

**TI 315**  
**D12 AES/EBU Ein-/Ausgang**  
**und Verkabelung (1.0DE)**



## Einführung

Der D12 ist in der Lage, neben den üblichen analogen Eingangssignalen auch digitale AES/EBU Audiodaten zu verarbeiten. Zum Anschluss des Digitalsignals steht ein separater dreipoliger XLR-Eingang zur Verfügung. Die benachbarte „AES/EBU LINK“ Buchse ermöglicht die Versorgung weiterer Geräte mit einem aufbereiteten Digitalsignal (serienmäßig bei allen D12 Verstärkern, die seit September 2005 produziert wurden).

Bei der Verbindung von Geräten mit digitaler Signalverarbeitung sollten wenn möglich digitale Schnittstellen verwendet werden. Dadurch werden unnötige Wandlungen zwischen analoger und digitaler Ebene vermieden und eine maximale Klangqualität gewährleistet.

AES/EBU ist ein digitales Datensignal und unterscheidet sich in Systemaufbau und Handhabung grundsätzlich von analogen NF-Signalen.

## AES/EBU Standard

AES/EBU steht für Audio Engineering Society/European Broadcasting Union und ist die landläufige Bezeichnung für den erstmals 1985 als AES3 veröffentlichten Standard zur Übertragung digitaler Audiodaten über ein Twisted-Pair Kabel. Die aktuelle Version des Standards ist AES3-2003 [1].

Physikalisch basiert AES/EBU auf einer differentiellen Übertragung gemäß RS-422 über ein verdrehtes Adernpaar mit Schirm.

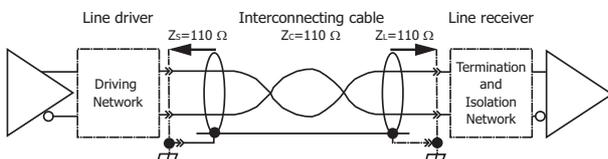


Fig. 1: AES/EBU – physikalisch (Quelle [1] AES 3, Abb. 6)

Die Signalamplitude liegt bei 2...7 Vpp, Quell- und Lastimpedanz betragen  $110 \Omega \pm 20 \%$ .

Als Steckverbinder kommen dreipolige XLR zum Einsatz.

AES/EBU erlaubt die Übertragung von zwei Kanälen digitaler Audiodaten mit einer Wortlänge von bis zu 24 Bit zusammen mit Metadaten, die neben Informationen über das übertragene Audioformat noch weitere gerätespezifische Daten beinhalten können.

## Abtastraten, Wandlung und Latenzzeit

Jedes Signal in einem digitalen Audiosystem besitzt eine bestimmte Abtastfrequenz. Die beiden am weitesten verbreiteten Abtastraten sind 44.1 kHz im Consumerbereich und 48 kHz in der Studioteknik, sowie ganzzahlige Vielfache davon.

Bei der Verbindung verschiedener Geräte ist darauf zu achten, dass der Empfänger die Abtastfrequenz des gesendeten Signals unterstützt, da das Signal sonst nicht verarbeitet werden kann. Viele aktuelle Geräte besitzen daher einen universellen asynchronen Abtastraten-

wandler (ASRC) im Eingang, der das Eingangssignal an den internen Audiotakt anpasst. Dadurch wird eine größtmögliche Flexibilität beim Anschluss digitaler Audioquellen erreicht, die jedoch mit einer Erhöhung der Systemlatenz (üblicherweise um etwa 2 ms) und einer Verschlechterung der Audioqualität erkauft wird.

Deshalb ist es ratsam, die Hauptkomponenten eines digitalen Audiosystems mit einer einheitlichen Abtastfrequenz zu betreiben. Dazu erzeugt ein Gerät, üblicherweise das digitale Mischpult, ein Taktsignal, auf das sich die anderen Geräte im System synchronisieren, entweder durch Rückgewinnung des Taktes aus dem AES/EBU Signal oder über separate Wordclock Verbindungen. Damit kann eine ASRC für die wichtigen Komponenten umgangen werden. Einzelne Geräte mit einer inkompatiblen Abtastfrequenz, wie beispielsweise CD-Player mit 44.1 kHz, können dann separat über Abtastratenwandler eingebunden werden.

