

PB_05.006__2024-04-30 Spezifikation Ton von Geräten, Anlagen und
Verbindungen

PFLICHTENBLATT

SPEZIFIKATION TON

GERÄTE, ANLAGEN UND

VERBINDUNGSTECHNIK

Autor des Dokuments:	Reinhard Tomek / TSA-H	Erstellt am:	2024-04-04
Geprüft durch:	Andreas Fraundorfer/ TSA-H	Geprüft am:	2024-04-11
Freigabe durch:	Alexander Hetfleisch/ TSA	Freigabe am:	2024-04-30
Dateiname:	PB_05.006__2024-04-30 Spezifikation Ton von Geräten, Anlagen und Verbindungen		
Status	Gültig		

Impressum

Herausgeber:
System- und Anlagentechnik, TSA
Technische Dokumentation
technik.dokumentation@orf.at

ÖSTERREICHISCHER RUNDFUNK, ORF
1136 Wien, Hugo-Portisch-Gasse 1

<http://ORF.at>

Stiftung öffentlichen Rechts | Sitz Wien | FN 71451 a | HG Wien | UID-Nr. ATU16263102
Informationen nach DSGVO unter <http://www.ORF.at/stories/InfoDSGVO>

INHALTSVERZEICHNIS

1	Allgemein	7
1.1	Vorwort.....	7
1.2	Geltungsbereich.....	7
1.3	Mitgeltende Dokumente und Regelwerke	7
1.4	Fachliteratur.....	9
2	Definition von Signalen und Signalwegen	10
3	Spezifikationen von Geräten und Systemen	11
3.1	Spezifikationen analoger Geräte und Funktionsbereiche (Basisanforderungen) ..	12
3.1.1	Schnittstellen, Pegel und Anpassung (Interfaces, Levels and Matching)	12
3.1.2	Schnittstellen, praktische Ausführung und Verwendung	14
3.1.3	Gleichtaktunterdrückung (Common Mode Rejection)	14
3.1.4	Telekom-Übergabepegel (Telecom Transfer Level)	15
3.1.5	Amplituden-Frequenzgang (Frequency Response)	15
3.1.6	Phasendifferenz (Differential Phase)	16
3.1.7	Nichtlineare Verzerrungen (Nonlinear Distortion)	17
3.1.7.1	Klirrfaktor (THD, Total Harmonic Distortion)	17
3.1.7.2	Intermodulationsverzerrungen (IMD) und Differenztonverzerrungen (DFD) ..	17
3.1.7.3	Total Harmonic Distortion + Noise (THD+N)	18
3.1.8	Fremdspannungsabstand und Dynamik (Signal-to-Noise Ratio and Dynamic Range) ..	18
3.1.9	Kanalgleichlauf	18
3.1.10	Übersprechen (Crosstalk) zwischen zwei vollkommen unabhängigen Tonwegen.....	19
3.2	Spezifikationen digitaler Geräte (Basisanforderungen).....	19
3.2.1	Taktung und Synchronisation (Clocking and Synchronisation).....	19
3.2.2	Abtastfrequenzen und Wortbreiten (Sampling Frequency and Wordlength) ...	21
3.2.3	Jitter.....	22

3.2.4	Dither.....	23
3.2.5	Emphase (Emphasis).....	23
3.2.6	Alias-Verzerrungen.....	23
3.2.7	Latenzen und Latenzausgleich	24
3.2.8	Linearität zwischen Ein- und Ausgang	24
4	Digitale Audioschnittstellen	24
4.1	AES/EBU Schnittstelle (AES-3 und EBU-Tech 3250-E): Grundlagen für die Spezifikation	24
4.1.1	Kabel und Steckverbinder für AES/EBU, symmetrische (differentielle) Übertragung.....	25
4.1.2	Kabel und Stecker für AES/EBU über Koaxial-Kabel, unsymmetrisch	26
4.1.3	Digitale Consumer-Schnittstellen (S/PDIF, Toslink)	26
4.1.4	Impedanzen, Abschluss für Messungen an 110 und 75 Ohm	26
4.1.5	Amplitude des digitalen Signals (Carrier-Level)	27
4.1.6	Anstiegs- und Abfallzeiten des digitalen Signals (Carrier)	27
4.2	MADI-Schnittstelle (Multichannel Audio Digital Interface)	27
4.3	Audio in SDI-Verbindungen	28
4.4	Audio-over-IP (Dante, Ravenna, AES67, SMPTE ST2110)	29
4.4.1	Audio bei Video-over-IP nach SMPTE ST2110	30
4.4.2	AES67 Interoperability Standard	31
4.4.3	Dante (Audinate).....	32
4.4.4	Ravenna (ALC Network)	32
5	Elektromagnetische Verträglichkeit.....	32
5.1	Hochfrequenzeinstreuungen	33
5.2	Magnetischer Störfeldeinfluss.....	33
6	Anforderungen und Spezifikationen an Mischpulte und Regietische	33
6.1	Analoge Eingänge des Regietisches.....	33
6.2	Analoge Ausgänge des Regietisches.....	33
6.2.1	Pegelbezug	34
6.2.2	Kanalgleichlauf	34

6.2.3	Amplitudenfrequenzgang (Frequency Response).....	34
6.2.4	Nichtlineare Verzerrungen.....	35
6.3	Fremdspannungsabstand und Dynamik (Signal-to-Noise Ratio and Dynamic Range) 35	
6.3.1	Fremdspannungsabstand einzelner Kanal zu Ausgang, unbewertet.....	36
6.3.2	Fremdspannungsabstand bei Summierung, unbewertet (Mix-Noise)	36
6.3.3	Knackstörungen	37
6.3.4	Durchsprechdämpfung der Regler	37
6.3.5	Übersprechdämpfung	37
6.3.6	Phasenunterschiede	38
6.4	Ausführungen von Audiomischpulten.....	38
6.4.1	Eingänge von Kanalzügen (Mono, Stereo, Mehrkanal)	39
6.4.2	Filter	39
6.4.3	Schutzlimiter, Übersteuerungsschutz (Protection Limiter)	39
6.4.4	Kanalausgänge und Einschleifpunkte (Direct Outs und Insert Points)	39
6.4.5	Pegelüberwachung, Aussteuerungsmesser (Level Control, Level Metering) ..	39
6.4.6	Entzerrer und Filter (Equalizer and Filter).....	40
6.4.7	Panoramaregler	40
6.4.8	Ausgänge des Kanalzugs.....	40
6.4.9	Abhörfunktionen des Kanalzugs.....	41
6.4.10	Summenausgänge Mono, Stereo und Mehrkanal	41
6.4.11	Reglerkontakte, Pultsteuerung.....	41
6.5	Mehrkanal Betrieb der Regieanlagen.....	42
6.5.1	Mehrkanaleingänge, Kanalzuordnung (Multichannel Inputs, Channel Assignment)	42
6.5.2	Die 5.1-Kanalzüge	43
6.5.3	Routing und Richtungszuordnung in 5.1 Technik	43
6.5.4	Abhören, Messen, Metadaten	44
7	Steckverbindungen.....	44
7.1	XLR	45
7.1.1	XLR 3-polig.....	45

7.1.2	XLR 5-polig.....	46
7.2	Mehrpole Steckverbindungen.....	47
7.2.1	Siemens-Stecker 39polig	47
7.2.2	Siemens-Stecker 30polig	48
7.2.3	Sub-D-Steckverbindungen nach IEC 807-2 und AES59.....	49
7.3	Weitere Steckverbindungen	49
7.3.1	BNC-Steckverbindungen	49
7.3.2	Glasfaser-Steckverbindungen	50
7.3.3	Steckverbindungen RJ45 (8P8C).....	50
8	Anhang	51
8.1	Begriffe und Abkürzungen (in alphabetischer Reihenfolge)	51
8.2	Dezibel, Bezugsgrößen.....	53

1 Allgemein

1.1 Vorwort

Dieses Pflichtenblatt beschreibt die Qualitätsanforderungen und Spezifikationen für Audiogeräte und Audiosysteme (Anlagen) in Produktionsumgebungen, Übertragungs- und Sendewegen sowie die im ORF normierte Verbindungstechnik (Kabel- und Steckverbindungen). Es bezieht sich auf alle ortsfesten, mobilen und transportablen Einrichtungen. Es gilt unabhängig der Bauart für analoge, digitale und gemischt (hybrid) ausgeführte Geräte und Anlagen.

1.2 Geltungsbereich

Dieses Pflichtenblatt gilt

- im gesamten ORF Konzern (inkl. Ü-Wagen)
- für alle dem ORF-Konzern zuarbeitenden Dienstleister

Geschlechtsbezogene Formulierungen sind im Sinne der Gleichstellung geschlechtsneutral aufzufassen bzw. auszulegen.

1.3 Mitgeltende Dokumente und Regelwerke

Die angeführten ORF-Pflichtenblätter (PB) referenzieren sich auf den Stand der Technik und sind dementsprechend inhaltlich umzusetzen. Ohne Angabe des Ausgabedatums gilt jeweils die letztgültige Fassung. Gesetzlich für diesen Bereich zur Anwendung kommende normative Vorgaben sind – jeweils in der aktuell gültigen (Letzt)Fassung - über das Rechtsinformationssystem des Bundes, abrufbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/>, einsehbar.

Dieses Dokument bezieht sich weiters auf folgende Regelwerke (in alphabetischer Reihenfolge):

- AES2id-2020: Guidelines for the use of the AES3 Interface
- AES3-2009 (r2019) Part 1 – 4: AES standard for digital audio. Digital input-output interfacing. Serial transmission format for two-channel linearly-represented digital audio data.
- AES3id-2001 (w2010): AES information document for digital audio engineering - Transmission of AES3 formatted data by unbalanced coaxial cable (Revision of AES3id-1995), seit 2019 in AES3-4 enthalten (Annex D (Normative): "Coaxial Transmission")
- AES10-2020: AES Recommended Practice for Digital Audio Engineering - Serial Multichannel Audio Digital Interface (MADI)
- AES11-2009 (r2019): AES recommended practice for digital audio engineering - Synchronization of digital audio equipment in studio operations (Revision of AES11-2003)
- AES12-id -2020: AES Information Document for digital audio measurements – Jitter performance specifications
- AES14-1992 (reaffirmed 2014, stabilized 2014): AES standard for professional audio equipment - Application of connectors, Part 1: XLR-type polarity and gender
- AES 17-2020: AES standard method for digital audio engineering - Measurement of digital audio equipment
- AES59-2012: AES standard for professional audio - Audio application of 25-way D-type connectors in balanced circuits

- AES67-2018: AES standard for audio applications of networks - High-performance streaming audio-over-IP interoperability
- AES70-1-2023: AES standard for audio applications of networks - Open Control Architecture - Part 1: Framework
- AES-R16-2021: AES project report, PTP parameters for AES67 and SMPTE ST 2059-2 interoperability
- DIN EN IEC 60268-3:2019-02: Elektroakustische Geräte - Teil 3: Verstärker (IEC 60268-3:2018); Deutsche Fassung EN IEC 60268-3:2018
DIN IEC 60268-10:1994-11: Elektroakustische Geräte - Teil 10: Spitzenspannungs-Aussteuerungs-Messgerät (IEC 60268-10:1991)
- DIN IEC 60268-15:1994-08: Elektroakustische Geräte - Teil 15: Empfohlene Anpassungswerte für die Verbindung von Teilen elektroakustischer Anlagen
- DIN IEC 60268-17:1992-08: Elektroakustische Geräte; Standard-VU-Meter; Identisch mit IEC 60268-17:1990
- DIN-IEC TR 60268-18:1995: Sound system equipment - Part 18: Peak programme level meters - Digital audio peak level meter (TR, Technical Report)
- DIN 41652-1:1990-06: Steckverbinder für die Einschubtechnik, trapezförmig, runde Kontakte \varnothing 1 mm; Gemeinsame Einbaumerkmale und Maße; Bauformenübersicht
- DIN EN 55103-1:2013-11 (VDE 0875-103-1:2013-11): Elektromagnetische Verträglichkeit - Produktfamiliennorm für Audio-, Video- und audiovisuelle Einrichtungen sowie für Studio-Lichtstueereinrichtungen für professionellen Einsatz - Teil 1: Störaussendungen
- DIN EN 55022:2011-12: Einrichtungen der Informationstechnik - Funkstöreigenschaften - Grenzwerte und Messverfahren
- DIN EN 55013:2017-03: Ton- und Fernseh-Rundfunkempfänger und verwandte Geräte der Unterhaltungselektronik - Funkstöreigenschaften - Grenzwerte und Messverfahren
- DIN EN IEC 61938:2018-10: Multimedia Systeme - Leitfaden für empfohlene Charakteristika analoger Schnittstellen zur Erreichung von Kompatibilität (früher u.a. DIN 45596).
- EBU R91-2004: EBU Technical Recommendation R91-2004, Track allocations and recording levels for the exchange of multichannel audio signals
- EBU Tech. 3250-E Third Edition 2004: Specification of the digital audio interface (AES/EBU)
- EBU Technical Recommendation R68-2000: Alignment level in digital audio production equipment and recorders
- IEC 807-2: Rectangular connectors for frequencies below 3 MHz - Part 2
- IEC 60958 :Type I Digital audio interface - Part 1: General
- ISO/IEC 11801: Information technology — Generic cabling for customer premises
- IRT Richtlinie Nr. 3/3: Audiokabel und -leitungen
- IRT Richtlinie Nr. 3/5: Audiosysteme für Produktion und Sendung
- ITU-R BS.1770-4 (10/2015), Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level
- ITU-R BS.775-4 (12/2022): Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture
- SMPTE RP120-1983 Measurement of Intermodulation Distortion in Audio Systems
- SMPTE 272M-2004: Television - Formatting AES/EBU Audio and Auxiliary Data into Digital Video Ancillary Data Space
- SMPTE ST 2059-1:2015: Generation and Alignment of Interface Signals to the SMPTE Epoch

- SMPTE ST 2059-2:2021: SMPTE Profile for Use of IEEE-1588 Precision Time Protocol in Professional Broadcast Applications
- ST 2110-30:2017: Professional Media Over Managed IP Networks: PCM Digital Audio
- ST 2110-31:2018: Professional Media Over Managed IP Networks: AES3 Transparent Transport

1.4 Fachliteratur

- Handbuch der Tonstudioteknik
9. Auflage, 2023
Herausgeber: Michael Dickreiter, Volker Dittel, Wolfgang Hoeg und Martin Wöhr
Verlag De Gruyter Saur
- Handbuch der Audiotechnik
2. Auflage, 2024
Herausgeber: Stefan Weinzierl
Springer-Verlag

2 Definition von Signalen und Signalwegen

In der Praxis der Tonproduktion und Übertragung kommen sowohl analoge wie auch digitale Technologien zum Einsatz.

Analoge Signale zeichnen sich durch einen zeit- und wert-kontinuierlichen Signalverlauf aus. Sie sind nach wie vor die Regel bei Schallwandlern (Mikrofone, Tonabnehmer, Monitor-Lautsprecher), bei bestimmten Effektgeräten, Tonbearbeitungsgeräten und Mischpulten sowie bei älteren Speicherformaten (Band, Platte). Analoge Geräte fügen dem Audiosignal im Allgemeinen keine Verzögerung (Latenz) hinzu.

Digitale Signale weisen einen zeit- und wert-diskreten Signalverlauf auf. In modernen Produktions-, Übertragungs- und Sendewegen kommen heute Großteils Geräte und Systeme mit digitaler Signalverarbeitung zum Einsatz, die meist über analoge und digitale Audioschnittstellen verfügen. Digitale Geräte werden als lineare, zeitinvariante Systeme (LZI) gesehen. Sie fügen dem Audiosignal eine vom jeweiligen Prozess abhängige, konstante Latenz hinzu.

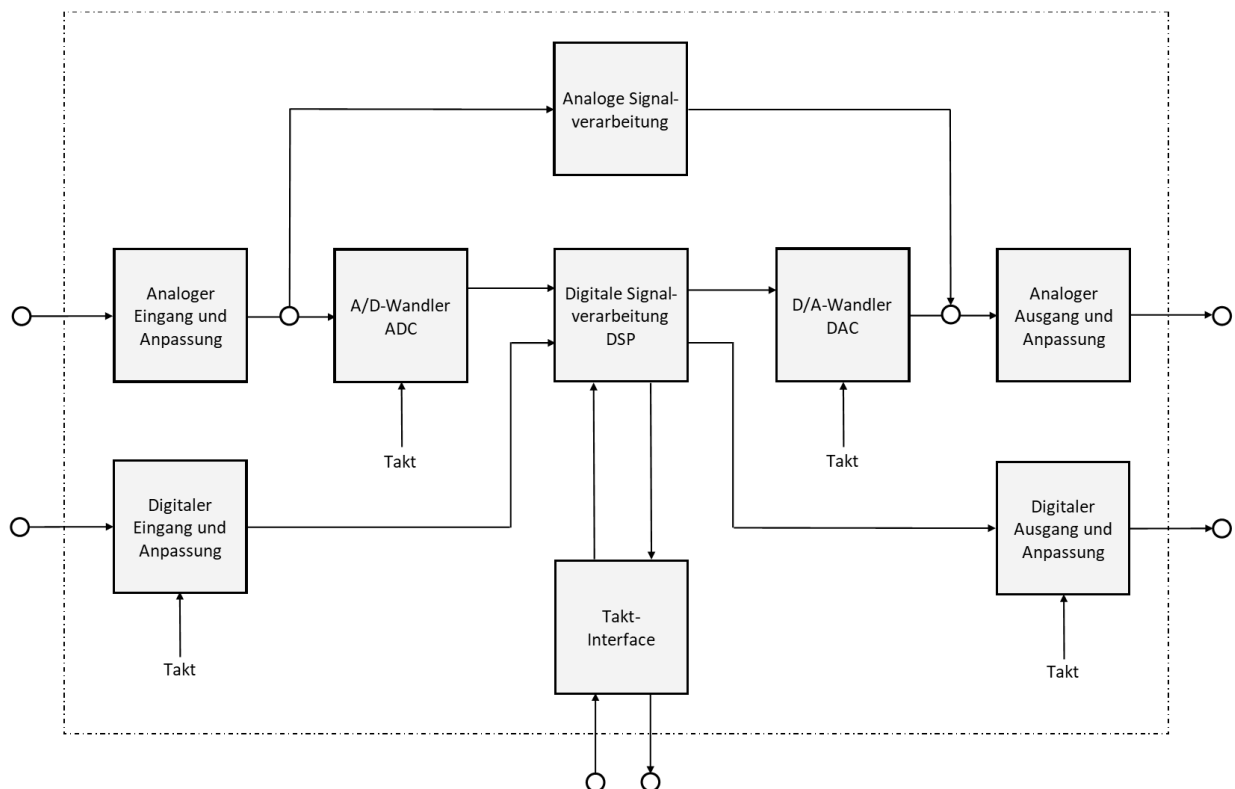


Abbildung 1 Blockschaltbild eines gemischt analogen und digitalen Audiogerätes (Beispiel)

Die in Kapitel 3 genannten Spezifikationen gelten für alle analogen und digitalen Haupttonwege von stationären, mobilen und transportablen Geräten und Anlagen, wie zum Beispiel:

- Regieplätze (Abwicklungs- und Produktionsregieplätze, Nachbearbeitungsplätze, jeweils auch in Ü-Wagen)
 - Mikrophon-Eingänge → Regieanlage Ausgänge (Leitungs- und Hilfsausgänge)
 - Leitungseingänge, Hilfeingänge → Regieanlage Ausgänge
 - Regieanlage Ausgänge (Leitungsausgänge, Hilfsausgänge) → Studio
 - Abhörausgänge (Leitungsausgänge) → Monitorlautsprecher, Kopfhörer
 - Messausgänge (zu Sichtgerät, Pegelmesser, Lautheitsmesser)

- Hauptkontrollräume (HKR)
 - Telekomübergabepunkt Eingänge → Telekomübergabepunkt Ausgänge
 - Leitungseingänge → zentrale Kreuzschiene
 - zentrale Kreuzschiene → Leitungsausgänge
 - Abhörausgänge (Leitungsausgänge) → Monitorlautsprecher, Kopfhörer
 - Messausgänge (zu Sichtgerät, Pegelmesser, Lautheitsmesser)

- Aufnahmegeräte, Audioworkstations (DAW), Videoschnittsysteme (NLE)
 - Mikrofoneingänge → Leitungsausgang
 - Leitungseingänge → Leitungsausgang
 - Für alle Aufnahmegeräte (Ton, Video) vom Audioeingang (Mikrofon- oder Leitungseingang) → über das Aufnahmemedium → Audioausgang (Leitungsausgang)
 - Abhörausgänge (Leitungsausgänge) → Monitorlautsprecher, Kopfhörer
 - Messausgänge (zu Sichtgerät, Pegelmesser, Lautheitsmesser)

- Übertragungseinrichtungen, Sendewege (jeweils unter Berücksichtigung der Einschränkungen des jeweiligen Kodier-, Modulations- und Übertragungsverfahrens)
 - Mikrofoneingänge → Leitungsausgang
 - Leitungseingänge → Leitungsausgang
 - Leitungseingang Encoder (Codec) → Leitungsausgang Decoder (Codec)
 - Abhörausgänge (Leitungsausgänge, Line) → Monitorlautsprecher, Kopfhörer
 - Messausgänge (zu Sichtgerät, Pegelmesser, Lautheitsmesser)

Als Nebentonwege verstehen sich Kommando-Einrichtungen (Talkback), Intercom sowie alle Tonwege, die signaltechnisch weder direkt noch indirekt die Produktions-, Übertragungs- oder Sendequalität beeinflussen können. In-Ear-Monitoring, Bühnen-Monitoring und Studio-Einspielwege zählen ebenfalls zu den Nebentonwegen. Für sie gilt der jeweils aktuelle Stand der einschlägigen Technik.

