

Masterarbeit im Studiengang  
„Audiovisuelle Medien“

# **Anforderungen an die Fernseh-Tonregie**

vorgelegt von:

Silas Roth

an der Hochschule der Medien Stuttgart

am 24.09.2024

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Master of Engineering

Erst-Prüfer: Prof. Curdt

Zweit-Prüfer: Prof. Dr. Melchior

Hiermit versichere ich, Silas Roth, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Masterarbeit mit dem Titel: „Anforderungen an die Fernseh-Tonregie“ 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.



---

Unterschrift

## **Kurzfassung**

In dieser Arbeit werden Tonregien deutscher Ü-Wägen für Fernsehproduktionen analysiert und Gemeinsamkeiten und Unterschiede benannt. Aus diesen Erkenntnissen wurde sowohl ein möglichst günstiges System, wie auch ein zukunftsfähiges System entwickelt. Die Daten der aktuellen Ü-Wägen wurden aus Informationen aus dem Internet bezogen.

Unterschiede in den Tonregien sind meist durch den Anwendungsbereich des Ü-Wagens zu erklären. Die Skalierung der zur Verfügung stehenden Kanäle und Koppelpunkte ist der Hauptunterschied. Gemeinsam haben die Systeme im Allgemeinen die Verwendung von Lawo Mischpulten und Riedel Kommandoanlagen.

## **Abstract**

This paper analyzes the audio control rooms of German OB vans used for television productions, highlighting both similarities and differences. Based on these findings, both a cost-effective system and a future-proof system were developed. The data on the current OB vans were obtained from information available on the internet. Differences in the audio control rooms are mostly due to the specific application of the OB van. The main difference lies in the scaling of available channels and connection points. Common among the systems is the general use of Lawo mixing consoles and Riedel intercom systems.

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Theoretischer Teil	3
2.1 Signalketten	3
2.2 Digitale Audio Übertragung	5
2.3 Audio over IP	8
2.4 Glasfaser Verbindungen	10
2.5 Raumakustik	11
2.6 Lautsprecher	15
2.7 Broadcast Mischpulte	17
2.8 Mehrkanalige Tonmischung	19
2.9 Audio Follows Video	20
2.10 IFB (interruptable foldback)	20
2.11 Audio Video Sync	21
2.12 Kameraton Einbindung	23
2.13 Lautheit	24
2.14 Kommandoanlage	26
2.15 SIP-Telefonie	27
2.16 Betriebssicherheit	28
2.17 Arbeitssicherheit	29
3. Methodik	33
4. Systeme	34
4.1 System 1 - TV-Skyline Ü8	34
4.2 System 2 - NEP Compact	37
4.3 System 3 - Tonzauber MAP1	38
5. Zusammenfassung	40
5.1 Gemeinsamkeiten	40
5.2 Unterschiede	41
6. Entwicklung	42
6.1 Budget Ü-Wagen	43
6.2 zukunftsfähiger Ü-Wagen	48
7. Fazit	52
Literaturverzeichnis	53
Tabelle Tonregie Recherche	54
Quellenverzeichnis zur Online Recherche	56

# 1. Einleitung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden umfangreiche Recherchen im Internet durchgeführt, um aktuelle Verfahren und System im Bereich der Fernseh-Tonregie darstellen zu können. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden zusammengetragen, um eine Analyse des Themas zu ermöglichen. Beispielhafte Darstellungen der Systeme helfen dem Leser, ein Bild der aktuellen Tonregien zu bekommen.

Die Thesis soll ein möglichst breites Bild der aktuellen Verfahren und Technik-Konzepte in Deutschland darstellen. Die hier auftretenden Gemeinsamkeiten und Unterschiede sollen näher beleuchtet und erklärt werden. Zuletzt erfolgte ein eigener Vorschlag für die Konzeption eines Tontechnik-Systems unter den Gesichtspunkten der verschiedenen Anforderungen.

Die Anforderungen an die Fernseh-tonregie sind in den letzten Jahren durch die zunehmende technologische Komplexität und die Verschmelzung von Rundfunk, Informationstechnologie und Telekommunikation erheblich gestiegen. Während früher die Technik im Vordergrund stand, ist heute ein prozessorientierterer Ansatz erforderlich. Dies bedeutet, dass Systeme nicht mehr isoliert, sondern als Teil eines stark vernetzten und automatisierten Produktionsprozesses konzipiert werden müssen.<sup>1</sup> Dabei sind nicht nur die technischen Anforderungen von Bedeutung, sondern auch die Nutzeranforderungen müssen präzise erfüllt werden.<sup>2</sup> Diese zunehmende Komplexität erfordert von den Ingenieuren im Broadcast-Bereich ein breites Fachwissen über verschiedene Technologien und deren Zusammenspiel, um den Produktionsprozess effizient zu gestalten und gleichzeitig den hohen Ansprüchen an Qualität und Zuverlässigkeit gerecht zu werden. Die

---

<sup>1</sup>[Kloth 2009] S.1

<sup>2</sup>[IEEE 1990] S.62

Herausforderung besteht darin, diese technischen Systeme so zu gestalten, dass sie sowohl die Bedürfnisse der Anwender erfüllen, als auch den hohen Anforderungen an Integration und Automatisierung gerecht werden. Eine zentrale Anforderung ist auch die Flexibilität und Erweiterbarkeit der Systeme, um zukünftigen technologischen Entwicklungen gerecht zu werden. Hierbei ist die Nutzung von offenen Standards von essentieller Bedeutung, um herstellerunabhängig zu bleiben.

Welche Tontechnik kann bei Live-Bewegtbildübertragungen verwendet werden und welche besser nicht? Was sind die Anforderungen an die Tontechnik bei solchen Produktionen?

## 2. Theoretischer Teil

### 2.1 Signalketten

Eine Signalkette beschreibt den Weg, den ein Audiosignal vom Ursprung – dem Mikrofon – bis zum endgültigen Ziel, wie einem Lautsprecher oder einem Aufnahmegerät, durchläuft. In diesem Kapitel wird der Aufbau einer Signalkette mit Schwerpunkt auf verschiedenen Mikrofontypen und ihren spezifischen Anschlüssen beschrieben.

Mikrofone sind der erste Schritt in der Signalkette und sie wandeln Schallwellen in elektrische Signale um. Sie lassen sich in verschiedene Typen unterteilen, die sich durch ihre physikalische Bauweise und Anwendung unterscheiden.

Dynamische Mikrofone basieren auf einem simplen mechanischen Prinzip, bei dem eine Membran durch Schall in Bewegung versetzt wird und eine Induktionsspule ein elektrisches Signal erzeugt. Diese Mikrofone sind robust, benötigen keine externe Stromquelle.

Kondensatormikrofone hingegen arbeiten mit einer elektrisch geladenen Membran und benötigen eine Phantomspannung (48V), um zu funktionieren.

Die Richtcharakteristik eines Mikrofons beschreibt, aus welchen Richtungen das Mikrofon Schall aufnimmt.

Ein Mikrofon mit Kugelcharakteristik (Druckempfänger) nimmt Schall aus allen Richtungen gleichmäßig auf. Mikrofone mit Nierencharakteristik (Druckgradientenempfänger) sind nach vorne am empfindlichsten und dämpfen Geräusche von den Seiten und von hinten. Dadurch ist eine Richtwirkung in der Benutzung möglich.

Richtrohrmikrofone (Shotgun) haben durch ihr Interferenzrohr eine extrem gerichtete Charakteristik und werden vor allem in Film- und Broadcast-Anwendungen verwendet, um weit entfernte oder spezifische Schallquellen in lauter Umgebung aufzunehmen.

Mikrofone gibt es in vielen verschiedenen physikalischen Formen und Größen, die auf unterschiedliche Anwendungen zugeschnitten sind:

Parabolspiegel-Mikrofone nutzen eine parabolische Schüssel aus Plexiglas, um Schallwellen zu bündeln und ermöglichen dadurch sehr entfernte Geräusche aufzunehmen, wie z.B. Tiergeräusche in der Naturdokumentation oder Spielfeldgeräusche bei einer Football-Übertragung.

Lavalier-Mikrofone sind Miniatur-Mikrofone und werden häufig in TV-Produktionen verwendet und direkt an der Kleidung befestigt. Sie sind diskret und leicht zu tragen, bieten aber oft eine eingeschränkte Klangqualität.

Headset-Mikrofone sind ähnlich klein, aber lassen sich besser tragen und werden bei Moderationen und Gesprächen in Fernsehstudios oder Bühnenshows gerne verwendet. Sie sind am Kopf befestigt, um eine konstante Position zum Mund sicherzustellen.

Mikrofon-Arrays bestehen aus mehreren Mikrofonkapseln und werden oft in Surround- oder Immersive-Übertragungen eingesetzt, um einen dreidimensionalen Klangraum abzubilden.

Je nach Mikrofonart und Anwendungsbereich gibt es verschiedene Anschlüsse, die in der Signalkette eine Rolle spielen:

Der 3-poliger XLR-Anschluss ist der Standardanschluss für professionelle Mikrofone, der eine symmetrische Übertragung des Mikrofonsignals ermöglicht. Ein 5-poliger XLR-Anschluss wird oft für Stereo-Mikrofone oder Arrays verwendet, da er zwei separate Audiokanäle symmetrisch in einem Kabel führt.

Headset- und Lavalier-Mikrofone haben oft proprietäre Stecker, die an Funksender (Beltpacks) angeschlossen werden können.

Das von einem Mikrofon erzeugte Signal wird als Mikrofonpegel bezeichnet. Dieser ist im Vergleich zum Linepegel (+4dBu) relativ niedrig und muss daher von einem Mikrofonverstärker (Preamp) verstärkt werden, bevor er weiterverarbeitet werden kann. Mikrofonvorverstärker sind entweder in



Mischpulten, externen Stageboxen oder Broadcastkameras integriert oder als selbstständiges Gerät in der Nähe des Mikrofons platziert. Über weite Strecken wird das Signal heutzutage meist digital übertragen, weshalb eine Analog/Digital-Wandlung nötig ist. Erreicht das Signal das Mischpult, kann es durch einen Kanalzug Mischpult in seinem Klang angepasst werden kann. Es wird dann in Programmsummen mit anderen Signalen summiert und erreicht über Ausgänge des Mischpultes z.B. die Videokreuzschiene. Hier kann der Programmton in das Videosignal eingebettet werden, bevor beides dann über Glasfaser oder Satellitenübertragung an einen Sende-Schaltraum übertragen wird.

## 2.2 Digitale Audio Übertragung

Die Übertragung von Audiosignalen über digitale Schnittstellen bietet einige Vorteile. Dafür muss ein analoges Mikrofonsignal von einem Spannungsstrom in einen Bitstrom gewandelt werden. Die Analog/Digital Wandlung geschieht unter festzulegenden Faktoren: der Abtastrate und der Bittiefe, welche die Auflösung der Digitalisierung beeinflussen. Ungenauigkeiten und Schwankungen in der Abtastrate werden Jitter genannt.<sup>3</sup> Dieser entsteht durch ungenaue Taktgeber (Clock). Auch die fehlerhafte Konfiguration eines digitalen Systems mit mehreren Taktgebern kann Fehler in der Abtastung erzeugen. Deshalb ist auf die Wahl der Taktgeber im System zu achten. Hierzu zählen Taktgeber mit präzisen Quarzkristallen. Bei großen Systemen oder langen Übertragungstrecken kann es notwendig sein, einen Puffer einzusetzen, wie er z.B. in Abtastratenwandlern (Sample Rate Converter) zur Verfügung steht. Hiermit lassen sich verschiedene Taktkreise voneinander trennen.

---

<sup>3</sup> [Dickreiter 2014] S. 666

Da digitale Videoproduktionssysteme auch einen digitalen Takt benötigen, muss bei der Vernetzung dieser Systeme mit einem Audiosystem auch auf die korrekte Takt-Hierarchie geachtet werden. Werden das Video- und Audiosystem nicht gemeinsam getaktet, können die verschiedenen Taktgeber mit der Zeit voneinander abweichen (driften) und einen ungewollten Audio-Video-Zeitversatz erzeugen.<sup>4</sup> Für Videosysteme wird meist „Tri Level Sync“ als Takt verwendet. Für Audiosysteme wird üblicherweise „Wordclock“ verwendet. Für kombinierte Audio-Video-Systeme, wie sie im Fernsehen nötig sind, bieten sich Taktgeber an, die sowohl Video-, als auch Audio-Takt, synchron ausgeben. Oftmals übernehmen diese Geräte zusätzlich noch die Timecode Ausgabe, fungieren als PTP-Clock und lassen sich für standortübergreifende Anwendungen auf GPS synchronisieren.

Die professionelle digitale Übertragung von Audiosignalen findet in der Regel über die AES/EBU (AES3) Schnittstelle statt.<sup>5</sup> Dieses ist ein taktführendes Signal, welches somit auch für die Vernetzung des Taktgebers genutzt werden kann. Das AES3 Protokoll ermöglicht eine unidirektionale serielle Übertragung für Audiodatenströme mit Zusatzinformationen. Es bietet die Möglichkeit, zwei Audiosignale mit einer Abtastrate von bis zu 192kHz zu übertragen. Man verwendet entweder eine symmetrische Übertragung mit XLR Stecker oder eine unsymmetrische über 75Ohm Koaxial-Verbindungen. Darüber hinaus findet das AES3 Protokoll Verwendung als Grundlage für weitere Protokolle, wie zum Beispiel MADI (Multichannel Audio Digital Interface). Dieses bündelt 32 AES3 Signale. Bei einer Abtastrate von 48kHz lassen sich so 64 Kanäle unidirektional übertragen. Für höhere Abtastraten müssen Kanäle zusammengelegt werden, sodass bei einer 192kHz Übertragung lediglich 16 Kanäle möglich sind. MADI wird entweder über Lichtwellenleiter (LWL) oder unsymmetrische Koaxialkabel übertragen. Der AES3 Standard findet auch

---

<sup>4</sup> [Emmott 2023]

<sup>5</sup> [Dickreiter 2014] S688

Verwendung für die Mehrkanal-Übertragung. Hierfür wurde der Dolby-E-Standard entwickelt. Dieser komprimiert bis zu acht Kanäle in einen AES3 Datenstrom, wobei es sich um eine verlustbehaftete Kodierung handelt. Deshalb ist dieses Format hauptsächlich für die Distribution geeignet.

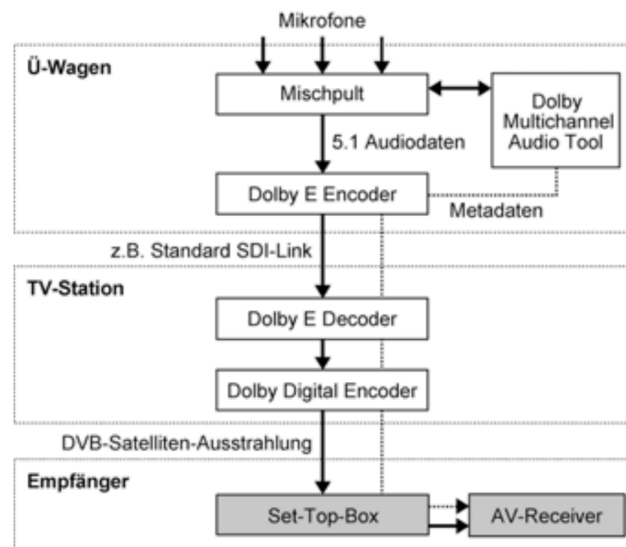


Abb. 1: Dolby-E Encoding, [Dickreiter 2014] S. 1211

In der Videoproduktionsumgebung wird für die unkomprimierte Übertragung meist das SDI-Videosignal (Serial Digital Interface) verwendet. Dieses Videoformat bietet in den „Ancillary Data“ Platz für acht AES3 Signale. Somit lassen sich mit dem professionellen SDI-Signal 16 Audiosignale transportieren oder 64 Dolby-E codierte Kanäle. Den Schritt der Verbindung von Video und Audio nennt man Embedding. Entnimmt man den Ton wieder aus dem Videosignal spricht man von Deembedding. Den Ton gemeinsam im Videoformat zu transportieren, bietet den Vorteil, die Synchronität von Bild und Ton nicht mehr zu trennen. Alle zu einem Video-Frame gehörenden Audiodaten bleiben seriell bei diesem Frame.

