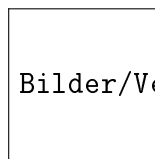


Universitaet Rostock  
IEF/Institut für Automatisierungstechnik  
Sommersemester 2012

## Hausarbeit - Hall-Software für das EZ-Kit BF533



Bilder/Versuchsaufbau\_Demonstration.png

Florian Grützmacher  
Max-Planck-Str. 2a  
18057 Rostock  
florian.gruetzmacher@uni-rostock.de

Simeon Wiedenmann  
Kiebitzberg 4  
18057 Rostock  
simeon.wiedenmann@uni-rostock.de

28. Juli 2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
2.1	Hall-Software für das EZ-Kit BF533 . . . . .	3
2.2	Versuchsaufbau . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Digitale Signalverarbeitung</b>	<b>4</b>
3.1	Das Prinzip digitaler Signalverarbeitung . . . . .	4
3.2	Warum Signalprozessoren? . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Das Kit EZ-Kit BF533</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Lösungsstrategie</b>	<b>6</b>
5.0.1	Hall . . . . .	6
5.0.2	Künstlicher Hall mit Infinite Impulse Response Filter . . . . .	7
5.0.3	Implementierung . . . . .	7
<b>6</b>	<b>Schluss</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>10</b>

# 1 Einleitung

Im Rahmen der Veranstaltungsreihe „Signalprozessortechnik“ am Institut für Automatisierungstechnik der Universität Rostock wurden Kenntnisse über Funktionen und Leistungsfähigkeit verschiedener Signalprozessoren für den Einsatz digitaler Signalverarbeitung vermittelt.<sup>1</sup> Die Veranstaltung wurde im Sommersemester 2012 durch die Fakultät für Informatik und Elektrotechnik (IEF) der Universität Rostock angeboten und von Herrn Dr.-Ing. Wolf-Dieter Heinitz gehalten. Neben den behandelten Schwerpunkten

- Digitale Signalverarbeitung: Vorteile, Probleme, Applikationen
- Basisalgorithmen der digitalen Signalverarbeitung
- Datenformate für die digitale Signalverarbeitung
- Signalverarbeitung mit klassischen Mikrokontrollern
- Universelle Signalprozessoren: Festkomma-Prozessor DSP 5630x, Gleitkomma-Prozessor TMS 320C3x, TMS320C4x
- Übersicht zu anderen modernen Signalprozessoren und aktuellen Weiterentwicklungen Texas Instruments: C80, C62x, C67x, Analoge Devices: ADSP-21160, BF53x
- Entwicklungswerkzeuge für DSP-Programmierung

galt es ein Abschlussprojekt zu Implementieren, es den Modulteilnehmern vorzustellen und das Vorgehen in einer Hausarbeit zu dokumentieren.

## 2 Aufgabenstellung

### 2.1 Hall-Software für das EZ-Kit BF533

Programmierung einer Software zur Erzeugung von künstlichem Hall. Ein analoges Eingangssignal von einem Mikrophon ist mit künstlichem Hall zu versehen und an einem analogen Ausgangskanal an einen Kopfhörer auszugeben.

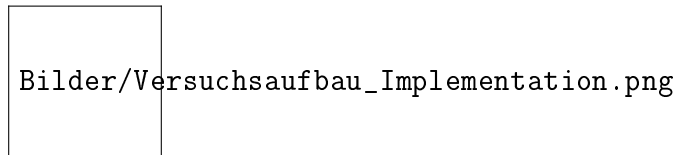
Die Projektarbeit ist im Rahmen einer Demonstration an einem Testaufbau mit Mikrophon und Kopfhörer vorzuführen.

---

<sup>1</sup> siehe Vorlesungsverzeichnis der Universität Rostock, Veranstaltungsnr. 24141

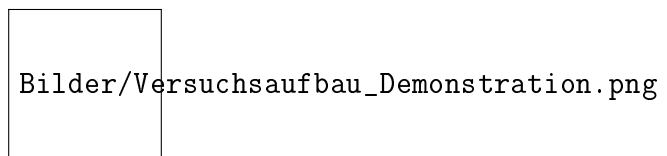
## 2.2 Versuchsaufbau

Bei der Implementation des künstlichen Halls ist es hilfreich, zunächst das Übertragungsverhalten des Digitalen Signalprozessors (DSP) beobachten zu können. Dazu wurde ein Versuchsaufbau für die Implementation eingerichtet, welcher hier zu sehen ist:



Ein am Signalgenerator erzeugtes Wunsch-Signal kann hierbei im DSP bearbeitet werden und das modifizierte Signal kann am Oszilloskop beobachtet werden.

