50 „Integration with ST 2022-6“ (Mailhot, 2017)

Der erste Teil der 2110 Standardreihe beschreibt das System Timing, die Nutzung der RTP-Pakete sowie die generelle Übertragung im Netzwerk. Ferner wird erläutert, wie der schon beschriebene Standard SMPTE ST 2059-1/2 bzw. wie die PTP-Pakete als Referenz für die jeweiligen Video-, Audio- und Datenpakete genutzt werden soll. Eine der Schlüsselfähigkeiten von SMPTE ST 2110 ist die Fähigkeit, jedes der in drei separaten Streams verpackten Elemente mit Time Stamps zu versehen (Barella, 2017). Diese werden auf Seiten des Senders für die einzelnen Pakete generiert (Mailhot, 2017). Als Folge ist es möglich, dass die gesetzten Zeitmarken mit anderen Signalen in den einzelnen Streams verglichen werden können, um so ein passendes Timing der zusammengesetzten Ströme für zeitgesteuerte Ereignisse, wie etwa ein sauberes Umschalten, zu erreichen bzw. um die verschiedenen Teile der Essenz in die korrekte Reihenfolge zu bringen (Barella, 2017; Mailhot, 2017).

Ebenfalls spezifiziert wird die Verwendung eines sogenannten Session Description Protocol, kurz auch SDP genannt. Das SDP (RFC 4566) übermittelt dem Empfänger alle Informationen, die für diesen wichtig sind. Jeder Stream hat eine Reihe an Metadaten, die vom Empfänger interpretiert werden müssen, um so zu wissen, was sich in diesem Datenstrom befindet (Mailhot, 2017).

SMPTE ST 2110-20 verwendet den schon erwähnten IETF-Standard RFC 4175 als eine Art Template. Das Hauptmerkmal dieses Standards eliminiert die Notwendigkeit für das vertikale Blankingintervall sowie für andere Verkapselungen von zusätzlichen Signalen. Ebenfalls wird die Möglichkeit geboten, lediglich die reine Video-Essenz, sprich die aktiven Zeilen des Videos, unabhängig der gewünschten Auflösung und Framerate, zu übernehmen (Barella, 2017). Um dies zu verdeutlichen, dient die folgende Aussage von Barella: „In other words, the video supports the fundamental pixel video stream without the burden of sync and Video Ancillary Data (VANC); just the pixels that make up lines of video“ (Barella, 2017, S. 4). Die nachstehende Abbildung zeigt einen Vergleich der Bandbreite zwischen SMPTE 2022-6 und SMPTE 2110-20:



How Much Bandwidth was Saved ?

<i>Scan Format</i>	<i>2022-6 (Gb/s)</i>	<i>2110-20 (Gb/s)</i>	<i>difference</i>
2160p @ 59.94	12282.2	10279.6	-16.3%
1080p @ 59.94	3070.7	2570.1	-16.3%
1080i @ 29.97	1535.4	1285.0	-16.3%
720p @ 59.94	1535.4	1142.5	-25.6%
2160p @ 50	12294.8	8754.9	-30.3%
1080p @ 50	3074.1	2143.9	-30.3%
1080i @ 25	1537.4	1071.9	-30.3%
720p @ 50	1537.4	953.0	-39.9%

THE NEXT CENTURY
© 2017 by the Society of Motion Picture and Television Engineers, Inc. (SMPTE®)

Abbildung 65: Bandbreitenvergleich zwischen SMPTE 2022-6 & SMPTE 2110-20 (Mailhot, 2017)

SMPTE ST 2110-21 behandelt Timing-Modelle für Videostreams. Inkludiert ist ein Modell für sogenanntes „Narrow-Timing“ für strengere Spezifikationen, aber auch ein Modell für „Wide-Timing“. Letzteres ist für Softwaremodelle, die noch nicht über die gleiche Präzision verfügen, wie es bereits bei der Verwendung von Hardware der Fall ist. Mit anderen Worten: diese zwei Timing-Modelle offerieren den Benutzern eine gewisse Flexibilität für derzeitige hardwarebasierte Designs sowie zukünftige Implementationen, die softwarebasierend sind (Barella, 2017).

Der vierte Teil der Standardreihe trägt die Bezeichnung SMPTE ST 2110-30 und verwendet den schon erwähnten Standard AES 67 für den Transport von unkomprimierten PCM-Audio-Signalen. Wie schon erwähnt, wird der

Audiodatenstrom separat transportiert. Dadurch entfällt die Notwendigkeit den Audiostream vom Videostream zu trennen (Barella, 2017).

SMPTE ST 2110-31 behandelt das veraltete AES3 Audio. Dieser Standard wurde über Jahrzehnte verwendet. Mit dem fünften Teil der SMPTE 2110 Reihe wurde so die Möglichkeit geschaffen, AES3 übergangsweise weiter zu unterstützen (Barella, 2017).

Der Standardteil SMPTE ST 2110-40 befasst sich mit dem Transport der Ancillary Daten in einer IP-Umgebung. Diese werden ebenfalls unabhängig von Audio- und Videodaten behandelt und als RTP-Essenz transportiert (Barella, 2017).

Der letzte Teil, als SMPTE ST 2110-50 bezeichnet, behandelt die Integration von SMPTE ST 2022-6 und VSF TR-04 (Barella, 2017). Wie schon erwähnt, bildet TR-04 die Basis für SMPTE ST 2110-50 (AIMS, 2016). SMPTE ST 2059-1/2 wird als Timing-Mechanismus verwendet (Barella, 2017).

In einer netzwerkbasierenden Infrastruktur benötigen Geräte die Fähigkeit zu entdecken und zu registrieren. Diese dienen als Grundlage der Interoperabilität. IS-04 definiert eine Methodik, um die Dienste eines Geräts zu registrieren (verfügbare Ein- und Ausgänge sowie Konfiguration) und um andere Geräte im Netzwerk zu entdecken, mit denen es kompatibel ist. IS-04 ist Teil des Network Media Open Specification (NMOS) Projektes innerhalb von AMWA (AIMS, 2016). AMWA steht für Advanced Media Workflow Association (AMWA, n.d.). Alle AIMS-Mitglieder stimmten zu IS-04 in ihrer Produkt-Roadmap zu integrieren bzw. zu unterstützen. Laut Pennington wird IS-04 aber kein Bestandteil von SMPTE ST 2110 werden (Pennington, 2017).

3.3.2 Audio/Video Bridging (AVB) bzw. Time Sensitive Networking (TSN)

Audio Video Bridging basiert auf den IEEE-Standards 802.1AS, 802.1Qat, 802.1Qav, 802.1BA, sowie IEEE 1722 und IEEE 1722.1 (Olson, 2016b; Pannell, 2015). Ferner nutzt AVB Ethernet und operiert auf Layer 2 (Pfeifer, 2014). Folgende Auflistung gibt nochmals einen Überblick über alle verwendeten Standards sowie deren volle Bezeichnung:

1. IEEE 802.1AS-2011 – gPTP (generic Precise Timing Protocol) (Pannell, 2015)
2. IEEE 802.1Qav-2009 – Credit based shaper (now in Q-2014 section 34) (Pannell, 2015)

3 IP – basierte Übertragungstechnologie

3. IEEE 802.1Qat-2010 – SRP (Stream Reservation Protocol – in Q section 35) (Pannell, 2015)
4. IEEE 802.1BA-2011 – AVB Systems (Pannell, 2015)
5. IEEE 1722-2011 – AVTP (Audio Video Transport Protocol) (Pannell, 2015)
6. IEEE 1722.1-2013 – AVDECC (Audio Video Discovery Enumeration Connection and Control) (Pannell, 2015)

Eine typische AVB-Architektur besteht aus mehreren Bestandteilen. Als wichtiger Bestandteil können sogenannte Endstationen angesehen werden. Hier wiederum gibt es drei verschiedene Kriterien, nach denen diese Stationen eingeteilt werden können. Zum Ersten, gibt es Stationen, die als sogenannte Talkers operieren. Talkers sind nichts Anderes als Endstationen, die als Quelle, Transmitter oder als Produzent eines Streams angesehen werden können. Zum Zweiten, gibt es sogenannte Listener. Diese werden als Endstationen, die als Quelle, Empfänger oder als Konsument eines Streams fungieren, definiert. Die dritte Art von Endstationen können sowohl als Talker (Sender) und auch als Listener (Empfänger) operieren (IEEE Computer Society, 2011).

Nächster wichtiger Bestandteil eines AVB-Netzwerkes sind sogenannte Bridges. Bridges sind Geräte, die die Übertragung der Daten zwischen Sender und Empfänger möglich machen. Individuelle LANs können als letzter Bestandteil genannt werden. Diese stellen die Verbindung zwischen Talker und den Bridges her (IEEE Computer Society, 2011).

Die nachstehende Abbildung zeigt den Aufbau bzw. die Bestandteile eines AVB-Netzwerkes nochmals auf.

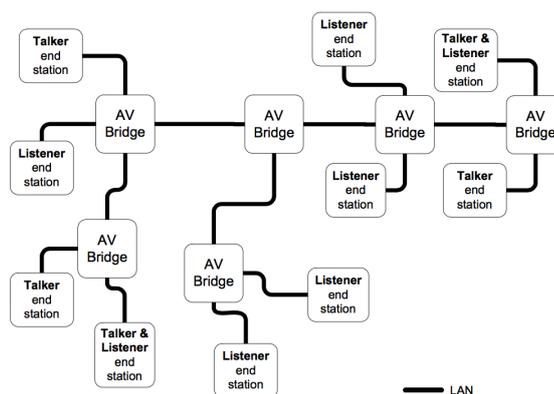


Abbildung 66: Aufbau bzw. Bestandteile eines AVB-Netzwerkes (IEEE Computer Society, 2011)

protocol, kurz auch gPTP genannt, sicher, dass alle Geräte innerhalb einer AVB-Domäne miteinander synchronisiert sind. So kann eine konsistente Bereitstellung zeitempfindlicher AV-Streams gewährleistet werden. Wichtig zu erwähnen ist, dass jeder Bestandteil einer AVB-Domäne gPTP unterstützen muss (Arista, 2016).

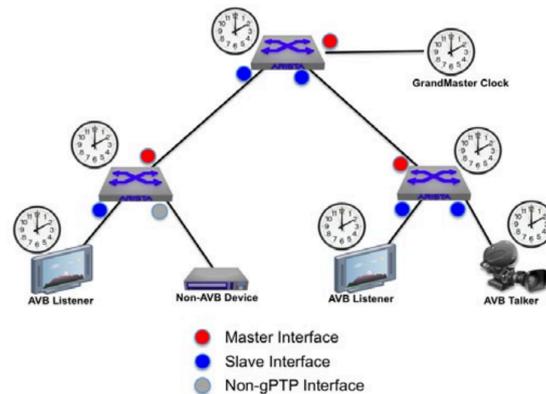


Abbildung 68: Master-Slave-Prinzip in AVB-Netzwerken (Arista, 2016)

Aus der oben angeführten Abbildung ist zu erkennen, dass gPTP nach dem Master-Slave-Prinzip funktioniert. Demnach gibt es sogenannte Master-Interfaces und Slave-Interfaces (Arista, 2016). Abhängig von der Genauigkeit dieser Master- oder Referenztakts, kann ein sehr genaues Netzwerk-Timing erreicht werden, sodass Audio- und Videodaten im gesamten AVB-Netzwerk taktsynchron sind (Eveleens, 2014).

Das Stream Reservation Protocol, kurz auch SRP genannt, wurde mit dem Standard IEEE 802.1Qat spezifiziert. Dieses Protokoll gewährleistet eine Ressourcenreservierung für Datenströme, die eine garantierte Quality of Service (QoS) in LANs erforderlich machen. Ferner erlaubt es Stream-Endstationen ihre Bereitschaft zum Senden oder Empfangen von bestimmten Streams anzumelden. Diese Informationen werden anschließend über das Netzwerk verbreitet. Die Bridges zwischen den Stationen reservieren anschließend die benötigte Bandbreite bzw. stellen sicher, dass der Weg freigehalten wird, wenn ein Sender bzw. mehrere Empfänger ihre Intentionen für denselben Stream über einen Netzwerkpfad mit ausreichender Bandbreite und anderen Ressourcen registrieren. SRP wurde als neue Protokollschicht über ein bestehendes Netzwerkmanagement-Protokoll namens Multiple Registration Protocol, kurz MRP, implementiert (AVnu Alliance, 2014). Dies zeigt die folgende Grafik.

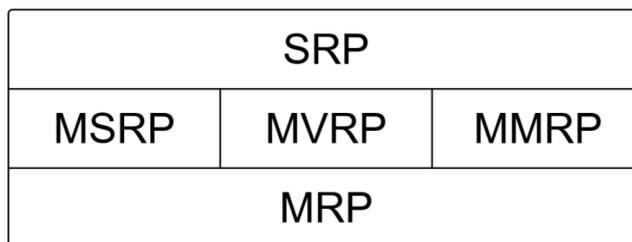


Abbildung 69: SRP Layer (AVnu Alliance, 2014)

Das MRP wurde separat als Standard IEEE 802.1Qak spezifiziert und ist ein generisches Protokoll. Es ermöglicht seinen Teilnehmern Attribute zu registrieren, die sich in einem anwendungsspezifischen Weg über ein LAN ausbreiten können. Das MRP liegt dem Multiple VLAN Registration Protocol (MVRP) sowie dem Multiple MAC Registration Protocol (MMRP) zugrunde. Der SRP-Standard stellt eine neue MRP-Anwendung mit dem Namen Multiple Stream Registration Protocol (MSRP) zur Verfügung, um Attribute in Bezug auf die Stream-Bandbreiten-Reservierung zu verwalten. MSRP, MVRP und MMRP liefern alle Netzwerksignale für das SRP-Protokoll (AVnu Alliance, 2014).

Das Stream Reservation Protocol operiert in den Network-Bridges eines AVB-Netzwerkes. In jeder Bridge werden Tabellen mit verschiedensten Datensätzen angelegt. Dazu zählen Daten, die einerseits die Bridges selbst betreffen, andererseits auch Port- bzw. Stream-Daten. Die registrierten Daten haben unter anderen den Zweck, jederzeit über die Anzahl, der am SRP teilnehmenden Ports, Bescheid zu wissen. Ferner werden diese Informationen aber auch dazu verwendet, um Forwarding und Queuing für zeitempfindliche Streams (FQTSS, separat standardisiert als 802.1Qav) zu implementieren, um garantierte QoS für Streams der reservierten Pfade des LANs zu liefern sowie um Status-, Beschreibungs-, und Fehlerberichts-Informationen zu erhalten. Außerdem bietet das Stream Reservation Protocol Sendern und Empfängern die Funktion, aufeinander aufmerksam zu werden. Dies erlaubt den Endstationen ihr Streaming Data Protocol nur dann zu aktivieren, wenn die benötigte reservierte Netzwerkressource zur Verfügung steht sowie deren Protokolle für eine korrekte Ausführung zu konfigurieren (AVnu Alliance, 2014).

Bei AVB gibt es die sogenannte Low Latency Class A, die eine maximale Latenz von 2ms über eine Strecke von sieben Hops definiert. Neben dieser Klasse gibt es noch eine Higher Latency Class B. Die maximale Latenz der Class B beträgt 50ms über ebenfalls sieben Hops (Singer, 2014). Laut Riggert wird ein sogenannter Hop Count als Anzahl an passierten Netzwerkknoten definiert. Eine

Strecke von den angesprochenen sieben Hops ist demnach das Passieren von sieben Netzknoten (Riggert, 2014).

Der Standard IEEE 1722 spezifiziert den Transport Layer von AVB, auch AVB Transport Layer Protocol genannt. Ferner definiert IEEE 1722 das Format des Headers bzw. den Inhalt der Ethernetpakete, die sogenannte Payload, bestehend aus Audio- Video- und Kontrolldaten. Erwähnenswert ist, dass viele verschiedene Audio-, Video- und Datenformate komprimiert sowie unkomprimiert von dem IEEE 1722 Transport Layer Protokoll unterstützt werden. Ferner unterstützt dieses Protokoll SDI Standards von SD bis 3G und transportiert den SDI-Stream von Sender zum Empfänger (Eveleens, 2014).

Basierend auf dem im vorigen Absatz beschriebenen Standard, wurde der Standard IEEE 1722.1 - AVDECC (Audio Video Discovery Enumeration Connection and Control) spezifiziert. Dieses Protokoll ermöglicht das Entdecken von anderen AVB Knoten und ermöglicht es Controllern in einem AVB-Netzwerk eine detaillierte Liste von Fähigkeiten, Merkmalen und Statusinformationen von jedem AVB-Knoten im Netzwerk zu erhalten. Außerdem hat IEEE eine aufwändige Reihe von Befehlen zur Verfügung gestellt, die AVB-Knoten oder Controller verwenden können, um auf andere Weise mit anderen Knoten und Controllern im Netzwerk zu kommunizieren. Obwohl ein signifikanter Satz von Standardbefehlen definiert wurde, die Video bzw. Audiobezogen sind, erlaubt das Framework zusätzliche Befehle zu definieren, um es dem Steuerprotokoll hinzuzufügen. Ferner ist in diesem Standard das sogenannte Connection Management definiert. Dieser Prozess ermöglicht das Verbinden bzw. das Trennen von einem oder mehreren Streams zwischen AVB-Knoten (Eveleens, 2014).

Wie schon eingangs erwähnt, operiert AVB auf Layer 2 (Pfeifer, 2014). Laut Eveleens gibt es aber auch Anstrengungen eine Version von AVB zu entwickeln, die Layer-3-kompatibel sein soll. Dies liegt dem Gedanken zugrunde, dass es oft wünschenswert ist, dass der AVB-Verkehr die Subnetzgrenzen überschreiten kann. Anders ausgedrückt: Es soll möglich sein, dass AVB-Knoten auf Layer 2 mit AVB-Knoten auf Layer 3 kommunizieren können. Eine neuere Version von IEEE 1722 enthält einen Absatz, indem beschrieben wird, wie Transportpakete als IP-Stream gesendet werden können (Eveleens, 2014). Für Pfeifer gibt es bei AVB einen konkreten Nachteil. Wie eingangs erwähnt, kann eine Kostenreduktion nur dann ermöglicht werden, wenn Standard-Ethernet-Technologie (COTS) verwendet wird. Genau das soll, laut Pfeifer, nicht möglich sein, da für die Verwendung einer AVB-Architektur AVB-kompatible Switches Voraussetzung sind (Pfeifer, 2014).

Im November 2012 wurde die Arbeitsgruppe „Audio Video Bridging“ in „Time Sensitive Networking“, abgekürzt auch TSN genannt, umbenannt. Die Weiterentwicklung von AVB zu einem „Next Generation AVB“ wird insbesondere von der Automobil- und Fabrikautomatisierungsbranche vorangetrieben und konzentriert sich mehr auf den Transport von zeitkritischen Sensor- und Steuerdaten. Die TSN-Arbeitsgruppe hat das Ziel verschiedene Merkmale von AVB zu verbessern (Eveleens, 2014). Ferner wurden einige Standards, auf denen AVB beruht, in neue Standards eingebettet (Pannell, 2015).

