Bachelorarbeit im Studiengang Audiovisuelle Medien

ATEM Switcher Modelle - Ein Vergleich anhand Produktionsvorgaben am Beispiel „Livestream Preisverleihung Jugend forscht Nordschwarzwald 2021“

vorgelegt von

Marco Selter

Matrikelnummer: 35937

am 28.06.2021

an der Hochschule der Medien Stuttgart

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Engineering

Erstprüfer: Prof. Oliver Curdt

Zweitprüfer: Prof. Dr. Frank Melchior

Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit versichere ich, Marco Selter, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel: ATEM Switcher Modelle - Ein Vergleich anhand Produktionsvorgaben am Beispiel „Livestream Preisverleihung Jugend forscht Nordschwarzwald 2021“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§26 Abs. 2 Bachelor-SPO (6 Semester), § 24 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester), § 23 Abs. 2 Master-SPO (3 Semester) bzw. § 19 Abs. 2 Master-SPO (4 Semester und berufsbegleitend) der HdM) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.“

Freudenstadt, den 28.06.2021

Marco Selter

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Personen bedanken, die mich im Verlauf meiner Bachelorarbeit unterstützt haben. Herzlich möchte ich mich bei Prof. Oliver Curdt und Prof. Dr. Frank Melchior für ihre Betreuung meiner Bachelorarbeit bedanken. Einen besonderen Dank möchte ich an meine Familie und Freunde für ihre Unterstützung und ihren Rückhalt während meines gesamten Studiums richten. Insbesondere an meine Frau, da ohne sie dieser Traum von einem Studium nie wahr geworden wäre.

Kurzfassung

Livestreams und Videoproduktionen erfordern Technik, die Bild und Ton einfach, effektiv und in professioneller Qualität kombinieren und verarbeiten kann. Bildmischer sind ein wichtiger Bestandteil solcher Produktionen. In dieser Arbeit werden ATEM Switcher (Bildmischer) der Firma Blackmagic Design verglichen und ihre technischen Features genau beleuchtet. Auch alternative Workflows für die kleineren Modelle der ATEM-Switcher werden genannt und es wird erläutert, dass auch mit günstigeren Modellen viele Vorgaben von professionellen Produktionen umsetzbar sind.

Abstract

Livestreams and video productions require technology that can combine and process image and sound easily, effectively and in professional quality. Image mixers are an important part of such productions. In this thesis ATEM switchers from Blackmagic Design are compared and their technical features are examined in detail. Alternative workflows for the smaller models of the ATEM switchers are also mentioned and it is shown that many specifications from professional productions can also be implemented with cheaper models.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung ..... I.

Danksagung ..... II.

Kurzfassung ..... III.

Abstract ..... III.

Inhaltsverzeichnis ..... IV.

1 Einleitung 1

2 Grundlagen 2

2.1 Digitales Videobild 2

2.1.1 Videoauflösung 2

2.1.2 Bildseitenverhältnis 3

2.1.3 Bildrate 3

2.1.4 Video Codec & Komprimierung 4

2.1.5 Video-Bitrate 5

2.1.6 Bildschnittstellen 6

2.1.7 Bild- und Video-Dateiformate 9

2.1.8 MAZ 13

2.2 Bildmischer 13

2.2.1 Keying 14

2.2.2 Chroma Keying 16

2.2.3 Luma-Keyer 17

2.2.4 Upstream-Keyer 18

2.2.5 Downstream-Keyer 19

2.3 Digitales Audiosignal 19

2.3.1 Audioformat – Wave 20

2.3.2 Audio Abtastrate 21

2.3.3 Audio-Bit-Quantisierung 23
2.3.4 Embedded Audio 25
2.3.5 Audio- / Video-Synchronisation 26
2.4 digitale Audioeffekte 27
2.4.1 Kompressor 27
2.4.2 Gate 28
2.4.3 Limiter 28
2.4.4 parametrischer Equalizer 29
2.5 RTMP-Stream Protokoll 30
3 Projektvorstellung – „Jugend forscht“ 30
3.1 Projektkonzeption 32
3.2 Projektvorgaben 32
3.3 Technische Rahmenbedingungen 33
3.4 Livestreams auf YouTube 34
4. ATEM-Technologie 35
4.1 Vorstellung der ATEM-Switcher 35
4.2 Funktionen 35
5 Vergleichsanalyse 36
5.1 ATEM Modelle im Vergleich 36
5.2 Definition Produktionsvorgabe 37
5.3 Vergleichstabelle 38
5.4 alternative Workflow-Ansätze 39
5.4.1 animierte Bauchbinden (Lower Third) 40
5.4.2 Corner-Logo 43
5.4.3 Bildsignal Konverter 44

6 Fazit 45

Vergleichstabelle (detailliert) 47

Literaturverzeichnis 48

Abbildungsverzeichnis 52

Abkürzungsverzeichnis 53

1 Einleitung

Events, Meetings oder Diskussionsrunden finden schon seit einiger Zeit auf digitale Weise statt, aber seit Beginn der Coronapandemie Anfang 2020[1] mussten Firmen, Veranstalter jeglicher Art bis hin zu Schulen auf Online Präsenz umstellen. Digitale Messen, Online Veranstaltungen zu Fachthemen oder Events zur Kundenbindung nahmen Fahrt auf und bekamen einen neuen Stellenwert. Die technischen Herausforderungen standen genauso im Raum, wie die Überlegung über welche Plattformen die Information den Weg zum Rezipienten nehmen soll.

In dieser Arbeit liegt das Augenmerk auf dem technischen Bestandteil des Bildmischers, der für jede Produktion ein essenzielles Arbeitsgerät darstellt. Er ist der zentrale Punkt im technischen Aufbau für Liveproduktionen, da hier Bildinformationen von Kameras, Zuspielgeräten wie MAZ oder Medien Player zusammenlaufen.

In dieser Arbeit werden fünf ATEM-Switcher-Modelle der Firma Blackmagic Design verglichen. Anhand des Fallbeispieles „Livestream Preisverleihung Jugend forscht Nordschwarzwald 2021“ wurden Vorgaben für die Livestream-Produktion erstellt, die Hauptbestandteil des Leistungskataloges des Vergleiches sind.

Unter Punkt zwei Grundlagen, wird das Grundwissen geschaffen, um die unterschiedlichen Anforderungen an Livestreams und die Arbeit mit Kameras, Ton und Bild zu verstehen, sowie die Unterschiede der Switcher besser einordnen zu können. In Punkt drei wird das Projekt „Jugend Forscht“ vorgestellt, sowie die Vorgaben für das Stream-Event und die technischen Rahmenbedingungen.

Punkt vier beschäftigt sich mit der ATEM-Technologie. Er beinhaltet die Vorstellung der einzelnen Switcher-Modelle.

Die Vergleichsanalyse in Kapitel fünf beinhaltet eine Vergleichsliste, die die Vorgaben des Fallbeispiels aufgreift. Hier wird ersichtlich, welche Switcher für welchen Einsatz geeignet sind. Im Nachgang werden noch alternative Lösungsansätze erläutert, die es ermöglichen, auch mit günstigeren Modellen der ATEM-Switcher den Vorgaben näher zu kommen.

---

[1] Vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT o. J.

2 Grundlagen

Um den Vergleich bzw. die Vergleichspunkte der einzelnen ATEM-Switcher-Modelle, die in dieser Arbeit verglichen werden, verstehen zu können, ist es wichtig, über Grundkenntnisse zu verfügen die es ermöglichen, die Vorgaben einer Livestream-Produktion richtig einzusortieren und die daraus resultierenden Parameter miteinander vergleichen zu können. Für diese Arbeit werden nur die Punkte in den Grundlagen aufgeführt, die für das Verständnis von digitalem Videobild und digitalem Audio nötig sind.

2.1 Digitales Videobild

„Die Digitalisierung hat nicht nur beim Fernsehen, sondern auch beim Videofilmen die analoge Technik vollständig abgelöst“[2]. Kameras wie Spiegelreflexkameras, Systemkameras und auch Camcorder arbeiten heute nahezu alle digital. Wir streamen auf Plattformen im Internet und halten das Produzierte auf digitalen Festplatten fest. „Dennoch leben wir in einer analogen Welt“[3]. Im Wesentlichen besteht die Funktion einer solchen digitalen Kamera darin, analoges Licht in einen binären Datenstrom zu wandeln. Auf den folgenden Seiten werden die wichtigsten Funktionen erklärt.[4]

2.1.1 Videoauflösung

Die Auflösung eines Videobildes wird durch zwei Werte beschrieben. „Die Anzahl der Pixel pro Zeile und die Anzahl der Zeilen des Gesamtbildes“[5]. Anders ausgedrückt, die Auflösung des Videobildes wird in Pixel in der Breite und Pixel in der Höhe angegeben. Für die in unserem Fallbeispiel verwendete Auflösung werden

[2] BÜHLER, SCHLAICH & SINNER 2018, S. 40
[3] BÜHLER u. a. 2018, S. 40
[4] Vgl. BÜHLER u. a. 2018, S. 40
[5] STOTZ 2011, S. 263

1920 (Pixel in der Breite) x 1080 (Pixel in der Höhe) benötigt. Dieses Maß wird auch als Full HD deklariert. Es werden auch häufig Angaben wie 2K, 4K und 8K für Auflösungen verwendet. Das K steht für 1000. Dies ist die aufgerundete Pixelanzahl einer Videoauflösung in der Breite.[6] Später ist diese Videoauflösung wichtig für das Streaming-Ziel, in unserem Fall die Plattform Youtube. In Punkt 3.4 wird darauf näher eingegangen.

2.1.2 Bildseitenverhältnis

Das Bildseitenverhältnis beschreibt das Verhältnis zwischen Breite und Höhe des Bildausschnittes, den man sieht. Zur Veranschaulichung werden die Pixelmaße 1920 und 1080 in das Verhältnis gesetzt.

1920:1080 = 1,78:1 = 16:9

Über den größten gemeinsamen Teiler von 1920 und 1080, der 120 ist, kann man das Seitenverhältnis errechnen. Die zwei Werte 1920 und 1080 werden durch 120 geteilt. Das Ergebnis ist das Seitenverhältnis 16:9. „Die Videonormen HD 1280x720 und Full HD 1920x1080 sind immer mit 1,78:1 bzw. 16:9 verknüpft“.[7][8]

2.1.3 Bildrate

Die Bildrate (Framerate) oder auch Bildwiederholfrequenz gibt die Anzahl der Bilder pro Sekunde an. Diese Bildwiederholfrequenzen sind an die Frequenzen des jeweiligen landestypischen Wechselstroms gekoppelt. In Europa ist der Wechselstrom mit 50Hz getaktet. Somit sind typische Einstellungen der Bildrate 25 Hz / 25 fps (Frames per Second), 50 Hz / 50 fps oder auch 100 Hz / 100 fps, die

[6] Vgl. BÜHLER u. a. 2018, S. 43
[7] BET ONLINE-LEXIKON o. J.-a
[8] Vgl. BÜHLER u. a. 2018, S. 43

auch als Higher Frame Rate bezeichnet wird. Zu unterscheiden ist noch der Zusatz mit dem Buchstaben i (z.B. 50i) oder p (z.B. 50p).

Der Bildaufbau digitaler HD-Signale wird in Vollbilder (progressive scanning) oder Halbbilder (interlaced scanning) angegeben. Die Bewegtbildauflösung von 50p liegt bei 50 Vollbilder pro Sekunde, die von 25p bei 25 Vollbilder pro Sekunden. Im Fallbeispiel des „Jugend forscht“ Livestreams wurden die Kameras auf 25 Voll- (p) Bilder pro Sekunde (fps) eingestellt. Dies wird in den Grundlagen nicht weiter erklärt werden.[9] [10]

2.1.4 Video Codec & Komprimierung

Als Video-Codec wird ein Verbund aus zwei Algorithmen bezeichnet, die ein digitales Videosignal kodieren und dekodieren (Encoder, Decoder). Ziel ist es, die großen Datenmengen eines Videos durch Komprimierung zu reduzieren. Die unkomprimierte Datenmenge eines Livestream-Video-Bildes wäre in ihrer Datenrate zu groß, um sie über eine schnelle Internetleitung mit 1Gbit pro Sekunde[11] zu streamen. Im folgenden Beispiel wird der Datenstrom eines Full-HD-Videos berechnet, der pro Sekunde anfällt.

Datenrate (unkomprimiert) π

$$d_V = f_V \cdot B \cdot H \cdot F \quad [\text{Bit}]$$

f_V: Bildrate [Hz] = [1/s]
B: Bildbreite [px]
H: Bildhöhe [px]
F: Farbtiefe (Bit)

Abbildung 1: Berechnung der Video-Datenrate
Quelle: Bühler, 2018, S. 44

[9] Vgl. BÜHLER u. a. 2018, S. 43
[10] Vgl. BET ONLINE-LEXIKON o. J.-b
[11] BMVI (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR) o. J.

$$
\begin{aligned}
d_V &= 50\,Hz \cdot 1.920 \cdot 1.080 \cdot 24\ Bit \\
&= 2.488.320.000\ Bit/s \quad |:1.000^{1} \\
&= 2.488.320\ kBit/s \quad |:1.000 \\
&= 2.488\ MBit/s \quad |:1.000 \\
&= 2{,}49\ GBit/s
\end{aligned}
$$

Abbildung 2: Rechenbeispiel, Berechnung der Video-Datenrate
Quelle: Bühler, 2018, S.44

Die Notwendigkeit einer effizienten Datenkompression des Videos wird somit deutlich. Die errechnete unkomprimierte Datenrate des Videos wäre mit 2,49 GBit/s an Datenrate nicht ruckelfrei zu streamen, auch nicht über eine 1Gbit-Leitung.
Je nach Anwendungsgebiet werden verschiedene Video-Codecs verwendet. Im Bereich der HD bzw. Full HD Livestreamübertragung wird der H.264 Codec[12] gerne genutzt, da dieser Video- und Bildsignale in hoher Qualität[13] erhält.