Insbesondere im Live-Betrieb ist jedoch die Summe der Zeitverzögerungen aller Komponenten im Signalweg zu beachten. Neben einer ASRC verursachen analog/digital (ADC) und digital/analog (DAC) Wandlungen Latenzen und Wandlungsverluste. Wie schon eingangs erwähnt sollten Verbindungen zwischen Geräten wenn möglich auf digitaler Ebene erfolgen um diese Effekte zu umgehen. Weiterhin verhindert eine digitale Übertragung eine Verringerung der Audioqualität durch lange Leitungswege, was bei der analogen Verkabelung ein verbreitetes Problem darstellt.

Unabhängig von den Latenzen im Signalpfad benötigt die digitale Signalverarbeitung in den Geräten eine gewisse Rechenzeit, die beim D12 etwa 0.3 ms beträgt.

In Mehrkanalsystemen oder bei der Bildung von Arrays aus mehreren Lautsprechern müssen die Latenzen jedes einzelnen Signalweges unbedingt berücksichtigt werden, da sich diese zu den akustischen Laufzeiten zu den Lautsprechern addieren. Ein Abgleich der Laufzeiten mit einer Genauigkeit von 1-2 ms reicht üblicherweise aus um Kohärenzprobleme zwischen verschiedenen Arrays oder Lautsprechergruppen innerhalb eines Systems zu vermeiden. Diese Korrektur kann beispielsweise mit Hilfe der Delay-Funktion des D12 vorgenommen werden. Innerhalb eines Arrays ist jedoch eine wesentlich höhere Genauigkeit erforderlich, welche sich nur durch die Verwendung identischer Signalwege zur Versorgung der Verstärker erreichen lässt.

## Topologie der AES/EBU Verkabelung

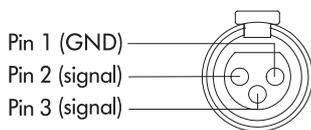
Eine AES/EBU-Schnittstelle ermöglicht im Gegensatz zu CAN oder DMX512 nur eine reine Punkt-zu-Punkt Verbindung. Pro Leitungssegment sind also nur ein Sender und ein Empfänger vorhanden. Eine Signalverteilung mit Y-Kabeln oder ein Durchschleifen des Signals im Gerät ohne Pufferung, wie es bei Analogsignalen möglich ist, sind nicht erlaubt, da dies zu Fehlanpassungen führt.

Nur wenn ein AES/EBU Ausgang mit entsprechend aufbereitetem Digitalsignal vorhanden ist können weitere Geräte direkt versorgt werden (siehe Kap. . Anwendungsbeispiele, Fig. 3).

Fehlt dieser Ausgang, so kann auf externe Verteilverstärker zurückgegriffen werden. Diese stellen ein Eingangssignal an mehreren Ausgängen elektrisch aufbereitet zur Verfügung, wodurch sich eine sternförmige Topologie des Netzes ergibt (siehe Kap. . Anwendungsbeispiele, Fig. 4). Unter gewissen Umständen lassen sich auch passive Splitter anstelle eines Verteilverstärkers nutzen (siehe Kap. Passive Splitter).

### AES/EBU Eingang des D12

Auf der rückseitigen Anschlussplatte des D12 steht neben den analogen Anschlüssen ein digitaler AES/EBU-Eingang zur Verfügung. Dieser ist als dreipolige XLR-Buchse in Standardbelegung ausgeführt.



Die Signale sind mittels eines Transformators galvanisch getrennt. Zusätzliche Entstörmaßnahmen sorgen für eine hohe Immunität gegenüber externen Störeinflüssen.

Die digitale Signalverarbeitung im D12 erfolgt mit 96 kHz und akzeptiert Eingangssignale mit einer Abtastfrequenz von 48 kHz und 96 kHz. Bei einem Signal mit 48 kHz erfolgt eine synchrone Abtastfrequenzwandlung mittels eines Softwarealgorithmus im DSP, welche eine wesentlich geringere Latenz erzeugt als eine ASRC.

