

# Protokoll

## KT Labor Messtechnik

Durchführung: 03. 11. 2004, 13:00 E-N 057  
Rücksprache: 15. 11. 2004, 18:30

Betreuer: Cornelius Bradter

Teilnehmer:

Kristin Peukert

Robert Damrau

Thilo Koch

Cholakov Vladimir

Dimitre Poydovski

Alexander Lösch

Erik Detzner

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| Inhaltsverzeichnis .....   | 2         |
| <b>1 Einleitung .....</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1 Vorbetrachtung .....   | 3         |
| 1.2 Klirrfaktor .....  | 6         |
| 1.2.1 Analoge Klirrfaktormessung .....   | 6         |
| 1.2.2 Digitale Klirrfaktormessung .....  | 7         |
| 1.3 Übertragungsverhalten .....  | 8         |
| 1.3.1 Verstärkungsfaktor .....   | 8         |
| 1.3.2 Frequenzgang .....   | 8         |
| 1.3.3 Grenzfrequenz .....  | 8         |
| 1.4 Monkey Forest .....  | 9         |
| 1.5 Mikrofonverstärker Neumann V 476B .....                                    | 9         |
| <b>2 Versuche .....</b>  | <b>10</b> |
| 2.1 Vergleich von Messwerten verschiedener Geräte .....                        | 10        |
| 2.2 Analoge Klirrfaktormessung .....   | 11        |
| 2.3 Digitale Klirrfaktormessung .....  | 11        |
| 2.3.1 Untersuchung einiger Eigenschaften d. Systems MF (Referenzmessung) ..... | 11        |
| 2.4 Untersuchung eines Mikrofonvorverstärkers (Gain 0dB) .....                 | 15        |
| 2.4.1 Klirrfaktor .....  | 15        |
| 2.4.2 THD+Noise .....  | 16        |
| 2.5 Untersuchung eines Mikrofonvorverstärkers (Gain 52dB) .....                | 16        |
| 2.6 Übertragungsfunktion des Mikrofonvorverstärkers .....                      | 17        |
| <b>3 Messung von digitalen Signalen .....</b>                                  | <b>19</b> |
| 3.1 Problematik .....  | 19        |
| 3.2 Messung .....  | 19        |
| 3.3 Mögliche Störungen .....   | 20        |
| 3.4 Spezifikationen der Schnittstellen .....                                   | 22        |

# 1 Einleitung

In diesem Labor werden zum einen Betrachtungen zur Messwertgenauigkeit, Abschätzungen von Messfehler und kritische Einschätzungen zur Auswertung von Messung behandelt. Dazu werden unter anderem Klirrfaktormessungen durchgeführt. Zum anderen wird ein Mikrophonvorverstärker bezüglich Klirrfaktor, Rauschen, Linearität, Übertragungsfunktion und Verstärkung untersucht und Ergebnisse ausgewertet.

Diese Versuche werden mit Hilfe von den folgenden Geräten durchgeführt:

Signalgenerator RACAL DANA 9085, Low Distortion Oscillator

Präzisionsvoltmeter Sennheiser Universal Messgerät UPM550

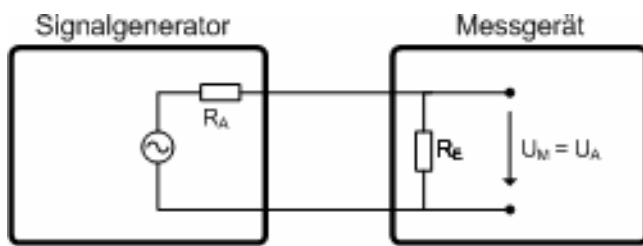
Oszilloskop Agilent 54624A, 4- Kanal, 100MHz

Digitales Audiomeßsystem Monkey Forest mit Audiointerface RME Hammerfall

Neumann Mikrophonvorverstärker V476B

## 1.1 Vorbetrachtung

Um eine Messgröße in einer Messstrecke - bestehend aus Signalgenerator und Messgerät - zu erfassen müssen die beiden Geräte miteinander verschaltet werden. Das geschieht, indem das Ausgangssignal des Signalgenerators dem Eingang des Messgerätes zugeführt wird. Dabei spielen Ein- und Ausgangswiderstände der verwendeten Geräte eine entscheidende Rolle. Durch das Aneinanderschalten von Geräten entsteht durch den Aus- und Eingangswiderstand ein Spannungsteiler, der zu einer Verringerung der Ausgangsspannung und somit zu einer Verfälschung des Messergebnisses führen kann. Das folgende Bild zeigt den entstehenden Spannungsteiler.



$$U_A = U_E \frac{R_E}{R_E + R_A}$$

Abb. 1.1 Spannungsteiler Prinzipschaltbild und Formel

$U_A$ : Ausgangsspannung  
 $U_E$ : Eingangsspannung

$R_A$ : Ausgangswiderstand  
 $R_E$ : Eingangswiderstand

Um einen möglichst geringen Fehler der Messergebnisse zu erreichen sind die Ausgangswiderstände in allen Geräten äußerst klein und die Eingangswiderstände besonders groß dimensioniert. Am offenen Eingang sind elektromagnetische Einstreuungen ein Nachteil von hohen Eingangswiderständen (Antenne).

Typische Werte der Ein- und Ausgangswiderstände von Geräten, die in der Audiotechnik verwendet werden liegen bei ca.  $40\Omega$  für Ausgangswiderstände und zwischen  $5k\Omega$  bis  $20k\Omega$  für Eingangswiderstände.