3 Spezifikationen von Geräten und Systemen

Die folgenden Spezifikationen gelten für alle analogen, digitalen und hybriden Geräte und Systeme und verstehen sich als Mindestanforderungen, sie sind impliziter Bestandteil aller Ausschreibungen und Verträge. Allfällige Abweichungen davon sind im Vorfeld mit dem zuständigen Planer zu klären – die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten.

Die unten angeführten Spezifikationen sollen eine Tonqualität gewährleisten, die professionellen Produktionsanforderungen genügt. Auch beim wiederholten Durchlaufen von Geräten, Anlagen und Übertragungspfaden muss eine möglichst geringe Veränderung des Ausgangssignales gegenüber dem Eingangssignal zur Erhaltung der höchstmöglichen Qualität sichergestellt sein.

Effektgeräte, die während einer Produktion ausschließlich zur Tongestaltung eingesetzt werden, können im aktiven Betrieb von diesen Spezifikationen naturgemäß abweichen. Beispiel: Verzerrer, Harmonizer, Instrumenteneffekte, Pitch-Shifter, etc.

Alle gerätespezifischen Parameter und Spezifikationen sind im Normal- bzw. Vollbetrieb des Gerätes oder Systems zu erfassen. Das Überbrücken oder Bypassen von Geräte- oder Anlagenteilen im Zuge einer Messung ist – außer wenn dies ausdrücklich gefordert - nicht zulässig.

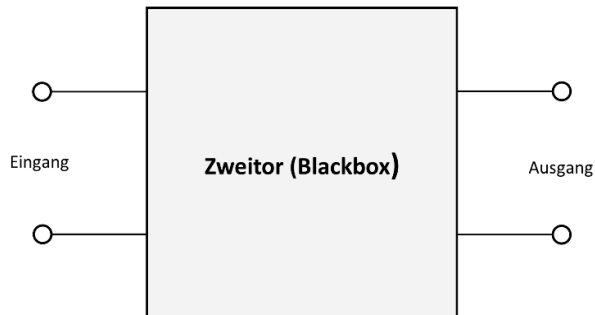


Abbildung 2 Betrachtung von Geräten und Systemen als Zweitor (Blackbox)

Zur Bestimmung bzw. Definition der Geräteeigenschaften und Anlagenparameter werden Geräte hier lediglich als „Zweitore“ (und deren Inneres als „Blackbox“) betrachtet. Die internen Eigenschaften dieser Blackbox werden dabei durch das Verhalten zwischen Eingangs- und Ausgangssignal bestimmt; Signaländerungen am Eingang führen am Ausgang zu einer für das Zweitor charakteristischen Antwort. Die dabei eingesetzte Technologie bzw. Schaltungstechnik innerhalb der Blackbox ist bei dieser Qualitätsbetrachtung zunächst ohne Bedeutung.

Alle Pegelmessungen erfolgen, sofern nicht ausdrücklich anderes gefordert, mit einem Quasi-Peak-Program Meter (QPPM) nach DIN IEC 60268-10 (Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgerät). Es gelten die in Kap. 3.1.1 enthaltenen Pegeldefinitionen für Bezugs-, Nominal und Maximalpegel.

Als Bezugfrequenzen sind, entsprechend den jeweils geltenden Regelwerken, 1.000 Hz oder 997 Hz zu wählen, die gewählte Bezugfrequenz ist in den Spezifikationen und Messprotokollen anzugeben.

3.1 Spezifikationen analoger Geräte und Funktionsbereiche (Basisanforderungen)

Die in Folge angeführten Spezifikationen gelten für analoge Geräte sowie für die analogen Funktionsbereiche digitaler Geräte (z.B. Vorverstärker, AD- und DA-Wandler, etc.). Teile dieser Spezifikationen (z.B. lineare und nichtlineare Verzerrungen, Kanaltrennung etc.) gelten, wenn nicht ausdrücklich anders angemerkt, auch als Basisanforderungen für digitale Geräte und Systeme.

Es sind Messungen über alle in Frage kommenden Tonwege durchzuführen, also von allen Eingängen zu allen Ausgängen, z.B. Mikrofon-, Line- oder digitaler Eingang zu allen damit verbundenen analogen oder digitalen Ausgängen (z.B. Direct Out, Aux-Weg, Gruppen- und Summen-Ausgänge, Monitor- und Messausgänge). Dabei ist sicherzustellen, dass die geforderten Messwerte in allen Haupttonwegen erreicht werden.

3.1.1 Schnittstellen, Pegel und Anpassung (Interfaces, Levels and Matching)

Analoge Audio-Schnittstellen sind in Spannungsanpassung auszuführen. Die Ausgangsimpedanz der Quelle (Z_A) muss daher im Normalbetrieb mit einer mindestens 5- bis 10-mal so großen Eingangsimpedanz (Z_E) der Senke abgeschlossen sein, um ideale Betriebsbedingungen zu gewährleisten. Fehlanpassungen und Kurzschlüsse dürfen jedoch zu keiner Beschädigung von Ein- oder Ausgängen führen.

Folgende Parameter werden innerhalb des Übertragungsbereichs von 20 – 20.000 Hz vorausgesetzt:

- Mikrofoneingänge (Mic-Input): Quellimpedanz typisch 50 – 200 Ohm, Ausgangsspannung der Quelle typisch 1,0 mV/pa (dynamische Mikrofone) bis etwa 40 mV/pa (Kondensatormikrofone),

entsprechend -58 dBu bzw. -26dBu (geräteabhängig).

Eingangsimpedanz (Z_E) des Mikrofoneingangs daher $\geq 1,0$ kOhm (typisch 1,2 bis 10,0 kOhm) im Frequenzbereich 20 – 20.000 Hz. Bei Messungen an Mikrofoneingängen von Geräten sind diese mit 150 Ohm abzuschließen. Eine Aktivierung der Phantomspeisung (48 Volt, nach DIN EN IEC 61938) darf zu keiner Verschlechterung der Parameter oder zu Störungen führen.

- Mikrofonsignale dürfen ausschließlich aktiv über Verteilverstärker oder passiv über Split-Übertrager verteilt werden. Signaltechnische Parameter der Quelle dürfen dabei nicht über die definierten Grenzwerte hinaus verschlechtert werden. Y-Kabel zum Anschluss eines Mikrofons an mehrere Eingänge sind ausdrücklich untersagt.
- Leitungseingänge (Hochpegeleingänge, Line-Input): Quellimpedanz typisch 40 – 100 Ohm (geräteabhängig), nomineller Ausgangspegel +6 dBu (1,55 V). Eingangsimpedanz (Z_E) des darauffolgenden Eingangs $\geq 5,0$ kOhm (typisch 10,0 kOhm) im Frequenzbereich 20 – 20.000 Hz. Für Messungen sind Lineausgänge mit 600 Ohm abzuschließen, parallel dazu eine Kapazität von 22 nF. In diesem Betriebsfall darf es zu keinem nennenswerten Spannungsabfall oder zu einem Ausfall der Quelle kommen. Signaltechnische Parameter der Quelle dürfen dabei nicht über die definierten Grenzwerte hinaus verschlechtert werden.
- Signale mit Leitungspegel sollen über aktive Verteilverstärker oder, vor allem zur galvanischen Entkopplung, über passive Split-Übertrager verteilt werden. Werden mehrere Senken parallel zur Quelle geschaltet, muss eine Belastung der Quelle mit weniger als $10 \times Z_A$ vermieden werden. Signaltechnische Parameter der Quelle dürfen dabei nicht über die definierten Grenzwerte hinaus verschlechtert werden.
- Ausgangsimpedanz (Z_A) bei Übertragersymmetrierung (erdfrei) 30 – 50 Ohm im Frequenzbereich 40 – 20.000 Hz. Abweichungen davon sind mit dem zuständigen Planer zu klären.
- Ausgangsimpedanz (Z_A) bei elektronischer Symmetrierung 40 – 100 Ohm im Frequenzbereich 20 – 20.000 Hz. Abweichungen davon sind mit dem zuständigen Planer zu klären.

In allen professionellen Tonanlagen innerhalb des ORF gelten folgende Leitungspegel:

- Bezugspegel: 0 dBu \triangleq 0,775 V (Messungen und Pegelangaben in dBm oder dBV sind nicht zulässig)
- Nominalpegel: +6 dBu \triangleq 1,55 V \triangleq 100 % Aussteuerung \triangleq -9 dB_{FS} (EBU Nominal Program Level)
- Maximalpegel: +15 dBu \triangleq 4,36 V \triangleq 281 % Aussteuerung \triangleq 0 dB_{FS} (Peak, EBU Maximum Coding Level)

Entsprechend ITU-R BS. 645-2 U gemessen bei 1,0 kHz mit einem Quasi-Peak-Program Meter (QPPM) nach DIN IEC 60268-10 (Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgerät).

Bestimmte Geräte verwenden dazu abweichend den internationalen Studiopegel von +4 dBu \triangleq 1,23V und nicht +6 dBu \triangleq 1,55 V. Diese Geräte erreichen 100% Aussteuerung bereits bei +4 dBu \triangleq 1,23V. Sie können dennoch verwendet werden, wenn:

- eingangs- und ausgangsseitig eine entsprechende Möglichkeit zur Pegelanpassung vorhanden ist (Eingangspegel und/oder Ausgangspegel einstellbar), um in Anlagen mit +6 dBu Bezug nahtlos integriert werden zu können
- der Headroom (die Übersteuerungsreserve) des Geräts bis mindestens +15 dBu reicht (typisch sind 18 bis 24 dBu)

- oder das Gerät in Audiowegen eingesetzt wird (z.B. Aux-Weg, Effektgerät, Monitoring), wo Pegelunterschiede ohnedies durch übliche Produktionsmaßnahmen (manuelle Pegelstellung nach Bedarf) ausgeglichen werden.

Bei der Integration von Geräten mit Studiopegel von +4 dBu in Anlagen mit Nominalpegel +6dBu ist jedenfalls Vorsicht geboten, vor allem dann, wenn sie sich in Leitungswegen mit definiertem Pegel befinden (Regieplatzausgänge, Sende- und Übertragungsleitungen, etc.). Besondere Beachtung verdient dabei die Beziehung zwischen analogem und digitalem Audiopegel. Nicht selten sind diese Geräte auf einen Bezugspegel +4 dBu \triangleq -20 dBFS oder +4 dBu \triangleq -18 dBFS eingestellt. Im Falle von AD- oder DA-Wandlern ist darauf Bedacht zu nehmen.

3.1.2 Schnittstellen, praktische Ausführung und Verwendung

Die in Punkt 3.1.1 genannten, analogen Haupt-Tonwege einer Anlage müssen an den beschriebenen Schnittstellen, wenn nicht ausdrücklich anders spezifiziert, wie folgt ausgeführt sein:

- Es dürfen ausschließlich Steckverbindungen wie in Kapitel 7 beschrieben verwendet werden. Sind geräteseitig andere Steckverbindungen vorhanden oder sind aus technischen oder klimatischen Gründen andere Steckverbindungen erforderlich (z.B. höhere IP-Schutzarten), muss Rücksprache mit dem zuständigen Planer gehalten werden – die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten.
- Alle Ein- und Ausgänge sind vorzugsweise trafosymmetrisch und erdfrei (potentialfrei) auszuführen. Dies gilt vor allem für raum- und anlagenübergreifende Verbindungen.
- Elektronische Symmetrierung von Geräten und in Systemen ist vor allem dann zulässig, wenn es sich um Verbindungen innerhalb von Gerätegruppen handelt (z.B. Verbindungen innerhalb eines Regieraums oder eines Geräte-Racks) und vorher Rücksprache mit dem zuständigen Planer gehalten wurde – die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten.
- Alle symmetrischen Ein- und Ausgänge müssen ohne Einschränkung auch für den Anschluss unsymmetrischer Geräte geeignet sein.
- Consumer-Equipment (Heimgeräte) oder semiprofessionelle Geräte arbeiten zumeist mit unsymmetrischen Audioanschlüssen (z.B. RCA/Cinch, Mini-Klinke 3,5mm) und einem Nennpegel von -10dBV (entsprechend -7.78 dBu oder 316 mV), teilweise auch anderen, undefinierten Pegeln. Der Anschluss solcher Geräte erfolgt über passende Kabeladapter, erforderlichenfalls müssen Konverter für Symmetrierung (passive DI-Box, Symmetrierübertrager) und Verstärkung (aktive DI-Box) verwendet werden.
- Zwischen allen Ein- und Ausgängen, egal ob digital oder analog, muss eine einheitliche und gleiche Polungsbeziehung in Bezug auf die festgelegte Beschaltung der Schnittstellen bestehen. Die Polung des Eingangssignals der Geräte oder der Anlage darf an keiner Stelle gedreht (invertiert) werden und muss gleichpolig zum Eingang auch am Ausgang anliegen.
- Eine positive Wellenform am Eingang muss eine positive Wellenform am Ausgang ergeben. Ausgenommen davon sind lediglich Einrichtungen zur bewussten Phasenumkehr, z.B. an Mikrofoneingängen (Phase Invert). Eine dort vorgenommene Phasendrehung muss an der Bedienungsoberfläche sichtbar und eindeutig dargestellt werden.

3.1.3 Gleichtaktunterdrückung (Common Mode Rejection)

Die Gleichtaktunterdrückung (CMR, Common Mode Rejection) oder Unsymmetriedämpfung beschreibt, wie stark die auf eine symmetrische oder differentielle Leitung eintreffenden Störsignale von der Eingangsstufe

der Senke unterdrückt werden können. Das Maß der Gleichtaktunterdrückung wird als CMRR (Common Mode Rejection Ratio) angegeben und hängt grundsätzlich von der Symmetrie der Ein- und Ausgangsimpedanzen von Quelle und Senke ab.

Die Messung und Angabe der Gleichtaktunterdrückung darf nicht lediglich für eine einzige Frequenz erfolgen, da dies zu wenig aussagekräftig ist. Die Angabe der Gleichtaktunterdrückung muss zumindest für zwei Frequenzen (50 Hz und 1 kHz) oder breitbandig im Frequenzbereich 40 – 15.000 Hz angegeben werden.

- Leitungseingänge: Gleichtaktunterdrückung ≥ 70 dB gemessen bei 50 Hz und 1 kHz, breitbandig ≥ 60 dB im Bereich 40 – 15.000 Hz, bei Verstärkung (Gain) = 0 dB
- Mikrofoneingänge: Gleichtaktunterdrückung ≥ 60 dB bei 50 Hz und 1 kHz, ≥ 55 dB im Bereich 40 – 15.000 Hz, bei Verstärkung (Gain) = 40 dB. Diese Werte müssen auch mit eingeschalteter Phantomspeisung erreicht oder übertroffen werden.

Bei Geräten und Systemen, wo für Line- und Mikrofon-signale keine Leitungslängen größer als 10 Meter und betriebs- und ortsbedingt keine Einstreuungen zu erwarten sind (z.B. bei portablen Reportagegeräten oder Redaktionsarbeitsplätzen), können die obigen Grenzwerte um 6 dB reduziert angenommen werden. In diesem Fall ist Rücksprache mit dem zuständigen Planer zu halten – die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten.

Im Fall von unzureichender Gleichtaktunterdrückung, können Trenn-Übertrager (Isolating Audio Transformers) zwischengeschaltet werden, wodurch die Gleichtaktunterdrückung erheblich verbessert werden kann (typisch 20 – 40 dB). Diese Übertrager müssen so ausgeführt sein, dass alle anderen Parameter nicht über die definierten Grenzwerte hinaus verschlechtert werden. Es muss im Angebot explizit auf diesen Umstand hingewiesen werden.

3.1.4 Telekom-Übergabepegel (Telecom Transfer Level)

Es gelten folgende Telekom-Übergabepegel (bezogen auf Normalpegel).

Ankommend:

- Empfangsleitung (EL): -9 dBu, wenn nicht anders spezifiziert
- Vierdraht Empfangsleitung (EL): -9 dBu

Abgehend:

- Sendeleitung (SL): +15 dBu, wenn nicht anders spezifiziert
- Vierdraht Sendeleitung (SL): +6 dBu

Bei Neuanlagen ist die Übergabe der Sendeleitungen jedenfalls nicht mehr in analoger Technik, sondern digital auszuführen.

3.1.5 Amplituden-Frequenzgang (Frequency Response)

Der Amplituden-Frequenzgang zählt zu den linearen Verzerrungen. Er zeigt frequenzabhängige Pegelveränderungen, die ein Signal beim Durchlaufen eines Gerätes oder eine Anlage erfährt. Die Angabe des Frequenzgangs (z.B. 20 – 20.000 Hz) muss bei gleichzeitiger Angabe der maximalen Abweichungen erfolgen. Die Angabe kann in numerischer Form (Nichtlinearität z.B. $\pm 0,4$ dB) oder als Graph (Messkurve) erfolgen.

Als Bezugsfrequenz für 0 dB sind 1.000 Hz zu wählen. Alle Entzerrer (Equalizer) und Filter im Signalweg sind auf Nullstellung zu setzen (keine Anhebung oder Absenkung aktiv), ein vollständiger Bypass ist nicht zulässig.

- Mikrofoneingänge: zumindest 20 - 20.000 Hz, Nichtlinearität kleiner als $\pm 0,5$ dB, bei Verstärkungen zwischen 12 und 60 dB, gemessen an den analogen Ausgängen bei +6 dBu und an den digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.
- Line-Eingänge: zumindest 20 - 20.000 Hz, Nichtlinearität kleiner als $\pm 0,5$ dB, bei einer Verstärkung von 0 dB, gemessen an den analogen Ausgängen bei +6 dBu und an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.

Maximale Frequenzgangabweichung zwischen gleichen Tonwegen (einschl. Stereo- und 5.1-Surround-Tonwegen):

- ohne Filter/EQ innerhalb des Übertragungsbereiches: $\pm 0,5$ dB,
- mit Filter/deaktiviertem EQ im Bereich $1,5 f_u$ bis $1/1,5 f_o$: $\pm 0,5$ dB

Die oben angegebenen Werte gelten für alle möglichen Wege zwischen den Ein- und Ausgängen von Audiosystemen. Die Spezifikationen für den Frequenzgang müssen auch bei einem Abschluss des Ausgangs mit komplexer Last Z_a , definiert als Widerstand $R \geq 200$ Ohm mit parallel geschalteter Kapazität von wahlweise 0 – 22 nF, erfüllt werden.

Verhalten außerhalb des Übertragungsbereiches:

- In rein analogen Geräten Frequenzgang monoton abfallend mit mindestens 6 dB/Oktave jedoch höchstens 18 dB/Oktave.
- In digitalen Systemen muss dieser „analoge“ Frequenzgang spätestens durch das Tiefpassfilter oder andere Maßnahmen des AD-Wandlers gemäß Sampling-Theorem auf weniger als die halbe Samplingfrequenz begrenzt werden, um Aliasing-Störungen zu vermeiden.
- Eine Übertragung von Gleichspannungsanteilen (DC) in Signalen muss durch entsprechende Filterung oder Koppelkondensatoren im Signalweg vermieden werden.

Bei Geräten und Anlagen, die für Hi-Res-Produktionen (Abtastfrequenz 88,2 oder 96 kHz) eingesetzt werden sollen, ist im Übertragungsfrequenzbereich von 20 – 20.000 Hz eine Abweichung von maximal $\pm 0,5$ dB zulässig, im Frequenzbereich zwischen 20.000 und 40.000 Hz maximal $\pm 1,5$ dB.

3.1.6 Phasendifferenz (Differential Phase)

Die Phasendifferenz zwischen gleich konfigurierten Tonwegen eines Systems, z.B. beliebigen Eingängen einer Produktionsregie oder eines Mischpults zu Summenausgängen (einschl. Stereo- und 5.1-Surround-Tonwegen), gemessen bei gleichem Pegel

- innerhalb 125 - 10.000 Hz: $\leq \pm 3^\circ$
- innerhalb 20 Hz – 20.000 Hz: $\leq \pm 5^\circ$

3.1.7 Nichtlineare Verzerrungen (Nonlinear Distortion)

Die Übertragungsqualität definiert sich unter anderem über das Maß nichtlinearer Verzerrungen, die in Geräten und Anlagen entstehen. Nichtlineare Verzerrungen fügen dem Originalsignal unerwünschte Signale hinzu. Je nach Auslöser entstehen einfache Oberwellen oder Intermodulations- und Differenztonprodukte, die dem Eingangssignal überlagert werden.

