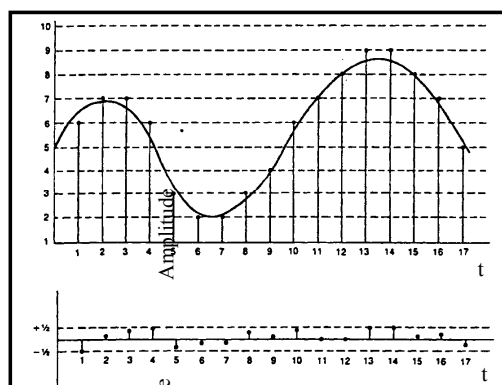


8. digitale Audiotechnik



Inhalt

1. Digitalisierung von Audiosignalen
2. Pegel, Headroom, Rauschen
3. Schnittstellen
4. Digitale Mischpulte
5. Synchronisation und Bearbeitungsverzögerung
6. Zukünftige Möglichkeiten

Ueberblick Scripts

Theorie der Tontechnik

1. Geschichte der Tontechnik	tt01.pdf
2. Gehör	tt02.pdf
3. Mikrofone	tt03.pdf
4. Schallquellen	tt04.pdf
5. Lautsprecher und Kopfhörer	tt05.pdf
6. Akustik und Raumbeschallung	tt06.pdf
7. analoge Audiotechnik	tt07.pdf
8. digitale Audiotechnik	tt08.pdf
9. Signalaufzeichnung	tt09.pdf
10. Technik der Musikaufnahme	tt10.pdf
Anhang	
Grundlagen	ttA.pdf

Tontechnik special

Aufnahmen	ttspecial.aufnahmen
Grundlagen	ttspecial.grundlagen
Lautsprecher im Raum	ttspecial.L-imraum
Mhs2	ttspecial.mhs2
Mikrofone	ttspecial.mikrofon
Musikakustik	ttspecial.musikakustik
Surround	ttspecial.surround

Materialien zur Tontechnik

Computer	computer.pdf
Diverses	diverses.pdf
HD-Recording	hdrecording.pdf
Headphon	headphone.pdf
Lautsprecher	lautsprecher.pdf
Manuals	manuals.pdf
Mikrofone	microphone.pdf
Sound absorption	soundabsorption.pdf
Surround	surround.pdf
Technik	technik.pdf
Tube Data	tubedata.pdf

1. Digitalisierung von Audiosignalen

Um ein analoges Signal digitalisieren zu können, muss sowohl einer Zeitquantisierung, wie auch einer Amplitudenquantisierung vorgenommen werden.

1.1 Zeitquantisierung

Die zeitliche Abtastung entspricht einer PAM (Puls Amplituden Modulation) und kann als Multiplikation des kontinuierlichen Zeitsignals $x(t)$ mit der Abtast-Funktion $x_s(t)$ (Kamm-Funktion) betrachtet werden.

Der Multiplikation im Zeitbereich entspricht eine Faltung der beiden Spektren im Frequenzbereich. Das Spektrum der zeitlich abgetasteten Funktion wiederholt sich periodisch mit der Abtastfrequenz.

Bild 1 Quantisierung eines Audiosignal

Abtastfrequenz:

Es gilt das Abtasttheorem:

- Abtastfrequenz $f_s > 1/2$ höchste Signalfrequenz

Aus Bild 1 lässt sich graphisch die minimal-notwendige Abtastrate für ein analoges Eingangssignal herauslesen:

- Die beidseitigen symmetrischen Spektren bei den jeweiligen Mehrfachen der Abtastfrequenz dürfen sich nicht überlappen. Ueberlappung der Spektren verursachen Intermodulationen mit der Folge von nichtlineare Verzerrungen (Summen und Differenzfrequenzen).

Dieser Effekt wird als Aliasing bezeichnet. Aliasing lässt sich entweder durch Erhöhen der Abtastfrequenz oder durch Bandbegrenzung des Eingangssignals verhindern.

Erhöhen der Abtastfrequenz

- Nachteil: Der Schaltungsaufwand im Abtaster, im nachfolgenden Wandler sowie in der Verarbeitungskette (Speicher, Signalprozessor) wird grösser.
- Vorteil: Der Filteraufwand des Anti-Aliasingfilter wird entsprechend kleiner (Beispiel: Oversampling)

Bandbegrenzung des Eingangssignals

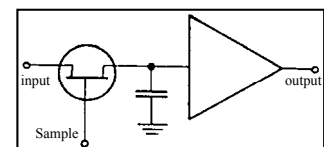
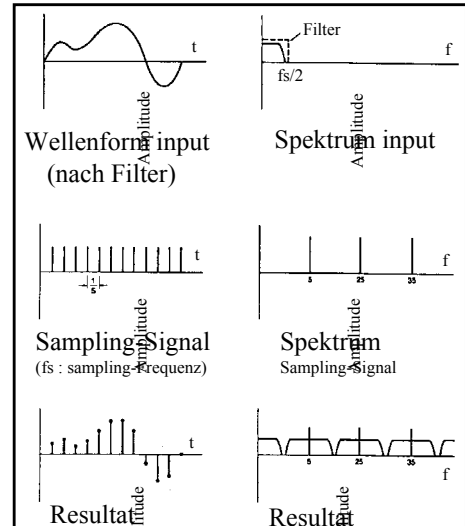
Die Filter müssen hohe Anforderungen erfüllen:

- Amplitudenlinearität im Durchlassbereich 0.1 dB,
- Stopbanddämpfung >80 dB.
- minimale Verzerrungen und minimales Rauschen
- optimierter Phasengang.

Sample and hold

Schaltungstechnisch wird der Zeit-Abtaster mit einer Sample und Hold-Schaltung realisiert, die sich aus einem Schalter (sample) und einem Haltekreis mit einem Kondensator (hold) zusammensetzt. Der Holdkreis sorgt für einen konstanten Eingangswert während der Analog-Digitalwandlung.

Bild 2 sample and hold – Schaltung



Die Qualität der Abtastung wird vom Timing-Jitter des Abtastsignals (< 500 ps für 16 Bit Genauigkeit), sowie von den Kenngrößen (slew rate, droop rate, aperture) der Sample&Hold-Schaltung bestimmt. Bei der parallelen Abtastung verschiedener Signale (digitale Mehrspurmaschine, Digitalpult) müssen alle Kanäle im gleichen Zeitpunkt abgetastet werden, um Phasenfehler zwischen den Kanälen zu vermeiden.

Abtastraten

Üblich sind folgende Abtastraten

- 32 kHz (Broadcast),
- 44.1 kHz für CD's, Mastering und Aufzeichnung mit Videogeräten der 625/50- Norm,
- 44.056 kHz für Aufzeichnung mit Videogeräten der 525/59.94 Norm
- 48 kHz als professioneller Studionorm für Recorder mit feststehenden Köpfen und anderen digitalen Verarbeitungsgeräten im Studio.
- 96 kHz im professionellen Sektor und DVD
- 192 kHz im professionellen Sektor und DVD (noch Zukunftsmusik im Jahr 2002)

1.2 Amplitudenquantisierung

Um ein digitales Signal z.Bsp. in einem Speicher ablegen zu können, müssen die nach der zeitlichen Abtastung immer noch kontinuierlichen Amplitudenwerte quantisiert werden. Nur dann ist jedem Abtastwert (Speicheradresse) ein quantisierter Amplitudenwert (Speicherinhalt) zugeordnet.