Zur Demonstration des mit dem DSP erzeugten künstlichen Halls wird für bessere Anschaulichkeit jedoch folgender Versuchsaufbau genutzt.



Ein Mikrofon wird an den Eingang des DSP angeschlossen und liefert ein analoges Eingangssignal. Dieses wird mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers (ADC) digitalisiert und im DSP bearbeitet. Das digital bearbeitete Signal wird über einen Digital-Analog-Wandler DAC in ein analoges Ausgangssignal gewandelt, welches an den Lautsprechern ausgegeben wird.

## 3 Digitale Signalverarbeitung

Die Digitale Signalverarbeitung als Teilgebiet der Nachrichtentechnik beschäftigt sich mit der Verarbeitung digitaler Signale unter Einsatz von digitalen Systemen, wie z.B. Digitale Signalprozessoren. Da unsere physikalische Umwelt jedoch häufig Analoge Signale als Eingangssignale (wie z.B. das Schwingen einer Membran im Mikrofon) sowie analoge Ausgangssignale (z.B. schwingende Lautsprechermembranen) verursacht, schließt die digitale Signalverarbeitung häufig auch eine Analog-Digital Wandlung des Eingangssignals und eine Digital-Analog Wandlung des Ausgangssignals mit ein.

### 3.1 Das Prinzip digitaler Signalverarbeitung

Um ein zeit-kontinuierliches und werte-kontinuierliches analoges Signal zu digitalisieren, muss es mit einer Abtastfrequenz  $f_a$  abgetastet werden und auf einen quan-

tisierten Wertebereich abgebildet werden. Um eine „exakte“ Signalrekonstruktion sicherzustellen, muss das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem eingehalten werden. Dieses besagt, dass die Abtastfrequenz  $f_a$  mindestens so groß sein muss wie das doppelte der höchsten im Signal vorkommenden Frequenz  $f_g$ .

$$f_a \geq 2 \cdot f_g$$

Um dies sicherzustellen wird das analoge Eingangssignal  $x(t)$  mittels eines analogen Tiefpasses (TP) bandbegrenzt. Das abgetastete Signal ist bereits zeit-diskret.

Bilder/DSV\_Blockschaltbild.png

Abbildung 1: Titel der Grafik

Ein Sample and Hold Glied (S&H) stellt sicher, dass der am Analog-Digital Wandler (A/D) anliegende Spannungswert für die Zeit eines Wandelvorgangs konstant gehalten wird. Im Anschluss an die A/D Wandlung liegt ein zeit- und wertediskretes Signal vor. Dieses digitale Signal kann nun mittels Digitaler Signalverarbeitung (DSV) wie gewünscht manipuliert werden. Dazu werden häufig digitale Signalprozessoren eingesetzt.

Das digitale Signal muss nach der Verarbeitung erneut in ein analoges Signal gewandelt werden. Dies geschieht mithilfe des Digital-Analog Wandlers (D/A). Anschließend wird das Ausgangssignal noch durch einen analogen Rekonstruktions-Tiefpass (T/P) geglättet. Das so entstehende Ausgangssignal ist nun wieder analog und geht aus dem Eingangssignal  $x(t)$  durch digitale Signalverarbeitung hervor.

## 3.2 Warum Signalprozessoren?

Zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi nam liber tempor. Nihil imperdiet doming; id quod mazim placerat facer possim assum? Mirum est notare quam littera gothica quam nunc putamus! Consectetur adipiscing elit sed diam nonummy nibh euismod.