Der in dieser Messung verwendete Sinusgenerator hat einen Ausgangswiderstand  $R_A < 40\Omega$ , der Eingangswiderstand des Oszilloscopes und des Voltmeters beträgt jeweils  $R_E \approx 1M\Omega$ .

Bei einer Messung des Ausgangssignals des Sinusgenerator mit Oszilloscope **oder** Voltmeter ergibt sich eine reduzierte Ausgangsspannung von:

$$U_A = U_E \frac{R_E}{R_E + R_A} = U_E \frac{1M\Omega}{1M\Omega + 40\Omega} = U_E \cdot 0,999960001$$

Der dadurch entstehende Fehler beträgt ca. 0,00399984%.

Bei der Messung des gleichen Ausgangssignals mit Oszilloscope **und** Voltmeter in Parallelschaltung

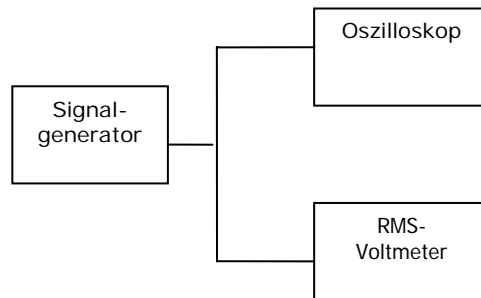


Abb. 1.2 Parallelmessung des Ausgangssignals

ergibt sich eine Ausgangsspannung von

$$U_A = U_E \frac{R_{E1} // R_{E2}}{(R_{E1} // R_{E2}) + R_A} = U_E \frac{1M\Omega // 1M\Omega}{(1M\Omega // 1M\Omega) + 40\Omega} = U_E \cdot 0,99992006$$

Der Fehler beträgt ca. 0,00799936%.

Der Messfehler muss je nach Anforderung an die Genauigkeit der Messung berücksichtigt werden.

## 1.2 Klirrfaktor

Der Klirrfaktor (THD – Total Harmonic Distortion) ist ein Maß für die Intensität der nichtlinearen Verzerrungen. Er bezeichnet die Summe aller Oberwellen und berechnet sich aus der Grundwelle und deren Harmonischen. Der Klirrfaktor wird in Prozent angegeben und lässt sich anhand der folgenden Formel berechnen:

$$k = \frac{\sqrt{U_{2f}^2 + U_{3f}^2 + \dots + U_{n \cdot f}^2}}{U_{ges}} \cdot 100.$$

Der Klirrfaktor kann mittels eines analogen oder eines digitalen Messaufbaus messtechnisch ermittelt werden.

### 1.2.1 Analoge Klirrfaktormessung

Blockschaltbild

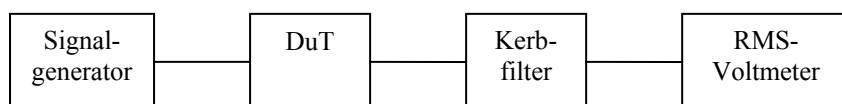


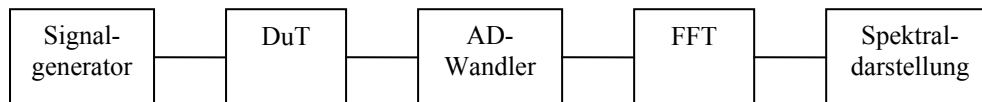
Abb. 1.2 a Prinzipieller Messaufbau zur analogen Klirrfaktorbestimmung

Im Signalgenerator wird ein Signal erzeugt und zum Eingang einer Testeinheit (Device under Test - DuT) weitergeführt. Das Ausgangssignal der Testeinheit wird daraufhin von der ursprünglichen Frequenz mittels eines Kerbfilters getrennt. Mit Hilfe eines Voltmeters kann anschließend die Summe der Anteile an übrig gebliebenen Artefakten (Verzerrungen) als Effektivwert (RMS-Wert) gemessen werden.

Vorzugsweise wird ein solches System mit einem reinen Sinuston angeregt. Dieser kann im Kerbfilter sehr gut von übrigen Signalanteilen getrennt werden.

### 1.2.2 Digitale Klirrfaktormessung

Blockschaltbild



*Abb. 1.2 b Prinzipieller Messaufbau zur digitalen Klirrfaktorbestimmung*

Im Signalgenerator wird ein Signal erzeugt und zum Eingang der Testeinheit (DuT) weitergeführt. Das Ausgangssignal der Testeinheit wird daraufhin mittels eines AD-Wandlers in ein zeit- und wertdiskretes Signal umgewandelt und anschließend durch einen FFT-Analysator oder Spektrumanalysator in seine spektralen Anteile zerlegt und dargestellt.

Auch hierbei wird das System vorzugsweise mit einem Sinuston einer bestimmten Frequenz angeregt. Zur Bestimmung des Klirrfaktors kann die Summe der Harmonischen somit gut auf die Grundfrequenz bezogen werden.

## 1.3 Übertragungsverhalten

### 1.3.1 Verstärkungsfaktor

Der Verstärkungsfaktor eines Verstärkers beschreibt das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung.

$$V = \frac{U_A}{U_E}$$

### 1.3.2 Frequenzgang

Übertrager weisen immer einen frequenzabhängigen Amplituden- und Phasengang auf. Es ist also von Bedeutung, dass Übertrager (also auch Verstärker), die in einem Tonstudio eingesetzt werden sollen, alle Frequenzen des Hörbereichs (20Hz –20 kHz) optimal (linear) übertragen um Verfälschungen bei der Übertragung zu vermeiden.