Die Amplitudenquantisierung setzt eine unendliche (und kontinuierliche) Anzahl von Spannungswerten in eine endliche Anzahl von diskreten Zahlenwerten um.

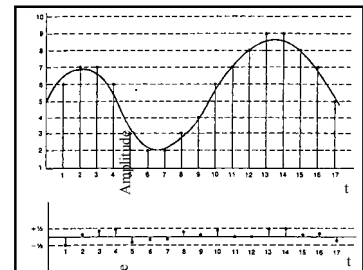


Bild 3 Quantisierungsfehler

Gemäss Informationstheorie kommt es bei der Abbildung einer unendlichen Anzahl von Spannungswerten mit einer endlichen Anzahl von Zuständen (binären Zahlenwerten) zu einem Informationsverlust. Diese Ungenauigkeit der Abbildung kann als Fehlinterpretation des ursprünglichen Signals angesehen werden.

Ein Amplitudenwert wird umso besser angenähert dargestellt werden, je höher die Auflösung (und damit je kleiner die Schrittweite der Quantisierung), desto besser wird ein Amplitudenwert angenähert dargestellt.

Man kann mathematisch aufzeigen, wie sich Signal/Rauschverhältnis aus der Anzahl vorhandener Bits N

(entspricht 2^N) Zahlenwerten, die das Analogsignal repräsentieren können), berechnen lässt.

Wortbreite (Bit) Theor. Rauschabstand (dB)

8	49.925
10	61.966
12	74.007
14	86.080
16	98.090
18	110.131
20	122.172

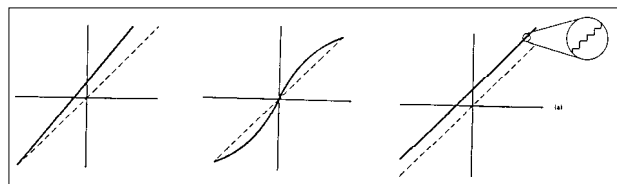


Bild 4 Kennlinienkrümmung und Linearitätsfehler

Der Quantisierungsfehler ist bei grossen Signalpegeln praktisch unkorreliert mit dem Eingangssignal und entspricht bezüglich seinem Frequenzinhalt einem weissen Rauschen.

Neben dem Rauschen, dass sich durch die Digitalisierung eines Signals zwangsläufig ergibt, spielen auch die bei diesem Umsetzungsvorgang entstehenden Verzerrungen eine Rolle.

Es handelt sich dabei um

- harmonische Verzerrungen (THD). Diese werden primär durch die Linearität des Wandlers bestimmt
- nichtharmonische Verzerrungen. Diese machen vor allem bei kleinen Signalpegeln als sogenanntes Granulationsrauschen bemerkbar, da hier das Eingangssignal bereits stark mit dem Quantisierungsfehler korreliert ist. (beim Effekt des Aliasings handelt es sich ebenfalls um eine nichtharmonische Verzerrung.)

1.3 DITHER

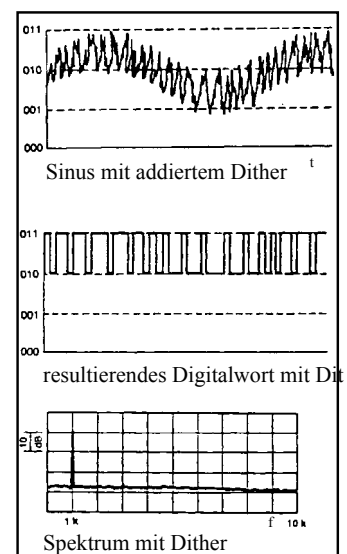
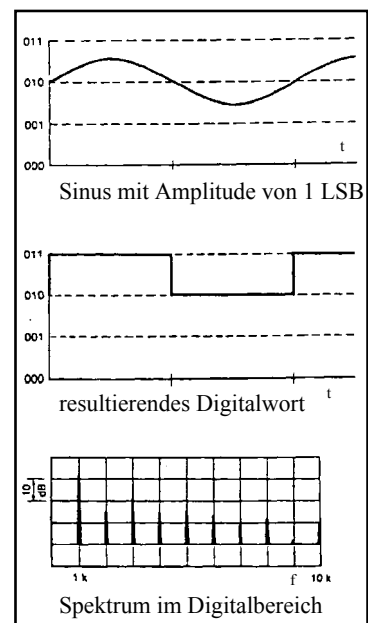
Erinnern wir uns wieder an das Abtasttheorem und denken uns nun ein sinusförmiges Eingangssignal der Amplitude eines Quantisierungsintervalls dh. 1 LSB (entspricht für 16 Bit 1/65000 der vollen Aussteuerung g) mit der Frequenz von 10 kHz, so ergibt das für eine ideale Quantisierung, eine Rechteckfunktion auf der niedrigsten Bitleitung (LSB).

Für diese Rechteckfunktion sind ungradzahlige Harmonische typisch, die weit über der halben Abtastfrequenz liegen, und die das Abtasttheorem nicht erfüllen (die Amplitudenquantisierung erfolgt vor der digitalen Ebene, nach dem analogen Anti-Aliasingfilter und nach der Zeitquantisierung). Um diese Effekte zu vermeiden, wird dem Eingangssignal ein kleiner Beitrag von Rauschen (DITHER) beigefügt. Damit wird eine bessere Linearität des Wandlers mit der Folge von kleineren Verzerrungen

Bild 5 Umsetzung von kleinen Signalen

In der Praxis tritt übrigens auch ein sogenannter digitaler Dither auf, und zwar vor allem wegen der Rundungsmechanismen bei eventuellen Signalabschwächungen auf der digitalen Ebene (Crossfading, Digitalmixer). Der ursprünglich vorhandene Anteil an Dither wird durch Rundung oder Abschneidung des Digitalwortes entfernt.

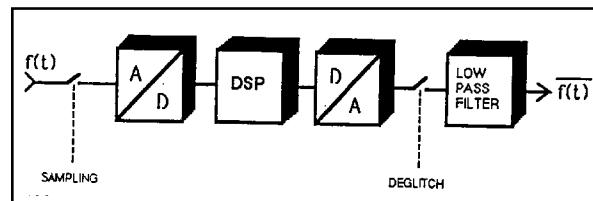
Bild 6 Wirkung von Dither



1.4 Signal-Rekonstruktion (D/A Conversion)

Um das amplituden-quantisierte Signal wieder in ein analoges Signal zu verwandeln, müssen die digitalen Worte mit einem D/A-Converter wieder in eine analoge Spannung (oder Strom) umgesetzt werden.

Bild 7 Signalverarbeitungskette



A/D-Converter- Bausteine sind als integrierte Schaltkreise in 16, 18- und 20 Bit Genauigkeit üblich.

Die Gesetzmässigkeiten der A/D-Wandlung kommen auch bei der D/A-Wandlung zum tragen. Der Rauschabstand eines D/A-Wandlers ist ebenfalls von der Wortbreite (Anzahl Bits) abhängig ist und die Linearität des Wandlers abgestimmt auch hier den Anteil an harmonischen Verzerrungen (THD). Um die Störungen (Glitches) während der D/A-Wandlung zu unterdrücken, schaltet man dem eigentlichen D/A-Converter eine erneute S/H-Schaltung (Deglitcher) nach, welche den gewandelten Analogwert für die Dauer einer erneuten Wandlung konstant hält. Diese Hold-Funktion im Zeitbereich verursacht eine Frequenzgangverzerrung gemäss einer $\sin x / x$ -Funktion, und muss entsprechend kompensiert werden.