## 4 Das Kit EZ-Kit BF533

Dolore te feugait nulla facilisi nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option. Amet consectetur adipiscing elit sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet. In iis qui facit eorum; claritatem Investigationes demonstraverunt lectores

---

<sup>2</sup> Abtasttheorem

legere me. In vulputate velit esse molestie consequat vel illum dolore. Wisi enim ad minim, veniam quis nostrud exerci. Facer possim assum typi non habent claritatem insitam est usus legentis lius quod.

Dolore te feugait nulla facilisi nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option. Amet consectetur adipiscing elit sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet. In iis qui facit eorum; claritatem Investigationes demonstraverunt lectores legere me. In vulputate velit esse molestie consequat vel illum dolore. Wisi enim ad minim, veniam quis nostrud exerci. Facer possim assum typi non habent claritatem insitam est usus legentis lius quod.

## 5 Lösungsstrategie

Dolore te feugait nulla facilisi nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option. Amet consectetur adipiscing elit sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet. In iis qui facit eorum; claritatem Investigationes demonstraverunt lectores legere me. In vulputate velit esse molestie consequat vel illum dolore. Wisi enim ad minim, veniam quis nostrud exerci. Facer possim assum typi non habent claritatem insitam est usus legentis lius quod.

Dolore te feugait nulla facilisi nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option. Amet consectetur adipiscing elit sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet. In iis qui facit eorum; claritatem Investigationes demonstraverunt lectores legere me. In vulputate velit esse molestie consequat vel illum dolore. Wisi enim ad minim, veniam quis nostrud exerci. Facer possim assum typi non habent claritatem insitam est usus legentis lius quod.

### 5.0.1 Hall

Hall bzw. Nachhall ist ein Effekt kontinuierlicher Reflexionen einer Schallwelle. Wird eine Schallwelle an unterschiedlichen Stellen reflektiert, und die reflektierten Wellen, haben unterschiedliche Laufzeiten aufgrund der unterschiedlichen Abstände zu den reflektierenden Objekten, treffen mehrere reflektierte Schallwellen, der selben Ursprungs-Schallwelle mit unterschiedlichen Verzögerungszeiten aufeinander. Da der Schalldruck einer Schallwelle mit zunehmender Ausbreitungszeit aufgrund Luftreibung und mit zunehmender Anzahl an Reflexionen aufgrund von Wärmeverlusten abnimmt, sind reflektierte Schallwellen umso schwächer, je länger der Zeitpunkt ihrer Entstehung zurückliegt. Hall wird unterteilt in frühe Reflexionen, welche 1-2 Reflexionen des Ursprungssignals sind, und diffusem Nachhall, welcher aus vielen Reflexionen mit stärkerer Abschwächung des Ursprungssignals besteht. Verantwortlich für

den 'räumlichen' klang des Halls, sind die frühen Reflektionen, wobei der Nachhall wiederum aus Reflektionen der frühen Reflektionen entsteht und für mehr 'Volumen' sorgt.

