

Annonce von Nokia, 1992

### Zip-Datei der Übungsangabe

Die Zip-Archive jeder Übungsangabe sind immer so aufgebaut, dass Sie diese direkt in das Hauptverzeichnis Ihrer Working-Copy (d.h. /trunk im Repository) extrahieren können.

Im Rahmen einer Übungsangabe werden jeweils nur diejenigen Dateien bereitgestellt, die neu hinzugekommen sind oder die sich verändert haben. Sie erstellen ein Gesamtprojekt. Es werden also typischerweise auch einige Dateien aus früheren Übungszetteln notwendig sein.

**Tipp:** Teilweise sind *Gerüste* der zu erstellenden Dateien bereits in der Angabe mit dabei.

**Wichtig!** Es kann vorkommen, dass bei manchen Übungsangaben neue Versionen einzelner Dateien, die in Ihrem Repository bereits vorhanden sind, mitgeliefert werden. Wenn Sie Ihre Version dieser Dateien zuvor verändert haben, dann gehen diese Änderungen natürlich verloren, wenn Sie das Zip-Archiv der jeweiligen Übung in Ihren Verzeichnisbaum entpacken. Es empfiehlt sich daher, *vor* dem Entpacken des Zip-Archivs den aktuellen Stand in Ihr Subversion-Repository zu *committen*.

### 1. Aufgabe Analog? Digital!

a□<sub>1</sub> In der vergangenen Übung wurde das analoge Signal vom Mikrofon über den Sidetone direkt auf die Kopfhörer gelegt. ADC und DAC wurden demnach nicht verwendet. Zeichnen Sie diesen Signalweg farbig in Abb. 1 ein.

In dieser Übung sollen nun auch ADC und DAC zum Einsatz kommen. Der Codec Wolfson WM8731 verfügt dazu neben der Schnittstelle „Control Interface“ über eine weitere digitale Schnittstelle, das „Digital Audio Interface“. Die beiden digitalen Schnittstellen sind in Abb. 1 farbig hervorgehoben.

Eigentlich handelt es sich beim Digital Audio Interface sogar um zwei Schnittstellen, eine zur Eingabe digitaler Audiodaten und eine zu deren Ausgabe. Diese beiden Schnittstellen können jedoch nicht ganz unabhängig voneinander arbeiten, da beide den gleichen seriellen Bit-Clock Bclk verwenden.

Die digitalen Audioschnittstellen können nach vier verschiedenen Protokollen betrieben werden (Datenblatt S. 36). Wir werden das sogenannte I<sup>2</sup>S-Protokoll verwenden, welches von der Firma Philips speziell für die Übermittlung von Audiodaten entworfen wurde. Die von Philips stammende Spezifikation dieses Protokolls finden Sie im literature-Ordner.

Das Digital Audio Interface des Codec Wolfson WM8731 kann in zwei Modi betrieben werden. Diese werden im Register „Digital Audio Interface Format“ (Datenblatt S. 53) eingestellt:

1. Master Mode
2. Slave Mode

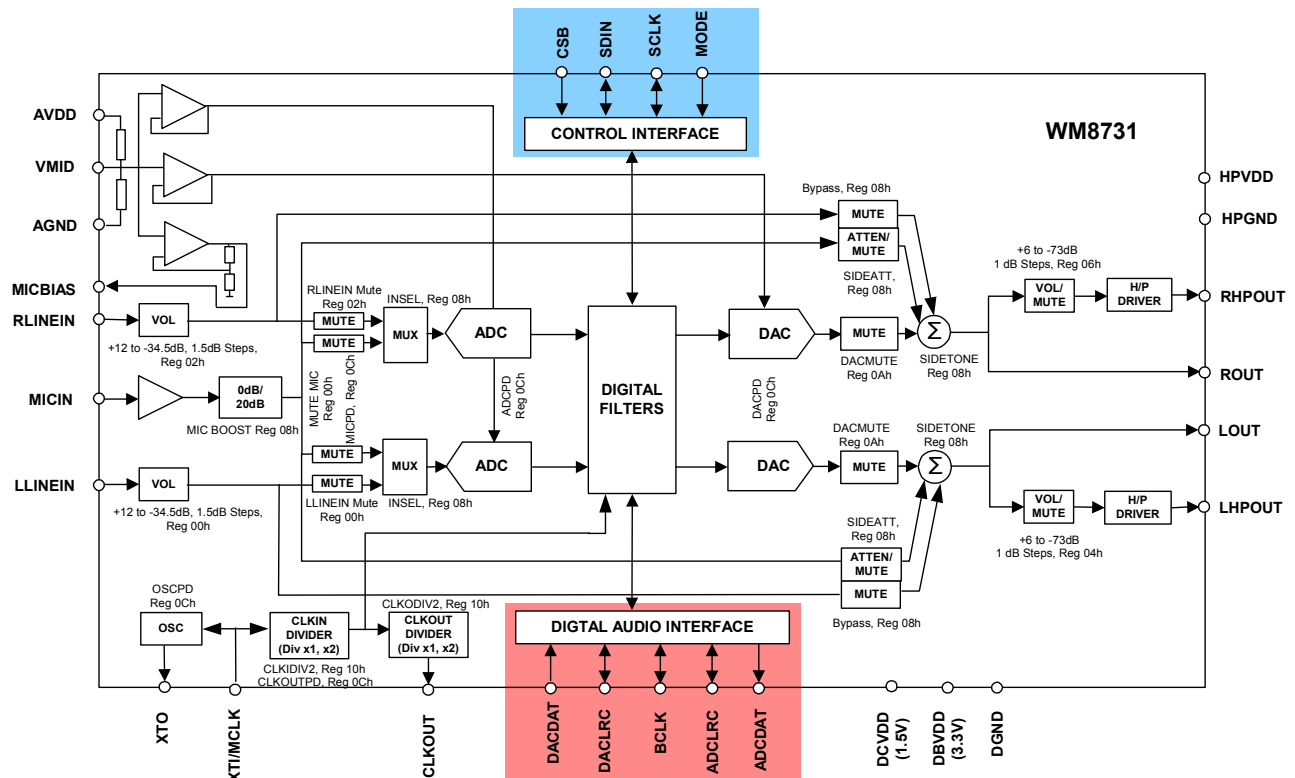


Abbildung 1: Blockschaltbild des Audio-Codex Wolfson WM8731 (Quelle: Datenblatt S. 21, Fig. 9: Functional Block Diagram).

