

# Digitale Audio - Schnittstellen

(ergänzt und korrigiert 09.01.2003)

## 1. SDIF – 2, Sony Digital Interface (PCM 1610/1630)

Das SDIF-2 Format war die erste professionelle digitale Audioschnittstelle. Sie wurde mit den PCM 1610 eingeführt. Aufgrund der quasi Monopolstellung dieser Geräte übernahmen auch anderen Herstellern diese Schnittstelle. Sony liefert auf Wunsch auch heute noch Geräte mit SDIF – 2 aus (z.B. PCM 3324/48). Im allgemeinen spielt sie jedoch nur noch eine untergeordnete Rolle.

Die Schnittstelle war ursprünglich zweikanalig ausgelegt. Durch ihren einfachen Aufbau konnte sie jedoch problemlos mehrkanalig erweitert werden.

### 1.1. 3 Ports für Takt und zwei Kanäle

Das SDIF – 2 Format überträgt die Audiodaten der beiden Kanäle jeweils auf einer Leitung. Zusätzlich existiert eine Taktleitung. Es werden also 3 Ports benötigt. Bei einer Mehrkanalübertragung werden zusätzliche Audioleitungen hinzugefügt, es bleibt jedoch bei einer Taktleitung. Die Audiosignale wurden ursprünglich (d.h. als zweikanalige Schnittstelle) mit koaxialen Leitungen übertragen. In der Mehrkanalvariante werden jedoch Multipinsteckverbindungen eingesetzt, die die Signale RS-422 kompatibel über twisted pair Kabel übertragen.

Die Taktleitung liefert den Wort-Takt, in der Regel 44.1 kHz (möglich waren auch 44.056<sup>1</sup>, die Multikanalvariante erlaubt 48 kHz). Die Audioleitungen besitzen pro Wort 32 Bits (32 Bits Slot). Es wird der einfache NRZ-Code genutzt. Die ersten 20 Bits sind für die Audiodaten reserviert, die MSB (Most Significant Bit first, das höchstwertige Bit zuerst) übertragen werden. Bei einer 16 Bit Auflösung bleiben die Bits 15 bis 19 auf dem Wert 0. Bit

---

<sup>1</sup> Die „krumme“ Samplingfrequenz 44.056 kHz entstand dadurch, daß die ersten digitalen Audiorekorder handelsübliche U-Matic Videorekorder nutzten, die PCM-Daten aufzuzeichnen. Dabei leiteten sie die Samplingfrequenz von dem Bild und Zeilentakt des Videosignals ab. Ursprünglich lieferte NTSC-schwarz/weiß eine Bildwechselfrequenz von 30 Hz (entsprechend der Hälfte der Netzfrequenz in den USA). Mit der Einführung des Farbfernsehen ergaben sich aufgrund der zusätzlichen Farbkomponente jedoch Interferenzprobleme mit der Tonübertragung. Deshalb änderte man die Bildwechselfrequenz leicht, auf 29.97 Hz. Für die Samplingfrequenzen ergeben sich folgende Zusammenhänge:

Ort Fernsehsystem	Bildwechsel- frequenz	Zeilen- frequenz	Genutzte Zeilen	Samples pro Zeile	Samplefrequenz
Europa PAL	25 Hz	15,625 kHz	588 von 635	3	$15.625 \times 588/625 \times 3 = 44.1 \text{ kHz.}$
USA NTSC b/w	30 Hz	15,75 kHz	490 von 525	3	$15.75 \times 490/525 \times 3 = 44.1 \text{ kHz}$
USA NTSC col.	29.97 Hz	15.734 kHz	490 von 525	3	$15.734 \times 490/525 \times 3 = 44.056 \text{ kHz}$

20 bis 28 werden als Kontrollbits genutzt. Zur Kontrolle der Slot - Synchronisation verletzen Bit 29 bis 31 den Bit Takt (Sync Information Area). Sie markieren immer einen 0 1 (wenn Block Flag Bit = 1) bzw. 1 0 (wenn Block Flag Bit = 0) Übergang, bei dem der Zustandswechsel in der Mitte des Bit 30 erfolgt. Aus den 3 Bits entstehen also 2 Bits mit 1.5 x dem Bittakt. An dieser Unregelmäßigkeit kann die Slot-Grenze erkannt werden.