### 1.3.3 Grenzfrequenz

Als Grenzfrequenz wird diejenige Frequenz bezeichnet, bei der der Pegel um 3dB bzw. Faktor  $1/\sqrt{2}$  bezüglich des maximalen Übertragungsfaktors gesunken ist.

Bei einer Übertragungsfunktion treten untere und obere Grenzfrequenz auf. Der Bereich zwischen unterer und oberer Grenzfrequenz wird als Bandbreite bezeichnet.

## 1.4 Monkey Forest

Monkey Forest ist ein PC gestütztes Audio-Meßsystem mit einem externen Frontend. Die AD/DA Schnittstelle verfügt über eine Samplerate von bis zu 96kHz und einem Dynamikumfang von 24Bit.

Die Bandbreite wird mit Hilfe der Nyquistfrequenz bestimmt, die besagt, dass die maximale Eingangssignalfrequenz die Hälfte der Abtastfrequenz (96 kHz) vom AD/DA-Wandler nicht überschreiten darf. Somit ergibt sich für MF eine Bandbreite von 48kHz. Es können keine HF-Einstreuungen oder ähnliche Störgrößen oberhalb von 48kHz mit ausreichender Genauigkeit ausgewertet werden.

Es können beliebige Anregungssignale erzeugt werden: Impulse, MLS, Multisinus, Lin-Sweeps, Log-Sweeps, Noise und andere mit frei wählbarem Spektrum.

MF ermöglicht eine vielfältige Auswertung der Messergebnisse, u.a. Spektrale Darstellung, Klirrfaktor, Impulsantwort, Frequenzgang und Phasenverlauf.

## 1.5 Mikrofonverstärker Neumann V 476B

Der Mikrofonvorverstärker V476B dient zur Anhebung des Mikrofonausgangspegels. Eingang und Ausgang sind symmetrisch und erdfrei. Die Verstärkung ist mit einem Stufenschalter und Feinregler in einem Bereich von 0dB bis 80dB einstellbar. Ein Polwender ermöglicht die Vertauschung der Phasenbeziehung zwischen dem Eingang und dem symmetrischen Ausgang des Mikrofonverstärkers. Die Filtersteilheit im Sperrbereich beträgt ca. 12 dB/Oktave.

## 2 Versuche

### 2.1 Vergleich von Messwerten verschiedener Geräte

In der ersten Messung wird ein Sinussignal mit einer Frequenz von 1002Hz und einer Amplitude von 0dB<sub>U</sub> (0,775V) im Signalgenerator erzeugt. Sowohl das Oszilloskop, als auch das Präzisionsvoltmeter werden an den Sinusgenerator (parallel) angeschlossen, um die jeweils angezeigten Werte miteinander vergleichen zu können. Die folgende Tabelle zeigt die angezeigten Messwerte.

|                  | <b>Signalgenerator</b> | <b>Voltmeter</b> | <b>Oszilloskop</b>  |
|------------------|------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Amplitude</b> | 0,775V                 | ca. 0,779        | 0,7857V bis 0,7871V |
| <b>Frequenz</b>  | 1002Hz                 | -----            | 1002Hz              |

Das Oszilloskop zeigt einen Frequenzwert von exakt 1002Hz und eine Amplitude von etwa 0,786V. Dieser Wert unterliegt geringen Schwankungen im 100stel-Bereich. Unklar ist die Herkunft der Schwankungen und führt vermutlich auf den Signalgenerator zurück.

Das Voltmeter zeigt einen Spannungswert von ca. 0,779V. Es handelt sich hierbei um ein Zeigergerät, bei dem eine Spiegelscala nicht vorhanden ist. Der Wert ist daher sehr schwer abzulesen und erlaubt nur eine Ungefährangabe.

Für diese Messung stehen sich also verschiedene Messwerte gegenüber. Unter Berücksichtigung der Bauteilalterung des etwa 30 Jahre alten Präzisionsmeters ist der Wert dieses Gerätes eher kritisch einzuschätzen. Ebenfalls die Tatsache, dass die Anzeige des Signalgenerators vermutlich nicht auf einen intern gemessenen Wert zurückzuführen ist, lässt vorrangig den von dem hochwertigen Oszilloskop angezeigten Wert am glaubwürdigsten erscheinen.

## **2.2 Analoge Klirrfaktormessung**

Eine Klirrfaktormessung nach analogem Verfahren kann in dem Rahmen dieser Messübung nicht durchgeführt werden. Ein analoges Kerbfilter steht zum Zeitpunkt der Messung nicht zur Verfügung. Die theoretischen Grundlagen sind im Abschnitt *1.2.1 Analoge Klirrfaktormessung* zu finden.

## **2.3 Digitale Klirrfaktormessung**

### **2.3.1 Untersuchung einiger Eigenschaften des Systems MF (Referenzmessung)**

Für die folgenden Versuche, in denen konkrete Messobjekte untersucht werden, wird eine Referenzmessung mit MF durchgeführt. Alle weiteren Frequenzgangmessungen mit MF können mit dieser Referenzmessung kompensiert werden. Zu diesem Zweck bleibt das Messobjekt überbrückt. Die Referenzmessung beinhaltet nun die Übertragungsfunktion der gesamten Messkette mit Ausnahme des eigentlichen Messobjektes. Sämtliche Frequenzgangabweichungen die durch gewichtete Folgen, Filter, AD-, DA-Umsetzer, Vor-, Endverstärker verursacht werden, sind somit in der Referenzmessung enthalten.