3.3.3 Vergleich der verschiedenen Standards

In der Zeitspanne, in welcher diese Masterthesis entstand, war der Standard SMPTE ST 2110 noch nicht ratifiziert (Olson, 2017). Demnach soll SMPTE ST 2022 mit AVB verglichen werden. In der nachstehend angeführten Abbildung sind die Unterschiede zwischen den beiden Varianten nochmals ersichtlich:

Attribute	SMPTE 2022 (over IP)	AVB Pro Video Format *
Compression	MPEG, H.264, J2K, none	None
FEC	Optional	None
Link types	WAN, MAN (Layer-3 datagrams)	LAN (Layer-2 datagrams)
End-to-end Sync	External to the standard	802.1AS and 1722 presentation time
QoS	External to the standard	802.1Q SRP and FQTSS
Expected Latency (based on encoding)	Medium (~1 video frame)	Low (~1 video line)
Best Application	Long haul, back haul, contribution links, primary distribution	SDI-like transport of live media within a facility

Abbildung 70: Vergleich zwischen SMPTE ST 2022 & AVB (Silfvast, 2013)

Eindeutig erkennbar ist, dass SMPTE 2022 entweder mit oder ohne Kompression arbeiten kann. AVB hingegen unterstützt nur unkomprimierte Datenströme. Ferner bietet AVB keine Art einer Forward Error Correction. Bei der SMPTE-Variante kann FEC optional ausgewählt werden. Während SMPTE 2022 auf Layer 3 operiert, arbeitet AVB ausschließlich auf Layer 2 (Silfvast, 2013). Wie bereits im Kapitel 3.2.3 erwähnt, sollte laut Pfeifer eine IP-Produktionsumgebung auf Layer 3 operieren (Pfeifer, 2014). Die erwartete Latenz ist hingegen bei der Verwendung des AVB Systems geringer (Silfvast, 2013). Abbildung 71 zeigt eine mögliche Zusammenarbeit der beiden Systeme:



Abbildung 71: Mögliches Zusammenspiel zwischen SMPTE 2022 und AVB (Silfvast, 2013)

Erkennbar ist, dass nach diesem Szenario die einzelnen Produktionsstätten mit AVB arbeiten. Die weitere Distribution wird jedoch über SMPTE 2022 abgewickelt. Dies bedeutet, dass eine Verwendung der beiden Systeme möglich wäre. Ob dies sinnvoll ist, bleibt jedoch dahingestellt, da bei der Verwendung von AVB keine sogenannten COTS-Ethernet-Switches verwendet werden können, sondern nur spezielle AVB-Switches. Laut Pfeifer, Kojima, Stone, Chen und Gardiner ist die Fähigkeit Commercial off-the-shelf-Produkte verwenden zu können wichtig, da nur so langfristig Kosten eingespart werden können (Kojima et al., 2015; Pfeifer, 2014). Auf ähnliche Weise äußert sich auch Barella, welcher folgendermaßen erläutert:

But one of the main requisite AVB components is a specialized Ethernet switch. The format worked nicely, but the switch requirement was a problem for some who thought the uncompressed video signal would be better adapted to Ethernet standards and use commercial off-the-shelf (COTS) Ethernet switches. In other words, many felt that the signal needed to fit Ethernet rather than making Ethernet fit the uncompressed video. The debate is interesting, but in the end, COTS switches would be the reason for the demise of AVB (Barella, 2017, S. 2).

Aus den angeführten Gründen kann festgestellt werden, dass wohl SMPTE ST 2022 zu favorisieren ist. Ferner wurde bei der Recherche festgestellt, dass es ab einem gewissen Zeitpunkt keinerlei Hinweise darauf gibt, dass AVB in der Broadcastbranche weitgehend Anklang findet (Film-TV-Video, 2015).

4 Empirie

4.1 Forschungsmethode

Um beide Arten der beschriebenen Produktionsumgebungen (SDI und IP) miteinander zu vergleichen bzw. gegebenenfalls eine der beiden favorisieren zu können, wurde als Forschungsmethode einerseits eine Literaturrecherche durchgeführt, andererseits wurde auf Experteninterviews zurückgegriffen, um eine Expertise aus dem professionellen Umfeld zu erlangen.

Die Literaturrecherche hatte den Zweck grundlegendes Wissen in diesem Gebiet zu erlangen, um so geeignete Fragen für die Experten erstellen zu können. Vorerst war angedacht, die Experteninterviews persönlich durchzuführen, dies wurde jedoch aus mehreren Gründen wieder verworfen. Zum einen hätte es einen erheblichen Zeitaufwand für die Experten bedeutet, da erst ein geeigneter Termin gefunden werden hätte müssen, an dem diese verfügbar gewesen wären. Zum anderen sollten nicht nur Experten aus Österreich befragt werden, sondern auch in Deutschland und der Schweiz. Wären die Befragungen persönlich durchgeführt worden, hätte dies einen beträchtlichen Reiseaufwand nach sich gezogen.

Aus den oben erwähnten Gründen wurden die Interviewfragen anhand eines Fragebogens per Mail an die ausgewählten Experten übermittelt. So wurde sichergestellt, dass sich die Experten ohne Zeitdruck mit den Fragen beschäftigen können, da nicht, wie im Fall eines persönlichen Interviews, die Befragung in einer vorgegebenen Zeitspanne abgeschlossen sein muss.

Mehr zum Fragebogendesign findet sich in Kapitel 4.1.2.

4.1.1 Expertenauswahl

Wie schon erwähnt, wurde entschieden, dass die Experten aus Österreich, Deutschland und der Schweiz kommen sollen, um auch die Entwicklung hinsichtlich einer eventuellen Änderung von Broadcastumgebungen im deutschsprachigen Raum abschätzen zu können.

Die Auswahl erfolgte nach einer entsprechenden Recherchephase. Einerseits wurde die FK TG-Homepage zu Hilfe genommen. Hier wurden alle Regionalleiter angefragt, ob diese den Fragebogen beantworten könnten bzw. ob diese die Fragen an andere Experten, weiterleiten mögen. So sollte im besten Fall eine Art Schneeballsystem entstehen, um genügend Antworten bzw. verschiedenste Expertisen zu erhalten. Andererseits wurde in einschlägigen Fachzeitschriften zum Thema „SDI versus IP“ nach Artikeln bzw. nach Interviews gesucht. So konnten wiederum ein paar Kontaktdaten ermittelt werden, die potentielle Experten für diese Thesis sein könnten.

Durch die Vermittlung von Puls4 konnte Kontakt zur ProSiebenSat.1-Produktion GmbH hergestellt werden. Schlussendlich wurden auch hier zwei potentielle Experten kontaktiert. Einer der angeschriebenen Personen konnte meine Fragen nicht konkret beantworten, bot aber freundlicherweise an, den Fragebogen an zwei seiner Kollegen weiterzuleiten.

Wie bereits im Vorfeld erwartet, haben bedauerlicherweise nicht alle angeschriebenen Experten meine Fragen beantwortet bzw. überhaupt auf die Anfragen reagiert. Insgesamt wurden zwanzig Experten bzw. Firmen ermittelt, die laut gemachter Recherche die Expertise besitzen, die gestellten Fragen zu beantworten. Mit den beiden Personen, die von dem schon angesprochenen ProSiebenSat.1-Mitarbeiter empfohlen wurden bzw. an denen die Fragen weitergeleitet wurden, erhöht sich die Zahl der Befragten somit auf insgesamt zweiundzwanzig potentielle Experten.

Letztendlich haben fünf Experten auf meine Fragen reagiert. Diese sind anschließend aufgeführt:

1. DI Peter Steyskal - Leiter der Anlagentechnik im ORF
2. Andreas Lattmann - CTO bei TPC Switzerland AG
3. Jens Gnad - Geschäftsführer bei Logic Media Solutions GmbH
4. Matthias Barth - Senior Solution Architect bei der ProSiebenSat.1-Produktion GmbH
5. Wolfgang Kaiser - Abteilungsleiter der Planung und Projektierung im WDR

DI Peter Steyskal, Andreas Lattmann und Matthias Barth haben die Fragebögen schriftlich beantwortet. Jens Gnad sprach die Antworten auf ein Diktiergerät und übermittelte anschließend die Audiodateien. Mit Wolfgang Kaiser wurde ein Telefoninterview vereinbart um die gestellten Fragen zu beantworten. Die Antworten von Gnad und Kaiser wurden anschließend transkribiert.

4.1.2 Fragebogendesign

Im folgenden Kapitel werden die Fragen des Fragebogens, der den Experten vorgelegt wurde, aufgelistet:

1. Welche Vorteile bringt die Implementierung von IP-Infrastruktur im Vergleich zur bisher verwendeten SDI-Infrastruktur?
2. Welche Nachteile bringt die Implementierung von IP-Technologie?
3. Welche Vorteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung?
4. Welche Nachteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung?
5. Welche technischen Änderungen, im alltäglichen Betrieb, würden sich bei der Verwendung bzw. Implementierung der IP-Technologie ergeben?
6. Wäre eine Umstellung von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen, wenn bereits eine IP-basierte Produktionsumgebung existieren würde?
7. Müsste man beide Technologien miteinander vergleichen bzw. gegenüberstellen, welche Parameter wären für Sie entscheidend?
8. Welche der beiden Technologien wird sich, Ihrer Meinung nach, in Zukunft durchsetzen?
9. Im Hinblick auf eine zukünftige Umstellung von HD auf UHD. Würde es für Sie Sinn ergeben, im Moment eine Umstellung auf eine IP-basierende Produktionsumgebung voranzutreiben oder ist diese Ihrer Meinung nach mit einer Umstellung auf UHD gekoppelt?
10. Inwiefern halten Sie Teilimplementierungen von IP-Technik in einzelnen Bereichen für sinnvoll?

4.2 Antworten der Experten

Im Folgenden werden die Antworten der Experten, die den bereits beschriebenen Fragebogen ausgefüllt haben, behandelt.

4.2.1 DI Peter Steyskal - ORF

Als größten Vorteil der IP-Infrastruktur nennt Steyskal die anpassungsfähige Zuordnung von Ressourcen von Geräten, im Sinne von virtuellen Applikationen. Einen ebenfalls nicht zu vernachlässigbaren Vorteil sieht dieser in der sogenannten Remote-Production. Bei dieser Art der Produktion befindet sich nur ein Teil des Produktionsequipments vor Ort. Der Rest der verwendeten Infrastruktur kann an einem zentralen Ort, wie etwa am Standort des jeweiligen Broadcasters angesiedelt sein. Dadurch ist es möglich, auf die Signale in

jeglicher Art und Weise (beispielsweise messtechnisch) direkt vom Broadcastcenter zugreifen zu können (Steyskal, 2017).

Als letzten Vorteil nennt Steyskal das Einsetzen von Standard IT-Technologien. Als Folge davon meint er, dass sich eine Kostenreduktion ergeben könne. Ferner meint er, dass der zurzeit stattfindende Versuch von Broadcastequipmentherstellern, die IP-Technik durch die Verwendung von eigenen Spezifikationen, von COTS-Produkten fernzuhalten, nicht gelingen werde (Steyskal, 2017). Dies begründet er folgendermaßen: „Die große Macht der IT Konzerne wird sich schlussendlich auch in der professionellen Videotechnik niederschlagen und die bekannte Firmenordnung in der Branche neu ordnen. Hoffentlich zugunsten niedrigerer Preise für die Rundfunkanstalten“ (Steyskal, 2017, S. 1).

Die Verwendung dieser, zumindest für die professionelle Broadcastumgebung neue Technologie, bringt für Steyskal einen vorübergehenden Nachteil mit sich (Steyskal, 2017). Diesen erläutert er wie folgt:

Das über Jahrzehnte Gelernte, Optimierte und Ausgereifte muss Großteils über Bord geworfen werden. Dies stellt -insbesondere in der personellen Wissensstruktur - das Management der Rundfunksender vor sehr großen [*sic*] Herausforderungen. Die Planung, der Betrieb und insbesondere der Support muss mit der neuen Technologie fast zur Gänze an IT-Standardregelwerke angepasst werden. Im Laufe dieses Change Projektes in technologischer als auch personeller Hinsicht wird es viele Hürden geben. Die vielen Betriebs- und Konfigurationsmöglichkeiten bedürfen eine intensive Auseinandersetzung mit der neuen Technologie (Steyskal, 2017, S. 1).

Für ein positives Ergebnis bei der Implementierung von IP-Technologie wird eine Umverteilung des Wissensstandes für das Personal Voraussetzung sein (Steyskal, 2017).

Für Steyskal ist die Anwendung einer bewährten Technologie ein Vorteil einer SDI-basierten Produktionsumgebung. Weiters ergeben sich in der täglichen Verwendung weniger Komplikationen, da die Technik über Jahre hinweg optimiert und vervollständigt wurde. Zudem wurde durch die Standardisierung möglich, herstellerunabhängig Videosignale zu transportieren (Steyskal, 2017).

Ein Vergleich zwischen dem Umstieg von Analog zu Digital und dem Wechsel von SDI-Technologie zu IP-Technologie ist für den Leiter der ORF-Anlagentechnik nicht zulässig, da letztgenannter eindeutig komplexer sei (Steyskal, 2017).

Als großen Nachteil, der bei der Nutzung von SDI-Produktionsumgebungen entsteht, nennt Steyskal die zwangsläufige Verwendung von teuren Komponenten, wie etwa einer Kreuzschiene (Steyskal, 2017). Ferner meint er:

Der Übergang in die Streaming-, Coding-, und OnDemand Welt muss mit teuren, linearen En- und Decodern gewährleistet werden. In der zunehmend vernetzten, flexiblen, cloudbasierenden Welt ist es nicht mehr zeitgemäß, mit linearen Videokabeln die Signale zu übertragen. Zu aufwändig und damit zu teuer sind die notwendigen Schnittstellen an die IT- Welt (Steyskal, 2017, S. 2).

Im Gegensatz zu früher, könne heute auf schon verfügbare Technologie aus der IT-Branche Bezug genommen werden. Als Beispiel nennt er den Umstieg von bandbasierenden Workflows auf MAM-Systeme (Contentverwaltungssysteme), die auf IT-Technologie basieren (Steyskal, 2017).

Bezüglich einer Änderung im alltäglichen Betrieb, die mit der Verwendung von IP-Technologie entstehen könnte, äußert sich Steyskal dahingehend, dass sich für die Nutzer (z.B.: Personal am Regieplatz) weniger ändern wird, als für das Personal, welches für die Konfiguration bzw. den Support zuständig ist (Steyskal, 2017).

Auf die Frage, ob eine gegebene Umstellung von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen sei, wenn bereits IP-Technologie verwendet werden würde, bejahte der ORF Anlagentechnikleiter. Eine Umstellung von HD auf UHD auf Basis einer SDI-Produktionsumgebung hält Steyskal für unwahrscheinlich. Als Grund nennt er die hohe Anzahl an benötigten Kabeln (Steyskal, 2017).

Für Steyskal ist das Jahr 2019, aus heutiger Sicht der Zeitpunkt, in dem konkrete Planungen für eine IP Umstellung getroffen werden können. Diese würden Fortbildungen für das entsprechende Personal bzw. die Möglichkeit beinhalten, in Zusammenarbeit mit Erzeugern und Standardisierungsgremien an der neuen Technologie mitgestalten zu können (Steyskal, 2017). Eine allzu schnelle Umstellung hält er für nicht zweckmäßig, da momentan die Gefahr bestünde

„(...)auf den falschen Standard zu setzen(...)“(Steyskal, 2017, S. 3).

Eine Überlegung zu einem möglichen Zusammenhang von dem Wechsel auf IP-Technologie und UHD stellt Steyskal mit folgender Aussage an:

Die UHD Betrachtung darf bei allen konzeptionellen Überlegungen nicht vergessen werden. Eine definitive Umsetzungsentscheidung muss in Abhängigkeit der dann vorherrschenden Marktlage getroffen werden. Weiters hat bei dem UHD Thema die Kundenperspektive hohe Gewichtung. Es ist zu analysieren, wie viele Haushalte überhaupt technisch die Möglichkeit haben, UHD zu empfangen und auf einem Display darzustellen (Steyskal, 2017, S. 3).

Ferner spricht Steyskal von einer Grundsatzentscheidung, ob auf IP-Technologie gesetzt wird. Ist eine Entscheidung getroffen, ist unabdingbar mit einem gut bedachten Implementierungsplan ans Werk zu gehen. Die Aufstellung der, für eine Umstellung, benötigten finanziellen Mittel sei heutzutage eine schwierige Aufgabe. Abschließend meint er, dass eine allzu schnelle Umstellung, seiner Meinung nach, nicht stattfinden werde (Steyskal, 2017).

4.2.2 Andreas Lattmann - TPC Switzerland AG

Für Andreas Lattmann ist die Verwendung von IP-Infrastruktur die einzige Technik, die sicherstellt:

(...)dass wir eine für die Zukunft taugliche Basisinfrastruktur bereitstellen können. Aktuelle 4k (2160p/50) Produktionen sind zwar mit 12GBit SDI oder mit 4x3GBit SDI möglich. Zukünftige Entwicklungen wie HDR (High Dynamic Range), WCG (Wide Color Gammut) oder HFR (High Frame Rate) erzeugen Bandbreiten die in Kombination enorme Datenraten erzeugen und einzig über IP- Technologien verfolgt werden können (Lattmann, 2017, S. 1).

Weitere Vorteile ortet er in der Verwendung von den schon erwähnten COTS-Produkten, dem gegebenen Wachstum der Bandbreite von IP-Peripherie sowie in der Automatisierung von Workflows, die durch die Verwendung einer IP-Produktionsumgebung möglich werden (Lattmann, 2017).

Als Nachteile, die derzeit bei einer Verwendung von IP-Technik im professionellen Broadcastbereich gegeben sind, nennt Lattmann die noch fehlende Spezifizierung von Standards. Insbesondere meint er damit die

Standardreihe SMPTE ST 2110. Als Folge stellt diese Tatsache eine Herausforderung für Hersteller dar. Ferner stellt er, wie Steyskal fest, dass bei den Spezialisten in der Broadcastbranche noch nicht genügend Kenntnisse über diese Technologie vorhanden sind. Diese müssen schrittweise erarbeitet werden (Lattmann, 2017).

Vorteile von SDI-Produktionsumgebungen nennt Lattmann keine, da diese weitreichend bekannt sind. Als fundamentalen Nachteil nennt er hingegen die fragwürdige Zukunftstauglichkeit einer solchen Produktionsumgebung (Lattmann, 2017).

Auf die Frage, welche technischen Änderungen sich bei der Umstellung auf eine IP-Produktionsumgebung im alltäglichen Betrieb ergeben würden, meint Lattmann:

Es braucht anderes Know-How der Mitarbeiter, Operateure, Systemingenieure und Supportmitarbeiter. Ich kann noch nicht abschätzen, was sich operativ alles ergeben wird bin aber überzeugt davon, dass mit der Verwendung von IP-Technologie fundamentale Workflow-Änderungen möglich sein werden und ein Einsatz mit weniger Personal möglich wird. Dies kann entweder über Remote-Produktion oder über Automatisierung erfolgen (Lattmann, 2017, S. 1).