2.1.5 Video-Bitrate

Über die Höhe der Bitrate ist die Wiedergabequalität eines Video- oder Audiosignals steuerbar. Die Bitrate (Quantisierungsrate) gibt an, mit wieviel Bit ein Signal quantisiert, bzw. mit wieviel Quantisierungsstufen das Signal berechnet wird. Je höher die Bitrate, umso genauer kann das quantisierte Signal später in der Browser-Software oder im Videoplayer auf dem Rechner reproduziert werden.[14]
Die Bitrate eines Streaming-Videos ist weitaus niedriger als die eines produzierten Videos, das mit 16 oder 24 Bit quantisiert wird. Mit der Höhe der Bitrate steigt die Höhe der Datenmenge bzw. Datenrate und somit auch die Bandbreite, die benötigt wird.[15]

Die Live-Encoder-Einstellungen beispielsweise bei YouTube für Streaming-Videos geben eine Quantisierungsrate von 3000 – 6000kbit/s an. Mit der Einstellung

[12] YouTube o. J.
[13] Vgl. Ebner & DIN e.V. 2019, S. 205
[14] Vgl. Ebner & DIN e.V. 2019, S. 21
[15] Vgl. Ebner & DIN e.V. 2019, S. 205

„variable Bitrate“ wird die Auflösung und Bildwiederholfrequenz des zu streamenden Videos von YouTube erkannt und die Bitrate wird automatisch durch einen Encoder angepasst und festgelegt.[16]

2.1.6 Bildschnittstellen

Für das in dieser Arbeit herangezogene Fallbeispiel wurden HDMI- und SDI-Bildschnittstellen verwendet. In diesem Abschnitt werden die Eigenschaften und Unterschiede dieser zwei Bildschnittstellen beleuchtet.

2.1.6.1 HDMI

HDMI (High Definition Multimedia Interface) ist eine Bild- oder Displayschnittstelle für die Übertragung von Bild- und Multimediadaten. Die 2002 eingeführte Schnittstelle verbindet Digitalkameras mit Computern, Displays oder Aufnahmegeräten. HDMI wurde speziell für die Anforderungen der Unterhaltungselektronik entwickelt. Die große Stärke von HDMI ist die gleichzeitige Übertragung von hochauflösenden Video- und Audiodaten. Außerdem können weitere Optionen und Funktionen über HDMI realisiert werden:

- Austausch von Fähigkeiten der Quelle mit der Senke und Absprache der verwendeten Formate.
- Netzwerkprotokolle (HEC – HDMI Ethernet Channel).
- Übertragung von Gerätesteuerdaten (CEC – Consumer Electronics Control).
- Audiorückkanal vom TV-Endgerät zum AV-Receiver (ARC = Audio Return Channel).
- Hot-Plug-Detect (HPD).
- Stromversorgung (5V, max. 55 mA) z.B. für Leitungsverstärker/Equalizer.[17]

[16] Vgl. YOUTUBE o. J.: Live-Encoder-Einstellungen
[17] Vgl. FISCHER 2016, S. 236

Videoauflösungen 2K, 4K oder auch 8K sind mit HDMI übertragbar. HDMI gibt es in verschiedenen Kabel-Versionen. Nicht jedes HDMI-Kabel ist auch für die benötigte Leistung geeignet. Hier lohnt sich der Blick auf die Angaben auf der Verpackung. Damit ein HDMI-Kabel für z.B. einen 4K Monitor oder auch eine 4K Übertragung geeignet ist, sollten Hinweise wie „4K“, „UHD“ oder „2160p“ angegeben sein.
Die Übertragungsgeschwindigkeiten der einzelnen HDMI-Versionen unterscheiden sich auch sehr untereinander. Mit der Version 2.0 ist es möglich, dass HDMI eine Auflösung von 4K mit 60 Bildern pro Sekunde mit einer Geschwindigkeit von 18GBit/s überträgt. Die neue 2.0 HDMI Version kann auch bis zu 32 Audiokanäle zusätzlich übertragen.[18] [19]

HDMI – Steckverbindungen

Es gibt fünf relevante Steckverbindungen von HDMI:

Typ	Bezeichnung	Abmessung (in mm)	Pins	Nutzung
A	**Standard-HDMI**	13,9 x 4,5	19	Single Link
B	**Standard-HDMI**	21,1 x 4,5	29	Dual Link
C	**Mini-HDMI**	10,4 x 2,5	19	Single Link
D	**Micro-HDMI**	6,5 x 2,5	19	Single Link
E	**Automotive-HDMI**	17,0 x 6,1		in Fahrzeugen

Abbildung 3: HDMI Steckverbindungen
Quelle: Elektronik-Kompendium.de

2.1.6.2 SDI

SDI (Serial Digital Interface) ist eine von der SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) standardisierte, digitale Geräteschnittstelle, die zur Übertragung von nicht datenreduziertem Bild- und Tonmaterial verwendet wird. Es ist ein Standard, der in den meisten Studios oder Rundfunkanstalten genutzt wird.

[18] Vgl. ITWissen.info 2021 | HDMI
[19] Vgl. Elektronik-Kompendium.de o. J. | HDMI

Umgangssprachlich wird die „SDI-Schnittstelle“ auch als „SDI-Signal“ benannt. Es handelt sich bei diesem digitalen Signal um ein Komponentensignal (wird in Punkt 2.2 Bildmischer behandelt), das aus den Informationen des Luma-Signals und zwei Farbdifferenzsignalen besteht. Für die analoge Leitungsführung von Komponentensignalen benötigt man für jedes Signal eine separate Leitung. Dagegen werden bei einem SDI-Signal die Komponentensignale ineinander verschachtelt und seriell (nacheinander) über ein Kabel übertragen. Den Verbindungspunkt am Kabel übernimmt ein BNC-Stecker.

Der Vorteil eines SDI- Signals bzw. Schnittstelle ist die Möglichkeit, bis zu 16 Audiokanäle mit 24Bit-Auflösung ohne Datenreduktion als Embedded Audio zu übertragen. Diese Audiokanäle sind in vier Gruppen zu je vier Audiosignalen sortiert. Die Audiosignale werden von einem Embedder an der geeigneten Stelle im digitalen Signal eingefügt und mit Hilfe eines Deembedders wieder aus dem Videosignal extrahiert.[20] [21]

Unterschieden wird zwischen den SDI-Definitionen:

SD-SDI (Standard Definition, Auflösung: 576i/25 | Bitrate 270 Mbit/s)

HD-SDI (High Definition, Auflösung: 1080i/25, 720p/50 | Bitrate ca. 1,5 Gbit/s)

3G-SDI (als Spezialform von HD-SDI, Auflösung: 1080p/50 | Bitrate ca. 3 Gbit/s)

6G-SDI (Auflösung: 2160p/25, 4K, UHD-1 | Bitrate ca. 6 Gbit/s)

12G-SDI (Auflösung: 2160p/25 bis zu 4096 Bildpunkte, 4K | Bitrate ca. 12 Gbit/s)[22]

Ein wichtiger Faktor der verschiedenen SDI-Definitionen ist die Kabellänge. Hier sind Kabellängen von 70 – 120 Metern (abhängig von SDI Schnittstelle) möglich. Im Gegensatz dazu kommt ein HDMI-Kabel bei 10 Metern schon an die Grenzen der Übertragbarkeit, wenn kein Signalverstärker eingesetzt wird.[23] Das SDI-Signal ist

[20] Vgl. BET ONLINE-LEXIKON o. J.-c | SDI Signale
[21] Vgl. STAGE TEC o. J. | SDI
[22] Vgl. BET ONLINE-LEXIKON o. J.-c | SDI Signale
[23] Vgl. BET ONLINE-LEXIKON o. J.-c

somit eine ideale Lösung, um Videosignale über weite Strecken hinweg verlustfrei zu transportieren.

2.1.7 Bild- und Video-Dateiformate

Digitale Bild- und Videoinformationen werden in Containerformate zusammengeführt, die auch als Dateiformate bekannt und benannt sind. Der Einsatzbereich und die Möglichkeiten der verschiedenen Dateiformate unterscheiden sich sehr voneinander. Für diese Arbeit werden nur die Bild- und Videodateiformate aufgegriffen, die von den ATEM-Switcher-Modellen wiedergegeben und verarbeitet werden können.

PNG-Dateiformat

Die Abkürzung PNG steht für Portable Network Graphic (ausgesprochen „ping“) und bezeichnet ein universelles Bildformat, das für Internetanwendungen aber auch für die Anwendung im Media-Player des ATEM geeignet ist. PNG ist ein unkomprimiertes Vollfarbenformat, das bei Bedarf verlustfrei komprimiert werden kann. Die ursprüngliche Bildqualität kann beibehalten werden, auch wenn sich Bildgrößen ändern, da das Ausmaß einer PNG-Datei bis zu 2^{30} x 2^{30} Pixel annehmen kann.[24] Einer der wichtigsten Aspekte für den Einsatz von ATEM-Switcher-Modellen ist die Fähigkeit, dass PNG einen Transparenzwert (Alpha-Kanal) mit max. 16Bit zu Verfügung stellt. Mit diesem Transparenzwert lassen sich Farbbereiche eines Bildes herausrechnen und somit eine Schrift oder Bauchbinde (Textgrafiken im unteren Drittel eines Video- oder TV-Bildes) mit transparentem Hintergrund einspielen.[25]

[24] Vgl. BURGER & BURGE 2015, S. 16
[25] Vgl. BLACKMAGICDESIGN o. J.-a

TGA-Dateiformat

Diese Dateiformat-Abkürzung steht im Allgemeinen für TARGA-Bilddateien (Truevision Advanced Raster Graphics Adapter) und wurde 1984 von AT&T EPICenter / Truevision für die Speicherung von Bildern entwickelt.[26] Das unkomprimierte und verlustfreie Dateiformat wurde für die Farbdarstellung entwickelt. Es arbeitet mit den drei RGB-Farbkanälen und einem Alphakanal (Transparenzwert). Alle vier Kanäle können mit einer Auflösung von 8, 16, 24 und 32 Bit/Pixel gesteuert werden.[27]

Vorwiegend wird dieses Format in der professionellen Computergrafik und der Bildbearbeitung angewendet. Durch die Eigenschaft des Alphakanals ist wiederum die Anwendung von Grafiken und Bauchbinden, die über dem Videobild liegen, möglich.

BMP-Dateiformat

Das Bitmap-Format (BMP), ein unter Windows weit verbreitetes Dateiformat, wurde von Microsoft entwickelt. Ziel war es, ein geräteunabhängiges Format zu schaffen.[28] BMP eignet sich für Bilder mit realistischem Inhalt (fotoähnlich). Die Pixel im Bild können mit bis zu 24 Bit gespeichert werden, deshalb ist der Speicherbedarf relativ groß. Für Festplatten mit heutigen Speichergrößen stellt dies aber kein Problem mehr dar.[29] Jedes Pixel eines BMP-Bildes wird in einer bestimmten Anzahl von Bits dargestellt.

Um die Speichergrößenverhältnisse und die Farbvarianz eines BMP Bildes besser darzustellen, hier ein Rechenbeispiel:

[26] Vgl. PEDDIE o. J. | IEEE Computer Society
[27] Vgl. ITWISSEN.INFO o. J.
[28] Vgl. STOTZ 2011, S. 389
[29] Vgl. BET ONLINE-LEXIKON o. J.-d

8-Bit BMP-Bild

1920 x 1080 = 2.073.600 Pixel

Jedes Pixel wird mit 8Bit berechnet (2^8 = 256 Farben)

Gesamt-Bits: 2.073.600 Pixel x 8 Bits = 16.588.800 Bits

16.588.800 / 8 = 2.073.600 Bytes

2.073.600 / 1.024 = 2.025 KB

2.025 / 1.024 = 1,98 MB

24-Bit BMP-Bild

1920 x 1080 = 2.073.600 Pixel

Jedes Pixel wird mit 24Bit berechnet (2^{24} = 16.777.216 Farben)

Gesamt-Bits: 2.073.600 Pixel x 24 Bits = 49.766.400 Bits

49.766.400 / 8 = 6.220.800 Bytes

6.220.800 / 1.024 = 6075 KB

6075 / 1.024 = 5,93 MB[30]

GIF-Dateiformat

Das GIF-Format (Graphics Interchange Format) wurde Ende der 80er Jahre von CompuServe für Internet-Anwendungen entwickelt und eingeführt. Da wegen seiner effizienten Kompression deutlich weniger Speicherplatz benötigt wird, war es damaligen Grafikformaten überlegen. Auch große Bilder konnten in einer adäquaten Zeit mit langsamen Modems übertagen werden. Das Komprimierungsverfahren ist verlustfrei.

GIF speichert die Farbinformationen eines Bildes in einer Farbpalette, die Ihre Zuweisungen über Indizes erhält. Mit einer Farbtiefe von 8Bit (2^8 = 256 Farben pro Farbkanal) kann auf 256^3 = 16.777.216 verschiedene Farbabstufungen zugegriffen

[30] Vgl. LOERn - Open Educational Ressource o. J.

werden. Das plattformunabhängige Format hat auch die Fähigkeit, mehrere Einzelbilder als Animation (Bildfolge) zu speichern.
GIF eignet sich optimal für Grafiken und Bilder mit einem flachen Farbprofil (wenige Farbwerte, z.B Firmenlogos). Einen transparenten Alphakanal besitzt GIF nicht, kann aber über die Festlegung einer Transparenzfarbe arbeiten.[31] [32]

JPEG Dateiformat

JPEG (Joint Photographic Expert Group) ist eigentlich kein Dateiformat, sondern definiert das Verfahren der Kompressionsmethode und wurde 1990 als ISO-Standard IS-10918 etabliert. Das Format wird als JFIF (JPEG File Interchange Format) bezeichnet. Am Ende einer Datei steht die Bezeichnung .jpeg oder .jpg. Das Komprimierungs- und Dateiformat ist die am weitesten verbreitete Bilddatei für Bilder im Internet. JPEG kann verlustbehaftet und verlustfrei komprimiert werden und wird auch als Komprimierung bei PDF- oder TIFF-Dateien verwendet. Die Farbinformationen der RGB Werte werden in den YC_bC_r – Raum transformiert, berechnet und quantisiert, durch Lauflängen- oder Huffman-Kodierung verlustfrei komprimiert und somit Redundanzen entfernt.[33]

TIFF – Dateiformat

Das Standardformat der Printproduktion ist das Dateiformat TIFF (Tagged Image File Format). Es kommt bei professionellen Anwendungen zum Einsatz und wird von den meisten Bildverarbeitungsprogrammen unterstützt. TIFF kann im Modus RGB oder auch CYMK speichern. Deshalb ist es ein universelles Austauschformat für Druckvorstufen in Verlagen und Druckereien und eignet sich auch hervorragend zur Archivierung von Bilddateien. TIFF kann Farbprofile mit bis zu 48 Bit (ca. 282

[31] Vgl. BÜHLER, SCHLAICH & SINNER 2017, S. 27f.
[32] Vgl. BURGER & BURGE 2015, S. 15
[33] Vgl. BURGER & BURGE 2015, S. 16ff.