Das resultierende Analogsignal verläuft treppenförmig und enthält Anteile der um die Abtastfrequenz verschobenen Spektren. Daher wird der Deglitcher-Schaltung ein steilflankiges Rekonstruktions-Tiefpassfilter (Anti-Imaging-Filter) nachgeschaltet, um das Analogsignal wieder auf seine ursprüngliche Bandbreite zu begrenzen.

Bild 8 Prinzip der PCM-Umsetzung

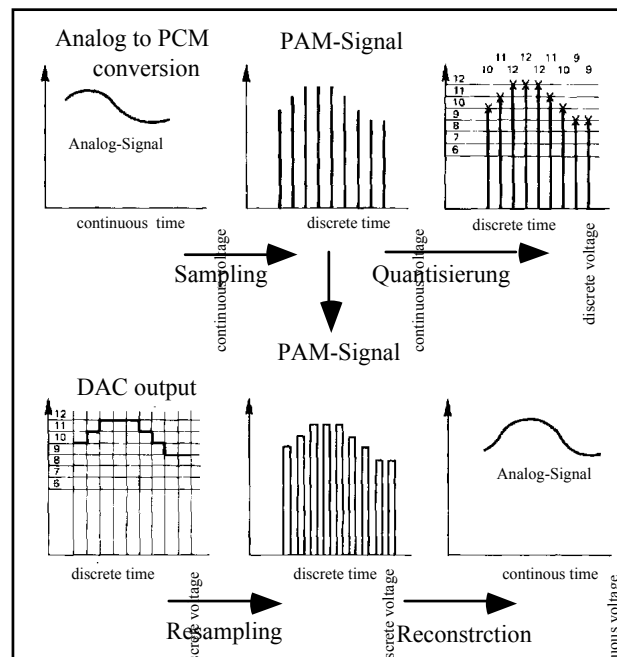


Bild 9 Die sampling rate ist genügend gross, das ursprüngliche Signal ist wiederherstellbar

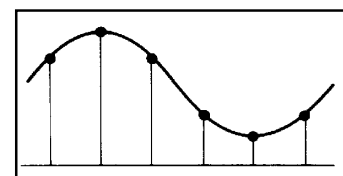


Bild 10 Die sampling rate ist zu klein, das ursprüngliche Signal ist nicht wieder herstellbar

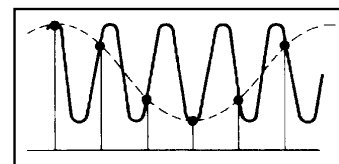


Bild 11: a) Spektrum der sampling pulses
b) Spektrum der samples
c) Aliasing, verursacht durch überlappende Seitenbänder

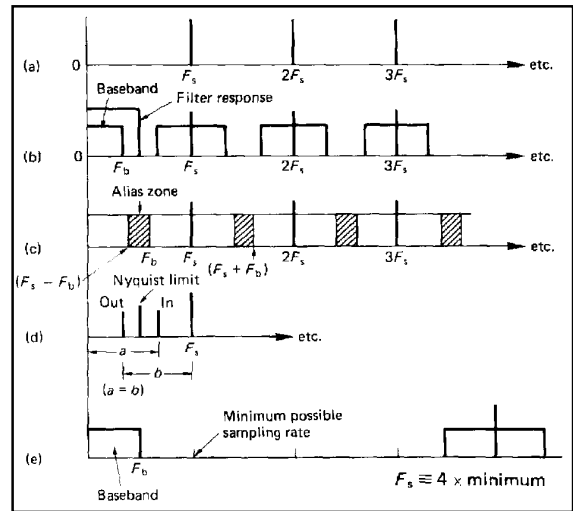


Bild 12 Blockschema A/D und D/A-Wandlung

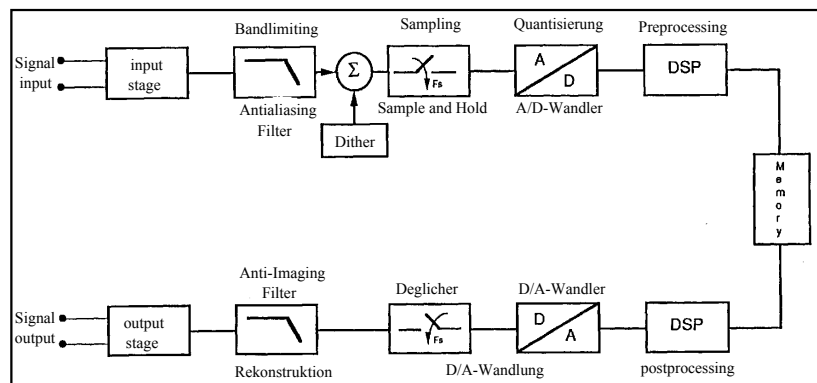
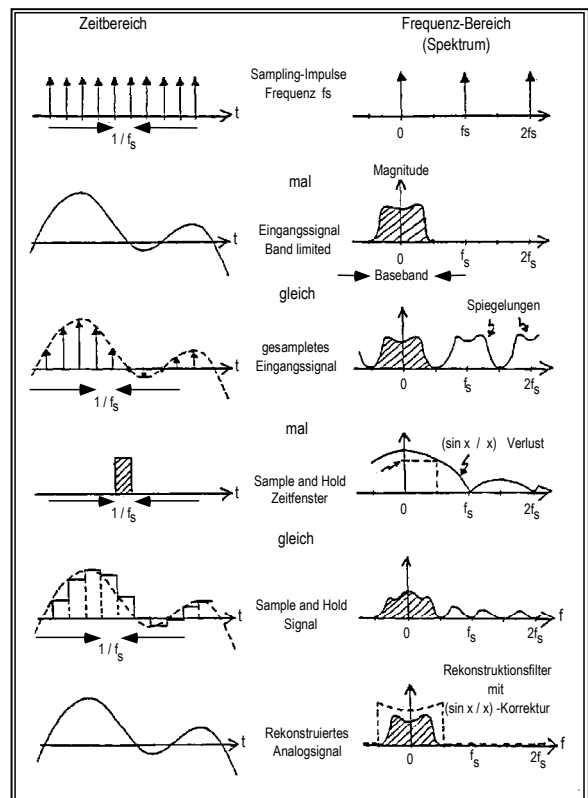


Bild 13 A/D - und D/A-Wandlung



2. Pegel, Head Room, Rauschen

2.1 Pegel analog

In der analogen Audiotechnik werden "Arbeitspegel" definiert, die sich nicht direkt auf die möglichen Maximalpegel der Geräte beziehen. Die Differenz zwischen Arbeitspegel und Maximalpegel bezeichnet man mit dem Begriff *Head Room*.

2.1.1 definierte Bezugs und Arbeitspegel

Bezugspegel:

0 dBm = 1 mWatt an 600 Ohm (Leistung, entspricht 0.775 Volt)

0 dBu = 0.775 Volt

0 dBj = 1 mVolt

0 dBV = 1 Volt

2.1.2 Arbeitspegel:

4 dBu = 1.228 Volt

6 dBu = 1.55 Volt

2.1.3 Maximalpegel und Headroom

Der Maximalpegel von Analog-Mixern und andern professionellen Analoggeräten beträgt in der Regel rund 21 dBu. Es handelt sich um den Pegel, die zum Beispiel mit OpAmps und Versorgungsspannungen von +18V und -18V realisierbar sind.

