

# Tontechnik 2

## Digitale Signale

Prof. Oliver Curdt  
Audiovisuelle Medien  
HdM Stuttgart

## Grundlagen der Digitaltechnik

- analog: stetige Funktion, alle Zwischenwerte sind vorhanden
  
- digital: Annäherung mit festen Werten
  - diskrete Zustände
  - Wertequantisierung (theoretisch beliebig genau)
  - Zeitquantisierung (theoretisch beliebig genau)
  - Bit = binary digit
  - 16 bit  $\Rightarrow 2^{16} = 65536$
  - 24 bit  $\Rightarrow 2^{24} = 16\,777\,216$
  - Binär  $\Rightarrow$  nur 2 Zustände, z. B. 0 ; 1 bzw. 0,5V; 5V

## Grundlagen der Digitaltechnik

- große Verbreitung seit den 80er Jahren
- Vorteile:
  - leicht speicherbar
  - Qualität unabhängig vom Medium
  - Komfort bei der Bearbeitung
  - verlustfreie Kopien durch Übertragung eines beschreibenden Signals (kein Tonsignal !!!)
- Qualitätsfrage?

Prof. Oliver Curdt

## Digitalformate

- AES/EBU
  - selbstsynchronisierend
- SPDIF (Sony / Philips Digital Interface) (koaxial)
  - selbstsynchronisierend



Prof. Oliver Curdt

## Digitale Formate

### ■ MIDI (**M**usical **I**nstrument **D**igital **I**nterface)

- | digitale Schnittstelle und Datenübertragungsnorm
  - | DIN5-Stecker
- | ursprünglich zur Verbindung verschiedener digitaler Musikinstrumente
  - | Entwicklung 1981
- | heute häufig im Bereich Computerspiele / Multimedia als Aufzeichnungs- und Wiedergabemedium von Musik

Prof. Oliver Curdt

## Digitalformate

### ■ TDIF (TASCAM Digital Interface)

- | bidirektional
- | seit 1992
- | parallele Arbeitsweise
- | 8 Kanäle



Prof. Oliver Curdt

## Digitalformate

- optisch (z. B. CD-Player, DAT)
- verschiedene File -Typen für Festplattenspeicher
  - WAVE
  - AIFF
  - FLAC
  - ...
- ADAT (optisch)
  - Alesis Digital Audio Tape
  - selbstsynchronisierend

Prof. Oliver Curdt

## Digitalformate

- **MADI (Multichannel Audio Digital Interface)**
  - keine selbstsynchronisierende Schnittstelle !!!
  - zusätzliche Leitung für Wordclock notwendig
  - bis zu 64 Kanäle
  - serielle Übertragung mit 75-Ohm-Koaxialkabel mit BNC-Steckverbindung (**B**ayonet **N**eill **C**oncelmann)



Prof. Oliver Curdt

## Digitalformate – MADI

- Filter zur Minimierung von Übertragungsverlusten (Anhebung von hohen Frequenzen)
- bei DASH-Format (SONY, Studer) [Digital Audio Stationary Head]
- bei PD-Format (Mitsubishi, Otari) [ProDigital]

## Leitungswiderstände / digital

- AES-Kabel: (XLR-Stecker, symmetrisch)
  - Impedanz  $110 \Omega$ ,  $\pm 20\%$
  - bei Frequenzen bis ca. 6 MHz
  - Übertragung über mehrere 100 Meter möglich
  - Jitter  $\pm 20$  ns
  - Pegelbereich 0,2 ... 5 V (Spitze / Spitze)
- SPDIF / Koaxialkabel: RCA (Cinch, unsymmetrisch)
  - Impedanz  $75 \Omega$
  - Pegelbereich 0,2 ... 0,5 V (Spitze / Spitze)
  - Jitter: Toleranz nicht definiert

## Jitter

- eng. - „Fluktuation“, „Schwankung“
- allg.: abrupter und unerwünschter Wechsel der Signalcharakteristik.
  - kann sowohl Amplitude als auch Frequenz und Phasenlage betreffen
- Taktzittern bei der Übertragung von Digitalsignalen
- leichte Genauigkeitsschwankungen im Übertragungstakt (Clock)
- z. B. durch Bedämpfung des Hochfrequenzanteils eines Frequenzspektrums auf einer langen Kabelstrecke.