Der Klirrfaktor wird anhand des folgenden Versuchsaufbaus ermittelt:

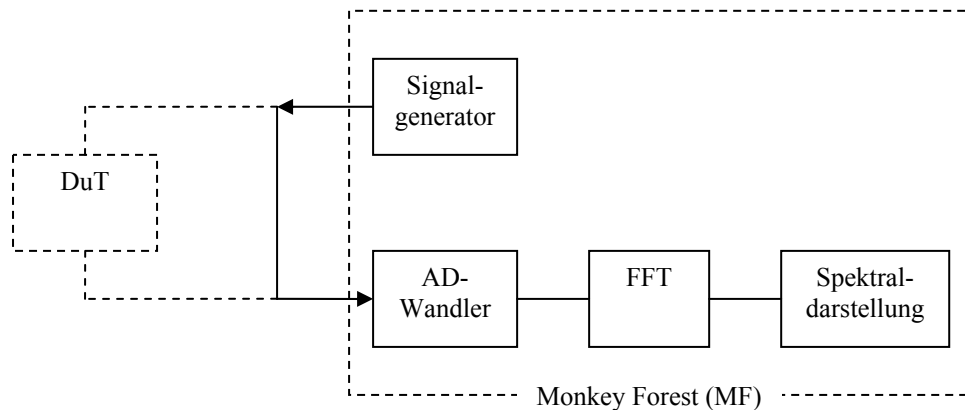


Abb. 2.3 Klirrfaktormessung mit MF

Der Klirrfaktor wird mit Hilfe des digitalen Messsystems Monkey Forest ermittelt. Dabei wird sowohl das Anregungssignal von MF erzeugt, als auch das Messsignal von MF ausgewertet.

Zuerst wird die Amplitude des Ausgangssignal nach dem DA-Wandler am Audiointerface des MF gemessen. Laut Aufschrift *DA FS 4,87* beträgt die Spannungsamplitude bei maximaler Aussteuerung ( $0\text{dB}_{\text{FS}}$ ) einen Wert von 4,87V.

Im Menü der Software des MF werden dazu Einstellungen über das Anregungssignal bestimmt:

Die Ausgangsamplitude *DA-Voltage Range* wird auf  $0\text{dB}_{\text{FS}}$  (4,95V) eingestellt. Die FFT-Blocklänge wird auf eine Größe von  $2^{14} = 16384$  Sample eingestellt. Die Sample Rate beträgt 96kHz. Durch die Festsetzung dieser Werte entsteht ein bestimmtes Raster für möglichen Frequenzen, die von MF erzeugt werden können. Die Schrittweite der Frequenz lässt sich wie folgt bestimmen.

Blocklänge

$$t_{FFT} = \frac{1}{96\text{kHz}} \cdot 2^{14} = \frac{64}{375} \text{ s} \approx \frac{1}{6} \text{ s}$$

$$\Rightarrow f_{FFT} = \frac{1}{t_{FFT}} = \frac{375}{64}$$

Für die einzustellende Frequenz können nur ganzzahlige Vielfache von  $f_{FFT}$  gewählt werden:

$$\frac{375}{64} Hz \cdot x = 1000 Hz$$

Gewünscht ist eine Frequenz von 1000Hz

$$\Rightarrow x = \frac{1000 Hz \cdot 64}{375 Hz} = 170, \bar{6} \Rightarrow 171$$

$$\Rightarrow f = \frac{375}{64} \cdot 171 \approx \underline{1002 Hz}$$

Es wird eine Frequenz von 1002Hz eingestellt.

Der Amplitudenwert wird auf  $0 dB_{FS}$  eingestellt.

Mit dem Oszilloskop wird ein Wert von  $3,528 V_{EFF}$  am Ausgang gemessen. Dieser Wert weicht mit ca. 2,9dB zu dem eingestellten Wert und mit ca. 2,8dB von der Herstellerangabe (Aufkleber) ab und ist sehr fragwürdig. Um einen der möglichen Fehler auszuschließen wird anschließend der Maximalwert anstelle des Effektivwertes gemessen. Somit kann die Ungenauigkeit, die im Algorithmus der Effektivwertbildung im Oszilloskop entstehen könnte umgangen werden. Der gemessene Maximalwert beträgt  $U_A = 5,13V$ . Ein Vergleich des gemessenen Maximalwertes und des gemessenen Effektivwertes ergibt eine Abweichung von 0,24dB.

$$Abweichung = 20 \cdot \log \left( \frac{5,13 V_{Max}}{\sqrt{2} \cdot 3,528 V_{Eff}} \right) \approx 0,24 dB$$

Es werden alle weiteren aktiven Ausgangskanäle mit exakt identischen Werten gemessen. Hierbei wurde im Vorfeld eine leichte Differenz untereinander erwartet.