Im *Master Mode* werden die Signale `Bclk`, `ADClrc` und `DAClrc` vom Codec in Abhängigkeit von den Einstellungen in den Registern „Digital Audio Interface Format“ und „Sampling Control“ vom Codec erzeugt. Im *Slave Mode* müssen diese Signale außerhalb des Codec (also vom FPGA) erzeugt und dem Codec zur Verfügung gestellt werden.

Auf den ersten Blick schaut der *Master Mode* erheblich attraktiver aus, da er weniger Designaufwand verspricht. Allerdings müssten die Signale des Codec im FPGA einsynchronisiert werden. Hierbei wird der Zeitbezug zwischen den Signalen unter Umständen verschoben.

- b□<sub>1</sub> Warum ist das so? In welchem Zeitrahmen bewegt sich diese Verschiebung? Gehen Sie zur Berechnung von  $n$  Registerstufen zur Synchronisation aus.

Solche Verschiebungen sind weit schwieriger zu handhaben, als die Erzeugung der relativ einfachen Taktsignale. Damit ist der *Slave Mode* für die Zusammenarbeit mit einem FPGA erheblich günstiger. In dieser Aufgabe soll dennoch der *Master Mode* eingesetzt werden, da es hier schlicht noch nichts zu synchronisieren gibt. Es soll einfach der serielle Datenausgang `iADCdat` des ADC mit dem seriellen Dateneingang `oDACdat` des DAC verbunden werden.

**Warnung!** Im *Master Mode* betreibt der Codec die Signale `Bclk`, `ADClrc` und `DAClrc` als Ausgänge. Daher *müssen* diese vom FPGA unbedingt als Eingänge verwendet werden. Andernfalls würde sich das Board sicher auch noch als Türstopper weiterverwenden lassen...

- c□<sub>1</sub> Warum ist es möglich, `iADCdat` und `oDACdat` einfach miteinander zu verbinden? Hierbei helfen die Beschreibungen in den Abschnitten *DIGITAL AUDIO INTERFACE – MASTER MODE* (S. 16) und *DIGITAL AUDIO INTERFACES* (S. 36). Wichtig ist insbesondere der Zeitbezug zwischen `ADClrc` und `DAClrc`. Warum? Was erwarten Sie bei Verwendung von unterschiedlichen Abtastraten für ADC und DAC?

Die notwendigen Pins sind in der Entity `TbdConfigureCodecViaI2c` bereits vorhanden:

```

1 iBclk      : in  std_ulogic;
2 iADCdat    : in  std_ulogic;
3 iADClrc    : in  std_ulogic;
4 oDACdat    : out std_ulogic;
5 iADClrc    : in  std_ulogic;

```

- d□<sub>1</sub> Konfigurieren Sie nun Ihre Architecture `TbdConfigureCodecViaI2c(Rtl)` so, dass die folgenden Parameter eingestellt sind (Sie sollten dazu einen fertigen Parametersatz finden):
- Der *Sidetone* ist deaktiviert.
  - Der analoge *Bypass* ist deaktiviert.
  - Der Mikrofoneingang ist aktiviert und das Mikrofon ist als Eingangsquelle für den ADC ausgewählt.
  - DAC *Soft Mute* ist deaktiviert.
  - *De-emphasis* und das ADC *High-Pass-Filter* sind deaktiviert.
  - *Master Mode* ist ausgewählt und das Datenformat ist auf I<sup>2</sup>S eingestellt.
  - Im *Sample Rate Control Register* ist ein- und ausgangsseitig die Abtastrate 44,1 kHz (im USB-Mode mit  $M_{clk} = 12$  MHz) eingestellt.
- e□ Testen Sie Ihre Beschreibung auf der Hardware. Das Signal vom Mikrofoneingang sollte nun *nicht* mehr am Kopfhörerausgang hörbar sein.
- f□<sub>1</sub> Ergänzen Sie jetzt Ihr Testbed so, dass der Datenausgang `iADCdat` des Codec direkt auf dessen Dateneingang `oDACdat` gelegt wird.
- g□ Testen Sie Ihre Beschreibung auf der Hardware. Das Signal vom Mikrofoneingang sollte nun wieder am Kopfhörerausgang hörbar sein. Diesmal wird es allerdings nicht mehr über die analogen „Abkürzungen“ (*Sidetone*) geführt, sondern durchläuft den ADC und nachfolgend den DAC.
- h□<sub>1</sub> Zeichnen Sie auch diesen Signalweg farbig in Abb. 1 ein. Verwenden Sie eine andere Farbe als zuvor!