Ferner ist der CTO von TPC der Meinung, dass ein Umstieg von HD auf UHD mit einer schon bestehenden IP-basierten Produktionsumgebung leichter zu bewerkstelligen wäre. Die Firma TPC AG traf die Entscheidung, parallel mit der Einführung von UHD auf eine IP-basierende Produktionsumgebung (SMPTE ST 2110) umzusteigen (Lattmann, 2017).

Lattmann äußert sich dahingehend, dass sich seiner Meinung nach, die IP-Technologie (basierend auf SMPTE 2110) gegenüber SDI durchsetzen wird (Lattmann, 2017).

Einen hybriden Einsatz von IP-Technologie erachte er grundsätzlich für sinnvoll. Hintergedanke bzw. das gesteckte Ziel sollte darin bestehen, den betreffenden Bereich in Richtung einer vollwertigen IP-Produktionsumgebung zu entwickeln (Lattmann, 2017).

4.2.3 Jens Gnad - Logic Media Solutions GmbH

Den größten Vorteil, der bei der Verwendung von IP-Infrastruktur entsteht, sieht Gnad in der gegebenen Flexibilität. Dies begründet er einerseits mit der Tatsache, dass es keinerlei Einschränkungen gibt, welche Signale man auf einer

vorhandenen Leitung überträgt. Je nach Anwendung bzw. verwendeten SFP könnten das eine variable Anzahl an 1,5G oder 3G aber beispielsweise auch 4K Signale sein. Andererseits sei es mit der Verwendung von IP-Technologie bedeutend einfacher Signale über bestehende Weitverkehrsnetze an andere Standorte zu übertragen (Gnad, 2017).

Die größten derzeitigen Nachteile der IP-Technologie liegen für den Geschäftsführer der Firma Logic Media Solutions in den entstehenden Kosten. Dies begründet er mit der Tatsache, dass die betreffenden Mitarbeiter, anhand von Personalschulungen, mit der neu verwendeten Technik vertraut gemacht werden müssen (Gnad, 2017). Um diese Aussage zu unterstreichen, dient ein Zitat von Jens Gnad:

Sie müssen Personal schulen, das sie vorher so nicht hatten, das sich mit der Technologie so nicht auskannte. Das ist ein sehr großer Faktor. Sie haben Broadcasttechniker, die von IP keine Ahnung haben. Sie haben IT-Techniker, die von Broadcast keine Ahnung haben (Gnad, 2017, S. 1).

Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass die angewandte Technik hochkomplex sei. Ferner meint Gnad, dass besonders die Netzwerktopologie hochgradig umfangreich sei (Gnad, 2017).

Als größten Vorteil von SDI nennt Gnad die Bekanntheit des Serial Digital Interfaces. Weiters sei es für ihn relevant, dass es sich im Großen und Ganzen um eine Art Plug & Play-Technologie handelt. Seiner Meinung nach, gibt es bei der Verwendung einer SDI-basierten Produktionsumgebung nicht viele Herausforderungen. Dies sei ein Vorteil, der durch die diversen vorhandenen Standardisierungen der verschiedenen SDI-Versionen entstanden sei. Außerdem nennt er die Fehlersuche als weiteren Vorteil. Diese sei bedeutend einfacher als bei der IP-Technologie (Gnad, 2017).

Im Gegensatz zu IP sei man durch die Verwendung einer SDI-Produktionsumgebung limitiert. Diese Aussage begründet Gnad mit der Tatsache, dass man beispielsweise mit einem SD-SDI keine HD-Signale übertragen könne. Diese Beschränkungen sind für ihn die Hauptnachteile, die bei einer Nutzung von SDI entstehen (Gnad, 2017).

Die größten technischen Änderungen, die im alltäglichen Betrieb bei der Verwendung von IP-Technologie auftreten, sieht Gnad in der Steuereinheit. Bei der Verwendung von SDI ist die Kreuzschiene das zentrale Element (Gnad, 2017). Bei einer gegebenen Verwendung von IP-Technik gibt es drei verschiedene Möglichkeiten der Kommunikation:

4 Empirie

1. Source-Based-Switching (Gnad, 2017)
2. Destination-Based-Switching (Gnad, 2017)
3. Switched-Based-Switching (Gnad, 2017)

Für den Operator sollte an der Oberfläche alles möglichst gleichbleiben. Die Technologie darunter sei aber bedeutend komplexer, als bei SDI (Gnad, 2017).

Generell wäre für Jens Gnad ein Umstieg von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen, wenn eine bereits bestehende IP-Produktionsumgebung vorhanden ist (Gnad, 2017). Die begründet er mit der Formatunabhängigkeit von IP:

Heißt, sie können einfach, wenn sie sagen sie haben eine 40G Infrastruktur von A nach B, wo sie vorher eben mehrere 3G Signale übertragen haben, können sie jetzt auch einfach sagen, sie nehmen sich ein paar 3G Signale weg und übertragen dafür eben ein UHD-Signal. Kein Problem (Gnad, 2017, S. 3).

Ferner weist Gnad jedoch darauf hin, dass es für ihn keine zwangsläufige Verbindung zwischen IP-Technologie und UHD gibt (Gnad, 2017).

Gnad ist sich zudem sicher, dass sich die IP-Technik früher oder später gegenüber der SDI-Technik durchsetzen wird. Des Weiteren nennt er einen Zeitraum von fünf Jahren, indem jedes Gerät, das in den Markt eingeführt wird, ein IP-Interface haben wird bzw. neu entstehende Projekte werden, seiner Meinung nach, schon komplett auf IP-Technologie setzen. Nach Aussage von Gnad, sei dies in der Branche auch bekannt. Als Untermauerung seiner Aussagen nennt er die Ausstattung von zwei Fernsehstationen in Norwegen, die von seiner Firma durchgeführt werden. Diese setzen weitgehend auf die IP-Technologie (Gnad, 2017).

Auf die Frage, inwiefern Teilimplementierungen von IP-Technologie sinnvoll sind, gibt Gnad keine dezidierte Antwort. Jedoch weist er darauf hin, dass derzeit hybride Lösungen bei Kunden durchaus gefragt sind. Als Beispiel nennt er einen Auftrag von Plaza Media in München. Für die Sport1-Sendung „Doppelpass“, wurde eine hybride Lösung realisiert. Im Studio und in der Regie werden weiterhin SDI verwendet. Bei der restlichen Infrastruktur wurde schon auf die IP-Technologie gesetzt (Gnad, 2017).

Abschließend meint Gnad, dass für ein abgeschlossenes Umfeld nicht unbedingt IP-Technologie benötigt wird. Geht es jedoch um vernetzte Infrastrukturen, beispielsweise mehrere Studios an unterschiedlichen Standorten, die

untereinander angebunden werden sollen, kommen die Fähigkeiten der IP-Technologie voll zur Geltung (Gnad, 2017).

4.2.4 Matthias Barth - ProSiebenSat.1 Produktion GmbH

Für Barth wird es durch die Verwendung von IP-Technologie möglich, in Hinblick auf räumliche Gegebenheiten, Technik und Betrieb leichter zu trennen. Als weiteren Vorteil nennt er die dadurch mögliche Vernetzung von mehreren Studio- und Regieeinheiten an verschiedenen Standorten. Er spricht ebenfalls davon, dass die Skalierbarkeit einer auf IP basierenden Infrastruktur bedeutend einfacher ist, als die von SDI-Kreuzschienen (Barth, 2017). Als Beispiel führt er an: „So sind ja 4000x4000 und größere IP Vernetzungen ja bereits in Planung. Das geht mit SDI nicht mehr in einem vernünftigen Rahmen“ (Barth, 2017, S. 1). Abschließend ist anzumerken, dass er davon spricht, dass all diese Aspekte theoretisch möglich sind. Dabei lässt er jedoch offen, ob diese auch im alltäglichen Produktionsbetrieb ohne Einschränkungen zutreffen (Barth, 2017).

Zu den Nachteilen von IP äußert sich Barth dahingehend, dass er eine Unsicherheit durch fehlende Standards ortet. Für ihn sind die bestehenden Standards SMPTE ST 2022-6/7 unzureichend, da hier der komplette SDI-Stream in IP überführt wird. Erst mit SMPTE ST 2110 wird es möglich sein, Video-, Audio- und Aux-Daten getrennt voneinander zu transportieren. Dieser ist jedoch, wie er sagt, noch nicht standardisiert. SMPTE ST 2110 könnte durch die beschriebene Arbeitsweise Vorteile bringen, gleichzeitig weist er aber auf einen Mehraufwand hinsichtlich der Verwaltung dieser Streams hin (Barth, 2017). Dazu gibt der Senior Solution Architect der ProSiebenSat.1 Produktion ein Beispiel:

Rechenbeispiel: 1x Video, (nur) 16x Audio, 3 – 4 Aux Data Spuren (Dolby Informationen, R128, Videotext etc.) Macht schon 20 Streams (oder Multicastadressen), die ich verwalten muss – für eine Quelle! Ein größeres TV Haus kommt ohne weiteres auf 1500x1500 QuellenxSenken (Barth, 2017, S. 1).

Eine Erleichterung zu dieser Thematik könnte laut Barth durch NMOS realisiert werden. Auch das Thema Sicherheit, Hacking und Viren ist für Barth noch nicht vollends geklärt, wird aber nach seiner Einschätzung eine wichtige Rolle einnehmen. Ebenso äußert er sich, dass eine IP-Vernetzung für kleinere bis mittlere Umgebungen teurer wären, als eine vergleichbare Kreuzschiene für SDI (Barth, 2017).

Als Vorteile einer SDI-basierten Produktionsumgebung nennt Barth, dass diese seit Jahren etabliert ist und es sich dabei um eine Technologie handelt, die stabil

ist. Ebenso die Eigenschaften der Interoperabilität sowie der Sicherheit (Viren etc.) sind gegeben (Barth, 2017).

Generell sieht er wenig Nachteile, die eine SDI-Umgebung betreffen. Er stellt jedoch fest, dass eine SDI-Produktionsumgebung teilweise unflexibel ist (Barth, 2017).

Technische Änderungen im alltäglichen Betrieb, die sich durch die Verwendung bzw. die Implementierung von IP-Technologie ergeben, sieht Barth einige. Die erste Änderung betrifft die Fehlersuche. Als nächste Änderung nennt er Updates (Barth, 2017). Hierzu sagt er Folgendes:

Bei einzelnen Geräten ist das überschaubar. Interessant wird das z.B. bei zentralen Komponenten, wie z.B. einen Spine Switch im Netz – hier muss erst einmal für alle der mehreren Hundert (oder mehr?) Streams eine alternative Route ins System eingesteuert werden, dass es an keiner Senke eine sichtbare Störung gibt, bevor man den betreffenden Switch in die Maintenance nehmen kann (Barth, 2017, S. 2).

Ein Problem, das bei der Implementierung auftreten kann, ist aus seiner Sicht die teilweise beschränkte Produktauswahl in einigen Bereichen (Messgeräte, Multiviewer etc.). Diese Tatsache könnte zu nicht unbedingt schönen Umsetzungen für den User führen (Barth, 2017).

Auf die Frage, ob eine Umstellung von HD auf UHD mit einer bereits existierenden IP-Produktionsumgebung leichter zu bewerkstelligen wäre, antwortete dieser mit einem Ja. Voraussetzung dafür sei aber, dass die von ihm angesprochenen Probleme bei dem Netzwerkdesign berücksichtigt worden sind (Barth, 2017).

Barth ist sich sicher, dass sich langfristig IP gegenüber SDI durchsetzen wird. Ebenso meint er aber auch, dass in der Broadcastbranche lange Technologieeinsatzzeiten vorherrschen. Dies ist die Folge von relativ hohen Investitionskosten. Dadurch könnte es möglich sein, dass die Umstellung auf IP länger dauern könnte. Typische Refreshzyklen im Broadcastbereich belaufen sich auf fünf bis zehn Jahre (Barth, 2017).

Eine Zwangskopplung für den Umstieg von HD auf UHD und der Einführung einer IP-Produktionsumgebung sieht Barth nicht (Barth, 2017).

Teilimplementierungen sieht Barth als Weg, den die meisten Firmen einschlagen werden. Als Grund meint dieser, dass man mit ersten Insellösungen die Lernkurve für Mitarbeiter schrittweise steigern könnte. Ferner könnte man so

Probleme, die eventuell auftreten zum ersten lokalisieren und zum zweiten anschließend beheben (Barth, 2017).

Laut der Einschätzung des Senior Solution Architect der ProSiebenSat.1 Produktion GmbH werden TV-Sender, die aktuell nicht in neue Infrastruktur investieren müssen, noch eine gewisse Zeit abwarten (Barth, 2017).

4.2.5 Wolfgang Kaiser - WDR

Wolfgang Kaiser weist generell darauf hin, dass jegliche Vorteile, die für eine IP-Infrastruktur sprechen, in Relation zu den Nachteilen stehen sollten. Für den WDR liege ein Vorteil darin, vernetzte Produktionsumgebungen etablieren zu können. Generell liegt der Mehrwert, der bei einer Verwendung von IP-Technik entstehe darin, Kosten einzusparen. Dies soll vor allem durch die Nutzung von sogenannten „off-the-shelf“-Produkten möglich werden. Prinzipiell erhofft man sich auch einen Zuwachs an Funktionalität. Als Beispiel nennt Kaiser das nicht mehr, wie bei einem SDI-Netzwerk, notwendige manuelle Routen, da die IP-Pakete ihre Zieladresse kennen (Kaiser, 2017).

Ein derzeit bestehender Nachteil bei Verwendung von IP-Technologie besteht laut dem WDR-Abteilungsleiter darin, dass derzeit noch nicht die angesprochenen Standard-IT-Produkte verwendet werden können. Einen weiteren Nachteil sieht er in den sogenannten Folgekosten. Diese wären bedeutend höher, als bei einer SDI-basierenden Infrastruktur (Kaiser, 2017). Dazu nennt er folgendes konkretes Beispiel:

Also eine Videokreuzschiene, die heute so das Herz einer SDI-Umgebung ist, eine große Videokreuzschiene, die hat typischerweise Folgekosten von 2-3% des Anschaffungswertes im Jahr. Das ist ein relativ niedriger Faktor, im Vergleich zu den Folgekosten, den so ein leistungsfähiger IP-Router hat. Der IP-Router, der die Kreuzschiene ersetzt, würde, wenn ich mal ein Cisco-Produkt jetzt ansetze, mit 15% pro Jahr an Folgekosten reingehen (Kaiser, 2017, S. 1).

Diese Folgekosten werden unter anderem dadurch verursacht, dass die eingesetzten IT-Produkte regelmäßigen Funktions- bzw. Sicherheitsupdates unterzogen werden müssen (Kaiser, 2017).

Der letzte angesprochene Nachteil der IP-Technologie ist zugleich ein Vorteil, der für eine SDI-basierende Produktionsumgebung spricht. Als Beispiel nennt Kaiser eine SDI-Kreuzschiene. Wurde diese anständig konfiguriert, laufe diese mehrere Jahre ohne größere Probleme. Ferner spricht er davon, dass eine SDI-

Umgebung vollkommen sicher hinsichtlich Viren etc. sei. Dies wäre bei einer IP-Produktionsumgebung nicht vollends gegeben (Kaiser, 2017).

Ein bedeutender Nachteil an einer SDI-basierenden Produktionsumgebung ist laut dem WDR-Angestellten, dass der Markt, im Gegensatz zum IT-Markt, relativ klein sei. Dadurch entstehe die Gefahr, dass bei einem eventuellen Wegfall von Kunden, der durch die Verbreitung anderer Technologien möglich sein könnte, Hersteller nicht mehr neue Produkte herstellen bzw. vertreiben, da der Markt nicht mehr rentabel sei. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass implementierte SDI-Technik, beispielsweise das damalige SD-SDI, nicht updatebar ist. Als Folge muss bei einer Umstellung auf die nächste Qualitätsstufe, damals HD, die komplette Produktionsumgebung ersetzt werden (Kaiser, 2017).

Auf die Frage, ob es einfacher wäre den Sprung von HD auf UHD mit vorhandener IP-Produktionsumgebung zu schaffen, antwortete Kaiser, dass es speziell beim WDR darauf ankomme, welcher Standort umgestellt werden soll. Für kleinere Umgebungen, dazu zählen die Landesstudios etwa in den Städten Bielefeld und Münster, sei eine UHD-SDI-Produktionsumgebung erheblich günstiger, als eine vergleichbare IP-Produktionsumgebung. Außer den niedrigeren Kosten, nennt Kaiser einen weiteren Grund. Da es sich bei den angesprochenen Landesstudios um Produktionsbereiche handelt, bei denen ein eindeutiger Funktionsumfang definiert wurde bzw. weniger Komplexität vorherrscht, könne dies mit einer 12G-SDI-Umgebung realisiert werden. Zudem gehe er davon aus, dass die erwähnten Produktionsumgebungen in den nächsten Jahren ihre Produktionsart nicht ändern werden. Vorteil bei der 12G-SDI-Lösung sei auch, dass keine Schulungen für die betreffenden Mitarbeiter notwendig seien. Bei größeren Projekten, die in Zukunft anstehen könnten, neige er aber dazu, eine IP-basierende Produktionsumgebung zu favorisieren. Als Grund nennt er eine höhere Flexibilität sowie eine höhere Zukunftssicherheit. Als Beispiel nennt er ein Studio, das im Jahr 2020 in Köln entstehen soll. Generell glaubt Kaiser jedoch, dass sich die IP-Technologie gegenüber der SDI-Technologie auf mittlere Sicht durchsetzen werde. Darüber hinaus könne man durch den Austausch von einigen Bestandteilen der IP-Produktionsumgebung eine nächste Generation an Leistungsfähigkeit bzw. einen Qualitätssprung (Umstellung von HD auf UHD) realisieren (Kaiser, 2017).

Auf die möglichen technischen Änderungen, die sich möglicherweise bei der Implementierung bzw. der Handhabung einer IP-basierenden Produktionsumgebung ergeben, meinte er, dass diese durchaus vorhanden sind. Neben den entstehenden Schulungen für Personal, sprach er im Detail einige Funktionen einer SDI-Kreuzschiene an, die, wie er sagt, in einer IP-Produktion

erst mühsam realisiert werden müssen. Diese wären etwa ein freies Routen von Audiospuren, die Belegung von Bildquellen auf einem Multiviewer sowie das Up- bzw. Downconverting von HD- und UHD-Signalen. Generell meinte er, dass ein Umstieg auf IP-Technologie einen gewaltigen Aufwand für die Gerätetechnik bedeute (Kaiser, 2017).

Auf seine Meinung bezüglich Teilimplementierungen von IP-Technologie in gewissen Bereichen angesprochen, meinte er, dass diese Überlegung innerhalb des WDR durchaus diskutiert wird. Bei der Ausstattung von Ü-Wagen könne er sich eine solche Lösung am besten vorstellen. Ferner verwies er auf die derzeitigen Ansätze in der Industrie, wo neue UHD-Ü-Wägen mit IP-Technologie ausgestattet werden. Einen solchen Übertragungswagen in erster Linie als Insellösung zu betreiben, erachtet Kaiser für durchaus vernünftig, um in diesem Bereich Erfahrungen machen zu können (Kaiser, 2017).