3.1.7.1 Klirrfaktor (THD, Total Harmonic Distortion)

Klirrfaktor (THD) bei elektronischer Symmetrierung

- Mikrofon-Eingang zu den Ausgängen eines Gerätes:
Klirrfaktor (THD) im Bereich 20 Hz – 20.000 Hz: $\leq 0,1\%$ (Kges) bei Verstärkungen zwischen 0 und 60 dB, gemessen an analogen Ausgängen bei +6 dBu, an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.
- Leitungspegel-Eingang zu den Ausgängen eines Gerätes:
Klirrfaktor (THD) im Bereich 20 Hz – 20.000 Hz: $\leq 0,1\%$ (Kges) bei Eingangspegeln zwischen +15 dBu und -60 dBu, gemessen an analogen Ausgängen (z.B. Summenausgang) bei +6 dBu, an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.

Es gelten die in Kap. 3.1.1 (Verstärkungen, Pegel) genannten Messbedingungen für Mikrofon- und Lineeingänge.

Bei Übertrager-gekoppelten, analogen Signalwegen dürfen sich die Grenzwerte für den Klirrfaktor (THD) im Bereich von 20 Hz – 20.000 Hz um jeweils $\leq 0,5\%$ erhöhen.

3.1.7.2 Intermodulationsverzerrungen (IMD) und Differenztonverzerrungen (DFD)

Die Angabe des Klirrfaktors Kges (siehe 3.1.7.1) beschreibt nur in Teilen die gehörmäßig empfundenen Verzerrungen, auch THD+N Messungen geben keine genaue Auskunft über das gesamte Ausmaß nichtlinearer Verzerrungen. Messungen der IMD (Intermodulation Distortion) und/oder DFD (Difference Frequency Distortion) sind eine wesentliche praxisnähere Information zur Qualität von Audiogeräten.

Intermodulationsverzerrungen sind nach SMPTE RP120-2005 mit Prüfsignalen von $f_1 = 60$ Hz und $f_2 = 7000$ Hz im Pegelverhältnis 4 : 1 zu erfassen.

Maximalwert für IMD: $\leq 0,1\%$, gemessen an analogen Ausgängen bei +6 dBu, an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.

Alternativ können Differenztonverzerrungen (DTD) nach DIN EN IEC 60268-3:2019-02 angegeben werden.

Die Prüfsignale f_1 und f_2 liegen 80 Hz auseinander, Mittenfrequenz typ. 7 kHz, Pegelverhältnis 1:1.

Maximalwert für DFD: $\leq 0,1\%$, gemessen an analogen Ausgängen bei +6 dBu, an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.

Zu messen sind:

- Mikrofon-Eingang zu den Ausgängen des Gerätes bei Verstärkungen zwischen 0 und 60 dB (in Schritten von 15 dB), gemessen an analogen Ausgängen bei +6 dBu, an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.
- Leitungspegel-Eingang zu den Ausgängen des Gerätes bei Eingangspegeln zwischen +15 dBu und -60 dBu (in Schritten von 15 dB) gemessen an analogen Ausgängen bei +6 dBu, an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.

Abweichungen von den genannten Messmethoden sind zu kommunizieren und mit dem zuständigen Planer zu klären.

3.1.7.3 Total Harmonic Distortion + Noise (THD+N)

THD+N fasst den Klirrfaktor (THD) sowie Rauschen und andere Störgeräusche (N, Noise) in einem einzigen Wert zusammen. THD+N kann keine differenzierte Aussage über die Audioqualität liefern, da die Ergebnisse gleichermaßen von Verzerrungen und/oder Störgeräuschen ausgelöst werden können. Die ausschließliche Angabe von THD+N anstelle von THD, IMD oder DTD und Signal-Störabstand (SNR, Signal-to-Noise-Ratio) ist daher nicht zulässig.

Zu messen sind:

- Mikrofon-Eingang zu beliebigem Ausgang eines Gerätes bei Verstärkungen zwischen 0 und 60 dB (in Schritten von 15 dB), gemessen an analogen Ausgängen bei +6 dBu, an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.
THD+N \leq -85 dB gemessen bei 1 kHz (in digitalen Systemen bei 997 Hz)
- Leitungspegel-Eingang zu beliebigem Ausgang eines Gerätes bei Eingangspegeln zwischen +15 dBu und -60 dBu (in Schritten von 15 dB) gemessen an analogen Ausgängen bei +6 dBu, an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS.
THD+N \leq -88 dB gemessen bei 1 kHz (in digitalen Systemen bei 997 Hz)

3.1.8 Fremdspannungsabstand und Dynamik (Signal-to-Noise Ratio and Dynamic Range)

Der Fremdspannungsabstand (SNR, Signal-to-Noise-Ratio) stellt Systemrauschen und andere Störkomponenten wie Brumm und Zirpen sowie weitere Störungssignale im Verhältnis zum Nutzsignal dar. Der Fremdspannungsabstand ist als Quasi-Spitzenwert unbewertet und bewertet (A-Bewertung) anzugeben.

- SNR \geq 90 dB (Effektivwert, unbewertet), im Bereich von 20 bis 20.000 Hz, bei $K_{ges} \leq 0,1$ %.
Gemessen an analogen Ausgängen bei +6 dBu, an digitalen Ausgängen bei -9 dBFS, jeweils bezogen auf nominalen Eingangspegel.
- Der EIN (Equivalent Input Noise) einzelner Mikrofoneingänge muss mindestens -125 dBu (unbewertet, bei A-Bewertung mehr) betragen. Eingang abgeschlossen mit 150 Ohm, bei 60 dB Verstärkung, im Bereich von 20 bis 20.000 Hz, bei $K_{ges} \leq 0,1$ %.
- Der Stör- und Fremdspannungsabstand und die resultierende Dynamik bei der Summierung von Mikrofon-, Line- und anderen Eingängen in Mischpulten wird in Kap. 6.3 behandelt.

Das Spektrogramm der Fremdspannung hat im Wesentlichen ein den Verstärkern typisches weißes Rauschen zu zeigen. Brumm und andere Störungen (Knackstörungen beliebigen Ursprungs, Einflüsse der Netzversorgung (Netzsteuerung sowie Störungen von Linear- und Schaltnetzteilen) dürfen visuell im Spektrogramm und akustisch nicht hervortreten, auch wenn die oben angeführten Werte ansonsten eingehalten werden.

- Folgende Systemdynamik muss in Geräten und Systemen erreicht werden:
In analoger Technik sowie in digitaler Technik mit 16 Bit Auflösung: \geq 90 dB
In digitaler Technik mit 20 oder 24 Bit Auflösung: \geq 105 dB

3.1.9 Kanalgleichlauf

Bei Stereo- oder Mehrkanalbetrieb betragen die zulässigen Unterschiede zwischen den Kanälen:

- Pegelunterschiede zwischen zusammengehörenden Kanälen im Bereich 20 – 20.000 Hz maximal $\pm 0,5$ dB
- Phasenunterschiede zwischen zusammengehörenden Kanälen ohne Filter: innerhalb 60 - 10.000 Hz: $\leq 3^\circ$, innerhalb 20 Hz – 20.000 Hz: $\leq \pm 5^\circ$ mit aktivem Filter: im Frequenzbereich $1,5 f_u$ bis $1/1,5 f_o$ maximal $\pm 10^\circ$
- Frequenzgangabweichung zwischen zwei gleichen Tonwegen (einschl. Stereo-Tonwegen) ohne Filter innerhalb des Übertragungsbereiches: $\pm 0,5$ dB mit Filter im Bereich $1,5 f_u$ bis $1/1,5 f_o$: $\pm 0,5$ dB
- Siehe auch Kap. 3.2.7 (Latenzen und Latenzausgleich)

3.1.10 Übersprechen (Crosstalk) zwischen zwei vollkommen unabhängigen Tonwegen

- Allgemeine Signalwege:
Dämpfung ≥ 80 dB im Frequenzbereich 20 – 20.000 Hz
Dämpfung ≥ 85 dB im Frequenzbereich 20 Hz bis 5 kHz
- Übersprechen zwischen linkem und rechtem Kanal eines Stereo-Tonweges oder den sechs Kanälen eines 5.1 Surround-Tonwegs:
Dämpfung ≥ 80 dB im Frequenzbereich 20 bis 20.000 Hz
Dämpfung ≥ 85 dB im Frequenzbereich 20 Hz bis 5 kHz

3.2 Spezifikationen digitaler Geräte (Basisanforderungen)

Für digitale Audiogeräte und Anlagen gelten als Basisanforderung grundsätzlich die gleichen Audio-Spezifikationen wie für analoge Geräte (siehe Kap. 3.1). Darüber hinaus gibt es technologiebedingt spezifische Anforderungen, die nachstehend aufgelistet sind.

3.2.1 Taktung und Synchronisation (Clocking and Synchronisation)

Die Taktung digitaler Audiogeräte nimmt erheblichen Einfluss auf die Tonqualität und Systemstabilität. Einzelgeräte müssen daher mit internen Taktoszillatoren ausgestattet sein, die den Anforderungen nach AES2, AES3 und AES11 entsprechen.

Alle Geräte, die im Verbund einer Anlage zusammenarbeiten sollen, müssen extern taktbar sein und sind mit externer Taktsynchronisation zu betreiben. Die Synchronisationsquelle muss dabei hinsichtlich Genauigkeit und Stabilität den Anforderungen nach AES2, AES3 und AES11 entsprechen. Sollte keine externe Taktquelle zur Verfügung stehen, muss das hinsichtlich Taktqualität hochwertigste Gerät als Taktmaster definiert werden und dessen Taktausgang zu den anderen Geräten verteilt werden.

Besteht in Geräten eine Auswahlmöglichkeit für unterschiedliche Takte, muss immer dem Signal mit der höchsten Qualität hinsichtlich Genauigkeit und Stabilität der Vorzug gegeben werden. Ziel ist eine Taktung auf dem Niveau von DARS „Grade 1“ (siehe AES11). Werden in einer Anlage unterschiedliche Taktarten (etwa AES11, Black-Burst, Wordclock, PTPv1 oder PTPv2) benötigt, sind diese Takte von einer gemeinsamen Taktquelle zu erzeugen, phasenstarr verkoppelt zueinander zu konvertieren und aktiv zu den einzelnen Senken zu verteilen.

Die Verteilung physikalischer Taktsignale muss über aktive Verteilverstärker erfolgen (DA, Distribution Amplifier), vorzugsweise mit Taktregeneration (Reclocking). Durchschliffe (Loop-Through) sind zu vermeiden. Im Ausnahmefall sind bis zu drei Durchschliffe zulässig, wobei nicht benutzte Durchschliff-Ausgänge mit passenden Endwiderständen (Terminating Resistors) abzuschließen sind. Die Verteilung

logischer Taktsignale (PTPv1, PTPv2) erfolgt über Netzwerk-Switches mit entsprechender Kompatibilität zu diesen Protokollen.

Übliche physikalische Takte sind:

- Digital Audio Reference Signal (DARS nach AES11, sog. Leerrahmen oder „Black Audio“)
- Digitales Audio (nach AES3 und EBU Tech. 3250E „AES/EBU“ sowie MADI, AES10)
- Wordclock WCLK (siehe AES2, AES3 und AES11)
- Video Black & Burst (PAL 50 Hz \rightarrow 15.625 Hz), auch Genlock und Bi-Level-Sync genannt, siehe u.a. Rec. ITU-R BT.1700

In Audio- und Video-over-IP-Systemen, etwa nach Dante, AES67 und ST2110, kommen logische Takte in Form von „Zeitansagen“ zur Anwendung. Sie dienen zum Abgleich der geräteinternen Taktoszillatoren nach dem Prinzip kommunizierender Uhren.

Typische logische Takte sind:

- PTPv1 nach IEEE 1588-2002, u.a. bei Audio-over-IP mit Dante (Audinate)
- PTPv2 nach IEEE-1588-2008, u.a. bei Audio-over-IP mit Ravenna und AES67 und bei Video-over-IP bei ST2110 in den Implementierungen nach SMPTE ST 2059-1 und SMPTE ST 2059-2

Basis für alle Takte hat immer ein GNSS disziplinierter Takt zu sein. Abbildung 3 zeigt die mögliche Taktung unterschiedlicher Geräte im Verbund (Beispiel).

Abtastratenwandler (SRC, Samplerate Converter) sollten nur dann verwendet werden, wenn es keine Möglichkeit zur Taktung externer Quellen gibt (z.B. CD- und andere Disc-Player, ankommende Übertragungsleitungen, Downlinks). Grund ist vor allem die signifikante Vergrößerung von Latenzen, die durch SRCs im Signalweg entsteht (typisch 1 bis 2 ms, etwa bei 44,1 kHz zu 48,0 kHz) und eine qualitative Verschlechterung des Signals (interpolieren oder verwerfen von Samples). Darüber hinaus sind SRCs nicht bittransparent, was die Verwendung mit Dolby E oder anderen kodierten Audiosignalen in diesen digitalen Signalwegen verunmöglicht. In digitalen Tonmischpulten und Audio-Embeddern sind in jedem Fall schaltbare Abtastratenwandler vorzusehen.

Abweichungen davon sind nur nach Rücksprache mit dem zuständigen Planer zulässig – die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten.

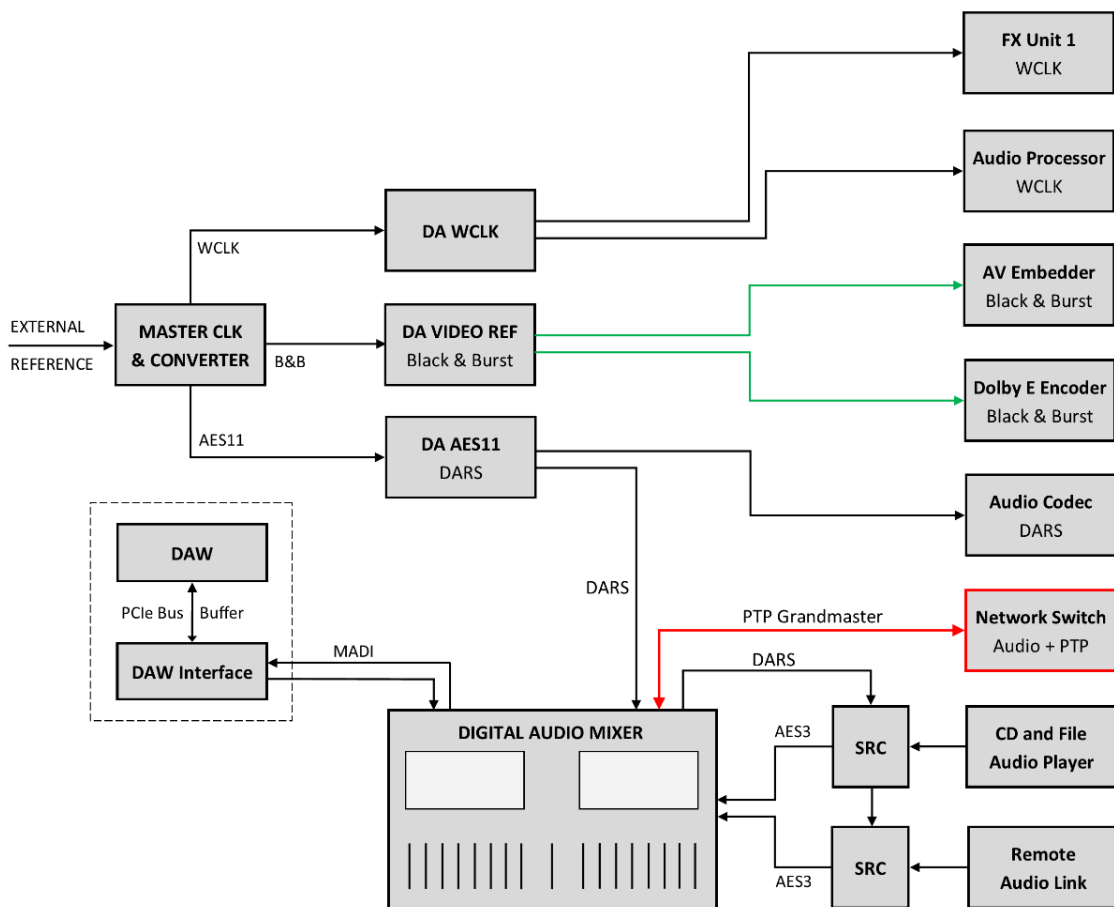


Abbildung 3 Taktung unterschiedlicher Geräte im Verbund über gemeinsame Taktzentrale (Beispiel)

3.2.2 Abtastfrequenzen und Wortbreiten (Sampling Frequency and Wordlength)

In allen digitalen Audiogeräten ist grundsätzlich die Abtastfrequenz von 48 kHz und die Wortbreite (Auflösung) von 24 Bit zu verwenden. Vorhandene Abtastratenwandler (SRC, Samplerate Converter) sind schaltbar auszuführen. Die geräteinternen Wortbreiten sind so zu wählen, dass sie den Aufgaben der Audibearbeitung mit ausreichend Headroom gerecht werden (z.B. DSP 32 Bit mit Akkumulator 58 Bit oder 40 Bit Floating Point, etc.)

Mit Ausnahme von digitalen Audiogeräten in Videoumgebungen (MAZ, Videoserver, NLE, Embedder, etc.), die immer mit 48 kHz arbeiten, sind auch Abtastfrequenzen von 44,1 kHz zusätzlich zu ermöglichen.

Für Hi-Res-Produktionssysteme sind im Anlassfall auch die Abtastraten 88,2 und 96 kHz zu ermöglichen, darauf wird im Lastenheft bei Bedarf explizit verwiesen.

Mobile Aufnahmegeräte, etwa für Hörfunkjournalisten, bei Film- und Fernsehproduktion oder im EB-Bereich, sind nach Möglichkeit mit 32-Bit-AD-Wandlern (Floating Point) und entsprechender Aufnahmefunktion auszustatten, da im Falle von überraschenden Überpegeln oder bei Fehlbedienungen Übersteuerungen (Clipping) wirkungsvoll vermieden werden können (Pegelskalierung auf 24 Bit erfolgt bei der Nachbearbeitung).

3.2.3 Jitter

Jitter kann als Zeitschwankung zwischen der idealen und tatsächlichen Position eines Bits im Datenstrom verstanden werden und hat verschiedene Ursachen und Formen.

Clock-Jitter entsteht durch Instabilitäten in Taktgeneratoren oder unzureichende Sync-Konzepte zur Taktverteilung. Signal- oder Interface-Jitter (auch Media-Jitter genannt) entsteht auf dem Übertragungsweg durch Fehlanpassungen (Reflexionen, falscher Wellenwiderstand) und ungeeignete Übertragungsmedien (zu lange oder falsche Kabel). Jitter wirkt sich in der Praxis vor allem bei AD- oder DA-Wandlungen als sog. Sampling-Jitter aus. Neben einer Verschlechterung der Lokalisation in Stereo- oder Surroundsignalen bewirkt Jitter vor allem ein Ansteigen des Grundrauschens und der Verzerrungen, im Extremfall auch Dropouts oder den Ausfall von Verbindungen.

Das Ausmaß des Jitters wird in Nanosekunden (ns) oder UI (Unit Intervals) angegeben, seine Frequenz in Hz. Innerhalb des Augendiagramms (Eye-Pattern) muss eine minimale „Augenöffnung“ gegeben, sein, damit die Senke das Signal (den Unterschied zwischen 0 und 1) noch erkennen und einwandfrei dekodieren kann.

Vergl. AES3, AES-2-id und AES11.

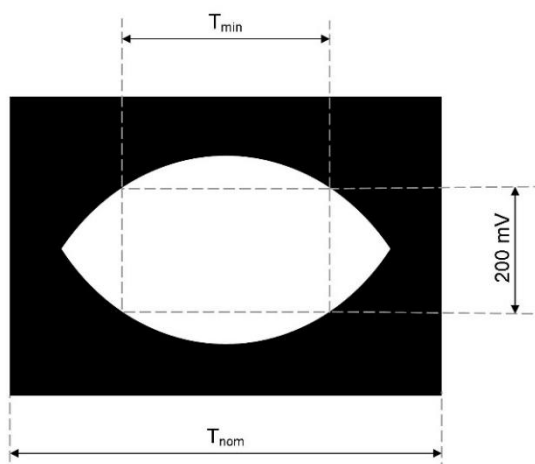


Abbildung 4 Augendiagramm zur Darstellung von Jitter

Der maximale Jitter der Clock-Periode beträgt bei 48 kHz Abtastfrequenz +/-10 ns bei einer horizontalen Augenöffnung von 162,76 ns und einer vertikalen Augenöffnung von 200 mV, gemessen und dargestellt im Augendiagramm. Dabei gilt:

- Dauer einer Clockperiode: $T_{CLK} = 162,76 \text{ ns}$ bei 6,144 MHz Bitclock. Da pro Abtastung (pro Sample) 2 Subframes zu je 32 Bit bei 48 kHz Abtastfrequenz übertragen und mittels Bi-Phase-Mark-Coding umgetastet und damit die Bitrate verdoppelt wird, ergibt sich für die Clockperiode

$$T_{CLK} = \frac{1}{2 \times 32 \times 48000 \times 2} = 162,76 \text{ ns}$$

- T_{nom} ergibt sich aus der Clockperiode T_{CLK} mit maximaler Abweichung $T_{max} = 162,76 \text{ ns} + 20 \text{ ns} = 182,76 \text{ ns}$ sowie Clockperiode mit minimaler Abweichung $T_{min} = 162,76 \text{ ns} - 20 \text{ ns} = 142,76 \text{ ns}$.
- Die minimale horizontale Augenöffnung in der Zeitachse daher: $T_{min} \geq 0,5 \times T_{nom} \geq 71,4 \text{ ns}$
- Die minimale vertikale Augenöffnung (Amplitude): $V_{min} \geq 200 \text{ mV}$

Im Zuge von Geräte- und Systemabnahmen muss der Jitter vor und nach solchen Geräten erfasst werden.