## Leitungswiderstände / digital

- Unterdrückung von Jitter durch PLL-Schaltungen (**P**hase **L**ocked **L**oop) mit langsamer Reaktionszeit
- optische Kabel / Lichtleiter
  - Kunststoff-Lichtleiter wesentlich höhere Dämpfung des Lichtes als echte Glasfaserleitungen
  - Anfälligkeit gegen Biegen und Brechen
  - ADAT (Kunststoff) max. 5 m Länge
  - Multi, Mono, Gradient

## Leitungswiderstände / digital

- jedes elektrische Kabel hat Kapazität und ohmschen Widerstand.
    - unterschiedliche Dämpfung und Laufzeiten bei verschiedenen Frequenzen
    - Wordclock 44,1 kHz bzw. 48 kHz
    - digitales Audiosignal im Bereich von mehreren MHz
    - je höher die Frequenz, desto höher die Dämpfung und die Verzögerung (Laufzeit des Signals)
- ⇒ Phasenverschiebung zwischen Wordclock und Audiosignal

Prof. Oliver Curdt

## Leitungswiderstände / digital

- Wenn Phasenverschiebung größer als die Hälfte eines Samples, wechselt der Empfänger unmittelbar zum nächsten Sample.
  - ⇒ hörbarer „digitaler“ Click als Folge !!!
- 1 sample  $\triangleq$  ca. 22  $\mu$ s bei 44100 Hz

Prof. Oliver Curdt

## Digitaltechnik / Codes

- Code
  - Zuordnungsvorschrift von den Elementen einer Menge zu den Elementen einer anderen Menge
- Binärcode  $\Rightarrow$  Dualcode
- 2 Möglichkeiten bei Umwandlung Dezimalcode in Dualcode
  - Subtraktion
  - Division

Prof. Oliver Curdt

## Digitaltechnik / Codes

- Octalcode
  - 3 Dualstellen  $\Rightarrow$  1 Octalstelle
- Hex-Code (Hexadezimal)  $\Rightarrow$  16
  - 4 Dualstellen  $\Rightarrow$  1 Hexstelle
- 1 byte = 8 Dualstellen = 2 Hex-Zahlen
- ASCII-Code
  - **A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange
  - 7 bit 0 ...127

Prof. Oliver Curdt

## Digitaltechnik / Codes

### ■ Gray-Code

- 1-schrittiger Code  $\Rightarrow$  bei Übergang von einer Zahl zur nächsten Änderung nur in **einer** Stelle
- Lochstreifengeeignet
- Abzählcode
- Anwendung: Längen- und Winkelcodierung

### ■ BCD-Code: binary coded decimal

- jede Dezimalstelle wird durch 4 bit codiert

Prof. Oliver Curdt

Quelle: Peter Bremm: Das digitale Tonstudio, praktische Hilfe zur digitalen Tonstudioteknik

## Digitaltechnik / Codes

### ■ Anfänge der Nachrichtenübertragung vor ca. 200 Jahren

- Datenübertragung mit Hilfe von Codes, verschlüsselt
  - optische Signale
  - Morse-Alphabet (optisch oder elektrisch)
- später: analog, unverschlüsselt
- heute: digital, Rückkehr zum binären Prinzip

Prof. Oliver Curdt

## Kodierungen

- **Quellkodierung:**
  - Prüfung der Redundanz im Original
  - $\Rightarrow$  Redundanzreduktion
  - $\Rightarrow$  Datenkompression
  - $\Rightarrow$  Datenreduktion
- **Kanalkodierung:**
  - Kanal = Übertragungsweg, Speicherelement
  - Störungen im Band  $\Rightarrow$  Fehlstellen (z. B. drop outs)
  - Häufigkeit der Fehler  $\Rightarrow$  Intensität/Zeiteinheit
  - Blockbildung
  - fehlererkennende und korrigierende Codes

Prof. Oliver Curtt

## Parität

- Blockbildung mit je 2 Paritätsbits
- bei falscher Parität  $\Rightarrow$  Fehlererkennung und Korrektur
- vorhandene bits  $\Rightarrow$  Relevanz
- Zusatz-bits  $\Rightarrow$  Redundanz
- Fehlerkorrektur-Verfahren: zusätzlich aufgezeichnete Daten, errechnet aus den relevanten Daten (Nutzdaten)
- ggf. Gewichtung von MSB bis LSB

Prof. Oliver Curtt

## Parität

- insgesamt hohe Wirksamkeit: z. B. bei DAT (Digital Audio Tape) Fehlerrate von ca. 2 Fehler / sec
- RAID-Systeme, Rekonstruierbarkeit  
⇒ A Case for **R**edundant **A**rrays of **I**nexpensive **D**isks

## Fehlerkorrektur

- Stufe 1:
  - echte Fehlerkorrektur
  - effektiv keine Veränderung des Originalsignals
- Stufe 2:
  - nur bei Audiodaten möglich, für Computerdaten unwirksam
  - Fehlerverdeckung
  - Rekonstruktion durch Mittelwertbildung / Interpolation
  - Ergebnis nicht identisch mit Original
  - ggf. hörbar

## Fehlerkorrektur

### ■ Stufe 3:

- Dropout, totaler Datenausfall
- keine Rekonstruktion möglich
- Datenwort wird weggelassen
- Audioausgang auf MUTE geschaltet

### ■ sog. „Interleaving“ zur Vermeidung von „Blockfehlern“

## „Fehlerkorrektur“

- Gmäeß eneir Sutide eneir elgnihcesn Uvinisterät, ist es nchit witihcg in wlecehr Rneflogheie die Bstachuebn in eneim Wrot snid, das ezniige was wcthiig ist, ist daß der estre und der leztte Bstabchue an der ritihcegn Pstioion snid. Der Rset knan ein ttoaelr Bsinöldn sien, tedztorm knan man ihn onhe Pemoble Iseen. Das ghet dseahlb, wiel wir nchit Bcuhtsbae für Bcuhtsbae enizlen Iseen, snodren Wröetr als Gnaezs. Smtimt's?