Übersicht des Datenformats der SDIF-2 Schnittstelle:

Bit	Funktion am Blockanfang, wenn Block Flag Bit = 1	Funktion innerhalb eines Blocks, wenn Block Flag Bit = 0
0 bis 19	Audio, MSB first	
20 bis 24	Reserviert	User Bits zum Übertragen zusätzlicher Informationen
25, 26	Emphasis (wenn Block Flag Bit = 1) 00 keine Emphasis 01 Emphasis 50µs, 15 µs	
27	Kopierschutz (wenn Block Flag Bit = 1) 0 kopieren möglich 1 kopieren nicht erlaubt	
28	Block Flag Bit 0 normaler 32 Bit Slot 1 32 Bit Slot am Anfang eines Blocks	
29 bis 31	Sync Information Area	

Die SDIF-2 Schnittstelle strukturiert 256 32 Bit Slots in einen Block. Ein Blockanfang wird über das Bit 28, dem Block Flag Bit, markiert. Nur der erste Slot innerhalb eines Blocks überträgt Informationen zum Kopierschutz und zur Emphasis. Die Kontrollbits der übrigen 255 Slots werden akkumuliert und stehen als User Bits zur Verfügung.

## 2. Prodigy A/B/C-Dub

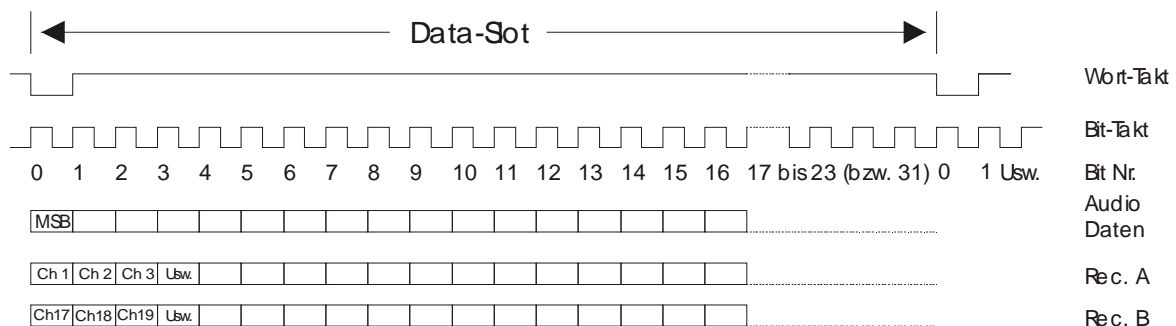
Mit den Prodigy Bandmaschinen führte Mitsubishi eine eigene digitale Schnittstelle ein. Diese unterscheidet sich für Geräte mit nur zwei oder mit mehreren Kanälen. Sie existiert als Dub-C Version für eine zweikanalige Verbindung und als Dub-A bzw. Dub-B für Verbindungen zwischen Mehrkanalmaschinen. Die Dub-A und -B Versionen unterscheiden sich darin, ob die Signale für den Bit- bzw. Worttakt vorhanden sind. Die Schnittstellen waren entsprechend der Samplingfrequenz der digitalen Bandmaschinen ursprünglich nur für 48 kHz ausgelegt. Sie wurden später auch für 44.1 kHz ausgelegt.

Die Übertragung erfolgt für alle Signale mit Hilfe von Twisted Pair Kabeln. Dub C nutzt eine 25-Pol Multipinverbindung, Dub A/B eine 50-Pol Steckverbindung.

## 2.1. Dub C

Diese Variante der Prodigy-Schnittstelle für den zweikanaligen digitalen Transfer nutzt insgesamt vier (bzw. fünf) Ports für die Übertragung. Es werden der Wort-Takt mit der Sample-Frequenz, ein Bittakt (24 x Worttakt) und je ein Port für den linken und rechten Kanal getrennt geführt. Der Wort-Takt wird nicht im Tastverhältnis 1 zu 1 übertragen, sondern liefert nur zu Anfang eines Wortes einen Low-Wert von einem Bit-Takt. Der Bit-Takt ist wieder ein stetes Rechtecksignal. Zusätzlich existiert ein sog. Master-Clock-Signal (2.304 MHz bei 48 kHz und 2.117 MHz bei 44.1 kHz).

Ein Data-Slot korrespondiert mit einem Wort-Takt und nimmt 24 Bits auf. Die Audiodaten werden im NRZ-Code mit MSB first auf den ersten Bits übermittelt. Jene Bits, die nicht mehr zur Audioübertragung beitragen, werden auf 0 gesetzt.