## 2. Aufgabe I<sup>2</sup>S im Master Mode

- a□<sub>1</sub> Führen Sie einen Vergleich der beiden Signale `Mclk` und `Bclk` durch und legen Sie das Ergebnis im Signal `BclkDiffersFromMclk` ab. Dieses führen Sie wiederum über `oLed` auf eine LED heraus. Die LED soll also eingeschaltet sein, solange die Signale unterschiedlich sind. Synchronisieren Sie `iBclk`
- b□<sub>1</sub> dabei *nicht* ein. Fügen Sie *keine* Registerstufe ein. Was fällt Ihnen bei dieser LED auf? Warum?
- c□<sub>1</sub> Ermitteln Sie in gleicher Weise mit einem Signal `DAClrcDiffersFromADClrc` (das Sie ebenfalls über `oLed` auf eine LED heraus führen), ob `iADClrc` und `iDAClrc` übereinstimmen. Synchronisieren Sie
- d□<sub>1</sub> auch diese beiden Signale *nicht* ein. Was fällt Ihnen bei dieser LED auf? Warum?
- e□ Stellen Sie nun unterschiedliche Abtastraten für ADC und DAC ein. Es würden sich beispielsweise
- f□<sub>2</sub> die extremen Einstellungen `cAdc8000Dac48000` und `cAdc48000Dac8000` gut eignen. Welche Auswirkungen auf das Audiosignal erwarten Sie bei diesen Abtastatenkombinationen? Warum? Sehen Sie sich dazu insbesondere die tatsächliche Abtastrate in Tabelle 22 (S. 45) und den Aufbau des I<sup>2</sup>S-Protokolls in Abbildung 27 (S. 37) im Datenblatt an.
- g□<sub>1</sub> Wie verhält sich `Bclk` bei unterschiedlichen Abtastraten für ADC und DAC? Hat sich der Zustand der LED für das Signal `BclkDiffersFromMclk` verändert?
- h□<sub>1</sub> Was erwarten Sie sich für `iADClrc` und `iDAClrc`? Zeigt die LED für das Signal `DAClrcDiffersFromADClrc` erwartungsgemäße Ergebnisse?

## 3. Aufgabe Das Datenblatt und die Beschaltung des Codec

Beantworten Sie anhand des Datenblatts (bitte jeweils auch die entsprechende Seitenzahl bzw. den Abschnitt notieren) bzw. anhand des Schaltplans des DE1-SoC Boards folgende Fragen:

- a□<sub>1</sub> Können einmal gesetzte Parameter über die I<sup>2</sup>C-Schnittstelle aus dem Codec ausgelesen werden?

- b□<sub>2</sub> Dürfen die Parameterregister beständig geschrieben werden? Also z.B. auch wenn die Parameter sich gar nicht verändert haben. Welche Vor- und Nachteile wären zu erwarten? Denken Sie dabei insbesondere an mögliche Anwendungsszenarien aber auch an unliebsame Nebeneffekte!
- c□<sub>1</sub> Wie hoch darf die Frequenz von `MCLK` maximal sein?
- d□<sub>2</sub> Beurteilen Sie die Messbarkeit der Filterfunktion *ADC High-Pass Filter* anhand der Daten im Abschnitt *DIGITAL FILTER CHARACTERISTICS* (S. 54) des Datenblatts. Kann man diese Funktion mit einer PC-Soundkarte und einem entsprechenden Programm prüfen? Kann man diese Funktion mit dem Gehör prüfen? Wozu dient dieses Filter?
- Das Mikrofon wird vom Codec aus mit Spannung („Bias“) versorgt. Diese wird benötigt, um den internen Verstärker im Mikrofon zu betreiben. Über die gleichen Leitungen wird die Information vom
- e□<sub>1</sub> Mikrofon zum Codec übertragen. Was hat das mit dem Helmholtz’schen Überlagerungssatz (Superpositionsprinzip) zu tun? Welche Frequenzbereiche werden von den beiden Spannungen jeweils belegt?
- f□<sub>2</sub> Wie groß ist der *Gain* des Mikrofoneingangsverstärkers mit der auf dem DE1-SoC verwendeten Schaltung eingestellt? Der interessante Wert ist hierbei  $G_1$ . Bitte geben Sie die Verstärkung sowohl als *Bruch* als auch in *dB* an. Details finden Sie im Datenblatt im Abschnitt *MICROPHONE INPUT* (ab Seite 23), sowie im Schaltplan des DE1-SoC Boards<sup>1</sup>.
- g□<sub>1</sub> Wie groß ist die tatsächliche Abtastfrequenz bei einer Taktversorgung des Codec mit 12 MHz bei der Einstellung für 44,1 kHz? Geben Sie die Frequenz auf *0,01 Hz genau* an.

### Abgabe des Sourcecodes

Neben den regulären *Commits* im Laufe der Arbeit an jedem Übungszettel ist der Endstand jedes Übungszettels als Tag im Repository abzulegen. Jeder Tag hat dabei einen Namen der Form „ue-*<Nr>*“ zu tragen, wobei *<Nr>* die Nummer des jeweiligen Übungszettels ist.

- a□ Erstellen Sie bis spätestens **23:59 Uhr am Vortag des Abgabetags** (siehe *Semesterübersicht*) einen Tag `/tags/ue-02` mit dem Endstand Ihrer Übungsausarbeitung.

---

<sup>1</sup>*Tipp:* Den Schaltplan finden Sie unter `literature/DE1-SoC/DE1-SoC_Schematic_RevE.pdf`.

## Tutorial Der Audiotester

In diesem Tutorial machen Sie sich mit dem Audiotester vertraut. Der Audiotester macht aus einem PC ein Audiomesslabor. Als Hardwareinterface des PC zur analogen Audioschaltung dient die Soundkarte. Diese wiederum ist über entsprechende Treiber mit dem Betriebssystem gekoppelt.

Die Treiber und ihre Einbindung in Windows bilden leider häufig die Schwachstelle des Systems Audiotester+PC. Der Audiotester kann nur so gut arbeiten, wie die Soundkarte und deren Treiber es zulassen. Leider gibt es in diesem Bereich große Unterschiede zwischen den einzelnen Soundkarten und Treibern.