Diese Protokolle sind aber alle nur unidirektional, sodass eine komplexe Verteilung dieser Signale bei großen Systemen viele Steckverbindungen und große Interfaces bedeuten. An diese Problematik richtet sich die Übertragung über Netzwerkschnittstellen.

## 2.3 Audio over IP

Zunehmend werden IT-basierte Systeme in der Fernsehproduktion eingesetzt. Die Branchen Informationstechnologie, Telekommunikation und Rundfunk nähern sich immer mehr an, mit sehr großen Schnittmengen.<sup>6</sup> Toningenieure mussten in den letzten fünfzig Jahren einige fachübergreifende Weiterbildungen erlangen. Von analoger Audioübertragung mit Schwerpunkt Elektrotechnik, über die digitale Übertragung, hin zu Netzwerktechnik.

Netzwerkbasierter Medienübertragung bietet den Vorteil, unidirektionale Punkt-zu-Punkt Verbindungen aufzubrechen, flexible Routingoptionen zu ermöglichen und durch die Nutzung von branchenunabhängig verbreiteter IT-Hardware Kosten zu minimieren<sup>7</sup>.

Weite Verbreitung finden vor allem der „Dante“ Standard der Firma „Audinate“ und der offene „AES67“-Standard. Während „Dante“ nur auf lizenzierten Chips des Herstellers funktioniert, ist „AES67“ ein offener Standard der Audio Engineering Society, der für möglichst große Interoperabilität sorgen soll. Beide Protokolle ähneln sich sehr, indem PCM-Audio, in Netzwerkpaketen verpackt, über ein IP-Netzwerk übertragen wird. Nun ist vor allem die Bandbreite der einzelnen Netzwerkknotenpunkte und des Netzwerkinterfaces eines Gerätes ausschlaggebend für die Anzahl der übertragbaren Kanäle. Bei einem Gigabit-Link sind theoretisch bis zu 512-Kanäle bidirektional bei 48kHz und 24bit möglich. Die übertragenen Netzwerkpakete erzeugen jedoch am Sender und Empfänger eine Latenz, beim ver- und entpacken. Außerdem erzeugen hoher Netzwerk-Traffic und zwischengeschaltete Switches eine Latenz. Diese Latenzen müssen gerade bei Verwendung verschiedener Übertragungsprotokolle beachtet werden, da ansonsten Signale nicht synchron sind. Puffer am Empfänger gleichen die verschiedenen Netzwerk-Latenzen aus.

---

<sup>6</sup> [Kloth 2009] S.29

<sup>7</sup> [Kloth 2009] S.35

Eine phasentreue Übertragung innerhalb der Audio over IP Übertragung wird mit diesen Puffern somit ermöglicht. Hierfür ist aber wie in der seriellen, digitalen Übertragung eine präzise Taktung nötig.

Diese wird in der Netzwerktechnik durch das Precision Time Protocol (PTP) erreicht. PTP ist kein Taktsignal, sondern ein Protokoll, indem sich verschiedene Taktgeber ihre Verzögerung zueinander im Netzwerk gegenseitig mitteilen. Legt man dann einen Clock-Master fest, korrigieren alle anderen „Slaves“ im Netzwerk ihren Takt dementsprechend, sodass alle Geräte im Netzwerk ihren Takt kontinuierlich an den des Clock-Masters anpassen und gleichlaufen. Dante und AES67 lassen sich gemeinsam in einem Netzwerk verwenden und sind sogar miteinander kompatibel. Da Dante und AES67 aber zwei verschiedene Versionen von PTP verwenden, ist ein Austausch von Daten nur nach Aktivierung einer Option in den Dante Geräten möglich. Hierbei wird dann das Dante Gerät zur „Boundary Clock“ zwischen dem PTPv1 und PTPv2 und übersetzt den Takt so für beide Formate.

Auch die Videoübertragung nutzt die Vorteile der Netzwerktechnik. Der aktuelle Standard der Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) ST 2110 beschreibt diese Übertragung in einem offenen Standard. Auch die Übertragung von Audio wird darin definiert. Im ST 2110-30 wird die Übertragung von PCM-Audio als AES67-konformer Stream beschrieben. Für die Übertragung von Dolby-E und anderen AES3 Signalen wurde der Standard ST 2110-31 definiert. Auch dieser gleicht AES67, enthält aber noch die AES3-typischen zusätzlichen „status bits“ (PUCV)<sup>8</sup>, die für Metadaten verwendet werden.

---

<sup>8</sup> [Ravenna 2024]

## 2.4 Glasfaser Verbindungen

Die Übertragung von Audio over IP mit Netzkabeln ist meist auf eine Kabellänge von bis zu 100m beschränkt. Diese Distanz reicht in der Außenübertragung meist nicht aus, um das gesamte Veranstaltungsgelände von einem zentralen Punkt aus zu erreichen. Oftmals befindet sich der Stellplatz für einen Ü-Wagen am Rand eines Geländes, sodass die Entfernungen umso weiter werden. Kabelwege von 200-300m sind üblich, um eine Position für eine Stagebox in einer Arena zu erreichen. Bei Entfernungen über 100m werden Glasfaserkabel verwendet, um eine Netzwerkverbindung aufzubauen. Ab einer Länge von 200m sollte man auf dünnere Singlemode-Glasfaserkabel (SMF) zurückgreifen, da die dickeren und günstigeren Multimode-Glasfaserkabel (MMF) hier in der Reichweite limitiert sind. Um die Kabel voneinander unterscheiden zu können sind die SMF gemäß der Standarddefinition der TIA-598C gelb ummantelt, die MMF hellblau oder orange.<sup>9</sup>

Glasfaserkabel können mit verschiedenen Steckverbindungen ausgestattet sein. Unter den gängigsten zählen: LC, SC und E2000. Diese Stecker sind alle sehr kompakt, und unterscheiden sich nur leicht in der Größe. Der SC Stecker ist etwas breiter als die anderen beiden. Der E2000 Stecker hat eine verbaute Schutzklappe, die sich beim Stecken selbstständig öffnet und schließt. Alle drei Formen gibt es in einer gerade geschliffenen Variante und mit einem gewinkelten Glasfaserschnitt (APC). Sie unterscheiden sich durch die Steckerfarbe. Die gerade geschliffenen Stecker sind blau, die gewinkelten (APC) sind grün. Der gewinkelte Schnitt ermöglicht eine größere Rückflussdämpfung am Stecker und dadurch eine bessere Übertragung.

Diese verschiedenen Stecker findet man auch in den Anschlusskästen vieler Hallen und Stadien wieder. Viele Veranstaltungsorte bieten solche Anschlusskästen an, die eine Verbindung zwischen wichtigen Standorten an

---

<sup>9</sup> [TIA-598 C]

diesen Orten bieten. So lassen sich die hauseigenen Glasfaserkabel verwenden, um eine große Distanz zu überbrücken. Auf die richtige Wahl des passenden Steckers ist hierbei zu achten, wie sie oben beschrieben sind.

Zur Verkabelung von Kameras hat sich der SMTPE 311M Standard durchgesetzt. Dieser gibt ein Kabel vor welches aus zwei Single-Mode Glasfasern, 6 Kupferleiter (4x Stromversorgung + 2x Steuerung) und einer zentralen Stahllitze als Zugentlastungselement besteht. Als multifunktionales Kabel bietet es herausragende Möglichkeiten für den Gebrauch in der Außenübertragung. Über die im Kabel vorhandene Stromversorgung lässt sich das verbundene Gerät direkt vom Ü-Wagen aus mit Strom versorgen, was eine kontrollierte und sichere Versorgung, ohne Abhängigkeit zum lokalen Hausstrom, ermöglicht. Als Verbindungskabel für Stageboxen bietet dieses Glasfaserkabel große Vorteile für die Betriebssicherheit. Nicht zuletzt, weil es durch die stabile Bauform vielen Glasfaserkabeln aktuell überlegen ist.

Auch Fiber Multicore Kabel sind für komplexe Übertragungen üblich, gerade an Orten wo keine Vorverkabelung vorhanden ist und viele Geräte angebunden werden müssen. Hierbei müssen die verschiedenen Glasfaseradern eines Multicores an sogenannten „Hubs“ wieder weiter verteilt werden, damit alle Positionen erreicht werden.

## **2.5 Raumakustik**

Die Raumakustik spielt eine entscheidende Rolle bei der Bewertung und dem Abmischen von Audiomaterial. In engen Räumen kann die akustische Beschaffenheit des Raumes den Klang erheblich beeinträchtigen. Dieser Abschnitt untersucht die wesentlichen Prinzipien der Raumakustik, spezifische Herausforderungen und bewährte Lösungen zur Optimierung der akustischen Bedingungen in kleinen Regieräumen.

Die wesentlichen Parameter, die in kleinen Räumen die Akustik beeinflussen, sind die Stehende Wellen, Erst-Reflexionen und Flatterechos.

**Stehende Wellen:** In kleinen Räumen treten häufig modale Resonanzen auf, die zu überbetonten Frequenzen führen. Diese Resonanzen entstehen aufgrund der begrenzten Raumdimensionen und der sich zwischen parallelen Wänden überlagernden Schallwellen. „Eine stehende Welle bildet sich immer dann aus, wenn eine halbe Wellenlänge oder ein ganzzahliges Vielfaches davon zwischen zwei schallharten Wänden passt.“<sup>10</sup> Zusätzlich zur Überbetonung der Frequenz ist die frequenzspezifische Nachhallzeit deutlich erhöht. Dies führt im Allgemeinen zu einem unpräzisen Klang im Frequenzbereich der Stehenden Wellen.

**Erst-Reflexionen:** Frühe Reflexionen mit einer Verzögerung von 0,8 bis etwa 20 ms verursachen eine unangenehme Klangfärbung, die durch Summierung und Auslöschungen zwischen Direktschall und Reflexionen entsteht.<sup>11</sup> Es entstehen Kammfilter-Effekte an der Hörposition. Dies betrifft Reflexionen mit einem Umweg von weniger als 7m. Deshalb ist es wichtig die schallharten Begrenzungsflächen, die solche frühen Reflexionen erzeugen zu bedämpfen, auch Diffusion kann hier helfen.

**Flatterechos:** Bei impulsartigem Schall entsteht zwischen parallelen Wänden ein Flatterecho, da das Signal dauernd hin und her reflektiert wird. Bei größerem Wandabstand ist dabei die schnelle Abfolge einzelner Echos wahrnehmbar. Bei kleinerem Wandabstand erhält der Impuls einen Nachklang mit einer bestimmten Tonhöhe, die vom Wandabstand und dem Standort des Hörers abhängt.<sup>12</sup> Durch eine geeignete Anordnung von absorbierenden und reflektierenden Flächen ist das Auftreten von Flatterechos und störenden Einzelreflexionen zu vermeiden.

---

<sup>10</sup> [Weinzierl 2008] S.439

<sup>11</sup> [Dickreiter 2014] S.33

<sup>12</sup> [Dickreiter 2014] S.19



Die für die Gestaltung von professionellen Studioabhörsituationen nötigen Empfehlungen sind von diversen internationalen Richtlinien standardisiert worden.<sup>13</sup> Dazu zählen die EBU R22, EBU Tech3276 und ITU-R BS.1116.

Die **minimale Grundfläche** für einen hoch qualitativen Regieraum sollte mindestens 30qm betragen. Die Abmessungen eines Abhör- bzw. Regieraumes werden meist stark durch äußere Faktoren beeinflusst. Explizite architektonische Planung sind vor allem bei Bestandsgebäuden nicht ausreichend möglich. In der mobilen Anwendung gibt es weitere zahlreiche Faktoren, die die Raumgröße limitieren. Sei es die Grundfläche eines Ü-Wagens, das Budget für Mieträume oder keine Möglichkeiten, mehr Platz für eine Tonregie zu schaffen.

Weiterhin sollte der Raum eine ausreichende **akustische Symmetrie** in Richtung der Schallausbreitung der Wiedergabesignale aufweisen. Dies betrifft auch die Oberfläche und ihre Absorptionseigenschaften, insbesondere in der unmittelbaren Umgebung der Lautsprecher.

Resonanzen oder **Eigenschwingungen** von Einbauten im Regieraum sind wirksam zu dämpfen. Es ist ausreichend, wenn ihre Abklingzeit niedriger als die Nachhallzeit des Raumes ist. **Hintergrundgeräusche** sind zu minimieren. Hierbei ist auf Lüftungsgeräusche verbauter Technik, Klimaanlage und die raumakustische Trennung nach außen zu achten. Der Signal-Rausch-Abstand von aktuellen Medienproduktionen ist technisch sehr groß. Um diesen korrekt zu überwachen, braucht es einen ausreichenden Ruhegeräuschpegel<sup>14</sup>. Auch hier treten bei mobilen Anwendungen üblicherweise große Probleme auf, da solche Maßnahmen meist deutlich mehr Platz benötigen und baulichen Aufwand erzeugen.

Eine mobile Tonregie besteht meist aus einer Kabine in einem Ü-Wagen. Diese hat oft nicht mehr Platz als 5qm. Alternativ gibt es zusätzliche Tonmobile,

---

<sup>13</sup> [Dickreiter 2014] S.1320

<sup>14</sup> [Weinzierl 2008] S.269



Abb.2: Übersicht Ü12 TV-Skyline

die die Fläche eines Sprinters oder 7,5-Tonnern nutzen, was bis zu 14,5qm entspricht. Die maximal zulässige Breite und Höhe eines Fahrzeuges im öffentlichen Straßenverkehr setzt hier die Grenzen. Die Rundfunkanstalten sind deshalb teilweise dazu übergegangen, Übertragungswägen mit ausfahrbaren Seitenwänden zu konstruieren.

Wiederum werden auch mobile Bürocontainer als temporäre Produktionseinheit verwendet. Ein einzelner Container mit ca. 6x2,5m ist immer noch nicht ausreichend, bei einem Doppelcontainer erreicht man das Mindestmaß für einen Regieraum laut ITU-R BS.1116: 30qm.

Die **Bedämpfung** hoher Frequenzen lässt sich relativ leicht mit weichen Wandmaterialien oder Vorhängen erbringen. Für tiefere Frequenzen bedarf es dicker Absorber. Ein zusätzlicher Abstand zwischen Wand und Absorber erhöht den Wirkungsgrad zu den tiefen Frequenzen. Dennoch wird es auf kleiner Fläche schnell unpraktisch, den Abstand zur Wand zu erhöhen. Deshalb können abgestimmte **Resonanzabsorber**, wie Helmholtzresonatoren, oder Plattenschwinger aus Metall nützlich sein. Auch eine **aktive Bassfalle**, wie die AVAA C214 von PSaudio, kann bei geringem Platzangebot eine gute Lösung sein, tieffrequente Raummoden zu bedämpfen.

Insgesamt ist bei der Wahl der Akustikmodule auch auf den **Brandschutz** zu achten. Schwer entflammbare Materialien sind aus Arbeitssicherheitsgründen zu empfehlen.

Das Institut für Bauphysik (IBP) hat 1994 eine erfolgreiche Optimierung einer Tonregie in einem 7,5-Tonner durchgeführt. Der Boden wurde mit Parkett ausgelegt, die Wände und die Decke mit offenporigem, meist 10cm dickem Weichschaum ausgekleidet. Der Schaumstoff ist an der Oberfläche mit einem speziellen, farbigen Lack spritzverhautet. Die Dicke der Verhautung wurde so gewählt, dass der Absorptionsgrad zu sehr hohen Frequenzen hin leicht abnimmt. Davor befindet sich ein Lochblech mit einem Lochflächenanteil von 56%.