Billionen) speichern und verarbeiten und wird deshalb gerne für RAW-Bilddateien (Datenformat von Digitalkameras) verwendet.[34] [35]

2.1.8 MAZ

Die MAZ (Magnetbandaufzeichnung) bezeichnet ein technisches Gerät, das Bild- und Tonmaterial auf Magnetband aufzeichnen kann. Als erstes brauchbares Videoaufzeichnungsgerät kam 1956 das Quadruplex-System der Firma Ampex auf den Markt. Diese MAZ-Maschine konnte nur in schwarz/weiß aufzeichnen und verwendete offene Magnetspulen.[36]

Heute liegen die Daten sowie Beiträge auf Festplatten an und werden über eine Playout-Software (Media-Player) abgespielt bzw. wiedergeben. Der Begriff MAZ hält sich in modernen Zeiten immer noch und hat im Sprachgebrauch von TV- und Streamingprofis nach wie vor Bestand. Für die Arbeit in einer TV- oder Streaming-Regie ist es wichtig, Playout-Software mit mehreren Medienplayern zur Verfügung zu haben, um Beiträge schnell nacheinander abspielen zu können, bzw. Ersatzbeiträge schnell zur Hand zu haben, wenn sie benötigt werden.

2.2 Bildmischer

Hierbei muss man zwischen der Person (der/die Bildmischer/in), die das Bild-Mischpult bedient und dem technischen Gerät unterscheiden. Im Folgenden handelt es sich um das technische Gerät „Bildmischer“, seine Funktionen und Einsatzgebiete.

Im Grunde werden Videosignale be- und verarbeitet. „Der Begriff Videosignalbearbeitung steht hier für die Verknüpfung mehrerer Signale durch

[34] Vgl. BÖHRINGER, BÜHLER & SCHLAICH 2011, S. 35
[35] Vgl. BURGER & BURGE 2015, S. 14
[36] Vgl. SCHMIDT 2013, S. 550

Mischung, Stanzeffekte, digitale Tricks im live-Betrieb sowie für die Umstellung aufgezeichneter Videosequenzen (Schnittbetrieb, Editing).[37]“

Bildmischer (engl. Switcher) funktionieren als Umschalter und Mischer von Bild- und Videosignalen. Üblicherweise werden Bildmischer in TV-Studios verwendet. Im Zuge der steigenden Zahlen von angebotenen Live-Streams jeglicher Art im Netz[38], sowie der größeren Auswahl an bezahlbaren Geräten, erfreuen sich Bildmischer auch im Hobby- und Semi-professionellen Bereich großer Beliebtheit.

Der Funktionsumfang hat im Laufe der Zeit immer weiter zugenommen. Wichtig sind Standard-Effekte wie der Hartschnitt (engl. Cut), der ein direktes Umschalten zwischen zwei Video- oder Bildquellen ermöglicht, Übergänge (engl. Transitions) oder Wischblenden (engl. Wipe). Zusätzlich sind Effekte wie Bild in Bild (PIP = picture in picture), Stanzen (engl. Keys) und das Einblenden von weiteren Grafikebenen im Funktionsumfang eines Bildmischers wesentlich. Bei Liveproduktionen sind Bildmischer die technische und zentrale Einrichtung. Hier laufen alle Video-, Bild- und Audiosignale zusammen.[39]

Die in dieser Arbeit behandelten ATEM-Switcher (Bildmischer) verfügen über Chroma- und Luma-Keyer, sowie dem technischen Bestandteil des Upstream- und Downstream Keyer.

2.2.1 Keying

Damit eine Überlagerung von Bild- und Videoebenen möglich ist, nutzen Bildmischer das Keying (Stanzverfahren). Diese Überlagerungen werden bei Einblendungen wie Bauchbinden (Textebenen im unteren Drittel des Bildes), Corner-Logos (Logo meist recht oben in der Ecke – siehe z.B. ZDF) oder Grafiken eingesetzt. Auch beim Film wird diese Technik als Blue-Screen oder Green-Screen

[37] SCHMIDT 2013, S. 624
[38] Vgl. MAY 2021 https://blog.streamlabs.com
[39] Vgl. SCHMIDT 2013, S. 624 ff.

genutzt. Bei diesem Umschaltvorgang wird die Stanze aus dem Bildsignal selbst generiert bzw. abgeleitet.[40]

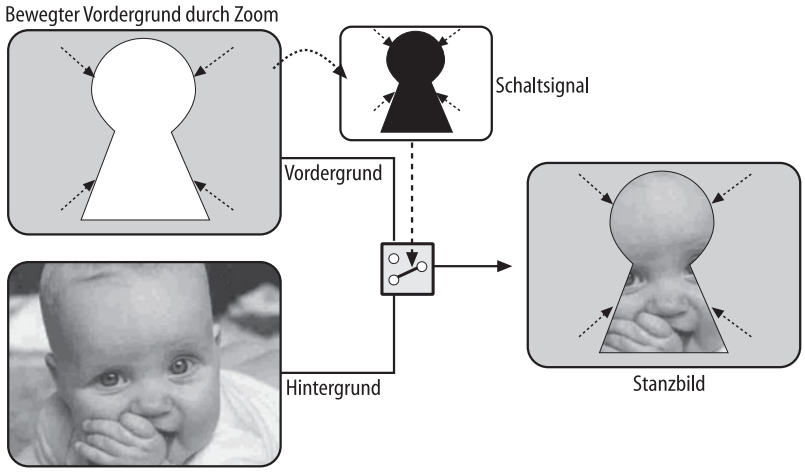

Abbildung 4: Bildfreistellung – Stanzverfahren
Quelle: Professionelle Videotechnik / Ulrich Schmidt

Wie bei einem Schlüsselloch werden die Konturen des Vordergrundbildes ausgestanzt. Ziel ist es, den Vordergrund vom Hintergrund zu trennen, oder anders formuliert, Vordergrundbildelemente von Hintergrundbildelementen zu trennen. Im Film wird diese Technik für die Bildkomposition (engl. Compositing) verwendet. Im Bereich des TV oder Streaming verwendet man Bildfreistellungen eher für Grafiken oder für die schon genannten Bauchbinden.

Unterschieden werden muss beim Keying-Verfahren, ob es sich um eine farbbasierte (Chroma-Keying) oder helligkeitsbasierte (Luma-Keyer) Bildfreistellung handelt. Das Steuersignal des Chroma oder Luma Keying ist hier das „Schaltsignal“. Bei beiden Verfahren ist es erheblich, dass sich das Vordergrundsignal deutlich vom Hintergrundsignal abhebt, damit ein zufriedenstellendes Ergebnis zustande kommt.

[40] Vgl. SCHMIDT 2013, S. 630

2.2.2 Chroma Keying

Die am häufigsten verwendete Technik für visuelle Effekte wie die Bildfreistellung, ist das Chroma Keying. Hier wird ein Motiv vor einem einfarbigen Hintergrund abgefilmt und anschließend in der Post-Produktion die Hintergrundfarbe aus dem Hintergrundbild herausgerechnet. Im Live-TV oder Streaming-Kontext wird das Keying direkt im Bildmischer ausgeführt. Die Rechenleistung wird hier direkt im Gerät bereitgestellt und schnelle Bildschnitte sind somit kein Hindernis.

Die gängigen Farben für den Hintergrund sind die Key-Farben (Schlüssel-Farben) Grün oder Blau. Diese Farben werden als Key-Farben gewählt, da die menschliche Hautfarbe kein Grün oder Blau enthält und somit ein maximaler Kontrast zum Hintergrund entsteht. Die Vordergrundobjekte oder Personen dürfen keine Key-Farben enthalten oder tragen, die für den Hintergrund genutzt werden, sonst würden diese Teile von der Software entfernt und durch das Hintergrundbild ersetzt werden.

Bei diesen Green oder Blue Screens ist die richtige Ausleuchtung des Hintergrunds wesentlich. Es dürfen keine Falten, Kanten oder ungleichmäßige Stellen am Hintergrund entstehen. Dies und eine ungleichmäßige Ausleuchtung führt zu unterschiedlichen Helligkeitswerten und somit zu verschiedenen Grün- oder Blautönen (engl. Spills). Ein fehlerfreies Keying wäre somit nicht gewährleistet.

Am Keyer-Gerät selbst kann man diverse Werte für die Key-Farbe einstellen, um ein optimales Ergebnis und somit eine fehlerfreie Transparenz zu erzielen.

Aber auch digitale Grafiken und Motive können anhand einer Keyfarbe gestanzt werden. Jegliche Bereiche im Bild, die nicht Grafik oder Motiv sind, werden in grün oder blau gefärbt. Somit kann der Keyer auf die Keyfarbe eingestellt werden und der Keyfarbenbereich wird transparent und die bearbeitete Bildebene kann auf eine weitere gelegt werden.[41] [42]

[41] Vgl. MAGIX SOFTWARE GMBH o. J.
[42] Vgl. SCHMIDT 2013, S. 633 ff.

Abbildung 5: Gute und schlechte Chroma-Key-Einstellung
Quelle: Professionelle Videotechnik - Ulrich Schmidt

Abbildung 6: Blau oder grün - Welche Farbe sollte für das Chroma Keying verwendet werden?
Quelle: www.vegascreativesoftware.com

2.2.3 Luma-Keyer

Das Luma-Keying basiert auf den Helligkeitswerten (Luminaz od. Leuchtdichte) eines Videobildes oder Grafik. Ziel ist es, zwei Videobilder mit Hilfe eines Stanzsignals zu kombinieren. Dieses Signal wird aus einem der beiden Videobildsignalen gewonnen. Meistens aus dem Video- oder Bildsignal im Vordergrund.

Aus einer Vordergrundgrafik (z.B. Bauchbinden oder Logo müssen über dem Videosignal liegen) wird beim Luma-Key-Verfahren ein schwarz/weiß Stanzsignal erstellt. Diese Stanze basiert auf dem Helligkeitslevel / Videopegel der Grafik im Vordergrund.

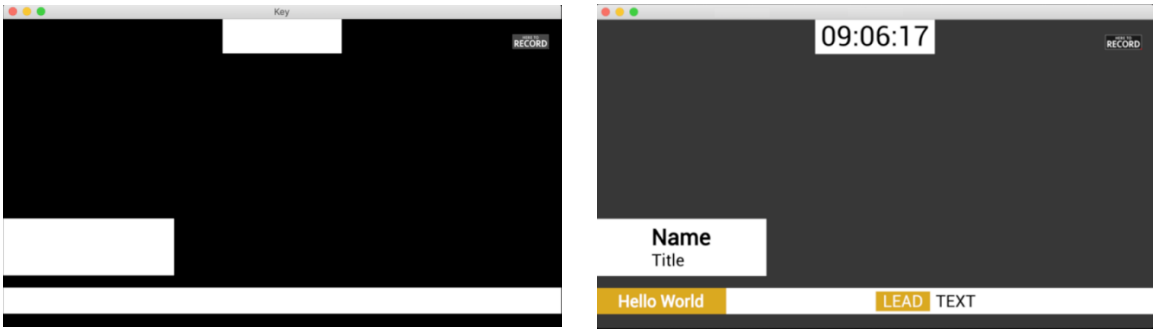

Abbildung 7: Stanze, Key Bereiche anhand Helligkeitswerte
Quelle: H2R Graphics www.heretorecord.com

Die weißen Bildanteile der Stanze werden mit den Bildinhalten des Vordergrund-Videosignals ersetzt. Die schwarzen Bildanteile der Stanze werden mit den Bildanteilen des Hintergrundes, das eine Grafik oder ein aufgenommenes Videosignal sein kann, ersetzt.

Luma-Keyer arbeiten am effektivsten, wenn das was man auf dem Bildschirm als erste Ebene (Vordergrund) darstellen möchte heller ist als der verwendete Hintergrund. „Mit Hilfe des Stellers für den Clip Level (Slice) wird ein bestimmter Videopegel definiert und dann festgestellt, an welchen Stellen dieser Wert überschritten wird“[43]. Bereiche im Vordergrundbild, die den definierten Helligkeitswert besitzen, werden transparent geschalten.

In heutigen Luma-Keyer wie in den ATEM-Switcher-Modellen arbeiten einfach zu steuernde Keyer, die über das sogenannte Fill & Key oder mit dem Alphakanal eines Bildes arbeiten. Der Luma-Keyer wird meistens für statische Grafiken wie Corner Logos oder unbewegte Bauchbinden verwendet.[44]

2.2.4 Upstream-Keyer

Um mit dem Bildmischer Bildebenen zu steuern bzw. zu wählen, in welcher Reihenfolge Cleanfeed (Bild aus Kamera), Upstream-Keyer, Hintergrund und die Programmausgabe geschalten bzw. gestapelt werden, greift man auf die Upstream- oder Downstream-Keyer zu.