**Achtung!** Laptop-Soundkarten eignen sich oft nicht für die Verwendung mit dem Audiotester. Speziell kombinierte Headset (Mikrofon + Kopfhörer) Anschlüsse schränken die Nutzbarkeit stark ein. Zudem wird oft nicht die Qualität erreicht, die notwendig ist, um aussagekräftige Messergebnisse zu erzielen. Weiters führt die automatische Deaktivierung von ungenutzten Audioanschlüssen unter aktuellen Windows-Versionen zu großen Problemen mit dem Audiotester. Der Studiengang HSD hat Ihnen aus diesen Gründen geeignete USB-Soundadapter für diese Übung zur Verfügung gestellt.

- a ☐ Schließen Sie zunächst den USB-Soundadapter an Ihren Rechner an. Die Installation der entsprechenden Treiber sollte anschließend automatisch erfolgen.



Abbildung 2: USB-Soundadapter UCA222

In Abb. 2 sind die Vorder- und Rückseite des USB-Soundadapter UCA222 dargestellt.

- Zur Übertragung von Audiosignalen vom DE1-SoC Board zum PC verbinden Sie bitte den Anschluss „INPUT“ am UCA222 mit dem Ausgang **LINE-OUT** des DE1-SoC Boards.
- Zur Übertragung von Audiosignalen vom PC zum DE1-SoC Board verbinden Sie bitte den Anschluss „OUTPUT“ am UCA222 mit dem Eingang **LINE-IN** des DE1-SoC Boards.
- Den Kopfhöreranschluss („PHONES“) können Sie zur akustischen Überprüfung der ein- bzw. ausgegebenen Audiosignale nutzen. Dieser ist auch wirklich nur dazu geeignet.

**Wichtig!** Versuchen Sie *keinesfalls* den Kopfhöreranschluss für die Ausgabe von Audiosignalen an das DE1-SoC Board zu verwenden.

- Mit dem Stellrad „VOLUME“ können Sie die Kopfhörerlautstärke variieren.
- Mit dem Schalter „MONITOR“ können Sie auswählen, ob Sie am Kopfhörerausgang nur das Ausgangssignal (Schalterstellung „OFF“) oder zusätzlich auch das Eingangssignal (Schalterstellung „ON“) hören.

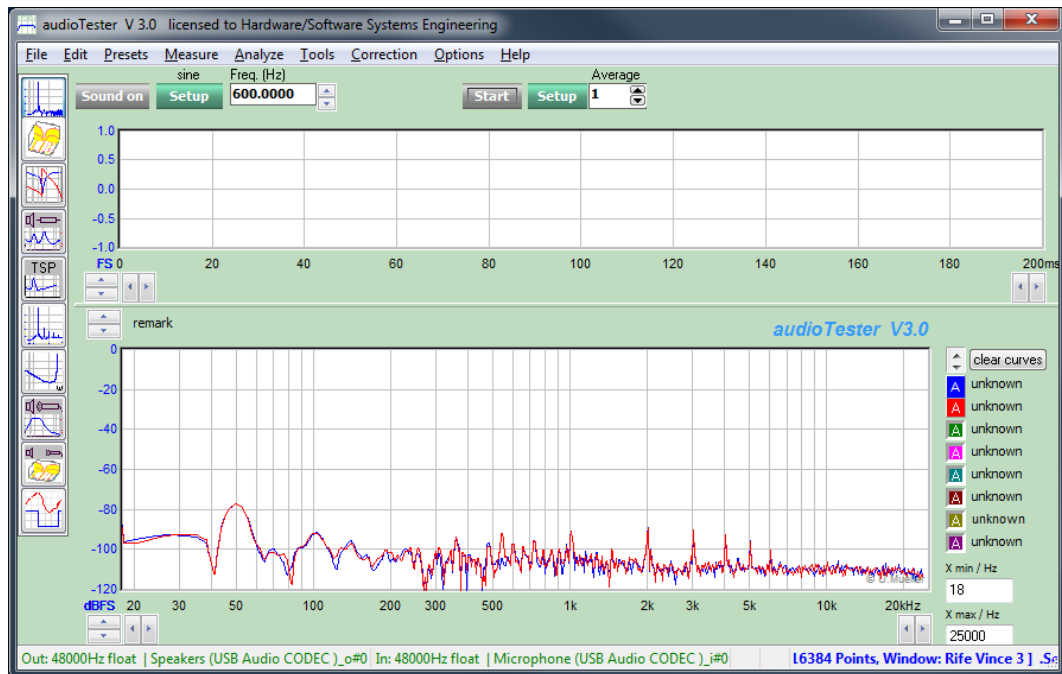
**Wichtig!** Während Messungen sollte dieser Schalter unbedingt in der Stellung „OFF“ stehen.

- b ☐ Das Installationsprogramm für den Audiotester finden Sie im eLearning-Kurs im Abschnitt *Audio-signale mit PC analysieren und generieren*. Nach der Installation müssen Sie zunächst die Vollversion aktivieren. Öffnen Sie dazu den Audiotester. Ziehen Sie anschließend die Lizenzdatei `key.bin`<sup>2</sup> per
- c ☐