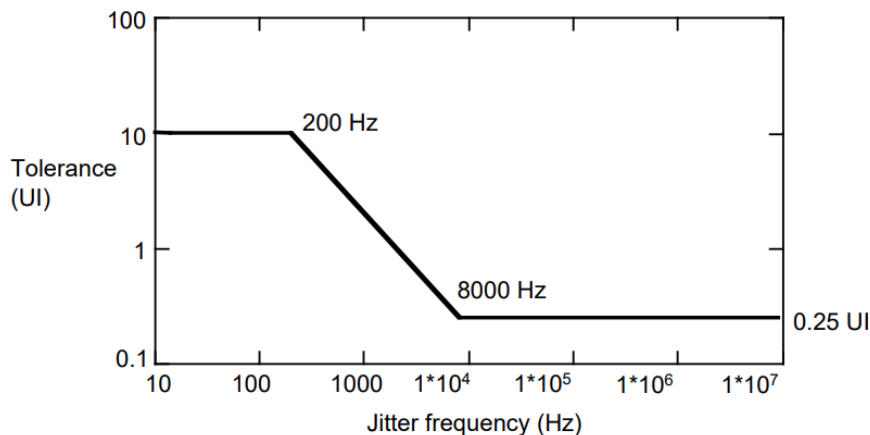


Abbildung 5 Erforderliche Jitter-Toleranz von Senken (Empfängern) nach AES3-4

Digitale Audiogeräte sollten an ihren digitalen Eingängen über Mechanismen zur Jitter-Korrektur verfügen bzw. im Verbund mit anderen Audiogeräten jitterarm getaktet werden.

Hörbarer Jitter entsteht fast ausschließlich bei der AD- oder DA-Wandlung als „Sampling-Jitter“, folgende Grenzwerte dürfen daher nicht überschritten werden:

- Bei 24 Bit, 48 kHz: $\leq 5,0$ ns
- Bei 24 Bit, 96 kHz: $\leq 2,0$ ns

3.2.4 Dither

Dithering setzt dem digitalen Signal eine geringe Menge an Zufallsrauschen hinzu, um die durch Quantisierungsfehler verursachten Verzerrungen im Kleinsignalbereich zu verringern. Dadurch wird die Wandlergenauigkeit bei kleinpegeligen Signalen verbessert, allerdings reduziert sich dadurch geringfügig der Signal-Rauschabstand (um etwa 3 dB).

Der Signal-Rauschabstand von Geräten mit Dither-Funktion muss daher mit und ohne eingeschaltetem Dither gemessen werden, der jeweilige Betriebszustand (Dither On/Off) und die Dithering-Art (Triangular, Rectangular, Noise Shaped, etc.) ist in den Messprotokollen zu vermerken.

3.2.5 Emphase (Emphasis)

Ist eine Emphase vorhanden, so muss diese entsprechend den Angaben des Herstellers ein- oder ausgeschaltet sein. Fehlt diese Anweisung, so ist die Emphase auszuschalten. Auf jeden Fall ist der gewählte Emphase-Zustand im Messprotokoll anzugeben.

Hinweis: In modernen Audio- und Studiosystemen mit 20 oder 24 Bit Auflösung wird keine Emphase verwendet. Geräte, die Signale mit Emphase empfangen (z.B. von älteren Audio-Codecs oder frühen CDs), müssen diese mit der passenden De-Emphase bearbeiten können und über Ihre Ausgänge korrigiert (entzerrt) ausgeben.

3.2.6 Alias-Verzerrungen

Audiosignale nahe oder oberhalb der Nyquist-Frequenz (halbe Samplingfrequenz) eines digitalen Audiogerätes dürfen zu keinen wahrnehmbaren Aliasing-Störungen im nutzbaren Frequenzbereich führen.

Bei Audiofrequenzen zwischen der halben und bis zur vierfachen Samplingfrequenz (24 - 192 kHz bei $f_s = 48$ kHz und 48 - 384 kHz bei $f_s = 96$ kHz) am Eingang muss die Dämpfung ≥ 75 dB sein.

3.2.7 Latenzen und Latenzausgleich

Die Gesamtlatenz digitaler Audiogeräte entsteht aus verschiedenen Ursachen: Wandler-Latenzen bei AD- und DA-Konvertierungen, Latenzen durch Samplerate-Konvertierungen (SRC) und durch die eigentliche Signalverarbeitung (DSP). Die Latenz muss durch konstruktive Maßnahmen möglichst klein gehalten und in den technischen Spezifikationen in Relation zur Abtastfrequenz und zum Signalweg angegeben werden (Beispiel: Digitaler Eingang zu digitalem Ausgang 1,6 ms bei 48 kHz, 0,8 ms bei 96 kHz).

In digitalen Audiogeräten dürfen zwischen gleich konfigurierten Wegen keine unterschiedlichen Latenzen entstehen, die größere Abweichungen ergeben als unter Kap. 3.1.6 (Phasendifferenz) spezifiziert. Wenn in unterschiedlich konfigurierten Wegen oder zwischen einzelnen Ein- und Ausgängen prozessbedingt unterschiedliche Latenzen auftreten, müssen diese vorzugsweise durch eine automatische Latenzkompensation für alle Kanäle ausgeglichen werden (Latency Compensation oder Delay Compensation). Diese Kompensation darf, etwa zur Erreichung besonders kurzer Latenzen, in einzelnen Signalwegen auch manuell abschaltbar sein. Der jeweilige Betriebszustand muss in jedem Fall eindeutig erkennbar signalisiert werden.

3.2.8 Linearität zwischen Ein- und Ausgang

Die Linearität zwischen Ein- und Ausgangspegel sollte bei einer Frequenz von 997 Hz im Bereich des Eingangspegels zwischen -100 dBFS bis 0 dBFS einen maximalen Fehler von +/- 0,5 dB nicht überschreiten.

4 Digitale Audioschnittstellen

Digitale Audioschnittstellen dienen zur verlustlosen, wandlungsfreien Übertragung zwischen digitalen Audiogeräten. Sie definieren sich nicht nur über die physikalischen Parameter des Carriers sondern auch über die logischen Eigenschaften. Im Folgenden werden wesentliche digitale Audio-Schnittstellen und ihre Eigenschaften aufgeführt.

4.1 AES/EBU Schnittstelle (AES-3 und EBU-Tech 3250-E): Grundlagen für die Spezifikation

Das landläufig als „AES/EBU-Schnittstelle“ bezeichnete Interface ist in mehreren internationalen Standards beschrieben (AES3-1 bis AES3-4, EBU Tech. 3250-E, IEC 60958 Typ I u.a.). Der wesentliche Unterschied zwischen den Standards besteht darin, dass lt. EBU Tech. 3250-E ein Impulsübertrager (und damit galvanische Trennung) verbaut werden muss, nach AES-3 jedoch nur „dringend empfohlen“ ist (vergl. AES2-id, Kapitel 7.1). In der Mehrheit aller Fälle sind Schnittstellen in Geräten heute nach AES-3 gebaut und besitzen gemäß AES2-id die empfohlenen Impulsübertrager. Wenn galvanische Trennung, etwa zwischen Geräten an unterschiedlichen Stromkreisen und zur Vermeidung von Potentialunterschieden, benötigt wird, ist die Ausführung der Geräteschnittstelle vorab zu prüfen oder zur Sicherheit ein externer Impulsübertrager vorzusehen.

- AES2id-2020 Guidelines for the use of the AES3 Interface
- AES3-2009 (r2019) AES3-2009 (r2019)
- AES3id-2001 (w2010): AES information document for digital audio engineering - Transmission of AES3 formatted data by unbalanced coaxial cable (Revision of AES3id-1995), seit 2019 in AES3-4

- AES17-2020 AES standard method for digital audio engineering - Measurement of digital audio equipment
- EBU Tech. 3250-E Third Edition 2004: Specification of the Digital-Audio-Interface
- IEC 60958 Type I Digital audio interface - Part 1: General
- ISO/IEC 11801 Information technology — Generic cabling for customer premises

Alle in Folge aufgeführten Spezifikationen der AES₃ (AES/EBU) und digitalen Consumerschnittstellen (SPDIF/TOSlink) beziehen sich auf eine Abtastfrequenz von 48 kHz. Bei 96 kHz ist von einer Verdopplung der Signalfrequenz und Reduktion der jeweils möglichen Leitungslänge auszugehen.

4.1.1 Kabel und Steckverbinder für AES/EBU, symmetrische (differentielle) Übertragung

Übertragung mit AES₃-spezifischem Kabel, zweipolig verdreht mit Schirmung (Shielded Twisted Pair, STP):

- Kabel und Steckverbindung nach AES₃-4-2009, Annex C, vergl. AES₁₄
- Wellenwiderstand: nominal 110 Ohm, zulässige Abweichung maximal 20% = 88 - 132 Ohm im Frequenzbereich von 0,1 - 6 MHz
- Carrier-Level des Signals am Ausgang der Quelle: 2,0 – 7,0 V_{pp}
- Dämpfung: max. 6,0 dB/100m bei einer Frequenz von 6 MHz (bei f_s = 48 kHz)
- Minimal mögliche Kabellänge ohne Signalregenerierung: ≥ 150 m (bei f_s = 48 kHz)
- XLR-Stecker: Steckerbelegung,
 - 3-polig: Stift 1: Schirm, Stift 2: Hin-Leitung (+), Stift 3: Rück-Leitung (-)
 - Obwohl Polaritätsvertauschungen im Gegensatz zu analogen Verbindungen keine Rolle spielen, darf aus Gründen der Kompatibilität zu analogen Verkabelungssystemen keine Polaritätsvertauschung stattfinden, siehe Kap. 3.1.2

Geräteausgänge sind mit Steckern (Stifte), Geräteeingänge mit Buchsen zu versehen. Als Kontaktoberfläche kommen typisch Silber- und Nickel-beschichtete Kontakte (z.B. 1 µm Ag auf 2 µm Ni) zum Einsatz. Aufgrund der schlechteren Leitfähigkeit von Gold gegenüber Silber-Nickel-Verbindungen sind goldbeschichtete Kontakte nur in belasteten Umgebungen sinnvoll, etwa bei Feuchtigkeit und Korrosionsgefahr (Gold ist chemisch inert und korrodiert nicht).

Neben den oben genannten, spezifischen AES/EBU-Kabeln können in Sonderfällen und nach Rücksprache auch Netzwerkkabel der Typen Cat.5, Cat.5E, Cat.6 oder höher zum Einsatz kommen. Sie erlauben typischer Weise weitaus größere Reichweiten, was durch wesentlich strikter eingehaltene Kabelspezifikationen erreicht wird. Ihre Verwendung ist in AES₃-4 (Annex C, Absatz 1.3) beschrieben, wobei je nach Anwendung und Erfordernis S/UTP (Shielded/Unshielded Twisted Pair), S/FTP (Shielded/Foiled Twisted Pair) und U/UTP (Unshielded Twisted Pair) eingesetzt werden können. Diese Kabel eignen sich als 4-paarige Verbindungen vor allem für Fixinstallationen und in flexibler Ausführung des Kabels für mobile Einsätze.

Übertragung mit Netzwerkkabel, 4-paarig, mit oder ohne Schirmung (S/UTP, S/FTP, U/UTP)

- Kabel und Steckverbindung nach AES₃-4-2009, Annex C, Abschnitt 1.3 und 4.2
- Wellenwiderstand: nominal 100 Ohm, zulässige Abweichung maximal ± 5% = 95 - 105 Ohm bei 100 MHz
- Carrier-Level des Signals am Ausgang der Quelle: 2,0 – 7,0 V_{pp}
- Dämpfung: max. 7,0 dB/100m bei einer Frequenz von 6 MHz (bei f_s = 48 kHz)
- Minimal mögliche Kabellänge ohne Signalregenerierung: ≥ 300 m (bei f_s = 48 kHz)
- RJ-45-Stecker: IEC 60603-7, Kontaktbelegung „8P8C“ nach EIA/TIA 568A
- Break-Out-Box (Adapter) zu XLR-Verbindungen gemäß AES₃-4-2009 und AES₁₄-1992

4.1.2 Kabel und Stecker für AES/EBU über Koaxial-Kabel, unsymmetrisch

Der Standard AES₃-4 (früher AES₃-id) beschreibt auch die nicht-differentielle Übertragung von digitalem Audio über Koaxialkabel mit 75 Ohm Wellenwiderstand. Diese Technik wird häufig bei Audio-Anschlüssen von Videogeräten verwendet. Hier gelten folgende Bedingungen:

- Kabel und Steckverbindung nach AES₃-4-2009, Annex D, Kapitel 1 bis 4
- Wellenwiderstand: nominal 75 Ohm, zulässige Abweichung maximal ± 3 Ohm = 72 - 78 Ohm im Frequenzbereich von 0,1 - 6 MHz
- Carrier-Level des Signals am Ausgang der Quelle: 0,8 - 1,2 V_{pp}
- Dämpfung: max. 6,0 dB/100m bei einer Frequenz von 6 MHz (bei $f_s = 48$ kHz)
- Rückflusdämpfung ≥ 15 dB.
- Minimal mögliche Kabellänge ohne Signalregenerierung: ≥ 600 m (bei $f_s = 48$ kHz)
- BNC-Stecker: Steckerbelegung,
 - 2-polig: Außenleiter (Schirm) Rückleitung, Innenleiter: Hin-Ltg. (+)

Die Übersetzung zwischen symmetrischen (differentiellen) und unsymmetrischen (nicht-differentiellen) AES/EBU-Verbindungen muss stets mit passenden Impedanzkonvertern (Übertragern) oder aktiv erfolgen. Dabei ist auf die Einhaltung der standardisierten Carrier-Level zu achten. Im Falle von Abweichungen ist nachweislich zu prüfen, ob der Fangbereich des angeschlossenen Gerätes diese Carrierlevel problemlos und unter allen Bedingungen (Leitungslänge) verarbeiten kann.

4.1.3 Digitale Consumer-Schnittstellen (S/PDIF, Toslink)

Trotz vieler Gemeinsamkeiten unterscheiden sich professionelle AES/EBU-Schnittstellen von Consumer-Schnittstellen nach IEC 60958 Type II (S/PDIF), die elektrisch über Cinch-Verbindungen oder optisch über Toslink hergestellt werden. Eine Kompatibilität zu AES₃-4 u.a. ist zwar grundsätzlich möglich, es gibt jedoch Unterschiede beim Carrier-Level (typ. 0,5 Volt) und nicht selten bei der Verwendung der VUC-Information (Validity Bit, User Data Bit, Channel Status Bit) im AES₃-Subframe. Obwohl direkte Verbindungen unter Umständen funktionieren, können die erwähnten Unterschiede im Extremfall zum Ausfall von Verbindungen führen (z.B. Mute der Senke durch falsch verstandene Information im Channel Status Bit der Quelle).

Zur Verbindung von Consumergeräten mit professionellen Geräten sind daher Format-konverter einzusetzen, die neben der elektrischen Anpassung auch das Datenformat entsprechend wandeln.

4.1.4 Impedanzen, Abschluss für Messungen an 110 und 75 Ohm

Eingangs-Impedanz von Geräten:

- XLR- und Netzwerkkabel-Verbindungen 110 Ohm $\pm 20\%$ im Frequenzbereich von 0,1 - 6 MHz
- BNC-Verbindungen 75 Ohm ± 3 Ohm im Frequenzbereich von 0,1 - 6 MHz

Ausgangs-Impedanz von Geräten:

- XLR- und Netzwerkkabel-Verbindungen 110 Ohm $\pm 20\%$ im Frequenzbereich von 0,1 - 6 MHz
- BNC-Verbindungen 75 Ohm ± 3 Ohm im Frequenzbereich von 0,1 - 6 MHz

Pro Quellenausgang ist nur ein Verbraucher zulässig (Y-Kabel zur Parallelschaltung sind unzulässig). Die Signalverteilung muss aktiv über AES/EBU-Verteil-Verstärker, bei längeren Kabelwegen zwischen Quelle und Verteiler mit Signalregeneration (Reclocking, Regeneration) erfolgen. Im Zweifelsfall sind an den

Geräteeingängen (Verteil-Verstärker-Eingang und darauffolgender Geräteeingang) Carrier-Level und Jittermessungen mit Augendiagramm-Darstellung vorzunehmen.

4.1.5 Amplitude des digitalen Signals (Carrier-Level)

- XLR- und Netzkabel-Verbindungen 110 Ohm, symmetrisch: Signalamplitude 4,0 Volt Spitze/Spitze an 110 Ohm, standardkonform sind Werte zwischen 2,0 und 7,0 V Spitze/Spitze, gemessen an der Quelle bei einem realen (ohmschen) Abschluss von 110 Ohm.
- Koaxialkabel-Verbindungen 75 Ohm, unsymmetrisch: Signalamplitude 1,0 Volt Spitze/Spitze an 75 Ohm, standardkonform sind Werte zwischen 0,8 und 1,2 Volt Spitze/Spitze, gemessen an der Quelle bei einem realen (ohmschen) Abschluss von 75 Ohm.

Hinweis: Obwohl moderne, professionelle Geräte über einen vergleichsweise großen „Fangbereich“ für digitale Eingangssignale verfügen, der zwischen etwa 0,5 und 8,0 Volt Carrier-Level liegen kann, muss sichergestellt werden, dass die Eingangs- und Ausgangssignale von Geräten dem jeweiligen Standard entsprechen und es beim Ersatz von Geräten oder dem Einbau von zusätzlichen Kabellängen zu keinen Störungen kommt. Im Zweifelsfall und bei technischen Abnahmen sind an den Geräteausgängen und den darauffolgenden Eingängen Carrier-Level- und Jittermessungen mit Augendiagramm-Darstellung vorzunehmen.

4.1.6 Anstiegs- und Abfallzeiten des digitalen Signals (Carrier)

Die Anstiegs- und Abfallzeiten werden am Ausgang eines Leitungstreibers (Geräteausgang) gemessen (vergl. AES3-4-2019, Abschn. C.2.4):

- XLR- und Netzkabel-Verbindungen: Messung mit Abschluss 110 Ohm, Abtastfrequenz 48 kHz. Gemessen zwischen 10 % und 90 % der Carrier-Amplitude müssen die Anstiegs- und Abfallzeiten zwischen 5 ns und 30 ns liegen, entsprechend 0,03 UI und 0,18 UI.
- Koaxialkabel-Verbindungen: Messung mit Abschluss 75 Ohm, Abtastfrequenz 48 kHz. Gemessen zwischen 20 % und 80 % der Carrier-Amplitude müssen die Anstiegszeiten bei typisch 37 ns liegen (entsprechend 0,225 UI), minimal 30 ns (0,225 UI) und maximal 44 ns (0,27 UI).

4.2 MADI-Schnittstelle (Multichannel Audio Digital Interface)

Grundlage für die Spezifikation der MADI-Schnittstelle:

- AES10-2020: AES Recommended Practice for Digital Audio Engineering - Serial Multichannel Audio Digital Interface (MADI)

Grundsätzlich sind elektrische Verbindungen (75 Ohm, Koaxialkabel mit BNC-Steckverbindung) oder optische Verbindungen (Single- oder Multimode) möglich, siehe untenstehende Tabelle. Bei raum- und systemübergreifenden Leitungen sind optische Verbindungen (Glasfaser) aufgrund der galvanischen Trennung zu bevorzugen, bei Verbindungen ≥ 50 m auch aufgrund der weitaus besseren Signaleigenschaften, die größere Reichweiten ermöglichen.

Optische Verbindungen sind so auszuführen, dass hinsichtlich der verwendeten Wellenlängen, der Übertragungsart (Single- oder Multimode sowie Faser-Kerndurchmesser), der Steckverbinder und der Sende- und Empfangsleistungen der optischen Transceiver maximale Kompatibilität zu anderen vorhandenen Geräten gewährleistet ist. Siehe Kap. 7.3.2, Glasfaser-Steckverbindungen.