---

[43] SCHMIDT 2013, S. 631
[44] Vgl. WESTON 2009

Der Upstream-Keyer platziert eine Bildebene unterhalb anderer Ebenen. Er wird eingesetzt, um Grafiken, die hinter einer Bildebene (z.B. Sprecher im TV) liegen sollen, anzuzeigen. Bei der Wahl des Keyers für ein Hintergrundbild, fällt diese auf den Upstream Keyer.[45]

2.2.5 Downstream-Keyer

Als Downstream-Keyer werden üblicherweise Helligkeitsstanzen bezeichnet, die es bei einem Bildmischer ermöglichen, Grafiken über der live ausgestrahlten On-Air-Programmausgabe einzublenden. Downstream-Keyer sind die letzte Ebene, mit der sämtliche, auf das Hauptprogramm geschaltete Videoinhalte überblendet werden.[46] Downstream-Keyer sind somit hervorragend dazu geeignet, Logo-Grafiken wie Cornerlogos oder Grafikeinblendungen (z.B. am unteren Rand) zu realisieren.

2.3 Digitales Audiosignal

Das Audiosignal ist auch beim TV, Film oder Stream ein essenzieller Bestandteil, der genau wie das Bildmaterial gespeichert, bearbeitet und optimiert wird. Damit dies alles mit Software, Plugins oder digitalen Mischpulten funktioniert und auch später mit dem Bildsignal zusammengefügt werden kann, muss dieses Signal digital vorliegen.

Um analoge Signale in digitale zu wandeln, müssen einige Bearbeitungsschritte durchlaufen werden. Dies geschieht in sogenannten A/D (Analog / Digital) Wandlern. Aus dem analogen werte- u. zeitkontinuierlichen Signal wird durch Abtastung und Quantisierung ein digitales werte- und zeitdiskretes Signal. Die analogen Signale werden somit in digitale Werte transformiert.

Liegen diese Werte als äquidistante Folge vor, spricht man von einer Puls-Code-Modulation (PCM). Diese digitalen PCM-Signale können verlustfrei gespeichert

[45] Vgl. BLACKMAGICDESIGN o. J.-b
[46] Vgl. BLACKMAGICDESIGN o. J.-b

werden und lassen sich mit Hilfe von Plugins wie Equalizern, Kompressoren und ähnlichen Signalprozessoren formen und nachbearbeiten.

In den ATEM-Switcher-Modellen gibt es einige Bearbeitungseffekte, die für die Optimierung des Audiosignales verwendet werden können. Auch die Möglichkeit der externen Speicherung von Video- und Filmmaterial ist bei einigen Modellen gewährleistet. In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Punkte der Audioverarbeitung durch die ATEM-Switcher-Modelle behandelt und erklärt.[47]

Abbildung 8: Struktur eines digitalen Audiosystems
Quelle: Handbuch der Tontechnik

2.3.1 Audioformat – Wave

Die ATEM-Switcher-Modelle können das Format WAVE (.wav) verarbeiten. In diesem Format können die Audiodaten zusammen mit den Videodaten auf einer Festplatte gespeichert werden.

Das Wave-Format ist ein unkomprimiertes Audioformat, das Rohdaten mit sehr hohen Bitraten (Abstufungen) zulässt. Der Verzicht auf eine Komprimierung bedeutet eine Speicherung in höchster Qualität, hat aber einen größeren Speicherplatzbedarf. Abhängig von der Auflösung und Samplefrequenz sowie der Anzahl der Kanäle, kommen schnell größere Datenmengen zusammen. Da die ATEM-Switcher-Modelle mit einer Samplingfrequenz von 48.000Hz und einer Auflösung von 24 Bit[48] arbeiten, erfolgt daraus folgende Rechnung, wenn ein Signal von 3 Min. länge aufgezeichnet wird:

[47] Vgl. DICKREITER, DITTEL, HOEG & WÖHR 2014, S. 657 ff.
[48] Vgl. BLACKMAGICDESIGN o. J.-c

Formel: Auflösung x Anzahl der Kanäle x Dauer in Sekunden

16 Bit x 48.000Hz x 2 Kanäle (Stereo) x 180 Sekunden = 276.480.000 Bit.

: 8 = 34.560.000 Byte

: 1024 = 33750 KB

: 1024 ≈ 33 MB[49]

Bei den heute im Handel erhältlichen Festplatten mit hohem Speicherangebot stellen diese Werte kein Problem mehr dar.

Das Wave-Format ist ein Containerformat, in dem digitale Audiodaten gespeichert oder transportiert, sowie Metadaten integriert werden können. Die Dateiendung lautet .wav. Dieses Format wurde in den frühen 90er Jahren von Microsoft eingeführt und ist plattformübergreifend unter Windows und OS X sowie weiteren Betriebssystemen einsetzbar.[50]

2.3.2 Audio Abtastrate

Mit der Abtastrate bzw. Audioabtastfrequenz wird die Häufigkeit beschrieben, mit der ein analoges Audiosignal bei der Analog/Digital-Wandlung in der Sekunde abgetastet wird. Die Audiofrequenzbandbreite, die wir Menschen wahrnehmen können, liegt zwischen 20Hz und 20.000Hz. Damit alle Frequenzen auch korrekt abgetastet werden können, muss das auf Überlegungen von Nyquist (1929) zurückgehende und von Shannon (1949) formulierte sogenannte Abtasttheorem eingehalten werden. Dies besagt:

„Ein abgetastetes Signal lässt sich ohne Informationsverlust rekonstruieren, wenn die Abtastfrequenz f_s mehr als doppelt so hoch ist wie die höchste im Signal vorkommende Frequenz f_{max}.“[51]

[49] Vgl. BORKOWSKI 2020
[50] Vgl. BET ONLINE-LEXIKON o. J.-e
[51] WEINZIERL 2008, S. 788

In der Praxis werden Abtastwerte von 44.1KHz, 48KHz und 96KHz und noch darüber hinaus verwendet. In Verbindung mit Videosignalen wird das Audiosignal häufig mit 48KHz abgetastet.
Wird das Abtasttheorem verletzt, entstehen unerwünschte Effekte wie der Aliasing-Effekt. Bei dieser Unterabtastung werden Artefakte hörbar, die nicht zum Originalsignal gehören. Es entstehen Spiegelfrequenzen, die im Nachhinein nicht mehr aus dem Audiosignal entfernt werden können. Damit das Aliasing vermieden werden kann, muss das Audiosignal vor der Abtastung bandbegrenzt werden, damit das Abtasttheorem eingehalten werden kann. Deshalb ist ein analoger Tiefpassfilter vor jedem A/D-Wandler unumgänglich. Dieser filtert bzw. dämpft schon vorab alle Frequenzanteile aus dem Audiosignal heraus, die oberhalb der halben Abtastfrequenz liegen. Die Genauigkeit, mit der diese Vorfilterung arbeitet, beeinflusst die Qualität des A/D-Wandlers.[52]

Zur Erklärung die vier Schritte der Analog-Digital Wandlung und die dazugehörige Abtastung des Audiosignals:

1. Tiefpassfilterung: Analoges Signal wird bandbegrenzt, um Abtasttheorem einzuhalten.

2. Abtasten: In Abtastintervallen werden Proben (Samples) entnommen. Die Zeitachse wird diskret.

3. Quantisierung: Abtastwerte werden gerundet. Werteachse wird diskret. Signal ist nun digital.

4. Codieren: gerundete Abtastwerte werden im Binärcode dargestellt.

[52] Vgl. WEINZIERL 2008, S. 788 ff.

2.3.3 Audio-Bit-Quantisierung

Bei der Digitalisierung von analogen Audiosignalen wird das Signal in bestimmten Intervallen (Abtastrate) abgetastet. Zu jedem dieser Zeitpunkte wird ein Spannungswert ermittelt und in einen digitalen Wert (Zahlenwert) umgewandelt. Diese Umwandlung in Zahlenwerte nennt man Quantisierung. Sampletiefen von 16Bit (Standard bei CD-Format), 24Bit, 32Bit und noch höher sind in der Audiobearbeitung gängig. Die Abstufungen der Werte erhöhen sich mit der Erhöhung der Bittiefe.

Somit sind bei 16Bit 2^{16} = 65.536 Abstufungen, bei 24Bit 2^{24} = 16.777.216 Abstufungen möglich. Bei 32Bit sind 2^{32} = 4.294.967.296 Abstufungen machbar. Je höher die Bittiefe, umso höher wird die Auflösung eines zu digitalisierenden analogen Signals; umso geringer ist das Quantisierungsrauschen, das zwangsläufig beim Quantisieren entsteht.[53]

Häufig ist die Frage, welche Bittiefe denn die Richtige ist und wie der Unterschied der beiden Werte 16Bit oder 24Bit sich genau äußert.

In der Musikproduktion nutzt man am häufigsten die Bittiefen 16 Bit und 24 Bit. Um die Umstände zu verstehen, muss zuerst die Verbindung zwischen der Bittiefe und dem Dynamikumfang z.B. eines Musikstücks hergestellt werden.

Ein Analog/Digital-Wandler wird mit 0dBFS (dB Full Scale) voll ausgesteuert. Bei einer Auflösung von N Bit ergibt sich ein Rauschabstand (bedingt durch entstehendes Quantisierungsrauschen) von ca. 6 x N dB. Diese Faustformel kann man auf gängige Bit-Auflösungen anwenden.

16 Bit x 6 = 96 dB Rauschabstand

24 Bit x 6 = 144 dB Rauschabstand

Bei einem Systemgrenzpegel von 0 dBFS ergeben sich somit -96 dBFS bei 16 Bit,

[53] Vgl. DICKREITER u. a. 2014, S. 1273

-144 dBFS bei 24 Bit als Level des Quantisierungsgeräusches. Abhängig von zugelassenen Maximal- und Minimalpegeln, Einstellpegeln und einem Schutzabstand zum Quantisierungssignal, ergeben sich verschiedene nutzbare Systemdynamiken je Bit-Auflösung.[54]

16 Bit = ca. 51 dB Dynamikumfang

24 Bit = ca. 100 dB Dynamikumfang

Es ist anhand dieser Zahlen ersichtlich, dass bei einem schlecht ausgesteuerten Signal in einer Aufnahmesituation eine höhere Pegelreserve bei 24 Bit zur Korrektur zu Verfügung steht, um im Nachhinein das Signal zu optimieren bzw. in der Lautstärke anzuheben.

Ein wichtiger Punkt in Verbindung mit Bit-Auflösung ist das Verhindern von Clipping. Da mit großen Bittiefen immer mehr Dynamikumfang zu Verfügung steht, wird die Wahrscheinlichkeit, dass ein Signal klippt, reduziert, je höher die Bittiefe angewählt wird.

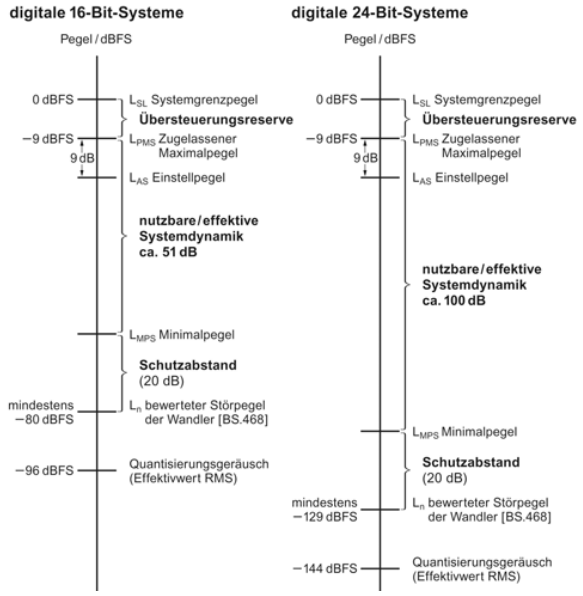

Abbildung 9: Qualitätsparameter des digitalen Tonkanals
Quelle: Handbuch der Tontechnik - Dickreiter

[54] Vgl. FISCHER 2016, S. 195 ff.

2.3.4 Embedded Audio

Audiosignale können in digitaler Form als eingebetteter Ton (Embedded Audio) zusammen mit einem Videosignal über den Datenstrom eines SDI- oder HDMI-Signals transportiert werden. In der analogen Welt gibt es hierfür die Austastlücke, in der Audiosignale transportiert werden. Das Pendant in der digitalen Welt sind unverwechselbare Codefolgen, die speziell dafür genutzt werden. In diesem Auxiliary Daten Bereich (Zusatzdaten) können nebst Test-, Zeit-, oder Steuerdaten auch Audiodaten eingebettet und mit dem Videosignal mittransportiert werden. Durch die SMPTE Standards festgelegt, können 16 digitalisierte Audiosignale mit 24 Bit-Auflösung im Auxiliary Daten Bereich untergebracht werden. Diese werden in vier Gruppen zu je vier Audiosignalen angeordnet, eingebettet und übertragen.
Dem Vorteil dieser Signalverteilung steht der Nachteil gegenüber, dass die Embedded Audio-Signale nicht mehr in dieser eingebetteten Form bearbeitet werden können. Hierzu müssen die Signale nach dem Transport wieder Deembedded werden, um sie mit Effekten wie Kompressoren oder EQs bearbeiten zu können.[55] [56]

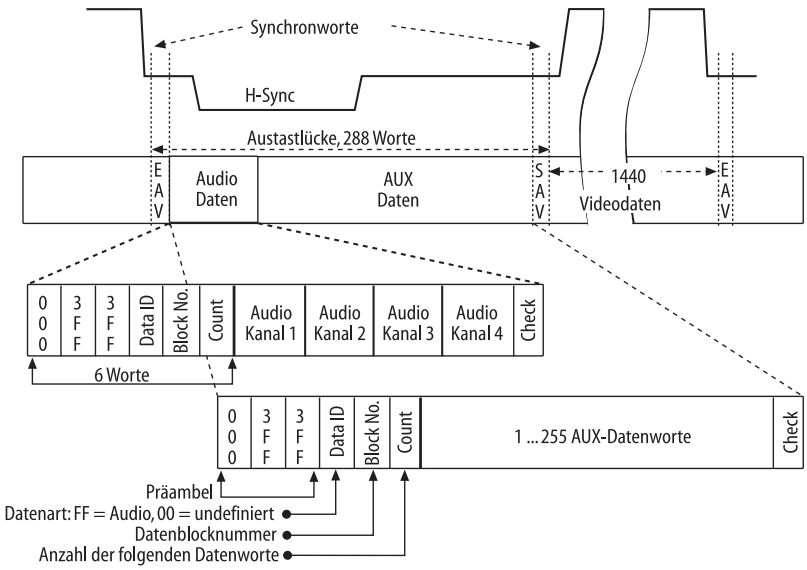

Abbildung 10: Audio- oder AUX-Daten in der Austastlücke
Quelle: Professionelle Videotechnik - Ulrich Schmidt

[55] Vgl. SCHMIDT 2013, S. 144 ff.
[56] Vgl. BET ONLINE-LEXIKON o. J.-f

2.3.5 Audio- / Video-Synchronisation

Die Audio- zu Video-Synchronisation bezieht sich auf das relative Timing von Audio zu Video während der Produktion. Eine nicht optimal abgestimmte Synchronisation wird vom Konsumenten schon bei einem Versatz von weniger als 5 Frames = 200ms (1 Frame = 40ms bei 25fps) sofort erkannt und als unangenehm störend wahr genommen[57]. Es wurden von der EBU (Europäische Rundfunkunion) geeignete Audio- / Video-Synchronisationswerte festgelegt, um in den Grenzen des Timings der Tonkomponente eines Fernsehprogramms relativ zur entsprechenden Bildkomponente zu bleiben. Hier werden die Werte mit $\leq 40ms$ für Ton (ca. 1 Frame) vor dem Bild und $\leq 60ms$ für Ton nach dem Bild angegeben[58].