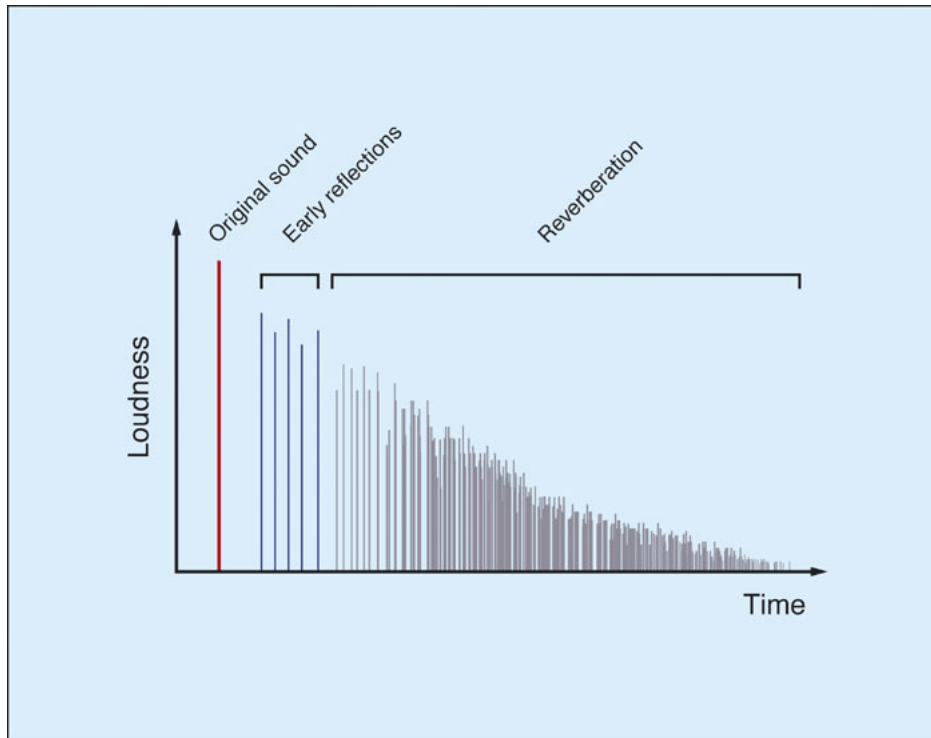


Abbildung 2: Raumimpulsantwort

Quelle: <http://www.offsetguitars.com/forums/viewtopic.php?f=11t=43975start=15>

### 5.0.2 Künstlicher Hall mit Infinite Impulse Response Filter

Um mit dem DSP künstlichen Hall zu erzeugen, müssen die vom AD-Wandler erhaltenen Werte in einem Buffer gespeichert werden um zu einem späteren Zeitpunkt (50 bis 100 ms) darauf zurückgreifen zu können. Jeder neu abgetastete Wert wird mit einem Vorfaktor versehen und mit weiter zurückliegenden Signalwerten, ebenfalls mit bestimmtem Vorfaktoren akkumuliert und an den DA-Wandler übergeben. Zusätzlich wird der akkumulierte Wert wieder mit einem Vorfaktor auf den nächsten neuen Wert aufaddiert. Durch die Akkumulation werden die frühen Reflektionen, durch die Rückkopplung der Nachhall simuliert. Die entspricht der Struktur eines IIR-Filters.

### 5.0.3 Implementierung

Um eine IIR-Struktur zu implementieren, haben wir einen Buffer(Array) mit 4096 Werten im fractional-32 Format deklariert. Für den Buffer und den Akkumula-

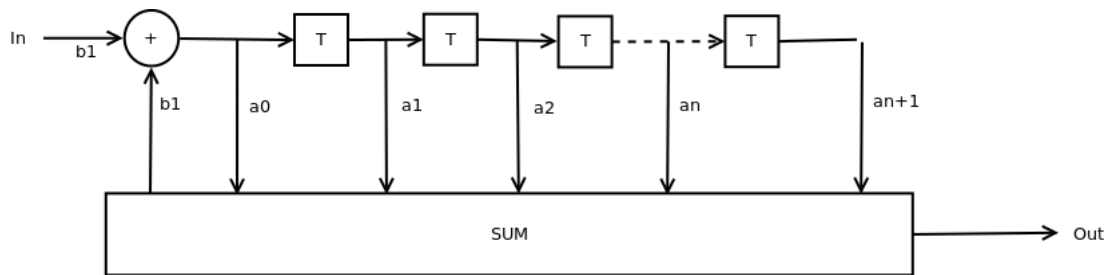


Abbildung 3: IIR-Filter Struktur

tor wurden Fractional-32 Formate benutzt, da Multiplikationen von Fractional-16 Werten, ein Fractional-32 liefern und so ohne Schieben damit weitergerechnet werden kann. Sobald am AD-Wandler ein neuer Wert anliegt, wird die Prozess-Funktion, im folgenden Prozess genannt, aufgerufen. Im Prozess wird der neue Wert zunächst gespeichert und mit einem dem Vorfaktor 0.5 im Buffer abgelegt. der Vorfaktor wird durch ein Right-Shift realisiert, was einer Division durch 2 entspricht. Dieser Wert wird im Buffer abgelegt. Um das Verschieben von 4096 Werten pro Prozessaufruf zu vermeiden, das die zu lange dauern würde, wurde ein Ringspeicher realisiert. Dazu wird eine Zählvariable gespeichert die pro Prozessaufruf um 1 inkrementiert wird und den index des Buffers angibt, an dessen Stelle der neue Wert gespeichert wird. Geht der Wert der Zählvariable über 4095 hinaus, wird die Zahl 4096 von ihr subtrahiert. Dies wurde durch eine AND-Operation mit dem Wert 0x0fff in jedem Prozessaufruf realisiert, sodass alle bits ab der Stelle 13 abgeschnitten werden. Wurde der neue Wert im Buffer gespeichert, wird nun der Akkumulator geladen, indem einzelne Abgriffe des Buffers mit Koeffizienten multipliziert und auf den Akkumulator addiert werden. Welche Stellen des Buffers und die zugehörigen Koeffizienten gewählt wurden kann man in Abbildung 4 erkennen.