In einem zweiten Versuch wird ausschließlich ein Verbindungskabel, also eine direkte Verbindung von Ein- und Ausgang verwendet. Ein Testobjekt (DuT) wird somit überbrückt. Dadurch kann eine detaillierte Aussage über die Eigenschaften des Systems MF getroffen werden:

Die spektrale Darstellung zeigt deutlich die Frequenz des Anregungssignals, Oberschwingungen und Rauschen. Auffällig ist hierbei, dass die Amplitude des Anregungssignals um **0,8dB** abgeschwächt ist. Es entsteht demnach intern ein relativ hoher Pegelverlust. Vermutlich entstehen große Teile der Verluste an den AD- und DA-Wandlereinheiten.

Die Oberschwingungen sind gut zu erkennen, die folgende Tabelle zeigt die zugehörigen Werte:

| <b>Oberwelle</b> | <b>K2</b> | <b>K3</b> | <b>K4</b> | <b>K5</b> | <b>Σ-K</b> |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| <b>Amplitude</b> | -103 dB   | -86 dB    | -113 dB   | -103 dB   | -86dB      |

Die Summe von THD+Noise liegt bei ca. -86dB und wird fast ausschließlich von der 3. Oberwelle (K3) bestimmt. Der Klirrfaktor liegt demnach bei

$$k = 10^{\left(\frac{\Sigma - k}{20}\right)} \cdot 100 = 10^{\left(\frac{-86dB}{20}\right)} \cdot 100 \approx 0,0050\% .$$

Der Rauschabstand wird aus dem Diagramm abgelesen und beträgt ca. 100dB.

## 2.4 Untersuchung eines Mikrofonvorverstärkers (Gain 0dB)

In diesem Versuch wird ein Mikrofonvorverstärker als konkretes Messobjekt untersucht.

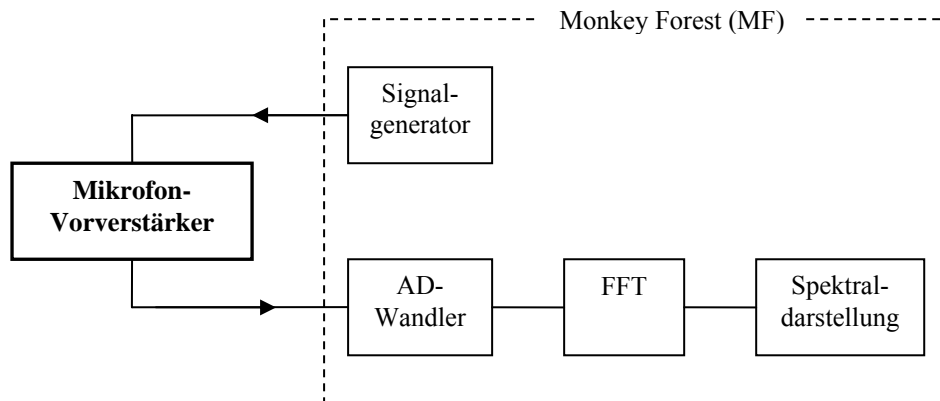


Abb. 2.4. Mic-VV mit MF

Für die nun folgenden Messungen werden alle Gain-Regler am Mikrofonvorverstärker auf 0dB-Stellung gebracht. Somit wird erwartet, dass das Eingangssignal „durchgeschliffen“ wird.

Es wird ein Amplitudenwert von -6,3dB am Ausgang gemessen. Abzüglich der 0,8dB Verlust im überbrückten Modus (*Abschnitt 2.3.1*), entsteht ein Verlust von **5,5dB**! Ein erstaunlich hoher Wert, wenn erwartet wird, dass das Eingangssignal keine Beeinträchtigungen bei dieser 0dB-Reglerstellung erfahren sollte.

### 2.4.1. Klirrfaktor

Die Spektraldarstellung zeigt deutlich die Grundschiwingung, Oberschwingungen und das Rauschen. In der folgenden Tabelle sind die Pegelwerte der ersten Oberschwingungen aufgelistet.

| Oberwelle | K2     | K3     | K4      | K5      | $\Sigma$ -K |
|-----------|--------|--------|---------|---------|-------------|
| Amplitude | -87 dB | -86 dB | -114 dB | -104 dB | -82dB       |

Im Mikrofonvorverstärker entsteht ein relativ hoher Anteil der 2.Oberwelle. Insgesamt jedoch ein zufrieden stellendes Ergebnis für die Summe der Oberwellen. Der Klirrfaktor liegt bei ca. 0,00794%.

#### **2.4.2 THD+Noise**

Der Rauschpegel entspricht in grober Näherung dem des Rauschpegels, der in der Messung mit einem überbrückten Messobjekt ermittelt wurde. Die Form des Rauschens unterscheidet sich jedoch: Die Rauschleistung ist nicht mehr so konstant über den aufgenommenen Frequenzbereich, die Färbung des Rauschens hat sich verändert. Vermutlich führen Brummeinstreuungen aus dem Versorgungsnetz zur beobachteten Veränderung.

### **2.5 Untersuchung eines Mikrofonvorverstärkers (Gain 52dB)**

Für die nun folgenden Messungen werden die Gain-Regler am Mikrofonvorverstärker auf eine Verstärkung von 52dB gestellt. Damit das Messsystem MF nicht übersteuert wird, wird der interne DA-Level um 50dB heruntersetzt.