Der Versatz von Ton und Bild resultiert aus dem Umstand, dass Video und Ton aus unabhängigen externen Quellen kommen können. Je nach Geschwindigkeit des Datenstromes über HDMI oder SDI und der verwendeten Kameras und Videoprozessoren kann es am HDMI- oder SDI-Eingang zu Verzögerungen kommen.

In den ATEM-Switcher-Modellen gibt es zur Behebung solcher Synchronisationsfehler eine Verzögerungssteuerung. Diese bewirkt über einen Verzögerungsindikator in der ATEM-Control-Software, dass sich der Ton um maximal acht Frames verzögern lässt. Dieser Wertebereich reicht aus, um Ton und Bild synchron zu setzen.

Als Hilfe zur Synchronisation bedient man sich eines einfachen Mittels: Das Klatschen in das zur Verfügung stehende Mikrofon, mit der gleichzeitigen Videoaufnahme dieser Einstellung. Über eine Video-Edit-Software können nun Bild und Ton separiert dargestellt werden. Der zeitliche Unterschied zwischen Video Frame (Hände zusammen, Clap) und dem Transientenausschlag des Audio Signals wird sichtbar. Der nächste Schritt ist die Messung, wieviel Frames zwischen diesen zwei Impulsen liegen. Diese Frameanzahl wird im ATEM-Switcher mittels des

[57] Vgl. REEVES & VOELKER 1993
[58] Vgl. EBU RECOMMENDATION 2007

Reglers in der ATEM-Control-Software verzögert, um Bild und Ton synchron zu setzen.[59]

2.4 digitale Audioeffekte

Unter digitalen Audioeffekten versteht man im weitesten Sinne Algorithmen, die ein Audiosignal digital manipulieren. Sie werden zur Optimierung von Klang- und Soundvorstellungen verwendet, vorgegebene Parameter automatisiert einzuhalten, Störgeräusche zu dämpfen oder zu eliminieren und noch vieles mehr. Es gibt eine Vielzahl an Audioeffekten, die eine genaue Betrachtung wert sind. In diesem Abschnitt werden aber nur die Effekte und Filter erwähnt, die in den ATEM-Switcher-Modellen Verwendung finden.[60]

2.4.1 Kompressor

Die Dynamikkontrolle von Audiosignalen ist eine wesentliche Anforderung an Regelverstärker. Sie ändern die Verstärkung eines Audiosignals in Abhängigkeit der Pegel eines Eingangssignals (Steuersignal).

Kompressoren dienen der automatisierten Dynamikeinengung. Die Verstärkung verläuft gegenläufig zum Pegel des Steuersignals. Hohe ansteigende Pegel werden in der Verstärkung verringert. Durch diese Einengung der Dynamik und die daraus resultierenden gedeckelten Transientenspitzen, ist eine Erhöhung der generellen Pegelstärke ohne Übersteuerungen möglich. Der Klang soll verdichtet werden und es kann z.B. durch „Attack und Release Zeiten“ (Anspring- und Abklingverhalten des Kompressors) der Bereich der Transienten gewählt werden, der verdichtet werden sollen. Kompressoren werden auf verschiedenen Ebenen der Audiobearbeitung verwendet. Im Falle der ATEM-Switcher-Modelle findet dieser

[59] Vgl. BLACKMAGICDESIGN o. J.-d
[60] Vgl. DICKREITER u. a. 2014, S. 670 ff.

Effekt Einsatz im ATEM-Software-Control. Dieses dynamische Steuerelement stellt sicher, dass die lauten Elemente eines Signals die leiseren nicht übertönen.

2.4.2 Gate

Dynamische Prozessoren wie das Gate (Tor) werden zur Kontrolle von Audiosignalen verwendet. Gates und Kompressoren arbeiten dezidiert mit der Amplitude bzw. der Lautstärke eines Audiosignals. Gates minimieren oder eliminieren leise Audiosignalanteile, die als Stör- bzw. Rauschgeräusch nicht im produzierten Audiosignal übertragen werden sollen. Die Dämpfung des Audiosignals ändert sich mit dem Pegel des Eingangssignals, sobald dieser einen gewissen Schwellwert unterschreitet. Diese Schwellwertkennlinie kann je nach Art des Gates dynamisch oder statisch angelegt sein. Auch im Falle des Gates gibt es Regelmöglichkeiten, um das Anspring- oder Abklingverhalten einzustellen.[61]

2.4.3 Limiter

Man unterscheidet verschiedene Arten von Regelverstärkern, je nach Art der Beeinflussung des Nutzsignals. Der Limiter begrenzt den Höchstpegel eines Audiosignals und sitzt meist am Ende einer Signalkette. Limiter sind Kompressoren, deren Parameter und Kennlinien für die obere Begrenzung des Nutzsignalpegels optimiert sind. Im Gegensatz zu einem Kompressor sind die Kompressionsverhältnisse bei einem Limiter bis zu $\infty:1$ erforderlich, da evtl. Überpegel des Gesamtsignals zuverlässig bei z.B. -6 dBFS begrenzt werden sollen. Für professionelles Broadcast-Streaming reicht die Art der Peak-Begrenzung bzw. Peak-Normalisierung nicht aus. Hier wird seit der Einführung der EBU-Norm R128[62]

[61] Vgl. DICKREITER u. a. 2014, S. 384 ff.
[62] Vgl. EBU OPERATING EUROVISION AND EURORADIO 2020

die Lautheit-Normalisierung angewendet. Dieses Thema wird in dieser Arbeit nicht behandelt.[63]

2.4.4 parametrischer Equalizer

Equalizer besitzen graphische, halb-, oder teilparametrische Frequenzbänder. In den ATEM-Switcher-Modellen sind vollparametrische Equalizer verbaut. Diese Entzerrer sind Filter, die Pegel innerhalb definierter Frequenzbereiche anheben oder absenken können.

Um Einstellungen zu modifizieren stehen bei einem parametrischen Equalizer vier Regelmöglichkeiten zu Verfügung: Filtertyp, Frequenz, Gain und Q-Faktor (Filtergüte).

Sechs Filtertypen können bei den ATEM Switcher Modellen angewählt werden:

Bell: Filter mit Glockencharakteristik. Dieser verstärkt oder dämpft eine Reihe von Frequenzen rund um den zu regelnden Frequenzbereich.

High-Shelf: Verstärkt oder dämpft den wahrgenommenen Lautstärkepegel für höhere Frequenzen entlang des Graphen.

Low-Shelf: Verstärkt oder dämpft den wahrgenommenen Lautstärkepegel für niedrigere Frequenzen entlang des Graphen.

Notch: Dämpft od. entfernt definierte Frequenzen.

Hochpass: senkt Signalanteile mit Frequenzen unterhalb der eingestellten Grenzfrequenz. Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz können unbeeinträchtigt passieren.[64]

---

[63] Vgl. DICKREITER u. a. 2014, S. 378 ff.
[64] Vgl. DICKREITER u. a. 2014, S. 388 ff.

Tiefpass:

senkt Signalanteile mit Frequenzen oberhalb der eingestellten Grenzfrequenz. Frequenzen unterhalb der Grenzfrequenz können unbeeinträchtigt passieren.[65]

„Mit parametrischen Equalizern lässt sich das Frequenzspektrum und damit der Klangfarbeneindruck effektiv und zugleich differenziert beeinflussen.“[66]

2.5 RTMP-Stream Protokoll

Das Real-Time-Messaging Protocol ist ein proprietäres Transportprotokoll des Herstellers Adobe[67]. Es dient der Echtzeit-Datenübertragung beispielsweise für einen Livestream zu einem Server.

Youtube sowie weitere Plattformen, über die ein Livestream realisiert werden kann, ermöglichen es, einen Streamschlüssel zu generieren. Dieser Streamschlüssel ist an eine URL gekoppelt, an die die produzierten Daten über das RTMP-Protokoll gesendet werden können.

In Verbindung mit Hardware wie den ATEM-Switcher-Modellen ist es möglich, direkt von der Hardware über einen bestehenden Streamschlüssel zum Plattformserver Daten zu streamen.[68]

3 Projektvorstellung – „Jugend forscht“

„Jugend forscht ist Deutschlands bekanntester Wettbewerb“.[69] 120 Wettbewerbe werden pro Jahr bundesweit veranstaltet. Für 2021 waren auf Grund der Pandemie nur Onlineformate der Events und Preisverleihungen möglich.

---

[65] Vgl. DICKREITER u. a. 2014, S. 388
[66] DICKREITER u. a. 2014, S. 395
[67] Vgl. ADOBE 2009
[68] TH KÖLN o. J.
[69] STIFTUNG JUGEND FORSCHT E. V. o. J.

Das Ziel der Stiftung ist es, jugendliche Talente in den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaften, Informatik und Technik zu fördern und bei ihren Forschungen zu unterstützen. Für Deutschland Nachwuchskräfte zu generieren ist die große Vision von „Jugend forscht“.

„Nachwuchskräfte, die Verantwortung für die Gesellschaft übernehmen und ihren Beitrag für eine nachhaltige, umweltgerechte Entwicklung sowie für die Sicherung unseres Wirtschaftsstandortes leisten.“[70]

An den Wettbewerben können Jugendliche ab der 4. Klasse bis zum Alter von 21 Jahren teilnehmen. Die Fragestellung und das Thema zu einem Forschungsprojekt müssen sich die Teilnehmer(innen) selbst aussuchen und erarbeiten. Es können bei der Preisverleihung Geld- und Sachpreise gewonnen werden. Die Regionalsieger(innen) qualifizieren sich für den Landeswettbewerb und bei Gewinn von diesem, für den Bundeswettbewerb. „Jugend forscht“ - Wettbewerbe sind in Landesteile aufgeteilt und diese wieder in regionale Bereiche gegliedert. In Baden-Württemberg gibt es elf Regionalwettbewerbe in den Regionen: Donau-Hegau, Heilbronn-Franken, Pforzheim-Enz, Mittlerer Neckar, Nordbaden, Nordschwarzwald, Ostwürttemberg, Staufen Alb, Südbaden, Südwürttemberg und Ulm.

Das Fallbeispiel, an dem sich diese Bachelorarbeit ausrichtet, ist der Regionalwettbewerb „Jugend forscht 2021 Nordschwarzwald“. Die Moderation für die Produktion, die am 26. Februar 2021 als Live-Stream gesendet wurde, ist von Barbara Renz, Geschäftsführerin des Jugendforschungszentrum Schwarzwald – Schönbuch e.V. und von Klaus Gerlinger, Lehrer am Theodor-Heuss-Gymnasium Mühlacker, übernommen worden.[71] [72]

---

[70] STIFTUNG JUGEND FORSCHT E. V. o. J.
[71] Vgl. STIFTUNG JUGEND FORSCHT E. V. o. J.
[72] Vgl. THEODOR-HEUSS GYMNASIUM MÜHLACKER o. J.

3.1 Projektkonzeption

Durch die 2021 herrschende Pandemie konnte die Veranstaltung „Jugend Forscht“ nicht wie gewohnt stattfinden. In Zusammenarbeit der Werbeagentur Konzepts AF[73] mit dem Jugendforschungszentrum Schwarzwald – Schönbuch kam die Idee zustande, die gesamte Veranstaltung mit Feierstunde und Projektpräsentationen in ein Live-Onlineformat zu transformieren. Im Vordergrund stand der Einsatz der Jugendlichen in ihren Projekten und die angemessene Würdigung dieser. In der Onlineveranstaltung wurde dem Zuschauer eine Show präsentiert, die für und mit Jugendlichen gestaltet wurde. Die Teilnehmer(innen) des „Jugend forscht“ - Wettbewerbes erstellten Videobeiträge über ihre Forschungsprojekte und präsentierten so ihre Erkenntnisse und Ergebnisse dem Online-Publikum. Es gab Einzel- und Gruppenteilnehmer(innen), die insgesamt 43 Präsentationsvideos eingesendet haben. Da die Einreichung eines produzierten Videos für die Teilnahme am Wettbewerb erforderlich war, wurde dafür ein Leitfaden mit Hinweisen und Hilfestellungen entwickelt, um den Kindern und Jugendlichen die Möglichkeit zu geben, ihr Projekt in der für sie bestmöglichen Qualität einzureichen.