Hiermit konnte die Nachhallzeit in den hohen Frequenzen bis 200Hz auf 100ms ausgeglichen werden. Für tiefe Frequenzen war die nötige geringe Bauform eine Herausforderung. Es wurden 10cm dicke Membranabsorber an der Vorder- und Rückwand über die gesamte Höhe des Raumes, hinter dem Schaumstoff, verbaut. Auch neben den Lautsprechern wurde ein Teil der Wand in dieser Art bearbeitet. Daraus ergab sich eine maximale Nachhallzeit von 400ms in den tiefen Frequenzen.

## 2.6 Lautsprecher

Die Lautsprecher in einer Tonregie sind von elementarer Bedeutung. Studiolautsprecher mit abgestimmten Komponenten sollten im Amplitudenfrequenzgang den Toleranzbereich von 4dB zwischen 40Hz und 16kHz nicht überschreiten.<sup>15</sup> Entsprechend der Raumgröße sollten die Lautsprecher gewählt werden. Für kleine Räume bieten sich Nahfeldmonitore an.

---

<sup>15</sup> [Dickreiter 2014] S.1327

Die Lautsprecher sollten auf Ohrhöhe der **Hörposition** platziert werden. Sollten die Lautsprecher nicht in der Wand verbaut sein, ist ein Abstand von mindestens einem Meter zur Wand zu wählen.<sup>16</sup> Die Hörposition sollte mindestens 1,5m von allen Wänden entfernt sein. Eine Stereo Lautsprecherpaar sollte in gleichseitigem Dreieck mit 60° Winkel platziert werden. Die Basisbreite der Lautsprecher sollte zwischen zwei bis vier Meter liegen. Für Surround Anordnungen gelten die Abmessungen aus dem Schaubild. Die Surround Lautsprecher sollten bei jeweils 110-120° zum Center-Lautsprecher platziert werden.

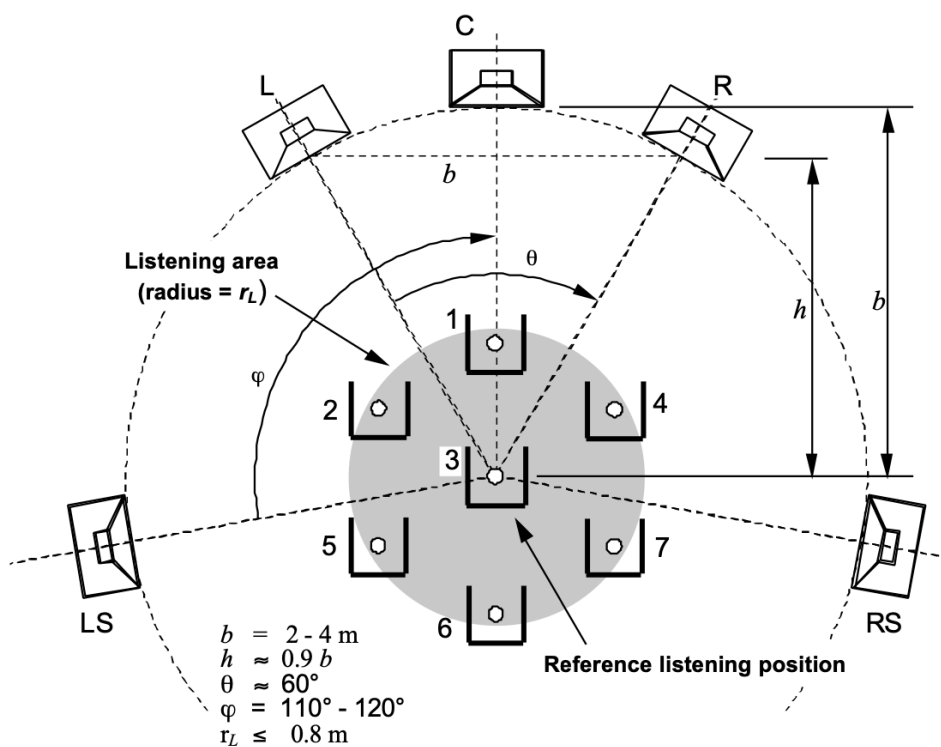


Abb.3: Surround Lautsprecheranordnung nach [EBU Tech 3276s1]

Zur weiteren Optimierung der Hörumgebung können digitale Lautsprecher- und **Raumkorrektursysteme** verwendet werden, wie zum Beispiel Produkte der Firma Trinnov oder IK Multimedia. Eine Software-basierte Lösung ist für Broadcast Anwendungen meist nicht praktikabel.

<sup>16</sup> [EBU Tech 3276] S.9

Lassen sich die Voraussetzungen an die Raumakustik nicht erfüllen, ist zusätzlich die Überwachung mit Studio-**Kopfhörern** zu empfehlen. Dies trifft explizit auf kleine Ü-Wägen und geräuschbelastete Umgebungen zu. Die Entwicklung von virtuellen Lautsprechersimulationen mit Headtracking, wie der Realiser A16 von Smyth-Research, kann eine sehr nützliche Ergänzung bei mangelhaften Abhörbedingungen sein.

## 2.7 Broadcast Mischpulte

Broadcast-Mischpulte sind das Herzstück jeder modernen Rundfunkproduktion und spielen eine zentrale Rolle im Zusammenspiel verschiedener Geräte und Signalquellen. Diese Pulte sind nicht nur dafür verantwortlich, Tonquellen zu mischen, sondern auch die Signale so zu verteilen, dass alle an der Produktion beteiligten Parteien – Regisseure, Moderatoren, Studiogäste und externe Teilnehmer – die gewünschten Audiofeeds in der jeweils benötigten Form erhalten.

Die Integration eines Broadcast-Mischpults in eine Studioinfrastruktur erfordert eine sorgfältige Abstimmung mit anderem Equipment. Eine der zentralen Herausforderungen ist die reibungslose **Integration unterschiedlicher Signalquellen**, wie Mikrofone, Telefon-Hybride, externe Zuspielung und Audio aus der Kommandoanlage. Eine Riedel AES3-Integration ist nützlich, um Sprechstellen über Audiowege zu verteilen.

Viele moderne Broadcast-Mischpulte erlauben es **mehreren Nutzern** gleichzeitig, am selben Pult zu arbeiten. Dies ist besonders nützlich in Situationen, in denen ein Team mehrere Sendungen parallel erzeugen muss. Diese Multi-User-Fähigkeit ermöglicht es auch, dass verschiedene Submixe gleichzeitig erstellt und überwacht werden können, um noch präzisere Mischungen zu erzeugen.

Ein zentrales Merkmal von Broadcast-Mischpulten ist die Fähigkeit, **mehrere Programmsummen** gleichzeitig zu verwalten. Dies wird besonders wichtig, wenn unterschiedliche Signale an verschiedene Plattformen oder Empfänger geschickt werden müssen. Ein Pult kann so konfiguriert werden, dass verschiedene Programmsummen, wie der Live-Feed, separate Online-Streams oder isolierte interne Monitoring-Mixes, gleichzeitig erstellt und gesteuert werden können.<sup>17</sup> Diese Flexibilität ist entscheidend in komplexen Produktionsumgebungen.

Wenn Anrufer oder externe Reporter in eine Sendung integriert werden, verwenden Broadcast-Mischpulte sogenannte Mix-Minus- oder **N-1**-Feeds, um Rückkopplungen zu vermeiden. Diese Feeds sorgen dafür, dass Anrufer oder externe Teilnehmer alles, außer ihrer eigenen Stimme, hören. Diese Feeds können oft vereinfacht mit einer One-Button Funktion erzeugt werden.

Neben den Programmsummen sind oft sogenannte **Iso-Feeds** gefordert. Iso-Feeds (Isolated Feeds) stellen individuelle Signalwege zur Verfügung, die gezielt an einzelne Kunden oder externe Partner geschickt werden können. Ein Beispiel ist, nur den Kameratone einer Kamera oder diese zusammen mit einer bestimmten Atmo, isoliert zu übertragen. Diese isolierten Audiofeeds ermöglichen es, Teilnehmer oder Geräte gezielt mit bestimmten Audioinhalten zu versorgen, ohne das gesamte Audiosignal mitzuschicken.

Broadcast-Mischpulte haben sich zu komplexen, vielseitigen Werkzeugen entwickelt, die weit über das reine Mischen von Audiokanälen hinausgehen. Durch die Integration von Multi-User-Funktionalität, mehreren Programmsummen und speziellen Feeds, wie Mix-Minus oder Iso-Feeds, ermöglichen sie eine flexible und effiziente Produktion in modernen Rundfunkumgebungen.

---

<sup>17</sup> [NAB 1999] S. 346

## 2.8 Mehrkanalige Tonmischung

Mehrkanalige Tonmischungen sind schon lange etabliert. Neben aktuellen Dolby Surround 5.1 Produktionen, wird Dolby Atmos immer attraktiver. Die Voraussetzungen an ein mehrkanaliges Mischformat sind aber nicht zu unterschätzen.

Das Mischpult muss einen geeigneten Workflow für das gewünschte Format bereitstellen, ansonsten ist eher eine experimentelle Arbeitsweise nötig. Eine ausreichend große Anzahl von Summen-Kanälen ist nötig um ein mehrkanaliges Format einfach ausgeben zu können und weiterhin auch alternative Ausspielwege zu ermöglichen. Meist muss nicht nur das mehrkanalige Programm erzeugt werden, sondern dazu noch der jeweilige Down-Mix, um möglichst alle Systeme in der Sendekette beliefern zu können. Für eine 5.1.4 Dolby Atmos Mischung muss also meist nach der 9-kanaligen Summe noch eine 6-Kanalige Dolby Surround Summe und ein Stereo-Downmix erzeugt werden.

Für den weiteren Workflow im Mischpult sind ausreichend Panning Optionen nötig. 3D-Panning oder ein Surround-Panner sind nicht immer im Mischpult nativ vorhanden. Auch interne Effekte, sei es im Kanalzug oder Zumischeffekte müssen das Mischformat unterstützen und mehrkanalig ausgelegt sein.

Das Routing von Mehrkanal-Spuren sollte vereinfacht sein. Eine Gruppierung dieser hilft dabei. In das Mischpult integrierte Up-/Downmix Funktionalitäten sind praktisch und hilfreich, wenn man einfach mit einem mehrkanaligen Mischformat arbeiten möchte.

## 2.9 Audio Follows Video

Eine Technologie, die vor allem in Broadcast Mischpulten zu finden ist, ist die Audio-Follows-Video (AfV) Funktion. Die Verknüpfung von Bildmischer und Mischpult sind hierfür notwendig. Wird im Bildmischer eine bestimmte Kamera geschnitten, erhält diese ein Rotlicht (Tally) Signal. Dieses Event löst im Mischpult dann eine Fader-Automation aus. So kann der Ton automatisiert dem geschnittenen Live-Bild folgen. Die Tally-Signale können als analoger GPI oder als digitale Steuerprotokolle übertragen werden. Hilfreich ist hier die Verwendung eines Broadcast Control Systems, um die Trigger/ Events einfach zu routen. Typischerweise wird der Kameraton der geschnittenen Kamera über eine AfV-Funktion automatisiert, um bei schnellen Bildschnitten leichter und fehlerfrei dem Regisseur zu folgen. Viele Broadcast-Mischpulte haben eine AfV-Funktion implementiert, andere Mischpulte können über die Sidechain-Steuerung eines Gates eine ähnliche Funktion erreichen.

## 2.10 IFB (interruptable foldback)

Protagonisten vor der Kamera tragen meist unauffällige InEar-Kopfhörer, über die sie die Sendung hören und Kommandos erhalten können. Das wird über einen IFB Aux gestaltet. Auf Mischpultebene braucht es eine weitere

Summe (Aux), um eine zusätzliche Mischung zu ermöglichen. Auf diesem Aux liegen bloß die inhaltlich relevanten Töne an, wie Interviewpartner oder Einpieler. Ablenkende Elemente, wie Atmo wird nicht dazu gemischt, um eine klarere Durchhörbarkeit zu ermöglichen.

Um auch Kommandos an den Protagonisten schicken zu können muss die Kommandoanlage in den Signalfluss eingebunden werden. Üblicherweise wird der Aux-Output in die Kommandoanlage eingespeist, wo dann dazugehörige Kommandos addiert werden. Zusätzlich kann eine IFB-Schaltung aktiviert werden. Diese unterbricht das Signal aus dem Aux, sobald der Protagonist über



die Kommandoanlage angesprochen wird. Hierdurch wird ein Kommando eindeutig unterscheidbar von der Sendung. Diese Unterbrechung gibt der Interruptible-Foldback-Schaltung seinen Namen. In der Praxis wählt man statt einer Unterbrechung des Programmsignals lieber eine Absenkung des Pegels. Dadurch bleibt ein Kommando deutlich erkennbar, der Protagonist kann weiterhin der Sendung folgen.

Für die Interaktion von Protagonisten verschiedener Studios miteinander, wird eine N-1-Summe benötigt. Diese Summe senden sich beide Studios gegenseitig zu. Es ist die Programmsumme des anderen Studios ohne die Anteile des Eigenen. Diese Summe kann dann auf das InEar der Protagonisten gegeben werden, sodass diese die Sendung des anderen Studios mithören können, ohne sich selbst mit Verzögerung zu hören.

## **2.11 Audio Video Sync**

Die Synchronität von Video und Audio zu gewährleisten, ist eine zentrale Aufgabe in der Broadcast-Medienproduktion. Es gibt viele Faktoren, die die Synchronität beeinflussen, welche es zu überprüfen gilt. Immer dann, wenn Bild und Ton getrennte Wege gehen, kann eine Abweichung voneinander stattfinden. Schon im physikalischen Medium verhält sich das Licht, welches die Kamera einfängt, anders, als der Ton. Die Lichtgeschwindigkeit ist ca. 100.000mal schneller, als die Schallgeschwindigkeit. Bei großen Distanzen, z.B. bei Verwendung eines Teleobjektivs, erreicht ein Schallereignis die Kamera sehr viel später als das dazugehörige Lichtbild. Andersherum verhält es sich bei der Verwendung von Drahtloskameras. Hier beeinflusst die Technik die Laufzeit des Videosignals, sodass dieses dem Ton, der über andere Wege latenzfrei übertragen wurde, nacheilt.

Um die Synchronität von Bild und Ton zu überprüfen, können verschiedene Verfahren verwendet werden. Bei allen visuellen Verfahren ist auf einen geeigneten Prüfpunkt zu achten, der in sich keinen Bild-Ton-Versatz erzeugt.

**Lippensynchronität:** Eine sprechende Person wird gefilmt und Video und Tonspur werden am Ende der Produktionskette zusammen bewertet. Dieser Test liefert eine erste Einschätzung, ob eine Synchronität vorliegt. Es wird die grundlegende Plausibilität der beiden Spuren erfasst. Die menschliche Wahrnehmung kann hierhingehend geschult werden, doch bietet dieser Test keine präzise Aussage über die Synchronität von Bild und Ton.

**Synchronklappe:** Ein bewährtes Mittel zur Synchronisierung in der Filmproduktion ist die Filmklappe. Durch das Zusammenschlagen dieser Klappe entsteht sowohl ein akustischer, als auch visueller Impuls. Dieser kann auf Synchronität untersucht werden. Meist wird hierfür der Sendeausgang aufgezeichnet und in Zeitlupe wiedergegeben, um die Synchronität zu untersuchen.

**Hitomi Matchbox:** Das Matchbox-System von Hitomi besteht aus einer Smartphone App als Testbildgenerator im Set und einem Analysegerät, z.B. im Schaltraum eines TV-Senders. Das Smartphone gibt dann im Vollbild einen sich konstant verändernden QR-Code im Display aus, während aus dem Smartphone Lautsprecher ein Testton kommt. Wird das Smartphone über den gewünschten Sendeweg abgefilmt und der Testton eingefangen, kann das Analysegerät präzise Informationen über den Bild-Ton-Versatz liefern.