Ein direkter Anschluss digitaler Quellen mit abweichenden Abtastfrequenzen an den D12 ist nicht möglich.

Die Auswahl der verwendeten Signalquelle erfolgt unter dem Punkt "Input" im Settings Menü des D12. Dort lässt sich zwischen analogem und digitalem Eingang umschalten. Sobald der D12 bei ausgewähltem Digitaleingang ein gültiges Eingangssignal erkennt, wird dessen Abtastfrequenz im Display dargestellt. Weicht diese von den unterstützten 48 kHz oder 96 kHz ab, so wird das Eingangssignal ignoriert und die Anzeige im Display mit einem '?' versehen. Fehlt die Angabe der Abtastfrequenz vollständig, so liegt kein Eingangssignal an oder es besitzt eine derart schlechte Qualität, dass es nicht decodiert werden kann.

**WICHTIG!** Sollen digitale Wiedergabegeräte direkt an den D12 angeschlossen werden, so ist besonders auf die Pegelinstellung am D12 zu achten. Digitale Tonträger werden oft bis auf 0 dBFS (maximaler Digitalpegel) ausgesteuert, was beim D12 einem analogen Eingangssignal von +27 dBu entsprechen würde. Wird die Eingangsempfindlichkeit (Level) am D12 nicht deutlich reduziert (z.B. -30 dB), wird das Signal auch mit der maximal möglichen Lautstärke wiedergegeben (GR und OVL-LEDs leuchten). Vor dem Anschluss eines digitalen Wiedergabegeräts sollte die Eingangsempfindlichkeit des D12 daher auf das Minimum reduziert und dann

schrittweise bis zur gewünschten Lautstärke erhöht werden. Wenn die OVL-LED jedoch selbst bei entsprechend reduziertem Gain noch aufblitzt, so ist das kein Zeichen von Überlast sondern ein Indikator für eine hohe Aussteuerung des digitalen Eingangssignals (Signal > -3 dBFS).

### AES/EBU Link des D12

Zum Anschluss weiterer Geräte mit AES/EBU-Eingang verfügt die Rückplatte des D12 über eine AES/EBU LINK Buchse, an der das digitale Eingangssignal aufbereitet zur Verfügung steht. Eine aktive Schaltung nimmt eine Korrektur der durch Leitungsverluste verschliffenen Flanken vor und stellt den Normpegel wieder her.

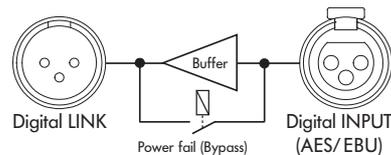


Fig. 2: D12 Digital INPUT und LINK

Ein Bypass-Relais sorgt im Havariefall dafür, dass die Signalkette bei einem Fehler in der Netzspannungsvorsorgung des Geräts nicht unterbrochen wird. Es nimmt das Gerät aus dem Signalweg und leitet das Eingangssignal direkt auf die Ausgangsbuchse weiter, so dass die Versorgung der nachgeschalteten Geräte mit dem AES/EBU-Signal aufrecht erhalten wird.

### Kabel

Die Übertragung von digitalen Audiodaten stellt wesentlich höhere Anforderungen an die Systemkomponenten, als es bei analogen Audiosignalen der Fall ist. Zur Übertragung eines AES/EBU-Signals mit einer Abtastfrequenz von 96 kHz ist eine Bandbreite von mehr als 12 MHz erforderlich, während bei einer analogen Übertragung 20 kHz ausreichen.

Für eine sichere Übertragung dieser hochfrequenten Signale, muss der Wellenwiderstand des Kabels an die Innenwiderstände von Sender und Empfänger angepasst werden. Bei Fehlanpassungen kommt es sonst zu Reflexionen, die das Nutzsignal überlagern und zusammen mit anderen Störeinflüssen zu erhöhtem Jitter am Empfänger führen. Jitter ist ein dynamisches Abweichen der Signalfanken vom Idealzeitpunkt. Er stört die Rückgewinnung des Taktes sowie der codierten Daten aus dem AES/EBU Signal und ist eine der Hauptursachen für Übertragungsfehler.