3.2 Projektvorgaben

Die Projektvideos der Teilnehmer(innen) waren Hauptbestandteil der Show und wurden für MAZ-Beiträge benötigt. Es gab vier Projektvideoblöcke, die in die einzelnen Fachgebiete Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) unterteilt waren. Damit die Videobeiträge der Teilnehmer(innen) zu fertigen MAZ-Beiträgen zusammengeschnitten werden konnten, war es wichtig, dass die Teilnehmer(innen) die Videos mit gewissen Vorgaben gestalteten. Diese Vorgaben wurden den Teilnehmer(innen) anhand eines „Leitfaden zur Projektpräsentation“ mitgeteilt.

[73] Vgl. KONZEPTS AF o. J.

Für den Livestream der Veranstaltung musste gewährleistet sein, dass 81 Teilnehmer(innen) des „Jugend forscht“ -Regionalwettbewerbs in einer gemeinsamen Videokonferenzschaltung über den Live-feed (Videozuspielung zur Streaming Plattform) geschickt werden konnten. Die Moderatorin und der Moderator mussten außerdem mit den Teilnehmern sprechen können.
Weitere Vorgaben waren die Nutzung von animierten Bauchbinden für MAZ-Beiträge, sowie für die Moderatoren. Außerdem musste ein Corner-Logo auf der obersten Bildebene eingebunden werden.

3.3 Technische Rahmenbedingungen

Für die Produktion musste zuerst eine geeignete Location mit der passenden technischen Infrastruktur gefunden werden. Das Teufelwerk in Nagold mit seinen Ausmaßen und der technischen Ausstattung war optimal für diese Produktion geeignet. Zusammen mit Sebastian Kalmbach, Besitzer und technischer Leiter des Teufelwerk, wurde die technische Umsetzung konzipiert und geplant.

Ein nicht zu unterschätzender Punkt war die Vorgabe, Teilnehmer(innen) für die Preisverleihung in Räumen für die einzelnen Fachbereiche in der Videokonferenzsoftware aufzuteilen und die Gewinner(innen) live mit ihrem Video-feed auf das Programm zu schalten. Dies wurde mit der Videokonferenzsoftware Alfaview bewerkstelligt. Hierzu wurden in der Vorbereitung für die Veranstaltung verschiedene Räume auf Alfaview eingerichtet. Die Teilnehmer(innen) wurden am Anfang in einen „Sammelraum“ geleitet. Im Laufe des Events wurde den Teilnehmer(innen) von den Moderatoren mitgeteilt, dass diese in die vorbereiteten Fachgebietsräume wechseln sollten. Für die Preisverleihung am Ende der Veranstaltung wurden die Räume einzeln vom Administrator der Videokonferenz geöffnet und die Gewinner live frei und mit Ihrem Video sichtbar geschalten. Der produzierte Video-Feed der Veranstaltung wurde auf die Plattform Youtube gestreamt und ab hier der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

3.4 Livestreams auf YouTube

Die Richtlinien der Plattform, um einen Livestream zu realisieren, sind klar vorgeben. YouTube hilft auch dabei, den Stream automatisch in verschiedene Ausgabeformate zu transkodieren, damit Zuschauer mit allen Geräten und Internetverbindungen den Livestream nutzen können. Für das Projekt wurde die Auflösung 1080p bei 60 fps mit einer Video-Bitrate zwischen 4500 – 9000 kbit/s gewählt. Eine wichtige Phase vor dem Livestream ist der Leitungstest bzw. der Test, ob der Feed aus dem Studio korrekt und sauber zur Plattform gestreamt werden kann. Hier gibt die Hilfe von YouTube an, auch während der laufenden Veranstaltung den Stream zu beobachten. Weitere Angaben wie Video-Codec, Audio-Codec oder die Audioabtastfrequenz und Audiobitrate werden hier angegeben.[74]

Die Einstellungen für das Projekt lauten wie folgt:

Protokoll:	RTMP-Streaming
Video-Codec:	H.264 für 1080p, 60fps
Audio-Codec:	MP3
Audio-Abtastrate:	44,1 kHz
Audio-Bitrate:	128 kbit/s Stereo

[74] YOUTUBE o. J.

4. ATEM-Technologie

4.1 Vorstellung der ATEM-Switcher

Die ATEM-Switcher sind digitale Produktionsmischer für Broadcasting. Sie werden zum Umschalten und zur Verarbeitung vielfältiger Videoquellen verwendet. Die Mischer basieren auf dem Mix-/Effekt-Design (M/E). Die integrierten Software- und Hardwaresteuerungsoptionen dienen dem zügigen Arbeiten bei Produktionen und sind wesentlich bei der Umsetzung von Produktionsvorgaben. Es existiert eine Software (ATEM Software Control), die in Verbindung mit der Hardware nur die Optionen frei gibt, die von den einzelnen ATEM-Switchern unterstützt werden.[75]

4.2 Funktionen

Die Funktionen der einzelnen ATEM-Switcher-Modelle sind abhängig vom Modell sehr unterschiedlich. Je höher das Modell, umso mehr Funktionen und Auswahl an Bearbeitungswerkzeug steht zur Verfügung. Auch die Anzahl und Art der Schnittstellen sind modellabhängig und steigen mit der Größe der Modelle.
Folgend sind Funktionen genannt, die nicht in allen ATEM-Switcher-Modellen verfügbar sind, aber für den Überblick gesammelt aufgelistet werden.

Funktionen

Upstream-Keyer für Chroma-, Linear- und Luma-Keys

Downstream-Keyer

Chroma-Keyer

Linear-/Luma-Keyer

Übergangs-Keyer (Stinger/DVE)

DVE (Digital Video Effect)

[75] Vgl. BLACKMAGICDESIGN o. J.-e ATEM Constllation 8K - Technische Daten

Bild-Ebenen

Mustergeneratoren

Farbgeneratoren

DVE mit 3D-Umrandungen und Schattenwurf

Software- oder optionales Hardware-Bedienpult

Multi-View-Monitoring

Embedded Audio

Audiobearbeitung über Software Mixer

Schnittstellen

Videoeingänge (HDMI, SDI)

Videoausgänge (HDMI, SDI)

Aux-Ausgänge (SDI)

SDI-Raten: 270 Mbit, 1,5 G, 3 G, 6 G

XLR Audioeingänge

RCA Audioausgänge

Ethernet unterstützt 10/100/1000 BaseT

Tally-Ausgabe

Computer-Schnittstelle: USB-2.0-Port[76]

5 Vergleichsanalyse

5.1 ATEM Modelle im Vergleich

Für den Vergleich werden vier ATEM-Switcher-Modelle gewählt, die als geeignete Repräsentanten für die verschiedenen Produktversionen der Switcher-Modelle stehen. Es gibt fünf Produktmodellarten in der ATEM-Switcher-Produktfamilie. ATEM Mini, ATEM Television Studio, ATEM Production, ATEM Broadcast, ATEM

[76] Vgl. BLACKMAGICDESIGN o. J.-e ATEM Constellation 8K - Technische Daten

Constellation. Die Produktmodelle sind weiter in Produktversionen unterteilt, die hier aber nicht alle zum Tragen kommen. Für den Vergleich fließen die folgenden Modelle und Versionen der ATEM Switcher ein.

ATEM Mini

ATEM Mini Pro

ATEM Mini Extreme

ATEM Television Studio HD

ATEM 2 M/E Production Studio 4K

5.2 Definition Produktionsvorgabe

Damit die Kriterien und Vorgaben für den Vergleich der ATEM-Switcher-Modelle deklariert und definiert werden können, werden die Vorgaben und Anforderungen der Livestream-Produktion Preisverleihung „Jugend forscht Nordschwarzwald 2021“ als Maß herangezogen.

Für die Produktion gab es folgende Vorgaben:

- 3x Kamerasignal über SDI
- Live-Feed der Videokonferenzsoftware Alfaview (Laptop über HDMI)
- Wiedergabe der Projektvideos der einzelnen Fachbereiche
- Bauchbinden (animiert)
- Corner-Logo (immer sichtbar)
- Wiedergabe Grafiken
- 2x Audiosignal Moderationsmikrofone (über Mischpult)
- Audiosignal von Live-Feed Alfaview (über Mischpult)
- Bild in Bild Funktion
- Auflösung von Kamera kommend 1080p / 25 fps
- Auflösung für Stream 1080p / 60 fps

Es ergeben sich folgende Fragen aus den Produktionsvorgaben für die Vergleichstabelle:

- Welche Bildauflösungen können verarbeitet (Videoeingang-Auflösung) und wiedergeben (Streaming-Auflösung) werden?
- Wieviele Videoeingänge stehen mit welchen Schnittstellen zur Verfügung?
- Wieviele Videoausgänge für Multiview, Programm und Grafikmonitor stehen zur Verfügung?
- Ist die Ausgabe des Video-Feeds auf verschiedene Bildmonitore wählbar?
- Ist die Multiview Ansicht gewährleistet?
- Kann man Mediendaten wie Grafiken und Videos wiedergeben?
- Können Bauchbinden mit transparentem oder Green-Screen-Hintergrund wiedergegeben werden?
- Kann Bild in Bild wiedergegeben werden?
- Kann ein extern bearbeitetes Audiosignal dem Switcher zugeführt werden?
- Kann intern Audio mit EQ, Kompressor und Limiter bearbeitet werden?
- Ist die Aufzeichnung des produzierten Programm-Feed gewährleistet?
- Können verschiedene Auflösungen von den Kamerazuspielern verarbeitet werden?
- Ist eine Anpassung der Streaming-Auflösung möglich?

5.3 Vergleichstabelle

Eine detaillierte Vergleichstabelle ist im Tabellenanhang zu finden. Zur Übersicht folgt eine kompaktere Version der Vergleichstabelle.

Produktionsvorgaben	ATEM Mini	ATEM Mini Pro ISO	ATEM Mini Extreme	ATEM Television Studio HD	ATEM 1 M/E Produciton Studio 4K
Auflösung lt. Vorgabe	✓	✓	✓	✓	✓
Anzahl Videoeingänge	4	4	8	8	11
Anzahl Videoausgänge	2	2	4	2	2
Videoausgabe anwählbar	x	✓	✓	✓	✓
Multiviewer Funktion	x	✓	✓	✓	✓
Anzahl Media Player	1	1	2	2	2
Standbildformate	✓	✓	✓	✓	✓
animierte Grafiken	x	x	x	x	✓
Bild in Bild Funktion	✓	✓	✓	✓	✓
Audioeffekte	✓	✓	✓	✓	✓
Audioeingänge	2	2	2	2	4
Ausgänge (Video)	✓	✓	✓	✓	✓
Audioausgänge (Audio)	x	x	1	x	2
Computer-Schnittstelle (USB)	✓	✓	✓	✓	✓
Direktaufzeichnung	x	✓	✓	✓	✓

Abbildung 11: kompakte Vergleichstabelle
Quelle: eigene Tabelle

5.4 alternative Workflow-Ansätze

Wenn man Geräte der oberen Modell-Regionen der ATEM-Switcher verwendet, stehen viele Schnittstellen, Soft- und Hardware-Features zur Verfügung. Nicht jeder kann sich aber teures professionelles Equipment leisten, oder die Anforderungen rechtfertigen eine so große Anschaffung nicht. In diesem Abschnitt werden Workflow- und Arbeitsansätze vorgestellt, bei denen man auch mit kleineren und günstigeren Modellen der ATEM-Switcher ähnliche Vorgaben größerer Produktionen umsetzen und durchführen kann. Diese Möglichkeiten der

Optimierung von Arbeitsabläufen sind das Ergebnis meiner Arbeit mit dem ATEM Mini Pro ISO und wurden so auch in den Livesituationen getestet.

5.4.1 animierte Bauchbinden (Lower Third)

Die ATEM-Switcher-Modelle können erst ab dem Modell ATEM Television Studio Pro 4K bewegte Clips in Framelängen zwischen 90 – 720 Frames (abhängig von der Auflösung), im Dateiformat TGA-Sequenz über den Mediaplayer abspielen. Videodateien lassen sich im Media-Player nicht wiedergeben. Um animierte Bauchbinden zusammen mit dem ATEM Mini Pro ISO zu verwenden, muss somit eine andere Herangehensweise gewählt werden.

Die Zuspielung der Grafikdaten übernimmt ein separater Rechner, der über HDMI mit dem ATEM Mini Pro ISO verbunden ist.

PowerPoint

Damit Bauchbinden bzw. Grafiken mit transparentem Hintergrund (um die darunterliegende Ebene zu sehen) korrekt angezeigt werden, muss die Grafik in Power-Point gewisse Merkmale besitzen. Jegliche Bereiche, die transparent werden sollen, müssen grün (Key-Farbe) eingefärbt werden, damit im ATEM Mini Pro ISO mit dem Chroma-Keying gearbeitet werden kann.

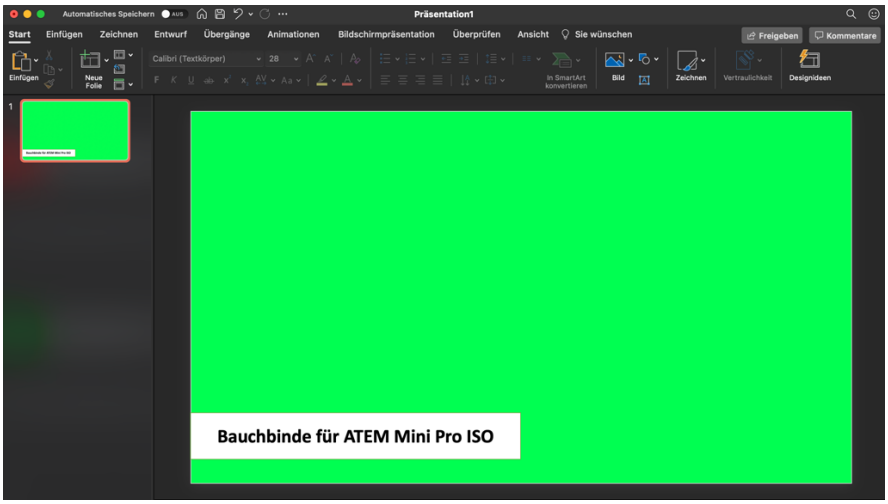

Abbildung 12: Vorlage Bauchbinde für Power Point
Quelle: eigenes Bild

Über die Animierfunktionen der Software Power-Point lassen sich Grafikebenen im Programm animieren und z.B. seitlich einfliegen.