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Beantwortung der Forschungsfragen

In diesem Kapitel sollen alle vier gestellten Forschungsfragen beantwortet werden. Die Beantwortung basiert auf der angestellten Literaturrecherche sowie den gegebenen Antworten der Experten.

4.3.1.1 *Welche Vorteile bringt die Implementierung der IP-Technologie im Vergleich zur bisher verwendeten Technologie?*

Die Implementierung von IP-Technologie kann unter Umständen eine Vielzahl an Vorteilen bringen. Zum ersten wird eine neue Art der Remoteproduktion ermöglicht, in dem Equipment dezentral angesiedelt werden kann. Ein weiterer Vorteil besteht in der intelligenten Vernetzung von Studioinfrastruktur an verschiedenen Standorten. So könnte ein Mehrwert an Flexibilität sowie an Funktionalität entstehen. Im Gegensatz zu SDI ist das Bandbreitenwachstum bei IP größer. So könnte durch den Tausch von wenigen Komponenten der Sprung von HD auf UHD möglich werden. Ferner ist es möglich, dass als Folge einer Umstellung auf IP, Kosten reduziert werden können. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass Standard-IT-Produkte eingesetzt werden können. Die Größe des IT-Marktes ist ebenfalls ein Indikator für eine eventuelle Kostenreduktion. Wie von einem der Experten angesprochen wurde, besteht zudem auch die Möglichkeit von neuen automatisierten Workflows.

4.3.1.2 Welche Nachteile bringt die Implementierung der IP-Technologie im Vergleich zur bisher verwendeten Technologie?

Für manche Experten bedeutet der Umstieg auf IP-Technologie, dass das Wissen das über Jahre hinweg angeeignet wurde, größtenteils unbrauchbar wird. Zudem müsse eine Anpassung von Planung, Betrieb und Support an die neue Technologie stattfinden. Ein weiterer Nachteil der erwähnt wurde, besteht darin, dass es bei einer IP-basierenden Produktionsumgebung eine Vielzahl an Betriebs- und Konfigurationsmöglichkeiten gibt und, dass es sich dabei um eine hochkomplexe Technik handle, die über eine umfangreiche Netzwerktopologie verfügt. Diese angesprochenen Aspekte müssen für einen fehlerfreien Betrieb einwandfrei beherrscht werden. All diese Punkte machen eine Erweiterung des Wissensstandes unabdingbar. Dies bedeutet, dass Schulungen für Mitarbeiter realisiert werden müssen. Diese Tatsache wiederum könnte die Investitionskosten steigen lassen. Die momentan fehlende Spezifizierung von SMPTE ST 2110 kann ebenfalls noch als vorübergehenden Nachteil gewertet werden. Zudem verfügt eine IP-basierende Produktionsumgebung, entstehend durch regelmäßige Sicherheits- bzw. Funktionsupdates, über höhere Folgekosten, als eine SDI-basierende Produktionsumgebung.

4.3.1.3 Welche Änderungen ergeben sich im alltäglichen Betrieb bei der Verwendung bzw. Implementierung der IP-Technologie im Gegensatz zur bisherig verwendeten Technik?

Eine Änderung, die sich ergeben könnte, sind die schon angesprochenen Schulungen für Mitarbeiter. Generell weisen die Experten jedoch darauf hin, dass sich für Anwender (Regiecrew etc.) nicht allzu viele Änderungen ergeben sollten. Diese entstehen eher für das Personal der Technik bzw. des Supports. Wie schon erwähnt, handelt es sich bei der IP-Technik um eine relativ neuartige Technik für die Broadcastindustrie. Aus technischer Sicht ändere sich durch den Wegfall der zentralen SDI-Kreuzschiene so einiges. Dies würde insbesondere das Routing von Signalen betreffen. Zudem sei die Methode der Fehlersuche eine andere. Besonders Wolfgang Kaiser vom WDR sprach die Vielzahl an Funktionen einer modernen SDI-Kreuzschiene an. Diese Funktionen müssen bei der Verwendung einer IP-basierenden Produktionsumgebung komplett neu realisiert werden.

4.3.1.4 Wäre die Umstellung von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen, wenn die IP-Technik bereits implementiert ist?

Für den Großteil der Experten steht fest, dass eine Umstellung von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen sei, wenn bereits eine IP-basierte

Produktionsumgebung bestehen würde. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die angesprochenen Nachteile bzw. Probleme weitgehend beseitigt wurden. Einzig Wolfgang Kaiser meinte dazu, dass es darauf ankäme, welche Standorte mit IP ausgestattet werden sollen. Die im WDR angesiedelten Regional- bzw. Landesstudios haben aufgrund des eng definierten Funktionsumfangs bzw. der weniger vorherrschenden Komplexität nicht unbedingt die Notwendigkeit auf IP umzusteigen. Dies könnte ebenfalls mit einer SDI-basierenden Lösung realisiert werden. Bei größeren Produktionsumgebungen hingegen favorisiert dieser jedoch eine IP-basierende Lösung.

4.3.2 Hypothesenprüfung

Unter der Berücksichtigung der durchgeführten Literaturrecherche sowie den Antworten, die aus den Experteninterviews hervorgegangen sind, kann die nachstehend angeführte Hypothese folgendermaßen beurteilt werden:

Aufgestellte Hypothese:

1. Wenn die vorhandene SDI-Infrastruktur innerhalb einer Live-Produktions-Broadcastumgebung durch IP-Technik ersetzt wird, dann ergeben sich deutliche Vorteile in vielen Bereichen (Kosten, Formatunabhängigkeit, Umstieg auf UHD etc.) im Gegensatz zur Verwendung der bis dato eingesetzten Technologie.

Es kann durchaus festgestellt werden, dass sich nicht unbedingt eine solch überwiegende Anzahl an Vorteilen ergibt, wie bei der Aufstellung der Hypothese angenommen wurde. Somit kann die Hypothese, meiner Meinung nach, nicht eindeutig verifiziert werden und wird damit zumindest teilweise falsifiziert. Begründet wird dies damit, dass aktuell noch zu viele negative Punkte vorhanden sind, wie eben der noch nicht spezifizierte Standard der SMPTE, ST 2110.

5 Fazit und Ausblick

Es kann durchaus festgestellt werden, dass die Broadcastbranche einem eventuellen Wechsel entgegengeht. Dieser Umschwung könnte es möglich machen, dass spezialisierte Produkte, die bisher einzig und allein in dieser Branche eingesetzt wurden, durch herkömmliche IT-Produkte ersetzt werden könnten.

Eine SDI-basierende Produktionsumgebung bietet eine stabile sowie sichere Performance. Durchaus kann festgestellt werden, dass es sich bei der Verwendung dieser Technik um eine bewährte Art der Produktionsumgebung handelt. Die Tatsache, dass es mehrere Evolutionsstufen des Serial Digital Interfaces gibt, die von der Industrie angenommen wurden, beweist diese Feststellung. Trotzdem gibt es in der Branche eine gewisse Unsicherheit, ob eine zukünftige Umstellung von HD auf UHD mit dieser Technik möglich bzw. sinnvoll ist. Jedoch wurde anhand der Literaturrecherche bzw. anhand der Experteninterviews klar, dass es darauf ankommt, welche Anforderungen an eine Produktionsumgebung gestellt werden.

Wie in der Arbeit erläutert wurde, bietet eine IP-basierende Produktionsumgebung viele Vorteile, wie etwa eine Kostenreduktion bei Verwendung von Standard-IT-Komponenten, mehr Flexibilität sowie die Möglichkeit neue Workflows einführen zu können. Diese Vorteile kommen jedoch im Moment noch durch eine gewisse Anzahl an Nachteilen nicht vollends zur Geltung. Deshalb konnte auch die aufgestellte Hypothese nicht vollkommen verifiziert werden. Die Standardisierung der Standardreihe SMPTE ST 2022 war ein erster Schritt in Richtung einer womöglichen Umstellung von SDI zu IP. Schnell wurde jedoch klar, dass das Überführen eines SDI-Datenstromes in nur einen IP-Datenstrom nicht ausreichen würde. Wie schon erwähnt, ist die Spezifizierung von SMPTE ST 2110 noch ausstehend. Darüber hinaus können erhöhte Folgekosten den Vorteil von niedrigen Investitionskosten teilweise ausgleichen. Ebenso nicht zu vernachlässigen ist die Tatsache, dass die betroffenen Mitarbeiter, die für den Support bzw. für die Konfiguration zuständig sind, geschult werden müssen um einen neuen Wissensstand zu erreichen. Zudem gestaltet sich, laut der Meinung von zwei Experten, derzeit die

5 Fazit und Ausblick

Fehlersuche bei einer SDI-Produktionsumgebung wesentlich einfacher, als bei einer IP-basierenden Produktionsumgebung. Diese Feststellung steht vor allem mit der, im Gegensatz zu einem SDI-System, deutlich höheren Komplexität eines IP-Systems in Zusammenhang.

Trotzdem sind sich alle befragten Experten einig, dass sich früher oder später die IP-Technologie gegenüber der SDI-Technologie durchsetzen wird. Diese Meinung der Experten wird durch die Literaturrecherche keinesfalls widerlegt, sondern eher verifiziert. Ebenso denkbar ist es, dass anfangs erste IP-Inseln innerhalb einer bestehenden SDI-Produktionsumgebung aufgebaut werden, um dadurch erste Erfahrungswerte mit der neuen Technik unter realen Produktionsbedingungen zu sammeln.

Abschließend ist zu sagen, dass die Broadcastbranche einer sehr spannenden Zeit entgegengeht, die die Art und Weise der Produktionstechnik womöglich für immer verändern wird.

Literaturverzeichnis

AES. (2015). AES Standards News Blog » AES67-2015, Audio-over-IP network interoperability, Revision published. Retrieved July 23, 2017, from <http://www.aes.org/standards/blog/2015/9/aes67-2015-audio-over-ip-150921>

AIMS. (2016). An Argument for Open IP Standards in the Media Industry Alliance for IP Media Solutions. Retrieved from <http://aimsalliance.org/wp-content/uploads/2017/01/An-Argument-for-Open-IP-Standards-Jan-3-2016-FINAL.pdf>

AIMS. (2017). AIMS GUIDELINES TO PREPARING BROADCAST FACILITIES FOR IP-BASED LIVE TV PRODUCTION. Retrieved from <http://aimsalliance.org/wp-content/uploads/2017/05/AIMS-GUIDELINES-TO-PREPARING-BROADCAST-FACILITIES-FOR-IP-BASED-White-Paper.pdf>

AMWA. (n.d.). About | Advanced Media Workflow Association. Retrieved August 6, 2017, from <http://www.amwa.tv/about.shtml>

Arista. (2016). Audio Video Bridging (AVB). Retrieved from https://www.arista.com/assets/data/pdf/Whitepapers/Arista_Audio_Video_Bridging_WhitePaper.pdf

Artel. (2014). THE BROADCASTER'S GUIDE TO SMPTE 2022: APPLICATIONS IN VIDEO CONTRIBUTION AND DISTRIBUTION.

AVnu Alliance. (2014). AVnu Alliance - Best Practices Stream Reservation Protocol. Retrieved from http://avnu.org/wp-content/uploads/2014/05/AVnu_Stream-Reservation-Protocol-v1.pdf

Barella, S. (2016). Practical Transition Strategies of SDI Facilities Utilizing Newer IP Baseband A/V signals. Retrieved from <http://utahscientific.com/wp-content/uploads/2017/03/160930-SDI-Facilities-Transition-to-IP-SMPTE-FINAL-2.pdf>

Barella, S. (2017). The Pillars of the New SMPTE 2110 Standard. Retrieved from <http://utahscientific.com/white-papers/>

Barth, M. (2017, August 4). Diplomarbeit - Experteninterview.

Belden. (2017). Detailed Specifications & Technical Data - 8281 Coax - Double Braided RG-59/U Type.

Blackmagicdesign. (2016). Installations- und Bedienungsanleitung ATEM

Production Switchers.

Bürgel, M. (2012). Videokreuzschiene - Kompendium HD-Grundlagen. Retrieved from <https://www.hdm-stuttgart.de/~buergel/PDF/Videoreuzschiene.pdf>

Ebner, M. (2013). *Live-Videotechnik: Projektion, Streaming, Aufzeichnungen*. Retrieved from <https://books.google.at/books?id=lehbfDfQj9AC&printsec=frontcover&hl=de#v=onepage&q&f=false>

EBU. (2011). EBU Technical Report - Advice on the use of 3 Gbit/s HD-SDI interfaces.

Edwards, T. (2017). RTP Payload for SMPTE ST 291 Ancillary Data. Retrieved July 25, 2017, from <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-payload-rtp-ancillary-10>

Eveleens, J. (2014). Ethernet AVB Overview and Status. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/7269332/>

Film-TV-Video. (2015). IP: Die Zukunft der Broadcast-Welt? Retrieved December 11, 2016, from <https://www.film-tv-video.de/business/2015/09/04/ip-die-zukunft-der-broadcast-welt/>

Gnad, J. (2017, August 4). Diplomarbeit - Experteninterview.

Hoffmann, D. (2014). *Einführung in die Informations- und Codierungstheorie*.

Hudson, J. (2013). 3Gb/s SDI for Transport of 1080p50/60, 3D, UHD TV1 / 4k and Beyond. Retrieved from <https://www.smpte.org/sites/default/files/2013-09-10-3GSDI-Hudson-V3-Full.pdf>

Hudson, J., & Seth-Smith, N. (2006). 3G: The Evolution of the Serial Digital Interface (SDI). *SMPTE Motion Imaging Journal*, (November/December 2006). Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/7264934/>

IEEE Computer Society. (2011). IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Audio Video Bridging (AVB) Systems - IEEE Std 802.1BA.

ITU. (2011). RECOMMENDATION ITU-R BT.601-7 - Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios. Retrieved from https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.601-7-201103-I!!PDF-E.pdf

ITU. (2015). RECOMMENDATION ITU-R BT.2020-2 Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange. Retrieved from https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.2020-2-201510-I!!PDF-E.pdf

- Jenik, P. (n.d.). *LAN - Netzwerk*.
- Jones, G. A., Osenkowsky, T. G., & Layer, D. H. (2007). *National Association of Broadcasters Engineering Handbook* (10th ed.).
- Kaiser, W. (2017, August 8). Diplomarbeit - Experteninterview.
- Kojima, T., Stone, J. J., Chen, J.-R., & Gardiner, P. N. (2015). A Practical Approach to IP Live Production. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/7269334/>
- Laabs, M. (2012). SDI over IP - seamless signal switching in SMPTE 2022-6 and a novel multicast routing concept. Retrieved from https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_2012-Q4_SDI-over-IP_Laabs.pdf
- Laabs, M. (2013). SDI über IP - Unterbrechungsfreies Schalten in SMPTE 2022-6 und ein studiotaugliches Multicast-Konzept für Video-in-IP-Datenströme.
- Lattmann, A. (2017, July 14). Diplomarbeit - Experteninterview.
- Lewis, W. (2009). *LAN-Switching und Wireless: CCNA-Exploration-Companion-Guide*. Retrieved from https://books.google.at/books?id=ZC2qwkdDsMJgC&pg=PA89&lpg=PA89&dq=Anwendungsspezifische+integrierte+Schaltung+-+switches&source=bl&ots=BdgUNW7xkG&sig=oAwlwptPvUxFTKs-mQ9txNOg6N4&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwj8z6-Y_UAhWDVywKHx6LCTkQ6AEIKzAB#v=onepage&q=Anwendungsspezifische%20integrierte%20Schaltung%20-%20switches&f=false
- L-S-B wird zu Lawo. (n.d.). Retrieved June 19, 2017, from https://www.lawo.de/de/aktuell/news/nbsp/l_s_b_wird_zu_lawo_ip_loesungen_fuer_network_audio_video_und_control_jetzt_aus_einer_hand.html
- Mailhot, J. (2017). What is SMPTE ST2110 and Why Does It Matter? Retrieved from <https://www.smpte.org/sites/default/files/2017-06-22-ST-ST2110-Mailhot-V2-Handout.pdf>
- Nevion. (2016). Standards for media transport over IP. Retrieved July 5, 2017, from <https://nevision.com/blog/standards/>
- Olson, G. (2016a). Understanding The Technology Behind IP Standards: Part 2 - The Broadcast Bridge - Connecting IT to Broadcast. Retrieved July 4, 2017, from <https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/6166/understanding-the-technology-behind-ip-standards-part-2>
- Olson, G. (2016b). Understanding the Terminology Behind IP Standards - The Broadcast Bridge - Connecting IT to Broadcast. Retrieved July 4, 2017, from <https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/5924/understanding-the->

terminology-behind-ip-standards

Olson, G. (2017). SMPTE ST-2110 - "We are Family" - The Broadcast Bridge - Connecting IT to Broadcast. Retrieved July 5, 2017, from <https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/8678/smp-te-st-2110-we-are-family>

Pannell, D. (2015). IEEE TSN Standards Overview & Update. Retrieved from https://standards.ieee.org/events/automotive/2015/03_IEEE_TSN_Standards_Overview_and_Update_v4.pdf

Pennington, A. (2017). The future of SMPTE 2110 and beyond: SVG Europe. Retrieved August 6, 2017, from <http://www.svg-europe.org/blog/headlines/the-future-of-smp-te-2110-and-beyond/>

Petty, G. (2009). SDI der nächsten Generation: Glasfaser-SDI | FKTG - Fernseh- und Kinotechnische Gesellschaft. Retrieved from <https://www.fktg.org/sdi-der-naechsten-generation-glasfaser-sdi>

Pfeifer, C. (2014). IP-Netzwerke für die Live-Produktion. Retrieved from <https://www.fktg.org/ip-netzwerke-fuer-die-live-produktion>

Poynton, C. (2003). *Digital Video and HDTV Algorithms and Interfaces*.

Riggert, W. (2014). *Rechnernetze* (5.).

Röder, J. (2009). *Eine Netzwerkarchitektur zum Einsatz des Material Exchange Formats für Live-Produktionen im professionellen Fernsehstudio*. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/2552/bb769073cc9f35070917d190fcc8b9916c07.pdf>

SAM. (n.d.). sQ Server - Snell Advanced Media. Retrieved June 20, 2017, from <https://s-a-m.com/products/sq-server/c-24/p-182>

Savino, H. J., & Batista de Lima Filho, E. (2017). Multimedia Tools and Applications - An International Journal. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-016-3814-3>

Schmidt, U. (2013). *Professionelle Videotechnik - Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, DI, 3D* (6. Auflage).

Schnabel, P. (2016). *Netzwerktechnik-Fibel*.

Seth-Smith, N. (2015). Network-Based Timing, Genlock and Time Code - Using Precision Time Protocol. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/7309043/>

Seth-Smith, N., Hudson, J., & Conrod, R. (2015). UHD in a Hybrid SDI/IP World.