Technische Anforderungen (Auszug):

Datenrate:	125 Mbit/s (bei 64 Kanälen, 48 kHz Abtastrate)
Audiodaten:	<ul style="list-style-type: none"> • 64 Kanäle mit 24 Bit bei 32 bis 48 kHz nominal (ohne Varispeed) • 56 Kanäle mit 24 Bit bei 32 bis 48 kHz \pm 12,5% (Varispeed) • 32 Kanäle mit 24 Bit bei 64 bis 96 kHz nominal (ohne Varispeed), S/MUX • 28 Kanäle mit 24 Bit bei 64 bis 96 kHz \pm 12,5% (Varispeed), S/MUX <p>In jedem Fall ist eine vorherige Klärung der Ausführung mit dem zuständigen Planer erforderlich, insbesondere hinsichtlich Abtastfrequenzen und Bedarf für Varispeed. Ohne spezifische Angaben ist von 64 Kanälen und 48 kHz (ohne Varispeed) auszugehen.</p>
Optische Schnittstelle	<ul style="list-style-type: none"> • Steckverbindung FDDI Duplex SC (standard) oder LC (optional, meist bei SFPs) • Multimode-Faser mit 50/125 μm oder 62,5/125μm, λ = 1310 nm oder 850 nm • Singlemode-Faser mit 9/125 μm, Lichtwellenlänge λ = nach Vereinbarung • Reichweite: \geq 2000 Meter (Multimode mit Faser 62,5/125μm) oder \geq 10.000 Meter (Singlemode mit Faser mit 9/125 μm) <p>Die optischen Schnittstellen an Quelle und Senke müssen hinsichtlich der Wellenlänge, der Übertragungsart (Single- oder Multimode, Faserart), der Steckverbindung sowie hinsichtlich Sende- und Empfangsleistung der optischen Transceiver aufeinander abgestimmt sein und maximale Kompatibilität zu anderen vorhandenen Geräten gewährleisten.</p> <p>Vergl. Kap. 7.3.2, Glasfaser-Steckverbindungen.</p>
Elektrische Schnittstelle	<p>Impedanz von Ausgang und Eingang: 75 Ohm \pm 2 Ohm (Leistungsanpassung) Signalspannung: Maximal 0,6 V_{pp} (bei Abschluss mit 75 Ohm) Minimale Augenhöhe am Empfänger: 0,15 V_{pp} Minimale Augenweite am Empfänger: 6 ns Steckverbindung: BNC, 75 Ohm, galvanisch getrennt Kabel: Koaxialkabel, 75 Ohm Reichweite: \geq 50 m</p> <p>Vergl. Kap. 7.3.1, BNC-Steckverbindungen.</p>
Besondere Anforderungen:	Die MADI-Übertragungswege sind bittransparent auszuführen. Daten aus AES/EBU-Schnittstellen oder Audio-Encodern, neben den PCM-Daten insbesondere die VUC-Informationen, müssen transparent übertragen werden. Ein Nachweis der Dolby E Kompatibilität ist zu erbringen.

4.3 Audio in SDI-Verbindungen

Videoverbindungen nach SMPTE ST 259M (SD-SDI) und SMPTE ST 292M (HD-SDI) können bis zu 16 unkomprimierte Audiokanäle als „Embedded Audio“ übertragen, die Eigenschaften der Audioübertragung ist in SMPTE 272M (SD, Wortbreite maximal 20 Bit) und SMPTE 299M (HD, Wortbreite maximal 24 Bit) festgelegt. Die insgesamt 16 Audiokanäle werden in 4 Gruppen zu je 4 Kanälen übertragen. SDI-Standards für 4K-UHD unterstützen auch größere Kanalzahlen (geräteabhängig).

Audioverbindungen innerhalb von SD-SDI (ST 259M, Audio ST 272M) sind nur innerhalb der jeweiligen Audiogruppe (jeweils 4 Kanäle) phasengleich, bei der Verteilung von z.B. Mehrkanalton 5.1 auf zwei Audiogruppen kann es zu erheblichen Phasenverschiebungen zwischen den Gruppen kommen, was z.B. beim Downmix von 5.1-Produktionen zu Stereo in Heimgeräten zu erheblichen Störungen führen kann. Bei HD-SDI (ST 292M, Audio ST299M) ist die Phasenlage über mehrere Gruppen hinweg wesentlich enger

spezifiziert. Bei der Inbetriebnahme von Geräten oder Systemen ist die Phasenlage zwischen den einzelnen Kanälen und Gruppen messtechnisch zu überprüfen und zu dokumentieren.

Die Audiopfade in Videoumgebungen müssen für 48 kHz Abtastfrequenz, 24 Bit Wortbreite und bittransparent ausgelegt sein (Voraussetzung für Dolby E Kompatibilität). Allfällige Samplerate-Konverter müssen daher abschaltbar sein.

Werden im Video-Teil der kombinierten A/V-SDI-Geräte Zeitverzögerungen vorgenommen (Video-Processing, Video-Delay, Framestore, ...), so hat eine automatische Delaykorrektur der entsprechenden Audiokanäle zu erfolgen (Tracking Audio Delay, Delay-Kompensation, o.ä.). Diese Kompensation muss bei Bedarf abschaltbar bzw. mit manuell einstellbaren fixen Werten ausgeführt sein.

4.4 Audio-over-IP (Dante, Ravenna, AES67, SMPTE ST2110)

Grundsätzlich sind nur Geräte nach dem Audio-over-IP Standard SMPTE ST2110-30 und -31 nach den in Kap. 4.4.1 angeführten Vorgaben einzusetzen. Sind aus Gründen der Verfügbarkeit oder Wirtschaftlichkeit diese nicht vorgesehen, so sind die in den folgenden Unterkapiteln beschriebenen Standards und Vorgaben zu verwenden. Eine schriftliche Begründung dafür ist anzugeben.

Bei allen Geräten und Anlagen, die Audio-over-IP (AoIP) zur Audioübertragung einsetzen, muss folgendes sichergestellt sein:

- Firmware-Updates und Treiber, die über den jeweiligen Schnittstellen-Entwickler (Audinate, ALC-Networx, etc.) angeboten werden, müssen zeitnah vom jeweiligen Gerätehersteller übernommen und dem Anwender verfügbar gemacht werden. Der Unterschied zwischen der zum Abnahmezeitpunkt vorhandenen Firmware-Version und der durch den Hersteller angebotenen Version darf nicht größer als eine Version sein (z.B. 4.1.6 aktuell und 4.1.5 im Gerät). Diese Updates müssen während der gesamten zu erwartenden Verwendungsdauer des Gerätes garantiert werden.
- Adresslisten: Es ist zum Zwecke der Netzwerkplanung im ORF vom Auftragnehmer eine IP-Adressliste und Stream-Adressliste für alle Geräte, Schnittstellen und Signal-Streams bzw. -Flows zu erstellen. Diese hat mindestens folgende Informationen zu enthalten: Gerätename, Management-IP, Streamname, Stream-Source-IP und Stream-Destination-IP (nur bei statischen Verbindungen notwendig), Kanalanzahl, eventuell notwendiges geräteinternes Routing. Die IP-Adressbereiche werden vom ORF auf Nachfrage vorgegeben. Bei DHCP-Verwalteten Netzen sind die entsprechenden Felder nicht auszufüllen.
- Die verfügbare Bandbreite von aktiven und passiven Netzwerkkomponenten (Switches, Kabel, Patchfelder) sollte um zumindest 25% über den im realen Betrieb zu erwartenden Durchsatzraten liegen. Diese Maßnahme ermöglicht das Hinzufügen weiterer Audiokanäle und reduziert implizit die erforderlichen QoS-Einstellungen. Auch der Betrieb mit mehreren Unicast-Streams (Flows) von Quellen zu mehreren Senken wird dadurch ermöglicht.
- Die Auslastung einer einzelnen Netzwerkschnittstelle darf nicht mehr als 85% der maximalen Schnittstellenkapazität betragen, um einen kontinuierlichen Datenfluss (Interpaket-Timing) zu gewährleisten.
- Latenz: Die eingesetzten Geräte-Schnittstellen für AoIP mit AES67, Dante, Ravenna, ST2110 müssen die kürzesten, im jeweiligen Standard möglichen Latenzen unterstützen. Diese Minimal-Latenzen müssen bei der vom jeweiligen Gerät unterstützten Kanalzahl und Stream-Anzahl eingehalten werden. Sollten hier Einschränkungen gegeben sein (z.B. geringere Streamanzahl bei kürzerer Latenz), so ist im Angebot explizit darauf hinzuweisen.
- Redundanz: Obwohl weder Dante, AES67 oder ST 2110 Unterstützung für Redundanzfunktionen erfordern, müssen alle eingesetzten AoIP-Anlagenteile eine Redundanz über zwei unabhängige Netzwerkinterfaces ermöglichen.

Ausnahme: Bei Dante-Systemen können unter Berücksichtigung des Einsatzzweckes auch Geräte ohne Redundanz verwendet werden. Darauf muss im Angebot explizit hingewiesen werden.

- Empfangspuffer (receiving buffer): Es ist bei der Konfiguration bedacht auf einen geringstmöglichen link Offset (die Latenz der Netzwerkverbindung) zu legen. Dazu muss der Empfangspuffer auf den kleinsten, noch betriebssicheren Wert eingestellt werden. (Erfahrungswerte für den Empfangspuffer sind ca. 2x die Paketzeit des eingehenden Streams)
- Für AES67 oder ST2110 Sender sind in der Erstkonfiguration (wenn nicht anders angegeben) folgende Einstellungen in den Geräten vorzunehmen:
 - *Stream-Name*: gemäß Namenskonvention im IP-Pflichtenblatt
 - *RTP payload ID*: 97
 - *packettime (samples per frame)*: 125µs (6 samples @48kHz)
 - *Audioformat*: L24 (bzw. AM824 bei bittransparentem Stream)

4.4.1 Audio bei Video-over-IP nach SMPTE ST2110

Audio bei ST 2110 soll sowohl als AES67-Datenstrom (ST 2110-30) wie auch als PCM-Audio nach SMPTE ST 2110-31 übertragen werden können (bittransparent, Voraussetzung für Dolby E und andere kodierte Audio-Bitstreams).

Redundanz: ST 2110 gibt vor, dass, wenn Redundanz angeboten wird, diese SMPTE ST 2022-7-konform sein muss. Jedoch erlegt ST 2110 dem ST 2022-7 eine wichtige Einschränkung auf: „Redundante Streams dürfen keine identischen Quelladressen als auch identischen Zieladressen aufweisen.“ Der Grund ist: „... während SMPTE ST 2022-7 RTP-Streams mit identischen Quelladressen als auch identischen Zieladressen ermöglicht (in separaten physischen Netzwerken), kann ein solcher Mechanismus mit dem SDP nicht dargestellt werden und daher ist die Verwendung doppelter Quell- und Zieladressen von diesem Standard nicht unterstützt.“ Darauf ist bei der Planung und Implementation besonders Rücksicht zu nehmen. Geräte müssen dies unterstützen.

Geforderte Konformitätslevel: (entgegen SMPTE ST2110, welches nur Level A als Muss vorsieht)

Level:	Vom Sender/Empfänger zu unterstützen:
A (Mussanforderung)	48kHz streams mit 1-8 Audiokanälen mit einer Paketzeit (PT) = 1ms (=48Samples)
B (Mussanforderung)	Level A, zusätzlich jedoch 1-8 Audiokanäle mit PT = 125µs (=6Samples)
C (Mussanforderung)	Level A, zusätzlich jedoch 1-64 Audiokanäle mit PT = 125µs (=6Samples)
AX (Sollanforderung)	Level A (48kHz), zusätzlich jedoch 1-4 Audiokanäle bei 96kHz mit PT = 1ms (=96Samples)
BX (Sollanforderung)	Level B + AX, zusätzlich jedoch 1-8 Audiokanäle bei 96kHz mit PT = 125µs (=12Samples)
CX (Sollanforderung)	Level C + AX, zusätzlich jedoch 1-32 Audiokanäle bei 96kHz mit PT = 125µs (=12Samples)

Bei Geräten mit weniger möglichen Kanälen ist Rücksprache mit dem zuständigen Planer zu halten – die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten.

Alle in Geräten implementierten ST2110-30 oder -31-Schnittstellen müssen zumindest 4 gleichzeitige Audio-Streams je Richtung für Verbindungen ermöglichen. Werden von Herstellern eine bestimmte Anzahl

möglicher Streams genannt, muss diese Anzahl bei allen Paketzeiten (Packet Times) verbindlich eingehalten werden.

Die AMWA NMOS Discovery and Registration Specification (IS-04) sowie die AMWA NMOS Device Connection Management Specification (IS-05) muss unterstützt werden. Ist dies Herstellerbedingt nicht möglich, so ist explizit darauf hinzuweisen.

4.4.2 AES67 Interoperability Standard

AES67 ist als Interoperability Standard der kleinste gemeinsame Nenner zwischen IP-basierten Audiosystemen. Alle Schnittstellen dieser Type müssen sowohl für AES67-2018 wie auch zur Implementierung nach SMPTE ST2110-30 (Video-over-IP) kompatibel sein. Die PTPv2-Profile „AES67 Media Profile“ wie auch das „SMPTE-Profile“ nach SMPTE ST2059-2:2021 müssen unterstützt werden. AES67-Schnittstellen müssen Auflösungen mit 24 Bit und 44,1 sowie 48 kHz unterstützen, in Hi-Res-Anlagen auch zumindest 24 Bit und 88,2 und 96 kHz.

Gemäß AES67 ist die maximale Anzahl der Audiokanäle pro Stream durch die Paketzeit, das Kodierungsformat und die Maximum Transmission Unit (MTU) des Netzwerks begrenzt. Quellen (Sender) und Senken (Empfänger) müssen in der Lage sein, Streams zu erzeugen und zu empfangen, die die Zahl von im Gerät verwendeten Audiokanälen unterstützen.

Beispiele für maximale Kanalkapazitäten pro Stream (nach AES67):

Audio format	Paketzeit				
	125 µs	250 µs	333+1/3 µs	1 ms	4 ms
48 kHz / 16 bit	120	60	45	15	3
48 kHz / 24 bit	80	40	30	10	2
96 kHz / 24 bit	40	20	15	5	1

Es sind (entgegen dem Standard AES67 „Recommended packet times“ der als Muss nur 1ms vorsieht) folgende Paketzeiten gefordert:

	Vom Sender/Empfänger zu unterstützen:
Mussanforderung	48kHz streams mit 1-8 Audiokanälen mit einer Paketzeit (PT) = 1ms (=48Samples)
Mussanforderung	48kHz streams mit 1-64 Audiokanäle mit PT = 125µs (=6Samples)
Sollanforderung	1-4 Audiokanäle bei 96kHz mit PT = 1ms (=96Samples)
Sollanforderung	1-32 Audiokanäle bei 96kHz mit PT = 125µs (=12Samples)

Alle in Geräten implementierten AES67-Schnittstellen müssen zumindest 4 gleichzeitige Audio-Streams je Richtung für Verbindungen ermöglichen. Werden von Herstellern eine bestimmte Anzahl möglicher Streams genannt, muss diese Anzahl bei allen Paketzeiten (Packet Times) verbindlich eingehalten werden.

Die AMWA NMOS Discovery and Registration Specification (IS-04) sowie die AMWA NMOS Device Connection Management Specification (IS-05) muss unterstützt werden. Ist dies Herstellerbedingt nicht möglich, so ist explizit darauf hinzuweisen.

4.4.3 Dante (Audinate)

Dante ist eine proprietäre Audio-over-IP-Schnittstelle von Audinate und verwendet zur Taktung PTPv1. Geräte und Anlagen, die Dante verwenden, müssen diese Schnittstelle auf AES67 (s. Abschn. 4.4.3) und damit auf Taktung nach PTPv2 umschalten können, um für die Verbindung zu Geräten in diesem „Interoperability-Standard“ geeignet zu sein. Für die Taktung ist jenes Gerät als „Preferred Master“ zu konfigurieren, welches einen zentralen Anlagentakt zur Verfügung hat und darauf synchronisieren kann. Abweichungen davon (z.B. bei reinem Dante Inselbetrieb) sind nur nach Rücksprache mit dem zuständigen Planer zulässig – die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten. Im AES67-Modus müssen von Geräten die Taktprofile „AES67 Media Profile“ nach AES67-2018 wie auch das „SMPTE-Profil“ nach SMPTE ST2059-2:2021 unterstützt werden. Dante-Schnittstellen müssen zumindest 8 Unicast-Flows ermöglichen (acht Ziele müssen sich über Dante zum Gerät bzw. zur Quelle verbinden können). Bei Geräten mit weniger möglichen Flows ist Rücksprache mit dem zuständigen Planer zu halten – die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten. Dante-Schnittstellen müssen Auflösungen mit 24 Bit und 44,1 sowie 48,0 kHz unterstützen, in Hi-Res-Anlagen auch zumindest 24 Bit und 88,2 und 96 kHz. Primary- und Secondary-Ports müssen an Geräten vorhanden sein, sollte dies Herstellerbedingt nicht möglich sein, so ist explizit darauf hinzuweisen.

4.4.4 Ravenna (ALC Networx)

Ravenna ist eine proprietäre Audio-over-IP-Schnittstelle von ALC Networx, sie ist zu AES67 inherent kompatibel. Die Taktprofile „AES67 Media Profile“ nach AES67-2018 wie auch das „SMPTE-Profil“ nach SMPTE ST2059-2:2021 müssen unterstützt werden. Ravenna-Schnittstellen müssen Auflösungen mit 24 Bit und 44,1 sowie 48,0 kHz ermöglichen, in Hi-Res-Anlagen auch zumindest 24 Bit und 88,2 und 96 kHz. Primary- und Secondary-Ports müssen an Geräten vorhanden sein, sollte dies Herstellerbedingt nicht möglich sein, so ist explizit darauf hinzuweisen. Alle Ravenna-fähigen Geräte müssen zumindest 4 gleichzeitige Audio-Streams (jeweils für Eingang und Ausgang) für Verbindungen ermöglichen. Bei Geräten mit weniger möglichen Audio-Streams ist Rücksprache mit dem zuständigen Planer zu halten – die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten.

5 Elektromagnetische Verträglichkeit

Alle eingesetzten Geräte und Anlagen müssen den geltenden Bestimmungen hinsichtlich elektrotechnischer Sicherheit und elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) entsprechen. Insbesondere gelten die Anforderungen gemäß Richtlinie 2014/30/EU des Europäischen Parlaments, umgesetzt in BGBl. II Nr. 22/2016 (Elektromagnetische Verträglichkeitsverordnung) und das Elektrotechnikgesetz 1992 (ETG 1992) in der jeweils aktuellen Fassung sowie die entsprechenden ÖNormen. Die Übereinstimmung mit diesen Bestimmungen ist durch die Kennzeichnung „CE“ (für EMV) und „ÖVE“ (für elektrische Sicherheit) anzuzeigen. Anstelle der ÖVE-Kennzeichnung gelten auch andere Prüfzeichen und Prüfprotokolle, sofern sie von unabhängigen, staatlich akkreditierten Prüfstellen vergeben wurden und den harmonisierten europäischen Bestimmungen entsprechen (Beispiel: ENEC, VDE, TÜV). Die entsprechenden Prüfprotokolle sind auf Verlangen vorzulegen.

Für die Beurteilung spezieller EMV-Anforderungen an Audio-, Video- und Lichttechnische Anlagen für den professionellen Einsatz sind auch DIN EN 55103-1 und -2 (Elektromagnetische Verträglichkeit) sowie EN 55022, Klasse B und EN 55013 heranzuziehen.

5.1 Hochfrequenzeinstreuungen

Die Produkte von Hochfrequenzeinstreuungen in Audiowegen müssen mindestens 50 dB unter Nennpegel liegen und dürfen auch nach einer etwaigen Demodulation keine Verschlechterung der Audiowerte bewirken.

5.2 Magnetischer Störfeldeinfluss

In einem homogenen Störfeld mit einer Frequenz von 50 Hz (mit entsprechenden Oberwellen) und einer magnetischen Flussdichte von 5 μT darf sich der Störspannungsabstand selbst bei ungünstiger Orientierung des Gerätes um nicht mehr als 3 dB verschlechtern.

6 Anforderungen und Spezifikationen an Mischpulte und Regietische

Alle Mischpulte und Regietische müssen gemäß dem Stand der Technik entwickelt und gefertigt werden und entsprechend ausgestattet sein. Die nachstehenden Anforderungen gelten für analoge und digitale Regietische (allgemein „Audio-Mischpulte“, vergl. Kap. 6.4) und basieren auf Kapitel 3.1 und 3.2 (Basisanforderungen für analoge und digitale Geräte).

Die messtechnische Erfassung der Spezifikationen hat – je nach Gerätetyp und Art der Schnittstellen – sowohl analog als auch digital zu erfolgen. Die spezifischen Pflichtenwerte des Digitalteils von Regietischen sind aus Kapitel 3.2 und 4 zu entnehmen.