In der ATEM-Software-Control müssen die weiteren Einstellungen unternommen werden. In der Hauptansicht „Mischer“ auf der ATEM-Software-Control muss man den Weg über den Upstream-Key gehen, da nur hier ein Chroma-Keying möglich ist. Als Füllquelle wird der Kameraeingang gewählt, an dem der Rechner für die Bauchbinden angeschlossen ist. Über die Anwahl „Chromasample“ kann in einer Vorschau der Bereich der Grafik angewählt werden, der die Farbe Grün enthält. So stellt sich der Upstream-Keyer automatisch auf die zu keyende Farbe ein. Um den Feed der Bauchbinden über ein bestehendes Videobild zu legen, muss KEY1 aktiviert werden.

Abbildung 13: Einstellungen an der ATEM Software Control
Quelle: eigenes Bild

Da in Power Point für jede einzelne Bauchbinde eine Folie verwendet wird, kann man im laufenden Livestream problemlos von Folie zu Folie springen und die gewünschte Bauchbinde anzeigen lassen.

H2R Graphics

Die kostenlos erhältliche Software H2R Graphics[77] beinhaltet verschiedene Features von animierten Bauchbinden, Ticker, Timer, Corner-Logo bis hin zu Grafiken für Streampausen. Wie bei der Arbeitsweise mit Power-Point wird für diesen Workflow ein separater Rechner verwendet.

H2R Graphics erstellt, erreichbar über einen Button, ein Chroma-Fenster, in dem die verschiedenen Grafiken wiedergegeben werden. Dieses Fenster liegt auf einem HDMI-Eingang des ATEM-Switcher. Der Vorgang des Chroma-Keying ist hier derselbe wie bei der Variante mit Power-Point.

Abrufbar über ein einfaches Bedienfeld in der Software H2R Graphics können im Bereich Lower Thirds Bauchbinden vorbereitet oder „on the fly“ während des Streams schnell erstellt werden. Es gibt auch die Möglichkeit der Auswahl aus verschiedenen Varianten der Darstellung der Bauchbinden. Wenn dies noch nicht ausreichen sollte, ist es über den „custom css“ Bereich möglich, individuell angepasste Grafiken zu erstellen.

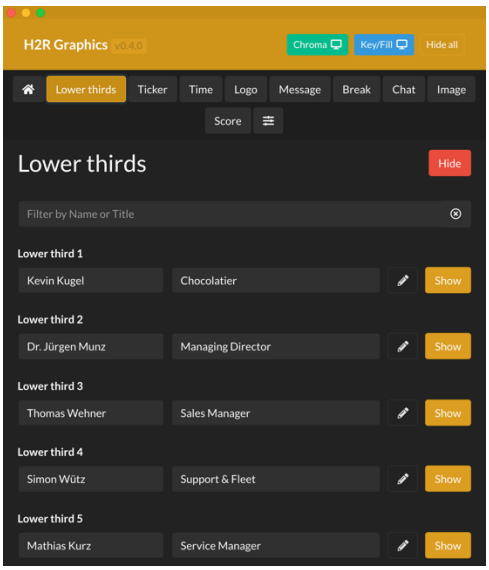

Abbildung 155: Bedienfeld H2R Graphics
Quelle: eigenes Bild

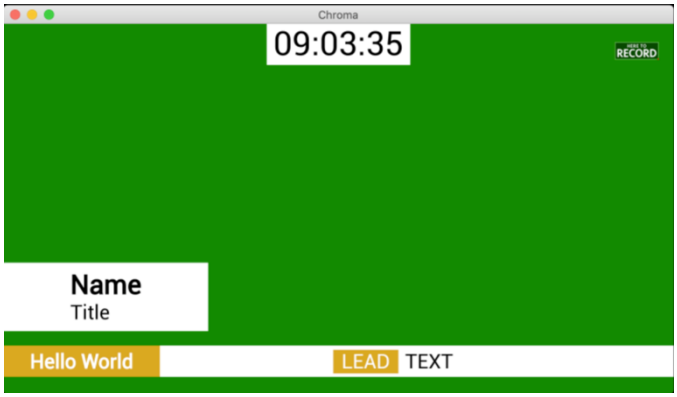

Abbildung 144: Chroma Fenster
Quelle: H2R Graphics

[77] Vgl. HERE TO RECORD o. J.

OBS (Open Broadcaster Software)

Eine weitere kostenlose Software ist OBS. Sie verfügt über eine Vielzahl an Features und Möglichkeiten und unterstützt den Nutzer bei der Übertragung von Bildinhalten in Echtzeit. In diesem Abschnitt wird nur die Funktion betrachtet, die es ermöglicht, animierte Bauchbinden bzw. transparente Videos zu nutzen.

OBS ist in die zwei Hauptsegmente „Szene“ und „Quellen“ aufgeteilt. Im Segment Quellen ist es möglich, verschiedenste Zuspiel-Quellen anzugeben und zu erstellen. Zur Vorarbeit gehört die Erstellung einer Bauchbinde z.B. in Premiere Pro und die Exportierung dieser als transparentes Video, bzw. mit der Ausgabe des Alpha Kanals.

Liegt das Video vor, kann es über die Quellen-Option „Medienquelle“ in OBS angewählt, eingebunden und wiedergegeben werden.

Damit dieses Grafikvideo auch über dem eigentlichen Kamerabild angezeigt wird, muss noch eine weitere Quelle im Quellensegment erstellt werden. Über die Anwahl „Videoaufnahmegerät“ schält man einen Videofeed von z.B. einer Webcam frei, der unter der Quelle „Medienquelle“ angeordnet werden muss. Diese Anordnungen sind als Ebenen zu verstehen. Die obere Ebene verdeckt die untere. Da das Video mit der Bauchbinde transparente Teile aufweist, wird hier die darunterliegende Ebene sichtbar.

Zum Verständnis ist die Einbindung und die Position von OBS in der Signalkette wichtig. OBS sitzt hier als letzte Einheit, bevor die Daten Richtung Streamplattform gesendet werden.

Signalkette: Kamara → ATEM Mini Pro ISO → OBS → Streamplattform.

5.4.2 Corner-Logo

Für die meisten Produktionen ist es wichtig, dass die Anzeige eines Corner-Logos gewährleistet ist. Da der ATEM Mini Pro ISO über einen Medien-Player-Slot verfügt, gäbe es hier die Möglichkeit, ein Corner-Logo einzubinden. Die Grafik wird im Bereich Downstream Keying eingesetzt. Dies bedeutet die Grafik liegt in der

Bildebene ganz oben auf und ist deshalb immer zu sehen. Wenn dieser Media-Player-Slot für andere Grafiken während der Produktion verwendet wird, steht dieser nicht mehr für das Corner-Logo zur Verfügung.
Als Option wäre hier wieder OBS eine gute Wahl. Da die Software wie im letzten Beispiel als letztes Segment in der Signalkette vor dem Stream sitzt, kann hier über die Sortierung der Ebenen die Grafik des Corner-Logos in die oberste Ebene gelegt werden und ist somit immer sichtbar. Die Grafik muss mit einem Alphakanal angelegt und exportiert werden, damit alles außer der Grafik transparent wird.
Auch die Software H2R Graphics besitzt die Möglichkeit, ein Corner-Logo anzuzeigen. Wie im Abschnitt „H2R Graphics“ beschrieben, werden die Grafiken über ein von der Software generiertes Chroma-Fenster ausgespielt. In der Software ist es nur noch nötig, im Bereich „Logo“ eine Grafik anhand einer URL oder eine lokale Datei anzuwählen. Über die Optionsfläche sind weitere Einstellmöglichkeiten wie Position oder Größe zu erreichen.

5.4.3 Bildsignal Konverter

Eine der Vorgaben für das Projekt „Jugend Forscht“ war, die Bilddaten per SDI über eine längere Kabelstrecke zu leiten. Da die ATEM Mini Modelle nur HDMI-Eingänge besitzen, wäre dies ein klares Manko der Geräte und würde diese für solche Vorgaben direkt ausschließen. Blackmagic Design bietet aber hierfür eine Lösung an:

Unter der „Rubrik Broadcast-Konverter“ findet man verschiedene Modelle, die es ermöglichen, HDMI-Signale zu SDI-Signalen zu wandeln und SDI-Signale wieder zu HDMI Signalen. Micro- oder MiniConverter sind dafür nutzbar, um HDMI-Kameras oder HDMI-Rechnerschnittstellen problemlos mit professionellen SDI-Geräten zu verbinden. Im Falle des „Jugend forscht“ - Livestreamprojekts mussten drei HDMI-Kamera-Signale jeweils anhand eines „HDMI to SDI MicroConverter“ auf das SDI-Signal konvertiert und über eine Strecke von ca. 30 Metern über SDI-Kabel

transportiert werden. Da als Bildmischer in diesem Fall der „ATEM Television Studio HD“ verbaut war, konnte direkt mit SDI aufgesteckt werden.
Wenn nur ein ATEM Mini Switcher Modell zur Verfügung steht, muss das SDI-Signal nach dem Transport anhand eines „SDI to HDMI MicroConverter“ in ein HDMI-Signal gewandelt werden, da die Mini-Modelle nur HDMI-Eingänge besitzen.

6 Fazit

Die oberen Modelle der verglichenen ATEM-Switcher bieten viel, was für eine professionelle Video- und Livestreamproduktion wichtig ist. Durch die erhöhte Menge an Kameraeingängen lassen sich hier aufwändigere Produktionen mit vielen verschiedenen Kamerabildern verwirklichen. Die Funktion, Sequenz-Bilddateien für animierte Grafiken über den Media-Player abzuspielen, unterstreicht die professionellen Möglichkeiten des ATEM 2 M/E Production Studio 4K (höchstes Modell im Vergleich). Auch die Audioanbindung über zwei XLR-Eingänge zeigt, dass hier auf professionelle Standards gesetzt wird.
Es hat sich aber auch herausgestellt, dass mit den unteren Modellen, die mit weitaus weniger Funktionen ausgestattet sind, schon professionelle Produktionen mit gewissen Vorgaben umgesetzt werden können. Mit der Einbindung weiterer Software- und Rechner-Ressourcen können die fehlenden Funktionen kompensiert und Workflows erarbeitet werden, die hilfreich in der Umsetzung von gewissen Produktionsvorgaben sind. Durch eine Fülle von Zusatzequipment wie die vorgestellten Konverter, können auch fehlende Schnittstellen ausgeglichen werden.
Wenn allerdings alles kompakt und in einem Gerät gesammelt bevorzugt wird, mit erweiterten Möglichkeiten wie eine größere Zahl an Bildeingängen, die für manche Produktionen erforderlich sind, führt ein Weg an den oberen Modellen nicht vorbei.

Im Falle der Produktion „Livestream Preisverleihung Jugend forscht Nordschwarzwald 2021“ war ein ATEM Television Studio HD verbaut. Diesem Modell fehlten einige Funktionen, die für die korrekte Durchführung benötigt wurden und auch hier musste auf alternative Workflows gesetzt werden.

Da für die Produktion drei Kameras verwendet wurden, die Bildeinspielung sowie der Audio Hin- und Rückkanal für die Alpha View Konferenzsoftware über einen separaten Rechner lief, wurden hier schon 4 Eingänge benötigt. Zusätzlich musste der Vorgabe von animierten Bauchbinden Rechnung getragen werden, die ebenfalls (da der verwendete ATEM Switcher diese Funktion nicht enthielt) über einen separaten Rechner gelöst werden musste. Somit kam noch eine weitere Zuspielquelle dazu. Als letzte externe Zuspielquelle wurde noch ein Rechner als MAZ verwendet, um die vielen Teilnehmervideos wiederzugeben. Corner-Logo und Bildrahmen waren der Abschluss der zu staffelnden Bildebenen.

Anhand dieser Menge an Eingangssignalen und benötigten Bildebenen fallen hier schon die Modelle ATEM Mini, ATEM Mini Pro und ATEM Mini Pro ISO heraus. Lediglich die „Extreme“ Version der ATEM Mini Pro Modelle kann durch die acht verfügbaren HDMI-Eingänge den Vorgaben entsprechen und wäre ein geeignetes Modell für die Produktion gewesen. Die Zuarbeit über zusätzliche Workflows ist aber auch hier unumgänglich.

Somit stellt sich heraus, dass die Produktion mit dem Modell ATEM Mini Pro Extreme und allen weiteren oberen Modellen durchführbar gewesen wäre. Nur bei den Modellen ATEM Mini Pro Extreme und dem beim Projekt verbauten ATEM Television Studio HD sind alternative Workflows nötig.

Das höchste verglichene Model ATEM 2 M/E Production Studio 4K kann mit den eigenen Bordmitteln alle Vorgaben der Fallbeispielproduktion bedienen.