## 2.2. Dub A/B

Die Dub A bzw. Dub B Variante unterscheidet sich nicht allein in der Anzahl der übertragenden Kanäle, sondern besitzt auch einen unterschiedlichen Bit-Takt. Ein Data-Slot besteht aus 32 Bits, dementsprechend beträgt der Bit-Takt 32 x Wort-Takt. Die ersten Bits werden zur Audioübertragung genutzt, die nicht benötigten Bits werden auf 0 gesetzt.

Die Dub A Variante überträgt 16 Audiokanäle, den Wort-Takt, den Bit-Takt und zwei zusätzliche Signale, die Informationen über den Rec-Status der einzelnen Kanäle der verbundenen Maschinen enthält.

Die Dub B Variante überträgt lediglich die 16 Audiokanäle. Da sie als Ergänzung zur Dub A Variante gedacht ist, braucht sie nicht noch einmal die beiden Taktsignale zu übertragen.

Die beiden zusätzliche Signale für den Rec-Status (Rec A und Rec B) werden ebenfalls mit der Frequenz des Bit-Taktes übertragen. Jeweils die ersten 16 Bits (Kanal 1 = Bit 1 usw.) geben Auskunft über den Rec-Status. Low bedeutet Rec-Mode, High Playback.

### 3. Die AES/EBU - und die SPDif - Schnittstelle

Das AES/EBU ist eine serielle Schnittstelle, die zwei unabhängige Audiokanäle mit verschiedenen Sample-Frequenzen und einige Kontroll- und Steuerinformationen überträgt. Sie ist Biphas-Mark kodiert und überträgt damit gleichzeitig eine Taktinformation. Bewußte Verstöße gegen das Kodierungsschema sind integriert, um die Grenzen von Strukturierungseinheiten zu identifizieren. Die Daten sind in Blöcke, Frames und Subframes unterteilt, wobei das Subframe die kleinste Einheit darstellt.

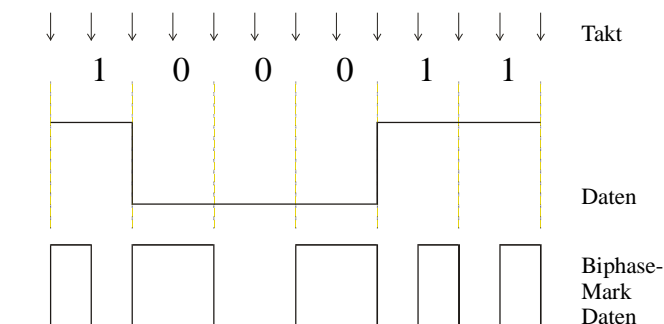
Die SPDif-Schnittstelle ist der AES/EBU-Schnittstelle sehr ähnlich. Sie unterscheidet sich lediglich in den elektrischen Parametern der Übertragung und in der Bedeutung der Channel Status Bits.

#### 3.1. Die Biphas-Mark-Codierung

Bei dem Biphas-Mark-Code wird jedes Bit mit Hilfe einer Bitzelle übertragen. Eine Bitzelle konstituiert sich durch einen Zustandswechsel an ihrem Anfang und ihrem Ende und besteht aus zwei aufeinanderfolgenden Bits. Sind diese Bits identisch, wird eine logische 0 übertragen. Unterscheiden sie sich, d.h. es findet ein Zustandswechsel in der Bitzelle statt, wird eine logische 1 übertragen. Dabei ist es unerheblich, ob bei der Abfolge von unterschiedlichen Bits zuerst eine 1 oder eine 0 steht, entscheidend ist der Polaritätswechsel in der Mitte der Bitzelle. Es gilt:

00	-	logisch 0	01	-	logisch 1
11	-	logisch 0	10	-	logisch 1

Der Biphas-Mark-Code ist damit vollständig unempfindlich gegen Polaritätswechsel. Gegenüber der Ausgangsdatenfolge erfordert der Biphas-Mark-Code die doppelte Taktfrequenz, da jedes Bit mit Hilfe zweier Bits in Form einer Bitzelle übertragen wird. Allerdings läßt sich so der Takt problemlos rekonstruieren und es treten keine DC-Komponenten auf, da sich Low und High Bits immer in der Waage halten.