Der Headroom von Analoggeräten beträgt also, wenn man den europäischen Studiopegel von 6dBu als Ausgangspunkt nimmt, rund 15 dB.

Dieser Head Room ermöglicht ein komfortables und risikoloses Arbeiten.

2.2 Pegel digital

In der digitalen Audiowelt kommt es bei der geringsten Uebersteuerung, wenn also die jeweilige Wortbreite überschritten wird, zu deutlich hörbaren Verzerrungen. Deshalb hat man bei digitalen Audiogeräten ebenfalls eine Uebersteuerungsreserve geschaffen, die dem analogen Head Room entspricht.

- | | |
|--|------------------------|
| • Maximaler digitaler Audiopegel | 0 dBFS (dB Full Scale) |
| • digitaler Head Room | |
| (frei gewählt aus praktischen Erwägungen): | 9 dB |
| • digitaler Arbeitspegel | - 9dBFS |
| • Wandlerpegel | 6dBu entspricht -9dBFS |

2.3 Rauschen und Geräuschabstand

0dBFS entspricht der oberen Grenze der nutzbaren Dynamik eines Digitalmixers.

Die nutzbare Dynamik wird durch das Rauschen der A/D-Wandler und der DSP-Blöcke bestimmt.

analoge Eingangssignale

A/D-Wandler haben beim heutigen technischen Stand ein Rauschen von ca. -104dBFS

digitale Eingangssignale

Das im Digitalmixer entstehende Rauschen hängt von den Eigenschaften der DSP ab.

Typisch sind Werte von -120dBFS

3. Schnittstellen

In der Anfangszeit von Digital Audio gab es ungefähr die gleiche Anzahl von unterschiedlichen Schnittstellen und Übertragungsprotokollen wie es Hersteller von digitalen Audiogeräten gab. Die verschiedenen Interfaces und Protokolle waren firmenspezifisch ausgelegt und untereinander nicht kompatibel.

Schliesslich raufte sich die Industrie zusammen und normte ein digitales Audiointerface mit der Bezeichnung AES/EBU für eine zweikanalige, und sowie das MADI-Interface für die simultane Übertragung von 56 Kanälen.

Weiter hat die Firma YAMAHA noch heute eine eigene Schnittstelle, die allerdings vom Rest der Industrie nicht unterstützt wird.

Neu dazu gekommen sind folgende Schnittstellen für die Übertragung von acht Kanälen:

- ADAT (Firma ADAT und andere)
- Tdiff (Firma TASCAM und andere)

Schnittstellen aus der Anfangszeit von Digital Audio

In der Anfangszeit von Digital Audio waren folgende Schnittstellen üblich:

- • PCM-F1
- • PCM 1610
- • PCM 3324
- • Melco

Die PCM-Schnittstellen wurden im Zusammenhang mit PCM-Prozessoren und der Aufzeichnung auf Videorecordern benutzt. Sie sind heute nur noch von historischem Interesse. Auf eine Beschreibung soll deshalb an dieser Stelle verzichtet werden.

3.1 AES/EBU-Schnittstelle

3.1.1 Elektrische Spezifizierung

Es handelt sich um eine Schnittstelle für die serielle Übertragung von zwei Audiokanälen über symmetrische Verbindungsleitungen.

- Ausgangsimpedanz 110 Ohm
- Signalamplitude 2 - 7 Volt
- "Erkennungsfenster" min. 200 mV
- Jitter maximal 20 ns
- Stecker XLR

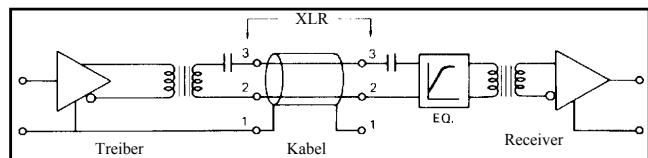


Bild 22 AES-Schnittstelle und Signalübertragung

3.1.2 Übertragungsformat

Frame

Aus einer Sampling-Periode resultiert ein Frame, das zwei Sub-Frames enthält. Die beiden Sub-Frames werden mit zwei Präambeln den beiden Kanälen zugeordnet (X für Kanal 1, Y für Kanal 2)

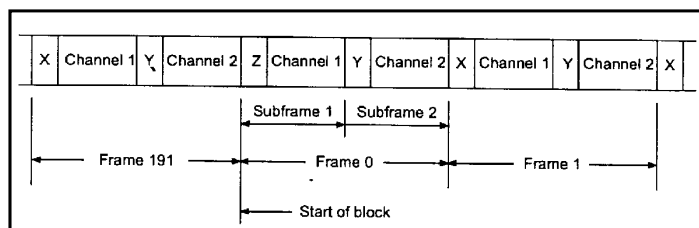


Bild 23 2-Kanal-Format der AES/EBU-Übertragung

Block

192 Frames bilden einen Block, der mit der Präambel Z beginnt.

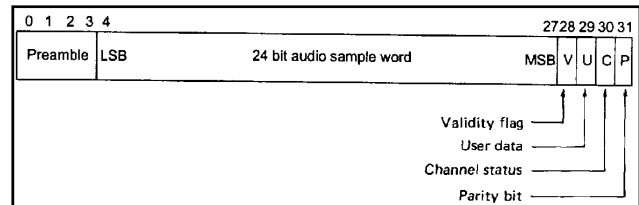
Sub-Frame

Ein Sub-Frame enthält 32 Bit, deren Bedeutung im Bild 24 dargestellt ist.

Die 32 Bits sind folgendermassen zugeordnet:

- 4 Bits für die Präambel (Bits 0 - 3)
- maximal 24 Bits für die Audiodaten (Bits 4 - 27)
- 4 Bits für die Charakterisierung des Sub-Frames

Bild 24 Sub-Frame



3.1.3 Kanalkodierung

Kanal A und B unterscheiden sich durch unterschiedliche Muster der Synchronisations-Signale. In Abständen von 192 Blocks wird das Signal für die Synchronisation des A-Kanals durch das Channel Status Block Sync-Signal ersetzt (siehe Bild 26).

Bild 25 2-Kanal-Format, Kanalkodierung

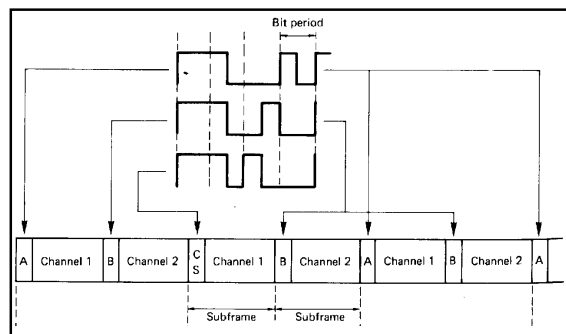


Bild 26 Inhalt der 24-Byte-Folge der Status-Daten

0	Emphasis + sampling rate (see Figure 5.8)
1	Channel usage (see Figure 5.9)
2	Wordlength (see Figure 5.10)
3	Vectored target byte from byte 1
4	Reserved
5	
6	Alphanumeric channel origin data = 4 x 7 bits ASCII + odd parity
7	
8	
9	Alphanumeric channel destination data = 4 x 7 bits ASCII + odd parity
10	
11	
12	Local sample address code: 32 bits binary address of first sample in this block
13	
14	
15	Timecode = 32 bits binary timecode of first sample in block
16	
17	
18	Data reliability flags
19	
20	
21	CRC $x^8 + x^4 + x^3 + 1$ on bytes 0-23
22	
23	