Vergleichstabelle (detailliert)

Produktionsvorgaben	ATEM Mini	ATEM Mini Pro ISO	ATEM Mini Extreme	ATEM Television Studio HD	ATEM 1 M/E Produciton Studio 4K
Auflösung lt. Vorgabe	1080p/25 1080p/30 1080p/50 1080p/60	1080p/25 1080p/30 1080p/50 1080p/60	1080p/25 1080p/30 1080p/50 1080p/60	1080p/25 1080p/30 1080p/50 1080p/60	1080p/25 1080p/30 1080p/50 1080p/60
Anzahl Videoeingänge Kameras & Zuspielgeräte	4x HDMI	4x HDMI	8x HDMI	4x HDMI, 4x SDI, 1x Referenz	10x SDI, 1x HDMI
Anzahl Videoausgänge (Multiview & Programm od. Grafikmonitor)	1x HDMI, 1x USB-C (Webcam)	1x HDMI, 1x USB-C (Webcam)	2x HDMI, 2x USB-C	1x HDMI Multiview 1x SDI Programm	2x Aux,
Videoausgabe anwählbar	nein	ja	ja	ja	ja
Multiviewer Funktion	nein	ja	ja	Ja (8 routingfähige und 2 feste für Programm und Vorschau)	Ja (8 routingfähige und 2 feste für Programm und Vorschau)
Anzahl Media Player	1	1	2	2	2
Standbildformate	PNG, TGA, BMP, GIF, JPEG, TIFF	PNG, TGA, BMP, GIF, JPEG, TIFF	PNG, TGA, BMP, GIF, JPEG, TIFF	PNG, TGA, BMP, GIF, JPEG, TIFF	PNG, TGA, BMP, GIF, JPEG, TIFF
animierte Grafiken	nein	nein	nein	nein	Media Pool Videodateiformate TGA-Sequenz
Bild in Bild Funktion	ja	ja	ja	ja	ja
Audioeffekte	parametrischer 6-Band-Equalizer Verzögerungssteuerung Expander / Gate Kompressor Limiter	parametrischer 6-Band-Equalizer Verzögerungssteuerung Expander / Gate Kompressor Limiter	parametrischer 6-Band-Equalizer Verzögerungssteuerung Expander / Gate Kompressor Limiter	parametrischer 6-Band-Equalizer Verzögerungssteuerung Expander / Gate Kompressor Limiter	parametrischer 6-Band-Equalizer Verzögerungssteuerung Expander / Gate Kompressor Limiter
Audioeingänge	2x 3,5mm-Stereo-Miniklinke	2x 3,5mm-Stereo-Miniklinke	1x 3,5mm-Stereo-Klinke	2x XLR	2x XLR, 2 x RCA
Audioausgänge	nur eingebettetes Audio	nur eingebettetes Audio	1x 3,5mm-Stereo-Klinke eingebettetes Audio	nur eingebettetes Audio	2x XLR-Programmausgänge
Computer-Schnittstelle	1x USB-C	1x USB-C	2x USB-C	1x USB-B	1x USB-B
Direktaufzeichnung	nein	Ja über USB-C auf Externe Festplatte	Ja über USB-C auf Externe Festplatte	ja Extern auf Hyper-Deck Recorder	ja Extern auf Hyper-Deck Recorder
Besonderheit				Talkback-Unterstützung	SuperSource (Darstellung mehrerer Videoquellen auf einem Bildschirm) RS-422 Remot-Port

Abbildung 16: detaillierte Vergleichstabelle
Quelle: eigene Tabelle

Literaturverzeichnis

ADOBE (2009, April): *Real-Time Messaging Protocol (RTMP) specification*. Online verfügbar unter: URL: https://www.adobe.com/devnet/rtmp.html [24.05.2021]

BET ONLINE-LEXIKON (o. J.-a): *Bildseitenverhältnis*. Online verfügbar unter: URL: https://www.bet.de/lexikon/bildseitenverhaeltnis [02.05.2021]

BET ONLINE-LEXIKON (o. J.-b): *Vollbild*. Online verfügbar unter: URL: https://www.bet.de/lexikon/vollbild [02.05.2021]

BET ONLINE-LEXIKON (o. J.-c): *SDI-Signal*. Online verfügbar unter: URL: https://www.bet.de/lexikon/sdisignal [07.05.2021]

BET ONLINE-LEXIKON (o. J.-d): *BMP*. Online verfügbar unter: URL: https://www.bet.de/lexikon/bmp [08.05.2021]

BET ONLINE-LEXIKON (o. J.-e): *Wave*. Online verfügbar unter: URL: https://www.bet.de/lexikon/wave [18.05.2021]

BET ONLINE-LEXIKON (o. J.-f): *Embedded Audio*. Online verfügbar unter: URL: https://www.bet.de/lexikon/embeddedaudio [23.05.2021]

BLACKMAGICDESIGN (o. J.-a): *Professionelle Features*. Online verfügbar unter: URL: https://www.blackmagicdesign.com/de/products/atemtelevisionstudio/features [08.05.2021]

BLACKMAGICDESIGN (o. J.-b): *Funktionen | Blackmagic Design*. Online verfügbar unter: URL: https://www.blackmagicdesign.com/de/products/atem/features [17.05.2021]

BLACKMAGICDESIGN (o. J.-c): *ATEM Mini – Technische Daten | Blackmagic Design*. Online verfügbar unter: URL: https://www.blackmagicdesign.com/de/products/atemmini/techspecs/W-APS-15 [23.05.2021]

BLACKMAGICDESIGN (o. J.-d): Installations- und Bedienungsanleitung ATEM Mini. Online verfügbar unter: URL: https://documents.blackmagicdesign.com/UserManuals/ATEM_Mini_Manual.pdf?_v=1613980810000

BLACKMAGICDESIGN (o. J.-e): *ATEM Constellation 8K – Technische Daten*. Online verfügbar unter: URL: https://www.blackmagicdesign.com/de/products/atemconstellation/techspecs/W-APS-12 [25.05.2021]

BMVI (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR) (o. J.): *Bund veröffentlicht aktuelle Breitband-Zahlen*. Online verfügbar unter: URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/034-scheuer-zahlen-breitbandausbau.html [03.05.2021]

BÖHRINGER, Joachim, BÜHLER, Peter, SCHLAICH, Patrick (2011): *Kompendium der Mediengestaltung: Produktion und Technik für Digital- und Printmedien*. (5. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Online verfügbar unter: URL: https://www.springer.com/de/book/9783642205828 [10.05.2021]

BORKOWSKI, Marc (2020, 23. November): *Audiodatei und Stream berechnen*. Online verfügbar unter: URL: https://boolie.org/audiodatei-und-stream-berechnen/ [17.05.2021]

BÜHLER, Peter, SCHLAICH, Patrick, SINNER, Dominik (2017): *Digitales Bild: Bildgestaltung - Bildbearbeitung - Bildtechnik*. Springer Vieweg Online verfügbar unter: URL: https://www.springer.com/de/book/9783662538920 [10.05.2021]

BÜHLER, Peter, SCHLAICH, Patrick, SINNER, Dominik (2018): *AV-Medien: Filmgestaltung – Audiotechnik – Videotechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Online verfügbar unter: URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-54605-5 [30.04.2021]

BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT (o. J.): *Chronik zum Coronavirus SARS-CoV-2*. Online verfügbar unter: URL: https://www.bundesgesundheitsministerium.de/coronavirus/chronik-coronavirus.html?stand=20210217%2F [27.05.2021]

BURGER, Wilhelm, BURGE, Mark James (2015): *Digitale Bildverarbeitung: Eine algorithmische Einführung mit Java*. (3. Aufl.). Springer Vieweg Online verfügbar unter: URL: https://www.springer.com/de/book/9783642046032 [08.05.2021]

DICKREITER, Michael, DITTEL, Volker, HOEG, Wolfgang, WÖHR, Martin (2014): *Handbuch der Tonstudiotechnik*. (8. Edition.). De Gruyter Saur

EBNER, Michael, DIN E.V. (2019): *Live-Videotechnik: Projektion, Streaming, Aufzeichnungen*. Berlin, GERMANY: Beuth Verlag Online verfügbar unter: URL: http://ebookcentral.proquest.com/lib/hdm-stuttgart/detail.action?docID=5764378 [04.05.2021]

EBU OPERATING EUROVISION AND EURORADIO (2020, August): LOUDNESS NORMALISATION AND PERMITTED MAXIMUM LEVEL OF AUDIO SIGNALS. Online verfügbar unter: URL: https://tech.ebu.ch/docs/r/r128.pdf

EBU RECOMMENDATION (2007, Februar): The relative timing of the sound and vision componentsof a television signal. Online verfügbar unter: URL: https://tech.ebu.ch/docs/r/r037.pdf [23.05.2021]

ELEKTRONIK-KOMPENDIUM.DE (o. J.): *HDMI - High Definition Multimedia Interface*. Online verfügbar unter: URL: https://www.elektronik-kompendium.de/sites/com/1205041.htm [04.05.2021]

FISCHER, Walter (2016): *Digitale Fernseh- und Hörfunktechnik in Theorie und Praxis: MPEG-Quellcodierung und Multiplexbildung, analoge und digitale Hörfunk- und Fernsehstandards, DVB, DAB/DAB+, ATSC, ISDB-T, DTMB, terrestrische, kabelgebundene und Satelliten-Übertragungstechnik, Messtechnik*. (4. Aufl.). Springer Vieweg Online verfügbar unter: URL: https://www.springer.com/de/book/9783642538957 [07.05.2021]

HERE TO RECORD (o. J.): *H2R Graphics*. Online verfügbar unter: URL: https://heretorecord.com/graphics [27.05.2021]

ITWISSEN.INFO (2021, 8. Februar): *HDMI (high definition multimedia interface)*. Online verfügbar unter: URL: https://www.itwissen.info/HDMI-high-definition-multimedia-interface-HDMI-Schnittstelle.html [04.05.2021]

ITWISSEN.INFO (o. J.): *TGA (truevision graphics adapter)*. Online verfügbar unter: URL: https://www.itwissen.info/TGA-truevision-graphics-adapter-TGA-Dateiformat.html [08.05.2021]

KONZEPTS AF (o. J.): *Full Service Werbeagentur aus Nagold | KONZEPTS AF*. Online verfügbar unter: URL: https://konzeptsaf.de/ [24.04.2021]

LOERN - OPEN EDUCATIONAL RESSOURCE (o. J.): *Dateigrößen*. Online verfügbar unter: URL: https://oer.alp.dillingen.de/mod/book/view.php?id=2191&chapterid=91 [08.05.2021]

MAGIX SOFTWARE GMBH (o. J.): *Der ultimative Leitfaden für Chroma Key und Green Screens*. Online verfügbar unter: URL: https://www.vegascreativesoftware.com/de/video-effekte/anleitung-fuer-chroma-key-und-green-screen/ [15.05.2021]

MAY, Ethan (2021, 28. Jänner): *Streamlabs and Stream Hatchet Q4 Live Streaming Industry Report*. Online verfügbar unter: URL: https://blog.streamlabs.com/streamlabs-and-stream-hatchet-q4-live-streaming-industry-report-a898c98e73f1 [11.05.2021]

PEDDIE, Jon (o. J.): IEEE Computer Society. *Famous Graphics Chips: AT&T Truevision's Targa* Online verfügbar unter: URL: https://www.computer.org/publications/tech-news/chasing-pixels/att-truevisions-targa/ [08.05.2021]

REEVES, Byron, VOELKER, David (1993): *Effects of Audio-Video Asynchrony on Viewer'sMemory, Evaluation of Content and Detection Ability*. Forschungsbericht. (S. 22). Standford: Standford University Online verfügbar unter: URL: https://web.archive.org/web/20081002172843/http://www.pixelinstruments.tv/pdf/Articles/Effects%20of%20Audio-Video%20Asynchrony.PDF [23.05.2021]

SCHMIDT, Ulrich (2013): *Professionelle Videotechnik: Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studiotechnik in SD, HD, DI, 3D*. (6. Aufl.). Springer Vieweg Online verfügbar unter: URL: https://www.springer.com/de/book/9783642389917 [11.05.2021]

STAGE TEC (o. J.): *SDI und embedded Audio*. Online verfügbar unter: URL: https://redesigned-1.stagetec.com/de/stage-tec/stage-tec/know-how/stages-2010/2696-sdi-und-embedded-audio.html [07.05.2021]

STIFTUNG JUGEND FORSCHT E. V. (o. J.): *Stiftung Jugend forscht e. V.* Online verfügbar unter: URL: https://www.jugend-forscht.de/stiftung-jugend-forscht-e-v.html [17.04.2021]

STOTZ, Dieter (2011): *Computergestützte Audio- und Videotechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Online verfügbar unter: URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-23253-4 [30.04.2021]

TH KÖLN (o. J.): *YouTube Livestreaming mit OBS*. Online verfügbar unter: URL: https://www.th-koeln.de/hochschule/youtube-live_73314.php [24.05.2021]

THEODOR-HEUSS GYMNASIUM MÜHLACKER (o. J.): *Theodor-Heuss Gymnasium Mühlacker*. Online verfügbar unter: URL: https://www.thg-m.de/Schule/Lehrer/ [24.04.2021]

WEINZIERL, Stefan (Hrsg.) (2008): *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Online verfügbar unter: URL: https://www.springer.com/de/book/9783540343004 [18.05.2021]

WESTON, Brad (2009): THE BASICS OF VIDEO KEYING., (Juliy / August 2009), S. 4

YOUTUBE (o. J.): *Live-Encoder-Einstellungen, Bitraten und Auflösungen wählen - YouTube-Hilfe*. Online verfügbar unter: URL: https://support.google.com/youtube/answer/2853702?hl=de#zippy=%2Cp-bei-fps%2Cp [02.05.2021]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Berechnung der Video-Datenrate 4
Abbildung 2: Rechenbeispiel, Berechnung der Video-Datenrate 5
Abbildung 3: HDMI Steckverbindungen 7
Abbildung 4: Bildfreistellung – Stanzverfahren 15
Abbildung 5: Gute und schlechte Chroma-Key-Einstellung 17
Abbildung 6: Blau oder grün - Welche Farbe sollte für das Chroma Keying verwendet werden? 17
Abbildung 7: Stanze, Key Bereiche anhand Helligkeitswerte 18
Abbildung 8: Struktur eines digitalen Audiosystems 20
Abbildung 9: Qualitätsparameter des digitalen Tonkanals 24
Abbildung 10: Audio- oder AUX-Daten in der Austastlücke 25
Abbildung 11: kompakte Vergleichstabelle 39
Abbildung 12: Vorlage Bauchbinde für Power Point 40
Abbildung 13: Einstellungen an der ATEM Software Control 41
Abbildung 155: Bedienfeld H2R Graphics 42
Abbildung 144: Chroma Fenster 42
Abbildung 16: detaillierte Vergleichstabelle 47

Abkürzungsverzeichnis

HD	High Definition
Hz	Herz
Fps	Frames per second / Bilder pro Sekunde
GBit/s	Giga Bit pro Sekunde
KBit/s	Kilo Bit pro Sekunde
HDMI	High Definition Mulitmedia Interface
SDI	Serial / Standard Digital Interface
UHD	Ultra High Definition
BNC	Bayonet Neill Concelman