Es wird ein Ausgangspegel von -7,2dB gemessen. Abzüglich der im vorherigen Abschnitt ermittelten 5,5dB ergibt sich eine Differenz von **1,7dB**. Dieser Wert beschreibt die Differenz aus eingestelltem (Gain-Regler) und tatsächlichem Verstärkungsfaktor des Mikrofonvorverstärkers. Eine Differenz von 1,7dB liegt für die Anforderungen bei dieser Messung in einem akzeptablen Rahmen.

Die Darstellung des Frequenzspektrums zeigt, dass die Klirrkomponenten von Rauschen überlagert sind. Der Rauschpegel liegt bei ca. -85dB, der Pegel für THD+Noise liegt bei ca. -55dB.

Bei der Betrachtung des Rauschens fällt auf das für Frequenzen oberhalb von 20kHz das Rauschen abnimmt. Diese Beobachtung hängt vermutlich mit dem Übertragungsverhalten des Mikrofonvorverstärkers zusammen. Die

Übertragungsfunktion des Mikrofonvorverstärkers hat Bandpasscharakter und nimmt mit 24dB/Oktave ab.

#### Anmerkung

Eine interne Reduzierung des DA-Levels ist in Bezug auf den Signal-Rausch-Abstand (SNR) ungünstig.

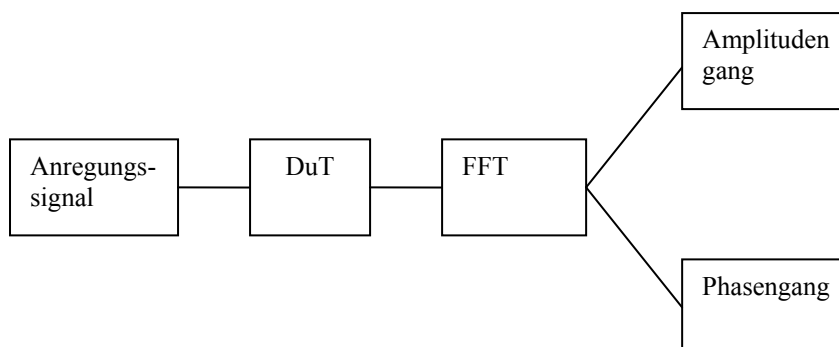
Beispiel:

Bei einem 24Bit DA-Wandler beträgt der SNR ca. 144dB.

Wird der interne DA-Level um 50dB reduziert, verringert sich ebenfalls der Signal-Rausch-Abstand um etwa denselben Faktor. Um diesen Verlust im Dynamikbereich zu umgehen, kann mit Hilfe eines Spannungsteilers **nach** dem DA-Wandler eine Reduzierung der Spannung erzielt werden. Der SNR wird somit nicht verändert. Dies gilt auch für andere Störspannungen (z.B.: Klirrfaktor). Das Messergebnis wäre bedeutend rauschärmer.

## 2.6 Übertragungsfunktion des Mikrofonvorverstärkers

Im folgenden Versuch wird vom Mikrofonvorverstärker Neumann V467B die Übertragungsfunktion, d.h. der Frequenz und Phasengang ermittelt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2.4. ersichtlich. Als Anregungssignal wird ein Sinussweep gewählt, welches die gesamte Bandbreite des MVV durchläuft. Das folgende Blockschaltbild zeigt den prinzipiellen Aufbau.



Die Methode mit Sinussweep-Anregung wird gegenüber der Anregungsmethode mit Maximal Folge (Maximum Length Sequence) bevorzugt: das Messsystem wird bei der Verwendung der MLS über den gesamten Zeitbereich einer Periode angeregt. Durch die ungleich verteilte Energiedichte des Anregungssignals entstehen Verzerrungen bei der Übertragungsfunktion.

Die grafische Darstellung des von uns gemessenen Frequenzganges hat einen typischen Bandpasscharakter. Unterhalb von ca. 20Hz und oberhalb von ca. 20kHz ist ein Abfall von etwa 12dB/Oktave zu erkennen.

In diesem Messlabor werden aus zeitlichen Gründen keine einzelnen Messwerte aufgenommen. Ebenso kann aus technischen Gründen eine Speicherung der Abbildungen nicht erfolgen.

## **3 Messung von digitalen Signalen**

Obwohl im Labor keine Messungen von digitalen Signalen durchgeführt wurden, soll an dieser Stelle zumindest auf einige grundsätzliche Überlegungen und theoretische Grundlagen eingegangen werden, da die digitale Übertragung von Audiodaten aus der heutigen Studioteknik nicht mehr wegzudenken ist.

### **3.1 Problematik**

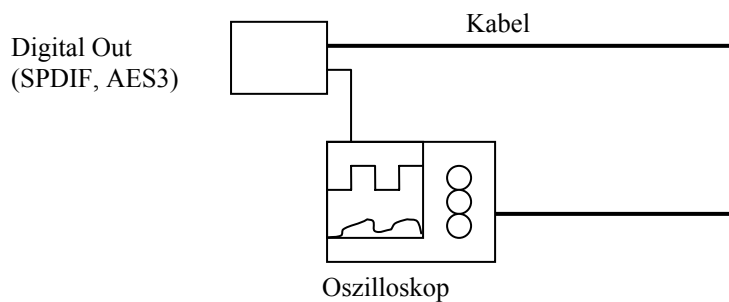
Auch bei der Übertragung von digitalen Signalen kann es zu Störungen kommen, die sich auf das hörbare Ergebnis auswirken. Im Gegensatz zur analogen Übertragung wird ein kodierte Signal übertragen, welches die Informationen über die diskreten Samplewerte enthält. Diese Informationen müssen also kodiert, in eine analoge Spannung gewandelt, übertragen, zurückgewandelt und dekodiert werden.