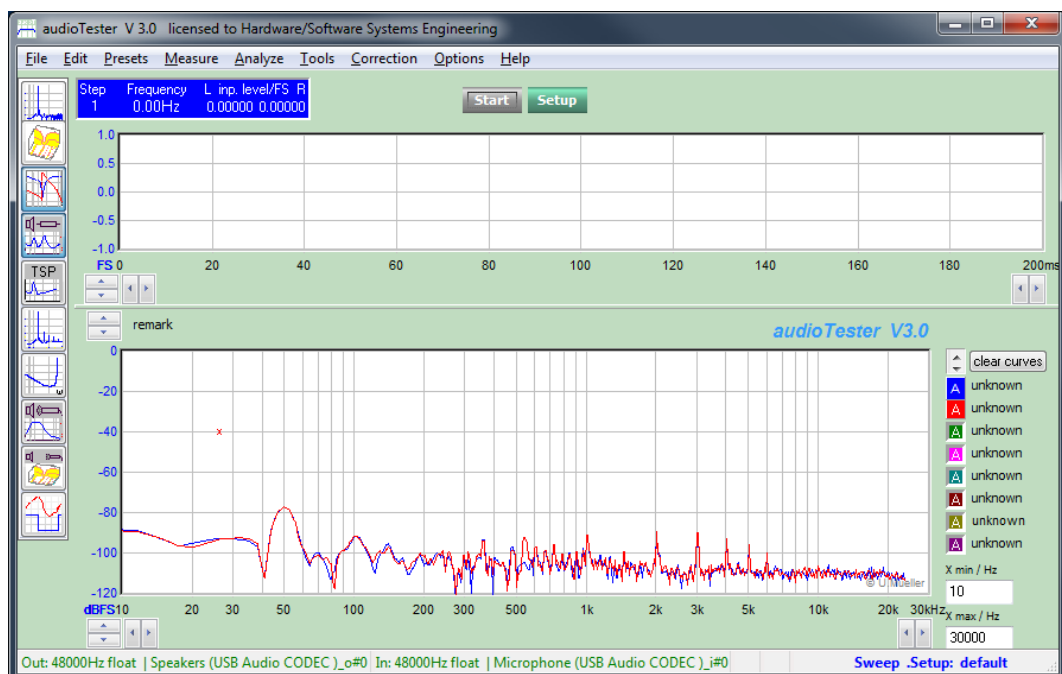
<sup>2</sup>Die Linzenzierung erfolgt ausschließlich für den Lehrbetrieb der Studiengänge HSD & ESD. Sie dürfen das Programm ausschließlich innerhalb der Labors am FH OÖ Campus Hagenberg verwenden.

Drag & Drop in das Fenster des Audiotesters. Nach erfolgreicher Aktivierung wird in der Titelleiste „audioTester V 3.0 *licensed to Hardware/Software Systems Engineering*“ angezeigt.

**Wichtig!** Die Lizenzaktivierung wird für jeden Windows-Benutzer separat vorgenommen. Sollten Sie das Programm im Zuge der Installation mit einem anderen Benutzeraccount gestartet haben (z.B. als Administrator), dann müssen Sie beim nächsten Start der Anwendung mit Ihrem regulären Benutzerkonto erneut eine Aktivierung durchführen.



(a) Modus: 2D FFT



(b) Modus: Sweep

Abbildung 3: Audiotester: Hauptfenster



Der Audiotester nutzt die Soundkarte des PC um automatisiert Messungen des Frequenzspektrums, des Frequenzgangs, sowie weiterer charakteristischer Werte eines Audiosystems durchzuführen. Die graphische Oberfläche des Audiotesters ist in Abb. 3 zu sehen. Für unsere Zwecke sind vorwiegend die Messungen des Frequenzspektrums („2D FFT“, „3D FFT“) und des Frequenzgangs („Sweep“) wichtig. Diese sind im Menüpunkt „Measure“ oder über die entsprechenden Buttons an der linken Seite des Hauptfensters erreichbar.

Wie eine bestimmte Soundkarte für die Verwendung mit dem Audiotester eingestellt werden muss, lässt sich praktisch nur durch Versuche ermitteln. Die Einstellungen können in der Windows-Systemsteuerung unter „Sound“ (bzw. über das Lautsprechersymbol in der Taskleiste) vorgenommen werden. Dort finden Sie u.a. die beiden Tabs (bzw. Menüpunkte): Wiedergabegeräte („Playback“) und Aufnahmegeräte („Recording“).

d□ Für den UCA222 in Kombination mit dem DE1-SoC Board haben sich folgende Einstellungen als geeignet erwiesen:

- Stellen Sie den Lautstärkepegel des Ausgangs auf 45 %. Wählen Sie dazu im Tab Wiedergabegeräte („Playback“) den Ausgang des UCA222 aus (Abb. 4(a)) und klicken Sie auf Einstellungen („Properties“). Im Tab PegelEinstellung („Levels“) stellen Sie den Regler auf den entsprechenden Wert (Abb. 4(b)).
- Schalten Sie alle Wiedergabeeffekte aus (Abb. 4(c)).
- Stellen Sie das Standardwiedergabeformat in den erweiterten Einstellungen („Advanced“) auf 16 bit und 48000 Hz (Abb. 4(d)).
- Stellen Sie den Lautstärkepegel des Eingangs auf 5 %. Wählen Sie dazu im Tab Aufnahmegeräte („Recording“) den Eingang des UCA222 aus (Abb. 4(e)) und klicken Sie auf Einstellungen („Properties“). Im Tab PegelEinstellung („Levels“) stellen Sie den Regler auf den entsprechenden Wert (Abb. 4(f)).
- Stellen Sie das Standardaufnahmeformat in den erweiterten Einstellungen („Advanced“) auf 2 Kanäle, 16 bit und 48000 Hz (Abb. 4(g)).
- Deaktivieren Sie die Monitorfunktion („Listen to this device“, Abb. 4(h)).
- Schalten Sie im „Volume Mixer“ (Abb. 5) alle unnötigen Signalquellen aus um Störungen durch andere Anwendungen zu vermeiden.