Retrieved from https://www.smpte.org/sites/default/files/users/user27446/Soiree%20CES%20-%204K%20-%20UHD_hybrid_SDI_IP_Imagine.pdf

Silfvast, R. (2013). IEEE 1722 Media on AVB Networks - Presentation to the AVnu Alliance Broadcast Advisory Council. Retrieved from http://avnu.org/wp-content/uploads/2014/05/AVnu-AABAC_IEEE-1722-Media-on-AVB-Networks_Rob-Silfvast.pdf

Simpson, W. (2013). SMPTE 2022 and the Future of Video Over IP | TvTechnology. Retrieved July 18, 2017, from <http://www.tvtechnology.com/insight/0083/smpite--and-the-future-of-video-over-ip/220188>

Singer, S. (2014). Ethernet AVB in Infotainment. Retrieved from https://standards.ieee.org/events/automotive/2014/04_Ethernet_AVB_in_Infotainment.pdf

SMPTE. (2015a). ST 2081-1:2015 - SMPTE Standard - 6 Gb/s Signal/Data Serial Interface #x2014; Electrical. *SMPTE ST 2081-1:2015*, 1–14. <https://doi.org/10.5594/SMPTE.ST2081-1.2015>

SMPTE. (2015b). ST 2082-1:2015 - SMPTE Standard - 12 Gb/s Signal/Data Serial Interface #x2014; Electrical. *SMPTE ST 2082-1:2015*, 1–14. <https://doi.org/10.5594/SMPTE.ST2082-1.2015>

SMPTE. (2016a). 6G-SDI Bit-Serial Interfaces — Overview for the SMPTE ST 2081 Document Suite.

SMPTE. (2016b). 12G-SDI Bit-Serial Interfaces — Overview for the SMPTE ST 2082 Document Suite.

SMPTE. (2017). Serial Digital Fiber Transmission System for SMPTE ST 259, SMPTE ST 344, SMPTE ST 292-1/2, SMPTE ST 424, SMPTE ST 2081-1 and SMPTE ST 2082-1 Signals - IEEE Xplore Document. Retrieved July 12, 2017, from <http://ieeexplore.ieee.org/document/7839885/>

Sony. (2012). NXL-IP55 IP Live Production Unit.

Sony. (2014). SONY Multi Format Switcher System MVS-8000X System MVS-7000X System (With ICP-X7000 Integrated Control Panel Version 1.1) - User's Guide.

Sony. (2016). Schwerpunkt Interoperabilität: Sony präsentiert auf der IBC neue IP-basierte Lösungen : Presse : Österreich : Sony Professional. Retrieved July 12, 2017, from <https://www.sony.at/pro/press/pr-sony-introduces-new-ip-based-solutions>

- Steyskal, P. (2017, July 12). Diplomarbeit - Experteninterview.
- Tanenbaum, A. S., & Wetherall. (2012). *Computernetzwerke* (5th ed.). Retrieved from <https://www.pearson-studium.de/computernetzwerke.html>
- Tozer, E. P. J. (2004). *Broadcast Engineer's Reference Book*.
- vizrt. (2016). Viz Trio User's Guide.
- VSF. (2015). Video Services Forum (VSF) Technical Recommendation TR-03 - Transport of Uncompressed Elementary Stream Media over IP. Retrieved from http://www.videoservicesforum.org/download/technical_recommendations/VSF_TR-03_2015-11-12.pdf
- Wang, M. Y., & Zhang, W. H. (2016). Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/7925071/authors?ctx=authors>
- Whitcomb, L. (2014). Real-Time Professional Broadcast Signals Over IP Networks. Retrieved from <http://www.imaginecommunications.com/sites/default/files/documents/real-timebroadcastsignals.pdf>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erforderliche Bitrate zur Übertragung verschiedener Videoformate (Hudson & Seth-Smith, 2006)	5
Abbildung 2: Signalarten Triax (Schmidt, 2013)	7
Abbildung 3: Kamerazug inkl. CCU und Bildtechnik (Tozer, 2004)	8
Abbildung 4: Verbundkammersystem (Tozer, 2004)	8
Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung einer Matrix von Kreuzschienen (Tozer, 2004)	9
Abbildung 6: Rückseite einer DVKS (Bürgel, 2012)	10
Abbildung 7: Hardware-Panel einer DVKS (Tozer, 2004)	11
Abbildung 8: Darstellung von synchronisierten Quellen unter Einbindung eines Studiotaktgenerators (Schmidt, 2013)	11
Abbildung 9: Sony Bildmischer MVS 8000 (Schmidt, 2013)	12
Abbildung 10: Sony MVS 8000 (Sony, 2014)	12
Abbildung 11: vereinfachter Aufbau eines Bildmischers (Schmidt, 2013)	13
Abbildung 12: Darstellung einer Produktionsumgebung (Schmidt, 2013)	16
Abbildung 13: abzutastendes Signal, Abtast-Signal und abgetastetes Signal (Schmidt, 2013)	17
Abbildung 14: abgetastetes Signal mit Quantisierungsstufen (Schmidt, 2013) ...	18
Abbildung 15: Spezifikationen in ITU-R BT.601 (Schmidt, 2013)	19
Abbildung 16: gebräuchliche Abtaststrukturen (Schmidt, 2013)	20
Abbildung 17: Kanalcodierung - Serial Digital Interface (Schmidt, 2013)	22
Abbildung 18: Auszug aus ITU-R BT.601 (ITU, 2011)	23
Abbildung 19: BER im Verhältnis zur Kabellänge (Schmidt, 2013)	24
Abbildung 20: Spezifikationen nach ITU-R BT.709 (Schmidt, 2013)	25

Abbildung 21: HD-Definitionen der European Broadcasting Union(Schmidt, 2013)	25
Abbildung 22: Verteilung der Daten bei Dual-Link HD-SDI (Schmidt, 2013).....	27
Abbildung 23: unterstützte Bildformate Level A Mapping (EBU, 2011).....	29
Abbildung 24: Bildformate Level B-DL(EBU, 2011).....	30
Abbildung 25: Bildformate Level B-DS (EBU, 2011)	31
Abbildung 26: verschiedene Parameter für UHD (ITU, 2015)	31
Abbildung 27: spezifizierte Bildfrequenzen UHD (ITU, 2015)	32
Abbildung 28: Bildformate, Samplingrate & Framerate SL 6G-SDI (SMPTE, 2016a)	33
Abbildung 29: Bildformate, Samplingrate & Framerate Dual-Link 6G-SDI (SMPTE, 2016a)	34
Abbildung 30: Bildformate, Samplingrate & Framerate Quad-Link 6G-SDI (SMPTE, 2016)	35
Abbildung 31: Bildformate, Samplingrate & Framerate SL 12G-SDI (SMPTE, 2016b)	36
Abbildung 32: Bildformate, Samplingrate & Framerate Dual-Link 12G-SDI (SMPTE, 2016b)	38
Abbildung 33: Bildformate, Samplingrate & Framerate Quad-Link 12G-SDI (SMPTE, 2016b)	40
Abbildung 34: Klassifizierung von Netzwerken nach Ausdehnung (Tanenbaum & Wetherall, 2012).....	44
Abbildung 35: kabelloses und verkabeltes LAN (Tanenbaum & Wetherall, 2012)	45
Abbildung 36: Schichtmodell mit Schnittstellung und Protokollen (Tanenbaum & Wetherall, 2012).....	48
Abbildung 37: Informationsfluss zwischen Sender und Empfänger (Tanenbaum & Wetherall, 2012).....	49
Abbildung 38: Dienstarten (Tanenbaum & Wetherall, 2012).....	51
Abbildung 39: Basisoperationen von verbindungsorientierten Diensten (Tanenbaum & Wetherall, 2012)	52
Abbildung 40: Dienst- und Protokollbeziehung (Tanenbaum & Wetherall, 2012)	53

Abbildung 41: Schichten im OSI-Referenzmodell (Tanenbaum & Wetherall, 2012)	54
Abbildung 42: Gegenüberstellung der enthaltenen Schichten von beiden Referenzmodellen (Tanenbaum & Wetherall, 2012).....	58
Abbildung 43: Bestandteile eines TCP-Headers (Schnabel, 2016).....	60
Abbildung 44: Beispielnetzwerk, das Hubs verwendet (Schnabel, 2016)	64
Abbildung 45: Unterschiede zwischen Switch und Router (Riggert, 2014)	70
Abbildung 46: Unscreened/Unshielded TP-Kabel (Schnabel, 2016).....	72
Abbildung 47: Unscreened/Foiled TP-Kabel (Schnabel, 2016).....	73
Abbildung 48: Screened/Foiled TP-Kabel (Schnabel, 2016).....	73
Abbildung 49: Übersicht der verschiedenen Klassifizierungen (Schnabel, 2016)	74
Abbildung 50: Aufbau Koaxialkabel (Tanenbaum & Wetherall, 2012)	75
Abbildung 51: Aufbau einer Glasfaser (Riggert, 2014).....	76
Abbildung 52: verschiedene Lichtwellenleiter (Riggert, 2014)	77
Abbildung 53: Arten von Plastikfasern (Riggert, 2014)	77
Abbildung 54: Multimode-Stufenfaser (Riggert, 2014)	80
Abbildung 55: Multimode-Gradientenfaser (Riggert, 2014).....	80
Abbildung 56: Unterschiede zwischen Multimode-Stufenfaser, Multimode- Gradientenfaser und Monomodefaser (Riggert, 2014)	81
Abbildung 57: SDI- und IP-basierter 4K-Übertragungswagen (Pfeifer, 2014).....	82
Abbildung 58: Vereinfachte Darstellung einer auf SDI-basierenden Live- Produktionsumgebung (Kojima et al., 2015)	82
Abbildung 59: Darstellung einer auf IP-basierenden Live-Produktionsumgebung (Kojima et al., 2015)	83
Abbildung 60: Einfacher Aufbau einer IP-Architektur (Kojima et al., 2015).....	84
Abbildung 61: verbesserter Aufbau einer IP-Architektur (Kojima et al., 2015)	84
Abbildung 62: mögliche FEC-Matrix (Artel, 2014)	89
Abbildung 63: SMPTE 2022-6 Layer-Modell (Laabs, 2013).....	90

Abbildung 64: Entwicklung von SMPTE 2022-6 zu SMPTE 2110 (Nevion, 2016)	92
Abbildung 65: Bandbreitenvergleich zwischen SMPTE 2022-6 & SMPTE 2110-20 (Mailhot, 2017)	95
Abbildung 66: Aufbau bzw. Bestandteile eines AVB-Netzwerkes (IEEE Computer Society, 2011)	97
Abbildung 67: verschiedene AVB-Domains und deren Kommunikation miteinander (IEEE Computer Society, 2011)	98
Abbildung 68: Master-Slave-Prinzip in AVB-Netzwerken (Arista, 2016)	99
Abbildung 69: SRP Layer (AVnu Alliance, 2014)	100
Abbildung 70: Vergleich zwischen SMPTE ST 2022 & AVB (Silfvast, 2013)	102
Abbildung 71: Mögliches Zusammenspiel zwischen SMPTE 2022 und AVB (Silfvast, 2013)	103

Anhang

A. Experteninterview DI Peter Steyskal

Welche Vorteile bringt die Implementierung von IP-Infrastruktur, im Vergleich zur bisher verwendeten SDI-Infrastruktur?

Die flexible, der Anwendung entsprechenden Ressourcenzuordnung von Gerätschaften in Form von (virtuellen) Applikationen ist in der betrieblichen Anwendung eines der größten Vorteile der IP-Infrastruktur. Die temporäre Zuordnung von Ressourcen ermöglicht einen erhöhten Produktions-Output. Die generische Technologieplattform legt den Grundstein im Wettstreit der Auflösungen und Frameraten auf Basis der verfügbaren Netzwerktechnologien. Weiters bietet der native Transport von codierten Videosignalen in ECHTZEIT und ohne Qualitätsverlust die Aufnahmequalität möglichst nahe zum Kunden zu bringen. Sobald „the last mile“ beim Kunden breitbandig verfügbar ist, wird es erstmalig möglich sein, in Produktionsqualität auszustrahlen.

In Kombination mit Streaming- und OTT Plattformen ermöglicht die IP Infrastruktur als Quelle schlussendlich höhere Qualität bei geringeren Bandbreiten.

Remote Production mit IP Technik ermöglicht eine neue Dimension der Produktionen: Kameras, Mikrofone, Video Ein- und Ausgänge befinden sich am Eventstandort. Die restliche Infrastruktur ist in der Zentrale verortet. Der direkte Zugriff auf alle Quellen und Senken am Eventstandort von der Zentrale aus wird damit möglich sein. Zahlreiche, cloudbasierende Video- und Audiogeräte können virtuell nach Bedarf eingesetzt werden um das Bildsignal entsprechend aufzubereiten. Die flexible Aufschaltung der Remotestellen (=Eventstandorte) zur Zentrale sowie das Managing dieser wird sich durch die IP Technik erheblich vereinfachen (technologisch natürlich verkomplizieren).

Ein weiterer Vorteil könnte sich durch den Einsatz von Standard IT Technologien ergeben. Durch die hohen Stückzahlen ergeben sich niedrigere Preise die sich in unserer Branche niederschlagen werden. Derzeit versuchen die großen Broadcasthersteller die IP Technologie mit eigenen Protokollen, Layern und Spezifikationen von der Standard IT Technologie fernzuhalten. Dies wird nicht gelingen. Die große Macht der IT Konzerne wird sich schlussendlich auch in der professionellen Videotechnik niederschlagen und die bekannte Firmenordnung in

der Branche neu ordnen. Hoffentlich zugunsten niedrigerer Preise für die Rundfunkanstalten.

Welche Nachteile bringt die Implementierung von IP-Technologie?

Da es sich um eine in der professionellen Videowelt völlig neue Technologie handelt, muss die Branche erst lernen damit umzugehen. Das über Jahrzehnte Gelernte, Optimierte und Ausgereifte muss Großteils über Bord geworfen werden. Dies stellt -insbesondere in der personellen Wissensstruktur - das Management der Rundfunksender vor sehr großen Herausforderungen. Die Planung, der Betrieb und insbesondere der Support muss mit der neuen Technologie fast zur Gänze an IT-Standardregelwerke angepasst werden. Im Laufe dieses Change Projektes in technologischer als auch personeller Hinsicht wird es viele Hürden geben. Die vielen Betriebs- und Konfigurationsmöglichkeiten bedürfen eine intensive Auseinandersetzung mit der neuen Technologie. Die Ausstattung mit entsprechenden personellen Kompetenzen wird ein Schlüsselfaktor für eine erfolgreiche Implementierung sein. Umso früher damit begonnen wird, umso weniger Nachteile werden die Rundfunkanstalten bei der Implementierung haben.

Welche Vorteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung?

Die gewohnte Technologie bietet immer den Vorteil auf ein berechenbares und einzuschätzendes „Pferd“ zu setzen. Nach der SDI Standardisierung in den 90ziger Jahren war es einfach, digitale Videosignale quer über viele Hersteller hinweg kompatibel zu transportieren. Dies hat den Vorteil, dass es heutzutage im Alltagsbetrieb wenig Probleme gibt. Die Technologie wurde in den letzten Jahren perfektioniert und ist ausgereift. Die

Techniker/innen sind mit der Technologie aus der analogen Welt bestens vertraut. Daher war der Wandel von Analog zu digitaler SDI Technologie kein Vergleich zur Komplexität von SDI zu IP.

Welche Nachteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung?

Konzeptionell betrachtet handelt es sich bei einer SDI basierenden Umgebung um Point zu Point Verbindungen. Für das Routing, die Manipulation der Video- und Audiosignale sind lineare, teure Infrastrukturkomponenten (Kreuzschienen, Delays, Farbkorrekturgeräte, uvm.) notwendig. Der Übergang in die Streaming-, Coding-, und OnDemand Welt muss mit teuren, linearen En- und Decodern gewährleistet werden. In der zunehmend vernetzten, flexiblen, cloudbasierenden Welt ist es nicht mehr zeitgemäß, mit linearen Videokabeln die Signale zu übertragen. Zu aufwändig und damit zu teuer sind die notwendigen Schnittstellen an die IT- Welt. Durch den Wandel der Consumer Industrie von Videosignalen

hin zu OTT Plattformen muss dieser Wandel auch in der Produktionstechnik erfolgen.

Früher war die Industrie gezwungen, neue technologische Lösungen für Anforderungen zu finden. Mit der heute verfügbaren, leistungsfähigen IT Technologie kann auf bestehendes zurückgegriffen werden. Meiner Meinung nach ist der Vergleich mit der Ablöse des bandbasierenden Workflows auf IT basierende Contentverwaltungssysteme (MAM Systeme) zulässig.

Welche technischen Änderungen, im alltäglichen Betrieb, würden sich bei der Verwendung bzw. Implementierung der IP-Technologie ergeben?

Es muss die gesamte Infrastruktur konzeptionell neu betrachtet werden. Durch die flexible Ressourcenzuordnung ist vor allem die quantitative Ausstattung der Produktionsplätze im Sinne der Einsparungsgedanken neu zu betrachten. Im alltäglichen Betrieb werden – ident zu heute – die entsprechenden Presets abgerufen. Daher denke ich, dass im alltäglichen Betrieb für die User sich nicht viel verändern wird. Vielmehr sehe ich die Änderungen im Bereich Konfiguration und Support bzw. bei den Signalquellen- und Signalzielen (in rein technischer Hinsicht).

Wäre eine Umstellung von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen, wenn bereits eine IP-basierte Produktionsumgebung existieren würde?

Eine flächendeckende UHD Einführung auf SDI-Basis stelle ich mir als kaum möglich vor. Grund: Die Notwendigkeit von 4 physikalischen Leitungen pro VIDEOSIGNAL erfordert große räumliche Kubaturen die wir schlicht und einfach nicht haben. Meine Einschätzung ist jene, dass die übernächste Technologie nicht mehr mit linearer Signaltechnik zu bewältigen ist. Der Sprung auf verteilte Netze zur Signalübertragung muss der nächste Evolutionsschritt der Signalverteilung sein. Um ihre Frage zu beantworten: Ja. Es wäre leichter, mit einer bereits vorhandenen IP basierten Produktionsumgebung auf UHD umzustellen.

Müsste man beide Technologien miteinander vergleichen bzw. gegenüberstellen, welche Parameter wären für Sie entscheidend?

In der heutigen bzw. zukünftigen Zeit und ihren Anforderungen würde ich ganz klar auf eine verteilte, cloud- und netzwerkbasierende Technologie setzen.

Welche der beiden Technologien wird sich, Ihrer Meinung nach, in Zukunft durchsetzen?

Wie bereits oben beantwortet, wird sich der heutige Broadcast-Nischenmarkt wie wir ihn kennen, langfristig nicht durchsetzen können. Die Ablöse wird durch die

großen IT Firmen passieren. Sowohl preislich als auch technologisch wird daran kein Weg vorbeiführen.

Im Hinblick auf eine zukünftige Umstellung von HD auf UHD. Würde es für Sie Sinn ergeben, im Moment eine Umstellung auf eine IP-basierende Produktionsumgebung voranzutreiben oder ist diese Ihrer Meinung nach mit einer Umstellung auf UHD gekoppelt?