Alle digitalen Mischpulte müssen, sofern sie digitale Ein- und Ausgänge gemäß Kap. 4 bieten, über die Möglichkeit zur externen Synchronisation verfügen.

Alle Spannungs- und Pegelangaben entsprechend ITU-R BS. 645-2 gemessen mit einem Quasi-Peak-Program Meter (QPPM) nach DIN IEC 60268-10 (Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgerät).

6.1 Analoge Eingänge des Regietisches

Die Eingänge sind gemäß den Spezifikationen in Kap. 3.1.1 und 3.1.2 auszuführen.

- Eingangspegelbereich typisch -65 bis +20 dB (bevorzugt -70 bis +24 dBu)
- Verstärkung (Gain) vorzugsweise kontinuierlich einstellbar, alternativ in 10 dB Schritten, Zwischenwerte kontinuierlich
- Eine Umschaltung zwischen getrennten Mikrofon- und Leitungseingängen ist wünschenswert
- Eine Umschaltung zwischen Mikrofon- und Leitungspiegel oder der Einsatz von Vordämpfung (Pad) zur Pegelanpassung ist nach Absprache mit dem zuständigen Planer zulässig - die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten.

6.2 Analoge Ausgänge des Regietisches

Die Ausgänge sind gemäß Kap. 3.1.1 und 3.1.2 auszuführen.

- Ausgangspegel der Ausgänge:
Nominalpegel +6dBu \cong -9 dBFS digital, Maximalpegel +15,0 dBu \cong -0 dBFS digital.
- Ausgangsimpedanzen:
 - Übertragersymmetriert: Impedanz \leq 50 Ohm im Frequenzbereich 20 Hz – 20.000 Hz

- Elektronisch symmetriert: Impedanz ≤ 100 Ohm im Frequenzbereich 20 Hz – 20.000 Hz
- Unsymmetriedämpfung ≥ 40 dB
- Alle Ausgänge müssen symmetrisch ausgeführt sein und auch von unsymmetrischen Senken ohne Qualitätsverlust genutzt werden können.
- Werden symmetrisch erdfreie Ausgänge gefordert, müssen Übertrager oder Schaltungen eingesetzt werden, die zu Übertragern äquivalente Eigenschaften besitzen (vergl. Kap. 3.1.2).
- Alle Ausgänge sollen potentialfrei sein.
- Alle Leitungsausgänge müssen mit 600 Ohm oder auch kapazitiv mit einer Parallelschaltung aus Widerstand (10 kOhm) und Kondensator (22 nF) belastbar sein, ohne dass es zu Einbrüchen des Ausgangspegels oder des Frequenzgangs kommt.
- Bei Kurzschlüssen am Ausgang darf keine Beschädigung der Ausgangsstufen entstehen.
- Das irrtümliche Anlegen von Phantomspeisung an Leitungsausgänge darf zu keiner Beschädigung der Ausgänge führen.

6.2.1 Pegelbezug

Der relative Pultpegel von 0 dBr am pulteigenen Aussteuerungsmesser nach DIN IEC 60268-10 (QPPM) entspricht einem Nominalpegel von +6 dB_u an den analogen Ausgängen und einem Nominalpegel von -9 dB_{FS} (EBU Program-Level) an den digitalen Ausgängen. Als Messsignal ist, je nach Anforderung und Technologie, ein Sinuston von 1 kHz (analoge Geräte) oder 997 Hz (digitale Geräte) zu verwenden.

$$0 \text{ dBr} \triangleq +6 \text{ dB}_u \triangleq 1,55 \text{ V} \triangleq -9 \text{ dB}_{FS}$$

Müssen Tonregiepulte mit anderen Bezugspegeln eingesetzt werden, ist dies vorab mit dem zuständigen Planer zu klären - die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten. Häufig sind hier Pulte, die den international üblichen Bezugspegel von

$$0 \text{ dBr} \triangleq +4 \text{ dB}_u \triangleq 1,23 \text{ V}$$

verwenden. Voraussetzung für deren Verwendung ist, dass die analogen Ausgangsstufen über genügend Headroom (Übersteuerungsreserve) verfügen, um den nominalen Leitungspiegel von +6dB_u und den Maximalpegel von +15 dB_u ohne Zunahme von Verzerrungen liefern zu können und die Pegel der analogen und digitalen Hauptausgänge entsprechend dem ORF-Standard justierbar sind (s. Kap. 3.1.1).

6.2.2 Kanalgleichlauf

Es gelten die Spezifikationen gemäß Kap. 3.1.9.

Die Pegelunterschiede zwischen allen analogen und digitalen Hauptausgängen des Pultes (Aux-Wege, Direct Outs, Summenausgänge für Stereo, 5.1 Surround oder höhere Formate) dürfen bei jeweils gleicher, manueller vorgenommener Pegelung wie folgt voneinander abweichen:

Kanalgleichlauf $\leq 0,5$ dB bei 1000 Hz, $\leq 1,0$ dB zwischen 20 – 20.000 Hz zwischen Nominalpegel und -70 dB

6.2.3 Amplitudenfrequenzgang (Frequency Response)

Es gelten die Spezifikationen gemäß Kap. 3.1.5.

Bei allen Programmwegen beträgt der Übertragungsfrequenzbereich 20 - 20.000 Hz bei einer maximalen Abweichung (Streifenbreite) von max. $\pm 0,5$ dB, Bezugsfrequenz 1000 Hz.

Bei Anlagen, die für Hi-Res-Produktionen (Abtastfrequenz 88,2 oder 96 kHz) eingesetzt werden sollen, ist im Übertragungsfrequenzbereich von 20 – 20.000 Hz eine Abweichung von maximal $\pm 0,5$ dB zulässig, im Frequenzbereich zwischen 20.000 und 40.000 Hz maximal $\pm 1,5$ dB.

Außerhalb des Übertragungsbereiches: monoton abfallend mit mindestens 6 dB/Oktave, jedoch höchstens 18 dB/Oktave.

- In digitalen Systemen muss dieser „analoge“ Frequenzgang spätestens durch das Tiefpassfilter des AD-Wandlers gemäß Sampling-Theorem auf weniger als die halbe Samplingfrequenz begrenzt werden, um Aliasing-Störungen zu vermeiden.
- Eine Übertragung von Gleichspannungsanteilen (DC) in Signalen muss durch entsprechende Filterung oder Koppelkondensatoren im Signalweg vermieden werden.
- Frequenzgangabweichung zwischen zwei gleichen Tonwegen (einschl. Stereo-Tonwegen):
ohne Filter innerhalb des Übertragungsbereiches: $\pm 0,6$ dB,
mit Filter im Bereich 1,5 fu bis 1/1,5 fo: $\pm 0,6$ dB

6.2.4 Nichtlineare Verzerrungen

Es gelten die Spezifikationen gemäß Kap. 3.1.7. Darüber hinaus gelten folgende Grenzwerte für beliebige Pulteingänge (Mikrofon- oder Leitungspegel, analog oder digital) zu beliebigen Pultausgängen:

- Klirrfaktor (THD, Total Harmonic Distortion, Definition und Messung s. Kap. 3.1.7.1):
Kges $\leq 0,1$ % im Bereich 20 bis 20.000 Hz und Messung bei Nominalpegel (+6 dB_u, -9dB_{FS})
Kges $\leq 0,5$ % im Bereich 20 bis 20.000 Hz und Messung bei Maximalpegel (+15 dB_u, 0 dB_{FS})
- IMD, Intermodulation Distortion (Definition und Messung s. Kap. 3.1.7.2):
 $\leq 0,1$ % im Bereich 20 bis 20.000 Hz und Messung bei Nominalpegel (+6 dB_u, -9dB_{FS})
 $\leq 0,5$ % im Bereich 20 bis 20.000 Hz und Messung bei Maximalpegel (+15 dB_u, 0 dB_{FS})
- DFD, Differenztonverzerrungen (Definition und Messung s. Kap. 3.1.7.3)
 $\leq 0,1$ % im Bereich 20 bis 20.000 Hz und Messung bei Nominalpegel (+6 dB_u, -9dB_{FS})
 $\leq 0,5$ % im Bereich 20 bis 20.000 Hz und Messung bei Maximalpegel (+15 dB_u, 0 dB_{FS})

Der jeweilige Ausgangspegel ist, bei der jeweils spezifizierten Verstärkung, durch Erhöhung des Eingangspegels an Mikrofon- oder Leitungseingängen zu erreichen:

- Mikrofoneingänge: Messung bei Verstärkungen zwischen 0 und 60 dB in 15-dB-Schritten
- Leitungseingänge: Messung bei Verstärkung 0dB bei Eingangspegeln zwischen +15 dB_u und -60 dB_u in 15-dB-Schritten
- Digitale Eingänge: Messung bei (digitaler) Verstärkung 0 dB bei Eingangspegeln zwischen -90 dB_{FS} und 0 dB_{FS} in 15-dB-Schritten

6.3 Fremdspannungsabstand und Dynamik (Signal-to-Noise Ratio and Dynamic Range)

Es gelten die Spezifikationen gemäß Kap. 3.1.8 mit folgenden, gerätespezifischen Ergänzungen:

Der Fremdspannungsabstand in dB (SNR, Signal-to-Noise-Ratio) stellt Systemrauschen und andere Störkomponenten wie Brumm und Zirpen sowie weitere Störungssignale im logarithmischen Verhältnis zum Nutzsignal dar. Der Fremdspannungsabstand ist als Quasi-Spitzenwert unbewertet und bewertet (A-Bewertung) anzugeben. Ein Spektrogramm der Fremdspannung soll im Wesentlichen ein den Verstärkern typisches weißes Rauschen, Brumm und andere Störungen zeigen, Störungen dürfen weder optisch noch akustisch wahrzunehmen sein. Fremdspannungsabstände sind zunächst unbewertet und dann bewertet in einem Frequenzbereich von 20 – 20.000 Hz und einem maximalen Verzerrungsmaß des Nutzsignals von $K_{ges} \leq 0,1\%$ zu messen. Eine Bewertung (nach Bewertungskurve A) führt zu einer numerischen Vergrößerung der Fremdspannungsabstände.

Die Dynamik (in dB) beschreibt das logarithmische Verhältnis zwischen dem größten Signal, das ein Gerät übertragen kann, und dem Grundrauschen des Systems. Für Dynamikmessungen ist ein Nutzsignal bei $K_{ges} \leq 1,0\%$ zulässig, der Frequenzbereich beträgt 20 – 20.000 Hz.

In Hi-Res-Systemen für Abtastfrequenzen mit 88,2 oder 96 kHz sind die erweiterten Frequenzbereiche bis 40 kHz zu berücksichtigen.

6.3.1 Fremdspannungsabstand einzelner Kanal zu Ausgang, unbewertet

Einzelner Mikrofon-Eingang (analog) auf einzelnen Bus- oder Summenausgang (analog oder digital):

- Bei einer eingestellten Verstärkung von $V = 60$ dB muss der Fremdspannungsabstand ≥ 65 dB sein, bezogen auf einen Ausgangspegel von $+6$ dB_u oder -9 dB_{FS}, Kanal- und Bus- oder Summenfader in Nullstellung (0 dB, nicht gemutet). Der Mikrofoneingang ist mit 150 oder 200 Ohm abzuschließen (Angabe im Messprotokoll). Alle Gain-Einstellelemente von Equalizern in Nullposition (nicht Bypass), alle Filter (HPF, TPF) aus. Panorama-Potis zu 100% (Dämpfung = 0 dB) auf den gewählten Ausgangsbus und Ausgangskanal.

Einzelner Line-Eingang (analog oder digital) auf einzelnen Bus- oder Summenausgang (analog oder digital):

- Bei einer Verstärkung von $V = 0$ dB muss der Fremdspannungsabstand ≥ 95 dB sein, bezogen auf einen Ausgangspegel von $+6$ dB_u oder -9 dB_{FS}, Kanal- und Bus- oder Summenfader in Nullstellung (0 dB, nicht gemutet). Der analoge Eingang ist mit 40 Ohm abzuschließen (Angabe im Messprotokoll), der digitale Eingang gemäß Schnittstellenspezifikation (s. Kap. 4) zu betreiben. Alle Gain-Einstellelemente von Equalizern in Nullposition (nicht Bypass), alle Filter (HPF, TPF) aus. Panorama-Potis zu 100% (Dämpfung = 0 dB) auf den gewählten Ausgangsbus und Ausgangskanal.

6.3.2 Fremdspannungsabstand bei Summierung, unbewertet (Mix-Noise)

Messbedingungen: Eingangs-Pegelsteller in Position $-\infty$ dB (maximale Dämpfung des Schiebestellers, aber kein Mute), Verstärkung 0 dB, von einzelnen Eingängen zu einem einzelnen Bus- oder Summenausgang (analog oder digital). Alle Gain-Einstellelemente von Equalizern in Nullposition (nicht Bypass), alle Filter (HPF, TPF) aus. Panorama-Potis zu 100% (Dämpfung = 0 dB) auf den gewählten Ausgangsbus und Ausgangskanal, Ausgangs-Pegelsteller auf 0 dB (100%), kein Mute.

Kanalzahl	Bedingung	Störpegel unbewertet in rein analogen Mischpultsystemen (A-A-A) bezogen auf 0 dB _r	Störpegel unbewertet in digitalen Mischpultsystemen (A-D-A) bezogen auf 0 dB _{FS}
1	Alle Eingangs- Pegelsteller in Position -∞ dB (minus unendlich, ohne Mute oder Abschaltung)	≤ -85,0	≤ -98,0
2		≤ -82,0	≤ -95,0
4		≤ -79,0	≤ -92,0
8		≤ -76,0	≤ -89,0
16		≤ -73,0	≤ -86,0
32		Summenpegelsteller auf 0 dB	≤ -70,0
64	≤ -67,0		≤ -80,0
<p>A-A-A → analoger Eingang, analoge Signalverarbeitung, analoger Ausgang, bezogen auf 0 dB_r ≙ +6 dB_u ≙ -9 dB_{FS}</p> <p>A-D-A → Analoger Eingang (ADC), digitale Signalverarbeitung, analoger Ausgang (DAC), bezogen auf 0 dB_{FS}</p>			

Leerkanalrauschen (Residual Bus Noise) in allen Systemen (analog und digital):

- Alle Eingangskanäle gemutet und auf einen analogen Ausgang geroutet, Summenpegelsteller auf 0 dB: Störpegel ≤ -100 dB (unbewertet). Auf digitalen Ausgängen: ≤ -120 dB.

Eine A-Bewertung der oben angegebenen Störspannungsabstände führt zu einer numerischen Erhöhung der oben angegebenen Werte. Alle Werte verstehen sich als Mindestanforderung. Abweichungen davon sind nur projektspezifisch und nach Klärung mit dem zuständigen Planer zulässig - die getroffenen Abklärungen sind dabei schriftlich festzuhalten.

6.3.3 Knackstörungen

Es gelten die Spezifikationen gemäß Kap. 3.1.8.

Knackstörungen beliebigen Ursprungs (z.B. Umschaltvorgänge, Aktivierung von Funktionselementen im Signalweg wie Equalizer, Kompressor sowie Routing) und Einflüsse der Netzsteuerung dürfen in einem weißen Rauschen, das einem Fremdspannungsabstand von 65 dB entspricht, akustisch und im Spektrum nicht wahrnehmbar sein.

6.3.4 Durchsprechdämpfung der Regler

Über einen geschlossenen Regler: mindestens 100 dB (der Dämpfungswert wird aus dem Verhältnis der Pegel des ganz geöffneten zu dem des ganz geschlossenen Pegelstellers bestimmt (Messfrequenz 50 bis 10.000 Hz).

6.3.5 Übersprechdämpfung

Es gelten die Spezifikationen gemäß Kap. 3.1.10.

Übersprechdämpfung zwischen zwei beliebigen benachbarten oder nicht benachbarten Kanälen innerhalb eines Mischpultes im Frequenzbereich bis 20 – 20.000 Hz:

- In analoger oder hybrider Technik: ≥ 85 dB
- In rein digitalen Systemen, ohne Berücksichtigung analoger Funktionsgruppen: ≥ 100 dB

Übersprechen zwischen linkem und rechtem Kanal eines Stereo-Tonweges oder den sechs Kanälen eines 5.1 Surround-Tonwegs, egal ob analog oder digital:

- Dämpfung ≥ 80 dB im Frequenzbereich 20 bis 20.000 Hz
- Dämpfung ≥ 85 dB im Frequenzbereich 20 Hz bis 5 kHz

Übersprechen zwischen allgemeinen Signalwegen:

- Dämpfung ≥ 80 dB im Frequenzbereich 20 – 20.000 Hz
- Dämpfung ≥ 85 dB im Frequenzbereich 20 Hz bis 5 kHz

6.3.6 Phasenunterschiede

Es gelten die Spezifikationen gemäß Kap. 3.1.6. Die Phasendifferenz zwischen gleich konfigurierten Tonwegen eines Systems, z.B. zwei beliebigen Eingängen eines Pultes zu zwei Summenausgängen eines Mischpults (z.B. L und R), gemessen bei gleichem Pegel:

- innerhalb 125 - 10.000 Hz: $\leq 3^\circ$
- innerhalb 20 Hz – 20.000 Hz: $\leq 5^\circ$
- mit Filtern im Signalweg $\leq 10^\circ$ im Frequenzbereich $1,5 f_u$ bis $1/1,5 f_o$.

6.4 Ausführungen von Audiomischpulten

Alle genannten Qualitätsanforderungen und Spezifikationen gelten unabhängig von der Baugröße für:

- Portable Mischer und Mischer-Rekorder: Einsatz bei Reportagen, Film- und TV-Ton (EB-Ton), mobilen Aufnahmen. Typisch 2 bis 16 Audiokanäle, Batterie- und Netzspeisung.
- Mobile Mischpulte: Einsatz in kleinen mit mittelgroßen Produktionsstudios und Ü-Wagen, an Redaktionsarbeitsplätzen, Live-Ton, Beschallung. Typisch 4 – 48 Audiokanäle, Netzspeisung.
- Produktions- und Abwicklungspulte, Regietische: Einsatz in Produktions-Studios, Hörfunk- und TV-Regien, Abwicklungsregien, Großbeschallung. Typisch 16 – 128 Audiokanäle, umfangreiche Audiofunktionen und Routingmöglichkeiten, Netzspeisung.

Der Ersatz klassischer Bedien- und Funktionselemente durch graphische Darstellung derselben auf Bildschirmen (GUI, Graphical User Interface) mit Bedienung in Form von Touchscreens ist zulässig, sofern diese eine eindeutige Darstellung und ergonomisch einwandfreie Bedienung ermöglichen.

Die folgenden Punkte liefern eine grobe Übersicht über Minimal-Anforderungen. Die genauen Ausstattungsmerkmale sind gemäß Stand der Technik und in Absprache mit dem zuständigen Planer festzulegen.

6.4.1 Eingänge von Kanalzügen (Mono, Stereo, Mehrkanal)

Kanalzüge müssen zwischen analogen Eingängen mit Mikrofon- und Leitungspegel (es gelten die Parameter gemäß Kap. 3.1 und 6.1) und digitalen Eingängen umschaltbar sein. Für Mikrofone ist Phantomspeisung (48V) sowie eine Phasenumkehr (Phase Reverse) vorzusehen, für digitale Eingänge Samplerate-Konverter. Digitale Eingänge müssen gemäß Kapitel 4 ausgeführt sein und verfügen im Idealfall über Möglichkeiten zur Jitter-Reduktion und pultinternes, speicherbares Routing.

Die Pegelstellung erfolgt mittels Flachbahnregler mit einer Bahnlänge von zumindest 100 mm. In Kleinmischpulten (z.B. Redaktionsbereich, portable Geräte Mischer und Rekorder) sind auch Pegelsteller mit mindestens 60 mm Bahnlänge oder Drehregler zulässig.

6.4.2 Filter

In Mikrofoneingängen sind Trittschaltfilter (Hochpassfilter, HPF) mit einer Steilheit von mindestens 18 dB/Oktave für die Nennfrequenzen 40Hz, 80 Hz und 160 Hz oder frei einstellbar (durchstimmbar) anzubieten.

6.4.3 Schutzlimiter, Übersteuerungsschutz (Protection Limiter)

In portablen Mixern, Aufnahme- und Reportagegeräten sind schaltbare Schutzlimiter vorzusehen, deren Ansprechgeschwindigkeit (Attack Time) und Schwellwert (Threshold) einen sicheren Schutz vor Übersteuerungen bieten. Die Audioqualität darf bei ordnungsgemäßer Bedienung nicht durch „Pumpen“ gestört werden. Siehe auch Kap. 3.2.2 (Übersteuerungsschutz durch Abtastung und Aufzeichnung mit 32 Bit Floating Point).