Bild 27 Inhalt des ersten Bytes der Statusdaten

Channel status byte 1							
0	1	2	3	4	5	6	7
0000	Mode not indicated. Receiver defaults to two-channel mode. Manual select enabled						
0001	Two channel mode. Manual select disabled						
0010	Single-channel (mono) mode. Manual select disabled						
0011	Primary/secondary mode (CH1 is primary). Manual select disabled						
0100	Stereo mode (CH1 = left channel). Manual select disabled						
0101	Reserved						
1110							
0000	Encoded user bits management.						
1111							

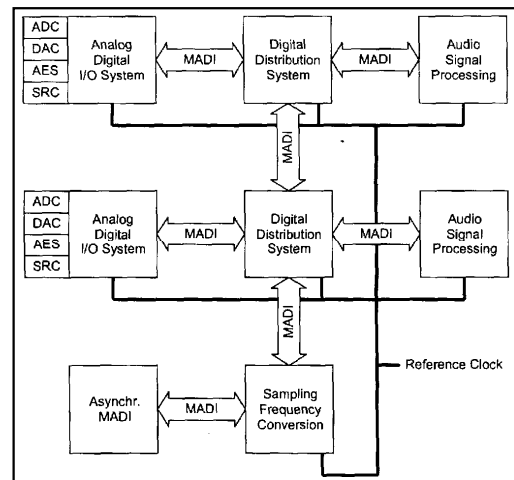
3.2 MADI-Schnittstelle

Die Bezeichnung MADI ist die Abkürzung von "Multichannel Audio Digital Interface".

MADI wurde entwickelt, um Mehrkanal-Digitalrecorder mit Digitalmischpulten verbinden zu können.

MADI überträgt gleichzeitig 56 Audiokanäle und ein separates Synchronisationssignal über ein 75 Ohm-Koaxkabel oder einen einzigen Lichtleiter.

Bild 28 mit bidirectional MADI links zusammenschaltetes Digital Audio System



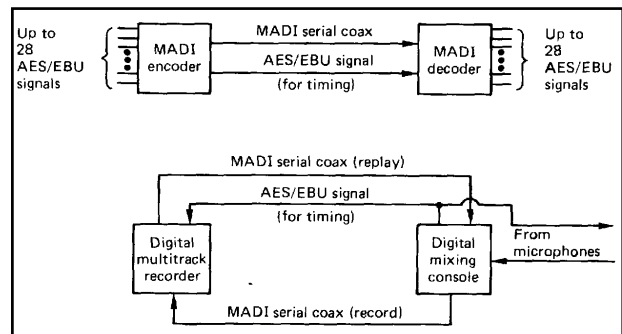
3.2.1 Eigenheiten der MADI-Schnittstelle

Bei MADI handelt es sich um eine Abart der AES/EBU-Schnittstelle. Benutzt wird die gleiche Sub-Frame-Struktur. Eine Sampling-Periode enthält aber nicht 2, sondern 56 Sub Frames., wobei MADI einen leicht andern, effizienteren Uebertragungs-Code benutzt:

- Die Data Rate bei AES/EBU ist proportional zur jeweiligen Sampling Rate.
- MADI überträgt die Daten unabhängig von der Sampling Rate mit konstanten 100 Megabits/s.

Die konstante Data Rate macht es möglich, eine MADI-Verbindung frequenzmässig optimal zu entzerren.

Bild 29 MADI-Verbindungen mit getrenntem Timing Signal



3.2.2 Synchronisation und mögliche Uebertragungsrate

Mit MADI verbundene Geräte müssen den gleichen Systemtakt aufweisen.

Bild 29 zeigt zwei Möglichkeiten der Verbindung von zwei Geräten.

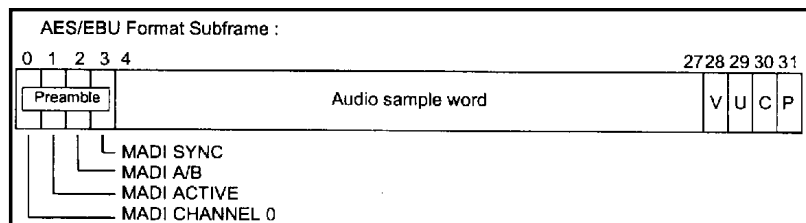


Bild 30 MADI-Verbindungen mit

getrenntem Timing Signal

MADI akzeptiert Uebertragungsraten von 32 kHz bis 48 kHz mit einer Toleranz von $\pm 12.5\%$.

3.2.3 Frame-Format von MADI

Bild 31 zeigt die Zusammensetzung eines Sub-Frames mit folgenden Komponenten:

- Präambel mit der Festlegung der Synchronisation, des Audiokanals, der Aktivschaltung und der MADI-Kanalbezeichnung.
- Audiowort
- Die Festlegung der Validity (Validity oder Error), des User Status, des Channel Status und der Parity (letzte 4 Bit mit der Bezeichnung V, U C und P)

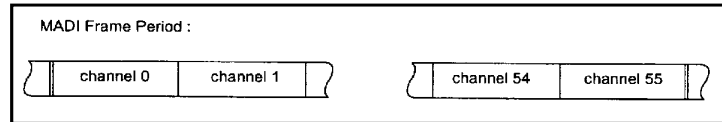


Bild 31 Frame-Periode des MADI-Signals

3.2.4 MADI-Spezifikation

Signalübertragung

Sampling Rate	32 kHz - 48 kHz +- 12.5%
Transmission Rate	125 Mbits/s
Data Transfer Rate	100 Mbit/s
maximale Date Transfer Rate (56 Kanäle mit 48 kHz + 12%)	96.768 Mbits/s
minimale Date Transfer Rat (56 Kanäle mit 32 kHz - 12.5%)	50.176 Mbits/s

elektrische Uebertragung mit Koax-Kabel

Ausgangsimpedanz	75 Ohm
Signalamplitude	0.3 - 0.7 Volt
maximale Kabellänge	50 m
Stecker	BNC

4. Digitale Mischpulte, mögliche Konzepte

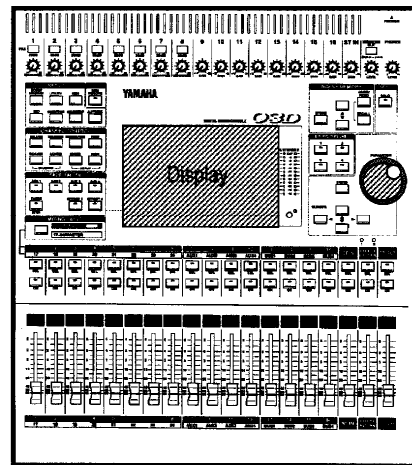
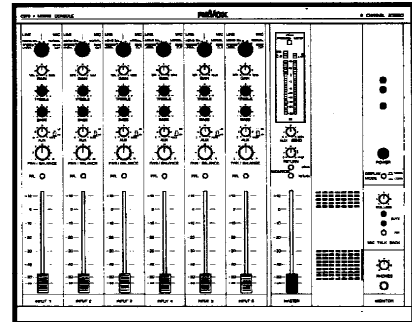
4.1 Prinzipielles

Unterschied zwischen Analog- und Digitalpulten
Vorbild und Basis für die digitalen Mischpulte bilden ihre analogen Vorfahren.