Analoge Mikrofonkabel sind für die Übertragung digitaler Audiodaten aufgrund ihrer schlechten und undefinierten Eigenschaften bei den hier geforderten Frequenzen nicht geeignet. Sie besitzen eine höhere Kapazität als digitaltaugliche Kabel und damit auch einen zu niedrigen Wellenwiderstand, was zu den eben beschriebenen Effekten führt.

Mit einem üblichen AES/EBU-Kabel können bei 96 kHz Abtastfrequenz Entfernungen von 100 m zwischen Signalquelle und dem letzten D12 in der Signalkette

überbrückt werden. Hochwertige Kabel mit niedriger Dämpfung bei hohen Frequenzen erlauben eine zuverlässige Übertragung auch bis über 200 m. Bei 48 kHz kann von einer annähernden Verdoppelung der möglichen Kabellängen ausgegangen werden.

Sollen größere Entfernungen überbrückt werden empfiehlt sich die Verwendung von 75  $\Omega$  Koaxialkabeln wie in AES-3id [2] beschrieben (siehe auch Kap. . Anwendungsbeispiele, Fig. 5). Diese besitzen engere Toleranzen bezüglich ihres Wellenwiderstandes sowie eine geringere Dämpfung und sind daher in besonderem Maße für die Übertragung hochfrequenter Signale über längere Strecken geeignet. Zum Anschluss eines Koaxialkabels an Geräte mit XLR-Anschlüssen werden entsprechende Formatwandler benötigt (siehe auch Kap. . Zubehör unter Formatwandler). Die überbrückbare Distanz liegt bei guten Kabeln über 500 m bei 96 kHz Abtastrate.

Die Auswahl eines Kabeltyps hängt auch davon ab, ob das Kabel in einer Festinstallation oder im mobilen Gebrauch eingesetzt werden soll. Kabel für Festinstallationen besitzen üblicherweise bessere Übertragungseigenschaften, was jedoch auf Kosten von Flexibilität sowie mechanischer Widerstandsfähigkeit geht.

Weiterhin ist die Übertragung des AES/EBU-Signals über Kabel aus der Netzwerktechnik möglich sofern diese dem Cat5 Standard oder höher entsprechen. Die Übertragungsqualität ist vergleichbar derer eines guten AES/EBU Kabels, obwohl ihr Wellenwiderstand nur 100  $\Omega$  beträgt. Für die Übertragung von AES/EBU wird ein Adernpaar benötigt, die verbleibenden Paare können für andere Zwecke genutzt werden, wie z.B. für ein CAN-Signal für die Fernsteuerung der Verstärker oder weitere AES/EBU Signallinien.

In der Norm AES3 wird lediglich ein zweiadriges geschirmtes Kabel mit einem Wellenwiderstand von 110  $\Omega$  verlangt, andere Kabelparameter sind nicht klar definiert. Demzufolge unterscheiden sich am Markt erhältliche AES/EBU Kabel teils erheblich in ihren Eigenschaften. Die hier getroffenen Aussagen bezüglich erreichbarer Distanzen beruhen auf Werten, die in praktischen Versuchen von der Mehrzahl der getesteten Kabel erreicht oder übertroffen wurden. Bei speziellen Anwendungen mit höheren Anforderungen kann der d&b Application Support weitere Hilfestellung geben.

Von den getesteten Kabeln eignen sich folgende Typen für die zuverlässige Übertragung eines AES3-Signals mit 96 kHz Abtastfrequenz über eine Entfernung von 100 m (diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit!):

- Belden 1696A
- Belden 1800B
- Cordial CDMX1
- Cordial CDMX234
- Draka AC10SS 24/7 1P
- Draka Mikro22 Outside AES/EBU 1P
- Gotham GAC-2/foil AES/EBU
- Kabeltronik DigiOne
- Klotz OTW204
- Klotz OT206SW
- Sommer Binary234

## Zubehör

Zur Versorgung mehrerer Verstärker ohne AES/EBU LINK oder bei Verteilung des Signals auf mehrere Stränge werden zusätzliche externe Geräte benötigt. Diese haben keinen Einfluss auf die übertragenen Audiodaten, sondern behandeln einzig die elektrische Schicht des codierten Signals.