Ein eventueller Zeitversatz kann dann mittels Video-Framestore oder Audio-Delay ausgeglichen werden. Treten im Video unweigerlich verschiedene Zeitebenen auf, weil z.B. kein Video-Framestore mehr verfügbar ist, kann das Audio Delay automatisiert werden. Voraussetzung dafür ist die Funktionalität des Mischpultes, das Audio Delay zu verändern, ohne hörbare Artefakte zu erzeugen. Das Tally-Event des zu korrigierenden Videosignals löst dann die

Automation des Audio Delays aus, sodass, immer wenn das verzögerte Bild geschnitten wird, sich das Delay anpasst.

Der Schwellwert für die Erkennbarkeit eines Bild-Ton-Versatzes liegt nach Tests der ITU bei 45ms Ton vor Bild und 125ms Ton nach Bild. Dazwischen sei es für eine Expertengruppe nicht erkennbar gewesen.<sup>18</sup>

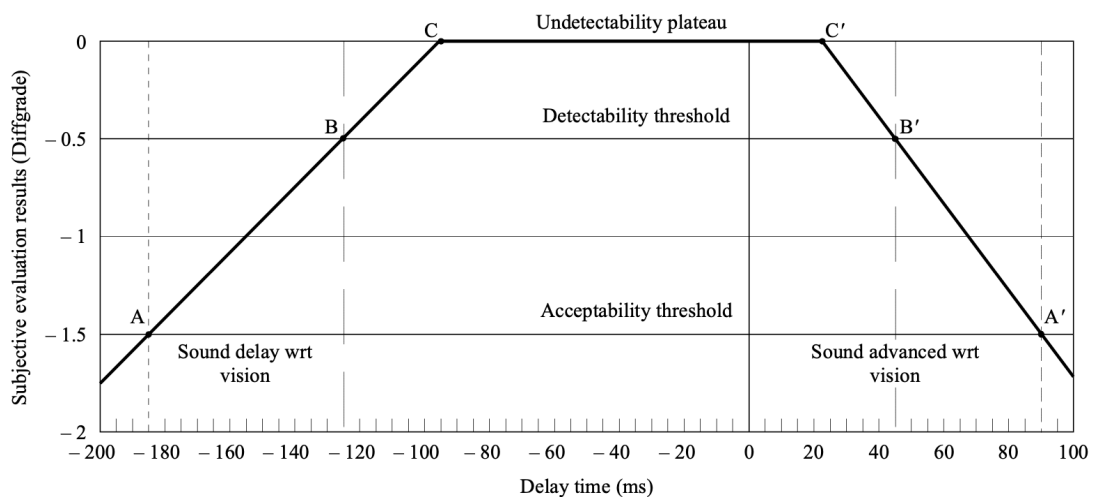


Abb.4: Schwellwerte für den Bild-Ton-Versatz nach [ITU-R BT.1359-1]

## 2.12 Kameraton Einbindung

Was übertragen werden soll, geschieht üblicherweise vor einer Kamera. Oft ist es das Einfachste den Ton direkt über die Kamera einzufangen, da dieses Gerät immer vor Ort ist, wenn ein Bild erzeugt wird. Üblicherweise haben Broadcast Kameras kein integriertes Mikrofon, aber die Möglichkeit ein Richtmikrofon auf der Kamera zu montieren. Dafür sind meist 2 XLR Inputs mit Mikrofonvorverstärker verbaut, die dann zusammen mit dem Kamerasignal übertragen werden. Die Verwendung der Audio-Inputs an der Kamera kann auch für andere Signale genutzt werden, wenn z.B. eine geeignete Audio-Stagebox zu weit entfernt ist. Dabei ist darauf zu achten, dass die verbauten Mikrofonverstärker in den Kamera-Bodys meist nicht dieselben klanglichen

<sup>18</sup> [ITU-R BT.1359-1]

Ansprüche haben, wie die einer Audio-Stagebox. Mitunter klingen zwei gleiche Mikrofone über die verschiedenen Signalketten sehr unterschiedlich.

Die Broadcast Kamera wird über eine Camera Control Unit (CCU) an die Videotechnik angeschlossen. Diese erlaubt die Fernsteuerung vieler Parameter der Kamera und gibt die Audio-Signale der Kamera wieder aus. Von hier aus kann der Ton ans Mischpult oder eine weitere Stagebox angeschlossen werden.

Meist ist der Ton der Audio-Inputs der Kamera gleich im ausgegebenen Videosignal der Kamera eingebettet. Da es aber häufig nötig ist, neben einem geschnittenen Programm auch einzelne isolierte Kameras aufzuzeichnen, sollte die Tonspur im Kamerasignal korrigiert werden. Das kann an verschiedenen Orten in der Videotechnik geschehen, wie in der Kreuzschiene, einem HDR-Konverter oder Synchronizer.

## 2.13 Lautheit

Die Normalisierung verschiedener Programme auf einen festgelegten Spitzenpegel führt nicht zu einem gleichmäßigen Lautstärke-Ergebnis. Verschiedene Lautstärken zwischen den unterschiedlichen Fernsehsendern und zwischen Sendung und Werbung waren deshalb keine Seltenheit. Aus dieser Problematik heraus entschied sich die European Broadcast Union (EBU) mit der Empfehlung R128, die Messung der Programm Lautheit mit Hilfe der Loudness Units (LU) nach ITU-R BS.1770 einzuführen.

Die Lautheit wird in LUFs (Loudness Units relativ to Full Scale) gemessen. Ein Standard, der die empfundene Lautheit eines Audiosignals beschreibt.

Lautheitsmessung basiert auf der menschlichen Wahrnehmung:

Deshalb berücksichtigt die Messung, dass das menschliche Ohr Töne in bestimmten Frequenzbereichen empfindlicher wahrnimmt als in anderen. Insbesondere sind wir empfindlicher für mittlere Frequenzen (z. B. 2-5 kHz) und weniger empfindlich für sehr tiefe oder sehr hohe Frequenzen. Deshalb wird ein Filter, der sogenannte K-Weighting-Filter, auf das Audiosignal angewendet.

Dieser Filter simuliert die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs.

Die Lautheit eines Signals kann nicht durch einen einzelnen Moment bestimmt werden, sondern muss über eine Zeitspanne gemessen werden. Die zentrale Messung ist die Integrated Loudness, bei der die Lautheit über die gesamte Dauer des Programms integriert gemessen wird. Short-Term Loudness misst die Lautheit über einen kurzen Zeitraum von drei Sekunden und Momentary Loudness misst die Lautheit über 400 ms.

Die EBU empfiehlt, „dass die Programmlautheit auf den Zielwert -23,0 LUFS („Target Level“) normalisiert werden soll. Die zulässige Abweichung vom Zielwert soll generell  $\pm 1,0$  LU nicht überschreiten und zwar für Programme, bei denen eine exakte Normalisierung auf den Zielwert praktisch nicht möglich ist (zum Beispiel Live-Programme)“.<sup>19</sup> Weiterhin soll der maximale Spitzenpegel eines Programmes -1dBTP (db True Peak) nicht überschreiten. Die True Peak Messung zeigt die Bildung von Inter-Sample-Peaks bei der D/A Wandlung an. Diese können in ungünstigen Fällen 0dBFS überschreiten und zu Verzerrung am Ausgang führen.

Nahezu alle Sender schließen sich der Empfehlung der EBU R128 an, auch die Öffentlich Rechtlichen Medien. In den Technischen Produktionsrichtlinien zur Herstellung für Fernsehproduktionen (TPRF) ist auch die Empfehlung R128 wieder zu finden.<sup>20</sup>

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit für Fernsehproduktionen nach Lautheit aussteuern zu können und die Programm-Lautheit zu überwachen. Ein geeignetes Messgerät muss vorhanden sein. Die Lautheitsmessung in einzelnen Kanalzügen ist nicht zwingend notwendig, erleichtert aber die Aussteuerung der Summen-Lautheit.

---

<sup>19</sup> [EBU R128]

<sup>20</sup> [TPRF 2016] S.21

## 2.14 Kommandoanlage

Die Kommandoanlage (Interkom) besteht aus einer Reihe an Sprechstellen, von denen aus untereinander Kommunikation ermöglicht werden kann. Die Sprechstellen können als Tischvariante frei aufgestellt oder im Rackformat in einem Regietisch oder Rack fest eingebaut werden. Sie verfügen üblicherweise über einen Lautsprecher, ein Mikrofon und über Tasten, die der Zielerwahl dienen und gleichzeitig als Sprechstasten fungieren.<sup>21</sup> Im Zentrum einer Kommandoanlage ist ein digital angesteuertes Koppelfeld, welches die Hörsprechverbindungen herstellt. Namhafte Hersteller solcher Systeme sind: Riedel, RTS und Clearcom. Innovative Produkte aus dem Segment gibt es auch von GreenGo und Unity Intercom.

Die Konfiguration einer Kommandoanlage ist üblicherweise auch in der Verantwortung eines Toningenieurs und findet dann in der Tonregie statt. Einzelne Sprechstellen lassen sich individuell belegen mit Sprechstasten, Gruppen oder Konferenzen. Ein zentrales Kommando während der Sendung ist die Kommunikation des Regisseurs. Dieser gibt nahezu dauerhaft Kommandos über die Gestaltung der Sendung. Dieses sollte an vielen Sprechstellen anliegen, vor allem auch beim Kamerapersonal. Jede Broadcast Kamera ist mit zwei Kommandokreisen ausgestattet. Dem Production- und Engineering-Kreis. Über den Production-Kreis hört das Kamerapersonal den Regisseur und andere inhaltliche Ansagen, und kann ihm per Knopfdruck auch antworten. Über den Engineering-Kreis können sie mit dem Bild-Ingenieur kommunizieren, wenn es um technische Dinge geht. Das Einbinden von externen Geräten in die Kommandoanlage geschieht meist durch einen sogenannten Vierdraht. Dies bezeichnet die Audio-Verbindung von Ein- und Ausgang mit je zwei Aderpärchen. Der Begriff wird aber nur noch sinnbildlich verwendet für die separate Anbindung von Sprechen und Hören. Die Vierdraht-Verbindung kann

---

<sup>21</sup> [Dickreiter 2014] S.1028

z.B. auch digital über AES3 oder über eine symmetrische XLR-Verbindung erfolgen.

Eine Drahtlose Kommandolösung wird immer beliebter. Wo früher hauptsächlich Funkgerät verwendet wurden, tritt nun vor allem das Bolero System von Riedel in den Vordergrund. Das auf DECT basierende drahtlose Interkommunikationssystem bietet bis zu sechs verschiedene Sprachkanäle pro Gerät, sowie eine separate "Reply"-Taste, die eine Antwort an den letzten Anrufer erleichtert. Mithilfe eines integrierten Mikrofons und Lautsprechers lässt es sich wie ein Walkie-Talkie verwenden, oder im Headset-Modus diskrete Kommunikation erlauben. Außerdem unterstützen Bolero-Beltpacks Bluetooth 4.1. So können sowohl Bluetooth-Headsets als auch Smartphones verbunden werden. Auch Telefonanrufe können direkt in die Interkom-Kanäle eingespeist werden.<sup>22</sup>

Für die Verwendung müssen die Bolero DECT-Antennen im Venue verteilt werden um eine ausreichende Abdeckung zu gewährleisten. Die Antennen müssen per Netzwerk verbunden werden und können in das Riedel Kommandosystem Artist integriert werden. Für die Kommunikation der Techniker während Auf- und Abbau ist das Bolero-System kaum zu gebrauchen. Die Reichweite einer einzigen aufgebauten Antenne reicht selten aus. Hier lohnt sich die Verwendung einfacher Funkgeräte. Solche können mit Basisstation oder Audioadapter für Funkgeräte in die Kommandoanlage als Vierdraht eingebunden werden.

## 2.15 SIP-Telefonie

Die Sprech-Verbindung zum Schaltraum (MCR) eines Fernsehsenders wird aktuell hauptsächlich über VoIP-Telefonie hergestellt. Das Session Initiation Protocol (SIP) dient hierbei zum Aufbau einer Verbindung zwischen zwei Clients

---

<sup>22</sup>[Riedel 2024]

im Internet.<sup>23</sup> Der Austausch der Audiodaten geschieht dann, nach erfolgreichem Login, über das Real-Time Transport Protocol (RTP). Prinzipiell ist die SIP Verbindung unabhängig vom Medienformat, weshalb sich die Clients über das Session Description Protocol (SDP) einigen, welches Datenformat sie senden und erwarten. Für Interkom Anwendungen sind datenarme, verlustbehaftete Codecs vollkommen ausreichend.

Auch andere senderelevante Audioströme werden in der Praxis über SIP-Telefonie übertragen. Die n-1 eines Fernsehstudios zu einem Außenreporter wird gerne über einen solchen SIP-Codec übertragen. Diese Technologie bietet bei geringer Belastung der Bandbreite minimale Latenzen, anders als eine PCM-Audio Übertragung, die entweder längere Latenzen durch Pufferung oder eine dedizierte Netzwerkverbindung benötigt.

In anderen Fällen wird auch der Reporter selbst, wenn er z.B. nur zu hören sein muss, über den SIP-Codec an den MCR gesendet. Dies ist z.B. bei Sportkommentatoren oder für die Haveriesicherheit bei einer Live-Schalte eines Außenreporters nützlich, damit ein zusätzlicher Übertragungsweg zur Verfügung steht.

## **2.16 Betriebssicherheit**

Die technische Betriebssicherheit im Fernsehen umfasst die Gewährleistung eines störungsfreien und kontinuierlichen Betriebs der technischen Infrastruktur, die für Produktion und Ausstrahlung erforderlich ist. Hierbei ist die Ausfallsicherheit der Systeme von zentraler Bedeutung.

---

<sup>23</sup> [Dickreiter 2014] S.1072



Zur Betriebssicherheit tragen mehrere Faktoren bei:

- **Interne Redundanzen**, die Störungen von Komponenten und Komponententeilen abfangen.
- Durch den Einsatz von **Failover-Systemen** können Havarien von Anlagen oder Anlageteilen abgesichert werden.
- Über **Havarie-Workflows** kann der Betrieb bei Störungen organisatorischer Natur oder Störungen ganzer Funktionsbereiche aufrechterhalten werden.<sup>24</sup>

Beispielsweise kommen in der Übertragung von Live-Events, wie Sportereignissen oder Nachrichtensendungen, Backup-Sendewege, z.B. Satellitenverbindungen, zum Einsatz, um bei Ausfällen der Hauptverbindung einen nahtlosen Übergang zu gewährleisten. DSP-Karten von Mischpulten können redundant eingerichtet sein, sodass bei Ausfall einer DSP-Karte eine andere dessen Aufgabe übernimmt. Die Stromversorgung wird oft über doppelte Netzteile auf mehrere Stromkreise getrennt, sodass ein Stromausfall oder eine ausgelöste Sicherung die Geräte nicht antastet. Auch eine Anlage zur Unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) hilft, die Stromversorgung bei Stromausfall aufrecht zu erhalten.

## 2.17 Arbeitssicherheit

Für den Bau und Betrieb eines Ü-Wagens gilt es, die Regeln des Arbeitsschutzes einzuhalten. Die gesetzliche Unfallversicherung (VBG) beschreibt den vorschriftsmäßigen Ü-Wagen wie folgt:

„Auf- und Ausstiege müssen mit ausreichend breiten und tiefen, rutschhemmenden, nicht scharfkantigen Trittflächen, sowie zweckmäßig angebrachten Haltegriffen/Handläufen ausgestattet sein.

---

<sup>24</sup> [Kloth 2009] S.190

In den Innenräumen von Fahrzeugen muss mindestens ein kleiner Verbandkasten C nach DIN 13157 vorhanden sein. Der Aufbewahrungsort ist deutlich und dauerhaft zu kennzeichnen.

Die lichte Höhe über den Verkehrsflächen in den Betriebsräumen muss mindestens 1,90m betragen.