Da In

## 6 Schluss

Dolore te feugait nulla facilisi nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option. Amet consectetur adipiscing elit sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet. In iis qui facit eorum; claritatem Investigationes demonstraverunt lectores legere me. In vulputate velit esse molestie consequat vel illum dolore. Wisi enim ad minim, veniam quis nostrud exerci. Facer possim assum typi non habent claritatem insitam est usus legentis lius quod.

Dolore te feugait nulla facilisi nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option. Amet consectetur adipiscing elit sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut



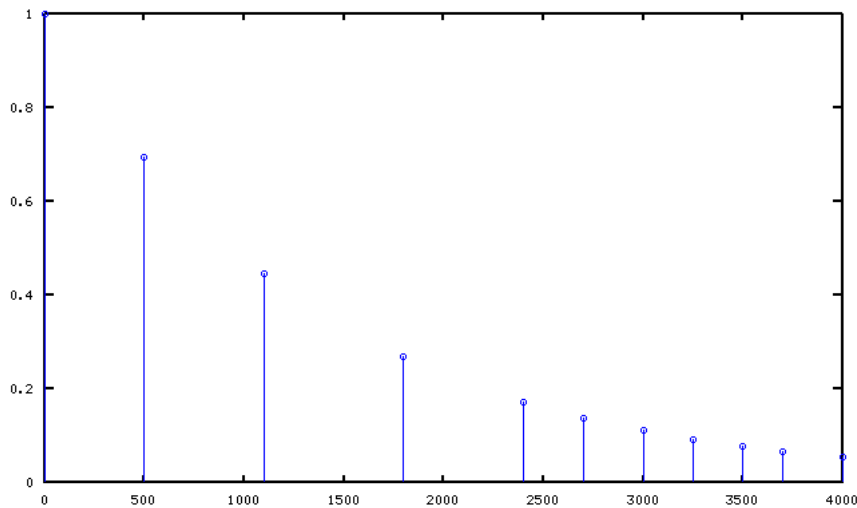


Abbildung 4: Raumimpulsantwort

laoreet. In iis qui facit eorum; claritatem Investigationes demonstraverunt lectores legere me. In vulputate velit esse molestie consequat vel illum dolore. Wisi enim ad minim, veniam quis nostrud exerci. Facer possim assum typi non habent claritatem insitam est usus legentis lius quod.

Dolore te feugait nulla facilisi nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option. Amet consectetur adipiscing elit sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet. In iis qui facit eorum; claritatem Investigationes demonstraverunt lectores legere me. In vulputate velit esse molestie consequat vel illum dolore. Wisi enim ad minim, veniam quis nostrud exerci. Facer possim assum typi non habent claritatem insitam est usus legentis lius quod.

Dolore te feugait nulla facilisi nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option. Amet consectetur adipiscing elit sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet. In iis qui facit eorum; claritatem Investigationes demonstraverunt lectores legere me. In vulputate velit esse molestie consequat vel illum dolore. Wisi enim ad minim, veniam quis nostrud exerci. Facer possim assum typi non habent claritatem insitam est usus legentis lius quod.

## 7 Literaturverzeichnis

lsf.uni-rostock.de, Veranstaltungsnummer 24141, Vorlesung Signalprozessortechnik,  
SS 2012

Versuchsanleitung Nr. 2 „Digitale Filter“, Praktikum zur Veranstaltung „Digitale  
Signalverarbeitung“ Institut für Nachrichtentechnik, Universität Rostock