## Passive Splitter

Bei passiven Splitttern wird das AES/EBU-Signal mit Hilfe von Übertragern auf mehrere Ausgänge verteilt. Leitungsverluste können damit nicht kompensiert werden, die Ausgangssignale haben stets einen geringeren Pegel als das Eingangssignal. Ihr Einsatz ist daher auf Anwendungen mit geringen Leitungslängen und wenigen zu versorgenden Geräten beschränkt.

## Verteilverstärker

Verteilverstärker bereiten das Eingangssignal aktiv für mehrere Ausgänge auf.

Je nach Art der Signalaufbereitung werden verschiedene Ausführungen unterschieden. Ein **Repeater** sorgt für eine elektrische Aufbereitung des AES/EBU Signals, wie sie auch vom D12 AES/EBU LINK vorgenommen wird. Er kann nur den Pegelverlust durch den Kabelweg wieder ausgleichen, dem Signal anhaftender Jitter kann jedoch nicht verringert werden. Ein Repeater dient daher in erster Linie zur Verteilung eines qualitativ guten Eingangssignals auf mehrere Ausgänge. Eine wesentliche Erhöhung der Übertragungreichweite ist hiermit nicht möglich.

Im Gegensatz zum Repeater bereitet ein **Reclocker** das Eingangssignal nicht nur elektrisch auf, sondern nimmt auch eine Korrektur des zeitlichen Verhaltens des Signals vor. Dazu wird der Takt aus dem Eingangssignal extrahiert und vom anhaftendem Jitter befreit. Das Ausgangssignal wird dann mit diesem sauberen Takt neu aufgebaut. Sind auf dem Übertragungsweg zum Reclocker keine Übertragungsfehler aufgetreten, so besitzt das Ausgangssignal wieder annähernd die gleiche Qualität wie am Sender, womit praktisch eine Verdoppelung der Übertragungreichweite möglich ist. Abhängig von der verwendeten Schaltung kann ein Reclocker zusätzliche Latenzen verursachen die berücksichtigt werden müssen.

### Formatwandler

Soll ein AES/EBU-Signal über Koaxialkabel transportiert werden, so sind Geräte zur Formatwandlung nötig. Diese können entweder passiv als Übertrager oder als aktiver Umsetzer ausgeführt sein. Sie konvertieren das symmetrische AES/EBU-Signal in ein asymmetrisches und nehmen eine Impedanzanpassung von  $110 \Omega$  auf  $75 \Omega$  vor. Mit einem solchen Übertrager ist auch eine Adaptierung auf die bei Consumergeräten verwendete S/P-DIF-Schnittstelle möglich.

### Anwendungshinweise

Anders als bei Analogsignalen, bei denen sich die Qualität mit steigender Entfernung kontinuierlich verschlechtert, bleibt eine digitale Übertragung ohne Qualitätseinbußen so lange das Trägersignal fehlerfrei decodiert werden kann. Mit abnehmender Signalqualität treten zuerst vereinzelt Störgeräusche auf, später erst bricht die Übertragung vollständig zusammen. Der Bereich zwischen gerade noch fehlerfreier Übertragung und vollständigem Ausfall des Signals ist jedoch sehr schmal, so dass bereits kleine zusätzliche Störfaktoren (z.B. Einstreuungen von Lichtdimmern oder ein enger Knick im Kabel) die Verbindung unterbrechen können. Digitale Audioverbindungen sind daher immer mit einer ausreichenden Reserve auszulegen. Entfernungen nahe am Limit sind zu vermeiden.