6.4.4 Kanalausgänge und Einschleifpunkte (Direct Outs und Insert Points)

Mittelgroße und große Produktionspulte (Regietische) haben, je nach Bauart, über analoge und digitale Ein- und Ausgänge zu verfügen, die auch als Direct Outs für Mehrspuraufzeichnungen und als Einschleifpunkte (Inserts, z.B. für externe Effektgeräte) frei in Haupttonwegen und Nebentonwegen vom Bediener angeordnet werden können.

6.4.5 Pegelüberwachung, Aussteuerungsmesser (Level Control, Level Metering)

Die Regietechnik muss über integrierte Pegelanzeigen und/oder Aussteuerungsmesser verfügen, um die Aussteuerung der Tonwege (Eingang, Ausgang, Signalverarbeitung) sichtbar zu machen und Über- oder Untersteuerungen sicher zu verhindern. Die Anzeige muss auf den internen Arbeitspegel referenzieren (dBr) und in einem definierten Verhältnis zu den analogen und/oder digitalen Ausgangspegeln stehen. Siehe auch Kap. 6.2.1 und o.

$$0 \text{ dBr} \triangleq +6 \text{ dB}_u \triangleq -9 \text{ dB}_{FS}$$

Sollten Bezugspegel anders definiert sein, etwa bei Live-Mischpulten mit Bezugspegel $0 \text{ dBr} \triangleq +4 \text{ dB}_u \triangleq -18 \text{ dB}_{FS}$, so ist dies eindeutig zu kennzeichnen. Die Pegelüberwachung soll den Spitzenwert über einen gewissen Zeitraum speichern (Hold Funktion) und über eine Summenmeldung verfügen.

Hinweis: Die Pegelüberwachung von Eingängen, Kanalzügen und anderen neuralgischen Punkten kann im Minimalfall, etwa bei portablen Geräten oder Kleinmischpulten, aus Displays für „Signal Present“ (grün, -60 dB_{FS}), „Peak“ (gelb oder orange, -6 dB_{FS}) und „Over“ (rot, 0 dB_{FS}) bestehen.

Darüber hinaus muss bei allen größeren digitalen Pulten und Regietischen die Möglichkeit für den externen Anschluss oder den direkten Einbau von Pegelmessern nach DIN IEC 60268 (QPPM) und Lautheitsmessern nach EBU R 128 (vergl. ITU-R B.S. 1770-5) bestehen bzw. diese bereits eingebaut sein.

6.4.6 Entzerrer und Filter (Equalizer and Filter)

Bei größeren Pulten müssen parametrische Equalizer mit mindestens drei, bevorzugt aber vier sich gegenseitig überlappenden, möglichst durchstimmbaren Frequenzbereichen vorhanden sein, die eine Anhebung und Absenkung des jeweiligen Frequenzbereiches um mindestens 15 dB (besser 18 dB) ermöglichen. Bei vollparametrischen EQs muss zusätzlich eine Einstellung der Güte (Q) zwischen etwa 0,5 und 10,0 möglich sein.

Die Steilheit vorhandener Filter wie HPF (Hochpassfilter, Low-Cut) und TPF (Tiefpassfilter, High-Cut) soll 12 dB/Oktave betragen, eine Umschaltung auf 18 oder 24 dB/Oktave ist wünschenswert.

Im Stereobetrieb sollen Equalizer und Filter beider Kanäle mit einem Satz von Bedienelementen in gleicher Anordnung bedienbar sein (z.B. in digitalen Pulten mittels Channel-Link). Es gelten die Bedingungen für Kanalgleichlauf aus Kap. 3.1.9 und 6.2.2.

Equalizer und Filtergruppen sollen überbrückbar sein (Bypass) und nach Möglichkeit im Tonweg frei anordenbar sein.

6.4.7 Panoramaregler

Alle Pulte müssen mit Panoramastellern (Panoramareglern) ausgestattet sein.

Beide Drehrichtungen des Reglers müssen mit logarithmischem Verlauf einstellbar sein. Der Panoramaregler soll für den Zweikanalbetrieb möglichst abschaltbar sein.

- Im Stereobetrieb ist in der rastenden Mittelstellung der linke wie der rechte Ausgang mit -3 dB (im Hinblick auf die Kompatibilität) beaufschlagt.
- Im Stereobetrieb sind ein Basisregler, sowie ein Schalter zum Tauschen der Kanäle l \leftrightarrow r nach Möglichkeit vorzusehen.
- Der Basisbreitenregler ist nach Möglichkeit mit einer Einrichtung zur Erzielung einer elektrischen "Überbreite" auszustatten (Panorama- und Basisbreitenregler).
- Bei mehrkanalfähigen Pulten für Surround- und/oder Immersive-Produktionen sind entsprechende Panorama-Steller vorzusehen. Sie müssen die Anordnung von ein- und zweikanaligen Quellen im zweidimensionalen Bereich für 5.1 Surround (X,Y) und/oder für Immersive (3D-Audio) im dreidimensionalen Raum (X/Y/Z) ermöglichen. Einstellmöglichkeiten für Diversity und LFE müssen vorhanden sein.

6.4.8 Ausgänge des Kanalzugs

Siehe auch Kap. 6.4.4

- Hauptausgang (Master Output, Main Out):
Dieser ist nach dem Panoramaregler auf die Ausgangssummen (Gruppen, Summenbusse) frei konfigurierbar auszuführen. Es muss eine Funktion vorhanden sein, mit welcher die Modulation jedes Kanalzuges vom angewählten Bus weggeschaltet werden kann (Mute-Funktion).

- Direktausgänge (Direct Outs), Hilfsausgänge (Auxiliary Outputs) und n-1 (Mix-Minus): Für jeden Kanalzug muss ein Direktausgang (Direct Out) konfiguriert werden können. Darüber hinaus müssen Hilfsausgänge (Aux-Wege) und n-1-Wege einstellbar und schaltbar sein. n-1 muss auch auf „n“ und „off“ schaltbar sein.

6.4.9 Abhörfunktionen des Kanalzugs

- Vorabhören PFL (Pre-Fader Listening): Vorabhören ist nur bei geschlossenem Flachbahnregler (Fader) wirksam und wird vor diesem abgegriffen. Das Öffnen des jeweiligen Einzelreglers unterbricht das Vorabhören. Es muss entweder summierend oder gegenseitig auslösend zentral für die Regieranlage konfigurierbar sein.
- Vorabhören AFL (After-Fader Listening): Dabei ist das Vorabhörsignal nach dem Regler, aber vor der Summenaufschaltung abzugreifen und wird bei geöffnetem Regler nicht abgeschaltet. Die Umstellung von PFL auf AFL Betrieb hat zentral konfigurierbar zu erfolgen.
- Solo und Solo-In-Place (SIP): In der Stellung "Solo" muss das Signal des jeweiligen Kanalzugs in Mono auf die Abhörschiene geschaltet werden. Mit der Funktion „Solo in Place“ (SIP) muss das Signal erst nach der Panoramisierung abgegriffen und in seiner räumlichen Position wiedergegeben werden. In der zentralen Konfiguration muss diese Funktion auf Solo summierend umschaltbar sein.
- Maximale Pegelschwankungen bei allen Schaltvorgängen $\leq 0,5$ dB. (knackfrei).

6.4.10 Summenausgänge Mono, Stereo und Mehrkanal

Es gelten die Spezifikationen lt. Kap. 3.1.1 und 3.1.2 mit folgenden Änderungen und Ergänzungen:

- Analoge Summenausgänge müssen ein hochpegeliges, möglichst niederohmiges Summensignal liefern, dass große Leitungslängen ermöglicht
- Digitale Ausgänge müssen ein möglichst jitterarmes Signal liefern, dass den Spezifikationen gemäß Kapitel 4 entspricht und große Leitungslängen ermöglicht
- Die Pegelstellung muss mittels Flachbahnregler erfolgen mit einer Bahnlänge von zumindest 100 mm
- Vorabhörtasten wie Kap. 6.4.9
- Einschleifpunkte müssen, wie bei den Eingängen, auch hier vorhanden sein.

6.4.11 Reglerkontakte, Pultsteuerung

- Reglerkontakte zur Signalisierung: Die Regler der Eingangs- und Ausgangskanäle sollen vorzugsweise mit Signalisierungsausgängen verbunden werden können, mit denen Tonträgergeräte (Faderstart) und Studiosignale (Rotlicht) oder andere Funktionen ferngesteuert werden. Siehe auch nachfolgender Abschnitt Pultsteuerung.
- Pultsteuerung: Wenn Pulte und Regietische über Automatisierungsfunktionen verfügen, z.B. Fader- und Mute-Automatisierung, Snapshot- und Szenenautomatisierung, Total Recall, etc., ist auf möglichst große Kompatibilität zu vorhandenen Systemen zu achten. Bevorzugt kommen Steuerungssysteme und Schnittstellen zum Einsatz, die standardisiert sind, so. z.B. AES70 (Open Control Architecture, OCA), Ember+, Open Sound Control (OSC), MIDI (Musical Instruments Digital Interface) oder (vor allem für

kleinere, lokale Anwendungen) GPIO.

Bei Produktions- und Abwicklungspulten muss eine quelloffene Steuerungsschnittstelle vorhanden sein und explizit das zu verwendende Protokoll angegeben werden.

6.5 Mehrkanal Betrieb der Regieanlagen

Ist die Mehrkanalfähigkeit einer Regieanlage für 5.1-Produktionen und/oder Abwicklungen gefordert, so ist für die Regieanlage folgendes zu beachten:

6.5.1 Mehrkanaleingänge, Kanalzuordnung (Multichannel Inputs, Channel Assignment)

Mehrkanal-Zuspielungen müssen auf eine von den folgenden zwei Arten an die Regieanlage angeschlossen werden können. Entweder als analoges oder als digitales diskret mehrkanaliges (LPCM) Audiosignal. Die Umsetzung aus anderen Formaten (z.B. Dolby E) erfolgt in separaten Einheiten (Dekodern) vor der Regieanlage.

Obwohl manche Kanäle im 5.1-Format mit eingeschränktem Frequenzgang benutzt werden (LFE-Kanal, 20 – 120 Hz), sind alle Kanäle vollkommen gleichwertig in Phase, Frequenzgang und Pegel durch das Pult zu führen und auf Mischwegen einzuspeisen.

- 6-Kanal Analog: Sechs analoge Eingänge für die Signale L, R, C, LFE, LS und RS sind derartig zusammenzufassen, dass sie für die Bedienung (Kanalzug wie im Stereofall beschrieben), das Routing und allgemeine Schalt- und Messvorgänge als eine einzige Signalquelle behandelt werden können. So wie bei Stereo dürfen auch hierbei die Grenzwerte für Pegel-, Frequenzgang- und Phasenunterschiede zwischen den Kanälen nicht überschritten werden. In der Phase werden wie bei Stereo $\leq 3^\circ$ zwischen 125 - 10.000 Hz als maximale Abweichung zwischen den 6 Kanälen gefordert.
- 6-Kanal Digital: Drei separate AES/EBU Eingänge (oder andere digitale Schnittstellen) sind so zusammenzufassen wie im obigen Absatz für die analogen Eingänge beschrieben. Eine bittransparente Übernahme von 24-bit AES-Signalen ist gefordert, dies kann ein Dolby-E Datenstrom sein, der nicht gemischt werden muss, jedoch unverändert an einen Anlagenausgang durchgeschaltet werden können soll

Die Kanalreihenfolge muss wie in EBU R91-2004 in „Kanalpaaren“ aufgelegt werden. Auszug:

Kanal Nr.	Symbol	Tonsignal, Kanalzuordnung
1	L	Left
2	R	Right
3	C	Center
4	LFE	Low Frequency Effects (leer, wenn nicht vorhanden)
5	LS	Left Surround
6	RS	Right Surround
7	L	Left (Stereo) als L_t oder L_o
8	R	Right (Stereo) als R_t oder R_o

6.5.2 Die 5.1-Kanalzüge

Ein 5.1-Kanalzug kann entweder direkt einer analogen oder digitalen Eingangsschnittstelle entsprechen, oder ein intern im Pult erzeugtes Mehrkanal-Bündel darstellen. Beispiele für ersteres sind DVD- und Blu-ray-Player (meist analog), Fileplayer und Audio-Workstations (AWS, analog, digital) und Radiomax (digital). Beispiel für zweiteres sind unter anderem das Mono-Moderatormikrofon im Hörfunkstudio, das mit Raummikrofonen kombiniert eine Mehrkanal-Raumabbildung des Studios ermöglichen soll. Weiters ist mindestens eine 5.1-Gruppe vorzusehen, um ein externes Downmixgerät (etwa für Stereo- oder binauralen Kopfhörer-Downmix) optimal anspeisen zu können.

Demgemäß ist eine Aufschaltung eines 5.1-Kanalzuges auf folgende Senken nötig:

- 5.1-Sendesumme direkt
- 5.1-Gruppe als Zuführung zum externen Downmixgerät
- Stereo-Summe mit internem Downmix nach ITU-R BS.775-4
- VCA-Regler oder Motorregler, der einzelne Monokanäle zu einem Mehrkanalbündel zusammenfasst
- Abhörweg

5.1-Quellen müssen mit einem einzigen Fader im Pegel regelbar sein. Auch ein „Gain“ soll vor dem Pegelsteller angeboten werden.

Mono-Mikrofoneingänge müssen verkoppelbar sein (z.B. durch einen VCA-Regler), wobei aber jedes einzelne Mikrofon unabhängig von den anderen Bündelteilnehmern in Pegel, Panorama und EQ regelbar bleiben muss.

Die Basisfunktion von PFL und SOLO muss erhalten bleiben.

Die 5.1-Sendesumme muss mit einem internen Downmix nach ITU-R BS.775-4 für Kopfhörerwege angeboten werden.

6.5.3 Routing und Richtungszuordnung in 5.1 Technik

Die Position von Mono-, Stereo- und Mehrkanalquellen muss für den Bedienenden graphisch aufgelöst dargestellt werden. Dafür sollten die 6 Lautsprecher an ihren Positionen angezeigt, die Quelle entsprechend den Einstellungen dazwischen.

Bei mehrkanalfähigen Pulten für Surround- und/oder höhere Formate (Immersive) sind entsprechende Panorama-Steller vorzusehen. Sie müssen für 5.1 Surround die Anordnung von ein- und zweikanaligen Quellen im zweidimensionalen Bereich (X,Y) und/oder für Immersive (3D-Audio) die Anordnung im dreidimensionalen Raum (X/Y/Z) ermöglichen. Einstellmöglichkeiten für Diversity und LFE müssen vorhanden sein.

Es muss damit möglich sein, Mikrofone und andere Tonquellen eindeutig zu positionieren. Es muss z.B. bei Diskussions- und Livesendungen möglich sein, einen Moderator nur im Center oder bewusst als Phantommitte nur mit L und R abbilden zu können,

Stereo-Quellen sollen zumindest zwischen L-R und LS-RS richtungsmäßig zugeordnet werden können (4-Punkt-Verschiebung).

6.5.4 Abhören, Messen, Metadaten

Das Hauptabhören muss auf 6 Kanäle (5.1) erweitert werden und einen fließenden Übergang des Abhörens von Stereo- und 5.1 Signalen ermöglichen. In jedem Falle müssen mindestens drei L/R-Ableitungen von 5.1-Quellen angeboten werden. Bevorzugt wird eine nahtlose Integration des Abhörens von Mono, Stereo und 5.1-Quellen.

Für die sechs Abhörlautsprecher sind einzelne Solo- und Mute-Tasten vorzusehen, optional auch die Umschaltung auf ein alternatives Lautsprecherpaar.

Es ist eine sechskanalige Aussteuerungsanzeige vorzusehen. Je nach Einsatzbereich des Pultes ist ein Quasi-Peak-Program Meter (QPPM) nach DIN IEC 60268-10 und/oder ein Lautheitsmesser nach EBU R 128 einzusetzen.

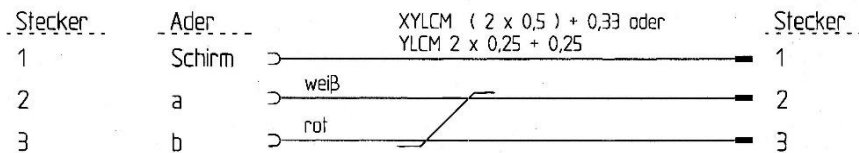
Im Abhör- und Messweg ist ein achtkanaliger Einschleifpunkt (5.1 + 2.0) für einen Metadaten-Emulator vorzusehen, der die formatspezifischen Metadaten für Dialogue-Level (Lautheit), Dynamic Range Control (DRC), Downmix-Koeffizienten u.a. Parameter einstellbar und abhörbar macht (z.B. Dolby DP570 (alt) oder Jünger Audio D*AP8 MAP). Eine Integration der Metadatensteuerung in die Pultsteuerung und Pultautomatisierung ist wünschenswert, wenn damit alle im jeweiligen Mehrkanalformat erforderlichen Audio- und Metadaten bedient, eingestellt und abgehört werden können.

7 Steckverbindungen

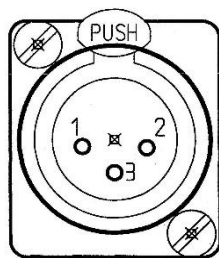
Folgende Steckverbindungen sind vorzugsweise in Anlagen des ORF zu verwenden. Abweichungen davon sind nur nach schriftlicher Zusage des zuständigen Planers erlaubt.

7.1 XLR

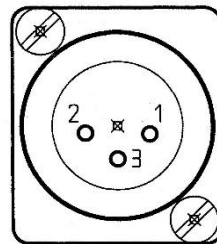
7.1.1 XLR 3-polig



auf Lötstifte gesehen



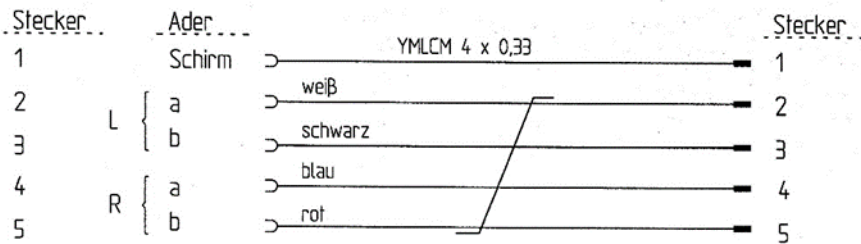
3pol XLR-Buchse



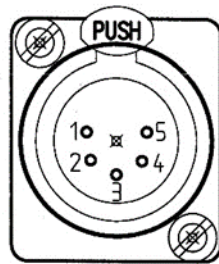
3pol XLR-Stecker

				Datum	Name	Projekt	PROJEKT	ORF
			Entw.	---	---	Best.-Nr.	-	
			Gez.	15.09.08	---	EDV Code	PF-BL_3POL-XLR	
			Gepr.	---	---	Blatt/von	-	
Rev	Änderung	Datum	Name	Anlage: 3pol XLR				Zeichnungs-Nr. PFLICHTENBLATT