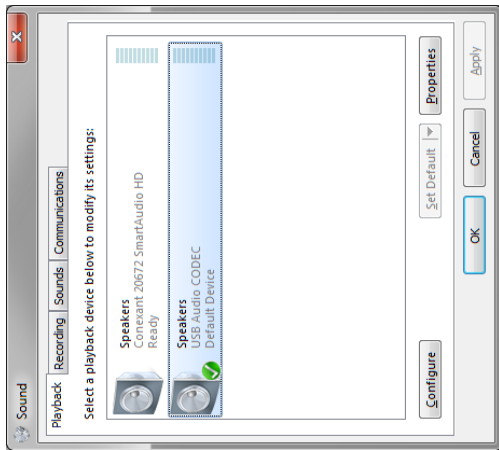
e□ Schließen Sie nun das DE1-SoC Board an den USB-Soundadapter an. Verwenden Sie dazu die beiden Verbindungskabel Klinke M 3,5mm ↔ Cinch 2× M um jeweils die Ein- und Ausgänge miteinander

f□ zu verbinden. Konfigurieren Sie das FPGA mit dem Design `LineThroughFPGA_AlteraDE1SoC_v12` (aus dem Verzeichnis `prjDsp/testAlteraDE1SoCAudio`).

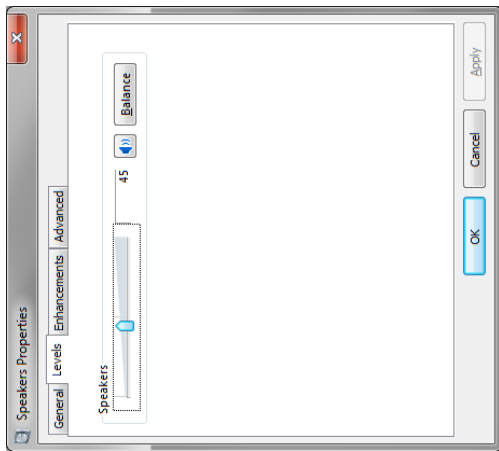
**Tipp:** Seit Windows 7 werden Ein- und Ausgänge der Soundkarte automatisch deaktiviert, wenn kein Kabel angeschlossen ist. Weil der entsprechende Anschluss damit vor Applikationen verborgen bleibt, kommt der Audiotester damit überhaupt nicht klar. Der von Ihnen verwendete USB-Soundadapter UCA222 erkennt jedoch ohnehin nicht, dass kein Kabel angeschlossen ist. Sie sollten daher auf keine Probleme stoßen. Wenn Sie jedoch andere Soundkarten verwenden, dann sollten Sie jedenfalls sicherstellen, dass *vor dem Start* des Audiotesters an allen Ein- und Ausgängen der Soundkarte, die Sie später für Ihre Messungen verwenden möchten, ein Stecker angeschlossen ist. Andernfalls kann es sein, dass der Audiotester diese Kanäle nicht findet.

g□ Stellen Sie im Audiotester die richtigen Ein- und Ausgabekanäle ein (Menüpunkt „Options“):

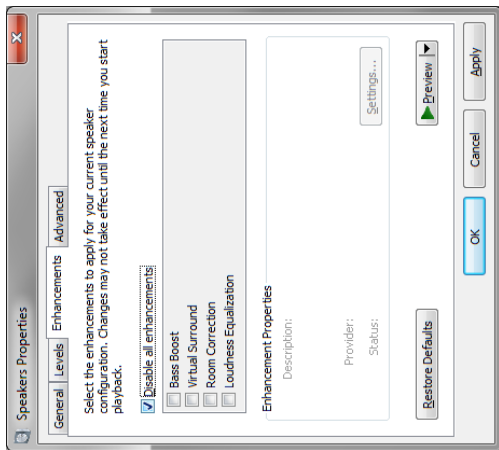
- Wählen Sie zunächst im Menü „Audio-Out-Device“ den UCA222 aus. Diesen finden Sie typischerweise als „Speakers (USB Audio CODEC)“ (Abb. 6(a)).
- Stellen Sie anschließend im Menü „Audio-Out-Parameter“ (Abb. 6(c)) die Abtastrate auf 48000 Hz und schalten Sie beide Kanäle ein („On L“ und „On R“).
- Wählen Sie im Menü „Audio-In-Device“ ebenfalls den UCA222 aus. Diesen finden Sie typi-