Für digitale Mischpulte gilt:

- prinzipiell gleiche Funktionalität
- mindestens gleiche Leistung
- zusätzliche Möglichkeiten, die kein Analogpult bieten kann (Grund: technischer Aufwand, Preis)

Bild 14 Benutzeroberfläche oben: analoges Kleinmischpult von Studer
unten: digitales Mischpult von Yamaha



4.1.1 Funktionalität von Analogpulten

Die Funktionalität eines Analog-Pultes lässt sich aus Blockschaltbild und Stromlaufplan ablesen:

- • regelbarer Mikrofonvorverstärker (Gain)
- • Linieneingang
- • Equalizer
- • Kanalfader
- • PanPot und Sammelschienenwahl
- • Ausgänge und Insertmöglichkeit, vor und nach Fader
- • Gruppen- und Summenfader
- • Ausgangsverstärker
- • Hilfs-Sammelschienen für Aux und Effekt Send
- • Aussteuerungsmesser mit Wahlschalter für Ueberwachungspunkte
- • Abhörweg mit Wahlschalter für Ueberwachungspunkte

4.1.2 Funktionalität von Digitalpulten

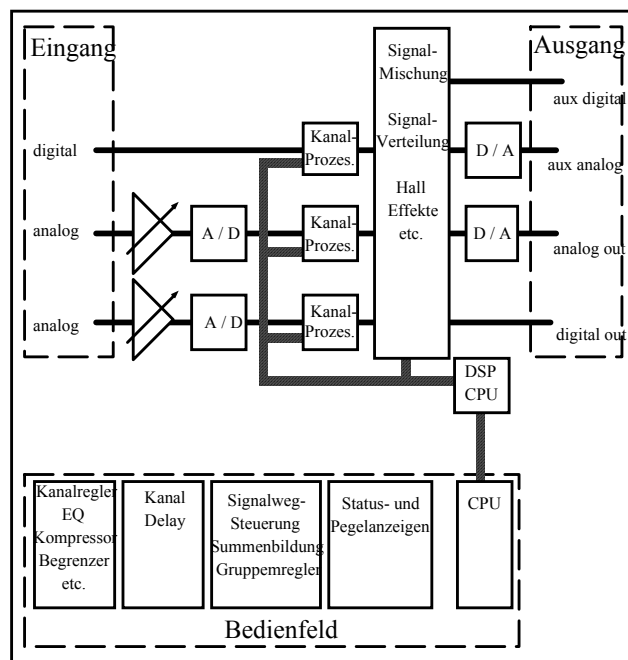
Bei den digitalen Mischpulten ist die Kombination von Hardware und Software funktionsbestimmend. Digitale Mischpulte sind im Grunde genommen Computer, die als Mischpult benutzt werden.

Basisfunktionen eines Digitalpultes

alle, die auch ein Analogpult bietet, aber zusätzlich:

- • Delay
- • Effekte (Hall, Chorus, Phasing, Begrenzer- und Kompressormöglichkeit, etc.)
- • total Reset und Snapshot aller Parameter, Einstellungen und Konfigurationen
- • copy and past
- • dynamische Automation
- • Fernsteuerung

Prinzip eines Digitalmixers



4.2 Konzepte für Digitalmixer

Unabhängig von der jeweiligen technischen Lösung setzen sich digitale Mischpulte immer aus den folgenden vier Segmente zusammen:

- • Schnittstellen für Computer-Peripherie und Audio (analog und digital)
- • DSP (digital Signal Processing)
- • Steuerung
- • Bedienoberfläche

4.2.1 Die Segmente

Segment 1 : Audioperipherie

- Mikrofon- und Leitungsverstärker (wie Analogpult)
- A/D-Wandler und D/A-Wandler
- AES- und SPdiff-Anschlüsse, ev. Yamaha, ADAT, MADI, etc.
- • Wichtig: Wandlung aller Signale in einheitliches, "pult-internes" Format.

Segment 2 : DSP-Prozessor

Der DSP-Prozessor realisiert die ganze Signalverarbeitung mit dem gleichen Resultat wie beim Analogpult. Im Zentrum steht der DSP-Prozessor, der beliebige Funktionen ausführen kann. Massgebend ist die Software.

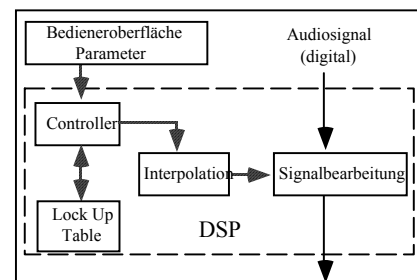
Funktion des DSP-Prozessors

jedes Sample wird einzeln bearbeitet. Bei 48 kHz stehen für die ganze Bearbeitung (EQ, Filter, Fader, Delay, Effekte) nur 20.4 μ s zur Verfügung

Möglichkeiten zur Bedienung des DSP

- externe Berechnung von Koeffizienten (zeitaufwendig)
- lock up table zum Abrufen von vorbereiteten Koeffizienten
- Interpolation für das Management von Parametersprüngen (Abfrage nur alle 100 ms)

DSP-Struktur



Art der digitalen Signalverarbeitung

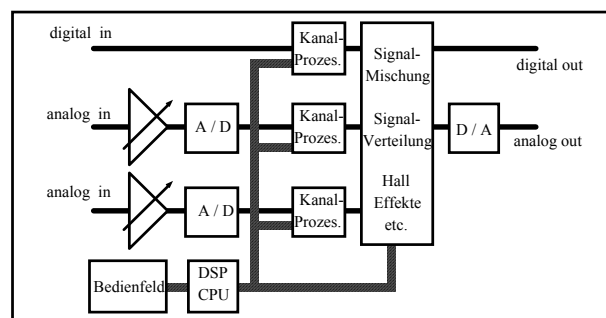
- fixe Zuteilung der DSP-Chips
- Mischpultgröße ist definiert, Prozessoren rechnen immer für die gleichen Kanäle, Möglichkeit, verschiedene Prozessortypen zu verwenden.

fix zugeteilte DSP

DSP-Pool

Massgebend ist ein Konfigurations-Programm die Prozessoren sind nicht fest zugeordnet. Sie werden im Rahmen des Gerätes universell genutzt.

die Prozessoren können so die verschiedensten Aufgaben übernehmen. Bestimmend ist (im Rahmen der Möglichkeiten des Pultes) die Software.



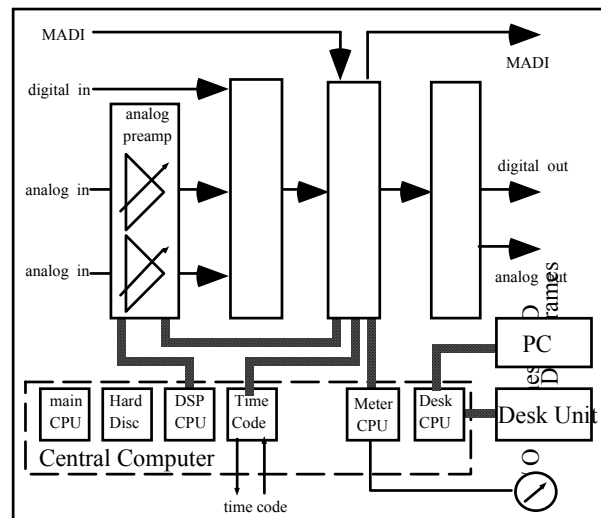
Summenbildung und Signalverteilung

1. Möglichkeit:

- direkte Verbindungen
- feste Verdrahtung,
- fixe Zuordnung der Schnittstellen zu den DSP-Prozessoren
- Mischen durch Summierer in einem DSP-Prozessor.