Bei gefangenen Räumen ist die Alarmierung im Gefahrenfall, zum Beispiel durch eine automatische Brandmeldeanlage, sicherzustellen oder es ist eine Sichtverbindung zum Nachbarraum zu gewährleisten. Als gefangene Räume gelten Räume, die keinen direkten Ausgang ins Freie haben oder nur über eine Tür eines Vorraums betreten werden können.“

Für Regie- und Produktionsarbeitstische gelten nach VBG die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Maße.

Fußboden bis Tischoberkante	790mm + 40mm
Beinraumhöhe (Tischunterkante bis Fußboden)	730mm
Beinraumtiefe	690mm
Knietiefe von der Tischvorderkante	540mm

*Tab.1: Maße für Regie- und Produktionsarbeitstische*

Gefordert wird:<sup>25</sup>

- Eine etwa 10cm tiefe Auflagefläche an der Tischvorderkante
- Eine 1m breite Bewegungsfläche zwischen Arbeits- und Regietischen
- Skriptablagen für alle Arbeitsplätze
- Ergonomische Anordnung von Monitoren und Bedienungselementen
- Einbauten in Kopfhöhe so einzubauen, dass weder im Sitzen noch beim Aufstehen eine Verletzungsgefahr durch Anstoßen besteht

---

<sup>25</sup> [VBG 2023]

- Vorstehende Kanten, Quetsch- und Scherstellen vermeiden oder abpolstern
- Bewegbare Teile mit Griffelementen und Arretierungen ausstatten
- Schubladen mit einer Arretierung ausrüsten, damit sie beim Fahren nicht aufgehen können
- Arbeitsstühle müssen DIN EN 1335 entsprechen und eine Arretierungseinrichtung muss während der Fahrt vorhanden sein

Für zum Beispiel Klein-SNG, bei denen die vorstehenden Vorgaben nicht einzuhalten sind, müssen für Kurzzeit-Arbeitsplätze folgende Mindestanforderungen erfüllt werden:

- Für Bearbeitungsplätze müssen eine verstellbare Sitzhöhe und ein angenehmer Kniewinkel ( $\geq 90^\circ$ ) gegeben sein
- Ein ausreichender Fuß- und Beinraum vor dem Bearbeitungsgestell muss gegeben sein
- Die Bedingungen für die Laptop-Aufstellung und Tastaturbedienung sowie die Betrachtungsabstände müssen bestmöglich gestaltet werden

Die Lufttemperatur sollte mindestens  $20^\circ\text{C}$  betragen, eine Lufttemperatur bis  $22^\circ\text{C}$  wird empfohlen. Bei Außentemperaturen bis  $26^\circ\text{C}$  soll auch die Innenlufttemperatur  $26^\circ\text{C}$  nicht überschreiten. Für alle eingebauten Materialien und Geräte sind die herstellerseitig vorgegebenen Betriebsparameter zu beachten – zum Beispiel<sup>26</sup>:

- Maximale Oberflächentemperaturen
- Beim Einbau einzuhaltende Abstände
- Betriebstemperaturen
- Erforderliche Lüftungsbedingungen
- Kühlung und Klimatisierung

---

<sup>26</sup> [VBG 2023]

Bei der Auswahl von Materialien, zum Beispiel Fußböden, textile Bezugstoffe, Wandverkleidungen, sind die Normen mit Anforderungen an die Brennbarkeit und das Brandverhalten von Materialien zu beachten: Fahrzeuge sind mit ausreichend Brandbekämpfungsmitteln auszustatten.

Für die Arbeitsräume wird folgende Ausstattung empfohlen<sup>27</sup>:

- In kleineren Nutzfahrzeugen: 2 kg Pulver- oder CO<sub>2</sub>-Löscher
- Für Pkw: mindestens ein 1 kg Pulverlöscher
- Für die Betriebsräume der Ü-Wagen: ein 5 kg CO<sub>2</sub>- oder zwei 2 kg CO<sub>2</sub>-Löscher und ein Schaumlöscher 6 l (elektrisch bis 1.000 Volt nichtleitend)

Der Gesetzgeber beschreibt in der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) vom 12.8.2004, die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 27.3.2024 geändert worden ist, in §6 die Maßnahmen zur Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen. Diese gelten auch für Arbeitsplätze im Ü-Wagen und in der Tonregie. Allgemein gilt, dass Bildschirmarbeitsplätze nach den Grundsätzen der Ergonomie zum Schutz der Gesundheit gestaltet werden müssen.

Der Arbeitgeber muss für regelmäßige Erholungszeiten sorgen, an denen die Arbeit am Bildschirm unterbrochen werden kann. Es ist ausreichend Raum für wechselnde Arbeitshaltungen und -bewegungen vorzusehen.

Die Bildschirme und Arbeitsflächen müssen frei von störenden Reflexionen und Blendungen sein. Die Beleuchtung des Raumes ist dementsprechend angepasst zu gestalten.

Die Arbeitsflächen sind so zu bemessen, dass alle Eingabemittel auf der Fläche variabel angeordnet werden können. Werden mehrere Bildschirme betrieben, sind diese ergonomisch anzuordnen und müssen frei dreh- und neigbar sein. Tastaturen müssen vom Bildschirm getrennte Einheiten sein. Die

---

<sup>27</sup> [VBG 2023]

Arbeitsmittel dürfen nicht zu einer erhöhten gesundheitlich unzutraglichen Wärmebelastung am Arbeitsplatz führen.

### 3. Methodik

Zur Erarbeitung der Inhalte wurden verschiedene Quellen aus dem Internet herangezogen, darunter wissenschaftliche Artikel, Fachzeitschriften und Online-Datenbanken. Diese wurden sorgfältig ausgewertet und mit eigenen Schlussfolgerungen angereichert.

Aus den im Internet veröffentlichten Daten deutscher Ü-Wagen-Dienstleister, wurden die für die Tonregie relevanten Informationen zusammengefasst. Nahezu alle Dienstleister lassen über ihre Firmen-Website ausführliche Daten über ihre Ü-Wägen finden. Die technische Ausstattung lässt sich mit den angegebenen Daten gut erkennen.

Die Informationen wurden nach folgenden Kriterien gesammelt:

- Mischpult
- Faderanzahl
- Pult DSP
- Zusatzpult
- Abhöre
- Dolby Encoder
- Kommandoanlage
- Zuspieler
- Aufzeichnung
- Effekte
- Stagebox
- Bildschirme
- VoIP/ ISDN-Codec
- Prüfpunkt

Wo anhand der Daten keine eindeutige Aussage über ein Kriterium getroffen werden konnte, wurde es mit einem Fragezeichen vermerkt. Ließ sich erkennen, dass in einer Kategorie keine Geräte oder Funktionalitäten vorhanden sind, wurde es mit einem Bindestrich vermerkt.

Die Daten lassen sich in der Tabelle „Tonregie Recherche“ im Anhang finden.

Im Folgenden werden drei Systeme genauer dargestellt, die jeweils sehr unterschiedlich sind und eine möglichst breite Übersicht über die analysierten Tonregien geben.

## 4. Systeme

### 4.1 System 1 - TV-Skyline Ü8

Der Ü8 der Firma TV-Skyline ist mit bis zu dreißig Arbeitsplätzen und dreißig Kameras ein sehr großer Ü-Wagen in Deutschland.

#### ***Technische Möglichkeiten***

Im Zentrum der Tonregie ist das Mischpult Lawo mc<sup>2</sup>56 mk2 mit 64 Fadern. In Kombination mit dem Nova73 HD Router werden 240 DSP Kanäle im Aufnahmemodus bzw. 480 DSP Kanäle im Sendemodus ermöglicht. Ausgestattet ist der Router mit 28 MADI Ports, über die Stageboxen und I/O im Ü-Wagen angebunden werden können. Über das Lawo VSM System im Ü-Wagen lassen sich viele Funktionen des Mischpultes fernbedienen und die Steuerung, in Kombination mit dem Videosystem, erleichtern.

Der Ü8 verfügt über sechs Stageboxen.



Abb.5: Lawo Nova73 HD Router

Zwei Dolby DP571 und zwei DP572 ermöglichen das Encoding und Decoding zwei verschiedener 5.1 Surround Programme. Zwei Windows-Rechner mit RME HDSPe MADI PCIe-Karte ermöglichen die Mehrspuraufzeichnung von zweimal 128 Kanälen. Ein Wohler Audio Controller kann als Prüfpunkt verwendet werden, um Videosignale und den eingebetteten Ton anzuzeigen.

### ***Kreative/ Klangliche Möglichkeiten***

Der Kanalzug eines Lawo Channelstrip besteht aus der Vorverstärkung, Panorama, Upmixer, Delay, HP/LP Filter, EQ, Insert-Punkt, Gate, Expander, Kompressor und Lautheitsmesser. Die Reihenfolge der Effekte im Kanalzug kann pro Kanal verändert werden. Das Mischpult ermöglicht Surround Mischungen durch Mehrkanal-Summen und geeignete Panning Algorithmen.

Als externe Effekt-Geräte sind das System 6000 und DB6 von T.C. Electronic verbaut. Das System 6000 bietet umfangreiche Möglichkeiten als Surround Hall-Gerät. Der DB6 ist ein Loudness Management System, welches die automatische Korrektur der Programmlautheit ermöglicht.

Zusätzlich können über zwei Windows-PCs Software-Plugins eingebunden werden. Hierfür wird die Software Liveprofessor verwendet.

### ***Interkom***

Es ist eine Riedel-Kommandoanlage mit zwei Artist-128 Frames verbaut. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit bis zu 256 Verbindungen in die Anlage herzustellen. Neben Riedel RCP Panels an jedem Arbeitsplatz im Ü-Wagen sind viele weitere Tischsprechstellen für eine externe Verwendung vorhanden. Zwei Kommentatoreinheiten von Riedel (CCP1016) ermöglichen die flexible Einbindung des Kommentators in die Kommandoanlage. Die Programmierung der Anlage wird über einen PC in der Tonregie, mithilfe der Riedel Director Software, umgesetzt.

Für drahtlose Kommunikation ist ein Riedel Bolero System an Board. Alternativ sind auch 24 einfache Handfunkgeräte von Motorola vorhanden. Diese sind mit vier Basisstationen (Riedel Riface) in der Tonregie mit der Kommandoanlage verbunden. Dadurch werden vier Simplex Funkkreise oder zwei Semi-Duplex Funkkreise in der Kommandoanlage ermöglicht.

### **Abhörumgebung**

Als Abhörlautsprecher sind Dynaudio Air 6 in 5.1 Surround Aufstellung vorhanden. Zwei K+H M51 sind als Zweitlautsprecher in Stereo Anordnung daneben platziert.

Die Tonregie ist ca. 12qm groß und hat eine gewöhnliche Deckenhöhe. Der Boden ist mit Teppich ausgelegt, die Wände in Holzoptik verkleidet. Allgemein ist wenig Fokus auf Raumakustik gelegt.

Zwei Monitore mit zwei 16-fach Multiviewern sind zur Übersicht über die Sendung vorhanden. Sie sind zwischen Center- und L/R-Lautsprecher platziert.

### **Betriebssicherheit**

Die meisten Geräte verfügen über zwei Stromanschlüsse. Der Lawo Router, der die Mischpult-DSP beinhaltet, ist auch mit einer redundanten Stromversorgung ausgestattet, wie auch einer redundanten Router Karte.

Bei einem Stromausfall ist der gesamte Ü-Wagen über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) bis zu 20min bei Volllast abgesichert.

Die Verwendung von zwei PCs zur Mehrspuraufzeichnung ermöglicht eine Redundanz.



## 4.2 System 2 - NEP Compact

Die Compact Serie von NEP Germany ist ein Klein-Ü-Wagen auf Transporter Basis. Ein einzelnes Fahrzeug mit Equipment-Anhänger kann relativ kompakt kleine Sendungen, mit bis zu vier Kameras, übertragen.

### **Technische Möglichkeiten**

Es steht das Mischpult Soundcraft „VI1“ mit 26 Fadern zu Verfügung. Dieses ermöglicht 64 Inputkanäle und 24 Mischbusse. Das Mischpult ist für Stereo Anwendungen ausgelegt. Eine zusätzliche RTW Messeinheit ermöglicht die Lautheitsmessung des Programms. Verteilt werden die Signale über Riedel Rocknet. Es steht eine Audiostagebox mit Rocknet Anbindung und zwei Mediornet Stageboxen mit Rocknet Kompatibilität zur Verfügung. Dolby-E Encoder und Decoder sind vorhanden.



Abb.6: NEP Compact1

### **Kreative/ Klangliche Möglichkeiten**

Ein Kanalzug des Soundcraft VI1 beinhaltet: Vorverstärkung, Delay, Panning, HP/LP Filter, EQ, Gate oder De-Esser, Kompressor oder Limiter und Panning. Zusätzlich ist das Mischpult mit vier Stereo Lexicon Effekt-Engines ausgestattet. Eine DAW mit Ableton Live kann als Zuspeler verwendet werden.

### **Interkom**

Zur Kommunikation ist eine Riedel Artist-32 Kommandoanlage verbaut. Darüber stehen fünf Sprechstellen im Ü-Wagen und vier externe

Sprechstellen, vier externe Vierdrähte und eine Riface Handfunk-Basisstation zur Verfügung.

### ***Abhörumgebung***

Der Klein-Ü-Wagen hat ein Einraum-System. Der Arbeitsplatz des Toningenieurs ist aufgrund des Platzmangels in Reihe mit den anderen Arbeitsplätzen. Die Abhöre ist nicht gezielt auf den Platz am Mischpult ausgerichtet, sondern allgemein auf die gesamte Breite des Raumes. Die beiden Genelec-Lautsprecher stehen in keiner korrekten Stereo-Aufstellung. Ein Abhören mit Kopfhörer ist möglich. Die Wände und die Decke des Ü-Wagens sind akustisch etwas optimiert. Mit Teppich an den Wänden und einer absorbierenden Deckenkonstruktion wird dem Klang etwas geholfen.

Ein Monitor vor dem Mischpult und der Blick zur Seite auf die Monitorwand der Bildregie erlaubt das Verfolgen der Sendung.

### ***Betriebssicherheit***

Ob der Ü-Wagen USV-abgesichert ist, ließ sich nicht eindeutig feststellen.

## **4.3 System 3 - Tonzauber MAP1**

Der MAP1 von Tonzauber unter der Leitung von Georg Burdicek ist ein Tonmobil, welches zur Unterstützung hochwertiger Tonproduktionen im Fernsehen zusätzlich zu einem weiteren Ü-Wagen genutzt wird.

### ***Technische Möglichkeiten***

Das Lawo Mischpult mc<sup>2</sup>36 mkII ist im Tonmobil MAP1 verbaut. Es ist relativ kompakt mit 32 Fadern und erlaubt 192 Inputkanäle bis 96kHz. Neben der verbauten Geräte, sind 1x MADI I/O, 12x Mic In, 16x Line In, 16x Line Out, 8x AES I/O frei verfügbar. Als Havarie Mischpult ist ein Lawo Crystal Controller mit

12 Fadern an Board. Eine Stagebox mit 32 Mic In und 32 Line Out, sowie MADI und 16 AES I/O, von Lawo, sowie sechs kompakte Lawo Amic 8, die variabel im Set platziert werden können, bieten genügend I/O. Für größere Signalübergaben steht ein directout Prodigy.MP zur Verfügung mit 2x MADI optical I/O+SRC, DANTE I/O+SRC, sowie 8 Mic/Line I/O.

Zur Aufzeichnung wird eine DAW mit 128/64 Kanälen (48/96kHz) mit wahlweise Pyramix, Nuendo, SADiE oder bei 64 Kanälen (48/96kHz) Protools angeboten. Alternativ stehen zwei Joco BLACKBOX Recorder BBR64-MADI mit jeweils 64 Kanälen bei 48kHz oder ein Tascam DA-3000 zur Stereoaufzeichnung zur Verfügung. Ein Dolby Encoder ist nicht verbaut.

### ***Kreative/ Klangliche Möglichkeiten***

Neben dem Lawo Kanalzug bietet das Tonmobil einen Quantec Yardstick 2496 - Surround Hall, das System 6000 von TC Electronics und einen Lexicon 960 Surround Hall.