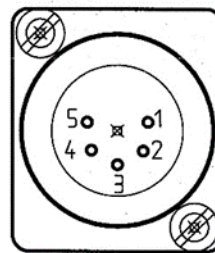
7.1.2 XLR 5-polig



auf Lötstifte gesehen



5pol XLR-Buchse

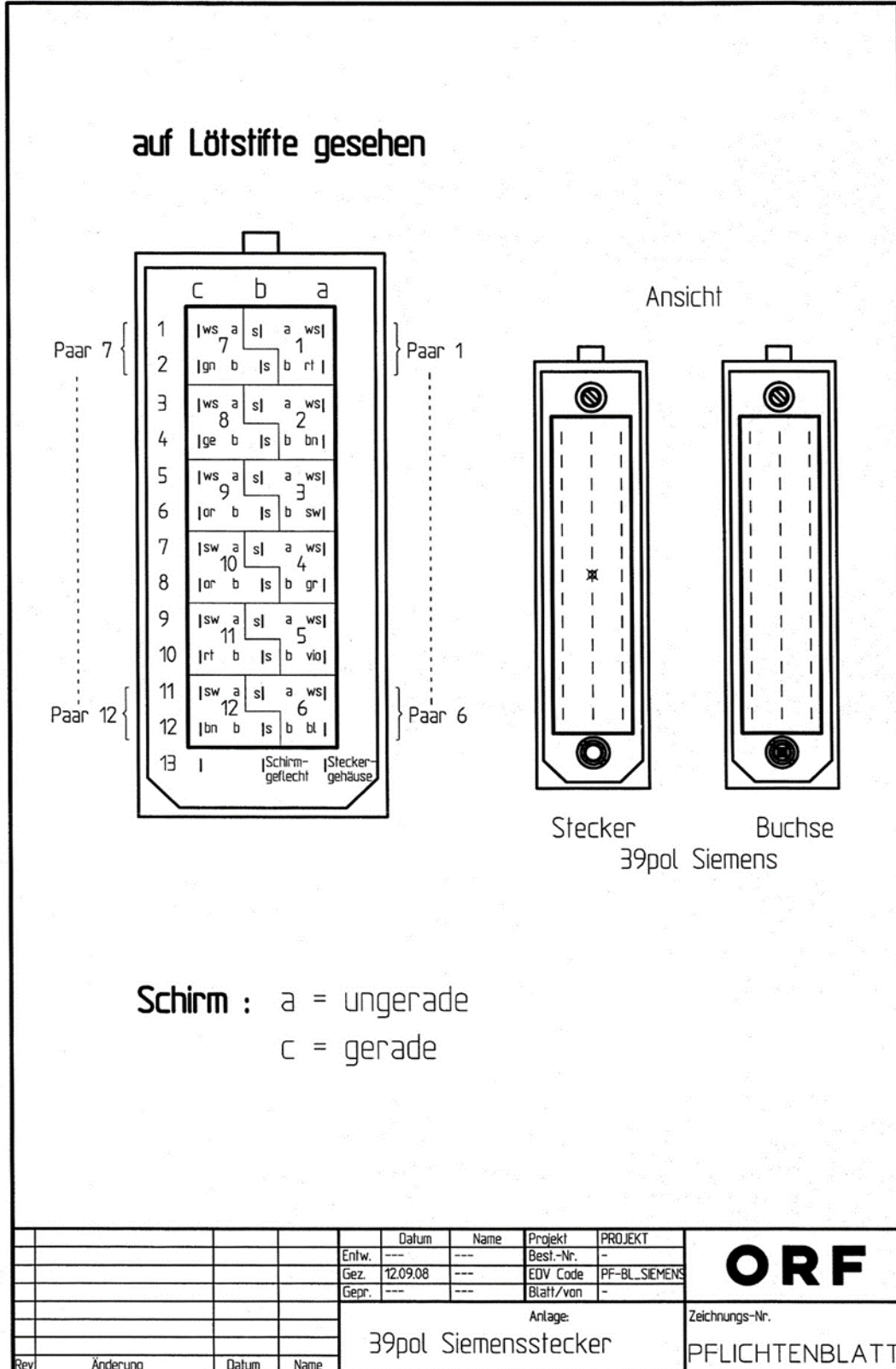


5pol XLR-Stecker

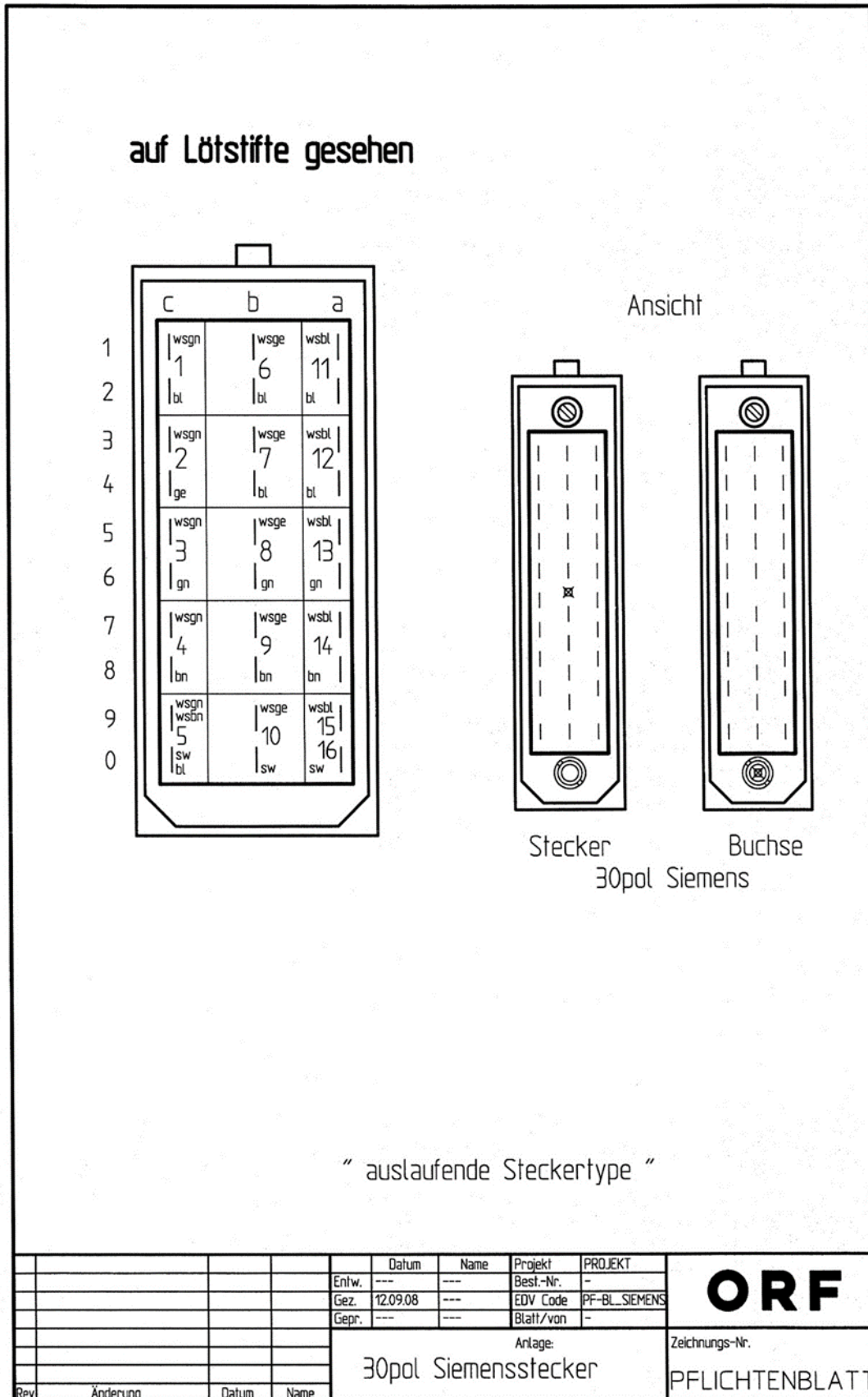
			Datum	Name	Projekt	PROJEKT	ORF
			Entw.	---	Best-Nr.	-	
			Gez.	15.09.08	EDV Code	PF-BL_5POL-XLR	
			Gepr.	---	Blatt/von	-	
Anlage:						Zeichnungs-Nr.	
5pol XLR						PFLICHTENBLATT	
Rev	Änderung	Datum	Name				

7.2 Mehrpolige Steckverbindungen

7.2.1 Siemens-Stecker 39polig



7.2.2 Siemens-Stecker 30polig



7.2.3 Sub-D-Steckverbindungen nach IEC 807-2 und AES59

An Ton-Mischpulten, AD- und DA-Wandlern und anderen Geräten kommen häufig mehrpolige Steckverbindungen nach IEC 807-2 (Sub-D DB25) für analoge oder digitale Tonübertragung zum Einsatz. Wenn nicht anders vereinbart muss die Beschaltung nach AES59 erfolgen, früher auch bekannt als „Tascam-Standard“.

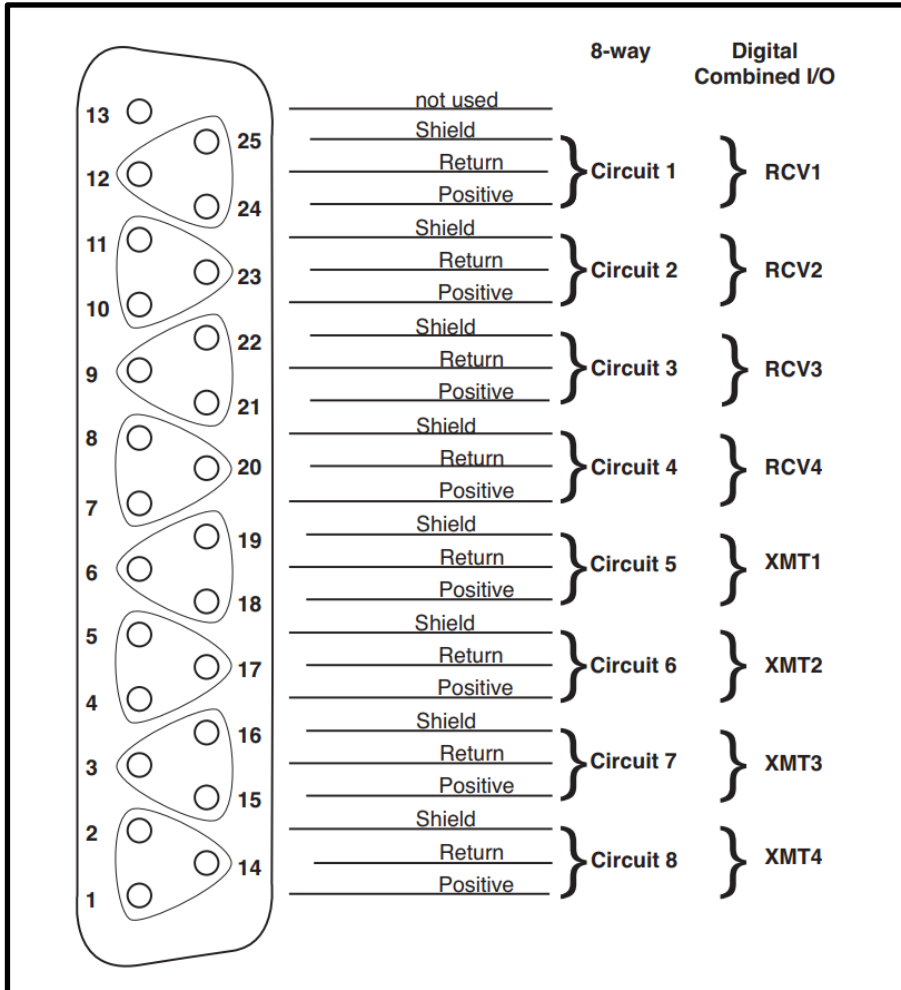


Abbildung 6 Belegung der 25-poligen Sub-D-Steckverbindung nach AES59

7.3 Weitere Steckverbindungen

7.3.1 BNC-Steckverbindungen

Es dürfen ausschließlich BNC-Steckverbindungen mit einem spezifizierten Wellenwiderstand von 75 Ohm eingesetzt werden. Diese BNC-Verbindungen müssen sowohl für Videosignale (analog, SDI) wie auch für Wordclock, Black & Burst und digitales Audio (AES3 Koaxial, AES3-id, S/PDIF) einsetzbar sein.

7.3.2 Glasfaser-Steckverbindungen

Glasfaser-Steckverbindungen sind je nach Standard und in Übereinstimmung mit den im Österreichischen Rundfunk eingesetzten Typen auszuwählen. Auf höchstmögliche Kompatibilität zu bereits vorhandenen Geräten und Systemen im jeweiligen Installationsumfeld ist zu achten.

MADI Multimode:

- Faser mit 62,5/125µm (typisch Faser OM1) oder 50/125 µm (Faser OM2 – OM5)
- Wellenlänge $\lambda = 1310$ nm oder 850 nm
- Steckverbindung lt. Norm Duplex SC (standard), aber auch Duplex LC (optional, meist bei SFPs), bei größerer Beanspruchung (Ü-Wagen) E2000[®] oder Neutrik OpticalCon mit LC

MADI Singlemode:

- Faser mit 9/125 µm
- Lichtwellenlänge $\lambda =$ nach Vereinbarung bzw. bereits vorhandenen Geräte-Schnittstellen
- Steckverbindung Duplex SC oder Duplex LC (meist bei SFPs), bei größerer Beanspruchung (Ü-Wagen) E2000[®]/APC (Schrägschliff) oder Neutrik OpticalCon mit LC. Im Mobilbereich wird die Lemo.3K Serie für die Verbindung zw. Stagebox und Anschlussfeld verwendet.

7.3.3 Steckverbindungen RJ45 (8P8C)

Als Steckverbindungen an Netzkabeln, die für Ethernet-basierte (Layer 2) oder IP-basierte (Layer 3) Audioübertragung verwendet werden, sind der jeweiligen Kabel-Kategorie (Cat.5, Cat.6, Cat.7, siehe ORF-Pflichtenblatt) entsprechende Steckverbinder der Type RJ45 (8P8C) zu verwenden. Ist hohe Robustheit erforderlich, sind Steckverbinder der Type Neutrik EtherCon einzusetzen.

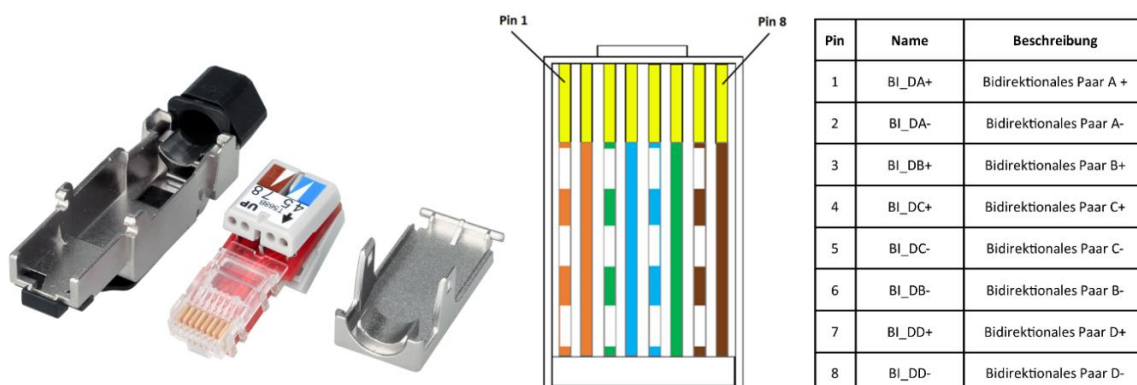


Abbildung 7 Netzwerkstecker mit Metallgehäuse, Pinbelegung nach TIA-568-B, Neutrik EtherCon-Stecker

8 Anhang

8.1 Begriffe und Abkürzungen (in alphabetischer Reihenfolge)

Begriff Deutsch	Begriff Englisch	Bedeutung, Hinweis
Abfallzeit	Fall time, decay	Zeit bis zum Erreichen eines definierten unteren Signalpegels
AM824	AM824	Standard entsprechend IEC 61883, ermöglicht AES3 transparente Übertragung (SMPTE ST 2110-31)
Analog	Analogue, analog	Zeit- und wertkontinuierliche Signale und Signalverarbeitung
Anstiegszeit	Rise time	Zeit bis zum Erreichen eines definierten oberen Signalpegels
Audiogerät	Audio device	Einzelnes tontechnisches Gerät
Audiosystem	Audio system	Tontechnische Anlage bzw. Einrichtung, manchmal auch im Sinne einzelner, aber größerer und komplexerer Geräte
Ausgangspegel	Output level	Angabe in dB _u (analog) oder dB _{FS} (digital)
Bezugspegel	Reference level	International gültiger Bezugspegel: 0 dB _u \triangleq 0,775 V
Dezibel, dB	Decibel, dB	Logarithmisches Verhältnismaß (siehe Kap. 0)
Digital	Digital	Zeit- und wertdiskrete Signale und Signalverarbeitung
Duplex	Duplex	Übertragung in beiden Richtungen, Senden und Empfangen ist gleichzeitig möglich
Eingangspegel	Input level	Angabe in dB _u (analog) oder dB _{FS} (digital)
Einmesspegel	Alignment level	EBU alignment level: -18 dB _{FS} \triangleq -9 dB _r \triangleq -3 dB _u
FDDI Duplex	Fiber Distributed Data Interface	Glasfaser-Netzstruktur für lokale Netze, findet auch bei MADI-Steckverbindungen Anwendung.
Haupttonweg	Main audio path	Audiosignalweg, der direkt (z.B. Summe) oder indirekt (z.B. Aux-Weg) für Produktion und Sendung genutzt wird
Hilfsausgang	Auxiliary output	Zur Ansteuerung von Monitor- und Effektwegen, auch zur Bildung von von n-1 verwendet.
Hochpegeleingang, Hochpegelausgang	Line input, Line output	Siehe Leitungseingang, Leitungsausgang
Hybride Audiotechnik	Hybrid audio	Geräte und Systeme, die analoge und digitale Methoden zur Signalverarbeitung nutzen
Impedanz (Z)	Impedance (Z)	Komplexer Wechselstromwiderstand, frequenzabhängig, Angabe in Ohm.
Kabel	Cable	Bestehend aus mehreren Kupfer- oder Glasfaser-Leitern in einem gemeinsamen Mantel
Leitungspegel	Line level	Signale mit Nominalpegeln zwischen etwa 0,0 und +15 dB _u (0,775 V – 4,36 V)
Leitungseingang, Leitungsausgang	Line input, Line output	Ein- und Ausgänge mit Nominalpegel +6 dB _u , oft auch als Hochpegeleingänge und -ausgänge bezeichnet

Maximalpegel	Maximum coding level	EBU maximum coding level $\rightarrow 0 \text{ dB}_{FS} \triangleq 9 \text{ dB}_r \triangleq +15 \text{ dB}_u$
Mikrofonpegel	Microphone level	Signale mit Nominalpegeln zwischen etwa -60,0 und -25,0 dB _u (0,7 mV – 43,6 mV)
n-1 (n minus 1)	Mix Minus	Ein Summensignal in Mischpulten, das für Retoursignale zu Standorten außerhalb des Studios verwendet wird (z.B. bei Liveeinstiegen). Es enthält alle Signale (n) außer dem der Außenstelle (-1) und vermeidet damit Störungen des Monitorings (meist Latenzen, bedingt durch Audiokodierung).
Nebentonweg	Secondary audio path	Audiosignalweg, der weder direkt noch indirekt für Produktion und Sendung genutzt wird, z.B. Intercom, Bühnen- und IEM-Monitoring, Talkback
Nennpegel	Nominal level	Siehe Nominalpegel
Nominalpegel	Nominal level	Signalpegel, der unter spezifizierten Bedingungen erreicht wird und standardisiert ist. Beispiel: $+6 \text{ dB}_u \triangleq 1,55 \text{ V} \triangleq 100 \% \text{ Aussteuerung} \triangleq -9 \text{ dB}_{FS}$ (EBU Nominal Program Level)
Programmpegel	Program level	EBU program level $\rightarrow -9 \text{ dB}_{FS} \triangleq 0 \text{ dB}_r \triangleq +6 \text{ dB}_u$
Pegelsteller	Fader	Umgangssprachlich als „Regler“ bekannt, meist als Drehregler (rotary fader) oder Flachbahnregler (linear fader)
Quelle	Source	Ausgang eines Geräts oder Systems
Regler	Fader	Siehe Pegelsteller
SFP	Small Formfactor Pluggable	Einsteckmodul (Transceiver-Modul) für verschiedene elektrische und optische Schnittstellen-Standards, meist an Netzwerk-Switches (Ethernet), MADI-Geräten und SDI-Konvertern
Senke	Sink	Eingang eines Geräts oder Systems
Stand der Technik	State of the Art	Entsprechend dem bekannten technischen Entwicklungsstand und den darauf basierenden Möglichkeiten, nach bewährten und anerkannten Regeln der Technik. Rechtlich verbindlich.
Verstärkung, V	Gain, G	Angabe als Faktor (z.B. 1000) oder in Dezibel (z.B. 60 dB)

8.2 Dezibel, Bezugsgrößen

dB_r	RELATIV. Logarithmisches Verhältnis zweier frei gewählter Zahlenwerte. Pegelmesser in Pulten nach DIN IEC 60268-10 referenzieren dB_r auf analog $+6\text{dB}_u$ und digital -9dB_{FS} (dieser spezielle Bezug gilt fast ausschließlich im deutschsprachigen Europa).
dB_m	MILLIWATT. Bezogen auf 1 mW Leistung an 600 Ohm (ergibt 0,775 V) in elektrischen Systemen bei Leistungsanpassung oder auf 1 mW optische Leistung in LWL-Systemen. International gültig.
dB_u	SPANNUNG. Bezogen auf 0,775 Volt (OHNE Bezugnahme auf Leistung, daher bei Spannungsanpassung). International gültig.
dB_v	VOLT. Bezogen auf 1 Volt. Häufig im Bereich der Consumer- und Prosumer-Technik, z.B. HiFi- und DJ-Equipment. International gültig.
dB_μ	MIKROVOLT. Bezogen auf 1 μV . Üblich bei HF-Feldstärken (Funktechnik). International gültig.
dB_{FS}	FULL SCALE. Bezogen auf maximale Aussteuerung (Maximum Coding Level, 0 dB_{FS}) in digitalen Systemen. International gültig.
dB_{TP}	TRUE PEAK. Verwendung in Lautheitsmessern zur Anzeige des Echt-Spitzenwerts, der mit 4-fachem Oversampling ermittelt wird. International gültig.
dB_{SPL}	SCHALLDRUCK (Sound Pressure Level). Bezogen auf die Hörschwelle des Menschen, 20 μPa . International gültig.
dB_{VU}	VOLUME UNITS. Bezogen auf 0 dB_{VU} entspricht analog $+4\text{dB}_u$ (1,23 V) und digital -18dB_{FS} . Gültig bei Messung mit VU-Metern nach DIN IEC 60268-17 (Integrationszeit 300 ms), Gleichrichtwert, meist mit Tendenz zum Effektivwert.