## „Fehlerkorrektur“

- Und siehe da, sobald der Text nicht ganz so simpel und vorhersehbar ist, wird die Sache schon komplizierter:
- Daß der bei witeem götßre Tiel der Mncsheen (drutaner das gznae shncöe Gcsehclhet) den Scritht zur Menikügidt, außer dem daß er birhcsweceh ist, acuh für sher giechräflh hatle: dfüar seogn shocn jnee Vonerümdr, die die Ocfrahuibet uebr sie gsgütit auf scih gmmeonn heban.

## „Fehlerkorrektur“

Ndhceam sie ihr Hieavush zsuret dmum gmaeht hbean und sifrtolägg vhtüeteren, daß dsiee rheiugn Göpsfche ja kneein Shrtcit aeßur dem Gelagegwänn, darin sie sie enrpeetisrn, weagn dtufern, so zgeein sie ihnen nechhar die Gaefhr, die inehn droht, wenn sie es vrecusehn alieln zu gheen. Nun ist deise Gefhar zawr eben so groß nchit, denn sie wrüedn durch eagimniel Faelln whol edlcnih gheen lneern; aleiln ein Bpiesiel von der Art mhcat doch srcüechhtn und sccrekht giihmenen von aleln feernnen Vserehcun ab.

## „Fehlerkorrektur“

- Dies war eine kleine Kostprobe aus *Was ist Aufklärung?* von Immanuel Kant, durchgeschüttelt mit Hilfe des oben genannten Textzwirblers. Das Beispiel führt zweierlei vor Augen. Zum einen wird deutlich, welche Rolle der Kontext beziehungsweise die Kenntnis des Kontexts für das Textverständnis spielt. Mit anderen Worten: hat man erst einmal erfasst, in welche Richtung es geht, erschließt sich der Inhalt wie von selbst. Nur Unvorhergesehenes bringt den Lesefluss ins Stocken.

## „Fehlerkorrektur“

- Da natürliche Sprachen jedoch mehrfach redundant sind, werden auch solche Hürden schnell gemeistert. Mit anderen Worten: natürliche Sprachen sichern alles mehrfach ab, zum Beispiel mithilfe von Präpositionen, Deklination und Wortstellung. Damit die Botschaft auch dann noch ankommt, wenn der Sprecher lispelt oder nuschelt oder Probleme mit der die das Artikeln hat. Diese Redundanz erleichtert nicht nur die mündliche Kommunikation, sondern auch den Schriftverkehr und damit die Lektüre.

## „Fehlerkorrektur“

- Allerdings - und dies ist der zweite Aspekt, den das Beispiel vor Augen führt - gerät das Leseverständnis in Gefahr, sobald die Buchstabenvertauschung nicht nur silbenintern, sondern silbenübergreifend stattfindet. Weil die Buchstabenhaufen unübersichtlich und im Extremfall undurchschaubar werden. Freilich lässt sich Unübersichtlichkeit auch anderweitig herstellen, etwa durch hartnäckige Großschreibung, die ausgerechnet im so genannten Kleingedruckten von Verträgen gerne Verwendung findet.

## „Fehlerkorrektur“

- Aoccdrnig to a rscheearch at an Elingsh uinervtisy, it deosn't mtttaer in waht oredr the ltteers in a wrod are, the olny iprmoetnt tihng is taht frist and lsat ltteer is at the rghit pclae. The rset can be a toatl msees and you can sitll raed it wouthit porbelm. Tihs is bcuseae we do not raed ervey lteter by it slef but the wrod as a wlohe. ceehiro.

## „Fehlerkorrektur“

- Je nachdem, wie gut es um die Englischkenntnisse des Lesers steht, bereitet auch dieser Text keine allzu großen Probleme. Und das, obwohl sich zwei Fehler eingeschlichen haben: 'rscheearch' ergibt entwirrt nämlich keineswegs 'research', sondern eher 'researchch'. Und 'iprmoetnt' soll wohl 'important' ergeben, was aber leider nicht aufgeht, weil die Vokale 'e' und 'a' vertauscht wurden und man bestenfalls ein 'important' erhält. Außerdem wird 'itself', korrekterweise zusammengeschrieben und nicht wie in der Wirr-Version in zwei Teilen.