### ***Interkom***

Zur Kommunikation sind zwei Riedel Sprechstellen verbaut, die an eine Riedel Kommandoanlage angeschlossen werden können. Zusätzlich sind sechs Handfunkgeräte an Board.

### ***Abhörumgebung***

Im Tonmobil ist eine 7.1.4 Abhöre vorhanden mit 2x Genelec 8350 (L/R), 10x Genelec 8010 (C, LS,RS,SL,SR,TFL,TFR,TSL,TSR) und 1x Genelec 7350 Subwoofer (LFE). Diese ist mit dem Lautsprecher Kalibrierungstool Trinnov Optimizer 12ch eingemessen. Für einen weiteren Aufnahmeleiter steht an einem zweiten Arbeitsplatz der Controller Anubis von Merging Technologies.

Dieser besitzt das Kopfhörer Kalibrierungstool Sound ID Reference. Es werden AKG K240 Kopfhörer angeboten.

Der Raum ist ca. 14,5qm groß und besitzt eine raumakustische Optimierung. Die Wand ist vollflächig mit Absorbern ausgestattet und wird von Lochplatten aus Holz gehalten. Auch die Decke ist ähnlich ausgestattet.

Ein 16-fach Multiviewer ermöglicht das Verfolgen der Sendung auf einem großen Fernseher mittig hinter dem Mischpult.

### ***Betriebssicherheit***

Die relevanten Systeme werden durch USV-Überbrückung gesichert. Ein zusätzliches Mischpult kann bei Mischpult-Ausfall die Sendung in Teilen übernehmen.

## **5. Zusammenfassung**

### **5.1 Gemeinsamkeiten**

Bis auf manche kleinen Ü-Wägen, die eher auf Kosteneffizienz und einfache Produktionen ausgelegt sind, sind nahezu alle untersuchten deutschen Ü-Wägen mit einem Lawo Mischpult ausgestattet. Es sind aber vielfältige verschiedene Konfigurationen und Modellreihen verbaut.

Als Stagebox wird oft das Lawo eigene System verwendet, aber auch die von Riedel entwickelte Mediornet Lösung ist verbreitet. Sie kombiniert viele Broadcast-relevante Formate, Video und Audio.

Eine weitere Technologie, die in den Tonregionen zu finden ist, sind Dolby-E Encoder bzw. für die immersive Dolby Atmos Produktion Dolby-ED2 Encoder. Die Übertragung von Dolby Strömen im SDI Videosignal ist aktueller Standard in der Signaldistribution.

Als Kommandoanlage finden sich in jedem untersuchten Ü-Wagen Produkte der Firma Riedel. Ob kleine Frames oder große Netzwerksysteme - Riedel ist weit verbreitet unter deutschen Broadcast Unternehmen. Der Einsatz von Sprechstellen und die Integration in die Kreuzschiene und Signalverteilung von Lawo Mischpulten ist sehr ausgereift und in vielen Workflows fest verankert. Die drahtlose Interkomlösung Bolero ist gerade auf den größeren Ü-Wägen immer anzutreffen. Das System erfreut sich großer Beliebtheit durch die Flexibilität und Robustheit der Übertragung. Gleichzeitig bleiben auch Handfunkgeräte in Benutzung. Für deren Integration in die Kommandoanlage werden Basisstationen verwendet, meist ein Riedel Riface.

In den meisten untersuchten Ü-Wägen waren SIP VoIP-Codecs verbaut, viele Tonregien sind auch noch mit ISDN-Codecs ausgestattet. Nicht bei allen Ü-Wägen ließ sich hierzu viel in den Daten auslesen.

Zuspielung und Aufzeichnung von Audiodateien werden meist über einen PC mit MADI Interface gelöst. Für gehobene Aufzeichnungsansprüche werden auch dedizierte Recorder verwendet, die z.B. einen MADI-Stream aufzeichnen können.

Für die Abhöre werden meist Nahfeldmonitore namhafter Hersteller verwendet. Hier ist kein Standard ersichtlich, doch ist hier selten mindere Qualität zu finden.

## **5.2 Unterschiede**

Große Unterschiede in den Systemen kommen hauptsächlich durch die unterschiedlichen Anwendungsbereiche der Ü-Wägen zustande. Ein Klein-Ü-Wagen ist kaum zu vergleichen mit den leistungsstärksten Modellen. Die Skalierung der Systeme im Bereich der zur Verfügung stehenden Kanäle und Koppelpunkte ist ein maßgeblicher Unterschied zwischen den Systemen.

Die Einbindung in das jeweilige Videosystem sieht bei allen untersuchten Tonregien unterschiedlich aus. Die Verwendung verschiedener Broadcast Control Systeme und unterschiedliche Signalketten sind hier zu finden.

Die zusätzlichen externen Effekte in den Tonregien sind sehr unterschiedlich gestaltet. In manchen Regien ist ein Waves Soundgrid Server vorhanden, andere nutzen Hardware Effekt, wie Hall-Geräte, wiederum andere haben gar keine externen Effekte verbaut. Auch die Nutzung von DAWs als Plugin-Host sind verbreitet.

Die Videomonitore, die Programm und Multiviewer anzeigen, unterscheiden sich auch sehr. Je nach Platzangebot und Kameraanzahl fällt es hier mal sehr üppig und mal sehr sparsam aus. Von einem einzelnen Monitor mit Programm bis hin zu vier Multiviewern und zwei Programm-Monitoren.

## 6. Entwicklung

Bei der Entwicklung eigener Systeme sind keine strengen Rahmenbedingungen als Vorannahme eingeflossen. Es handelt sich um einen Neuentwurf, auch Greenfield-Engineering genannt.<sup>28</sup> Keine vorhandene Infrastruktur oder andere externe Faktoren stehen dem Entwurf zur Grundlage. Es wird vielmehr der Best-Practice-Workflow der untersuchten, bestehenden Systeme übernommen und an einigen Stellen verändert.

Faktoren im Fokus sind<sup>29</sup>:

- Leistung
- Zukunftssicherheit und Anpassbarkeit
- Interoperabilität und Herstellerunabhängigkeit

---

<sup>28</sup> [Kloth 2009] S.59

<sup>29</sup> [Kloth 2009] S.49ff.

- Offene Schnittstellen
- Modularität und Skalierbarkeit
- Usability
- Haveriesicherheit

Die Konzeption der Raumakustik wurde nicht entwickelt, da jede praktische Umsetzung andere lokale Herausforderungen hat. Die Empfehlungen aus dem Kapitel Raumakustik sind aber allgemein anzuwenden und geben einen Leitfaden zur Optimierung der Akustik vor allem in kleinen Räumen.

Die dargestellten Systeme wurden nicht in der Praxis erprobt und ein Testaufbau fand nicht statt. Es handelt sich um ein theoretisches Konzept, welches in der Folge erprobt werden müsste. Einschränkungen in der Kompatibilität können somit nicht ausgeschlossen werden.

## 6.1 Budget Ü-Wagen

Bei der ersten Entwicklung sind die Kosten für das Projekt von zentraler Bedeutung. Der immer größer werdende Bedarf an Livestreams, auch im Consumer-Bereich, wirft die Frage auf, wie günstig eine Livestream Produktion umgesetzt werden kann. Deshalb ist die erste Entwicklung eine Low-Budget Tonregie, in der es weniger um Zukunftsfähigkeit und Useability geht. Die Kosteneffizienz steht im Vordergrund.

Am Anfang der Entwicklung steht die Annahme, das System um das Behringer Wing Mischpult herum zu bauen. Behringer ist für seine günstigen Mischpulte bekannt und hat 2019 mit dem Wing ein äußerst leistungsstarkes und flexibles Mischpult in seiner Preisklasse herausgebracht.

Mit 48 Stereo Kanalzügen und 28 Stereo Bussen hat das Mischpult genügend DSP für kleine bis mittlere Sendungen und Shows. Mit 24 Fadern, einem Touchdisplay und diversen Drehgebern ist das Pult gut gerüstet. Der interne Workflow erlaubt Stereo-Produktionen. Für mehrkanalige Formate ist

das Mischpult nicht geeignet. Mit der vorhandenen Bus-Struktur ist ein Workaround zu Surround möglich, aber nicht praktikabel.

Das nötige Loudness Metering für eine Fernsehproduktion ist auch nicht nativ vorhanden. Hier kann ein externes Messgerät Abhilfe schaffen. Das RTW TM-3 Primus bietet für Stereoproduktionen Lautheits-Messungen nach EBU R128 an.

Für die externe Anbindung nutzt Behringer das AES50 Protokoll, welches Punkt-zu-Punkt den Austausch von 32 bidirektionalen Kanälen erlaubt. Dieses proprietäre Format findet außerhalb der firmeneigenen Produkte kaum Verwendung. Eine Dante-Karte im Erweiterungs-Slot des Mischpultes bietet an dieser Stelle einen weit verbreiteten Standard.

Folgende Geräte werden für das Konzept benötigt:

Behringer Wing	3345 €
Dante Karte	569 €
Stagebox Behringer S32	999 €
Stagebox Behringer S16	548 €
Klark Teknik DN9620	1731 €
RTW TM-3 Primus	500 €
2x Genelec 8030	1100 €
IK Multimedia ARC Studio	290 €
Mac Mini M2 512GB	1300 €
Ferncast aixstream SIP Software	750 €
Liveprofessor Software	99 €
Glensound EXPRESS ip MINI Compact	1.600 €
APC Smart UPS 450VA	350 €
<b>Summe</b>	<b>13181 €</b>

*Kabel und Netzwerk-Switche sind nicht aufgeführt.*



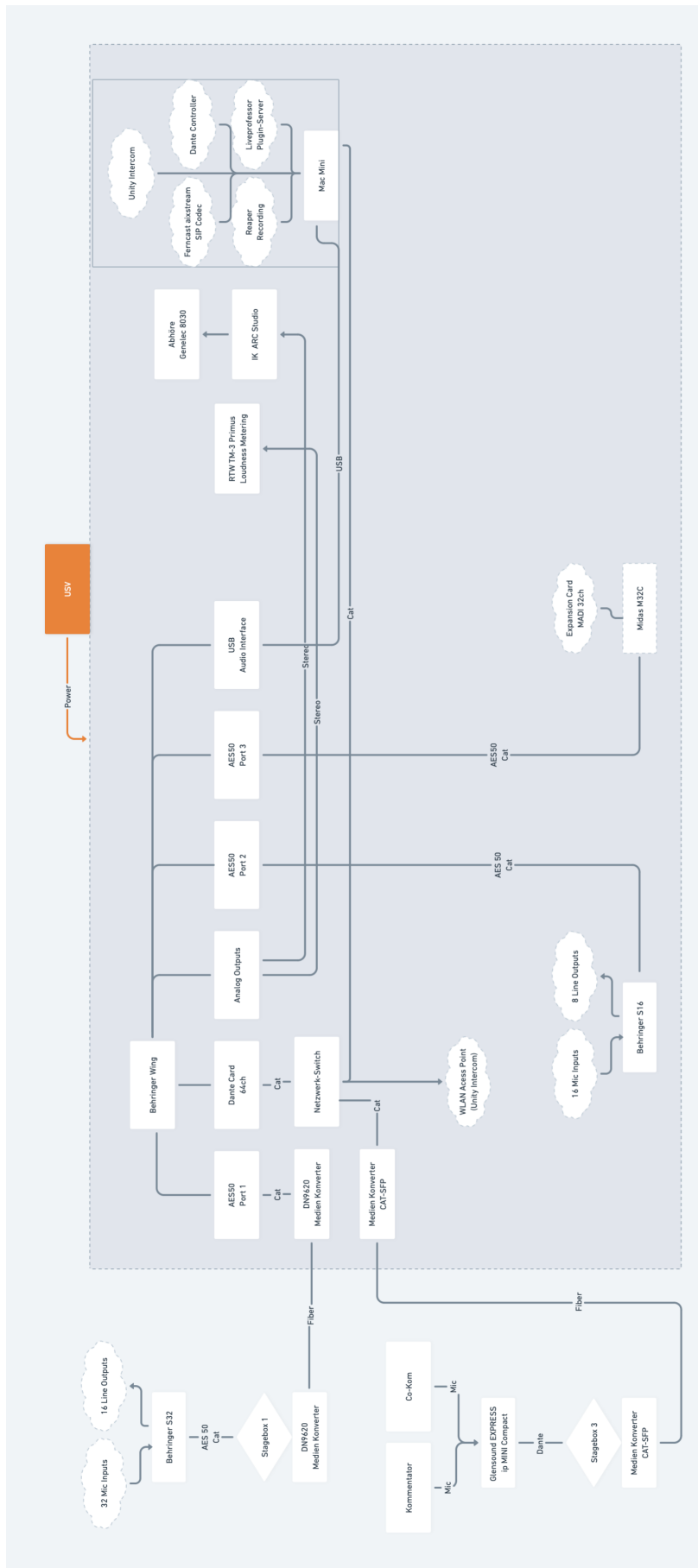


Abb.7: Signalfluss Tonregie Budget Ü-Wagen

Die Anbindung weit entfernter Stageboxen über Glasfaserkabel ist mit dem AES50 Protokoll, mit günstigen IP-Medienkonvertern, nicht möglich. Es wird ein spezieller Wandler angeboten, der das Signal wandeln kann. Der Klark Technik DN9620 ist leider nicht besonders preiswert, aber ermöglicht die Verkabelung von AES50 Stageboxen, wie der Behringer S32 über 500m Entfernung.<sup>30</sup>

Desweiteren kann über das Dante Netzwerk z.B. eine IP-fähige Kommentatoren Einheit, wie die Glensound EXPRESS ip MINI Compact eingebunden werden. Diese bietet zwei Kommentatoren Platz und ermöglicht die Einbindung in die Kommandoanlage über Dante.

Für ausreichend lokale Schnittstellen, z.B. an das Videosystem für Kameraton, Zuspieler und Signalübergabe, kann eine Behringer S16 verbaut werden. Auch die Verwendung von 32-Kanälen MADI ist über die AES50 Verbindung möglich, wenn ein MIDAS M32C mit MADI Erweiterungskarte angeschlossen wird. Diese ist in der exemplarischen Kostenaufstellung nicht enthalten (optional). Geeignete, wenn auch nicht die günstigsten Abhörlautsprecher, sind die Genelec 8030. In Kombination mit dem IK Multimedia ARC Studio ist hierfür noch eine latenzfreie Raumkorrektur möglich.

Ein Mac Mini soll als vielseitige Software Schnittstelle genutzt werden. Über die USB-Verbindung zum Mischpult sind 48x48 Kanäle übertragbar. Mit der Liveprofessor Software ist die Einbindung von Effekt Plugins möglich. Das Dante Netzwerk lässt sich auch über den Dante Controller verwalten. Eine Mehrspur-Aufzeichnung kann in der DAW Reaper realisiert werden. Für VoIP Verbindungen zum Schaltraum oder für externe Reporter kann mit der Ferncast aixstream SIP Software eine SIP Verbindungen realisiert werden.

Ein Nachteil des Systems ist sicher das proprietäre AES50-Format, welches nicht herstellerunabhängig ist und dadurch keine Zukunftssicherheit gewährleistet. Auch die Interoperabilität mit anderen professionellen Systemen

---

<sup>30</sup> [DN9620]

ist mit diesem System beschränkt. Das System ist nicht nativ ST2110-fähig. Nur über Dante ließen sich einige Verbindungen in die Audio-over-IP Welt erstellen.

Das Mischpult bietet keine Broadcast spezifischen Optimierungen, wie AfV-Automatisierung oder n-1 Mischung. Eine Einbindung in Broadcast-Control Systeme, wie EVS Cerebrum, LAWOWSM oder Hi Human Interface ist nicht unterstützt.