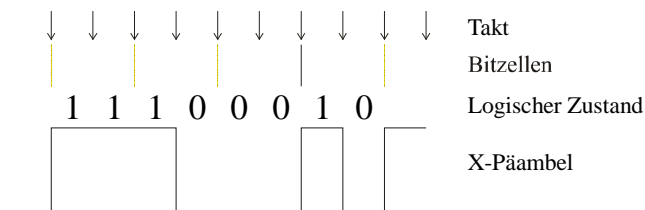
Bei der Taktrekonstruktion wird der Zustandswechsel detektiert. Da bei einer logischen 1 die Zustandswechsel mit doppelter Frequenz aufeinander folgen, brauchen lediglich diese Werte mit Hilfe eines geeigneten Zeitgliedes unterdrückt werden, um das Taktsignal zur Verfügung zu haben.

### 3.2. Präambeln zur Identifikation von Strukturierungseinheiten

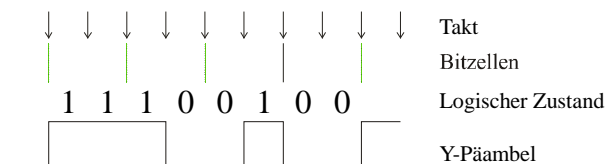
Das Biphas-Mark Schema läßt maximal eine Abfolge von zwei gleichen Zustandswerten zu. Präambeln hingegen enthalten drei aufeinanderfolgende gleiche Zustandswerte. Durch diese bewußte Verletzungen des Schemas sind sie in einem beliebigen Datenstrom immer eindeutig zu identifizieren und können daher herangezogen werden, die Strukturierungseinheiten des Protokolls zu markieren.

Für die drei strukturierende Elemente der AES/EBU-Schnittstelle, Block, Frame und Subframe, existieren dementsprechend drei unverwechselbare Präambeln.

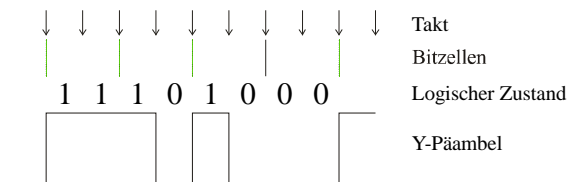
1. X – Präambel, markiert ein Frame bzw. das erste Subframe bzw. den Kanal A



2. Y – Präambel, markiert das zweite Subframe bzw. den Kanal B



3. Z – Präambel, markiert einen Blockanfang und damit das erste Frame bzw. das erste Subframe (Kanal A) eines Blocks



Jede Präambel besteht also aus vier Bitzellen mit einem charakteristischen Muster aus 8 Bits und verletzt jeweils zweimal das Biphas-Mark-Schema.

### 3.3. Das Subframe

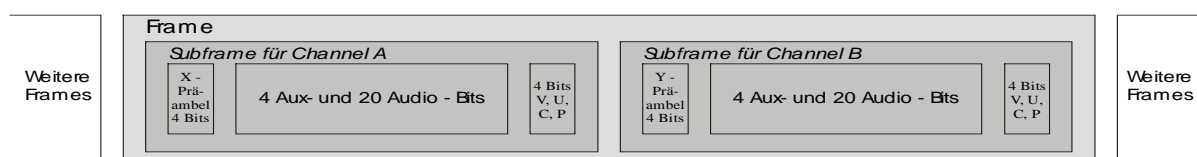
Das Subframe ist die kleinste Strukturierungseinheit der AES/EBU-Schnittstelle. Es besteht aus 32 Bits und enthält die Daten für ein Audiosample eines Kanals und einige Steuer- und Kontrollbits. Nicht alle Steuerbits machen einen Sinn, wenn man lediglich ein Subframe betrachtet. Sie werden vielmehr über eine große Anzahl von Subframes akkumuliert, so daß sie zu größeren Informationseinheiten verschmelzen.

Die 32 Bits eines Subframes sind wie folgt gegliedert:

Bit 0 bis 3	Präambel zur Identifikation von Subframe, Frame und Block
Bit 4 bis 7	Hilfsdatenbits (Aux Data) <ul style="list-style-type: none"><li>• wenn die Audiowortbreite <math>\leq 20</math> Bit kann über diese Bits frei verfügt werden</li><li>• wenn die Audiowortbreite <math>&gt; 20</math> Bit werden sie zur Aufnahme der restlichen Bits herangezogen</li></ul>
Bit 8 bis 27	Audiodatenbits (20 Bits) <ul style="list-style-type: none"><li>• Audioworte werden LSB (Least Signifikant Bit first – das geringswertige Bit zuerst) übertragen</li></ul>
Bit 28	Validity (Gültigkeit) <ul style="list-style-type: none"><li>• logisch 0 zeigt an, daß Audiodaten übertragen werden (zur DA-Wandlung)</li></ul>
Bit 29	User Data <ul style="list-style-type: none"><li>• werden über einen Block akkumuliert, zur freien Verfügung,</li></ul>
Bit 30	Channel Status (Kanalstatus) <ul style="list-style-type: none"><li>• werden über einen Block akkumuliert, enthält Informationen über die Audiodaten und die Übertragung</li></ul>
Bit 31	Parity Bit (Parität) <ul style="list-style-type: none"><li>• wird gesetzt, so daß eine geradzahlige Anzahl von logischen Einsen entsteht. So werden Übertragungsfehler auf Subframe – Ebene detektiert</li></ul>

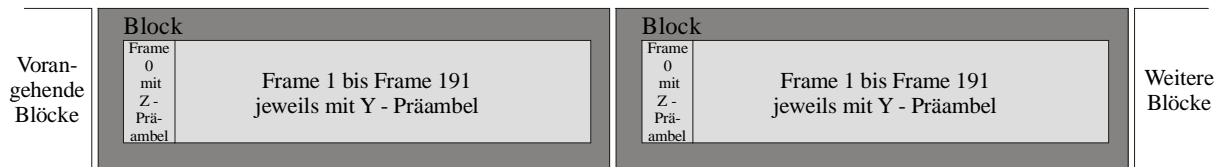
### 3.4. Das Frame

Das Frame faßt zwei Subframes zusammen. Damit enthält es die Daten für den linken (Channel A) und den rechten (Channel B) Audiokanal.



### 3.5. Der Block

Der Block faßt 192 Frames zusammen. Das jeweils erste Frame eines Blocks beginnt mit einer Z-Präambel.



Für die Audiodaten ist die Blockstruktur ohne Bedeutung. Sie ermöglicht es jedoch, die Channel Status Bits und die User Bits der 192 Frames zu akkumulieren und so zusätzlich komplexere Informationen zu übertragen.

### 3.6. Channel Status Bits

Für jeden Kanal stehen 24 Byte (entspricht 192 Bits) für den Channel Status zur Verfügung. Diesen sind z.T. vordefiniert, z.T. jedoch nicht belegt. Meist werden nur wenige der Channel Status Bits wirklich genutzt. Es bleibt dem empfangenden Gerät vorbehalten, ob er die Informationen auswertet.

Die Channel Status Informationen sind für die AES/EBU und die SPDif-Schnittstelle unterschiedlich definiert. Die folgende Tabelle stellt die Bedeutung der ersten 8 Bits gegenüber. Die übrigen 23 Bytes sind in den beiden Schnittstellen sehr unterschiedlich belegt.



		Professional Format	Consumer Format
<b>Byte 0</b>	<b>Bit 0</b>	0 consumer use of channel status block 1 professional use of channel status block	
	<b>Bit 1</b>	0 normales Audio 1 Non-Audio	0 normales Audio 1 Non-Audio
	<b>Bit 2</b>	<b>Emphasis</b> 0 0 0 Emphasis nicht angezeigt, Empfänger keine E., manuelle Änderung möglich	<b>Copy/Copyright</b> 0 kopieren verboten, Copyright 1 kopieren möglich, kein Copyright
	<b>Bit 3</b>	1 0 0 keine Emphasis, keine manuelle Änderung möglich 1 1 0 50/15 µS Emphasis, keine manuelle Änderung möglich	<b>Emphasis</b> (für digital Audio Daten (Bit 1 ist 0)) 0 0 0 keine Emphasis, 2 Kanal Audio 1 0 0 50/15 µS Emphasis, 2 Kanal Audio 1 1 0 reserviert, 2 Kanal Audio 1 1 1 reserviert, 2 Kanal Audio X X X reserviert, 4 Kanal Audio
	<b>Bit 4</b>	1 1 1 CCITT J.17 Emphasis, keine manuelle Änderung möglich X X X alle anderen Kombinationen reserviert	
	<b>Bit 5</b>	<b>Sperre der Sampling Frequenz der Quelle</b> 0 Sample Frequenz gesperrt (default) 1 Sample Frequenz nicht gesperrt	
	<b>Bit 6</b>	<b>Sampling Frequenz</b> 0 0 keine Angaben, Empfängervoreinstellung 48khz, kann manuell geändert werden 0 1 48khz, kann nicht manuell geändert werden 1 0 44khz, kann nicht manuell geändert werden 1 1 32khz, kann nicht manuell geändert werden	<b>Für nicht-Audio Daten (Bit 1 ist 1)</b> 0 0 0 Digitale Daten X X X alle anderen Kombinationen reserviert
	<b>Bit 7</b>		<b>Mode</b> 0 0 Mode 0 (definiert Bytes 1 bis3) X X alle anderen Kombinationen reserviert