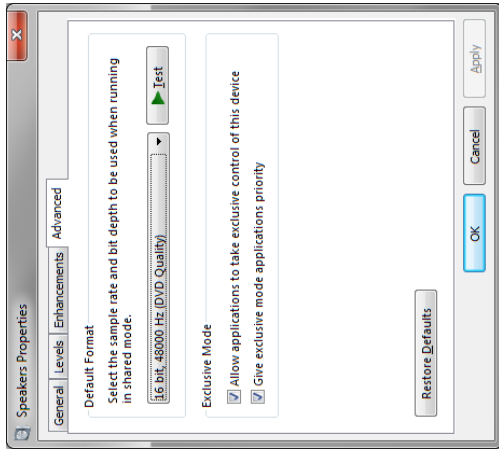
(a) Sound: Wiedergabe



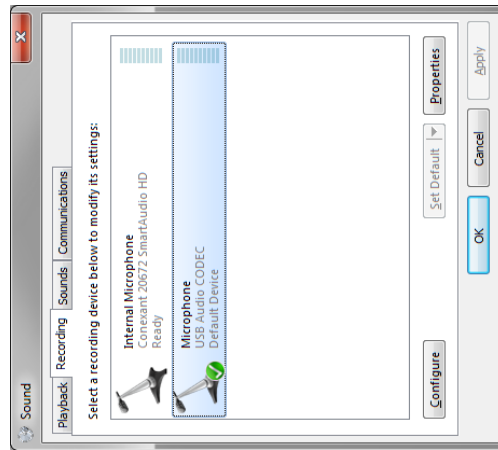
(b) Line-Out: PegelEinstellung



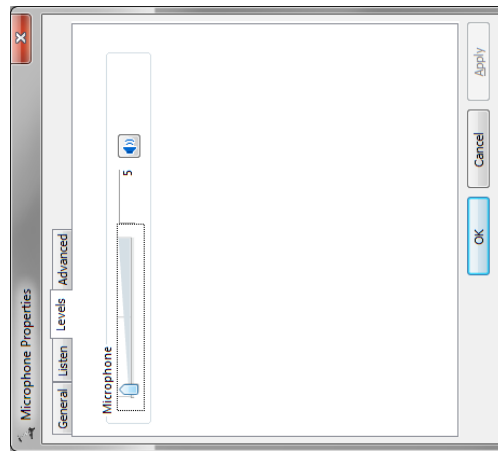
(c) Line-Out: Enhancements



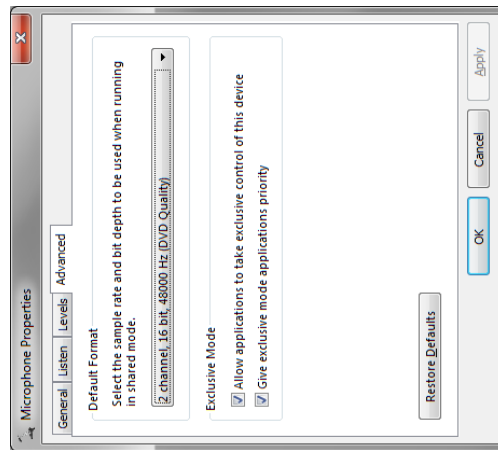
(d) Line-Out: Erweitert



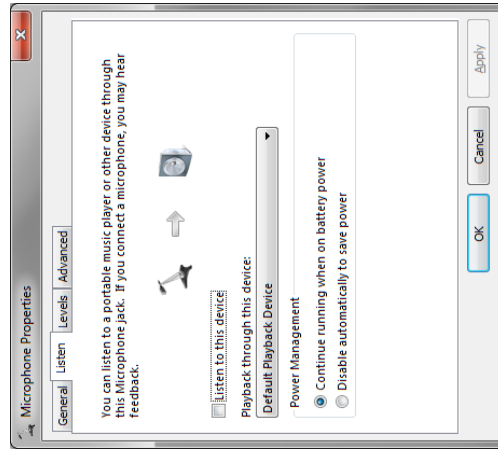
(e) Sound: Aufnahme



(f) Line-In: PegelEinstellung



(g) Line-In: Erweitert



(h) Line-In: Listen

Abbildung 4: Systemsteuerung „Sound“



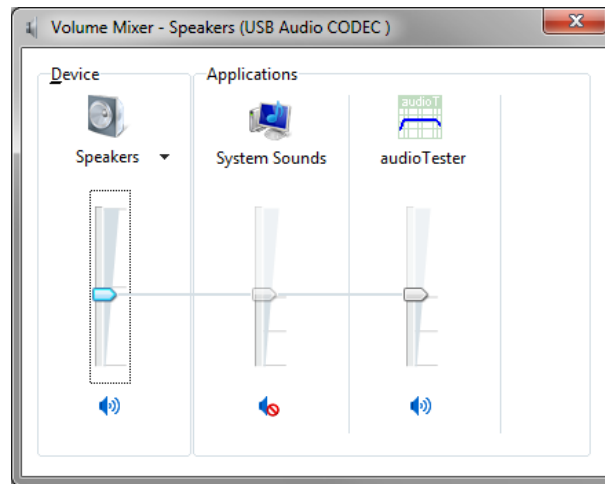
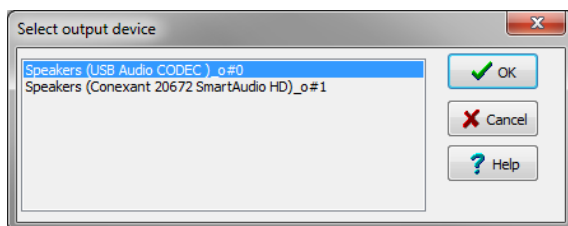
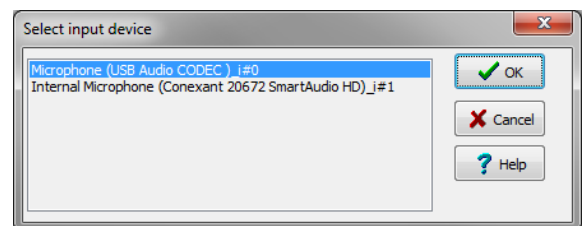


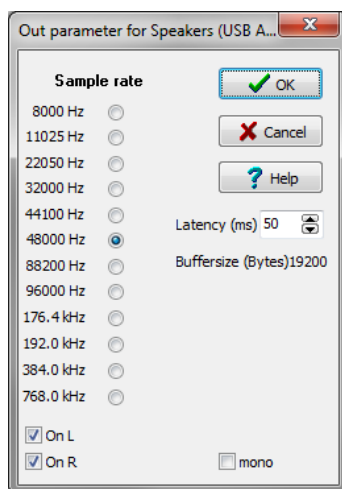
Abbildung 5: Volume Mixer: Signalquellen



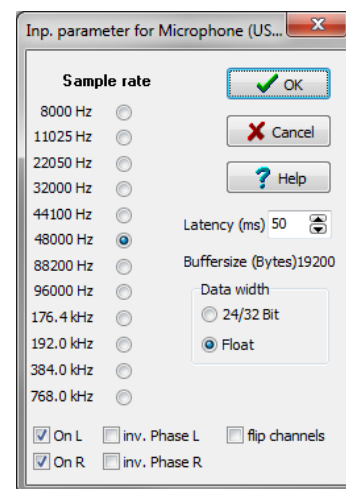
(a) Ausgabegerät: Auswahl



(b) Eingabegerät: Auswahl



(c) Ausgabegerät: Parameter



(d) Eingabegerät: Parameter

Abbildung 6: Audiotester: Einstellungen für Ein- und Ausgabekanäle

scherweise als „Microphone (USB Audio CODEC )“ (Abb. 6(b)).