Für die Kommandoanlage:

<b>Unity Intercom</b>	
Mac Mini	1300 €
Unity Base License	550 €
10 User License	866 €
I/O License	215 €
WLAN Access Point	100 €
<b>Summe</b>	<b>3031 €</b>

Eine kostengünstige Kommandoanlage mit professionellen Ansprüchen ist schwer zu finden. Das Anwendungsgebiet ist sehr spezialisiert und somit auch ziemlich teuer.

Unity Intercom bietet eine alternative Lösung für etwas günstigere Preise. Anstelle von Sprechstellen ist das System softwarebasiert und läuft komplett auf Smartphones, Tablets und PCs. Die Endgeräte sind somit meist leicht verfügbar. Über eine App kann man sich in die Kommandoanlage einloggen und erhält seine nötigen Kommandokanäle. In einem Wifi Netz verbunden, kann der selbst aufgesetzte Server die Endgeräte verwalten. Über ein Headset am Endgerät verhält sich dieses wie eine Sprechstelle. Die Sprach-Kanäle lassen sich über den Touchscreen auswählen.

Dieses System ist natürlich auch anfällig für Ausfälle. Der Akkubetrieb der Geräte, falsche Einstellung oder Wifi Ausfälle können das System schnell behindern.

## 6.2 zukunftsfähiger Ü-Wagen

Für die zweite Entwicklung sollen die Kosten primär keine Rolle spielen. Es wird eine Tonregie erstellt, die allen aktuellen Standards gerecht werden kann und zukunftsfähig ist. Die modulare Erweiterbarkeit steht im Fokus. Dabei ist Herstellerunabhängigkeit in den Formaten und Protokollen wichtig, genau wie aktuelle Standards. Somit soll das System weitestgehend IP-basiert sein.

Die Analyse der aktuellen Systeme in Deutschland soll als Grundlage für die Entwicklung dienen, um bewährte Workflows und Systemdesign-Prinzipien beizubehalten.

Folgende Geräte sind in dem Konzept enthalten:

Lawo mc2 56 mk3
Lawo A_UHD Core
Lawo A_stage 64
Lawo A_digital 64
Dolby DP590,591,580
Genelec 8331 AP 9x
Genelec 7350 APM
Trinnov D_Mon
2 leistungsstarke PCs
2 RME HDSPe MADI
GlenSound Express ip MKII
Waves Superrack Livebox
USV APC Smart-UPS 1500VA

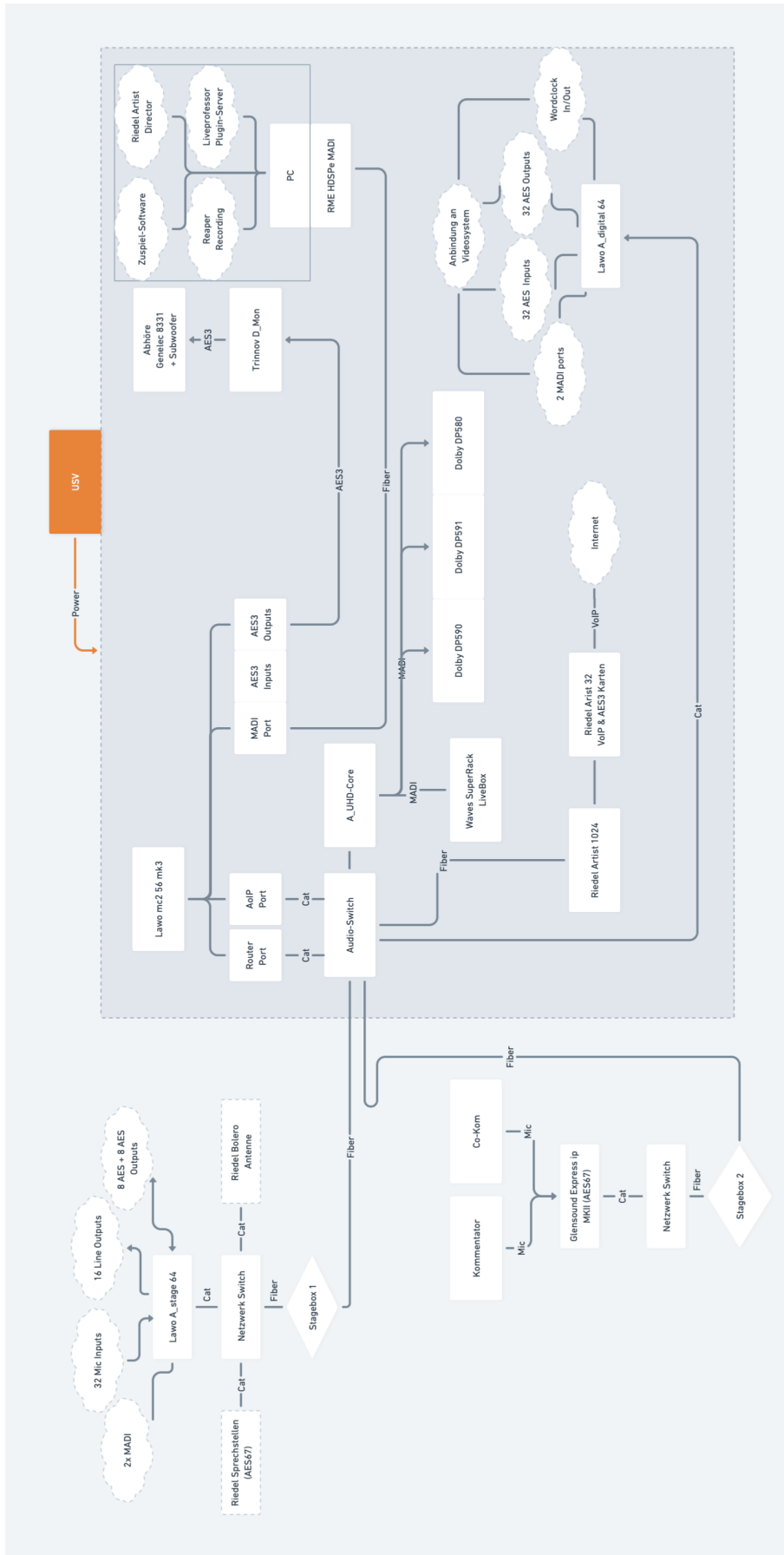


Abb.8: Signalfuss Tonregie zukunftsfähiger Ü-Wagen

Im Herzen der Tonregie steht die Lawo mc2 56 mk3. Diese bietet eine große Offenheit für herstellerunabhängige Formate und offene Standards. Das Pult lässt sich wunderbar mit dem Broadcast-Control-System Lawo VSM und auch von anderen Herstellern fernsteuern und verwalten. Als Steuerprotokoll wird das Ember+ Protokoll verwendet, welches öffentlich zugänglich ist und von vielen Herstellern im Broadcast Bereich implementiert wird.

Eine nahtlose Verbindung kann zu allen gängigen professionellen Videosystemen hergestellt werden. Ein Lawo A\_UHD Core bietet flexible DSP Optionen. Im Lizenzmodell lässt sich die DSP des Systems skalieren. Mit Ravenna als Audio-over-IP Schnittstelle ist das System sowohl AES67 konform, als auch Dante-fähig. Es bietet für den neusten Video-IP-Standard ST2110-30 und ST2110-31 eine komplette Kompatibilität und Implementierung an.

Die Dolby DP590 Reihe sind die aktuellen Encoder und Decoder für die Dolby ED2 Produktion, das Produktionsformat für Dolby Atmos.

Die Anbindung von Stageboxen sind, da das Übertragungsprotokoll TCP/IP nutzt, wunderbar kombinierbar mit anderen IP-Strömen, wodurch flexible Verbindungsmöglichkeiten entstehen.

Für aktuelle immersive Mischformate, wie Dolby Atmos, bietet das Pult einen guten Mehrkanal-Workflow mit allen nötigen Funktionen an.

Die Tonregie ist deshalb auch im 5.1.4 Format mit Lautsprechern ausgestattet. Diese sind aufgrund der oft schwierigen Raumakustik über den Trinnox D\_Mon gesteuert, sodass eine Raumkorrektur für alle Lautsprecher ermöglicht wird.

Für externe Effekte kann die Waves Superrack Livebox genutzt werden - ein Plugin Server für VST3 Software Plugins. Die Integration in das Lawo mc2 56 mk3 ist durch Presets in den Pult-Snapshots besonders einfach.

Ein leistungsstarker Computer mit einer RME HDSPe MADI PCIe-Karte kann viele weitere software-basierte Aufgaben lösen. Mehrspuraufzeichnung bis zu

128 Kanälen oder Zuspielung sind kein Problem. Ein zweiter PC kann als Backup System hilfreich sein.

Die Absicherung der Tonregie ist zwingend mit einer USV zu gewährleisten. Beispielsweise wurde die APC Smart-UPS 1500VA gewählt.

Für die Kommandoanlage:

Riedel Artist 1024
Riedel Artist 32
Riedel VoIP Karte
3x Riedel AES3 Karten
3x Riedel Bolero Antenne
8x Riedel Bolero Beltpack
3x Riedel Riface G2

Der Hersteller Riedel ist aktuell Marktführer für Kommandoanlagen und bietet ein breites Spektrum an Lösungen an. Die Verbreitung der Riedel-Technik in Deutschland ist für Interoperabilität ein Grund, auf ein solches System zu setzen. Die neusten AES67 IP-Sprechstellen sind im Zusammenspiel mit dem AES67 Audio-Netzwerk wunderbar geeignet. Dafür lohnt sich die zentrale Einheit Artist-1024, welche skalierbar und modular auf die IP-Übertragung setzt. Für aktuell weiterhin verwendete ältere Formate ist ein weiterer Artist-32 Frame sinnvoll, um Riedel VoIP Karten und AES3-Karten für die Verbindung von AES3-Sprechstellen und Kommandos zu Schalträumen zu gewährleisten.

Das drahtlose Bolero System ist für seine robuste Übertragung bekannt und von aktuellen Großveranstaltungen kaum noch wegzudenken.

Die Riface Basisstationen sollen zusätzlich den Gebrauch von Handfunkgeräten und die Einbindung dieser in die Kommandoanlage ermöglichen.

## 7. Fazit

Diese Arbeit untersuchte die Tonregien deutscher Übertragungswagen (Ü-Wagen) für TV-Produktionen und hat Gemeinsamkeiten, sowie Unterschiede herausgearbeitet. Die Unterschiede in den Tonregien lassen sich meist durch den spezifischen Einsatzzweck der Ü-Wägen erklären, wobei die Skalierung der verfügbaren Kanäle und Anschlusspunkte als Hauptunterscheidungsmerkmal gilt. Gemeinsam ist den Systemen die Nutzung von Lawo-Mischpulten und Riedel-Kommandoanlagen. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurden sowohl ein kostengünstiges als auch ein zukunftssicheres System entwickelt, welche den Anforderungen an die Fernseh-Tonregien entsprechen.

Diese konnten leider nicht erprobt werden und sind somit mit einer gewissen Vorsicht zu verwenden. Eine nötige Anpassung nach Praxistests ist nicht auszuschließen.

Die verwendeten Daten aus der Online-Recherche waren nicht immer aktuell. Ob ein System zum Zeitpunkt der Arbeit noch so in Verwendung war, wie es von den Betreibern beschrieben wurde, ist nicht sicher. Leider entstanden durch die Online-Recherchen auch einige Datenlücken zu interessanten Vergleichspunkten. Diese konnten somit nicht ausgewertet werden, weil in den öffentlichen Informationen nicht detailliert genug auf manche Gesichtspunkte eingegangen wurde. Persönliche Informationen der Ü-Wagen-Firmen wären hier stärker belastbar und auswertbar gewesen. Den persönlichen Kontakt habe ich schließlich auch wegen Bedenken der Betriebsspionage und Wettbewerbsvorteilen nicht gewählt.



## Literaturverzeichnis

[ArbStättV]: Bundesamt für Justiz: „Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 27. März 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 109) geändert worden ist“, [https://www.gesetze-im-internet.de/arbst\\_ttv\\_2004/BJNR217910004.html](https://www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/BJNR217910004.html), abgerufen am 19.09.24

[Dickreiter 2014]: Dickreiter, Michael; Dittel, Volker; Hoeg, Wolfgang; Wöhr, Martin: „Handbuch der Tonstudioteknik“, De Gruyter Saur, 2014

[Dolby 2017]: Dolby Laboratories: „Dolby DP590 Broadcast Audio Object Authoring“, März 2017

[DN9620]: [https://www.musicstore.de/de\\_DE/EUR/Klark-Teknik-DN9620-AES50-Extender-Multiplexer/art-PAH0018773-000](https://www.musicstore.de/de_DE/EUR/Klark-Teknik-DN9620-AES50-Extender-Multiplexer/art-PAH0018773-000), abgerufen am 19.09.24

[EBU R128]: European Broadcast Union: „Lautheitsaussteuerung, Normalisierung und zulässiger Maximalpegel von Audiosignalen“, September 2011

[EBU Tech 3276]: European Broadcasting Union: „Listening conditions for the assessment of sound programme material“, May 1998

[EBU Tech 3276s1]: European Broadcasting Union: „Listening conditions for the assessment of sound programme material“, supplement 1, May 2004

[Emmott 2023]: Emmott, Kevin: „Audio For Broadcast: Synchronization“, Dezember 2023, <https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/20119/audio-for-broadcast-synchronization>, abgerufen am 19.09.24

[IBP 1994]: J. Hunecke, H.V. Fuchs, F. Thein: „Einsatz von Membran-Absorbern in einem Übertragungswagen“, IBP-Mitteilung 260, 1994

[IEEE 1990]: The Institute of Electrical and Electronics Engineers: „IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology“, 1990

- [ITU-R BT.1359-1]: ITU Radiocommunication Assembly: „Relative timing of sound and vision for broadcasting“, 1998
- [ITU-R BS.1116-3]: International Telecommunication Union: „Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems“, Feb 2015
- [Kern 2017]: Kern, Sebastian: „Optimierung der Abhörbedingungen in einem Übertragungswagen“, Master-Thesis, Technische Universität Berlin, 2017
- [Kloth 2009]: Kloth, Christoph: „Systemgestaltung im Broadcast Engineering“, Dissertation Technische Universität Ilmenau, Vieweg + Teubner Verlag, 2009
- [NAB 1999]: Whitaker, Jerry; Elliott, Janet H.; Brown, Courtenay Smith: „National Association of Broadcasters Engineering Handbook“, 9th Edition, National Association of Broadcasters, 1999
- [Ravenna 2024]: <https://www.ravenna-network.com/smp-te-2110-and-audio/>, abgerufen am 19.09.24
- [Riedel 2024]: <https://www.riedel.net/de/produkte-loesungen/intercom/bolero-wireless-intercom>, abgerufen am 19.09.24
- [TIA-598 C]: Telecommunications Industry Association: „Optical Fiber Cable Color Coding, TIA-598 C“, January 2005
- [TPRF 2016]: Institut für Rundfunktechnik: „Technische Produktionsrichtlinien zur Herstellung von Fernsehproduktionen für ARD; ZDF und ORF“, November 2016
- [VBG 2023]: VBG: „Arbeitssicherheit in Übertragungsfahrzeugen Fernsehen, Hörfunk und Film“, Version 2.0, Februar 2023
- [Weinzierl 2008]: Weinzierl, Stefan: „Handbuch der Audiotechnik“, Springer-Verlag, 2008