Die „verwundbarsten“ Stellen dieser Übertragungskette sind die verwendeten Kabel sowie die A/D/A-Wandlung.

### **3.2 Messung**

Da es sich bei der Übertragung um eine analoge Spannung (abgesehen von optischen Übertragungen) handelt, kann diese natürlich messtechnisch erfasst werden. Um z.B. den Einfluss der Kabellänge auf das übertragene Signal zu beurteilen, kann direkt die Ausgangsspannung am Kabelende gemessen werden und mit dem Signal (möglichst) direkt am Digital-Ausgang verglichen werden. Fehlerquelle ist hier natürlich die „direkte“ Verbindung, weshalb diese Messung eher für große Kabellängen oder den Vergleich von

verschiedenen Kabeln sinnvoll ist. Ein Versuchsaufbau zur Überprüfung der analogen Signalcharakteristik könnte folgendermaßen aussehen:



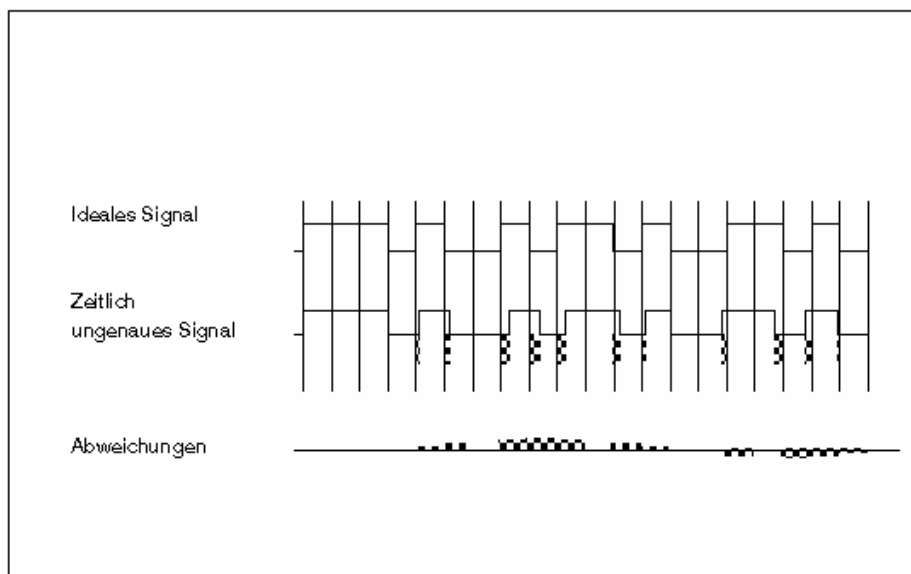
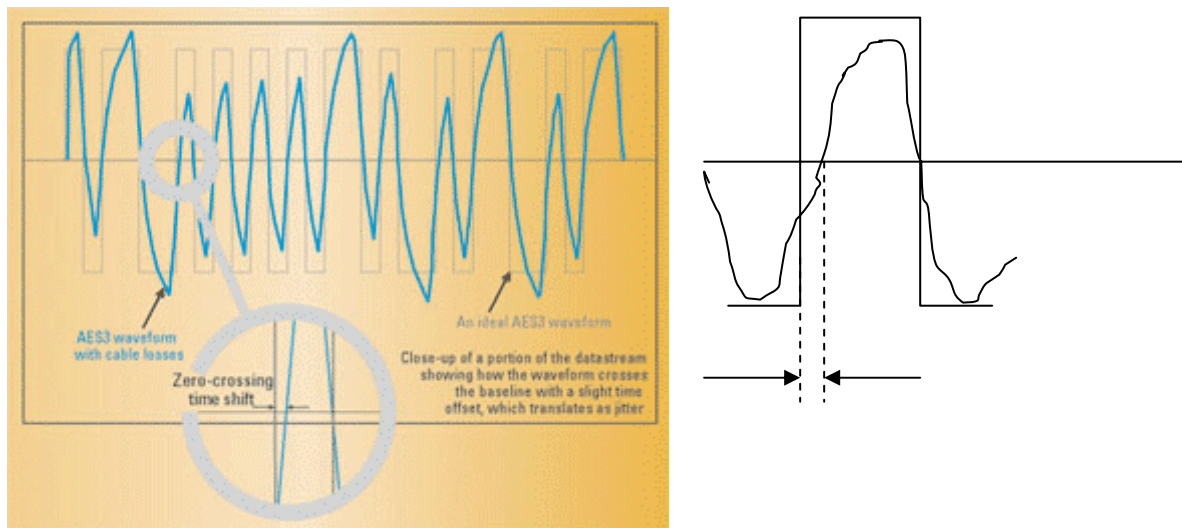
Um das Übertragungsprotokoll zu überprüfen (Kodierung/Dekodierung) müsste eine Messung direkt vor- bzw. nach der Wandlung in analoge Signale erfolgen. Dazu wäre ein Öffnen der Sende-/Empfangsgeräte und die genaue Kenntnis der Schaltung der digitalen Aus-/Eingänge erforderlich.

Einfacher wäre die Verwendung von speziellen Messgeräten (z.B. DIGIsPy von SCHMID electronic).