2. Möglichkeit:

- TDM-Buss (time division multiplex). Parallel-Bus, einzelne Signale werden in time Slots übertragen
- beliebig konfigurierbar mit Software
- Möglichkeit von Kreuzschienen-Funktionen (software-bestimmbar)
- Problem und aufwendig: Synchronisation
- problematisch: Zeitverzögerung



Segment 3: Steuerung

Verantwortlich ist ein Steuercomputer, der unterschiedlichst aufgebaut sein kann
Seine Aufgaben:

- Steuerung des DSP-Teils (Segment 2)
- Kommunikation mit der Benutzeroberfläche:
- Empfangen von Befehlen
- Senden von Meldungen
- Steuerung von externen Komponenten
- Ueberwachung, Fehlermeldungen, Diagnose

Segment 4: Bedieneroberfläche (User Interface)

Beliebige Ausgestaltung ist möglich, da Funktion und Bedienung getrennt sind.

Merkmale: verschiedene Bedienebenen, um die Stellelement-Anzahl zu reduzieren.

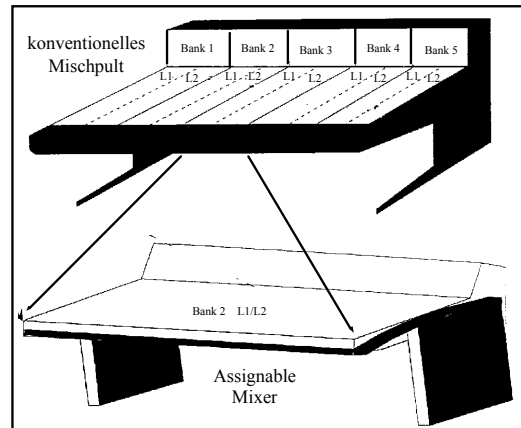
Möglich sind bis zu 16 Ebenen, die in der Praxis folgendermassen benutzt werden:

- Live-Betrieb 1 bis 2 Ebenen
- Produktion 2 bis 3 Ebenen
- Post Production bis 10 Ebenen

4.3 Bedienungskonzepte

Typisch für Digitalmixer ist die grosse Anzahl von Funktionen, die dem Benutzer in jedem Kanal zur Verfügung stehen. Bei einem grossen Pult sind das oft bis zu 200 Schaltfunktionen und 90 kontinuierliche Funktionen. Logischerweise kann nicht für jede dieser Funktionen ein eigenes Bedienelement zur Verfügung gestellt werden.

Konventionelle Konsole und Assignable Desk



4.3.1 zentrales Bedienfeld (Central Assignment)

Alle Kanalzüge werden weitgehend von einem zentralen Bedienfeld aus bedient. Die einzelnen Kanalzüge haben nur die Bedienelemente, die sich nicht sinnvoll zentral bedienen lassen (Feder, Mute, Access, etc.).

Logischerweise muss der jeweiligen zu bedienende Kanal dem zentralen Bedienfeld zugewiesen werden.

Zentrale Bedienfelder haben oft eine mischpultähnliche Form mit Schaltern, Fadern, Drehreglern, Displays, etc.). Oft handelt es sich auch um einen Bildschirm mit Tastatur und zusätzlichen Displays.

Die Central Assignment-Lösung hat Vor- und Nachteile.

Vorteile:

- zentral gelegenes Bedienfeld,
- komfortable und übersichtliche Bedienung.

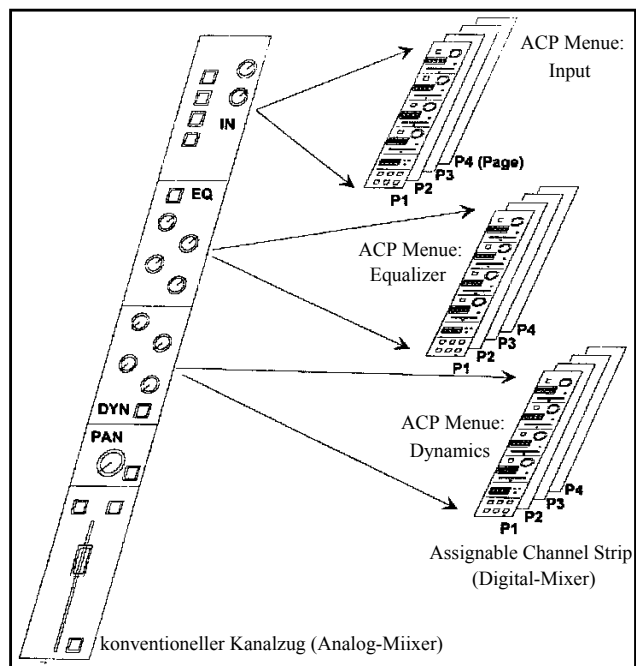
Nachteile:

- es kann jeweils nur ein Kanal bedient werden,
- die Uebersichtlichkeit des ganzen Set Up ist nicht ersichtlich.

4.3.2 dezentrale Kanalstreifen (Assignable Channel Strips)

Im Bereich jedes Kanalzugs der Bedienoberfläche sind eine Anzahl von universellen Bedienelementen (Endlos-Potis, Schalter, Displays, etc.) vorhanden. Es handelt sich um die sogenannten assignable control panels, die nach Bedarf einer Gruppe von einzustellenden Kanalfunktionen (Auxwege, EQ's, Panoramasteller, Dynamikfunktionen, etc.) zugeordnet werden. Auch die Assignable Channel Strip-Lösung hat Vor- und Nachteile.

Assignable Channel Control



Vorteile:

- alle auf der Bedienoberfläche erscheinenden Kanäle können gleichzeitig bedient werden.
- kanalorientiertes Arbeiten ist möglich.

Nachteile:

- unter Umständen ist die Sitzposition nicht ideal,
- wegen der universellen Bedienelemente ist die Uebersichtlichkeit eingeschränkt (im Vergleich mit einem Analogpult)

4.3.3 Mixed Assignment

Die neuen digitale Grosspulte realisieren in der Regel eine Kombination von Central Assignment und Assignable Channel Strips, oder sie stellen diese Kombination als Option zur Verfügung.

4.3.4 Konfigurieren eines digitalen Grosspults

Bei einem digitalen Grosspult ist folgendes entweder "vor-definiert" und abrufbar, oder muss vom Benutzer festgelegt werden.

Input / Output Audio Interfaces

Die erforderlichen Eingangs- und Ausgangsschnittstellen werden definiert. Dies unter Berücksichtigung aller Peripheriegeräte mit ihren spezifischen Anschlüssen.

Anzahl und Typ der Mischpultkanäle im DSP-Teil

(Configured DSP Channels)

In der Regel werden (um mit der DSP-Power ökonomisch umzugehen) nur die Anzahl der Kanäle definiert, die gleichzeitig benutzt werden müssen.

Anzahl der Kanalstreifen für die Bedienung

Dabei ist folgendes zu Berücksichtigen:

- Aux-, Gruppen- und Summekanäle benötigen ebenfalls Kanalstreifen.