## 4. Das Adat Optical Interface

Das ADAT Interface wurde mit dem ersten Adat 8-Kanal Digital Rekorder eingeführt. Inzwischen findet es jedoch auch bei anderen Geräten Verwendung. Die Übertragung erfolgt ausschließlich optisch, auf einer Leitung, werden Takt, einige Steuerbits und die Audiodaten übertragen. Die Kapazität des Interface reicht für 8 Kanäle mit 24 bit Auflösung. Das Protokoll ist dabei so flexibel, daß auch andere Kanalanzahl/Auflösungsvarianten implementiert werden können (z.B. 12 Kanäle mit 16 bit Auflösung). Das Interface ist für Sampling Frequenz von 48 kHz und 44.1 kHz ausgelegt.

Das Adat-Interface geht deutlich ökonomischer mit der Übertragungsbandbreite um als z.B. das AES/EBU-Interface. Es benutzt keine Biphasen-Mark Kodierung, sondern den einfachen NRZI Kode (digitale Eins: Zustandswechsel, digitale Null: kein Zustandswechsel). Die Taktübertragung sichert es, indem es in den Datenstrom in regelmäßigen Abständen digitale Einsen einfügt. So kommt es, mit einer Übertragungsfrequenz von lediglich 6.144 MHz (bei 48 kHz, AES/EBU 3.072 MHz für 2 Kanäle) aus.

Ein Data-Frame des Protokolls besteht aus 256 Bits. Er beginnt mit einem Start-Bit, gefolgt von 4 User-Bits. Es schließen sich 192 Bits für die Audioübertragung an, die in Abständen von 4 Bits von einer digitalen Eins für die Taktübertragung unterbrochen werden. Das Data-Frame schließt mit 10 digitalen Nullen, die zur Frameerkennung herangezogen werden.

Das Protokoll des Adat Optical Interface am Beispiel einer 24 Bit Audioübertragung:

<b>Bit</b>	<b>Funktion</b>	<b>Beschreibung</b>
0	Startbit	Takt
1 bis 4	User Bits	z.B. Anzahl der Kanäle
5	digitale Eins	Takt
6 bis 9	Audio	Kanal 1, Bit 0 - 3
10	digitale Eins	Takt
11 bis 14	Audio	Kanal 1, Bit 4 - 7
15	digitale Eins	Takt
16-19	Audio	Kanal 1, Bit 8 - 11
20	digitale Eins	Takt
21 bis 24	Audio	Kanal 1, Bit 12 - 15
25	digitale Eins	Takt
26 bis 29	Audio	Kanal 1, Bit 16 - 19
30	digitale Eins	Takt
31 bis 34	Audio	Kanal 1, Bit 20 - 23
35	digitale Eins	Takt

36 bis 245

Dasselbe Schema für die Audiokanäle 2 bis 8

246 bis 255

digital Null

Frameerkennung

## 5. Tdif - Tascam Digital Interface

Die Tdif Schnittstelle wurde mit dem DA88 eingeführt. Sie benutzt einen 25-Pol Sub-D Stecker, auf dem alle Ein- und Ausgänge verfügbar gemacht wurden.

An dem Stecker liegen folgenden Signale an:

Funktion	Steckerpin	Kommentar
Eingänge 1 bis 8	10 bis 13	Ausgänge
Emphasis in	21	
FS 1 in	20	
FS 0 in	8	
LRCK in	9	
Ausgänge 1 bis 8	1 bis 4	Eingänge
Emphasis out	18	
FS 1 out	19	
FS 0 out	6	
LRCK out	5	

Für eine Verbindung zwischen zwei Tdif-Schnittstellen muß ein Kabel benutzt werden, das spiegelbildlich gedreht wurde. Auf diese Weise werden die Eingänge des einen Gerätes mit den Ausgängen des anderen und umgedreht verbunden.