Stehen keine Messmöglichkeiten zur Beurteilung der Signalqualität zur Verfügung (z.B. Oszilloskop zur Darstellung eines Augendiagrammes), so kann die maximal mögliche Übertragungreichweite experimentell bestimmt werden. Hierzu empfiehlt sich ein Testaufbau mit den später in der Praxis verwendeten Geräten und Kabeln, bei dem die Kabellängen so lange erhöht werden, bis keine störungsfreie Übertragung mehr möglich ist. Es empfiehlt sich, in der Praxis nicht mehr als 75 % der möglichen Länge zu nutzen, so dass noch eine ausreichende Reserve für eventuell auftretende Störeinflüsse gegeben ist.

Um Unstetigkeiten im Wellenwiderstand zu vermeiden, sollten innerhalb eines Leitungsabschnitts nur Kabel eines Typs verwendet werden.

Jede Verbindungsstelle mit Kabeln oder Geräten mit abweichenden Wellenwiderständen führt zu einer teilweisen Reflexion des Signals, was eine Verschlechterung der Signalqualität zur Folge hat. Selbst wenn zwei Kabel eine identische nominelle Impedanz besitzen kann durch Toleranzen der tatsächliche Wert abweichen. Bei Verwendung eines Repeaters dürfen verschiedene Kabeltypen an dessen Ein- und Ausgängen benutzt werden.

### Referenzen / Literatur

Weiterführende Informationen zur digitalen Audioverkabelung sind in folgenden Dokumenten zu finden:

- [1] AES3-2003: AES Recommended practice for digital audio engineering - Serial transmission format for two-channel linearly represented digital audio data
- [2] AES-3id-2001: AES information document for Digital audio engineering - Transmission of AES3 formatted data by unbalanced coaxial cable
- [3] EBU User Guide: AES/EBU digital audiointerface: engineering guidelines
- [4] AES Convention Paper 5915: Return Loss and Digital Audio