- ☐ Stellen Sie anschließend im Menü „Audio-In-Parameter“ (Abb. 6(d)) die Abtastrate auf 48000 Hz und schalten Sie beide Kanäle ein („On L“ und „On R“).

h ☐ Der USB-Soundadapter soll nun mit Hilfe der Lautstärkeinstellungen optimal für die Verwendung mit dem Audiotester und dem DE1-SoC Board eingestellt werden. Lassen Sie dazu den Audiotester im Modus *2D FFT* laufen. Stellen Sie eine Frequenz von 200 Hz ein und starten Sie die Ausgabe („Sound On“) sowie die Aufzeichnung („Start“). Sie sollten nun die 200 Hz Sinusschwingung

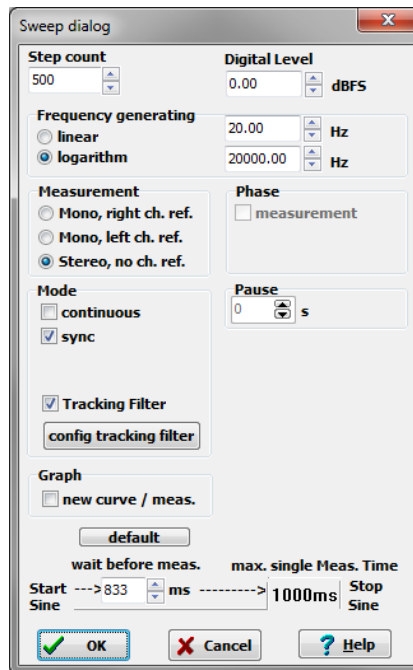


Abbildung 7: Audiotester: Einstellungen für Sweep-Messung von 20 Hz bis 20 kHz mit 500 Messpunkten

deutlich erkennen (sowohl als Signalform als im Spektrum). Passen Sie nun (bei Bedarf) die Einstellungen für den Eingangs- und Ausgangspegel (Abb. 4(f) und 4(b)) soweit an, dass das der Pegel der Sinusschwingung nie über  $\pm 1.0$  hinausgeht bzw. dass der Peak im Spektrum bei 200 Hz knapp unterhalb der 0 dB Linie liegt (siehe Abb. 8).

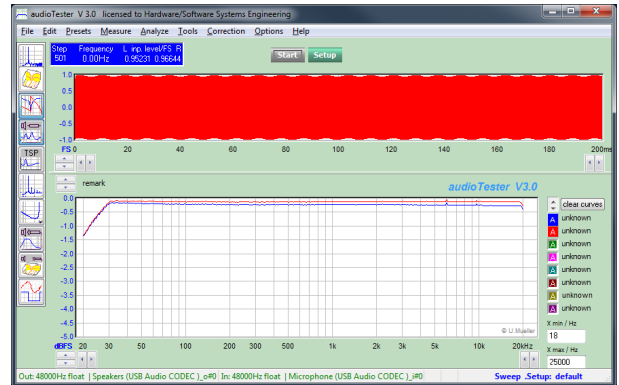
- i ☐ Verifizieren Sie nun Ihre Einstellungen mit einer Sweep-Messung. Konfigurieren („Setup“) zunächst den Sweep anhand der Einstellungen aus Abb. 7. Starten Sie anschließend die Sweep-Messung und prüfen Sie, dass ...
  - ☐ ... das aufgezeichnete Spektrum über den gesamten Frequenzbereich (20 Hz bis 20 kHz) knapp unterhalb der 0 dB Linie verläuft (siehe Abb.9).
  - ☐ ... beide Kanäle (ein Kanal wird als blaue Linie, der andere als rote Linie, dargestellt) in etwa gleich stark sind. Sollte dies nicht der Fall sein, kann es sein, dass eines (oder sogar beide) Ihrer Verbindungskabel defekt ist.

Wenn Sie eine brauchbare Einstellung gefunden haben, sollten Sie sich die eingestellten Parameter notieren oder besser noch mit Screenshots dokumentieren.

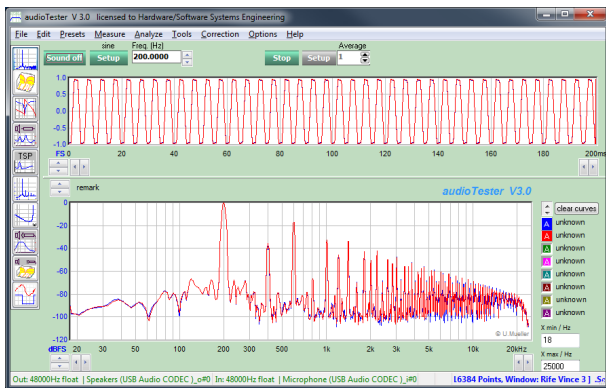
j ☐



(a) ideal ausgesteuert



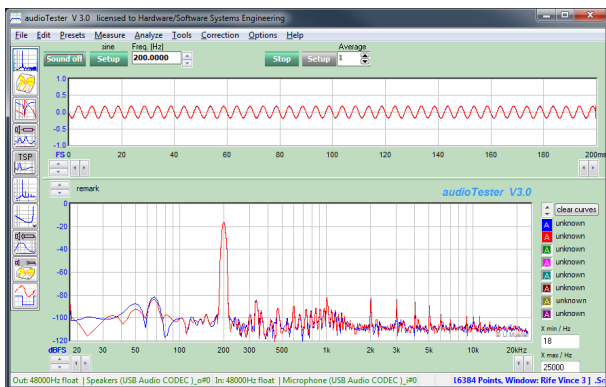
(a) ideal ausgesteuert



(b) übersteuert



(b) übersteuert



(c) untersteuert



(c) untersteuert

Abbildung 8: 2D FFT eines Signals mit 200 Hz

Abbildung 9: Sweep-Messung