# Tabelle Tonregie Recherche

Ü-Wagen	Mischpult	Faderanzahl	Pult DSP	Zusatzpult	Abhöre	Dolby Encoder	Kommandoanlage	Zuspieler	Aufzeichnung	Effekte	Stagebox	Bildschirme	VoIP/ ISDN-Codec	Prüfpunkt
NEP UHD24	LAWO mc56	40+8	?	LAWO Crystal 187	Genelec 5.1	Dolby E + Dolby Atmos	Riedel Artist 128+64+Bolero	PC Ableton Live	?	?	2x Lawo Audio + 3x Medionet	5x4 Multiview + 3x PGM	2x Riedel Connect Trio+?	Wohler Audio Controller
NEP HD6	LAWO mc56 MK2	32+16+16	192 Ch	-	Genelec 5.1	2x Dolby E	Riedel Artist 128	PC Ableton Live	?	?	3x Lawo Audio + 3x Medionet	3x3 Multiview + 2x PGM	?	?
NEP HD2	LAWO mc56	40+8	360 Ch	-	Genelec 5.1	2x Dolby E	Riedel Artist 128	PC Ableton Live	?	?	3x Lawo Audio + 2x Medionet Compact Pro	?	?	?
NEP Compact	Soundcraft V11		26 64in / 24bus	-	Genelec 2.0	Dolby E	Riedel Artist 32	PC Ableton Live	?	?	1x Rocketnet + 1x Medionet Compact Pro + 1x Medionet Micron	1x PGM	?	?
NEP S8er HD	Soundcraft V11		26 64in / 24bus	-	Genelec Stereo	?	Riedel Artist 32	PC Ableton Live	?	?	1x Rocketnet + 2x Medionet Compact Pro	3x3 Multiview + 1x PGM	?	?
NEP S8er UHD	LAWO MC36		24 ?	-	Genelec 5.1	?	Riedel Artist 64	PC Ableton Live	?	?	1x Lawo Audio + 2x Medionet Compact Pro	3x3 Multiview + 1x PGM	?	?
Studio Berlin Ü2	LAWO mc2 66	?	Nova 73 Core	-		5.1, Dolby E (Lawo)	Riedel Artist 128	Teatro System	Nuendo Live	?	3x Audio	2x 42" Sony	4x SIP Codecs	?
Studio Berlin Ü8	LAWO mc2 66		56 LAWO Routermodul mit 3072 x 3072 Koppelpunkten	-		5.1, ?	Riedel Artist 128+Bolero	R.O.S Software Teatro 3 und Teatro 4 hp Mini-PC + RME Madiface XT	?	2x SoundGrid Extreme Server-C (voll redundant, Waves Mercury Lizenz, Waves SSL Lizenz)	4x Lawo a_stage 48	?	2x AVT Magic AC1 XIP FM 2x VoIP-Riedel Karte	?
Studio Berlin Ü9 UHD	LAWO mc56	16+16+16	Nova 73 Router MK II	-	?	?	Riedel Artist 128+128	?	?	Waves Soundgrid Platinum	6x Audio	?	„Riedel und AVT“	?
Studio Berlin Ü10 UHD	LAWO mc56 MK III	32+16C+16	LAWO Nova 73 compact + 2x LAWO UHD Core (voll redundant) DSP-768	LAWO mc36 MK II	„5.1“	Div Dolby	3x Riedel Artist-128 + Bolero	R.O.S Software Teatro 3 und Teatro 4 hp Mini-PC + RME Madiface XT	?	2x SoundGrid Extreme Server-C (voll redundant, Waves Mercury Lizenz, Waves SSL Lizenz)	8x LAWO a_stage80	3x 3x3 Multiview + mind. 2x. PGM	4x AVT Magic AC1 XIP FM 4x VoIP-Riedel Karte	?
TV-Skyline Ü1	Soundcraft V11		26 32in / 24out	-	2.0	Dolby E	Riedel Artist 64	?	?	?	?	Blick auf Regie	2x Prody's Prontonet + 1x Riedel Trio Connect + 1x Mayah Centauri 2000	?
TV-Skyline Ü7	Lawo MC'66 MKII		56 HD Core MC'66 Router + 240 DSP Kanäle im Aufnahmehmodus + 480 DSP Kanäle im Sendemodus Redundant	-	Dynaudio Air 6 5.1	2x Dolby E	Riedel Artist 128+128+Bolero	PC	2x128Ch PC	T.C. Electronic System 6000 + Limiter, T.C. Electronic DB6 (	5x	2x 4x4 Multiview	?	Wohler audio controller
TV-Skyline Ü8	Lawo MC'56 MKII		64 HD Core Nova 73 Router, redundant + 240 DSP Kanäle im Aufnahmehmodus + 480 DSP Kanäle im Sendemodus	-	Dynaudio Air 6 5.1	2x Dolby DP571 + 2x DP572	Riedel Artist 128+128+Bolero	PC	2x128Ch PC	T.C. Electronic System 6000 + Limiter, T.C. Electronic DB6 + Liveprofessor	6x	2x 4x4 Multiview	?	Wohler audio controller
TV-Skyline Ü9	Lawo MC'56 MKII		48 HD Core Nova 73 Router, redundant + 240 DSP Kanäle im Aufnahmehmodus + 480 DSP Kanäle im Sendemodus	-	Neumann 5.1	Dolby E	Riedel Artist 128+128+Bolero	PC	2x128Ch PC	Waves Soundgrid	?	2x 4x4 Multiview	?	Wohler audio controller
TV-Skyline Ü11	Lawo MC'56 MKII		64 HD Core Nova 73 Router, redundant + 240 DSP Kanäle im Aufnahmehmodus + 480 DSP Kanäle im Sendemodus	-	Dynaudio 5.1 Abhörsystem	Dolby E	Riedel Artist 128+128+Bolero	PC	2x128Ch PC	Waves Soundgrid Extreme + Limiter, T.C. Electronic DB6	6x	2x 4x4 Multiview (große)	2x8ch VOIP + 8Codecs	Wohler audio controller
TV-Skyline Ü12	Lawo MC'36 MK neu		32 256dsp ch = 160 channel + 96aux - 864 ch I/O	-	Genelec 5.1.4	Dolby en und Decoder (dp571/2?)	Riedel Artist ??? + Bolero	PC	2 x 128 Kanal Mehrspuraufzeichnung	2 x DAW Workstation mit Plugin Effektdatenbanken	3x Lawo A_Line + Dante	2x 4x4 Multiview	1 x DAW mit bis zu 12 SIP Codec Verbindungen + 2x AVT MAGIC ACiP3	Wohler audio controller
TNV OB8	Lawo MC'56 MKIII		64 Lawo + DirectOut Prodigy.MP	Ja zweite TRG, mc2 36 MK2	Neumann 5.4.1 - kalibriert	Ja	Riedel Artist ??? + Bolero	PC	PC	Software	?	2x PGM + 4x 8x8 MV	?	Wohler audio controller
TVN Ü7	Lawo MC'36 MKI		32 ?	Ja	Neumann 5.1	Dolby en und Decoder (dp571/2?)	Riedel Artist ??? + Bolero	?	?	Hardware und Software Plug In-Effekte in Stereo und Mehrkanalton	?	2x 4x4 Multiview + 1x PGM	Ja, neueste Hardware IP Codecs	?
TVN Ü6	LAWO MC2 96		56 ?	Yamaha CL3 ?	Neumann 5.4.1	2x Dolby DP571 + 2x DP572 + DP570 Multichannel Audio Tool	Riedel Artist ??? + Bolero	Teatro System	?	2x Waves Soundgrid Extreme + Hardware Limiter	?	4x 4x4 Multiview + 2x PGM	2x Riedel Connect Trio + OPHCodec 7600 + 2 weitere Codecs	?
TVN Ü5	LAWO MC2 66 MK2		?	?	?	?	Riedel Artist ??? + Bolero	?	?	Hard- und Software Plug-In Effekte in Stereo und Mehrkanalton	?	?	Telefonhybride + neueste Hard- und Software IP Codecs	?
rt1 HD7	LAWO mc56 MKII	16+16	96ch, Lawo HD-Core mit 8192 Koppelpunkten	?	Genelec 5.1	Dolby E De/ Encoder	Riedel Artist 128	?	?	Yamaha SPX2000, weiter Effectgeräte auf Anfrage	3x Riedel Medionet	2x 3x3 Multiview + 1x PGM	2 x ISDN Codec Mayah Centauri 3001 3. ISDN Codec Musictaxi Dialog4 2 x Glensound GSM Hybrid 2 x Telos Telefonhybrid	Wohler audio controller
rt1 HD6	Lawo MC'56 MKI		32 96 bzw 192 DSP	-	Genelec 5.1	Dolby E De/ Encoder	Riedel Artist 128 + Bolero	?	?	Yamaha SPX2000, weiter Effectgeräte auf Anfrage	3x Riedel Medionet (2x mit jeweils 32 Mic/Line in, 16 Line out)	2x 3x3 Multiview + 1x PGM	1x Riedel SIP-Karte 1x AVT Magic ACiP3 (4 Kanäle) 2x Glensound GSM Telefonhybrid 2x ISDN Codec Maya Centauri	?
rt1 HD5	Yamaha DM2000		25 96ch	?	2 x K&H O110	?	Riedel Artist 64	?	?	?	2x Rocketnet	1x 10fach Multiview	2 x ISDN Codec Mayah C1161 2 x Glensound GSM Hybrid 2 x Telos Telefonhybrid	?
rt1 HD3	Yamaha DM1000		17 48ch	?	2x Genelec 1029	?	Riedel Artist 32	?	?	?	1x Riedel Medionet	?	2 x ISDN Codec Mayah C1161 2 x Glensound GSM Hybrid 2 x Telos Telefonhybrid	?
EMG Sirius 301	Lawo MC56 MK3	48+16	UHD Processor Core DSP 512 Channel	?	5.1 ADAM S3A & S1A / 5 / Sub	Encoder/ Decoder/DolbyE	Riedel Artist ??? + Bolero	PC	PC	TC M6000	3 Stageboxes 40MicN/ 20LineOUTBAESI/ O/ 1 Madi 64	?	var. Codecs	?
Tonzauber MAP1	Lawo Mc2 36MKII		32 192 Mischkanäle bei 48 und 96 kHz	Lawo Crystal 12 Fader	2x Genelec 8350 (L/R) + 10x Genelec 8010 (C, LS,RS,SL,SR,TFLT,FR,TSLSR) 1x Genelec 7350 Subwoofer (LFE) Trinnov Optimizer 12ch	-	Einzelne Panels	DAW mit 128/64 Kanälen (48/96kHz) wahlweise Pyramix, Nuendo, SADIE oder mit 64 Kanälen (48/96kHz) Protocols, 1TB SSD-Raid 1 2x Joeco BBR64MADI 1x Tascam DA-3000	DAW mit 128/64 Kanälen (48/96kHz) wahlweise Pyramix, Nuendo, SADIE oder mit 64 Kanälen (48/96kHz) Protocols, 1TB SSD-Raid 1 2x Joeco BBR64MADI 1x Tascam DA-3000	Quanteq Yardstick 2486 TC 6000 Lexicon 960	1x Lawo Compact I/O mit 32 Mic In, 32 Line Out, 32 Madi optical I/O, 16 AES I/O 6x Lawo Amic 8 mit 8 Mic In, 4 Line Out 1x directout Prodigy.MP mit 2x MADI optical I/O+SRC, DANTE I/O+SRC, sowie 8 Mic/Line I/O	1x 16fach Multiview	-	-
0221 Ü1	Allen&Heath SQ6		25 48in 12out	?	Stereo	?	Riedel Artist 32 + Bolero	?	?	?	2 x Stagebox über Glasfaser	1x 24" PGM + 1x 27" PGM	SIP Codec	?
0221 Ü2	Allen&Heath DLive S7000		36 128in 64out	?	Stereo	?	Riedel Artist 128 + Bolero	?	?	?	2 x Stagebox über Glasfaser	?	SIP Codec	?
Schmidton Tonmobil 01	Lawo MC'56 MKI		32 1x Lawo Nova 73	?	5.1 KH O300 + Stereo KH O110	?	Riedel Artist ?	PC	Pro Tools HD (Avid) + 3x BBR64 (Joeco) + Nuendo (Steinberg)	M7 Stereo (Bricast) + DNS1000 (Cedar) + Automixer (Dan Dugan)	4x Lawo Dalis	1x PGM	2x Quantum Duo (Prody's) + Centauri (Maya)	?

## Quellenverzeichnis zur Online Recherche

**NEP UHD24:** <https://nep-germany.de/UHD-24.html>

**NEP HD6:** <https://nep-germany.de/HD-6.html>

**NEP HD2:** <https://nep-germany.de/HD-2.html>

**NEP Compact:** <https://nep-germany.de/COMPACT.html>

**NEP S8 HD:** <https://nep-germany.de/HD-S8-31.html>

**NEP S8 UHD:** <https://nep-germany.de/HD-S8-36.html>

**Studio Berlin Ü2:** [https://www.studio-berlin.de/wp-content/uploads/2023/05/sb\\_datenblatt\\_Ue2.pdf](https://www.studio-berlin.de/wp-content/uploads/2023/05/sb_datenblatt_Ue2.pdf)

**Studio Berlin Ü8:** [https://www.studio-berlin.de/wp-content/uploads/2023/07/sb\\_datenblatt\\_Ue8-2023.pdf](https://www.studio-berlin.de/wp-content/uploads/2023/07/sb_datenblatt_Ue8-2023.pdf)

**Studio Berlin Ü9:** <https://www.studio-berlin.de/ue-9/>

**Studio Berlin Ü10:** <https://www.studio-berlin.de/ue-10/>

**TV-Skyline Ü1:** <https://tv-skyline.de/uebertragungstechnik/ue-1/>

**TV-Skyline Ü7:** <https://tv-skyline.de/uebertragungstechnik/ue-7/>

**TV-Skyline Ü8:** <https://tv-skyline.de/uebertragungstechnik/ue-8-uhd/>

**TV-Skyline Ü9:** <https://tv-skyline.de/uebertragungstechnik/ue-9/>

**TV-Skyline Ü11:** <https://tv-skyline.de/uebertragungstechnik/ue-11/>

**TV-Skyline Ü12:** <https://tv-skyline.de/uebertragungstechnik/ue12/>

**TVN Ü8:** <https://ob8.tvn.de/>

**TVN Ü7:** [https://www.tvn.de/fileadmin//templates/tvn/pdf/tvn\\_live\\_production/TVN\\_UE7UHD\\_Factsheet\\_DE.pdf](https://www.tvn.de/fileadmin//templates/tvn/pdf/tvn_live_production/TVN_UE7UHD_Factsheet_DE.pdf)

**TVN Ü6:** [https://www.tvn.de/fileadmin//templates/tvn/pdf/tvn\\_live\\_production/Factsheet\\_UE6\\_DE.pdf](https://www.tvn.de/fileadmin//templates/tvn/pdf/tvn_live_production/Factsheet_UE6_DE.pdf)

**TVN Ü5:** [https://www.tvn.de/fileadmin//templates/tvn/pdf/tvn\\_live\\_production/Factsheet\\_UE5\\_DE.pdf](https://www.tvn.de/fileadmin//templates/tvn/pdf/tvn_live_production/Factsheet_UE5_DE.pdf)

**rt1 HD7:** <https://mobile.production.rt1.tv/mobile-production/hd7/>

**rt1 HD6:** <https://mobile.production.rt1.tv/mobile-production/hd6/>

**rt1 HD5:** <https://mobile.production.rt1.tv/mobile-production/hd5/>

**rt1 HD3:** <https://mobile.production.rt1.tv/mobile-production/hd3/>

**EMG Sirius 301:** [https://de.emglive.com/wp-content/uploads/2022/03/EMG\\_GERMANY\\_SIRIUS-301.pdf](https://de.emglive.com/wp-content/uploads/2022/03/EMG_GERMANY_SIRIUS-301.pdf)

**Tonzauber MAP1:** <https://www.tonzauber.com/map1-infos>

**0221 Ü1:** [https://www.0221mediagroup.com/wp-content/uploads/2023/02/DatenblattUe1\\_neu.pdf](https://www.0221mediagroup.com/wp-content/uploads/2023/02/DatenblattUe1_neu.pdf)

**0221 Ü2:** [https://www.0221mediagroup.com/wp-content/uploads/2023/02/DatenblattUe2\\_neu.pdf](https://www.0221mediagroup.com/wp-content/uploads/2023/02/DatenblattUe2_neu.pdf)

**Schmidton Tonmobil 01:** <https://www.live-production.tv/mobile-production/surround-sound/schmidton-tonmobil-01.html>

*Alle Hyperlinks abgerufen am 19.09.24*