Die Schnittstelle ist sehr einfach aufgebaut. Die Audiodaten sowohl für die Ein- als auch die Ausgänge werden alternierend auf einer Leitung geführt. 32 Bit pro Kanal werden mit Hilfe eines einfachen invertierten NRZ-Codes übertragen. Die Taktverbindung wird über das LRCK Signal (Left-Right-Clock) hergestellt. Es wird der Sample-Takt benutzt, allerdings gegenüber der Word-Clock um  $90^0$  Phasenverschoben. Zusätzlich wird dieses Signal genutzt, die beiden Audiosignale auf einer Leitung zu trennen. Während des High-Zustands des LRCK-Signals wird der erste Kanal ausgewertet, bei einem Low-Zustand der zweite.

Das 32 Bit Wort eines Kanals bestehen aus 16 bzw. 24 Bit Audiodaten (MSB first). Ihnen folgen 4 reservierte Bits und 4 User Bits. Sie sind bisher nicht definiert.

Die Schnittstelle arbeitet mit 44.1 kHz und 48 kHz ( $\pm 6\%$  Varispeed). Über zwei mal drei Statusleitungen werden die Informationen über die Sample-Frequenz und über eine eventuell

vorhandene Emphasis übermittelt. Der Zustand von FS0 bzw. FS1 gibt dabei an, welche der beiden auf einem DA-88 möglichen Sample-Frequenz genutzt wurde.

## 6. MADI – Multichannel Audio Digital Interface

Die MADI-Schnittstelle wurde unter Führung von Sony, Mitsubishi, SSL und Neve entwickelt und dann von der AES standardisiert. Sie erlaubt es, bis zu 56 Kanäle über nur eine 75Ω Coax-Leitung zu übertragen. Die Übertragung ist über eine Strecke von ca. 50m vorgesehen.

Ähnlich der AES/EBU-Schnittstelle strukturiert die MADI-Schnittstelle die Daten in Blocks, Frames und Subframes. Ein Frame besteht allerdings aus 56 Subframes, wobei ein Subframe die Kanaldaten (32 Bits), d.h. die Audiodaten der Kanäle 0 bis 55 und einige Steuerbits, enthält.

Bis auf die ersten vier Bits ist die Datenstruktur eines Subframes der MADI-Schnittstelle mit der eines Subframes der AES/EBU-Schnittstelle identisch. Bei der AES/EBU-Schnittstelle waren sie für die Präambel reserviert, bei der MADI-Schnittstelle werden hier folgende Signale übertragen:

Bit 0	Channel Zero Sync	High = Channel 0, sonst Low
Bit 1	Channel ON/OFF	High = active
Bit 2	Kanal A oder B	Low = Kanal A High = Kanal B
Bit 3	Channel Status Block Sync.	High = Blockbeginn sonst Low

Durch den praktisch identischen Aufbau ist eine Wandlung von AES/EBU nach MADI sehr einfach zu realisieren.

Die Blockenteilung folgt ebenfalls dem Vorbild der AES/EBU Zweikanalschnittstelle. 192 Frames werden zu einem Block zusammengefaßt. Da hier ein Frame jedoch wesentlich mehr Subframes enthält, ist es möglich, eine größere Anzahl von Informationen zu übertragen.

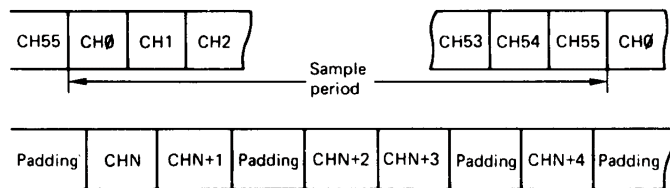
Im Unterschied zu allen anderen digitalen Schnittstellen besitzt die MADI-Schnittstelle bei allen Sample-Frequenzen und Vari-Speed-Optionen eine konstante Übertragungsgeschwindigkeit von 125 MBit/s. Um diese unabhängig von der Sample-Frequenz konstant halten zu können, werden bei Bedarf Daten hinzugefügt (data padding), die der Empfänger als ungültig verwirft.

Zur Übertragung der Daten wird eine 4 nach 5 RLL-Kodierung verwendet. Das erlaubt eine relativ ökonomische Übertragung und eine gesicherte Taktrekonstruktion.