Eine sinnvolle Strategie ist die strategische Ausrichtung/Vorgabe zukünftig IP basierend produzieren zu wollen. Dies beginnt mit der Weichenstellung im Personal, entsprechende Schulungen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verpflichtend einzuführen sowie im Planungsbereich gemeinsam mit den Herstellern und Normierungsgremien die neue Technologie mit zu gestalten. Die Einführung von „heute“ auf „morgen“ zu beschließen wäre aus meiner Sicht nicht sinnvoll. Das Risiko auf den falschen Standard zu setzen ist aus heutiger Sicht zu hoch. Nach dieser knowhow technischen „Hochlaufphase“ und dem fortgeschrittenen Standardisierungsprozess wird es voraussichtlich im Jahr 2019 so weit sein, erste konkrete Planungstätigkeiten für eine IP Umstellung zu starten. Die UHD Betrachtung darf bei allen konzeptionellen Überlegungen nicht vergessen werden. Eine definitive Umsetzungsentscheidung muss in Abhängigkeit der dann vorherrschenden Marktlage getroffen werden. Weiters hat bei dem UHD Thema die Kundenperspektive hohe Gewichtung. Es ist zu analysieren, wie viele Haushalte überhaupt technisch die Möglichkeit haben, UHD zu empfangen und auf einem Display darzustellen. Es ist mit einem ähnlichen Henne/Ei Prinzip wie bei der HD Einführung zu rechnen. Mit großer Wahrscheinlichkeit erfolgt eine UHD Ausstrahlung per Internet bevor es über die herkömmlichen Distributionswege (SAT, Terrestrisch, Kabel) zum Kunden gelangt. Praktiziert durch Netstreamingdienste wie Netflix und co. Insofern ist damit zu rechnen, dass STREAMING auch in der Rundfunkdistribution die vorrangige Technologie sein wird.

Inwiefern halten Sie Teilimplementierungen von IP-Technik in einzelnen Bereichen für sinnvoll?

Nach der Grundsatzentscheidung in IP Technik zu investieren, ist es sowohl technologisch als auch wirtschaftlich sinnvoll, mit einem gut durchdachten Implementierungsplan und Fokussierung auf den Kundennutzen zu starten. Dieser Plan könnte die Errichtung eines Studioregieplatzes, der Umstellung von Teilen der zentralen Anlagenteile sowie die Schaffung der notwendigen Streamingplattform beinhalten.

Eine rasche Gesamtumstellung sehe ich nicht. Das notwendige knowhow muss gelernt und im Alltagsbetrieb angewendet werden. Die Bereitstellung der dafür notwendigen Finanzmittel in der heutigen Zeit ist eine Herausforderung für sich. Insofern hat die Betrachtung des Kosten/Kundennutzens höchste Priorität.

B. Experteninterview Andreas Lattmann

Welche Vorteile bringt die Implementierung von IP-Infrastruktur, im Vergleich zur bisher verwendeten SDI-Infrastruktur?

IP ist die einzige Technologie die sicherstellt, dass wir eine für die Zukunft taugliche Basisinfrastruktur bereitstellen können. Aktuelle 4k (2160p/50) Produktionen sind zwar mit 12GBit SDI oder mit 4x3GBit SDI möglich. Zukünftige Entwicklungen wie HDR (High Dynamic Range), WCG (Wide Color Gammut) oder HFR (High Frame Rate) erzeugen Bandbreiten die in Kombination enorme Datenraten erzeugen und einzig über IP- Technologien verfolgt werden können.

Das Bandbreitenwachstum im IP-Umfeld ist massiv höher als im SDI-Umfeld was mich ebenfalls von dieser Technologie überzeugt. Mittelfristig sehe ich zudem eine Möglichkeit günstigere Produkte zu verwenden da diese in einer viel größeren Stückzahl im Markt benötigt werden.

Neue (automatisierte) Workflows sind einzig mit einer IP-Technologie möglich und könnten mit einer SDI/AES Infrastruktur nicht im selben Masse ermöglicht werden.

Welche Nachteile bringt die Implementierung von IP-Technologie?

Aktuell sind noch nicht alle Standards verabschiedet (insb. SMPTE 2110) was für die Hersteller eine gewisse Herausforderung bedeutet, da sie noch nicht die absolute Gewissheit haben, dass alles so umgesetzt werden wird wie es in den Draftversionen steht. Dies führt zudem dazu, dass noch nicht viele Produkte verfügbar sind. Des Weiteren ist die Interoperabilität noch nicht durchwegs gegeben, die Synchronisierung über PTP V2 fordert sowohl die Netzwerke wie auch die Produkthersteller und die Kosten sind noch relativ hoch. Die benötigten Kenntnisse sind bei den Broadcast-Spezialisten nicht vorhanden und müssen erarbeitet werden. Zudem benötigt unsere Technologie Netzwerke, die noch an den Grenzen des technisch möglichen sind (Spine-Leaf-Architekturen mit extremen Switchingkapazitäten >1TBit/s)

Welche Vorteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung?

Man kennt sie bereits

Welche Nachteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung?

Nicht mehr tauglich für die Zukunft, wie auch in Frage 1 beschrieben

Welche technischen Änderungen, im alltäglichen Betrieb, würden sich bei der Verwendung bzw. Implementierung der IP-Technologie ergeben?

Es braucht anderes Know-How der Mitarbeiter, Operateure, Systemingenieure und Supportmitarbeiter. Ich kann noch nicht abschätzen, was sich operativ alles ergeben wird bin aber überzeugt davon, dass mit der Verwendung von IP-Technologie fundamentale Workflow-Änderungen möglich sein werden und ein Einsatz mit weniger Personal möglich wird. Dies kann entweder über Remote-Produktion oder über Automatisierung erfolgen.

Wäre eine Umstellung von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen, wenn bereits eine IP-basierte Produktionsumgebung existieren würde?

Ja, da damit die benötigten Bandbreiten zur Verfügung stünden. Tpc hat sich entschieden IP basierend auf SMPTE 2110 / AES67 parallel mit UHD ein zu führen.

Müsste man beide Technologien miteinander vergleichen bzw. gegenüberstellen, welche Parameter wären für Sie entscheidend?

Zukunftssicherheit von IP, Neue Möglichkeiten durch IP

Welche der beiden Technologien wird sich, Ihrer Meinung nach, in Zukunft durchsetzen?

Ganz klar IP, ich hoffe auf Basis von SMPTE 2110

Im Hinblick auf eine zukünftige Umstellung von HD auf UHD. Würde es für Sie Sinn ergeben, im Moment eine Umstellung auf eine IP-basierende Produktionsumgebung voranzutreiben oder ist diese Ihrer Meinung nach mit einer Umstellung auf UHD gekoppelt?

Siehe Frage 6

Inwiefern halten Sie Teilimplementierungen von IP-Technik in einzelnen Bereichen für sinnvoll?

In Bereichen in denen kein Greenfield Approach möglich ist erachte ich einen Hybriden Betrieb als sinnvoll dabei aber mit dem klaren Ziel in Richtung IP zu entwickeln.

C. Transkription des Experteninterviews Jens Gnad

Hallo Herr Eder. Also, so wie besprochen, beantworte ich Ihnen die Fragen mal über das Diktaphon, weils einfach für mich einfacher ist das schneller zu beantworten, auch wenn sie jetzt keine Zeit für ein Telefonat haben. Wir können aber gern nächste Woche darüber reden, wenn sie noch Fragen dazu haben, kein Problem, weil es doch die Ausführlichkeit in einem Text wäre doch sehr begrenzt. Also ich geh die Punkte einfach mal einzeln durch.

Welche Vorteile bringt die Implementierung von IP-Infrastruktur im Vergleich zur bisher verwendeten SDI-Infrastruktur? Klar, die großen Vorteile sind natürlich die Flexibilität. Man hat keine Limitationen mehr im Bezug auf, was schicke ich auf eine dezidierte Leitung. Ist ein sehr großer Vorteil. Also sie haben eine glasfasergezogene Glasfaser ist eine, was die Übertragung über ein CWDM oder über ein TDM begrenzt. Das heißt, sie können da 18 Signale drüberschicken. Dann ist das voll und völlig unabhängig, ob das 1,5G, 3G oder 4K ist, die Wellenlänge ist belegt. Das ist der Vorteil, wenn sie mit einer IP-Technologie arbeiten. Dann haben sie die Möglichkeit über diese Glasfaser das zu übertragen, was sie für einen SFP bekommen. Wenn sie einen 100G SFP bekommen, dann kriegen sie da drüber 33 3G Signale oder dementsprechend mehrfach 1,5 G oder SD. Also sie sind viel flexibler. Gleichzeitig haben sie auch die Möglichkeit die Signale überallhin zur Verfügung zu stellen. Heißt also, sie können die Signale an andere Standorte wesentlich einfacher bringen über vorhandene Weitverkehrsnetze, die eine IP-Taktung haben, oder ohne dass sie eine Dark Fiber mieten müssten. Ja. Sie können einfach sagen ich brauch von der Telekom eine 10G Leitung, binden das Ganze dann an, übertragen das und haben dann aber auch die Möglichkeit, da sie sich schon im IP-Layer befinden, auch mit Pooled Geräte zu arbeiten. Sozusagen, wenn sie von A nach B wollen. Die Bandbreite ist aber limitiert, die sie da haben und dann reduzieren sie die Datenrate durch eine Kompression über ein Pooled-Gerät, das sich irgendwo befindet in einer in einem Datencenter, dass Sie sagen, ich brauch von A nach B das komprimierte Signal, weil die Leitung eben zu klein ist, dass ich unkomprimiert etwas übertragen kann, dann können sie das über ein Pooled-Gerät jederzeit einspeisen. Das können sie für Ihre ganze Fernsehanstalt machen oder sogar als Dienstleistung anbieten. Also sie sind grundsätzlich, kann man sagen, die Implementierung ist ein großer Fortschritt in die Flexibilität und man ist nicht so gebunden an Technologien, weil sie ändern eben den Layer in einem vollumfänglichen kompatiblen Layer, der definitiv die Zukunft für alles bildet. Sei es Datenübertragung im normalen Umfeld, im Büroumfeld, sei es Video, sei es Audio etc. IP ist definitiv der sogenannte Common Ground für alle Datenübertragungen in der Zukunft.

Frage Nr 2: Welche Nachteile bringt die Implementierung von IP-Technologie?
Der Nachteil ist ziemlich einfach erklärt. Das ist Preis. Ja, eigentlich Preis. Generell geht's komplett zurück, nur auf Kosten. Sie müssen Personal schulen, das sie vorher so nicht hatten, das sich mit der Technologie so nicht auskannte. Das ist ein sehr großer Faktor. Sie haben Broadcasttechniker, die von IP keine Ahnung haben. Sie haben IT-Techniker, die von Broadcast keine Ahnung haben. Aufgrund dessen bilden sich gerade neue Abteilungen, die Broadcast-IT heißen, wo sie die Mischung machen aus beiden Personengruppen und versuchen denen das beizubringen. Die Technologie ist, was sie auf Messen oder von Herstellern gesagt bekommen, total einfach, aber wenn sie mal anfangen das Ganze zu integrieren ist das hochkomplex, sehr umfangreich. Gerade die Netzwerktopologie ist extrem umfangreich. Und vor allem der große Nachteil ist, dass Kunden unterschiedliche Auffassungen haben von dem, was sie eigentlich machen möchten. Es gibt Kunden, die fangen an und sagen, wir machen einfach das Produktionsnetz, so wie wir das heute auch haben, da sind die Audio- und Videodaten drin und damit ist das abgeschlossen. Ich habe aber auch Kunden, die sagen wir möchten alles komplett in einem Netz haben. Das heißt Best-Effort-Traffic, wie E-Mail und Websurfen im selben Netzwerk, wo sie auch ihre Videodaten übertragen wollen. Da müssen sie mit Priorisierung arbeiten und mit Tunneling, dann wird das schon sehr umfangreich und sehr komplex. Also das ist eine der definitiven Nachteile: Unwissenheit und Kosten. Das ist wahrscheinlich das Schwierigste, dem wir gerade begegnen.

Frage Nr 3: Welche Vorteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung? Ja, tja es ist halt bekannt. Das ist der große Vorteil. Es ist Plug and Play. Sie nehmen ein Signal, eine Kamera, schließen die Kamera an eine Kreuzschiene an, die Kreuzschiene an einen Monitor und da kommt ein Video raus. Da gibt's keine großen Herausforderungen. Das ist wirklich Plug and Play. Solange sie sich in den Standards bewegen, die wir nutzen. Also HD, SD, 3G oder sowas. Das ist definitiv der größte ausschlaggebende Grund, warum Leute heutzutage noch immer SDI nutzen, weil sie es verstehen, weil sie es einfacher machen können und die Fehlersuche ist natürlich bedeutend geringer, weil sie sich überhaupt nicht mit der ganzen Technologie hinten dran auseinandersetzen müssen, mit dem Layer, weil es einfach nur ein proprietäres Protokoll ist, was da zwischen den beiden Empfängern und Sendern übertragen wird.

Welche Nachteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung? Die Nachteile sind ganz klar die Limitierung, dass man eben immer nur das übertragen kann, was heute Standard ist. Also wenn wir früher eine SDI-Infrastruktur aufgesetzt haben, für SD-SDI, dann war die einsetzbar, solange wir SD-SDI gemacht haben. Als wir angefangen haben HD-SDI zu machen, dann war das Ganze nicht mehr einsetzbar, weil die Infrastruktur das nicht übertragen

hat. Also die 270 Mbit für SD haben nicht ausgereicht um die 1,5 Gbit zu übertragen. Das Gleiche hatten wir, als wir von 1,5 Gbit zu 3G gegangen sind, also Full-HD, mit 1080p, dann waren wir bei 3Gbit. Das hat wieder nicht funktioniert. Das Gleiche ist jetzt wieder bei 4K. Dann gibt's so Zwischenübertragungstechniken, wie Dual 1,5G, als es noch kein 3G gab, gleiches wie Quad Link bei UHD, was wir jetzt gerade haben. Sie sind immer nur soweit kompatibel, wie die Technik gerade zur Verfügung steht. Das ist bei IP nicht mehr der Fall. Sie haben eine IP Layer gelegt, eine Glasfaserinfrastruktur gelegt, die 10G, 40G oder 100G. Das Einzige, was sie tauschen müssen, sind eventuell die SFPs, um ein höhere Datenrate zu erzielen. Das ist flexibler für die Zukunft und sie können jederzeit sagen, wenn sie jetzt eine 40G Schnittstelle genommen haben, können sie die nutzen für 3 mal 12G zu übertragen oder halt eben für zig mal SD, HD und 3G gemischt. Also das ist ein großer Nachteil für die SDI-Infrastruktur. Das ist auch der Grund, warum die Leute von der SDI-Infrastruktur weg wollen und eben die Möglichkeit das Ganze über Weitverkehrsnetze anzubinden. Das ist bedeutend einfacher über IP-Technik zu lösen als über SDI, wo sie mit aufwendigen Wandlungen erst immer arbeiten müssen, die das Ganze auf IP umsetzen, um das zu übertragen an den Remotestandort. Das passiert mit IP wesentlich einfacher. Also wenn sie eine IP-Infrastruktur haben, dann mieten sie sich diese Weitverkehrsnetzanbindung, wie eben erwähnt und schließen einen Remoteproduktionsstandort an und sind fertig.

Welche technischen Änderungen, im alltäglichen Betrieb, würden sich bei der Verwendung bzw. Implementierung der IP-Technologie ergeben? Das wäre definitiv die Steuereinheit zwischendrin. Also technische Änderungen, früher war es so, sie hatten ein Gerät, das hat mit der Kreuzschiene gesprochen, hat die Kreuzschiene geschaltet und damit war die Infrastruktur durchgeroutet. Heute gibt es drei verschiedene Technologien, mit denen man arbeiten kann. Es gibt source-based-switching bei IP, es gibt destination-based-switching und es gibt switched-based switching. Source-based und destination-based-switching bedeuten, dass man mit der Kante mit dem Sender und Empfänger quasi kommunizieren muss, um denen zu sagen, wo sie ein Signal hinstreamen. Bei switch-based-Switching reden sie mit dem Switch und schreiben über Nating, also Network Adress Translation, schreiben sie den Stream um innerhalb des Switches und das ist definitiv die größte technische Änderung, weil nach außen hin muss das alles gleich bleiben, dass der Operator das ganz normal bedienen kann aber nach hinten drinnen ist das Konzept bedeutend komplexer geworden und das ist die größte technische Änderung, dass sie sagen, sie müssen jetzt auf einmal Sorge tragen, dass Signale von A nach B kommen. Früher haben sie die einfach nur irgendwo geschaltet und haben das Ganze der Kreuzschiene überlassen. Jetzt müssen sie dafür Sorge tragen, dass die Signale entweder von

Quellen zu den Senken geschickt werden oder sie müssen kucken, dass sie die Streams umschreiben, damit sie bei den Senken ankommen.

Wäre eine Umstellung von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen, wenn bereits eine IP-basierte Produktionsumgebung existieren würde? Das war das, was ich eben erwähnt hatte, dass man mit einer vorhandenen Infrastruktur, die auf IP aufsetzt, man völlig unabhängig von den Videosignalen, Formaten auch Videos übertragen kann. Heißt, sie können einfach, wenn sie sagen, sie haben eine 40G Infrastruktur von A nach B, wo sie vorher eben mehrere 3G Signale übertragen haben, können sie jetzt auch einfach sagen, sie nehmen sich ein paar 3G Signale weg und übertragen dafür eben ein UHD-Signal. Kein Problem. Wenn sie jetzt mit neuer Kompressionstechnik arbeiten wie, TICO. TICO steht für Tiny Codec, der auf der IBC jetzt demnächst wieder vorgestellt wird. Dann können sie ein UHD-Signal auf 3G komprimieren, um das Ganze dann einfach mit in diese Infrastruktur mit reinnehmen. Das kann man natürlich auch in einer SDI-Infrastruktur machen. Das ist auch der Grund, warum man TICO auf 3G komprimiert, dass sie eine vorhandene SDI-Infrastruktur nutzen können, um ein UHD-Signal zu übertragen. Aber dementsprechend bei IP ist es das, was ich eben gesagt hatte, dass man da mit einem Pooled-Device arbeiten kann. Dass man das UHD-Signal zu diesem Pooled-Device schickt. Der macht daraus ein 3G Signal und gibt's wieder zurück ins Netzwerk und kann dann verteilt werden. Macht's einfacher. Nichtsdestotrotz generell, Ja, Umstieg von HD auf UHD ist über IP leichter zu bewerkstelligen, weil die Infrastruktur einfach auf Grund der Formatagnostik UHD fähig schon ist.

Müsste man beide Technologie miteinander vergleichen bzw. gegenüberstellen, welche Parameter wären für Sie entscheidend? Die Parameter, definitiv Flexibilität ist der große Vorteil für IP. Die Einfachheit ist der große Vorteil von SDI. Plug and Play ist nicht von der Hand zu weisen. Viele brauchen auch die Funktionalität, die IP bringt überhaupt gar nicht, weil sie sie gar nicht verstehen und auch gar nicht verstehen wollen. Das ist auch ein großer Faktor, den man nicht unter den Tischen fallen lassen sollte. Solange der Kunde nicht versteht, was IP eigentlich überhaupt für einen Vorteil bringt, braucht man mit dem gar nicht darüber sprechen. Weil man dann, ja man redet quasi gegen Windmühlen, wenn der Kunde die Anforderung hat: Ich möchte ein Studio aufbauen, Plug and Play, statische Verbindungen, abgeschlossenes Umfeld, dann brauch ich kein IP. IP entfaltet seine Fähigkeiten dann, wenn es um vernetzte Strukturen geht, mehrere Studio, die aneinander angebunden worden sind, idealerweise sogar mehrere Standorte, zentralisierte Geräte, die überall zur Verfügung stehen sollen. Wenn das verstanden worden ist, dann ist der große Vorteil bei IP zu sehen und SDI, die klassische Technik ist immer noch super. Verkaufen immer noch viele Geräte. Man muss halt eben mit dem Kunden reden, was man zukünftig machen möchte, wo der Fokus liegt.