Audio-Signale, Kanäle und Channel Strips

grosse Pulte haben pro Kanal bis 200 Schaltfunktionen und 90 kontinuierliche Funktionen (bei Analogpulten wäre entsprechendes nur mit einem Kanalzug von mehr als 2 m Länge möglich).

1. Möglichkeit: Central Assignment

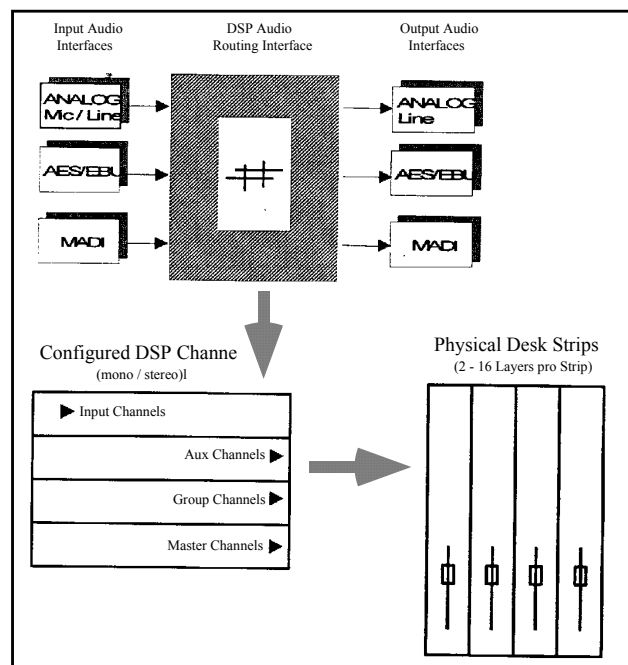
nur wenige, fest zugeordnete Stellelemente (zum Beispiel Fader), sowie ein Zentralfeld für alle andern Parameter, das temporär einzelnen Kanälen zugeordnet werden kann.

2. Möglichkeit: Assignable Chanal Strips

Anzahl von fest zugeordneten Stellelementen pro Kanal, die dann individuell die verschiedenen möglichen Funktionen übernehmen.

3. Möglichkeit: Mixed Assignment

Kombination der Möglichkeiten 1 und 2



4.4 Mischpult-Typen

4.4.1 modulare Grosspulte

(Hersteller: Neve, Studer, Sony, Stage Tec, etc.)

- kundenspezifische Auslegung möglich
- separate Bedieneroberfläche
- separate Mikrofonverstärker mit Wandler.
- optische Verbindung aller Komponentengruppen
- volle Softwareanpassung an die jeweiligen Anwendungen
- bis 250 Kanäle möglich

4.4.2 mittelgrosse Pulte

(Hersteller: Neve, AMS, Sony)

- begrenzte Modularität, meist nur Software-Anpassung möglich
- separate Bedieneroberfläche
- 24 Kanäle (üblich) maximal 28 Kanäle
- meist nur für eine Anwendung optimiert.

4.4.3 Kompaktpulte

(Hersteller: Yamaha und andere)

- keine Modularität
- maximal 24 Kanäle
- kein Routing möglich

5. Synchronisation und Bearbeitungsverzögerung

5.1 Synchronisation

Bei einem Digitalmixer handelt es sich um ein aus mehreren Komponenten bestehendes Systems. Die Komponenten müssen synchron arbeiten. Das gleiche gilt für angeschlossene externe Digitalgeräte.

Synchronisierungssignal

Digitalmixer haben einen Synchro-Generator, der für die pultinternen Komponenten die Synchronisierungssignale liefert. Dieser Generator kann durch externe Signale synchronisiert werden.

Um Verzögerungen und Phasenprobleme zu vermeiden, muss die Verteilung des Synchro-Signals sternförmig erfolgen (Bild 32).

Abtastfrequenzen

Ueblicherweise arbeiten Digitalmixer mit einer internen Abtastfrequenz von 48 kHz. Logischerweise ist diese Abtastfrequenz für alle angeschlossenen Geräte verbindlich.

Peripheriegeräte, die diese Abtastfrequenz nicht unterstützen müssen via Abtastratenwandler, sogenannte SCF (Sampling Frequency Converter) angeschlossen werden. Das gilt zum Beispiel für CD-Player.

5.2 Bearbeitungsverzögerung

Die DSP-Verarbeitung von digitalen Audiosignalen geschieht nicht in Nullzeit. Deshalb wird jedes digitale Audiosignal bei der Verarbeitung zeitlich verzögert.

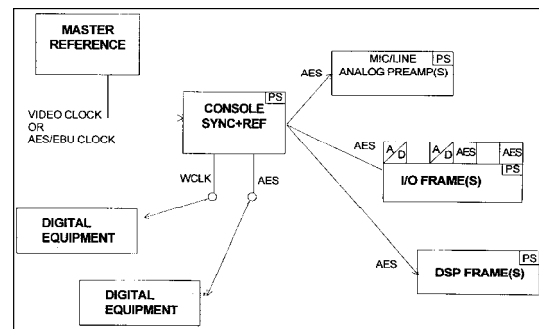
In der Praxis spielt diese Verzögerung keine Rolle, sofern sie eine Größenordnung von wenigen ms nicht übersteigt.

Nicht vernachlässigbar sind aber unterschiedliche, kanalabhängige Laufzeitverzögerungen (verursacht zum Beispiel durch unterschiedliche DSP-Bearbeitungen). Hier kann bereits eine Verzögerung von einem Sample zu Phasenverschiebungen und Abbildungsverzerrungen im Stereobild führen.

Kompensation der Verzögerungen

Alle Kanäle eines Digitalmixers müssen aufeinander abgestimmt werden, um die unterschiedlichen Verzögerungen von einzelnen DSP-Funktionen (EQ, Filter, Dynamik, etc.) auszukompensieren.

Das gilt natürlich auch für den Fall von eingeschlaufenen digitalen Effektgeräten.



Prinzipielle Synchronisation eines Digitalstudios

6. Zukünftige Möglichkeiten.

In Zukunft werden neue Technologien aus dem Gebiet der Computer in den digitalen Grosspulten integriert werden. Im Folgenden sind einige (wahrscheinliche) Möglichkeiten aufgeführt.

6.1 Integration von digitalen Aufnahmemedien

Dank der Möglichkeiten von Festplatten und magnetooptischen Medien (DVD) sind vollintegrierte Systeme (zum Beispiel Mischpult-Mehrkanalaufzeichnung) möglich.

6.2 Vernetzung

Uebertragung von gespeicherten und Live-Programmen über schnelle Netzwerke.

Die heute verbreiteten Netzwerke wie ATM, Ethernet, Fibre Channel arbeiten nicht synchron und sind deshalb für die Uebertragung von digitalen Audiosignalen nicht besonders geeignet. Problematisch ist immer noch die hohe Bandbreite, die zum Beispiel ein mehrkanaliges Audiosignal ohne Datenkompression benötigt.

6.3 Ressourcenteilung

Die Vernetzung von Audiosignalen ist heute bereits üblich. In Zukunft wird aber auch die Vernetzung der Ressourcen eine Rolle spielen. Es ist zum Beispiel möglich, mehrere DSP-Blöcke mehreren Bedienoberflächen zur Verfügung zu stellen. Einem Benutzer wird dann nur die DSP-Power zugeteilt, die er zur Realisierung eines Projektes benötigt. DSP-Kapazitäten können so wirtschaftlicher eingesetzt werden.