4 Bit Ausgangsdaten	5 Bit kodierte Daten
0 0 0 0	1 1 1 1 0
0 0 0 1	0 1 0 0 1
0 0 1 0	1 0 1 0 0
0 0 1 1	1 0 1 0 1
0 1 0 0	0 1 0 1 0
0 1 0 1	0 1 0 1 1
0 1 1 0	0 1 1 1 0
0 1 1 1	0 1 1 1 1
1 0 0 0	1 0 0 1 0
1 0 0 1	1 0 0 1 1
1 0 1 0	1 0 1 1 0
1 0 1 1	1 0 1 1 1
1 1 0 0	1 1 0 1 0
1 1 0 1	1 1 0 1 1
1 1 1 0	1 1 1 0 0
1 1 1 1	1 1 1 0 1
Sync	1 1 0 0 0
	1 0 0 0 1

Das Kodebuch der MADI-Schnittstelle.

Das Kodebuch der 4/5 RLL Kodierung enthält neben den 16 notwendigen 5 Bit Kombinationen auch zwei zusätzliche Symbole für das data-padding. Diese werden von dem Empfänger als ungültig verworfen.



Diese Sync-Symbole können flexibel eingefügt werden, müssen jedoch zwischen den Channel-Subframes plaziert werden. Die Abbildung zeigt ein Frame ohne (oben) und mit (unten) data-padding.

## 7. Übersicht über gängige digitale Schnittstellen

Typ		AES/EBU	SPDif	ADAT Optical	SDIF-2	TDIF	Prodigi Dub C	Prodigi Dub A/B	MADI
Über- tragungs- geschwin- digkeit (für „1“)	32 kHz	2,084 Mhz	2,084 Mhz						konstant 125 Mbit/s (padded) 32 – 48 kHz ± 12.5%
	44,1 kHz	2,822 Mhz	2,822 Mhz	5,645 MHz	max. 1,4112 MHz	max. 1,4112 MHz	max. 1.0584 MHz	max. 1,4112 MHz	
	48 kHz	3,072 Mhz	3,072 Mhz	6.144 MHz	max. 1.536 MHz	max. 1.536 MHz	max. 1.152 MHz	max. 1.536 MHz	
	88,2 kHz	5,644 Mhz	5,644 Mhz			Varispeed ± 6%			
	96 kHz	6,144 Mhz	6,144 Mhz						
Code		Biphase-Mark, LSB first	Biphase-Mark, LSB first	NRZI, MSB first	NRZ, MSB first	Inverted NRZ MSB first	NRZ, MSB first	NRZ, MSB first	RLL, LSB first
Kanalübertragung		seriell	seriell	seriell	parallel	seriell/parallel	parallel	parallel	seriell
Kanäle		2	2	8	2	8 + 8	2	16	56
Ports		1 twisted pair balanced	1 coax od. 1 optisch	1 optisch	3 x coax. (stereo) oder 1 x coax. und Multikanal-twisted pair balanced	1 Multipin mit 2 x LRCK und 2 mal 4 x Daten (single ended aber twisted pair) und 2 x 3 Statusadern	1 Multipin mit 2 (3) x Takt und 2 x Daten, (twisted pair balanced)	1 Multipin mit 2 x Takt, 16 x Daten, 2 x Rec. (twisted pair balanced)	1 coax
Steckertyp		XLR	Cinch, optisch	optisch	BNC/ DB-50 Multi	25 Pol Sub-D	DB-25 Multipin	DB-50 Multipin	BNC
Takt		selbsttaktend	selbsttaktend	selbsttaktend	Taktleitung	Taktleitung	Taktleitung	Taktleitung	selbsttaktend
Impedanz		110Ω ±20%	75Ω ±5%	-	75Ω	50Ω	?	?	75Ω
Pegel		5 (2–10) V <sub>SS</sub>	0.5V <sub>SS</sub>	-	TTL	CMOS	TTL	TTL	TTL
Galvanische Trennung		nach EBU obligatorisch, nach AES empfohlen,	optional bzw. optisch	optisch	nein	nein	nein	nein	nein

## 8. Zeittabelle für AES/EBU Signale:

	Einheit	32 kHz	44,1 kHz	48 kHz
Frequenz „1“	Mhz	2,048	2,822	3,072
Frequenz „0“	Mhz	1,024	1,411	1,536
1 Block	MS	6,0	4,25	4,0
1 Frame	μS	31,25	22,68	20,8
1 Subframe	μS	15,625	11,34	10,4
1 Sample Bit	μS	0,488	0,354	0,325
Biphase Code Pulse	μS	0,244	0,177	0,1625