## Anwendungsbeispiele

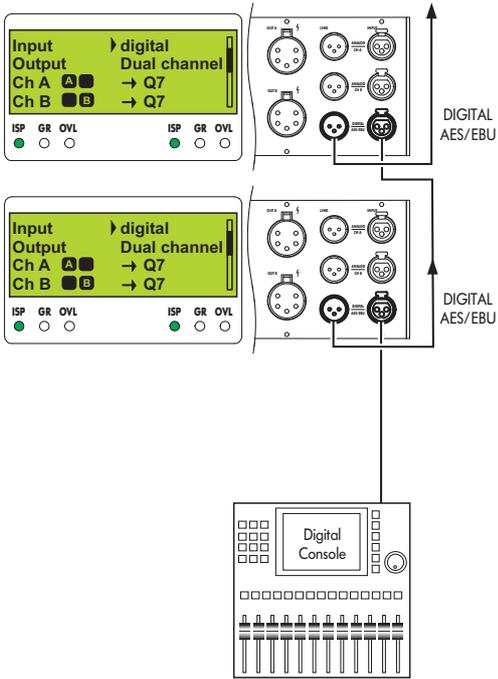


Fig. 3: AES/EBU Verkabelung von D12 mit LINK-Buchse

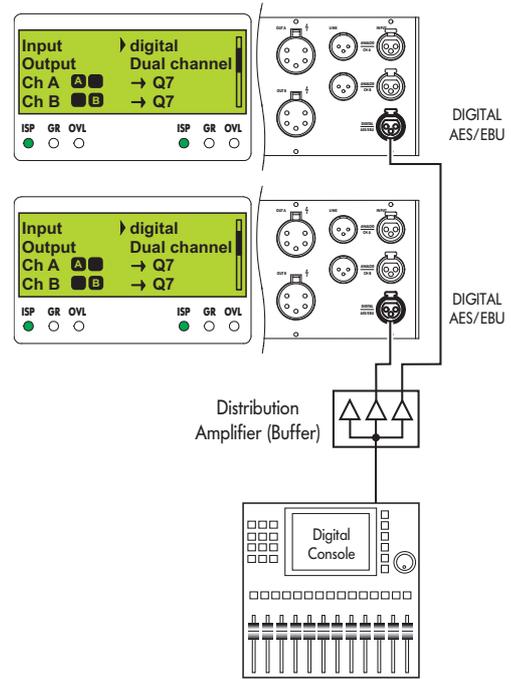


Fig. 4 AES/EBU Verkabelung von D12 ohne LINK-Buchse

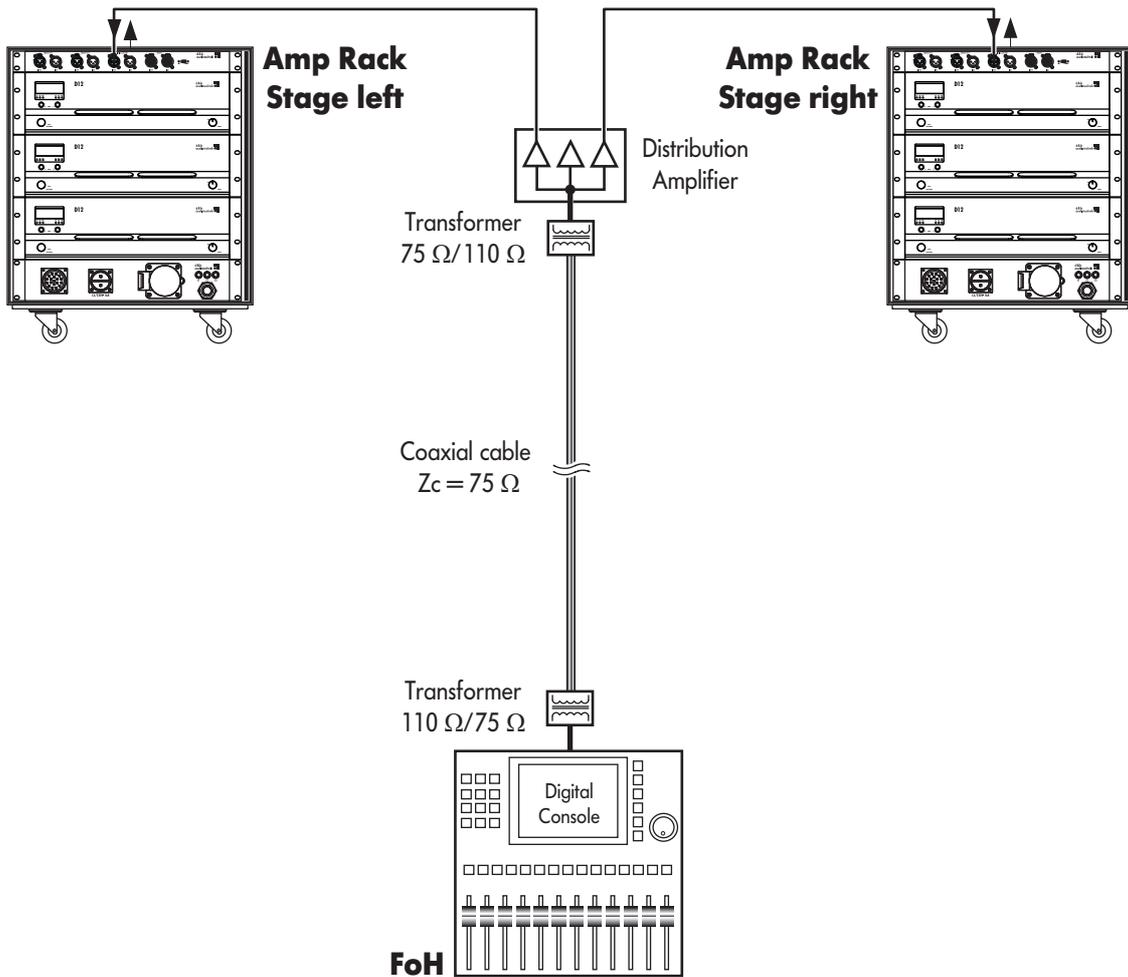


Fig. 5: AES/EBU Verkabelung mit Koaxialkabel (75  $\Omega$ ) und Verteilverstärker für lange Strecken