Bei allen Messungen von digitalen Signalen muss mit größtmöglicher Sorgfalt vorgegangen werden, da Störungen sich hier signifikanter auf das Ergebnis auswirken.

### 3.3 Mögliche Störungen

Das größte Problem der digitalen Audio-Übertragung ist der so genannte „Jitter“. AES3 und SPDIF Datenströme sind selbsttaktend, d.h. der Empfänger bezieht die Taktinformationen direkt aus den Potenzialwechseln des Datenstroms. Hier auftretende zeitliche Verschiebungen bezeichnet man als Jitter („Zittern“).



**Abb. 6: Jitter am Beispiel eines nach AES/EBU kanalkodierten Audiosignals**

Mögliche Ursachen sind das Verwenden von ungeeigneten Kabeln (falsche Impedanz), Übersprechen oder auch zusätzliches Rauschen.

Jitter kann zu einem zusätzlichen Rauschen oder ungewollten Frequenzen im rekonstruierten Audio-Signal führen. Je mehr Geräte sich in einer Übertragungskette befinden, desto größer wird der Jitter. Um diesen Effekt zu vermeiden werden in der Praxis meist externe, hochpräzise Synchronisationsquellen verwendet.

Eine messtechnische Erfassung des Jitters ist mit einem Oszilloskop nicht möglich, da dieses schnell genug auf die kleinen Schwankungen reagiert, es müssten wieder spezielle Meßsysteme verwendet werden.

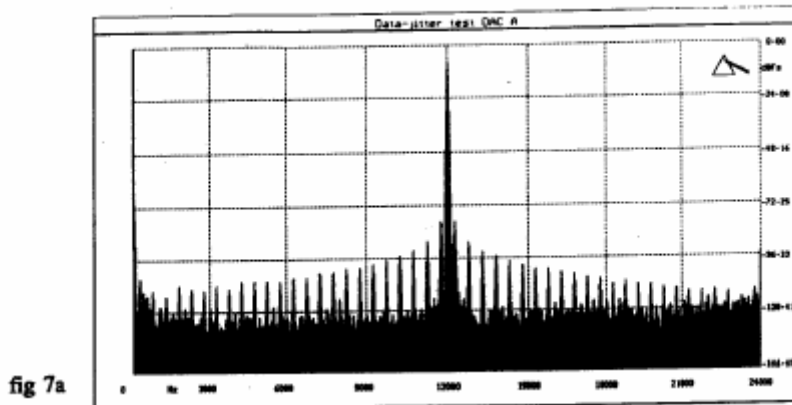
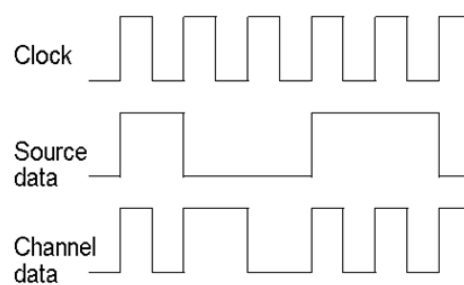


fig 7a

Spektrum eines D/A-Wandlers, Testsignal: Sinus 12kHz, Jitter hinzugefügt: 500Hz 5ns

### 3.4 Spezifikationen der Schnittstellen

AES/EBU (AES3): 2 Kanäle, seriell, selbsttaktend (Biphase-Mark Kodierung), symmetrische Kabel (Impedanz 110 Ohm), Spitze-Spitze-Spannung 2-10 V, Kabellängen von über 100m möglich.



Beispiel für Biphase-Mark-Kodierung

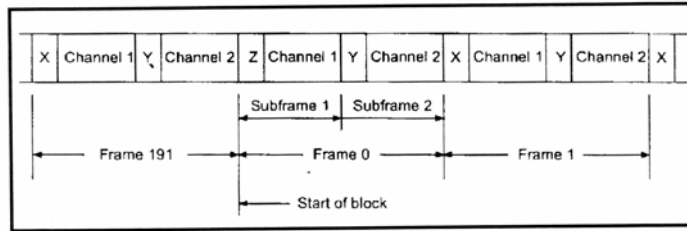


Bild 23 2-Kanal-Format der AES/EBU-Uebertragung

Pro Sampleperiode wird ein Frame übertragen, dieses besteht aus 2 Subframes mit jeweils 32 Bit. Zusatzinformationen (channel status bits) werden blockweise übertragen, 192 Frames bilden einen Block.

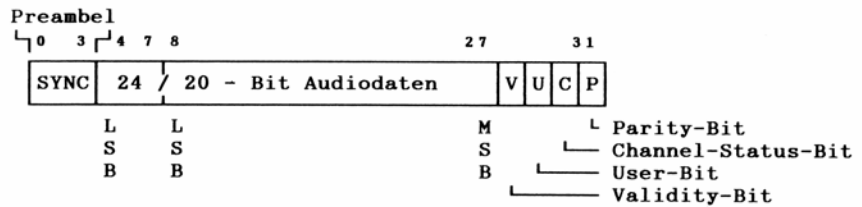


Abb. 10/84. Aufbau eines Subframes im AES/EBU-Format.

S/PDIF (IEC 958 type II) ähnlich wie AES3, aber unsymmetrische Verbindung (optisch oder elektrisch), Impedanz 75 Ohm, Spitze-Spitze 0,5 V, maximale Kabellänge ~10m, enthält zusätzlich Information über SCMS (serial copy management system).