Welche der beiden Technologien wird sich, ihrer Meinung nach, in Zukunft durchsetzen? Die Frage ist, ehrlich gesagt glaub ich, ganz einfach zu beantworten. Es kann nur IP sein. Das weiß auch jeder. Also, jeder mit dem man sich darüber unterhält. Die IP-Technologie wird kommen. Das ist eine Frage der Zeit. Wir haben schon mittlerweile einige Studio ausgestattet. Wir bauen gerade in Norwegen zwei komplette Fernsehanstalten, die miteinander verlinkt werden, einmal von Oslo nach Bergen. Das ist definitiv die Zukunft. Also es wird sich nur diese IP-Technik durchsetzen. Mittelfristig sogar, noch nicht mal langfristig. Also das dauert vielleicht noch fünf Jahre, dann wird hier kein einziges Gerät mehr auf den Markt gebracht werden, das kein IP-Interface hat oder auch neue Projekte werden komplett IP-basierend sein.

Ich erspar mir mal die Frage 9 komplett vorzulesen, die doch recht umfangreich ist. Also die Antwort da drauf wäre: Ich sehe die Verbindung zwischen IP und UHD nicht zwangsläufig. Also die Projekte, die wir gemacht haben bisher, sind alle ohne UHD ausgekommen. Bei UHD ist mir das Ganze noch ein bisschen schwammig, weil noch keiner so genau weiß, was denn der Standard ist, der sich durchsetzen wird. Wir sind alle noch bei Quad-Link. 12G ist ein Thema. Kann auch sein, dass wir überhaupt gar nicht diese Technik sehen, sondern direkt auf TICO wechseln alle, weil die Qualität, die eine TICO-Kompression gibt und die Geschwindigkeit, die dadurch erzielt wird oder die Latenz, die erzeugt wird so gering ist, dass es sein kann, dass gar keiner überhaupt in der Produktion groß mit 12G arbeiten wird, außer vielleicht im Ü-Wagen. Also ich glaube oder ich bin sicher, IP hat nichts mit UHD zu tun. Das geht auch ohne.

Inwiefern halten sie Teilimplementierung von IP-Technik in einzelnen Bereichen für sinnvoll? Ich versuche das mal so zu interpretieren, wie ich jetzt die Frage da verstehe. Also Teilimplementierung ist für mich ein Studio. Oder ist vielleicht Teilimplementierung in Ihren Augen eine hybride Lösung. Das kann natürlich auch sein. Also beides deckt das ab, was ich jetzt meine. Also eine Teilimplementierung kann durchaus sein, dass man eben anfängt ein Studio umzurüsten nach IP und den Rest eben klassisch SDI zu lassen. Hat dann eine hybride Infrastruktur. So haben wir das gebaut für die Plaza Media in München für den Doppelpass, für diese Sport1 Sendung. Da ist das Studio ist SDI und die Regie ist SDI, aber zwischendrin, die ganze Infrastruktur, ist komplett IP und wir wandeln das Ganze. Dann bauen wir gerade bei einer anderen Rundfunkanstalt in Deutschland eine IP-Infrastruktur nur in der SAW, also in der Sendeabwicklung, wo das Ganze über eine IP-Infrastruktur stattfindet, die aber dann Schnittstellen nach SDI hinten raus hat, wenn man es wieder an die klassische Infrastruktur angeschlossen haben möchte. Also Hybrid ist definitiv noch der Fokus bei den Kunden. Die wollen alle immer die Möglichkeit haben, auch zurück zu SDI zu gehen, weil dieses klassische, ja die grüne Wiese auf der man anfängt zu bauen ist doch recht selten. Also das jemand sagt, ich bau etwas

ganz Neues auf und möchte nur IP haben, gibt es, aber sind nicht so häufig. Deshalb ist der Ansatz über Hybrid zu gehen mit Teilimplementierungen eigentlich eher das, was häufiger sehen.

Gut, das waren die Fragen. Wenn sie Fragen haben, melden sie sich gerne bei mir, rufen sie an. Ich bin nächste Woche, da bin ich unterwegs. Ich glaube Donnerstag bin ich erreichbar, wenn ich mich nicht irre. Probieren Sie es einfach mal. Wenn sie Fragen haben, schicken sie mir eine E-Mail, dann können wir mal einen Termin ausmachen. Und, wenn sie fertig sind mit dem Studium, melden Sie sich mal. Wir suchen immer gute Leute, wenn sie Interesse haben hier in die Nähe Frankfurt/Darmstadt zu ziehen, melden sie sich. Kucken sie sich unsere Webpage mal an, Stellenausschreibung steht online. Alles Gute, viel Erfolg und schönes Wochenende und hoffentlich sitzen sie nicht zu lange an meinen Texten und, dass es doch verständlich war. Bis dahin. Tschüss.

D. Experteninterview Matthias Barth

Welche Vorteile bringt die Implementierung von IP-Infrastruktur, im Vergleich zur bisher verwendeten SDI-Infrastruktur?

IP erlaubt (zumindest in der Theorie) eine einfachere räumliche Trennung von Technik(Einbaustandort) und Betrieb. Verteilte Technik (z.B. Main und Backup) über mehrere Standorte zu verteilen ist einfacher möglich. Ebenso die dynamische Zuweisung der Technik zu verschiedenen operativen Units an verschiedenen Orten. (Dazu gibt es in Skandinavien bereits erste Projekte) Studios und Regien an zwei oder sogar 3 Standorten die je nach Produktion miteinander verbunden werden. Wie gesagt in der Theorie. Ob sich im tagtäglichen Produktionsbetrieb mit dynamischen Zuweisungen arbeiten lässt, muss sich erst noch herausstellen. Die entsprechende Einsatzsteuerungs- und Kontrollsoftware gibt es dazu noch nicht. Zumindest noch weit nicht in dem Maß die dazu nötig wäre.

Und ebenfalls in der Theorie skalieren IP vernetzte Infrastruktur natürlich leichter als SDI Kreuzschienen. So sind ja 4000x4000 und größere IP Vernetzungen ja bereits in Planung. Das geht mit SDI nicht mehr in einem vernünftigen Rahmen.

Aber auch hier stellt sich die Frage: braucht man das überhaupt? Will man das überhaupt? Wie kann ich eine solche riesige Infrastruktur effizient und sicher verwalten und steuern? Handle ich mir damit mehr Nachteile als Vorteile ein?

Welche Nachteile bringt die Implementierung von IP-Technologie?

Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es eine große Unsicherheit durch fehlende Standards. SMPTE 2022-6/7 läuft zwar, ist ja aber eigentlich nix anderes als SDI

in IP geschnitten. 2110 ist immer noch nicht verabschiedet. Hier werden dann optional Video, Audio und Aux Data getrennt gestreamt und könnten so im Produktionsbereich evtl. zu Vorteilen führen, wenn man den Verwaltungswahnsinn dazu geregelt bekommt. Rechenbeispiel: 1x Video, (nur) 16x Audio, 3 – 4 Aux Data Spuren (Dolby Informationen, R128, Videotext etc.) Macht schon 20 Streams (oder Multicastadressen) die ich verwalten muss – für eine Quelle! Ein größeres TV Haus kommt ohne weiteres auf 1500x1500 QuellenxSenken ...

Wann dazu Abhilfe kommt ist komplett offen – aber zumindest bereits auf dem Papier in Arbeit: der Standard genannt NMOS zur Verwaltung von IP Video in größeren Installationen. NMOS Version eins: Erkennung neuer Devices (Discovery & Registration) Ist meines Wissens bei der AMWA in der Spezifikation.

NMOS Version zwei ist bisher nur grob beschrieben und umfasst aber die zentral wichtigen Punkte: Authentifizierung, Connection Management, Device und Network Control, Monitoring etc.

Ebenso offen im Ausgang ist die Diskussion wo, wer was im IP Netzwerk schaltet:

- make before break vs. break before make,
- source based switching vs. destination based switching vs. switch based switching
- Broadcast Control System routet direct im Switch vs. zusätzlichen Verwaltungs und API Layer (DCNM bei Cisco)

Entscheide ich mich vielleicht (weil ich mich entscheiden muss) egal bei welchem Punkt für einen Ansatz der vielleicht in 2 Jahren von der Industrie beerdigt wird?

Ohne dass diese Punkte geklärt sind, muss in großen Umgebungen enorm viel manuell konfiguriert und administriert werden.

Das Thema Sicherheit / Hacking / Viren wird eine zentrale Rolle spielen – ohne das es dazu bereits Lösungen für IP Streaming Umgebungen am Markt gibt.

IP ist teuer! Eine IP Vernetzung ist gerade in kleinen und mittleren Umgebungen deutlich teurer. Als eine SDI Kreuzschiene. Die letzten Zahlen die ich gelesen habe gehen davon aus, dass (bei aktuellen Marktpreisen) eine Kreuzschiene in SDI bis 1000Quadrat billiger ist als IP....

Derzeit wird in fast allen der promoteten IP Projekte noch sehr viel mit Wandelung/Konvertierung von und zu SDI gearbeitet. Wirklich ALL IP gibt es noch nicht.

„PTP is a bitch“ – diesen lustigen Spruch habe ich auf der NAB gehört als jemand vom großen BCE UIP Projekt in Luxemburg berichtet hat.

Welche Vorteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung?

Seit Jahren etabliert. Stabile Technik. Über Interoperabilität muss man nicht einmal nachdenken. Einstecken, Geht. Fertig. Sicher! Ich brauche keine Firewalls, ACLs, Virens Scanner, SIEM und Intrusion Detection Systeme, muss mich übers Systemdesign nicht bei internen und externen Audit rechtfertigen.

Welche Nachteile bietet eine auf SDI-basierende Produktionsumgebung?

Wenig – einzig ein Umstieg auf UHD ist mit Mehraufwand (technisch und finanziell) verbunden, mit den vorhandenen Mechanismen aber abdeckbar.

Kreuzschienen skalieren nicht beliebig und müssen mit Timelines verbunden werden. Unflexibel wäre noch ein Gegenargument, wenn man krampfhaft etwas sucht.

Welche technischen Änderungen, im alltäglichen Betrieb, würden sich bei der Verwendung bzw. Implementierung der IP-Technologie ergeben?

In unendlichen vielen Bereichen. Problemfelder:

- Wie kann ich erkennen wo in meiner IP Signalkette der Fehler den ich am Ende beobachte seine Ursache hat? (Es gibt derzeit noch keine Messpunkte oder Probes direkt an den Switchen)
- SDI Infrastruktur ist per sicher und muss nicht gepatcht werden – zumindest nicht auf dem Transport Layer. In IP muss ich alle Komponenten regelmäßig patchen und updaten. Bei einzelnen Geräten ist das überschaubar. Interessant wird das z.B. bei zentralen Komponenten wie z.B. einen Spine Switch im Netz – hier muss erst einmal für alle der mehreren Hundert (oder mehr?) Streams eine alternative Route ins System eingesteuert werden, dass es an keiner Senke eine sichtbare Störung gibt, bevor man den betreffenden Switch in die Maintenance nehmen kann. Welche IP Broadcast Control Software kann das? Ich kenne derzeit keine.
- Die Produktauswahl in vielen Bereichen ist entweder noch sehr beschränkt oder noch gar nicht vorhanden: z.B. Multiviewer, Messgeräte, Compliance Recoding etc. Ich bin also in meiner Auswahl sehr eingeschränkt, das führt recht sicher an der einen oder anderen Stelle zu unschönen Umsetzungen für den Benutzer.
- Die bisherigen Ansätze bei den Broadcast Control Systemen basieren oft auf dem Credo, „der Nutzer muss weiter arbeiten wie bisher....“ Ein schalten von Videosignalen über Panels ist in bestimmten

begrenzten Bereichen sicher weiter sinnvoll. Aber in sehr großen Umgebungen braucht es bessere und auf die Möglichkeiten einer IP Umgebungen angepasste Systeme. Da gibt es gerade die ersten zaghaften Versuche dazu, aber noch viel zu wenig

Wäre eine Umstellung von HD auf UHD leichter zu bewerkstelligen, wenn bereits eine IP-basierte Produktionsumgebung existieren würde?

In der Theorie ja – neuer Codec fertig... Vorausgesetzt es gibt bereits Lösungen für alle hier angesprochenen Probleme und ich habe beim Design meiner Netzwerk Infrastruktur bereits daran gedacht (und hatte das Budget) schon alles mit einer Bandbreite auszustatten, dass ich in UHD mit allen Streams nonblocking arbeiten kann. Wenn nicht kommt auch bei IP der Umstieg einem Neubau gleich.

Müsste man beide Technologien miteinander vergleichen bzw. gegenüberstellen, welche Parameter wären für Sie entscheidend?

Alle Punkte die hier aufgeführt werden:

- Passt die Lösung auf mein Problem?
- Kann ich in IP überhaupt alle meine Anforderungen abbilden? (aktuelle Fragestellung bei mir: Videotext in SMPTE 2110?)
- Ist sie sicher (Betrieb)?
- Hat mein Unternehmen das Wissen diese neue Technologie zu betreiben?
- Kann ich Wissen/Experten dazu überhaupt am Markt einkaufen?
- Wie groß ist der innere Widerstand der Mitarbeiter? Wie kann ich meine Kollegen von den Vorteilen von den IP überzeugen damit sie diesen Umbruch nicht nur mitgehen, sondern auch mitgestalten?
- Ist sie sicher (Datendiebstahl)?
- Kosten
- Verändert sich mein Betrieb tatsächlich so stark, dass ich die vermeintliche Flexibilität die mir IP bietet wirklich brauche?

Welche der beiden Technologien wird sich, Ihrer Meinung nach, in Zukunft durchsetzen?

Langfristig wird es ganz klar IP. Aber die TV Branche hat u.a. wegen der hohen Investitionskosten lange Technologieeinsatzzeiten. Die Transition auf IP wird also entsprechend lange dauern.

Im Hinblick auf eine zukünftige Umstellung von HD auf UHD. Würde es für Sie Sinn ergeben, im Moment eine Umstellung auf eine IP-basierende

Produktionsumgebung voranzutreiben oder ist diese Ihrer Meinung nach mit einer Umstellung auf UHD gekoppelt?

Die Frage verstehe ich nicht ganz (Ist das das gleiche wie Frage 10 unten?).

[Anmerkung: Frage wurde unabsichtlich doppelt gestellt]

Vermutlich geht es dir darum, ob Umstieg auf IP und UHD eine zeitliche Abhängigkeit haben?

Dann wäre meine Antwort: mit IP und der entsprechenden leistungsfähigen Infrastruktur (also mindestens 40G Interfaces durchgängig an allen Ports) lässt sich UHD sicher leichter einführen als wenn man eine SDI Umgebung auf 12G erweitert. Machbar ist aber beides. Es gibt also keine Zwangskoppelung.

Meine persönliche Meinung: Ich denke UHD wird ein Randthema bleiben oder sich als echtes UHD nur sehr langsam durchsetzen. Warum?

Selbst mit wirklich guten Material kann der Endkunde in seiner Wohnzimmersituation keine maßgebliche Verbesserung zwischen HD und UHD im Bild feststellen. Sitzabstand/Displaygröße passen hier fast nie. Das Gefühl des besseren Bildes stellt sich also nicht ein.

Bei den aktuellen Transponderpreisen ist eine Verbreitung über Satellit bestimmt nur in den allerwenigsten Fällen refinanzierbar.

Spezialfälle wie z.B. RedBull Media und die großen DokuSender ausgenommen: weil die großen Broadcaster und TV Häuser ihre eigenen Alt-Archive gerade mal mit Mühe von SD auf HD umgestellt haben (oder sogar noch dabei sind). Das bedeutet in ganz vielen Fällen: Material nicht neu produziert oder angeliefert, sondern schlichtweg hochkonvertiert. Es gab also keine qualitative Verbesserung. Würde dieses Material weiter auf UHD hochkonvertiert, wird es unerträglich.

Den wirklichen Mehrwert gibt's auch für weniger: HD plus HDR! Deutliches plus an gefühlter Bildqualität. Allerdings ist auch hier noch nicht klar welcher Standard sich für den erweiterten Gamutraum durchsetzen wird. (HLG, HDR10, Dolby Vision...). Ein HD Bild mit HDR hat einen deutlich größeren „Cool“ Effekt als ein 4K/UHD Bild, verbunden mit dem Effekt, dass ich als Broadcaster praktisch mit der gleichen Infrastruktur weitermachen kann. Das braucht aber eben auch noch seine Zeit.

Inwiefern halten Sie Teilimplementierungen von IP-Technik in einzelnen Bereichen für sinnvoll?

Das wird vermutlich bei den meisten Firmen der Weg der Wahl sein. Mit einem Proof of Concept starten.

Dann eine erste Insellösung implementieren, damit die Lernkurve starten, daraus die Problempunkte erkennen und bearbeiten und dann stückweise im Zuge der üblichen TV Technologie (5 – 10 Jahre) Refreshzyklen den Einsatz von IP ausweiten. Für diesen Übergang mit Gateways von und ZU IP gibt es auch schon bereits viele Produkte die den teilweisen Umstieg erleichtern. Ein bisschen anders ist das wenn ich gleich auf all IP umsteigen will oder muss.

Zum Schluss ein kurzes Gesamtfazit: Der Umstieg von SDI zu IP SMPTE 2110 wird kommen. Das ist auch gut so. Allerdings sind Stand heute, anders als uns das Marketing Getöse der Broadcastersteller glauben lassen will, weder die Technologie und die Standards als auch die verfügbare Verwaltungs-, Überwachungs- und Monitoring-Software so weit, dass größere Installation verwaltet und damit 24/7 sicher betrieben werden können. Deswegen werden viele TV Häuser die aktuell nicht investieren müssen noch etwas abwarten. Hier in München werden wir mit dem Neubau unseres Campus bis Ende2020 auch unser komplettes Playout Center für alle 25(+) Sender in ALL IP neu bauen. Das wird eine extrem spannende, herausfordernde und sicher auch aufregende Aufgabe. Ich freu mich sehr darauf bei dieser einmaligen Reise mit dabei zu sein.

E. Transkription des Telefoninterviews Wolfgang Kaiser

B: Also die erste Frage wäre, welche Vorteile bringt die Implementierung von IP-Infrastruktur im Vergleich zur bisher verwendeten Infrastruktur?

I: Gut und da hab darauf zu antworten, dass die Vorteile, ich sag mal, sehr zu relativieren sind mit den Nachteilen. Das wäre jetzt auch die Frage in Ihrer Arbeit in wie fern sie auch auf die Nachteile eingehen oder, ob sie jeweils nur die Vorteile wissen wollen. Weil die kombiniert sich ja eigentlich mit der zweiten Frage direkt, welche Nachteile implementiert sich damit. So, der Vorteil den man hat, wenn man IP einführt, in so einem Unternehmen wie dem WDR, der existiert ja da drin, dass ich in großen Strukturen, vernetzte Produktionsumgebungen aufbauen kann und hier an der Stelle, hoffentlich zukünftig „off-the-shelf“-Equipment verwende. Also das ganze Ziel ist ja, standardisierte IT-Produkte im Hause einzusetzen und die proprietäre Technik abzulösen. SDI ist letztendlich ja eine Technologie, die nur von wenigen Nischenherstellern gebaut wird und IP letztendlich ein weltweiter Industriestandard, der entsprechend so das Ziel standardisiert, hilft auch die Kosten zu reduzieren, indem ich auf Standardbauelemente zurückgreife. Also eine ganz wesentliche Idee bei der IP-Infrastruktur ist, letztendlich durch Standards auch Kosten einzusparen. Funktional gesehen, erhofft man sich, dass man durch IP letztendlich einen Mehrwert an neuer Funktionalität erreicht. Währenddessen ein SDI-Netzwerk

immer ein geroutetes, manuell geroutetes Netzwerk ist, hat das IP Netzwerk von Haus aus den Vorteil, dass sich quasi der Pfad zu dem Ziel, also vom Empfänger zum Ziel automatisch findet, da dem IP-Paket ja die Zieladresse mitgegeben wird und somit das manuelle Routing, was sich heutzutage über Kreuzschienencontroller etc. pp. steuern muss, im System quasi erledigt wird. Das ist in sich gesehen, mit Sicherheit, wenn man das über ein Haus hinausdenkt. In die ARD hinein, zum Beispiel, ein großer Vorteil für große komplexe Konstruktionen, also große komplexe Produktionsumgebungen hier könnte ich zukünftig dann die Häuser sehr intelligent miteinander verbinden, indem ich das IP-Protokoll quasi als Routingschicht einsetze. Das sind für mich ganz wesentliche Vorteile der IP-Struktur, also eigentlich das Ziel Kosteneinsparung. Zweitens das Ziel einfach eine quasi Selbstwahl einzuführen, dadurch, dass die IP-Pakete ja ihre Zieladresse kennen und nicht mehr manuell geschaltet werden müssen.

B: OK und die derzeitigen Nachteile von der IP-Technologie im Hinblick auf noch nicht standardisierte Standards, eben wie SMPTE 2110?

I: Ja, also Nachteile hat das definitiv derzeit eine ganze Reihe von, weil eben diese Idee, das ist jetzt alles ein common-of-the-shelf-Standard, der es erlaubt, dass ich morgen bei Media Markt mir einen Router kaufe, ihn dann implementiere und läuft. Das ist ja nicht gegeben. Sondern wir wissen alle, dass derzeit die eingesetzten Router spezifizierte Route sind, die, ich sag mal, ein Stück weit manuell getunt sind, damit sie die Performance haben, die man braucht im System. Und an der Stelle bin ich leider in der Vision, das geht alles mit den Standardprodukten, noch nicht angekommen. Hinzu kommt, dass die typischerweise, die Folgekosten, einer solchen IP-Umgebung mit leistungsfähigen Routern, heute deutlich höher sind, als mit Standard-SDI-Bauteilen. Also eine Videokreuzschiene, die heute so das Herz einer SDI-Umgebung ist. Eine große Videokreuzschiene, die hat typischerweise Folgekosten von 2-3% des Anschaffungswertes im Jahr. Das ist ein relativ niedriger Faktor im Vergleich zu den Folgekosten, den so ein leistungsfähiger IP-Router hat. Der IP-Router, der die Kreuzschiene ersetzt, würde, wenn ich mal ein Cisco-Produkt jetzt ansetzte, mit 15% pro Jahr an Folgekosten reingehen. So, dass ich da, ich sag mal, wenn ich dann auf den Total-Cost-of-Ownership kucke und nicht auf den reinen Invest, sondern mal eine Betriebsdauer von 5 Jahren nehme, ich am Ende einen ganz anderen Kostenblock berücksichtigen muss, nämlich die 5 Jahre Betrieb, die mich deutlich mehr kosten werden, als die SDI-Kreuzschiene. Da muss man also sehr genau drauf achten, dass die Folgekosten der IP-Umgebung nicht den Investvorteil aufzehren.

B: Ok, verstehe, ja...

I: So. Dann hinzukommt, jetzt nochmal von der Betriebsseite her nochmal betrachtet, damit ein IT-Router wirklich am Laufen bleiben kann über seine 5-jährige Betriebsdauer muss der eigentlich auch, wie jedes IT-Equipment, ständig gepatched werden. Im Regelfalle sind da ja Sicherheitsupdates notwendig, da sind Funktionsupdates notwendig, um Bugs zu fixen, die in jeder IP-Installation drin sind. Also ich habe auch einen kontinuierlichen Betriebsaufwand, den ich mit meiner Mannschaft, also mit den Kollegen selber, die für den technischen Betrieb verantwortlich sind, ja leisten muss. Man, aus der Erfahrung heraus können wir sagen, bei großen SDI-Kreuzschienen, muss ich sagen, die laufen zum Teil zehn Jahre ohne Probleme im Keller in einem Fernsehstudio und machen so gut wie überhaupt keine Betriebsaufwendung. Also da ist die Notwendigkeit die Systeme upzudaten, ist relativ gering. Wenn die einmal vernünftig konfiguriert und in Betrieb genommen sind, dann laufen die im Hintergrund jahrelang problemlos.

B: Ok, also das wäre schon mal ein Vorteil, den die SDI-basierende Produktionsumgebung bieten würde?

I: Ja also, ich sag mal, auf die Dauer, glaub ich, wird vom Kostenblock her, der Betrieb sowohl, was jetzt die Folgekosten hinsichtlich Wartungsverträge bei Hersteller angeht, deutlich günstiger sein, als auch der Betriebsaufwand im eigenen Haus. Durch Servicekollegen, die man braucht, um so Servicepackage usw. durchzuführen, ist bei der SDI-Welt minimal, der ist bei der IP-Welt ganz erheblich. Dann müssen wir uns noch das Thema IT-Sicherheit anschauen. Also, wenn ich jetzt beginne, meine SDI-Umgebung abzulösen durch eine IP-Welt, dann hab ich natürlich alle Themen, die ich heute schon in jedem Computernetzwerk haben, was Viren, Ransomware usw. angeht, auch in dieser Welt. Das heißt, ich löse eine heute 100% sichere Technik, weil in SDI kann es keinen Virus geben. Das ist eigentlich schon vom System her ausgeschlossen, löse ich ab durch eine Übertragungstechnik, wo durchaus Viren auch richtig heftige Probleme verursachen können. Und da muss ich mir natürlich auch dann Gedanken machen, wie sichere ich ein Fernsehstudio, das mit IP letztendlich arbeiten, vor Angriffen von außen. Da sind ganz andere Herausforderungen nochmal an die Systemplanung gegeben, was so Netzwerksegmentierung usw. angeht, die ich in der SDI-Welt bis dato nie hatte.

B: Verstehe ja. Gut, die Nachteile von einer SDI-basierten Produktionsumgebung, aus Ihrer Sicht?

I: Ja, wie gesagt, man hat eine bis heute, ich sag mal, das ist eine Technik die wird nur von sehr wenigen Herstellern nach vorne getrieben. Der Markt ist ja im Vergleich zu IP-Markt ein Bruchteil, vielleicht ein Fünfzigstel oder so davon. Es ist ein sehr kleiner Markt und solange, ich sag mal, dieser Markt jetzt noch einen gewissen Kundenkreis hat, dann werden die Hersteller auch noch Interesse haben hierfür Produkte zu entwickeln. Wenn der aber weiter schmilzt, dann ist

der Markt irgendwann mal so klein, dass es einfach dann für die Hersteller nicht mehr interessant genug ist, neue Produkte zu entwickeln, mit neuen Leistungen, mit neuen Fähigkeiten und daher, ich sag mal, spricht Vieles dafür, dass mittelfristig IP gewinnen wird, weil einfach die Marktmacht eine viel Größere ist und an der Stelle SDI, mehr oder minder, dann wirklich zu einer Nische in der Nische verkommt. So der Nachteil der SDI-Welt ist natürlich auch: Ich habe von der Technologie mich einmal ausgestattet mit einem gewissen Standard an Übertragungsqualität. SDI gibt's ja von 1,5Giga, 3 Gigabit und jetzt ganz neu mit 12Gigabit für Ultra-HD. Das implementiere ich einmal und dann kann ich es aber auch nicht mehr updaten. Wenn ich dann den nächsten Qualitätssprung machen möchte, muss ich meine gesamte SDI-Umgebung ersetzen. In der IP-Welt da besteht natürlich die Möglichkeit durch Wechseln einzelner Komponenten dann hoffentlich das System auch nochmal in die nächste Generation der Leistungsfähigkeit zu bekommen. Sodass ich Qualitätssprünge, was jetzt die Bildqualität angeht, wenn ich wechsele von HD auf Ultra-HD, dort besser abbilden kann.

B: Ok, das bringt mich gleich zur nächsten Frage. Wäre es für Sie einfacher den Sprung von HD auf UHD zu schaffen, wenn eine Produktionsumgebung existieren würde, die schon mit IP-Technologie arbeitet?

I: Also wir haben das bei uns in zwei Fällen beleuchtet. Wie springen wir hier von HD auf UHD, weil wir diese Thematik auch im WDR gerade für uns haben und wir haben eigentlich in zwei Richtungen entschieden. Also wir haben festgestellt, dass es für kleinere Produktionsumgebungen, da würd ich mal als Beispiel unsere Landesstudios nehmen, die wir hier bei uns in NRW an elf Stellen haben, also so in Orten wie Münster, Bielefeld, Wuppertal. Da haben wir jeweils immer kleinere Produktionsstudios, die eine halbe Stunde Sendung pro Tag live machen. Da haben wir eine sehr überschaubare Technik. Da haben wir festgestellt, wenn man das wirklich mit Total-Cost-of-Ownership rechnet, ist eine UHD-SDI-Umgebung mit 12G-SDI deutlich günstiger als eine IP-Umgebung.

B: OK

I: Also wir bekommen dort, mittlerweile im Markt mit 12G-SDI, sehr kostengünstige Lösungen, die in sich gesehen, mit minimalen Aufwand vor Ort zu betreiben sind, weil die Folgekosten halt sehr gering sind. Ich bekomme eine sehr simple Technologie, die die Kollegen heute beherrschen, weil sie vergleichbar ist zur bisherigen SDI-Technik. Also die haben eigentlich kaum Schulungsaufwand, sie können das Ultra-HD-System ohne großartig Updates von Wissen her fahren und haben dadurch, haben wir über alles gesehen einen günstigen Umstieg. Das gilt aber jetzt nur für kleine überschaubare Einheiten. Wenn ich jetzt über zukünftige groß anstehende Projekte hier in Köln nachdenke, am Campus Köln, dann werden wir eher dazu neigen auf IP zu gehen, weil uns

das dann doch nach hinten raus mehr Flexibilität erlaubt und, wenn wir ein Studio dann 2020 hier neu in Köln betreiben würden als Projekt, dann werden wir in einer größeren Umgebung auch eher IP bevorzugen.

B: OK, Das bedeutet: Für Sie ist nicht unbedingt die Umstellung von HD auf UHD mit IP gekoppelt, es sei denn für größere Produktionsumgebungen schon?

I: Ja, für größere Produktionsumgebungen aufgrund der Flexibilität und der Möglichkeiten, die ich mir über die lange Zeitachse erschließe und über die Komplexität, die ich da ja auch funktional ja auch irgendwie lösen muss, denke ich ja, da wird man mit IP besser dran sein. Wenn ich ein Studio in 2020 baue, dann hat typischerweise ein Fernsehstudio eine Lebensdauer von 10 Jahren, bis 2030 hinein, da denke ich, dass ich mit einer IP-Konstruktion einfach zukunftssicherer bin an der Stelle. Wenn ich das gleiche Studio aber, ich sag mal, in einem sehr minimalen Aufwand in Münster an einem unserer Landesstudios realisiere, dann hab ich da eigentlich nicht die Komplexitätsanforderungen, sondern das ist ein ganz klar abgesteckter Funktionsumfang, den ich heute mit 12G-SDI lösen kann und der mit hoher Wahrscheinlichkeit vollkommen ausreicht für die nächsten Jahre. Da werden keine neuen funktionalen Anforderungen an das System gestellt. Aus der Erfahrung heraus, gehen wir davon aus, dass wir mit diesen Studios für viele Jahre in ähnlicher Art und Weise produzieren werden und daher nicht der Bedarf nach Veränderung besteht.

B: OK, Sie haben die Schulungen für die Mitarbeiter angesprochen. Gibt es sonst noch irgendwelche technischen Änderungen, die sich ergeben würden, aus Ihrer Sicht, bei der Verwendung von IP-Technologie?

I: Ja, auf jeden Fall. Also wir haben natürlich, wenn sie jetzt ins System selber kucken, in den SDI-Kreuzschienen, das sind ja heute keine Kreuzschienen mehr, sondern die SDI-Kreuzschienen sind multifunktionale Geräte mit vielen wichtigen Zusatzfunktionen. Ich weiß nicht ob Sie sich da im Detail schon mit...

B: Herr Kaiser?

I: Ja, so jetzt hab ich sie wieder.

B: Es tut mir leid, irgendwie war die Verbindung jetzt weg. Ich konnte Sie jetzt auch nicht mehr zurückrufen... Wir waren bei den technischen Änderungen...

B: Ja genau, also ich hatte gesagt, also wenn man sich heute so eine SDI-Kreuzschiene ankuckt, dann ist das nicht nur eine einfache Kreuzschiene, sondern die hat eine ganze Reihe an Zusatzfunktionen an Board, die man in der IP-Welt erst mühsam bauen muss. Ich weiß nicht, ob sie sich schon mal mit so einem Produkt im Detail auseinandergesetzt haben, welche Funktionen heute alle so in einer Kreuzschiene realisiert werden. Ich sag nur mal beispielhaft so

zum Beispiel Audiospurtausch. Das ist ein ganz wichtiges Thema in jeder Fernsehproduktion, dass sie in der Lage sind, die Audiokanäle zu tauschen und das ist in den meisten SDI-Kreuzschienen vollkommen problemlos als Funktion erledigt, sodass man die Audiokanäle frei routen kann. In der IP-Welt nicht einfach. Ich kenn noch keinen IP-Router, der das, ich sag mal, ohne Zusatzaufwand löst. Dann gibt es das Thema Multiviewer, also die Möglichkeit mehrere Bilder auf ein großes Display zu bekommen, um letztendlich 20 Bildsignale auf einem größeren Monitor zur Vorschau anzeigen zu können. In jedem Fernsehstudio ganz wichtig, als Funktion, ist typischerweise heute in den SDI-Kreuzschienen als Zusatzfunktionen enthalten. Muss ich also nicht nochmal durch Gerätetechnik irgendwie realisieren. Muss ich in der IP-Technik alles nachbauen. Dann gibt es das Thema Konvertieren von Signalen. Also zum Beispiel up and down converting zwischen HD und UHD. Gibt es mittlerweile auch Kreuzschienen, die auch diese Converterboards bereits mit an Bord haben, sodass ich da auch kein Zusatzgerät mehr brauche, muss ich in der IP-Welt alles nachbauen. Also wenn man mal fairerweise die Mühe macht, ein Fernsehstudio heute mit einer modernen SDI-Kreuzschiene, komplett mit aller Funktionalität zu kopieren in die IP-Welt, werden Sie sehen welchen immensen Aufwand sie an Gerätetechnik brauchen. Ich lege ihnen mal als Beispiel das Produkt von der Firma Ross, das ist ein kanadischer Hersteller, R O S S, das Produkt dort ist die Kreuzschiene, die heißt Ultrix. Wenn sie sich mal den Funktionsumfang dieser 12G-SDI-Kreuzschiene von Ross die Ultrix im Detail ankucken und sie überlegen mal all das müssen sie jetzt in IP nachbauen, dann werden sie einen erheblichen Aufwand treiben müssen und das bekommen sie hier bei der Firma Ross in nur 2 HE bzw. 3 HE, 19 Zoll als kleinen Einschubträger. Das macht, also deshalb hat uns in so einem kleinen Landesstudio, hat uns am Ende doch dann dazu beigetragen, dass wir gesagt haben, also den Aufwand den wir treiben müssten in einem so kleinen Landesstudio, IP einzuführen, währenddessen wir bei so einer kleiner Ultrix-Kreuzschiene alle Funktionalität sehr kompakt in einem Gerät vorfinden. Davon wollten wir erstmal Abstand nehmen.

B: OK, Verstehe. D.h.: Zusammenfassend würden sie sagen, dass sich IP mittelfristig durchsetzen wird, aber je nach Sinnhaftigkeit eben. Also sprich, für größere Studios oder größere Unternehmen, wie ARD: Ja, für kleinere Fernsehstudios, die nicht unbedingt eine Vernetzung brauchen untereinander, würde es für sie keinen Sinn machen?

I: Ja, also ich muss mir ja wirklich im Detail überlegen, wo hab ich von Arbeitsablauf, vom Workflow her, wirklich Vorteile, die IP rechtfertigen und das wird natürlich in großen Strukturen, wo ich sehr, ich sag mal, multifunktional arbeiten möchte, wo ich sehr flexibel sein will, wo ich die verschiedensten Konstellationen herbeiführen möchte, da macht das Thema IP für mich Sinn. Je

abgegrenzter, je klarer, je präziser definiert, ich sag mal, auch funktional beschränkter das ist, umso mehr spricht das für mich für SDI.

B: Die letzte Frage meinerseits wäre, Insellösungen einzuführen, also sprich Teilimplementierungen von IP-Technologie, also hybride Lösungen. Wäre das für Sie zum Anfang oder zum Start zur Umstellung von SDI auf IP sinnvoll oder eher nicht?

I: Also überlegen wir durchaus. Wo man das immer sehr gut machen kann, ist auf Ü-Fahrzeugen. Da hat man ja eine, ich sag mal, so eine Insel quasi. Die Ü-Wagen-Technik ist ja sehr autonom und abhängig vom Aufgabenfunktionsumfang des Ü-Wagens, da gibt's ja jetzt auch kleine Autos, da würd ich dann auch eher nach SDI kucken, aber wenn ich ein größeres, komplexes Fahrzeug habe, mit dem ich auch sehr aufwändige Produktionen realisieren will, da würd ich dann eher mir heute auch Gedanken machen, das über IP zu lösen. Und so sehen ja auch die derzeitigen Marktansätze aus. Wenn sie sich die neuen Ultra-HD-Ü-Wagen anschauen, dann setzen diese Fahrzeuge, die jetzt mit 15, 20 Kameras unterwegs sind, fast alle auf IP-Technik mittlerweile und da find ich dann auch sinnvoll so einen Ü-Wagen als Insel in der IP-Welt zu betreiben, um auch Erfahrungen damit sammeln zu können.